



HYPERLOOP TT

Relatório Estudo de pré-viabilidade Porto Alegre – Serra Gaúcha

PREPARADO PELO

Departamento de Engenharia de Produção e Transportes
Escola de Engenharia
Universidade Federal do Rio Grande do Sul

Porto Alegre, Serra Gaúcha

Agosto, 2021

CONFIDENCIAL

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL



Escola de Engenharia

Departamento de Engenharia de Produção e Transportes



UFRGS- HyperloopTT Equipe Brasil

Coordenadores

Luiz Afonso dos Santos Senna, *PhD*

Christine Tessele Nodari, *Dr.*

Equipe Técnica

Ana Margarita Larranaga Uriarte, *Dr.*

André Bresolin Pinto, *Eng.*

Andrey Zuriel Ebeling Bonatto, *MSc.*

Arno Krenzinger, *Dr.*

Camila Horst Toigo, *Dr.*

César Luís Andriola, *PhD student.*

Cláudio Ruschel, *MSc.*

Daniel Sergio Presta García, *Dr.*

Desirée de Souza Pereira, *Arq.*

Douglas Zechin, *Dr. Student*

Fabiano Perin Gasparin, *PhD*

Fernando Dutra Michel, *Dr.*

Helena Beatriz Bettella Cybis, *PhD*

Leonardo Presente Gindri, *Arq.*

Lívia Pereira Senna, *Arq.*

Mariana Lovato, *Eng.*

Renata Onzi Campeol, *Eng.*

Rodrigo Javier Tapia, *Dr.*

Shanna Lucchesi, *Dr. Student.*

Agradecimentos

A equipe técnica do projeto agradece as muitas instituições e profissionais por suas contribuições úteis para este estudo de pré-viabilidade em diferentes partes de seu desenvolvimento.

Somos extremamente gratos à Secretaria de Inovação, Ciência e Tecnologia do governo do estado do Rio Grande do Sul, pelo apoio ao longo do desenvolvimento do projeto, e pela louvável iniciativa de valorização da ciência e tecnologia através de programas que visam ser referência global em inovação como estratégia de desenvolvimento local, e incluir o Rio Grande do Sul no mapa global da inovação, a partir da construção de parcerias estratégicas entre a sociedade civil organizada, academia, setor empresarial e governo, propondo a construção de uma agenda comum entre os atores dos ecossistemas de inovação do Estado. A implantação do HyperloopTT no estado enquadra-se perfeitamente nas metas e expectativas do estado, na medida em que o mesmo promove o desenvolvimento econômico tendo como base um forte conteúdo tecnológico e de inovação.

Fica registrado o agradecimento ao Prof. Dr. Luís da Cunha Lamb e ao governo do estado do Rio Grande do Sul, reconhecendo também o apoio da Secretaria da Fazenda, Secretaria do Meio Ambiente e Infraestrutura e Secretaria de Logística e Transportes.

Agradecimentos aos governos dos municípios de Caxias do Sul, Gramado, Novo Hamburgo e Porto Alegre. Também fica registrado o reconhecimento ao apoio da FRAPORT, concessionária do aeroporto de Porto Alegre, pela receptividade e disponibilização de dados.

Também agradecemos à equipe da HyperloopTT TT pelas frutíferas e inspiradoras discussões técnicas: Chuck Michael, Consultor regulatório e líder de estudos de viabilidade nos EUA; Sabih Khisaf, Engenheiro líder de infraestrutura; Ricardo Penzin, CEO da América Latina e Leonardo Gonzalez, Colaborador da HyperloopTT.

Um especial agradecimento ao Engenheiro Homero Neves da Silva, pelo compartilhamento de seus profundos conhecimentos em infraestrutura e pelo apoio em momentos decisivos do presente estudo. Agradecimentos também a diversos professores da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, que contribuíram de diferentes formas nas várias etapas do estudo: Prof.a Dra Carla Ten Caten, Diretora da Escola de Engenharia; Prof. Dr. Luís Carlos Pinto da Silva; Prof. Dr. Francisco Kliemann Neto, Chefe do Departamento de Engenharia de Produção e Transportes; e Prof. Dr. Alejandro German Frank, Coordenador do Programa de Pós-graduação e Engenharia de Produção.

Por fim, agradecimentos a várias pessoas que contribuíram para este estudo de diferentes formas, pelo apoio, sugestões e comentários ao longo do desenvolvimento do estudo: Prof.a Dra Paraskevi Bessa Rodrigues, Eng. Maurício Batista da Silva, Prof.a Dr.a Eliana T. P. Senna, Dr. André França – Sict, Eng. Cezar Augusto Pedrazani – Sict, Luiz Gustavo de Souza – Selt, Lucas Roncarati Gomes – Sema, Régis Stuardi – Gramado e Canela Convention & Visitors Bureau Região das Hortênsias, Acadêmica Verônica Oliveira, Eng. Henrique Bortolon, Eng. Joel de Conto e Eng. João Benhur Branco Müller.

Índice

1. Introdução	16
1.1. Considerações iniciais	16
1.2. Finalidade e objetivo	17
1.3. Escopo do projeto	17
1.4. Processo de estudo	17
1.5. Equipe técnica	18
1.6. Estrutura do Estudo	18
2. Tecnologia HyperloopTT	19
2.1. Tubo, cápsula e sistema de vácuo	20
2.2. Levitação e propulsão magnética passiva	22
2.3. Infraestrutura linear e túneis HyperloopTT	23
2.4. Estações HyperloopTT	24
3. Características básicas da região	32
3.1. Perspectivas socioeconômicas do Brasil	32
3.2. Região Sul e Estado do Rio Grande do Sul	41
3.3. Municípios e regiões de influência na área de estudo	43
3.3.1. <i>Hyper regions</i> de Porto Alegre	48
3.3.2. <i>Hyper regions</i> de Caxias do Sul	50
3.3.3. <i>Hyper regions</i> de Novo Hamburgo	52
3.3.4. <i>Hyper regions</i> de Gramado	54
4. Estudo da rota	57
4.1. Dados de entrada	57
4.1.1. Topografia	58
4.1.2. Uso do solo	59
4.1.3. Infraestrutura	60
4.1.4. Geologia	61
4.1.5. Hidrografia	62
4.1.6. Meio ambiente e sociedade	63
4.2. Localização das estações	65
4.2.1. Estação de Porto Alegre	65
4.2.2. Estação de Novo Hamburgo	66
4.2.3. Estação de Gramado	67
4.2.4. Estação de Caxias do Sul	68

Índice

4.3. Considerações sobre geometria e conforto	69
4.3.1. Aceleração longitudinal	69
4.3.2. Aceleração lateral	70
4.3.3. Aceleração vertical	71
4.4. Diretriz do traçado	72
4.5. Método para construção e otimização do alinhamento	74
4.5.1. Corredor da rota (etapa 1)	74
4.5.2. Alinhamento inicial (etapa 2)	76
4.5.3. Otimização do alinhamento (etapa 3)	78
4.6. Resultado do estudo da rota	81
5. Necessidade energética	86
5.1. Premissas básicas e necessidades de energia	86
5.2. Disponibilidade de radiação solar e aspectos gerais da geração distribuída	88
5.3. Efeito da orientação e ângulo de inclinação dos módulos	92
5.4. Geração distribuída no Brasil e possibilidades para o HyperloopTT	94
5.5. Dimensionamento do sistema fotovoltaico	97
5.5.1. Potencial fotovoltaico ao longo da rota	97
5.5.2. Suporte de bateria	98
5.6. Considerações finais	99
6. Análise da demanda de passageiros	100
6.1. Definição da área de estudo	102
6.2. Estimativas do ano base	103
6.3. Pesquisas de demanda tendencial	106
6.4. Pesquisas de Preferência Declarada (PD)	110
6.4.1. Elaboração da pesquisa PD	110
6.4.1.1. Especificação do modelo	110
6.4.1.2. Projeto experimental	113
6.4.2. Coleta de dados	117
6.4.3. Análise dos dados	118
6.4.3.1. Identificação de indivíduos cativos e lexicográficos	118
6.4.3.2. Características socioeconômica dos entrevistados	118
6.4.3.3. Viagens atuais dos entrevistados	119
6.5. Modelo de divisão modal	123
6.5.1. Formulações econométricas	124

Índice

6.5.2. Resultados dos modelos de divisão modal	126
6.5.3. Cálculo do valor subjetivo do tempo	127
6.5.4. Elasticidades	129
6.5.5. Aplicação do modelo para previsão de demanda	131
6.5.6. Determinação da tarifa ótima	137
6.6. Demanda induzida	142
6.6.1. Demanda induzida a partir de técnicas de preferência declarada	143
6.6.2. Demanda induzida a partir do indicador <i>logsum</i>	146
6.6.3. Distribuição das viagens totais do HyperloopTT	148
6.7. Considerações adicionais - o valor da confiabilidade	149
6.8. HyperloopTT- reduzindo espaços e moldando cidades	149
6.9. Síntese dos valores de demanda de passageiros	151
7. Análise da Demanda de carga	154
7.1. Introdução	154
7.2. Cadeias de suprimento analisadas	155
7.3. Processamento de insumos para a modelagem	157
7.3.1. Organização da base geográfica	158
7.3.2. Codificação de produtos	160
7.3.3. Base de dados do comércio exterior	160
7.3.4. Base de dados do estado do Rio Grande do Sul	161
7.3.5. Geração das matrizes origem-destino	162
7.4. Execução da modelagem	164
7.4.1. Choice Model	164
7.4.2. Custos e tempos	164
7.5. Síntese dos resultados	166
7.6. Considerações finais e recomendações	169
8. Análise Econômica	170
8.1. Considerações econômicas	171
8.2. Benefícios	172
8.2.1. Crescimento do PIB	172
8.2.2. Criação de empregos	173
8.2.3. Valorização imobiliária	174
8.2.4. Redução de acidentes	180
8.2.5. Redução do custo operacional de veículos	186

Índice

8.2.6. Redução no tempo de viagem	187
8.2.7. Redução de emissões	188
8.2.7.1. Impacto socioambiental do setor de transportes no Brasil	188
8.2.7.2. Avaliação ambiental do traçado	191
8.2.8. Aumento da receita tributária	194
8.3. Custos	194
8.3.1. CapEx	195
8.3.2. OpEx	198
8.4. Preço sombra (Shadow Price)	201
8.5. Avaliação Socioeconômica	203
8.5.1. Figuras de mérito	203
8.5.2. Resultados	204
8.6. Considerações adicionais	209
8.6.1. Avaliação de possibilidades do projeto de energia	209
8.6.2. HyperloopTT: Infraestrutura sustentável e práticas ESG	210
8.6.3. Financiamento sustentável e responsabilidade socioambiental	211
9. Análise Financeira	215
9.1. Receita	215
9.1.1. Receita operacional	216
9.1.1.1. Passageiros	216
9.1.1.2. Carga	218
9.1.1.3. Serviços de saúde (ambulância UTI)	218
9.1.1.4. Publicidade e propaganda	219
9.1.1.5. Serviços de turismo	221
9.1.2. Receita não operacional	223
9.1.2.1. Parcerias imobiliárias	223
9.1.2.2. Aluguel de espaço nas estações	225
9.2 Custos	225
9.3. Fluxo de caixa	226
9.4. Análise de sensibilidade	228
10. Consolidação dos resultados do estudo	230
11. Referências	233
12. Anexo	242
13. Apêndices	244

Lista de tabelas

Tabela 1 - Dados da economia do Brasil	33
Tabela 2 - Ranking socioeconômico dos principais municípios atendidos pelo HyperloopTT	45
Tabela 3 - Municípios por <i>Hyper Region</i>	46
Tabela 4 - Indicadores populacionais e economicos das Hyper Regions	48
Tabela 5 - Fontes dos bancos de dados utilizados	57
Tabela 6 - Resultado final apra o estudo da rota	81
Tabela 7 - Necessidades de energia (Apêndice F Estudo Viabilidade Grandes Lagos)	86
Tabela 8 - Entradas gerais para o cálculo das necessidades de energia	87
Tabela 9 - Necessidade anual de energia para operação HyperloopTT	88
Tabela 10 - Dimensionamento fotovoltaico para suprir necessidades de energia	97
Tabela 11 - Matriz Anual de Automóveis (pessoas por ano)	105
Tabela 12 - Matriz Anual de Transporte Coletivo (pessoas por ano)	105
Tabela 13 - Matriz Anual de Transporte Fretado Turístico (pessoas por ano)	105
Tabela 14 - Atributos e níveis: Trecho Porto Alegre - Novo Hamburgo	111
Tabela 15 - Atributos e níveis: Trecho Porto Alegre-Gramado	111
Tabela 16 - Atributos e níveis: Porto Alegre -Caxias do Sul	112
Tabela 17 - Atributos e níveis: Trecho Caxias do Sul - Gramado	112
Tabela 18 - Atributos e níveis: Trecho Caxias do Sul -Novo Hamburgo	112
Tabela 19 - Atributos e níveis: Trecho Gramado - Novo Hamburgo	112
Tabela 20 - Tarifas reportadas em estudos de HyperloopTT	113
Tabela 21 - Características socioeconômicas da amostra	119
Tabela 22 - Características das viagens	120
Tabela 23 - Distribuição dos modos de transporte utilizado por rota dos respondentes	120
Tabela 24 - Distribuição das viagens por motivo lazer para os pares O-D	121
Tabela 25 - Custo e tempo total dos acessos as estações por modo e por rota	121
Tabela 26 - Custo e tempo total entre origens e destinos para o modo carro	122
Tabela 27 - Resultados dos modelos estimados por motivo lazer	126
Tabela 28 - Resultados dos modelos estimados por motivo não lazer	126
Tabela 29 - Valores do tempo	128
Tabela 30 - Elasticidade direta e cruzada da probabilidade de escolha de HyperloopTT - tempo de viagem	130

Lista de tabelas

Tabela 31 – Elasticidade direta e cruzada da probabilidade de escolha de HyperloopTT – custo de viagem	130
Tabela 32 – Partição de mercado situação atual modelado e real	131
Tabela 33 – Tarifas ótimas [R\$]	141
Tabela 34 – Resultados dos modelos de demanda induzida	144
Tabela 35 – Distribuição da demanda induzida por motivo de viagem	145
Tabela 36 – Demanda induzida – Logsum	147
Tabela 37 – Valor de tempo e valor de confiabilidade para usuários de automóveis	149
Tabela 38 – Total de viagens por par origem-destino e tipo de demanda	152
Tabela 39 – Total de exportações em 2019 dos municípios das estações do HyperloopTT	161
Tabela 40 – Múltiplas combinações de origem e destino	163
Tabela 41 – Quantidades de operações logísticas com diferentes modos	164
Tabela 42 – Método de cálculo	166
Tabela 43 – <i>Market shares</i> do HyperloopTT para cada par OD aplicando o modelo proposto	166
Tabela 44 – Empregos criados por HyperloopTT considerando apenas infraestrutura	173
Tabela 45 – Polos geradores de viagem e suas principais dimensões de impacto	176
Tabela 46 – Valores de referência para o presente estudo	177
Tabela 47 – Área impactada estimada para cada cidade	179
Tabela 48 – Estimativa de valorização imobiliária para a cidade de Porto Alegre	179
Tabela 49 – Estimativa de valorização imobiliária para municípios impactados	180
Tabela 50 – Número de acidentes evitados	184
Tabela 51 – Frequências de acidentes em 2019	184
Tabela 52 – Valores do custo dos acidentes do IPEA	185
Tabela 53 – Benefício Econômico decorrente dos acidentes evitados	185
Tabela 54 – Taxa de óbitos em acidentes de trânsito por 100.000 habitantes	185
Tabela 55 – Redução VDM	186
Tabela 56 – Custos unitários dos veículos	186
Tabela 57 – Redução dos custos operacionais	187
Tabela 58 – Cálculo do benefício da redução do tempo de viagem	188
Tabela 59 – Estimação do carbono evitado do HyperloopTT	193
Tabela 60 – Principais mudanças na carga tributária (% do PIB)	194

Lista de tabelas

Tabela 61 - Custos de túneis	196
Tabela 62 - Custos de desapropriação por cidade	197
Tabela 63 - Síntese dos valores de CapEx	198
Tabela 64 - Distribuição do CapEx no tempo	198
Tabela 65 - Valore anuais de locação de terras	199
Tabela 66 - Drivers de custo do OpEx	200
Tabela 67 - Resumo do OpEx	201
Tabela 68 - Values for Standard Conversion Factor - FCP	202
Tabela 69 - Resumo do fluxo de caixa econômico, em dólares	205
Tabela 70 - Resumo da avaliação econômica	206
Tabela 71 - Benefícios com valores originais	206
Tabela 72 - Detalhamento do tempo de viagem poupado	207
Tabela 73 - Valor presente (total) do ISS a ser recolhido por município no período do projeto	208
Tabela 74 - Valor presente de impostos a serem recolhidos no período do projeto [US\$]	208
Tabela 75 - Comparação de possíveis projetos de energia. Valores em R\$	210
Tabela 76 - Alinhamento projeto HyperloopTT com os princípios da OCDE	212
Tabela 77 - Categorias Taxonomia do CBI-elegibilidade para emissão Título Verde	213
Tabela 78 - Resumo da demanda e receita de passageiros	218
Tabela 79 - Atendimento de emergência pelo SAMU na RMPA	219
Tabela 80 - Meios, Unidades hoteleiras e Fluxo turístico de hospedagem	221
Tabela 81 - Origem dos turistas viajando à Serra Gaúcha	221
Tabela 82 - Percentual de turistas utilizando o HyperloopTT	223
Tabela 83 - Valores de propriedade de novos projetos imobiliários	225
Tabela 84 - Receitas de parcerias imobiliárias	225
Tabela 85 - Alíquotas de impostos utilizados no modelo financeiro	226
Tabela 86 - Sumário do fluxo de caixa com receitas e custos detalhados	227
Tabela 87 - Resumo da avaliação financeira	228
Tabela 88 - Análise de sensibilidade da TIR financeira	228
Tabela 89 - Análise de sensibilidade sem negócios imobiliários	229
Tabela 90 - Síntese dos principais benefícios para a sociedade	230
Tabela 91 - Valor do ISS a ser recolhido por município no período do projeto	231
Tabela 92 - Valor de impostos a serem recolhidos no período do projeto [US\$]	231

Lista de figuras

Figura 1 - Visão geral do HyperloopTT	19
Figura 2 - Tecnologia em escala real do HyperloopTT	20
Figura 3 - Protótipo de cápsula	21
Figura 4 - Configuração de matriz Halbach	22
Figura 5 - Infraestrutura elevada do HyperloopTT	23
Figura 6 - Esboço inicial da estação junto ao aeroporto Salgado Filho – Porto Alegre	25
Figura 7 - Vista externa da estação - A	26
Figura 8 - Vista externa da estação - B	26
Figura 9 - Vista externa da estação - C	27
Figura 10 - Vista externa da estação - D	27
Figura 11 - Vista externa da estação - E	28
Figura 12 - Vista externa da estação - F	28
Figura 13 - Vista externa da estação - G	29
Figura 14 - Vista externa da estação - H	29
Figura 15 - Vista externa da estação - I	30
Figura 16 - Vista interna da estação - A	30
Figura 17 - Vista interna da estação - B	31
Figura 18 - Vista interna da estação - C	31
Figura 19 - Alguns números da economia brasileira	34
Figura 20 - PIB brasileiro trimestral	35
Figura 21 - Meta para a taxa Selic (%a.a.)	36
Figura 22 - Preços – IPCA e metas para inflação (var.% em 12 meses)	37
Figura 23 - Taxa de desocupação (%) e atividade econômica (var. % em 12 meses)	38
Figura 24 - Agenda de reformas	39
Figura 25 - Melhorias na regulamentação doméstica	40
Figura 26 - Posicionamento estratégico do projeto na região, no Brasil e no Mercosul	42
Figura 27 - Visão geral dos principais municípios de interesse	43
Figura 28 - Influência das Regiões Metropolitanas de Porto Alegre e Caxias do Sul	44
Figura 29 - <i>Hyper Regions</i>	47
Figura 30 - <i>Hyper Regions</i> de Porto Alegre	49

Lista de figuras

Figura 31 - <i>Hyper Regions</i> de Caxias do Sul	51
Figura 32 - <i>Hyper Regions</i> de Novo Hamburgo	53
Figura 33 - <i>Hyper Regions</i> de Gramado	55
Figura 34 - Relevo	58
Figura 35 - Áreas urbanizadas	59
Figura 36 - Infraestrutura de transportes	60
Figura 37 - Infraestrutura de energia	61
Figura 38 - Dados geológicos	62
Figura 39 - Cursos d'água, corpos d'água e áreas sujeitas à inundação	63
Figura 40 - Dados socioambientais	64
Figura 41 - Localização da futura estação HyperloopTT em Porto Alegre	65
Figura 42 - Localização da futura estação HyperloopTT em Novo Hamburgo	66
Figura 43 - Localização da futura estação HyperloopTT em Gramado	67
Figura 44 - Localização da futura estação HyperloopTT em Caxias do Sul	68
Figura 45 - Aceleração e frenagem para a cápsula HyperloopTT	69
Figura 46 - Velocidade vs raio da curva horizontal	70
Figura 47 - Velocidade vs. raio da curva vertical	71
Figura 48 - Diretriz e principais condicionantes da região de estudo	72
Figura 49 - Perfil altimétrico da diretriz	73
Figura 50 - Fluxograma para obtenção do Alinhamento HyperloopTT	74
Figura 51 - Caminhos de menor custo pela inclinação e pela variação da inclinação do terreno	75
Figura 52 - Software SAEPRO	76
Figura 53 - Alinhamento horizontal a partir do software SAEPRO	77
Figura 54 - Fluxograma de atuação do algoritmo	78
Figura 55 - Relação custo vs tempo para uma rota HyperloopTT	79
Figura 56 - Alinhamento otimizado pelo uso algoritmo Python	80
Figura 57 - Perfil de velocidade para a rota entre Porto Alegre e Novo Hamburgo	81
Figura 58 - Perfil de velocidade para a rota entre Porto Alegre e Gramado	82
Figura 59 - Perfil de velocidade para a rota entre Porto Alegre e Caxias do Sul	82
Figura 60 - Perfil de velocidade para a rota entre Novo Hamburgo e Gramado	82

Lista de figuras

Figura 61 – Perfil de velocidade para a rota entre Novo Hamburgo e Caxias do Sul	83
Figura 62 – Perfil de velocidade para a rota entre Gramado e Caxias do Sul	83
Figura 63 – Geometria vertical e custos para a rota otimizada	84
Figura 66 – Produtividade fotovoltaica anual para instalações interligadas à rede	91
Figura 67 – Posição do painel e perda genérica de rendimento conforme orientação	92
Figura 68 – Variação anual do rendimento fotovoltaico de acordo com o azimute	93
Figura 69 – Áreas de diferentes concessionárias de energia elétrica na rota	96
Figura 70 – Esquema para estimar aproximadamente o número de módulos fotovoltaicos	98
Figura 71 – Fluxograma das etapas de estimação da demanda	100
Figura 72 – Área de Estudo	103
Figura 73 – Apresenta a localização das praças de pedágio e pontos de pesquisa utilizados	104
Figura 74 – Evolução da demanda anual por automóveis	108
Figura 75 – Evolução da demanda de transporte coletivo	109
Figura 76 – Evolução da demanda de transporte fretado	109
Figura 77 – Exemplo de cartão apresentado na pesquisa de preferência declarada.	116
Figura 78 – Exemplo de escolha apresentada na pesquisa de preferência declarada.	116
Figura 79 – Distribuição modal dos principais trechos do estudo	132
Figura 80 – Variação market share – aumento tarifa HyperloopTT: Viagens lazer, P. Alegre–Gramado	133
Figura 81 – Variação market share – aumento tarifa HyperloopTT: Viagens não lazer, P. Alegre–Gramado	133
Figura 82 – Variação market share – aumento tarifa HyperloopTT: Viagens lazer, P. Alegre–Caxias	134
Figura 83 – Variação market share – aumento tarifa HyperloopTT: Viagens não lazer, P. Alegre–Caxias	134
Figura 84 – Variação market share – aumento tarifa HyperloopTT: Viagens a lazer, Gramado–Caxias	135
Figura 85 – Variação market share – aumento tarifa HyperloopTT: Viagens não lazer, Gramado –Caxias	135
Figura 86 – Variação market share – aumento tarifa HyperloopTT: Viagens lazer, P. Alegre–N. Hamburgo	136
Figura 87 – Variação market share–aumento tarifa HyperloopTT: Viagens não lazer, P. Alegre–N. Hamburgo	136

Lista de figuras

Figura 88 - Variação receita - variação tarifa HyperloopTT: Viagens a lazer, P. Alegre–Gramado	137
Figura 89 - Variação receita - variação tarifa HyperloopTT: Viagens não lazer, P. Alegre–Gramado	138
Figura 90 - Variação receita - variação tarifa HyperloopTT: Viagens lazer, P. Alegre–Caxias	138
Figura 91 - Variação receita - variação tarifa HyperloopTT: Viagens não lazer, P. Alegre–Caxias	139
Figura 92 - Variação receita - variação tarifa HyperloopTT: Viagens lazer, Gramado–Caxias	139
Figura 93 - Variação receita - variação tarifa HyperloopTT: Viagens não lazer, Gramado–Caxias	140
Figura 94 - Variação receita - variação tarifa HyperloopTT: Viagens lazer, P. Alegre–N. Hamburgo	140
Figura 95 - Variação receita - variação tarifa HyperloopTT: Viagens não lazer, P. Alegre–N. Hamburgo	141
Figura 96 - Variação da demanda induzida frente a variação do valor da tarifa do HyperloopTT	145
Figura 97 - Distribuição das viagens totais do HyperloopTT	148
Figura 98 - Demanda induzida e uso do solo	150
Figura 99 - Demanda de passageiros de HyperloopTT por ano	152
Figura 100 - Envio direto	155
Figura 101 - Envio com consolidação	155
Figura 102 - Envio por HyperloopTT	156
Figura 103 - Envios ao/do exterior pelos aeroportos de São Paulo	156
Figura 104 - Envios ao/do exterior pelo aeroporto de Salgado Filho com caminhão	157
Figura 105 - Envios ao/do exterior usando HyperloopTT	157
Figura 106 - Mapa com agregações de municípios das regiões de influência	158
Figura 107 - Cartograma - utilização de critérios espaço-temporais - Caxias do Sul como referência	159
Figura 108 - Expansão da pista do aeroporto Salgado Filho – Porto Alegre	168
Figura 109 - Relação entre CBA padrão e efeitos econômicos	171
Figura 110 - Diagrama de loop causal para preços de terrenos	175
Figura 111 - Áreas impactadas por estações (distância na rede de transporte atual)	178

Lista de figuras

Figura 112 - Estimativa da redução % de VDMA pela demanda desviado para o novo modo	181
Figura 113 - Rotas principais que terão reduzido volume de tráfego	182
Figura 114 - Relação frequência acidentes por milha / volume de tráfego	183
Figura 115 - Emissões do setor de Energia	189
Figura 116 - Emissões por queima de combustível fóssil – municípios do RS	190
Figura 117 - Mapeamento de fragilidades socioambientais do traçado do HyperloopTT	192
Figura 118 - Fluxo de caixa econômico. Valores nominais (não descontados)	204
Figura 119 - Meios de transporte dos turistas visitando a serra gaúcha	222
Figura 120 - Áreas de alto potencial imobiliário ao redor das estações	224
Figura 121 - Fluxo de caixa financeiro	226

1. Introdução

1.1. Considerações iniciais

Em um cenário global de mudanças constantes e rápidas no setor produtivo, o investimento em inovação e tecnologia passou a ser a alternativa mais eficiente para garantir o desenvolvimento e a competitividade sistêmica das indústrias. A inovação envolve processos que facilitem a vida das pessoas, sejam eles científicos, tecnológicos, financeiros, comerciais ou organizacionais. Além disso, a inovação tecnológica é fundamental para o crescimento econômico, para os ganhos de eficiência e de competitividade, quer seja em nível local, estadual ou de países. Em paralelo, a preocupação com as questões ambientais também assume dimensões centrais nos sistemas produtivos.

As rápidas, profundas e abrangentes transformações constituem-se em marcos do ingresso na sociedade do conhecimento, um fator chave para o desenvolvimento econômico. Nesse contexto, a inovação tecnológica é fator fundamental para alcançar e sustentar vantagens competitivas de espaços econômicos e empresas. Porter (1990) aponta que à medida que se alcança maior grau de interdependência econômica, política e tecnológica, entre os distintos agentes econômicos e países, a inovação tecnológica passa a ser um elemento chave da competitividade nacional e internacional, a ponto de se afirmar que a competitividade de uma nação depende da capacidade de inovar de suas indústrias.

O projeto HyperloopTT é fundamentalmente inovação em seu sentido mais amplo, na medida em que envolve aspectos tecnológicos de ponta, associados a uma maior eficiência sistêmica na oferta de infraestrutura de mobilidade. A dimensão ambiental do sistema o caracteriza também como um projeto ambiental. De fato, o mesmo reduz externalidades negativas dos demais modos de transportes, induz desenvolvimento econômico e, do ponto de vista energético, é autossuficiente com base em energia solar, que é totalmente renovável. Além disso, a tecnologia proposta possui um enorme poder multiplicador, uma vez que envolve diferentes setores e indústrias, como a construção civil, metal-mecânico e energia, entre outros.

Nesse contexto, o presente estudo visa avaliar o impacto técnico, socioeconômico, financeiro e ambiental da implantação do HyperloopTT na rota Porto Alegre – Serra Gaúcha. O foco do estudo é compreender os fundamentos da operação de um serviço HyperloopTT a ser implementado na rota, tendo em vista que o desenvolvimento desse serviço valoriza a economia brasileira, do estado do Rio Grande do Sul e dos municípios direta ou indiretamente impactados pelo projeto. O corredor Porto Alegre–Serra Gaúcha se destaca como região de importante economia industrial, serviços, educação superior, serviços de saúde e turismo, tendo seu desenvolvimento drasticamente afetado pelo projeto proposto, que se caracteriza como uma alternativa de viagem real e eficiente para este corredor.

1.2. Finalidade e objetivo

Este estudo fornecerá às autoridades do estado do Rio Grande do Sul, à HyperloopTT Transportation Technologies, Inc. e a outras partes interessadas no projeto, um entendimento básico sobre:

- Antecedentes e história que sustentam o desenvolvimento do Corredor Porto Alegre – Serra Gaúcha;
- Via potencial e alternativas de construção para o corredor;
- Mercado de viagens intermunicipais no ambiente de viagens atual e futuro projetado;
- Custos de capital e operacionais do serviço HyperloopTT;
- Benefícios financeiros e econômicos que seriam derivados da implementação do sistema.

O estudo avalia a viabilidade de desenvolvimento da implantação do HyperloopTT no que diz respeito à sua necessidade, custos de capital; custos de operação e manutenção; viagens e receita; relações operacionais e análise de custo-benefício; e os benefícios econômicos para a comunidade.

1.3. Escopo do projeto

A abordagem do estudo fornece uma análise totalmente documentada da oportunidade associada ao desenvolvimento do corredor Porto Alegre–Serra Gaúcha. A abordagem identifica o Caso de Negócio para o desenvolvimento do corredor em termos financeiros e econômicos, incluindo uma avaliação das partes interessadas e benefícios para a comunidade. As principais entregas incluem:

- Uma análise abrangente do mercado de viagens intermunicipais para os anos base e previstos;
- Uma avaliação de rotas e estações potenciais com base na análise de opções existente e histórica;
- Uma revisão dos tempos de viagem;
- Análise financeira e econômica de opções potenciais e sua capacidade de atender à legislação local.
- Uma avaliação dos benefícios da comunidade para fornecer informações às partes interessadas e grupos da comunidade para identificar os prós e contras do projeto.
- Programa e processo de públicos de interesse e stakeholders.

1.4. Processo de estudo

O estudo consiste nas análises da inserção do HyperloopTT no corredor de mobilidade entre Porto Alegre e a Serra Gaúcha considerando a topografia da região e demais elementos que permitem concluir pela melhor escolha dos locais específicos para a implantação o sistema. Também são realizadas avaliações sobre suas estações e identificação de locais potenciais e equipamentos de manutenção necessários.

Quanto a análise da demanda o estudo inclui o desenvolvimento de um modelo abrangente de demanda de viagens baseado nos resultados de uma pesquisa de Preferência Declarada, em dados socioeconômicos recentes, volumes de tráfego e dados de rede atualizados para testar a resposta provável do número de passageiros às melhorias do serviço ao longo do tempo. As estimativas de demanda de viagens e receita, desenvolvidas usando o sistema de modelagem de demanda TRANSCAD, são sensíveis ao propósito da viagem, frequências de serviço, tempos de viagem, tarifas, preços de combustível, congestionamento e outros atributos de viagem.

Um plano operacional detalhado foi desenvolvido e refinado, aplicando a tecnologia HyperloopTT e melhorias de infraestrutura para avaliar os tempos de viagem para cada alternativa de rota desenvolvida. As características do serviço são consideradas para embasar e complementar as previsões de demanda de viagens, combinar a oferta e a demanda e estimar os custos operacionais.

1.5. Equipe técnica

O estudo foi produzido por professores e pesquisadores do Laboratório de Sistemas de Transportes – LASTRAN, do Departamento de Engenharia de Produção e Transportes da Escola de Engenharia da Universidade Federal do Rio Grande do Sul – UFRGS. Professores e Pesquisadores de outras unidades da UFRGS e especialistas nos temas correlatos ao estudo também fizeram parte da equipe.

1.6. Estrutura do Estudo

O estudo está organizado da seguinte forma:

Após a seção de introdução, na seção 2, é apresentada a tecnologia HyperloopTT e a sua abordagem para o desenvolvimento de corredores de transporte.

A seção 3 apresenta as características socioeconômicas do corredor Porto Alegre–Serra Gaúcha, e na seção 4 é apresentada a avaliação da geometria da rota e as estimativas preliminares de custos e tempos de viagem.

Na seção 5 são analisadas as necessidades energéticas para suprir o sistema.

Nas seções 6 e 7 são empreendidas análises da demanda, considerando os modos e parâmetros de transporte, para passageiros e carga, respectivamente.

Nas seções 8 e 9 são apresentadas as análises econômica e financeira, respectivamente. Nessas são apresentados em detalhe os custos, benefícios e receitas considerados na análise.

Finalmente, na seção 10 os principais resultados são destacados. Entre os vários apêndices apresentados ao final do relatório, encontra-se também o Apêndice L, uma análise do *timeline* necessário para a aprovação dos vários projetos junto às autoridades públicas, necessários para que o projeto possa ser implementado.

2. Tecnologia HyperloopTT

A ideia básica do HyperloopTT foi apresentada em um artigo inicial (white paper) lançado por Elon Musk em 2013. Desde então, várias empresas independentes, incluindo a HyperloopTT Transportation Technologies (HTT), foram estabelecidas para desenvolver o conceito.

O conceito HyperloopTT é baseado em cápsulas individuais funcionando em tubos selados, que são mantidos a uma pressão muito baixa (cerca de 1 milibar) por uma série de bombas. Uma almofada de ar de alta pressão sustenta as cápsulas sem a necessidade de trilhos convencionais ou levitação magnética. Esta almofada é gerada por um compressor, auxiliado por efeitos aerodinâmicos do movimento da cápsula por meio do pouco ar que resta no túnel. O mesmo compressor é usado para sugar o ar da parte frontal da cápsula, que é então expelido pela parte traseira, eliminando o aumento de pressão ao percorrer o tubo e auxiliando na propulsão.

O sistema de transporte intra e interurbano baseado em tubo viaja em velocidades compatíveis com o sistema aeroviário com segurança, eficiência e sustentabilidade, conforme figura a seguir.

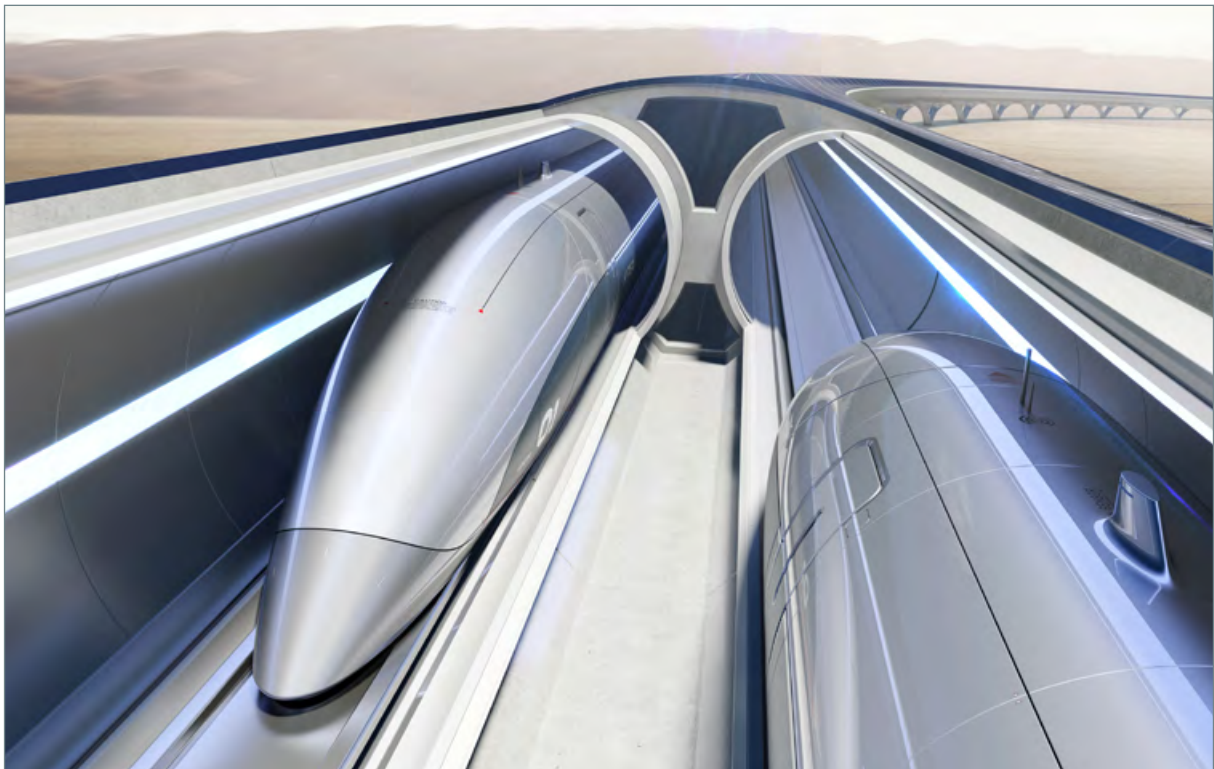


Figura 1 - Visão geral do HyperloopTT



Fonte: TEMS (2019)

Figura 2 - Tecnologia em escala real do HyperloopTT

As cápsulas de passageiros e de carga levitam dentro do tubo usando tecnologia magnética passiva de última geração e um motor elétrico linear. Ao criar um ambiente de baixa pressão dentro do tubo usando tecnologia de vácuo, o arrasto aerodinâmico é consideravelmente reduzido. Isso permite não apenas altas velocidades, mas também uma forma mais segura, limpa e silenciosa de transporte com expressiva eficiência energética. A tecnologia em escala real do HyperloopTT é apresentada na figura a seguir.

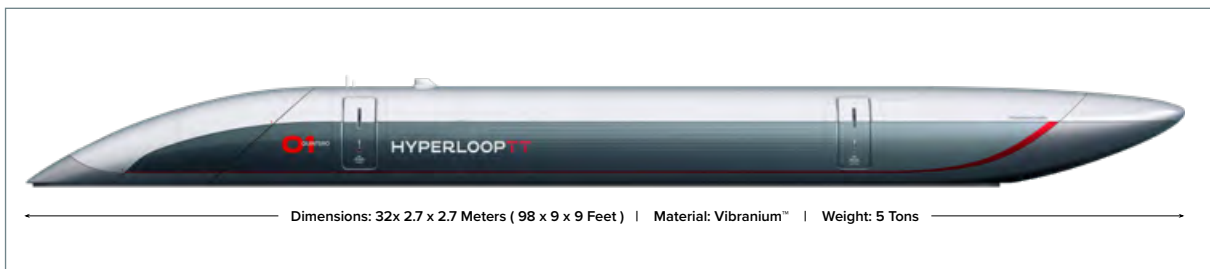
2.1. Tubo, cápsula e sistema de vácuo

O design do Sistema HyperloopTT visa integrar a acessibilidade em todo o processo. Estações, cápsulas e infraestrutura linear são projetadas para acomodar passageiros com malas ou outras bagagens de mão. As cápsulas incluem sistemas de bordo e mobiliário internos projetados para maximizar a segurança dos passageiros, a experiência de viagem e o conforto.

As cápsulas pressurizadas HyperloopTT são semelhantes em tamanho a uma pequena aeronave comercial sem asas. Essas são desenhadas e projetadas para velocidades ultra-altas usando materiais de última geração e recursos de segurança. A HyperloopTT desenvolveu o Vibranium™, material inteligente com sensores embutidos entre fibra de carbono e pele da fuselagem para monitorar e transmitir informações críticas sobre temperatura, estabilidade e integridade, de modo instantâneo e sem fio.

O sistema elétrico da cápsula aceita energia do sistema de energia primário, armazena energia para backup de emergência e transfere energia para vários sistemas auxiliares (por exemplo: iluminação, sistema de entretenimento, etc.). O sistema conta com baterias recarregáveis integradas que fornecem alimentação aos sistemas de cápsulas. As cápsulas terão energia extra e suporte de vida na cápsula caso a viagem seja prolongada, enquanto várias opções de evacuação para emergências dentro da cápsula, tubo ou sistema operacional são consideradas.

A Figura 3 mostra a fuselagem, que é o invólucro externo e o esqueleto estrutural da cápsula. Essa mantém o limite de pressão entre o ambiente de vácuo do tubo e a cabine de passageiros.



Fonte: HyperloopTT

Figura 3 – Protótipo de cápsula

Da mesma forma que no projeto dos Grandes Lagos (TEMS, 2019), a segurança e o conforto serão garantidos pelo uso das melhores práticas de transporte ferroviário e aeroespacial. A experiência de condução é personalizada minimizando a taxa de alteração na aceleração (solavanco) e evitando o acoplamento de movimentos axiais e rotacionais. A experiência e o conforto do passageiro são otimizados por meio do uso de janelas de realidade aumentada.

2.2. Levitação e propulsão magnética passiva

A tecnologia proprietária de levitação magnética passiva da HyperloopTT, chamada Inductrack™, é revolucionária para o transporte de alta velocidade. Os ímãs são dispostos em uma configuração de matriz de Halbach, permitindo a levitação da cápsula sobre uma trilha sem energia, mas condutiva, conforme apresentado na Figura 4. À medida que as cápsulas se movem no ambiente de baixa pressão. Elas usam uma quantidade relativamente pequena de energia durante o trajeto, graças às forças de arrasto reduzidas.

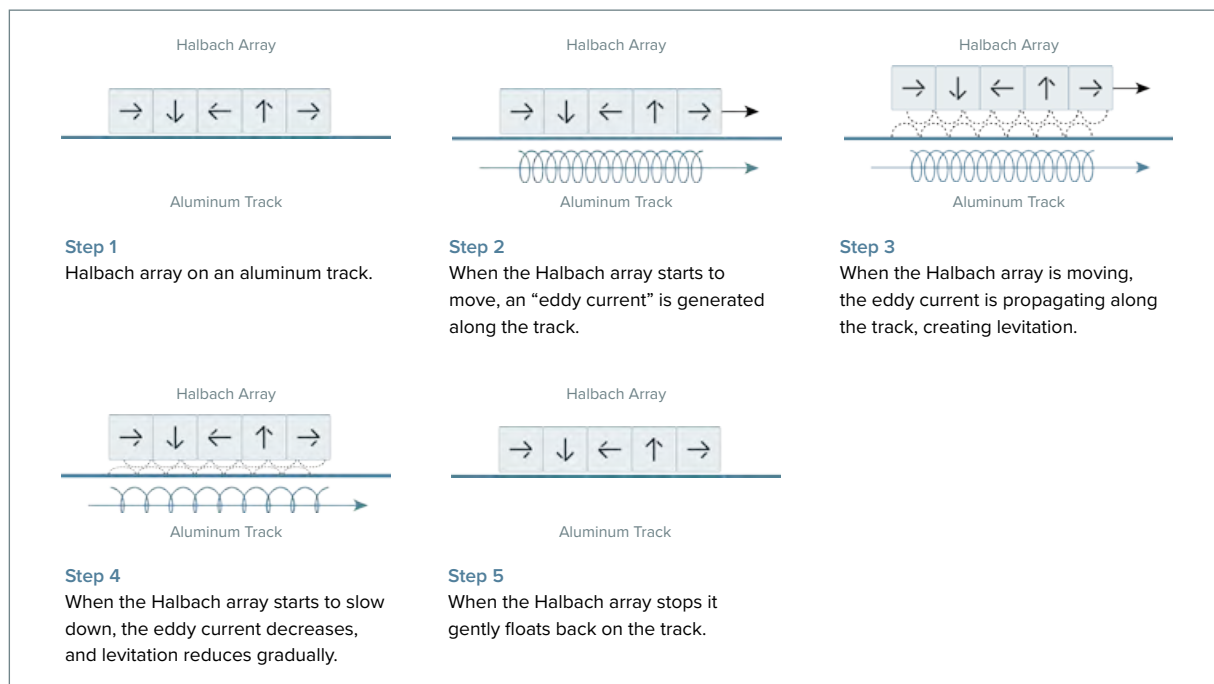


Figura 4 - Configuração de matriz Halbach

No evento da ocorrência de falha de energia, a cápsula irá desacelerar automaticamente e se assentar nas rodas auxiliares em baixa velocidade. O sistema Inductrack™ foi testado e validado em uma trilha de levitação passiva em escala real. O HyperloopTT então aprimorou a tecnologia e a otimizou para um ambiente de baixa pressão por meio de testes no protótipo.

2.3. Infraestrutura linear e túneis HyperloopTT

A infraestrutura linear é o corredor de transporte pelo qual as cápsulas de passageiros viajam entre as áreas das estações. Trata-se de um invólucro de tubos construído em nível que inclui um ambiente de pressão reduzida e guia de levitação e propulsão. O tubo fornece pontos de fixação para sistemas de comunicação, energia e segurança. Esse pode ser elevado, com apoio em pilares, ou subterrâneo, usando configurações de *cut and cover* ou túnel profundo. Princípios típicos da engenharia civil são empregados no projeto da capacidade estrutural do tubo, mesmo considerando a pressão reduzida dentro do mesmo.

A seção de via elevada é usada quando a diferença de elevação entre o perfil planejado e o solo é inferior a 19,8 metros (65 pés), possuindo uma estrutura contínua com vão típico de 30,5 metros (100 pés) de comprimento, conforme representação da Figura 5. Além disso, a estrutura do tubo pode ser curva e apresentar superelevação para atender aos requisitos de aceleração geométrica e lateral.

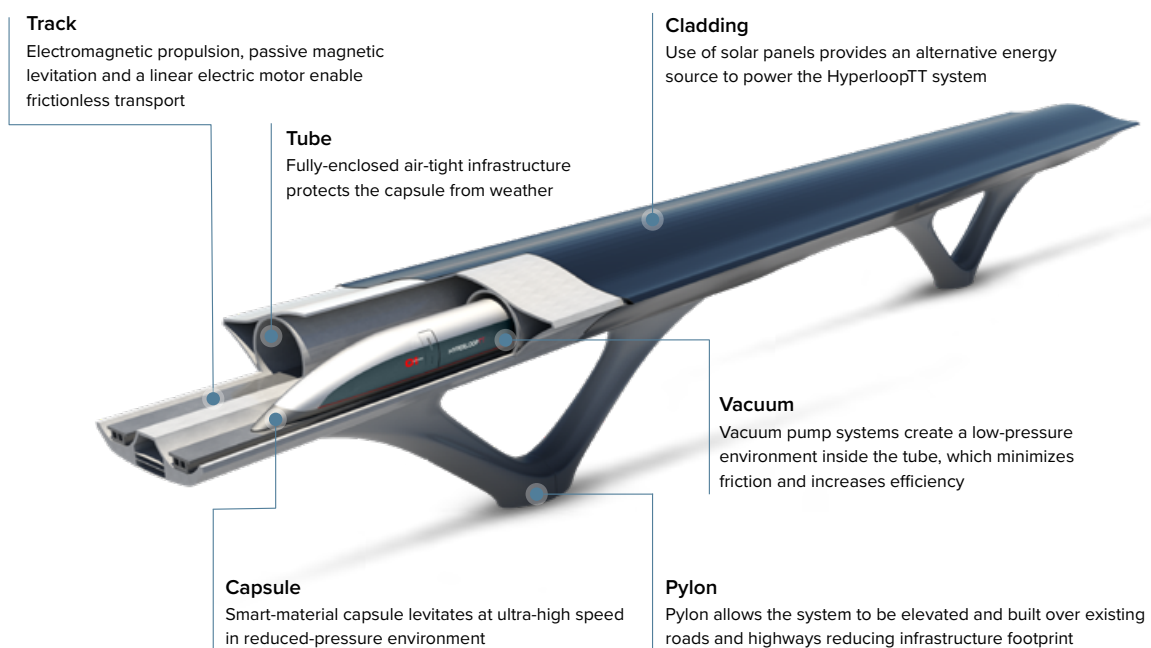


Figura 5 - Infraestrutura elevada do HyperloopTT

Ao contrário da seção de via elevada usual, os túneis são apropriados para áreas de terreno ondulado ou montanhoso, ou em situações em que seja necessário passar por áreas urbanas construídas. Esses permitem reduzir inclinações não razoáveis, manter um perfil suave com longas curvas verticais e horizontais e evitar perturbações da superfície e impactos visuais. Para o caso de túneis perfurados, esses precisam ter pelo menos aproximadamente 9 metros (30 pés) de cobertura para que uma máquina de perfuração de túnel (TBM) possa ser usada. Profundidades mais rasas do que essas seriam construídas usando técnicas de *cut and cover* e outros métodos de

configuração de transição. Em áreas urbanas, a construção utilizando esta técnica normalmente requer a instalação de paredes de contenção subterrâneas para reforçar ambos os lados de uma escavação vertical e evitar desmoronamentos. Depois disso, a área entre as paredes é escavada e são instaladas travessas para reforçar os muros de contenção.

Enquanto os túneis rodoviários e ferroviários tendem a ter grandes diâmetros, o HyperloopTT usa túneis muito menores. Além disso, em intervalos de cerca de 9,7 a 11,3 quilômetros (6 a 7 milhas), uma câmara subterrânea e uma ligação cruzada entre os tubos serão construídas para permitir a evacuação de emergência das cápsulas e o acesso aos tubos para o pessoal de emergência e manutenção.

Em relação à função do tubo para o sistema de vácuo, os princípios e equipamentos típicos de projeto desse sistema são empregados para manter o limite de pressão. Um sistema de fole é usado para acomodar a expansão e contração térmica onde necessário e válvulas de isolamento são usadas para seccionar comprimentos de tubo para repressurização.

2.4. Estações HyperloopTT

As estações HyperloopTT são o ponto focal para onde convergem todas as funções e tecnologias de transporte. O planejamento da estação considera a experiência completa do passageiro, abrangendo acesso, proteção, segurança, movimento, amenidades e serviços. Todos esses elementos, em apoio à experiência do passageiro, são entregues em um design sustentável e com eficiência energética. Além disso, as estações HyperloopTT devem combinar os melhores atributos de planejamento de instalações de passageiros de aeroportos, sistemas de transporte em massa, trens de alta velocidade e outras tecnologias de transporte, proporcionando um alto nível de segurança, eficiência, economia e velocidade de transporte, usando experiências prévias desses diferentes modos de transporte.

De forma mais específica, os acessos às plataformas de embarque e desembarque das estações permitem a transferência eficiente de pessoas e mercadorias do ambiente da estação para o ambiente da cápsula antes da partida e após a chegada. A recarga rápida da bateria e do resfriamento ocorre durante o processo de desembarque e embarque.

A estações propostas são inspiradas na criação de uma geometria central para a orientação do passageiro. Conforme as cápsulas chegam em um nível superior, os passageiros irão embarcar e desembarcar a partir de uma área principal central em que existem cafés, lojas e demais serviços. Os embarques e desembarques são realizados em plataformas, onde cada uma terá seu próprio sistema de check-in e segurança, permitindo que as cápsulas alcancem uma frequência de embarque / desembarque de até 1 minuto. Esses fluxos dinâmicos de passageiros e de cápsulas são essenciais para a eficácia do HyperloopTT.

Conceitualmente, as estações guardam semelhança com estações de metrô, convidando os usuários a interagir com a paisagem projetada para se conectar harmoniosamente com as conexões com o transporte público e o ambiente que o envolve. Além disso, cápsulas de diferentes tamanhos estarão à disposição dos usuários dependendo da demanda e função. Também estão previstas plataformas para o embarque e desembarque de cargas.

A concepção das estações parte de princípios e elementos fundamentais, como:

- Permeabilidade
- Forma orgânica
- Estrutura leve
- Conectividade
- Perpetuação da tecnologia
- Placas fotovoltaicas
- Sustentabilidade

A proposta inclui a quebra de rigidez em relação ao contexto urbano. A forma orgânica da estação se difere do padrão rígido da malha já consolidada das cidades com formas mais retas. Nesse sentido, o design inclui a materialização da forma diamante e da modularidade, tendo como constante a busca de curvas suaves e a caracterização do infinito, através da forma sem início e fim definido.

Além da utilização de materiais ambientalmente amigáveis, as estações farão a reutilização de águas pluviais, além da plena utilização da ventilação e aproveitamento direto da luz solar para prover conforto térmico e minimizar a necessidade de refrigeração artificial. Com isso, a estação traz a leveza e a casualidade das formas sem padrão, o que condiz com as formas encontradas na natureza. A Figura 6 apresenta o esboço inicial da estação junto ao aeroporto Salgado Filho, em Porto Alegre.

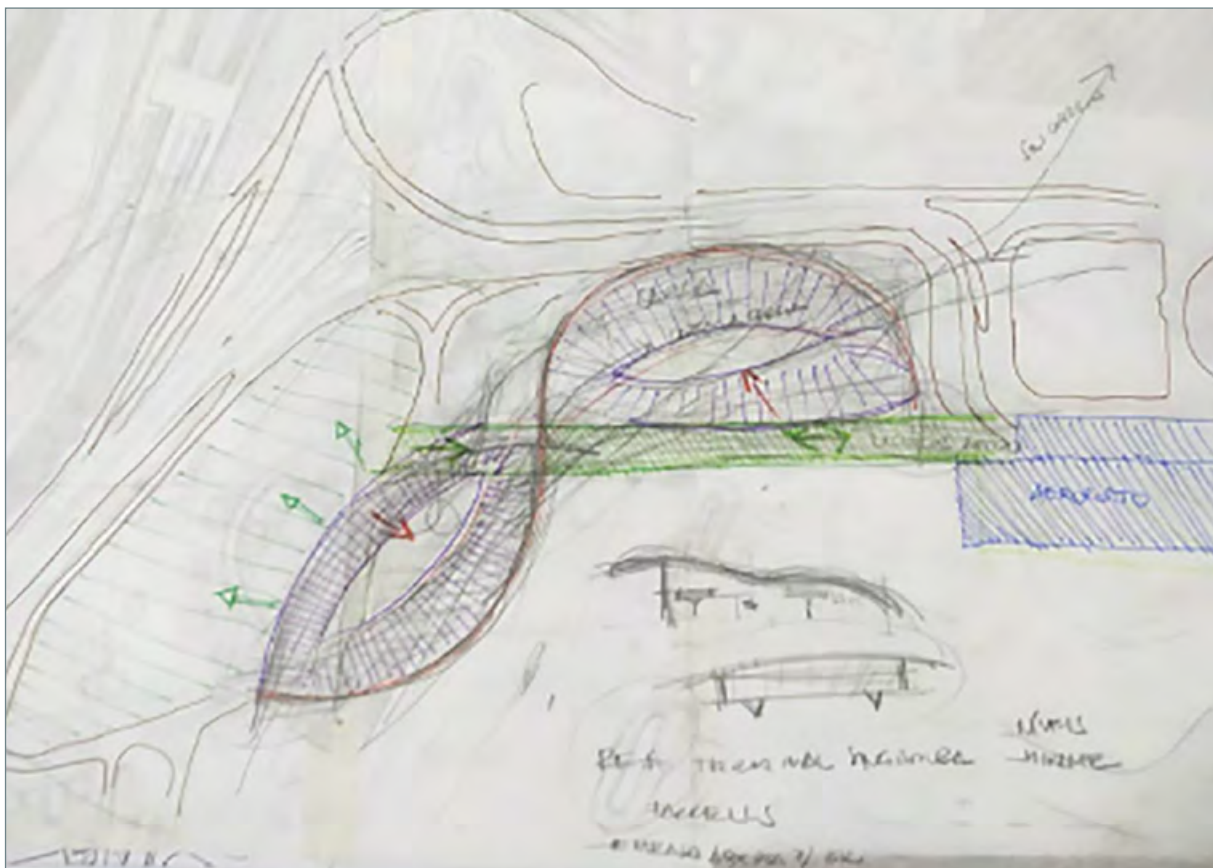


Figura 6 - Esboço inicial da estação junto ao aeroporto Salgado Filho – Porto Alegre

A partir do esboço inicial apresentado anteriormente, as Figuras 7, 8, 9, 10 e 11 apresentam várias vistas externas da estação de Porto Alegre a partir de um primeiro tratamento computacional.

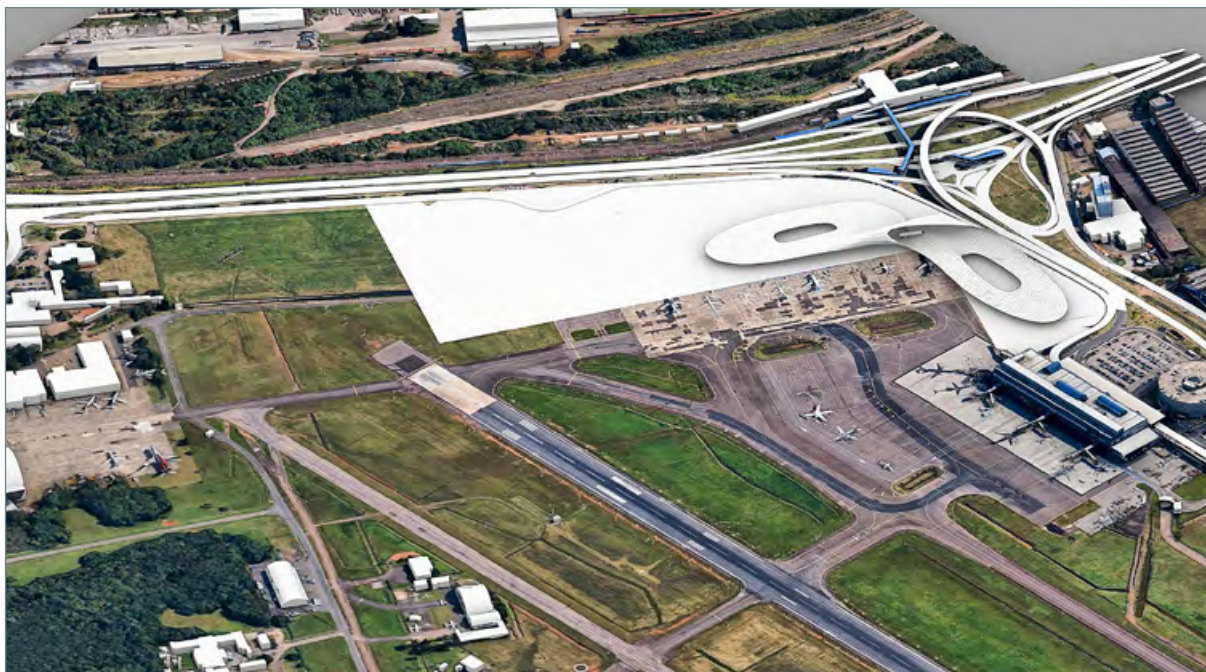


Figura 7 - Vista externa da estação - A

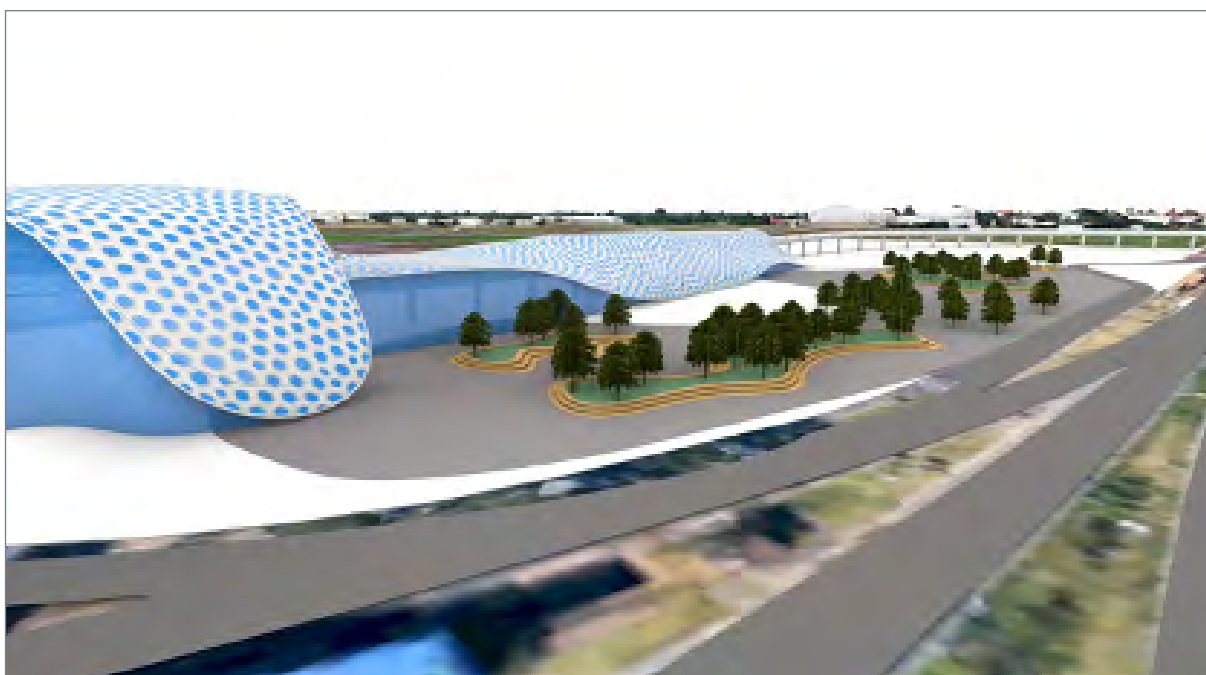


Figura 8 - Vista externa da estação - B

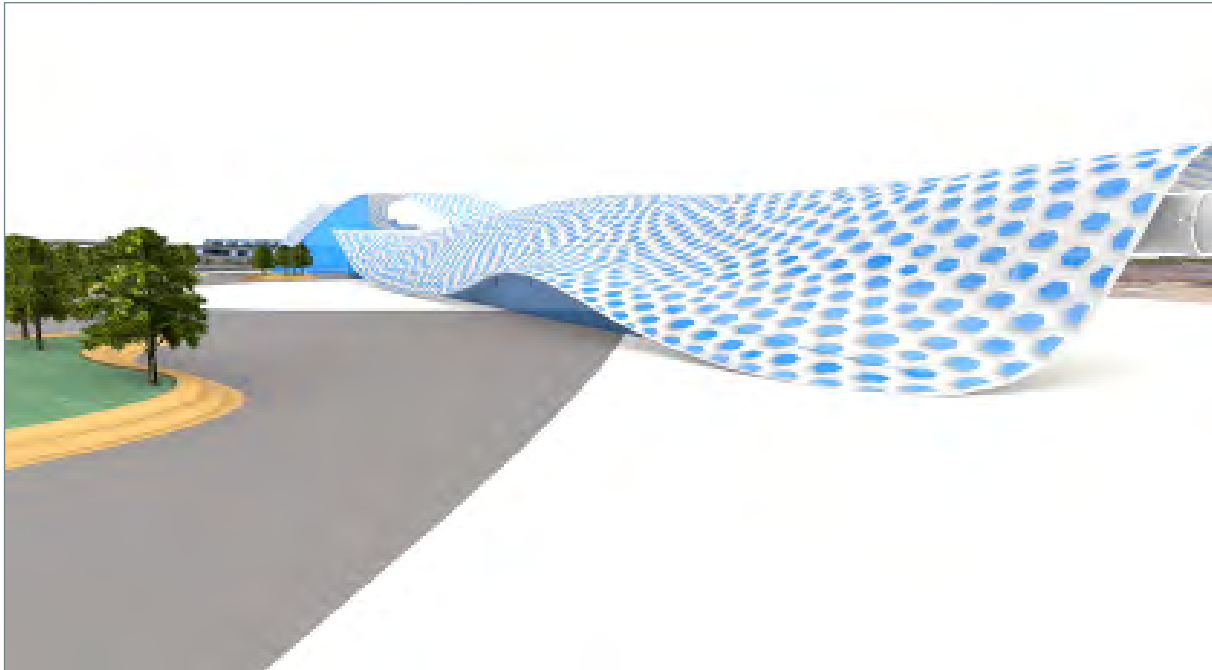


Figura 9 - Vista externa da estação - C

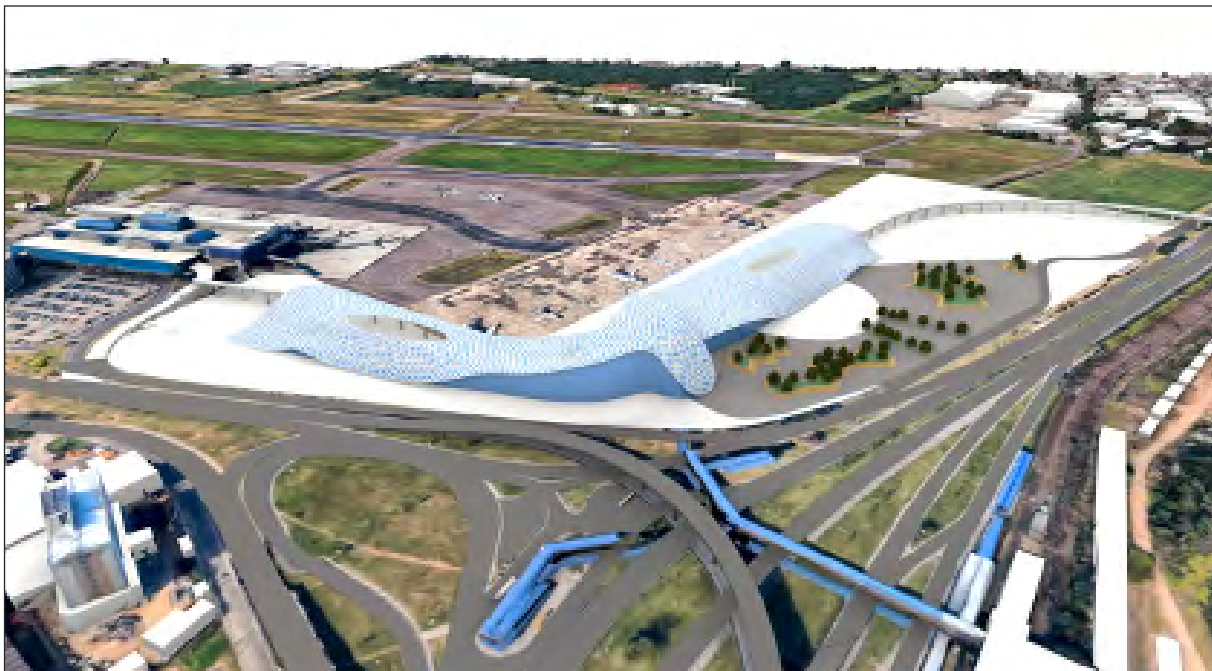


Figura 10 - Vista externa da estação - D

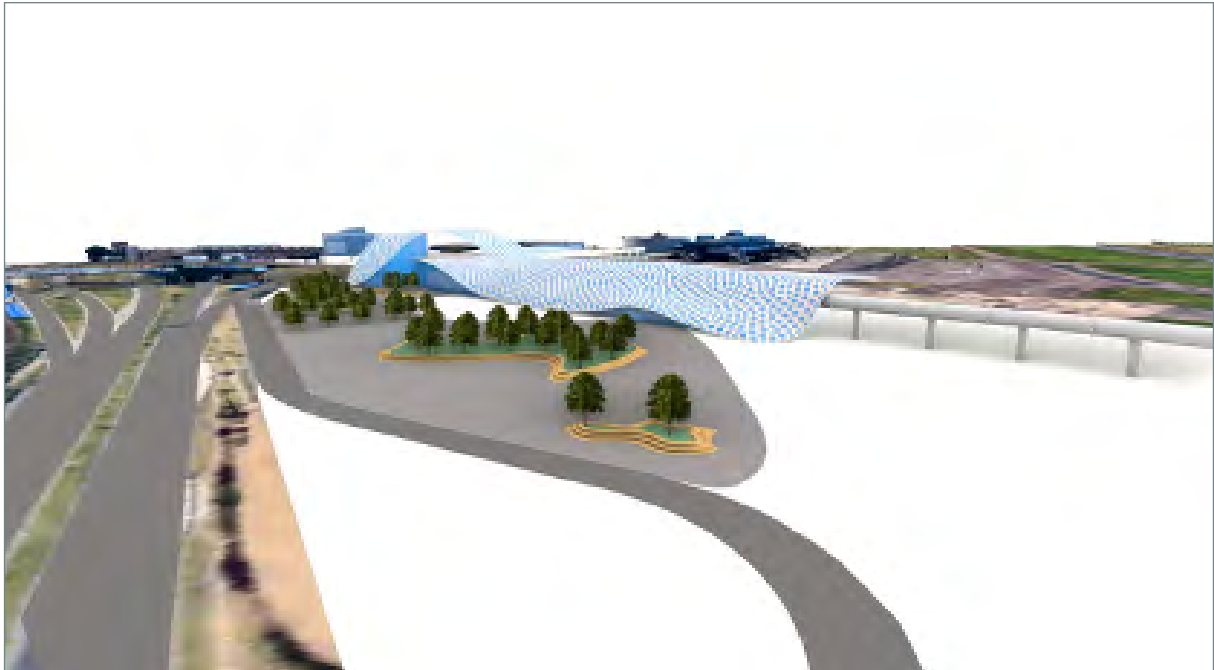


Figura 11 - Vista externa da estação - E

Por fim, as Figuras 12, 13, 14 e 15 apresentam um detalhamento gráfico final para a parte externa da estação, enquanto as Figuras 16, 17, e 18 apresentam o mesmo nível de detalhamento para a parte interna da estação.



Figura 12 - Vista externa da estação - F



Figura 13 - Vista externa da estação - G



Figura 14 - Vista externa da estação - H



Figura 15 - Vista externa da estação - I



Figura 16 - Vista interna da estação - A

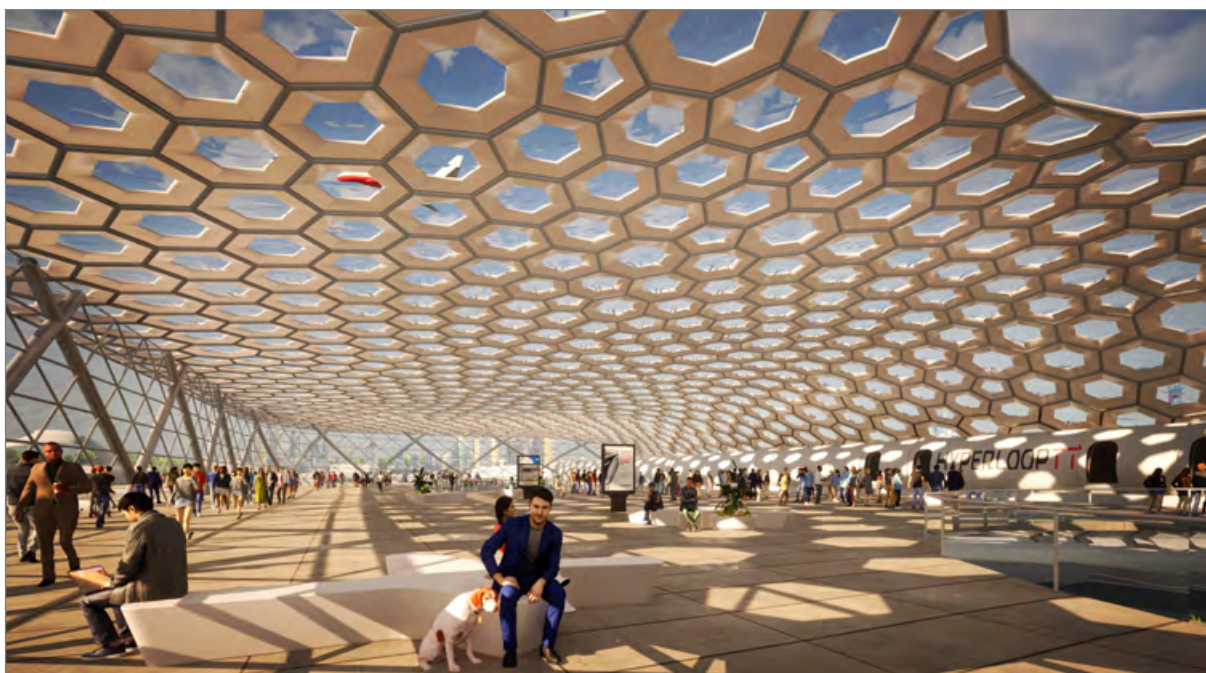


Figura 17 - Vista interna da estação - B



Figura 18 - Vista interna da estação - C

3. Características básicas da região

3.1. Perspectivas socioeconômicas do Brasil

O Brasil é o sexto país mais populoso do planeta e responde por um terço da população da América Latina. A maioria dessa população concentra-se ao longo da costa oriental, e a capital Brasília se localiza na parte central do país. Ademais, as cidades prósperas do Brasil, os enormes complexos hidrelétricos e industriais, as minas e as terras férteis fazem dele uma das maiores economias do mundo. No entanto, apesar de ser uma democracia robusta, o Brasil ainda convive com enormes desigualdades sociais, problemas ambientais e crises financeiras intermitentes.

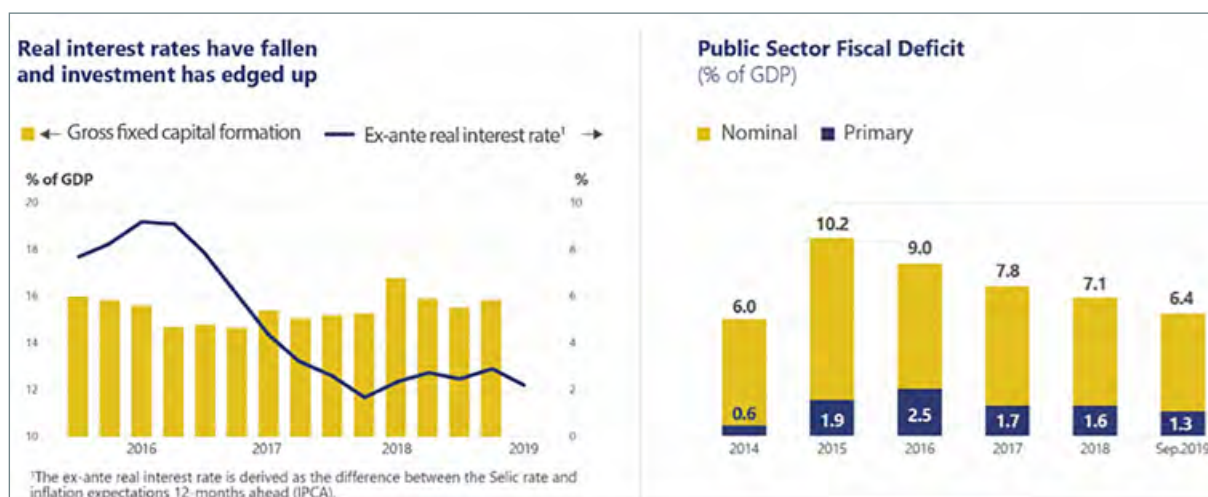
Nesse contexto, o Brasil é considerado uma economia emergente avançada, sendo um dos maiores celeiros do mundo e possuindo o nono maior Produto Interno Bruto (PIB) do mundo em valores nominais e oitavo em Paridade de Poder de Compra (PPC). O país é classificado como uma economia de renda média-alta pelo *World Bank* (2021), sendo um país recentemente industrializado, com a maior parcela da riqueza global da América Latina. O Brasil é uma potência regional e também é considerado uma grande ou média potência nas relações internacionais, sendo classificado como uma potência emergente e uma superpotência em potencial. Uma síntese dos dados econômicos do Brasil que justificam essas análises é apresentada na Tabela 1, para os anos de 2015 a 2019.

Tabela 1 - Dados da economia do Brasil

Indicadores	Ano				
	2015	2016	2017	2018	2019
População (milhões)	203	205	207	208	210
PIB per capita (USD)	8,827	8,774	9,973	9,04	8,76
PIB (USD bn)	1,796	1,8	2,063	1,885	1,839
Crescimento Econômico (PIB, variação anual em %)	-3.5	-3.3	1.3	1.3	1.1
Demanda Doméstica (variação anual em %)	-6.3	-4.8	1.5	1.9	1.7
Consumo (variação anual em %)	-3.2	-3.8	2.0	2.1	1.8
Investimento (variação anual em %)	-13.9	-12.1	-2.6	3.9	2.2
Produção Industrial (variação anual em %)	-8.3	-6.6	2.9	0.8	-1.1
Vendas do varejo (variação anual em %)	-4.2	-6.6	2.5	2.3	1.8
Taxa de desemprego	8.5	11.5	12.7	12.3	11.9
Equilíbrio Fiscal (% do PIB)	-10.2	-9.0	-7.8	-7.1	-5.9
Dívida Pública (% do PIB)	65.5	69.8	73.7	76.5	75.8
Fundos (variação anual em %)	6.8	4.8	5.5	10.4	8.7
Taxa de inflação (IPC, variação anual em %, eop)	10.7	6.3	2.9	3.7	4.3
Taxa de inflação (CPI, variação anual em %)	9.0	8.7	3.4	3.7	3.7
Inflação (PPI, variação anual em %)	11.3	7.7	-2.5	8.8	9.6
Política da taxa de juros (%)	14.25	13.75	7.00	6.50	4.50
Bolsa de valores (variação anual em %)	-13.3	38.9	26.9	15.0	31.6
Taxa de câmbio (vs USD)	3.96	3.25	3.31	3.88	4.02
Taxa de câmbio (vs USD, aop)	3.34	3.48	3.19	3.65	3.95
Conta corrente (% do PIB)	-3.0	-1.3	-0.7	-2.2	-2.7
Balanço da conta corrente (bi USD)	-54.5	-24.2	-15.0	-41.5	-49.5
Balança Comercial (bi USD)	19.5	47.6	67.0	58.0	48.0
Exportações (bi USD)	191	185	218	239	225
Importações (bi USD)	171	138	151	181	177
Exportações (variação anual em %)	-15.1	-3.0	17.5	9.9	-5.8
Importações (variação anual em %)	-25.2	-19.8	9.6	20.2	-2.1
Reservas internacionais (USD)	356	365	374	375	357
Dívida externa (% do PIB)	18.6	18.1	15.4	17.0	17.6

Fonte: Focus Economics (2021)

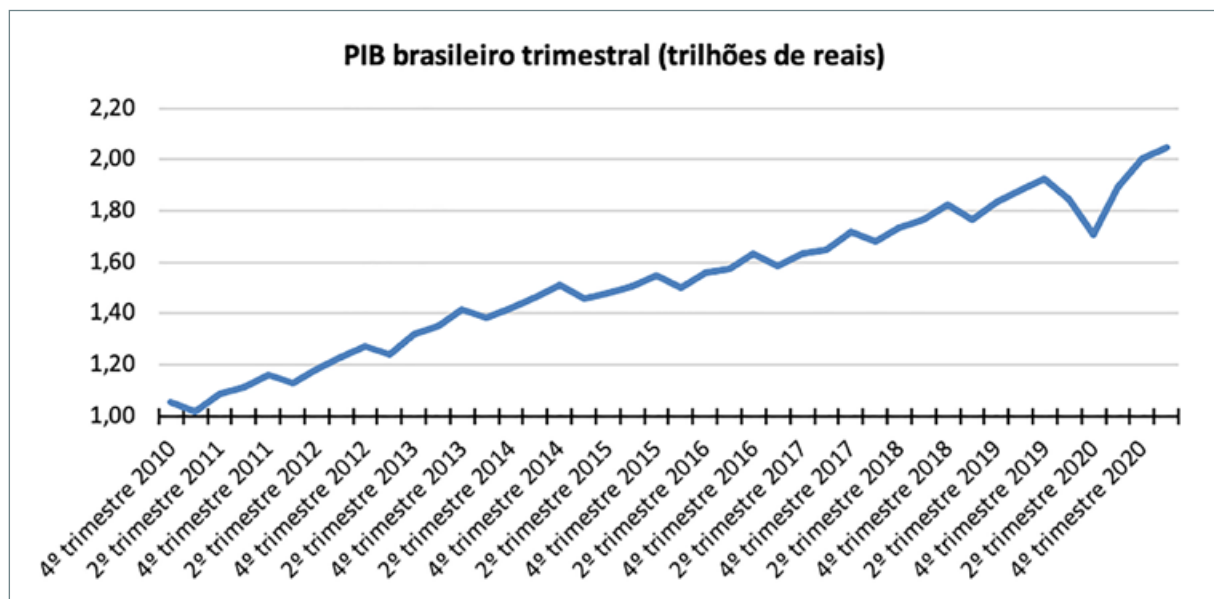
Nos últimos anos, o Brasil vem adotando medidas para promover a simplificação institucional e regulatória, fortalecendo a segurança jurídica e reduzindo a burocracia. Só em 2019, mais de 2.000 decretos foram revogados para simplificar o acesso à legislação brasileira. A agenda econômica do governo busca dar continuidade ao ajuste fiscal, onde as economias geradas por diversas medidas implementadas já contribuem para os resultados positivos. Um exemplo é a redução do déficit fiscal do setor público, que atingiu o menor nível dos últimos 5 anos, com queda nominal de 9% e queda primária em torno de 19%, conforme apresentado na figura a seguir.



Fonte: OECD e Secretaria de Assuntos Economicos Internacionais – Ministério da Economia

Figura 19 – Alguns números da economia brasileira

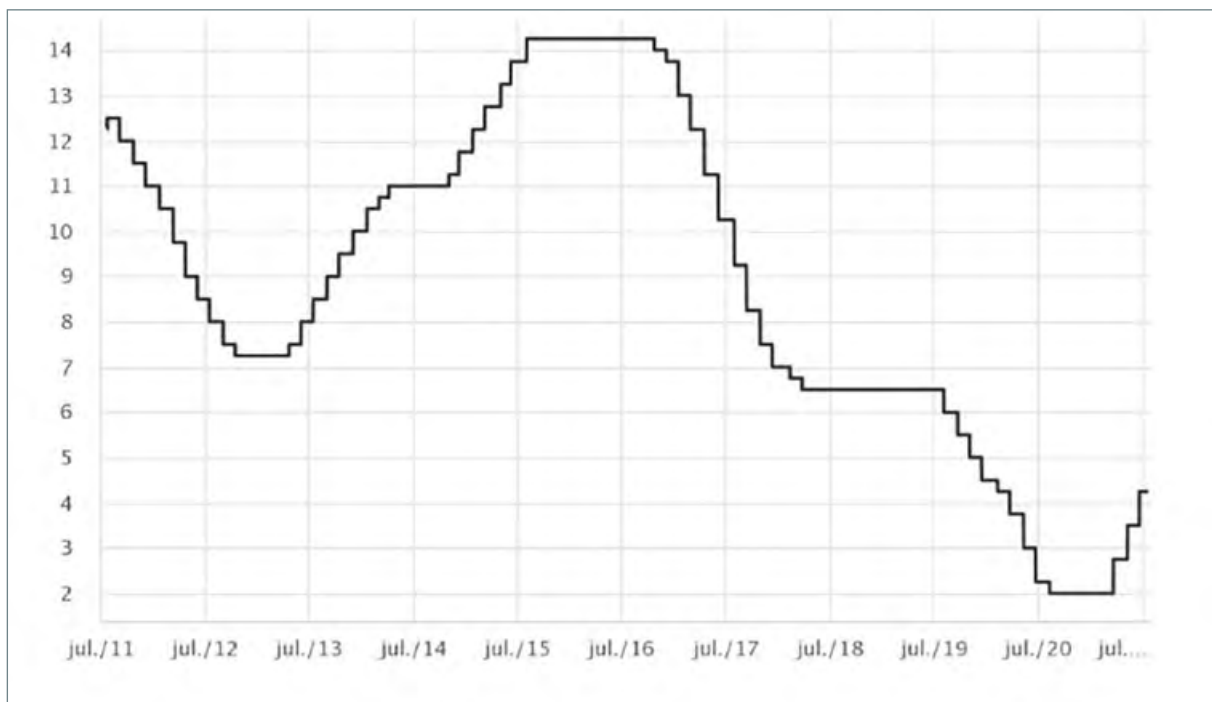
Depois de passar por um período de recessão substancial entre 2015 e 2016, a economia brasileira está se recuperando gradualmente. Após uma série de reduções nas revisões das projeções do PIB desde o início da recuperação econômica iniciada no primeiro trimestre de 2017, todas as revisões feitas pelo Ministério da Economia nas projeções do PIB do Brasil construíram um padrão ascendente durante 2019 e uma tendência ascendente para 2020. Esses números foram afetados pela crise do coronavírus, mas estarão voltando à sua trajetória original com a redução da crise sanitária, conforme se observa na imagem a seguir para o PIB brasileiro trimestral dos últimos dez anos.



Fonte: IBGE

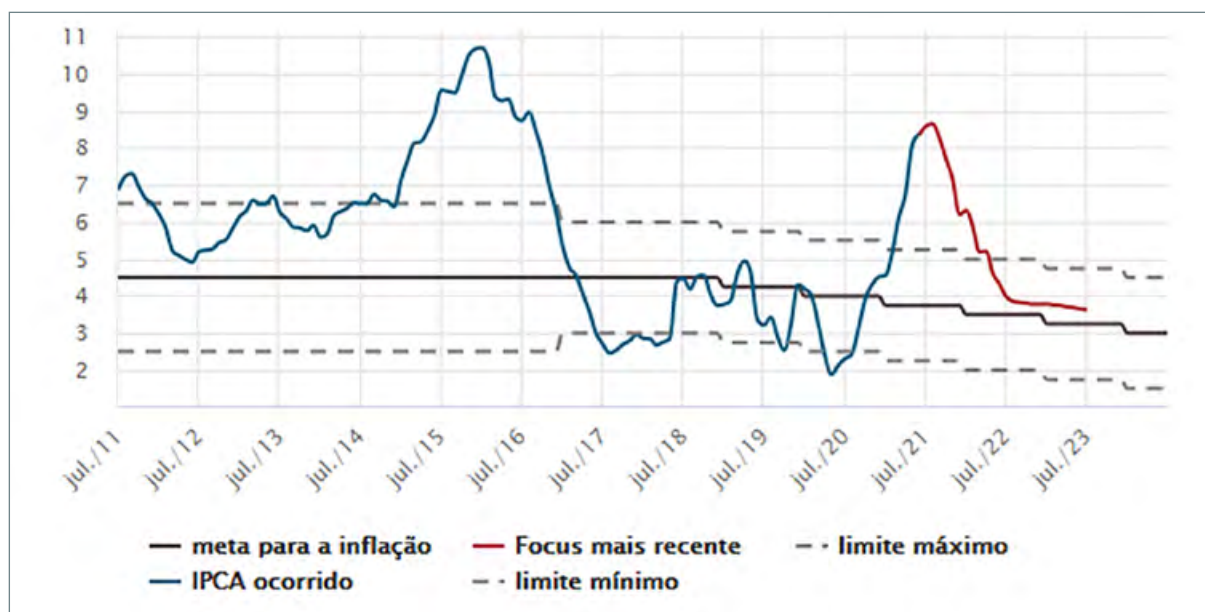
Figura 20 - PIB brasileiro trimestral

Em relação à inflação, esta encontra-se sob controle, com taxa de 4,31% em 2019 e 4,52% em 2020, apesar da pandemia de covid 19. O principal instrumento de política monetária utilizado pelo Banco Central para controlar a inflação é a Selic, taxa básica de juros da economia. Ela influencia todas as taxas de juros do país, como as taxas de juros dos empréstimos, dos financiamentos e das aplicações financeiras. A Selic refere-se à taxa de juros apurada nas operações de empréstimos de um dia entre as instituições financeiras que utilizam títulos públicos federais como garantia. O BC opera no mercado de títulos públicos para que a taxa Selic efetiva esteja em linha com a meta da Selic definida na reunião do Comitê de Política Monetária do BC (Copom). A Figura 21 apresenta as metas para a Selic, enquanto a Fonte: Banco Central (2021)



Fonte: Banco Central (2021)

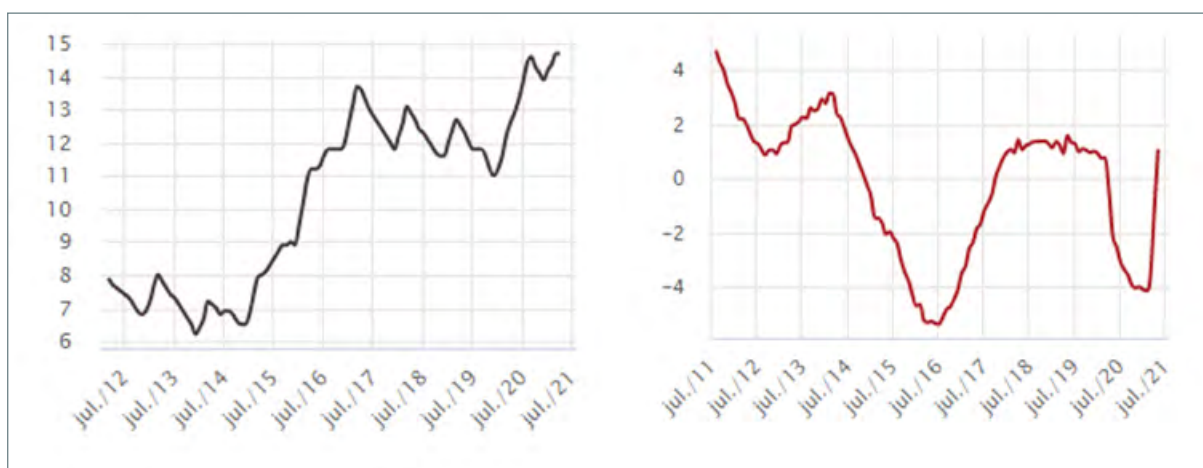
Figura 21 - Meta para a taxa Selic (%a.a.)



Fonte: Banco Central (2021)
 Figura 22 – Preços – IPCA e metas para inflação (var.% em 12 meses)

A pandemia da Covid-19 expôs o Brasil a um desafio sanitário e econômico sem precedentes, que exigiu medidas de impacto social para desacelerar a disseminação do vírus e limitar o seu impacto na capacidade do sistema de saúde. A Covid-19 atingiu o Brasil quando o país ainda se recuperava da recessão de 2014-16, enfraquecendo a recuperação econômica e limitando o espaço fiscal desde o auge da recessão, em 2015-2016, com o crescimento do PIB abaixo de 2% nos anos seguintes (WORLD BANK, 2021). Além da própria pandemia, a política sanitária adotada para dar resposta à pandemia também contribuiu para forte queda da demanda externa e interna, além de limitar o abastecimento. Esse contexto trouxe incertezas à estrutura de política macroeconômica, principalmente ao cenário fiscal, o que se traduz em riscos negativos que requerem uma forte consolidação fiscal e a adoção de reformas estruturais em 2021 (WORLD BANK, 2021).

Com vistas a proteger a população mais vulnerável, o Governo propôs um pacote fiscal amplo, direcionado e vinculado a prazos com foco na assistência social. O custo do pacote foi estimado em R\$ 815,5 bilhões (US\$156,8 bilhões), ou 11,4% do PIB de 2020. O amplo estímulo limitou a contração fiscal em 2020 a 4,1%, e espera-se que a dinâmica de recuperação impulse o crescimento a 3% em 2021 (WORLD BANK, 2021). Apesar da taxa de desocupação ainda apresentar valores altos, influenciados em parte pela pandemia, a atividade econômica começa a apresentar sinais de recuperação, conforme apresentado na Figura a seguir.



Fonte: Banco Central (2021)





Figura 23 – Taxa de desocupação (%) e atividade econômica (var. % em 12 meses)

Alcançar o equilíbrio correto entre proteger a população desfavorecida e assegurar a sustentabilidade das finanças públicas, inclusive nos níveis subnacionais, é um desafio político crucial em 2021. Segundo o *World Bank (2021)*, outro grande desafio é o apoio à transição para um modelo de crescimento mais verde e resiliente, tendo em vista que o Brasil abriga mais de 60% da área total da Floresta Amazônica, a maior floresta tropical do mundo. Isso é relevante pois apesar do país ter grande parte de recursos renováveis em sua matriz energética, a alta exposição aos riscos climáticos e o desmatamento requerem uma agenda de reformas ambiciosa para enfrentar esses desafios. Devido ao aumento nas emissões por desmatamento, o Brasil não deverá cumprir as metas da NDC (redução de 37% nas emissões de GEE até 2025 e 43% até 2030, em relação aos níveis de 2005) e precisa desenvolver uma estratégia nacional integrada de longo prazo para alcançar os seus objetivos climáticos.

Retornando a discussão para o contexto econômico, a Reforma da Previdência recentemente aprovada pelo Congresso foi considerada uma conquista significativa do Governo, e um claro sinal do compromisso do Brasil com sua solvência. Após a aprovação da mesma, o grau de Credit Default Swap (CDS) do Brasil, um dos indicadores mais relevantes da credibilidade do investimento de um país, caiu em seu nível mais baixo nos últimos 6 anos. Essas perspectivas otimistas estão reanimando a confiança do mercado brasileiro e favorecendo os investimentos, que também contam com melhores condições financeiras. Conforme informado em relatório divulgado pela Conferência das Nações Unidas sobre Comércio e Desenvolvimento (UNCTAD), o Brasil recebeu

mais de US\$ 75 bilhões em investimentos estrangeiros em 2019, sendo o quarto maior destino de investimento estrangeiro do ano no mundo.

Junto com uma orientação austera, o governo brasileiro está continuamente impulsionando a agenda de reformas estruturais, conforme apresentado na Figura 24. Prevê-se que as reformas tributária e administrativa sejam encaminhadas em breve ao Congresso Nacional. De acordo com a Secretaria do Tesouro Nacional, o avanço da Agenda de Reforma do Brasil foi corroborado pela decisão da agência de classificação de risco *Standard & Poor's (S&P)* de revisar a perspectiva do rating de crédito do país de estável para positiva. Em seu relatório, a S&P mencionou as medidas de ajuste fiscal e a retomada do crescimento.

 LABOR REFORM	 PENSION REFORM	 TAX REFORM	 ADMINISTRATIVE REFORM
Reformulates the Brazilian Labor Code and modernizes labor relations.	Tackles excessive expenditures on social security and benefits.	Simplifies the Brazilian tax system and reduces tax rates.	Reduces spending with the public sector
Since its implementation, the unemployment rate has fallen slightly, and the real average income improved. There has been a considerable drop in the number of labor-related lawsuits entering the Brazilian judicial system. Between 2017 and 2019 there was a 32% reduction in the number of labor-related judicial cases.	Projected savings of BRL 0.8 trillion (USD 190bn) in 10 years, reducing social security expenditures from the equivalent to 11% of the GDP to -8,5% of the GDP from 2022 on. Changes include an increase to workers' pension contributions and the mechanism to calculate benefits.	Replacement of 5 consumption taxes for a single unified tax. The model is inspired by systems used in other countries, which gather all consumption taxation in a single value-added tax (VAT).	Most of the points converge with a World Bank study, suggesting that Brazil reduces the weight the public sector has on its expenditures. These include the reduction of public employees' initial wages to the application of performance evaluations for career progressions.

Fonte: S&P (2019)

Figura 24 - Agenda de reformas

Outro elemento importante para o crescimento e desenvolvimento econômico de um país é um ambiente favorável à investimentos. Nesse sentido, nos últimos anos o governo vem se esforçando para adotar uma regulamentação doméstica mais favorável à concorrência. Em novembro de 2019, o Governo anunciou o lançamento do Plano Mais Brasil, iniciativa voltada para o desenvolvimento de um clima de negócios mais atrativo, aumento da segurança jurídica, redução das taxas de juros, ampliação do crédito e promoção da abertura comercial. Em seguida foi lançado o Programa de Melhoria Contínua da Competitividade do Governo Federal, que visa priorizar e tomar medidas para reduzir o chamado custo Brasil, que representa o conjunto de dificuldades estruturais, burocráticas e econômicas que comprometem novos investimentos no país. Através do programa, o Governo procura dialogar com o setor privado para avaliar o impacto das regras estabelecidas e das propostas apresentadas. Assim, foi criado um canal de comunicação centralizado para receber sugestões de possíveis soluções para as barreiras do negócio.

As medidas anunciadas pelo Governo Federal retratam a tentativa de aprimorar o marco regulatório e desburocratizar, conforme apresentado na Figura 25. Isso demonstra o compromisso do poder público brasileiro de adotar os padrões internacionais de liberdade econômica e integridade na administração pública. Além disso, a adesão a tratados e acordos internacionais coloca o Brasil em uma posição que facilita sua integração econômica com outros atores globais.



Figura 25 – Melhorias na regulamentação doméstica

Nesse contexto, em 2019 foi aprovada a Nova Lei dos Órgãos Reguladores, que surgiu em resposta às recorrentes críticas levantadas por diferentes segmentos da sociedade, notadamente no que diz respeito à falta de autonomia nos processos de tomada de decisão, à utilização das agências como instrumento de fraude política e conflitos operacionais. Com sete capítulos, a nova lei busca contemplar essas demandas e estabelecer maior independência, tecnicidade e transparência dentro dos órgãos reguladores. Quanto à autonomia, o texto consagra explicitamente o caráter autônomo, apontando a ausência de subordinação hierárquica, elencando elementos relevantes que perpassam sua autonomia financeira, decisória, funcional, entre outros. Também moderniza o processo regulatório ao adotar, por exemplo, a Análise de Impacto Regulatório (AIR), que além de ser um elemento de melhoria da qualidade regulatória, demonstra seu alinhamento com as melhores práticas internacionais.

Ademais, o Governo Federal apresentou recentemente a Declaração Brasileira dos Direitos à Liberdade Econômica (Lei nº 13.874 de 2019), medida que visa mitigar o excesso de burocracia e diminuir a demora no processamento das solicitações nos órgãos públicos. A lei prevê que o Estado deve prevenir o abuso do poder regulador de forma a evitar a criação de reservas de mercado, favorecendo uns em detrimento de outros. A lei estipula ainda diversas garantias à livre iniciativa, buscando impedir que a administração pública adote medidas que retardem a inovação, aumentem os custos de transação sem demonstrar benefícios ou impeçam a entrada de novos concorrentes nacionais ou estrangeiros no mercado brasileiro.

Em conclusão, entendida como um obstáculo que historicamente retarda o crescimento da produtividade, a má infraestrutura costuma ser uma das principais reclamações do setor empresarial. Por meio de um programa denominado Programa de Parceria de Investimentos (PPI), que visa reforçar a coordenação das políticas de infraestrutura com as demandas do setor privado, o Ministério da Infraestrutura já implementou um conjunto considerável de medidas. Desde sua implantação, em 2016, o PPI já foi responsável por 172 leilões entre portos, ferrovias, rodovias e aeroportos. Em 2019, foram realizadas 30 ações pelo programa, destacando-se como uma das prioridades da agenda de políticas do Governo.

3.2. Região Sul e Estado do Rio Grande do Sul

Embora formada por apenas três estados – Paraná, Santa Catarina e Rio Grande do Sul – e ocupando apenas 7% do território brasileiro, a Região Sul tem grande participação na economia do país. No total, os três estados representam quase 20% do PIB nacional, sendo São Paulo, na Região Sudeste, o primeiro estado em volume econômico. Os setores de destaque da economia da Região Sul são o agronegócio e o metal-mecânico (que, por sua vez, é bastante impulsionado pelo agronegócio).

Localizado no extremo sul do Brasil, o Rio Grande do Sul (cuja sigla oficial é RS) é o quinto estado mais populoso do país: possui mais de 11 milhões de habitantes em 497 municípios, em uma área total de 281.730 km². O estado faz fronteira com Argentina e Uruguai e mantém intensa relação comercial com os diversos países que compõem o Mercosul. Além disso, ocupa uma posição estratégica em relação ao elo São Paulo–Buenos Aires, principal corredor econômico e de mobilidade da América Latina, conforme apresentado na Figura a seguir.

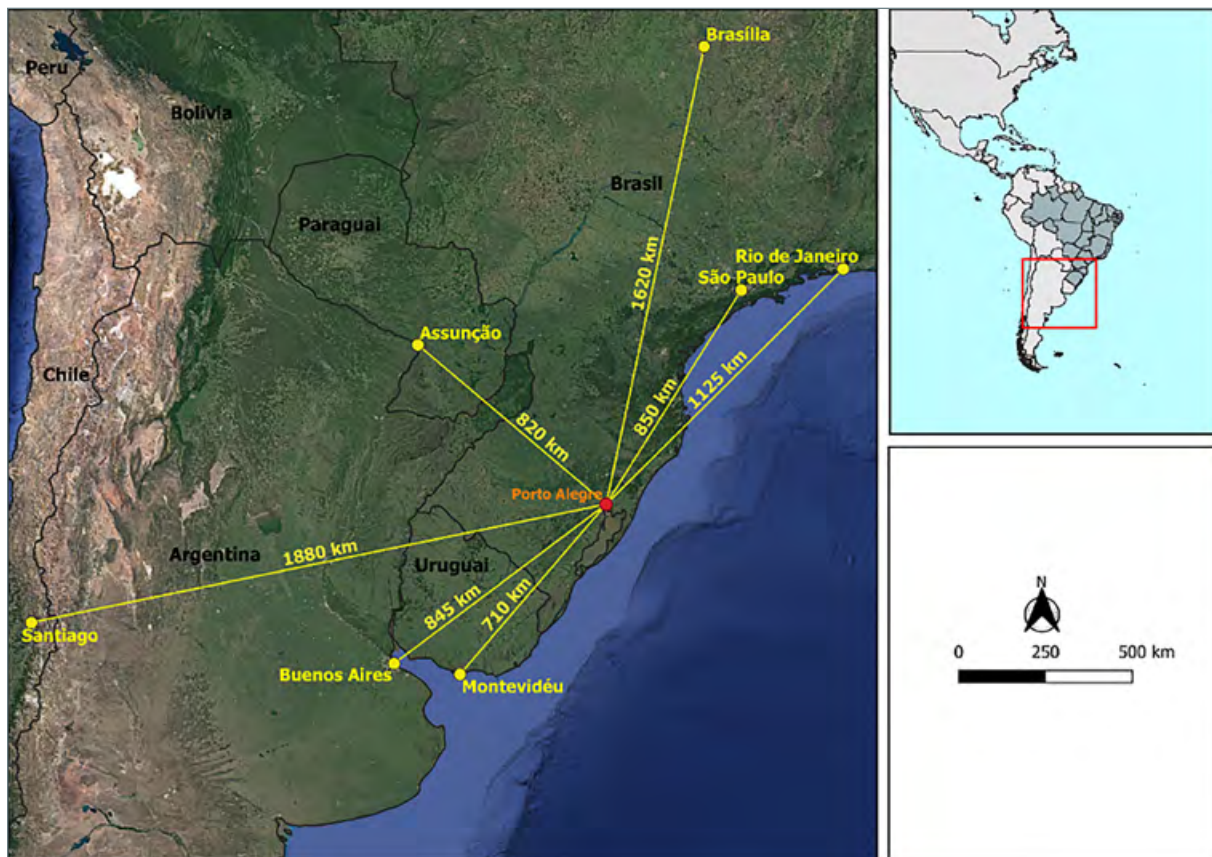


Figura 26 – Posicionamento estratégico do projeto na região, no Brasil e no Mercosul

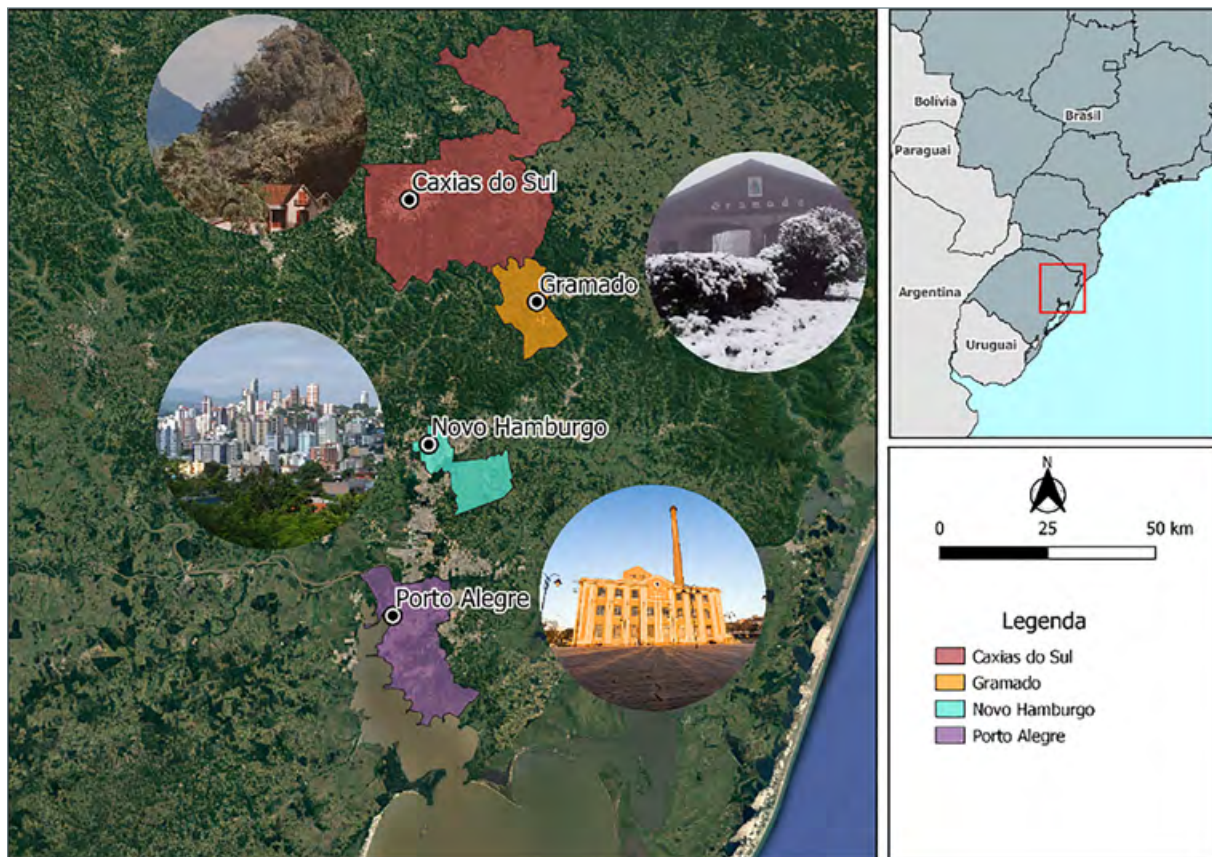
O índice de desenvolvimento humano do Rio Grande do Sul é de 0,746, classificado como alto (as faixas do índice vão de 0 a 1). O estado aparece em sexto lugar no ranking brasileiro com destaque para qualidade de vida e desenvolvimento econômico. A expectativa de vida ao nascer dos gaúchos é superior a 76 anos. Em relação ao PIB, o Rio Grande do Sul ocupa a 4ª posição dentre os estados brasileiros, segundo dados do IBGE para 2017.

A grande variedade de influências de imigrantes de diferentes países tornou a economia do RS tão diversa quanto sua cultura. A agricultura e a indústria de transformação são setores que se alavancaram e continuam contribuindo para o desenvolvimento do estado, que também conta com forte participação do setor de serviços. A seguir são listados alguns exemplos de setores industriais em que o Rio Grande do Sul é líder brasileiro:

- Maior complexo industrial de automação, biodiesel, implementos rodoviários e de ônibus, máquinas e implementos agrícolas, couro e calçados, vinhos e espumantes, agroindústria de arroz e trigo;
- Segundo maior complexo industrial de eletrônicos, móveis, bebidas, máquinas e equipamentos, produtos químicos, metal-mecânico, plástico e borracha e naval;
- Terceiro maior centro de geração de energia eólica; e
- Quarto maior complexo industrial de produção de alimentos e veículos automotores.

3.3. Municípios e regiões de influência na área de estudo

A área em foco nesse estudo está localizada no corredor de mobilidade que conecta a capital do estado, Porto Alegre (POA), praticamente ao nível do mar, a uma região montanhosa, conhecida como Serra Gaúcha, onde o principal município é Caxias do Sul (CXS). Entre esses dois municípios, estão sendo consideradas estações no município de Novo Hamburgo (NH), com forte vocação industrial e de Gramado (GRM), que é uma atração turística em nível nacional, conforme apresentado na Figura 27.



Fonte das imagens: Mariana Fernandes, Flávio Miguel, Claiton Medina e Jonathan Armani

Figura 27 - Visão geral dos principais municípios de interesse

As duas regiões metropolitanas do Estado são atendidas pela rota do HyperloopTT:

- RMPA: Região Metropolitana de Porto Alegre;
- RMSG: Região Metropolitana da Serra Gaúcha.

De acordo com o estudo de Regiões de Influência das Cidades (REGIC) desenvolvido pelo IBGE (2007), em nível nacional, as cidades atendidas por estações do HyperloopTT são classificadas da seguinte forma (com o número de habitantes estimado para 2020):

- Porto Alegre: MetrÓpole – 1.488.000 habitantes
- Caxias do Sul: Capital Regional B – 517.000 habitantes
- Novo Hamburgo: Capital Regional C – 247.000 habitantes
- Gramado: Centro Local – 36.000 habitantes

O mapa da Figura 28 apresenta a distribuição das duas regiões metropolitanas e a rede de influência urbana, conforme a REGIC, configurada para os municípios que possuem estações do HyperloopTT. Na configuração atual, observa-se, além das fortes redes de influência de Porto Alegre e Caxias do Sul, uma rede de influência significativa em relação aos municípios próximos de Novo Hamburgo. Em situação praticamente conurbada com Novo Hamburgo encontra-se o município de São Leopoldo, com população muito próxima (238.000 habitantes).



Figura 28 - Influência das Regiões Metropolitanas de Porto Alegre e Caxias do Sul

A Tabela 2 apresenta a posição no ranking socioeconômico dos 3 maiores municípios atendidos pelo HyperloopTT em relação aos demais municípios do RS em diferentes segmentos. Vale destacar a posição desses três municípios como maiores concentradores de centros industriais e comerciais do Estado.

Tabela 2 – Ranking socioeconômico dos principais municípios atendidos pelo HyperloopTT

Ranking no RS	POA	CXS	NH
Cursos de Ensino Superior e Técnico	1º	2º	8º
Centros Comerciais	1º	2º	3º
Centros Industriais	2º	1º	3º
Unidades de Saúde Média e Alta Complexidade	1º	4º	7º
Produto Interno Bruto	1º	2º	7º
População	1º	2º	8º

Para definir-se as regiões de influência dos municípios atendidos pelo HyperloopTT, doravante intituladas *Hyper Region* definiu-se um raio aproximado de 40 km entre áreas urbanas. Com esse critério, obteve-se uma lista de 59 municípios na região de interesse. Os 59 municípios foram agregados em 11 regiões, mantendo-se isolados os 4 municípios das estações. Como critério de agregação considerou-se a malha rodoviária principal que liga os municípios da região ao município da estação de referência, adotando-se a sigla do município da estação como prefixo do nome da região, conforme relacionado a seguir:

- CXS: Caxias do Sul (2 regiões);
- GRM: Gramado (3 regiões);
- NH: Novo Hamburgo (3 regiões);
- POA: Porto Alegre (3 regiões).

Nesse sentido, a Tabela 3 apresenta a relação de municípios que compõe cada *Hyper Region* e o município considerado como referência para a região:

Tabela 3 – Municípios por *Hyper Region*

Hyper Region	Municípios	Município Referência
CXS0	Caxias do Sul	Caxias do Sul
CXS1	Barão, Bento Gonçalves, Carlos Barbosa, Farroupilha, Garibaldi, Nova Roma do Sul, Pinto Bandeira, São Vendelino, Vale Real	Farroupilha
CXS2	Flores da Cunha, Nova Pádua, São Marcos	Flores da Cunha
GRM0	Gramado	Gramado
GRM1	São Francisco de Paula	Canela
GRM2	Picada Café, Santa Maria do Herval	Nova Petrópolis
GRM3	Nova Hartz, Parobé, Taquara, Três Coroas	Igrejinha
NH0	Novo Hamburgo	Novo Hamburgo
NH1	São Leopoldo, Sapucaia do Sul	São Leopoldo
NH2	Capela de Santana, Feliz, Harmonia, Linha Nova, Montenegro, Pareci Novo, Portão, São José do Hortêncio, São José do Sul, São Sebastião do Caí, Tupandi	Portão
NH3	Campo Bom, Dois Irmãos, Estância Velha, Ivoti, Lindolfo Collor, Morro Reuter, Presidente Lucena, Sapiranga	Dois Irmãos
POA0	Porto Alegre	Porto Alegre
POA1	Glorinha, Gravataí, Viamão	Gravataí
POA2	Canoas, Nova Santa Rita	Canoas
POA3	Charqueadas, Eldorado do Sul, Guaíba	Guaíba

O mapa a seguir (Figura 29) apresenta os seguintes componentes:

- Limites da regiões metropolitanas de Porto Alegre (RMPA) e da Serra Gaúcha (RMSG);
- Limites de Hyper Region;
- Traçado básico da linha do HyperloopTT e localização aproximada das estações;
- Limite municipal e manchas urbanas;
- Malha rodoviária principal.

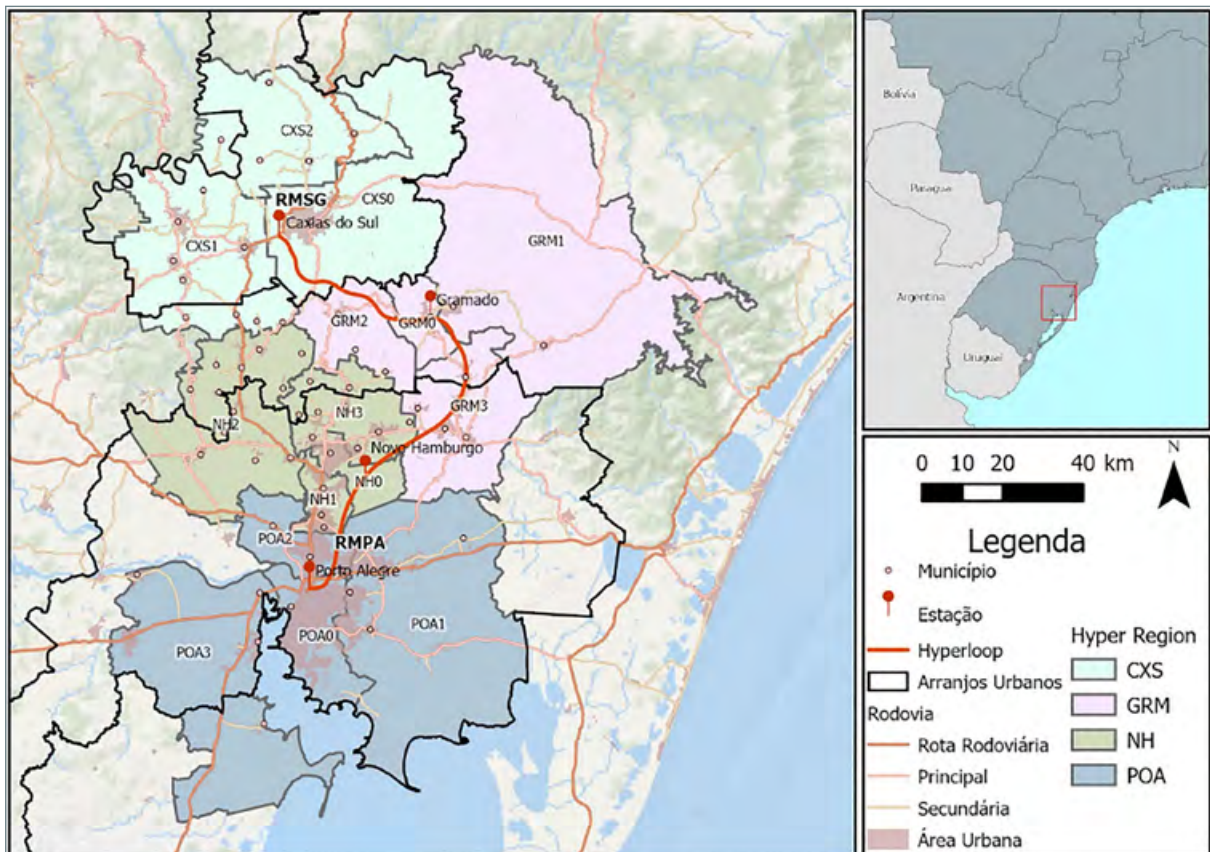


Figura 29 - Hyper Regions

A agregação dos municípios em regiões demonstra com mais clareza a diversidade da economia e a distribuição da população que poderá vir a ser usuária frequente do HyperloopTT. A Tabela 4 apresenta os principais indicadores populacionais e econômicos das Hyper Regions, considerando:

- População: estimativa do IBGE para o ano 2020;
- PIB: registro por município mais recente disponível (2018) calculado em reais brasileiros e convertidos para dólar americano pela taxa de 1 USD = R\$ 3,65 (valor médio do dólar comercial em 2018);
- Percentual do Valor Agregado Bruto para os setores de agropecuária, indústria, serviços, administração pública em 2018;
- Posição no ranking dentre as Hyper Region para as variáveis População e PIB.

Tabela 4 – Indicadores populacionais e economicos das Hyper Regions

Hyper Region	Pop	PIB 2018 USD*1000	Agro	Indústria	Serviços	Adm Pública	Rank Pop	Rank PIB
CXS0	517,451	6,761,347	1%	30%	57%	13%	3	3
CXS1	284,783	4,039,379	4%	41%	44%	12%	6	6
CXS2	68,324	864,767	8%	39%	40%	13%	12	12
GRMO	36,555	539,611	1%	14%	71%	14%	14	13
GRM1	67,289	477,727	14%	15%	50%	21%	13	14
GRM2	33,638	364,204	6%	36%	43%	15%	15	15
GRM3	204,238	1,623,273	1%	41%	41%	17%	9	11
NH0	247,032	2,576,560	0%	24%	62%	14%	8	9
NH1	463,735	4,266,731	0%	29%	53%	17%	5	5
NH2	191,939	2,167,393	4%	37%	44%	15%	11	10
NH3	279,322	3,202,895	1%	45%	40%	14%	7	7
POA0	1,488,252	21,132,771	0%	8%	81%	11%	1	1
POA1	759,478	5,133,919	1%	33%	45%	21%	2	4
POA2	509,353	7,154,505	0%	32%	56%	12%	4	2
POA3	194,955	2,840,554	3%	35%	50%	12%	10	8
Total	5,346,344	63,145,636	1%	25%	61%	13%		

As seções a seguir apresentam características específicas de cada um dos municípios atendidos diretamente pelo HyperloopTT e de suas respectivas *Hyper Regions*.

3.3.1. Hyper regions de Porto Alegre

Porto Alegre é uma cidade importante e popular entre estudantes e expatriados, graças ao seu estilo moderno e reputação como um importante centro educacional. A Universidade Federal do Rio Grande do Sul, por exemplo, sediada em Porto Alegre, foi considerada em 2021 como a 8ª melhor universidade da América Latina em ranking conduzido pela instituição britânica Times Higher Education (THE).

A força econômica da cidade é demonstrada por seu produto interno bruto (PIB) anual que a coloca na 7ª posição dentre as cidades brasileiras (IBGE, 2020).

As opções de transporte são fortes, com um sistema de trem metropolitano que passa atende o eixo metropolitano norte, passando pelo aeroporto e chegando no Centro Histórico. O Centro Histórico concentra os terminais de uma extensa rede de ônibus que mantém a cidade em movimento.

Um ponto particular e relevante a ser abordado é o aeroporto de Porto Alegre, que é um dos poucos aeroportos de grande porte brasileiros que é encontrado em área urbana da própria capital. Como

Porto Alegre está estrategicamente localizada, o aeroporto é um *hub* para os vôos que chegam à região Sul do Brasil e desempenha um papel fundamental na integração entre os países sul-americanos. O Aeroporto de Porto Alegre é o 9º maior do Brasil e o maior da Região Sul do país (por tráfego de passageiros). Em 2017, mais de 7,9 milhões de passageiros passaram pelo aeroporto, sendo 7,5 milhões de passageiros domésticos e pouco mais de 400.000 passageiros internacionais.

A ampliação da pista permitirá que o aeroporto receba aeronaves maiores e, com isso, ofereça um maior número de voos internacionais a partir de Porto Alegre. A melhoria da infraestrutura aeroportuária trará benefícios para a economia regional na medida em que aumentará a capacidade operacional do aeroporto da principal cidade do Rio Grande do Sul, visto que a capacidade atual da região está se aproximando do limite e será insuficiente para a estimativa da demanda futura.

Foi estabelecida uma Sociedade de Propósito Específico para a ampliação, modernização e manutenção da infraestrutura do Aeroporto de Porto Alegre. O Contrato de Concessão tem prazo de 25 anos a partir de 29 de agosto de 2017, e a Concessionária assumiu integralmente as operações do aeroporto em janeiro de 2018. A empresa é uma subsidiária da Fraport AG Frankfurt Airport Services Worldwide, uma operadora aeroportuária que controla o Aeroporto de Frankfurt.

A Figura 30 mostra o conjunto de Hyper Regions vizinhas à Porto Alegre (POA0).

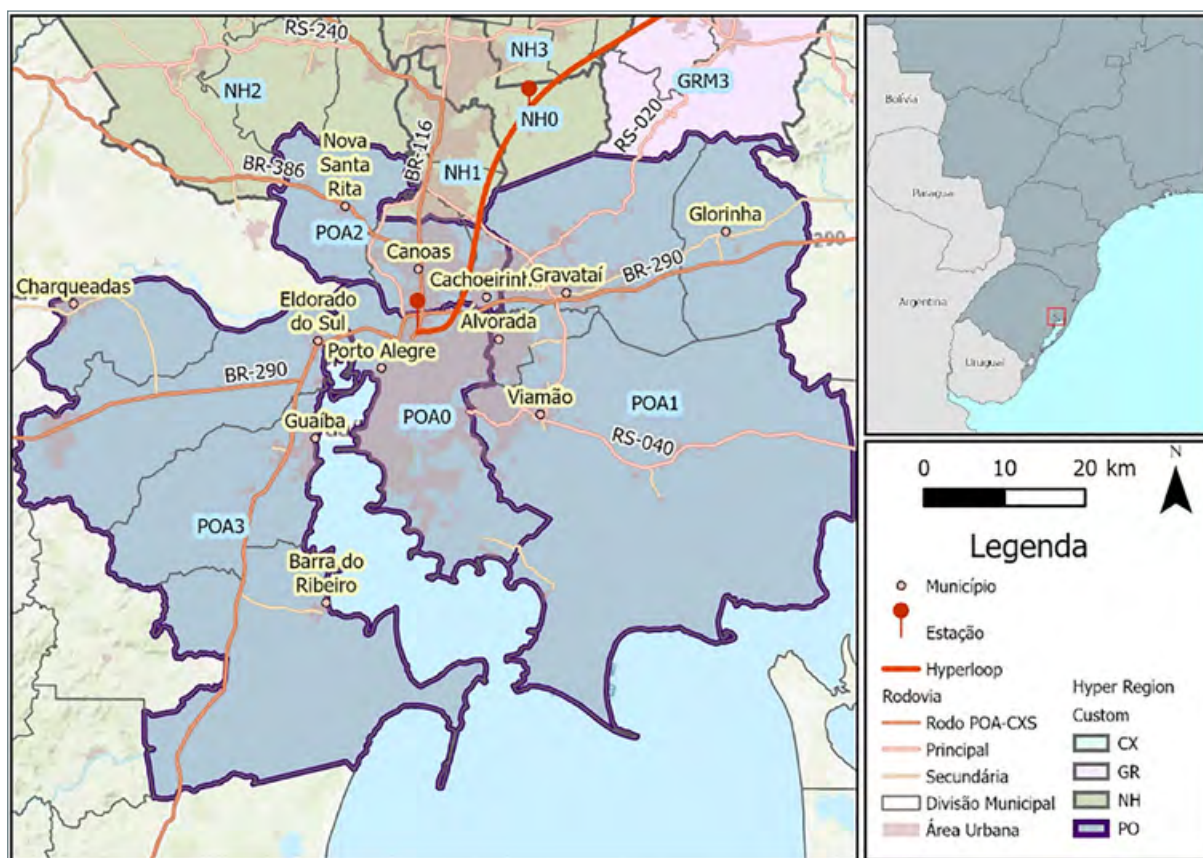


Figura 30 - *Hyper Regions* de Porto Alegre

A Hyper Região POA2, ao norte de Porto Alegre, com acesso por duas estradas federais (BR-116 e BR-448), é a que possui o acesso mais direto à estação do HyperloopTT junto ao Aeroporto de Porto Alegre. O município vizinho mais próximo do aeroporto é Canoas, com área urbana distante apenas a 3 quilômetros da estação. Canoas é o terceiro município mais populoso do Estado, com 348.000 habitantes. Trata-se de um importante polo industrial onde destaca-se a presença da Refinaria Alberto Pasqualini, responsável pelo abastecimento de combustível para todo o Estado do Rio Grande do Sul. Complementa essa região, a 23 km de distância, o município de Nova Santa Rita, de menor porte, que abriga indústrias e possui uma significativa produção rural.

A Hyper Região POA1 encontra-se a leste de Porto Alegre em direção ao litoral, e conecta-se à Hyper Station através da rodovia expressa BR-290 (trecho conhecido como FreeWay), que é considerada a melhor estrada federal do Brasil, com limite de velocidade de 110 km/h. Os municípios beneficiados com essa ligação são Cachoeirinha, que é praticamente conurbado com Porto Alegre, Gravataí e Glorinha. O município de Gravataí destaca-se como um polo automotivo, com uma fábrica da General Motors e um complexo de indústrias integradoras. Alvorada e Viamão também são municípios conurbados de população expressiva e que possuem forte ligação com a capital.

A Hyper Região POA3 situa-se a oeste de Porto Alegre. Como fica em lado oposto ao Lago Guaíba a ligação acaba sendo estreitada através da Ponte do Guaíba, responsável pela ligação da capital com a porção oeste e sul do Estado. O município de Guaíba, que é o mais populoso, abriga uma importante indústria beneficiadora de celulose. Além de Guaíba, os demais municípios dessa região (Eldorado do Sul, Barra do Ribeiro e Charqueadas) possuem uma significativa produção rural, bastante voltada ao abastecimento da Região Metropolitana.

3.3.2. *Hyper regions de Caxias do Sul*

Caxias do Sul é o segundo maior polo metal-mecânico do Brasil, com uma alta renda per capita. Em sua região de influência existem mais de 6.500 indústrias relacionadas, ficando logo atrás do cluster de São Paulo. A maioria de suas empresas está internacionalizada devido ao direcionamento exportador daquela região. Algumas dessas empresas (como exemplos) são:

- Marcopolo (Ônibus e chassis de caminhões, presentes em seis países);
- Randon S.A. é uma holding mista, líder de um grupo de sete empresas que emprega 6,6 mil funcionários. Atuam nos setores de implementos rodoviários / vagões ferroviários / veículos especiais / autopeças / sistemas automotivos e serviços;
- Agrale S/A que possui 4 plantas industriais, sendo a única empresa brasileira com capital 100% nacional que fabrica veículos, tratores e motores a diesel;
- Hyco Hidrover, um fabricante de cilindros hidráulicos para aplicações móveis.

Diferente de Porto Alegre, que, como metrópole, concentrou-se no setor de serviços, levando as indústrias para os municípios vizinhos, Caxias do Sul consegue manter-se tanto com o setor industrial quanto com um forte setor de serviços.

A Figura 31 apresenta os limites de Hyper Região de Caxias do Sul. A Hyper Region CXS1, a oeste, apresenta um setor industrial bastante significativo, principalmente nos municípios de Farroupilha,

Carlos Barbosa e Bento Gonçalves. Farroupilha beneficia-se de sua posição estratégica entre Caxias do Sul e Bento Gonçalves, vantagem essa que será beneficiada pela implantação da estação de Caxias do Sul, distante a apenas 9 km de sua área urbana. Farroupilha destaca-se na indústria do vestuário, principalmente no segmento de malharias, além de abrigar a sede da Grendene, exportadora de couros e calçados. Já Carlos Barbosa é a sede da marca Tramontina, com presença destacada no setor de utensílios de cozinha.

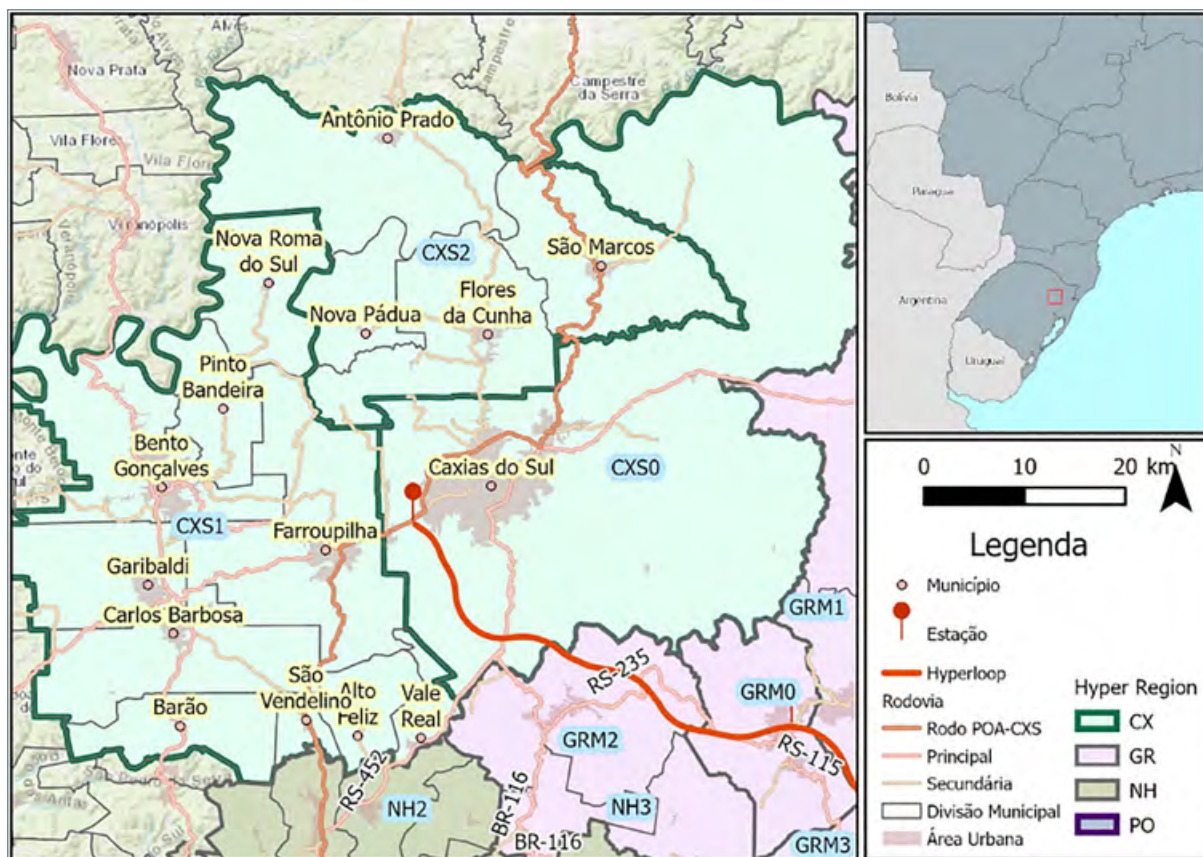


Figura 31 - Hyper Regions de Caxias do Sul

Os municípios de Garibaldi, Bento Gonçalves, Pinto Bandeira e Nova Roma do Sul possuem grande destaque na indústria viti-vinícola (cadeia uva e vinho). Somando-se outros municípios próximos, constitui-se como a maior área de viticultura do Brasil, com aproximadamente 34.000 ha de vinhedos. É composta por mais de 600 vinícolas e cantinas familiares e 13.000 famílias de produtores de uvas, que ocorre em pequenas propriedades. A altitude da região varia de 600 a 800 metros e a topografia é montanhosa, o que, se por um lado dificulta a mecanização, por outro proporciona um efeito sinérgico com duas outras atividades importantes da região: o turismo e a gastronomia. Em torno do núcleo do cluster, formado por produtores de uvas e vinicultores, estão os fornecedores de insumos de produção, máquinas e equipamentos, e um conjunto de instituições locais, regionais e nacionais que lidam direta ou indiretamente com a uva e o vinho.

O cluster do vinho interage com outros três clusters da região, como o cluster agrícola e o cluster de turismo e alimentação e restauração, dando origem ao já importante e em rápido crescimento “enogastroturismo”, com presença destacada no “Vale dos Vinhedos”, que fica no território de Bento Gonçalves e Pinto Bandeira.

Os municípios ao sul da Hyper Region CXS1 (São Vendelino, Vale Real, Alto Feliz e Barão) possuem características mais coloniais, baseada na produção agrícola de pequenas propriedades.

A Hyper Region CXS2, ao norte, apresenta municípios de menor porte, mas que também possuem intensa atividade industrial no segmento metal-mecânico, com destaque para Flores da Cunha e São Marcos. Flores da Cunha também participa da cadeia viti-vinícola, sendo um grande produtor de vinhos, porém voltado a produtos menos sofisticados do que os produzidos no Vale dos Vinhedos. Os municípios de Antônio Prado e Nova Pádua além de possuir produção rural baseada em pequenas propriedades, também apresentam atrativos turísticos.

3.3.3. Hyper regions de Novo Hamburgo

Novo Hamburgo é o polo industrial do Vale do Rio dos Sinos, cuja economia se baseia principalmente na fabricação de calçados e na cadeia de abastecimento de artigos de couro a ela associada. É considerada uma cidade rica pelos padrões brasileiros.

Atualmente Novo Hamburgo entra em uma nova fase de diversificação industrial. Com a instalação de novas indústrias, facilitando sua implantação e abrindo as portas para novas atividades. A cidade já conta com indústrias de farmácia, roupas, cosméticos, móveis, eletrodomésticos, artes gráficas, informática, química, construção civil, carrocerias, alimentos, entre outros.

Também representa o papel de núcleo cultural e educacional, abrigando o campus da Universidade Feevale que inclui um teatro com o mesmo nome, que é o maior do Rio Grande do Sul.

O setor coureiro-calçadista continua tendo grande importância para a economia e o desenvolvimento local. Prova disso é que Novo Hamburgo participa de grandes feiras e sedia mostras que são referência na área. Destaque para a FENAC (Feira Internacional do Calçado) e a FIMEC (Feira Internacional do Couro para Máquinas, Couros, Componentes e Acessórios para Calçados). Os eventos antecipam tendências, atraindo consumidores, lojistas, importadores e profissionais. Assim, Novo Hamburgo se consolida não apenas como grande produtora, mas também como polo de desenvolvimento tecnológico e de informação para o setor.

A Figura 32 apresenta os limites da Hyper Região.

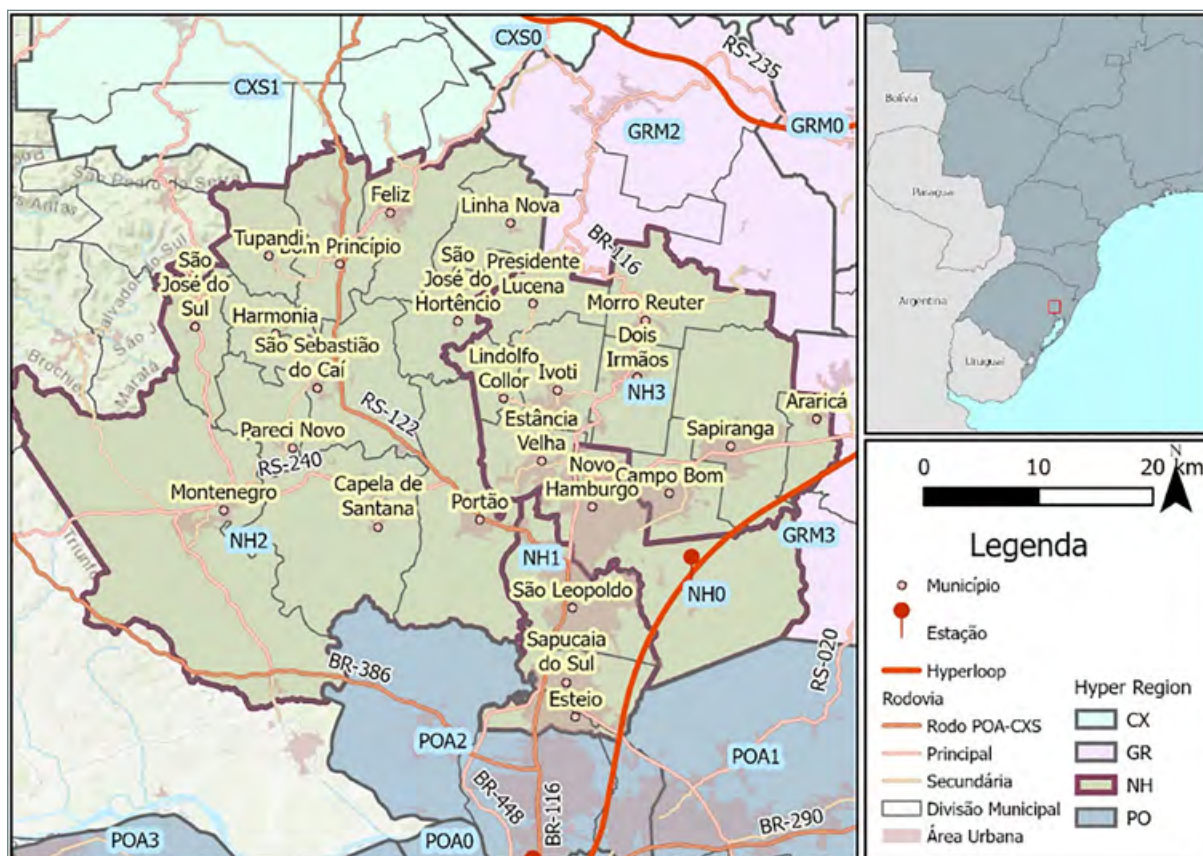


Figura 32 - Hyper Regions de Novo Hamburgo

A *Hyper Region* NH1 contempla uma área conurbada de três municípios de médio porte: São Leopoldo, Sapucaia do Sul e Esteio. Se esses três municípios fossem unificados, acabariam sendo o terceiro maior município do Estado. Essa região será extremamente beneficiada pela proximidade à estação de Novo Hamburgo do HyperloopTT, visto que o acesso já seria possível atualmente utilizando-se somente vias urbanas. Trata-se de um território praticamente constituído por área urbana, e uma economia com forte presença industrial. São Leopoldo possui 3 distritos e uma zona industrial. No Distrito Industrial de São Borja encontram-se indústrias de porte como a Stihl (equipamentos motorizados), Taurus (armas), e Klabin (embalagens de papelão). São Leopoldo conta também com um polo de empresas de tecnologia na área do Campus da Universidade do Vale do Rio dos Sinos (UNISINOS). Em Sapucaia do Sul encontra-se a Siderúrgica Riograndense, que é uma das principais unidades fabris do Grupo Gerdau, fabricante de aços com destaque internacional. Além de também possuir indústrias, Esteio conta com o Parque de Exposições Assis Brasil, utilizado para grandes eventos, onde destaca-se a EXPOINTER, realizada anualmente e reconhecida como a maior feira da agropecuária da América Latina.

A *Hyper Region* NH2 apresenta municípios de porte e perfil mais uniforme, com maior presença do setor agrícola e pecuário, mas também com atuação relevante no segmento industrial. A proximidade ao Polo Petroquímico do Sul (localizado no município de Triunfo, vizinho a essa *Hyper*

Region), motivou a instalação do Polo Integrado da Química RS no Distrito Industrial de Montenegro, que ainda encontra-se em etapa de ocupação, com capacidade para 35 indústrias. As indústrias químicas também marcam presença em outros municípios da região, como é o caso de Portão.

A Hyper Region NH3 também apresenta municípios conurbados com Novo Hamburgo, no caso, Campo Bom e Estância Velha. A área urbana de Campo Bom já fica bastante próxima à localização da estação de Novo Hamburgo. Campo Bom destaca-se como um polo tecnológico abrigando várias empresas de tecnologia da informação, além do Parque Tecnológico VALETEC. Sapiranga e Araricá possuem um perfil de indústrias de menor porte e serviços. Os municípios de Estância Velha, Dois Irmãos, Morro Reuter, Lindolfo Collor, Ivoti e Presidente Lucena possuem atrativos turísticos locais, visto que encontram-se no núcleo da Rota Romântica, que caracteriza-se por um conjunto de estradas vicinais que ligam São Leopoldo e Novo Hamburgo aos municípios serranos de turismo mais consolidado (Gramado, Canela, Nova Petrópolis e São Francisco de Paula).

3.3.4. *Hyper regions de Gramado*

Gramado é uma cidade marcada pela colonização alemã, italiana e portuguesa, cujos traços culturais estão preservados, caracterizando o turismo como base de sua economia. Atualmente detém o título de segundo destino turístico do país, sendo superado somente pela cidade do Rio de Janeiro. Possui eventos permanentes com atrações contínuas nos períodos de Natal (estendido ao longo de 2 meses) e de Páscoa, chegando a receber mais de 6 milhões de turistas por ano. Com foco na sustentabilidade e na preservação de uma natureza exuberante, o calendário de eventos está aliado a um ano inteiro de shows para os mais diversos públicos.

Para atender essa grande demanda, possui a maior infraestrutura turística do Estado em termos de rede de hotelaria, além de mais de 50 espaços de entretenimento e lazer como parques e museus. A região turística onde Gramado se encontra é conhecida como Região das Hortênsias (flor típica da região), formada também pelos municípios de Canela, Nova Petrópolis e São Francisco de Paula.

A Figura 33 apresenta os limites da Hyper Região.

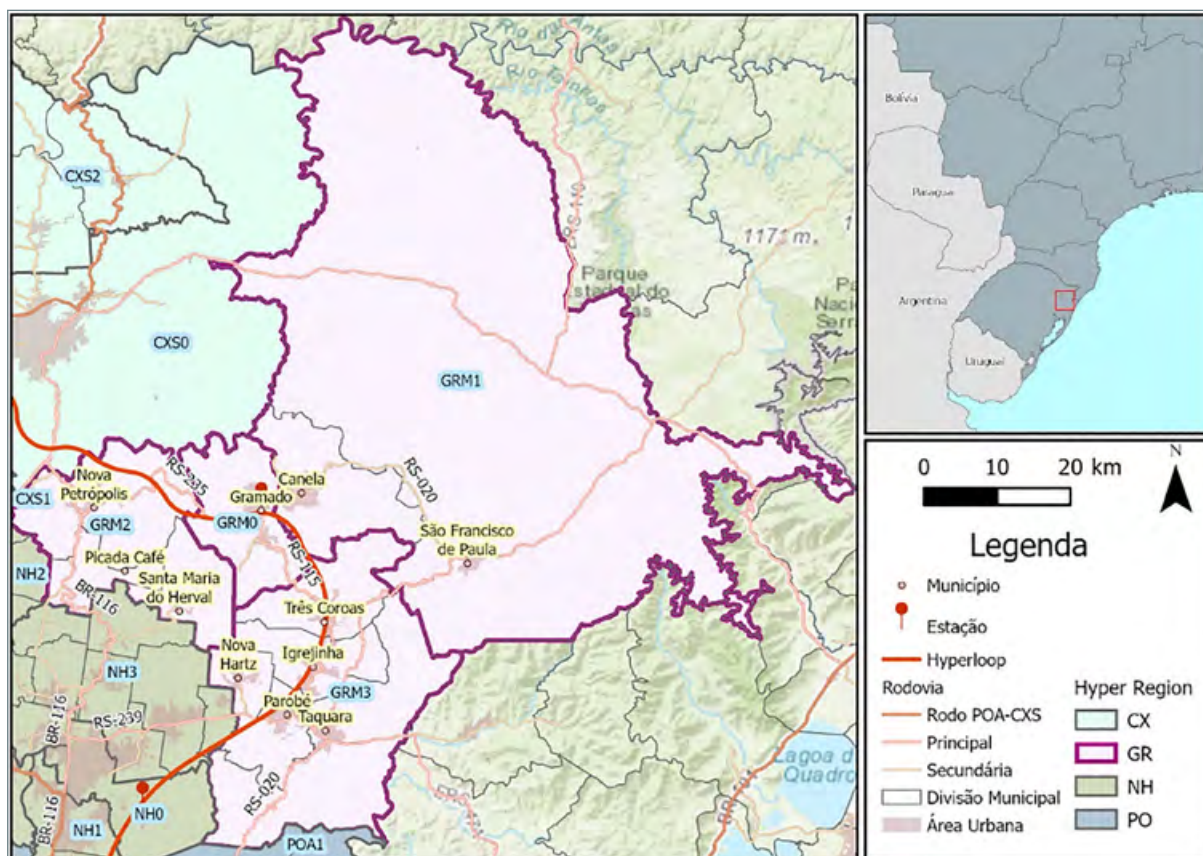


Figura 33 - Hyper Regions de Gramado

A Hyper Region GRM1 inclui a cidade de Canela, separada de Gramado por um trecho da rodovia RS-115 que, ao longo dos últimos anos, acabou sendo ocupada por inúmeros estabelecimentos comerciais e atrações voltados ao turismo. Assim, o turista que vai a Gramado obrigatoriamente visita Canela que, por sua vez, tem uma grande vocação de atrativos naturais, destacando-se o Parque Estadual do Caracol. O Aeroporto de Canela recebe apenas aeronaves de pequeno porte e possui algumas linhas regulares, incluindo Porto Alegre, a partir de 2021. O município de São Francisco de Paula tem o território mais extenso que percorre os “Campos de Cima da Serra”, com forte vocação para turismo rural.

A Hyper Region GRM2, assim como a NH3, contempla municípios da Rota Romântica: Picada Café, Santa Maria do Herval, com destaque para Nova Petrópolis (conhecida como “Jardim da Serra Gaúcha”), que possui a melhor infraestrutura turística dessa região. Trata-se de uma região de pequenas propriedades rurais marcadas pela presença do cooperativismo desde o início do século XX.

As estradas que cruzam a Hyper Region GRM3 acabam sendo o caminho rodoviário mais utilizado entre Porto Alegre e Gramado. Assim, caracteriza-se claramente como uma zona de transição entre o industrializado Vale do Rio dos Sinos e o núcleo turístico da Serra Gaúcha. Enquanto os municípios de Nova Hartz, Parobé e Taquara possuem maior semelhança com o perfil de municípios da NH3 (no caso, Sapiranga e Araricá), nos municípios de Igrejinha e Três Coroas já percebe-

se uma transição para o perfil de município serrano, contemplando tanto atrações turísticas e culturais quanto indústrias de médio porte. O maior evento anual da região é a Oktoberfest, em Igrejinha, que celebra a cultura alemã fortemente influenciada pela colonização histórica na região.



4. Estudo da rota

No presente capítulo é apresentado o estudo da rota necessária de um sistema HyperloopTT para atender ao corredor de mobilidade envolvido as cidades de Porto Alegre, Novo Hamburgo, Gramado e Caxias do Sul. Esse estudo teve como objetivo a determinação de um traçado ótimo, minimizando tempos de viagem e custos de implantação, ao mesmo tempo que reduzindo as interferências com as condicionantes externas da região, como condicionantes ambientais, hidrológicas, sociais e de infraestrutura. Apesar do presente trabalho ser realizado a nível de pré viabilidade, as especificidades do sistema HyperloopTT exigem um detalhamento maior para a presente etapa.

A primeira seção deste capítulo descreve as condicionantes da região, que serviram como dados de entrada para o desenvolvimento da rota. A seção 4.2 descreve o processo de definição da localização das estações em cada uma das cidades de interesse. A seção 4.3 descreve as considerações sobre geometria e conforto para um sistema HyperloopTT. A seção 4.4 apresenta o método desenvolvido para otimização da rota. Por fim, a seção 4.6 apresenta os resultados desse processo, em termos de geometria, tempos de viagem, distâncias, velocidades e custos.

4.1. Dados de entrada

A primeira etapa do estudo da rota envolveu a identificação das condicionantes existentes na região, representadas por dados topográficos, de infraestrutura, geológicos, hidrográficos e socioambientais. Esses dados foram obtidos de diferentes fontes, conforme apresentado na Tabela 5, e são descritos em maior detalhe neste capítulo.

Tabela 5 – Fontes dos bancos de dados utilizados

Categoria	Informação	Fonte
Topografia	Elevações	USGS (2016)
Infraestrutura	Transportes	DNIT (2018) e OSM (2021)
	Energia	ANEEL (2017) e OSM (2021)
Geologia	Solos	SANTOS <i>et al.</i> (2011)
Hidrografia	Cursos e Corpos D'água	ANA (2015)
Meio Ambiente	Área de Preservação Permanente	SEMA (2020)
	Unidades de Conservação	SEMA (2020)
Social	Comunidades Tradicionais	CPI (2021) e FUNAI (2020)
	Limites Municipais e Estaduais	IBGE (2021)

4.1.1. Topografia

Uma das principais condicionantes em grandes projetos de infraestrutura é a topografia, visto que é fator determinante nos custos envolvidos com qualquer projeto. Para a região de estudo, a Figura 34 permite observar a existência de dois tipos de configuração. Enquanto as cidades de Porto Alegre e Novo Hamburgo estão localizadas em altitudes próximas ao nível do mar, as cidades de Gramado e Caxias do Sul estão localizadas na Serra Gaúcha, em altitudes de aproximadamente 830 metros. Outro complicador para o desenvolvimento de uma rota conectando as cidades de interesse é a existência do vale do rio Caí, que forma uma divisão natural entre as cidades de Gramado e Caxias do Sul, chegando a altitudes menores que 60 metros na região.

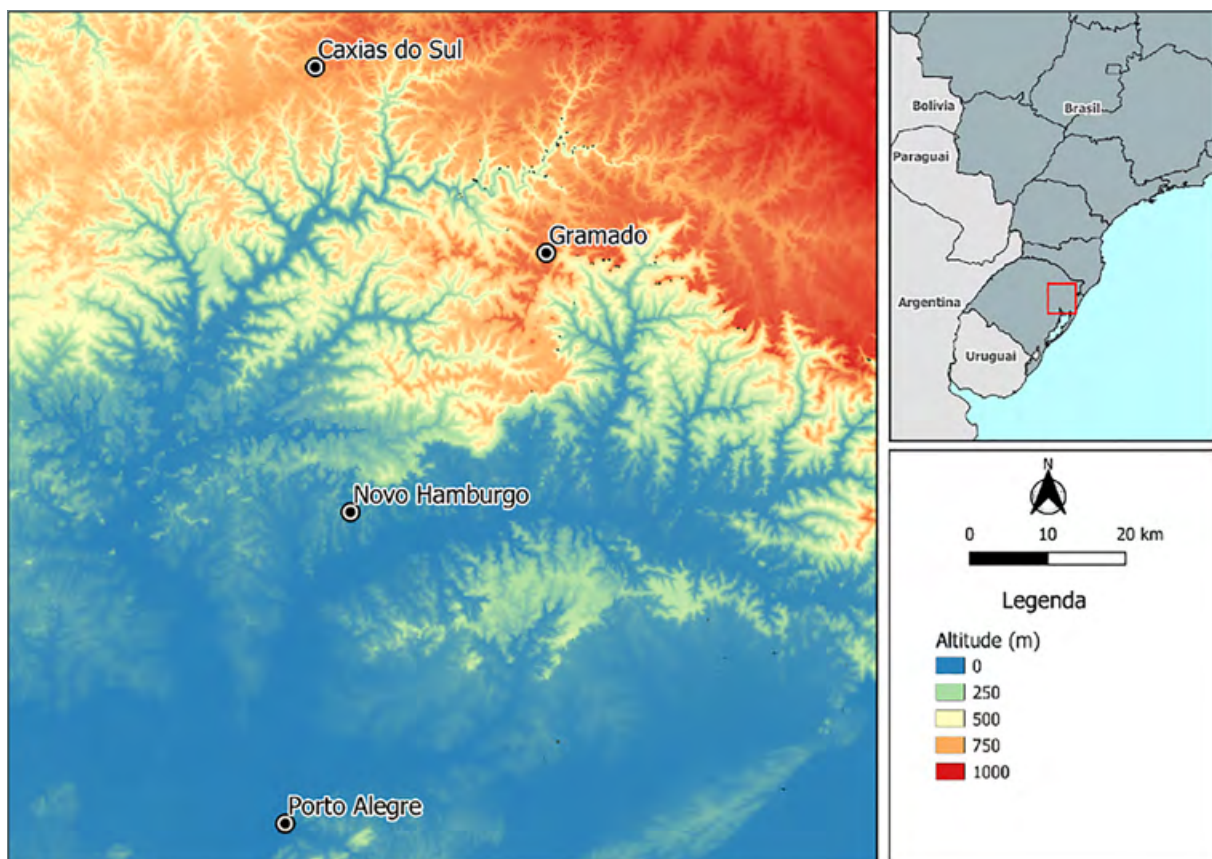


Figura 34 - Relevo

Nesse contexto, o desenvolvimento de uma rota conectando as cidades de interesse deve buscar um ajuste intermediário com o terreno, tendo em vista que esse é determinante para o tempo de viagem e custo de implantação do projeto, que são inversamente proporcionais. Enquanto um ajuste maior ao terreno pode representar menores custos de implantação (ex: viadutos mais baixos e túneis menores), esse representa um tempo de viagem maior, tendo em vista as menores velocidades desenvolvidas (menores curvas horizontais e verticais).

4.1.2. Uso do solo

Além da topografia, outro importante elemento no estudo da rota é a uso do solo, conforme apresentado na Figura 35. Similarmente ao apresentado sobre a topografia da região, podemos observar a existência configurações distintas em relação ao uso do solo. Inicialmente, as cidades de Porto Alegre e Novo Hamburgo estão localizadas na região metropolitana de Porto Alegre, uma área urbanizada que possui mais de 4 milhões de habitantes. O eixo que conecta as duas cidades em linha reta apresenta alta densidade urbana, o que torna praticamente impossível o ajuste do alinhamento do HyperloopTT, uma vez que sua curvatura requer grandes raios para atingir velocidades maiores. Por outro lado, Entre Novo Hamburgo e Gramado, embora existam muitas cidades, a densidade urbana é menor, permitindo um maior número de possibilidades em relação ao traçado. Por fim, entre as cidades de Gramado e Caxias do Sul, onde não existem aglomerações urbanas relevantes, o desafio é o terreno.

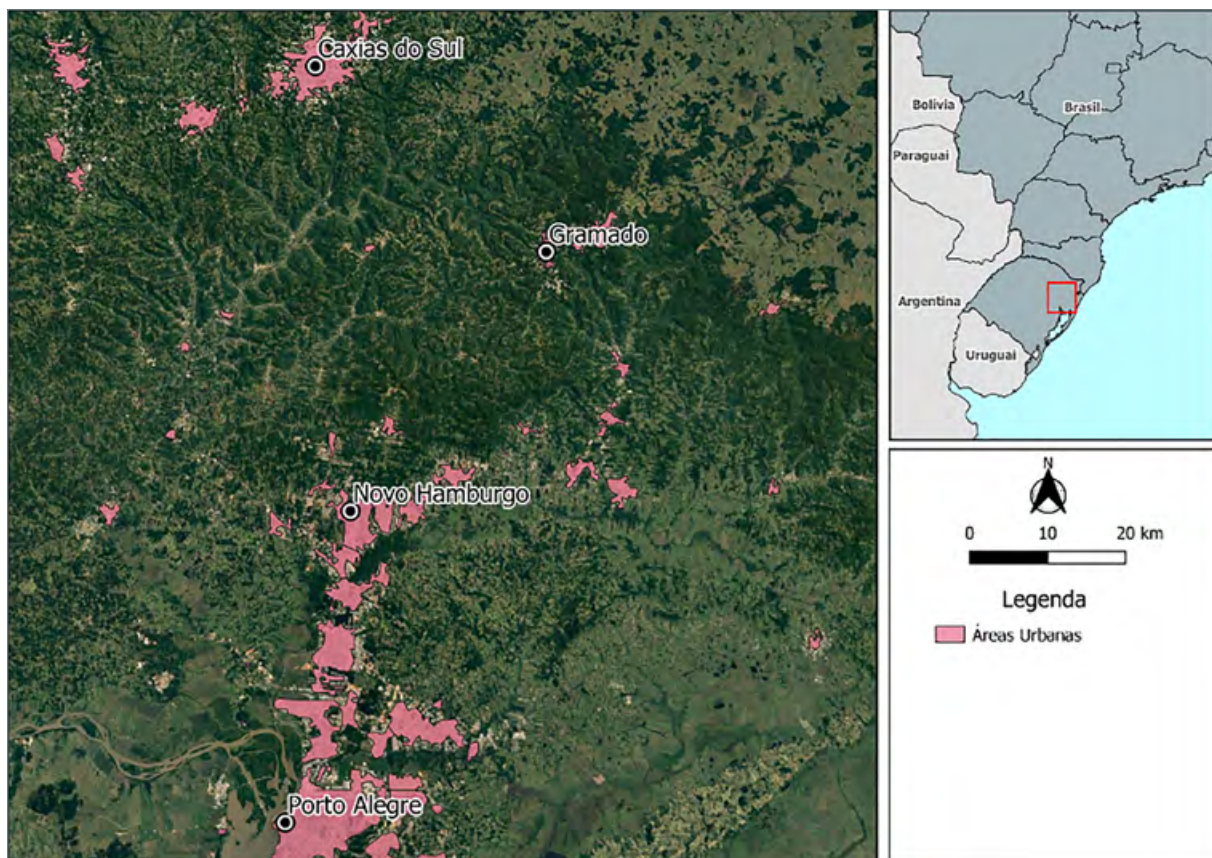


Figura 35 – Áreas urbanizadas

O desafio do desenvolvimento de uma rota que conecte as cidades de interesse é ampliado quando as condicionantes topográficas e de uso do solo são consideradas em conjunto. A principal explicação para essa observação é a tendência natural de comunidades se estabelecerem em regiões planas (planícies ou vales), próximas às fontes de água e recursos naturais.

4.1.3. Infraestrutura

Outro elemento relevante para o estudo da rota é a infraestrutura existente, conforme apresentado nas Figura 36 e 37, para as infraestruturas de transporte e energia, respectivamente.

Em relação a rede de transportes existente na região, observa-se que, por fatores históricos e topográficos, não existe uma ferrovia que conecte diretamente a região Metropolitana de Porto Alegre com a Serra Gaúcha. Além disso as rodovias existentes na região são em grande parte de pista simples e bastante sinuosas, o que eleva o tempo de deslocamento. Além disso, os aeroportos regionais de Caxias do Sul e Canela são subutilizados, não representando parcela significativa dos passageiros e carga transportados na região.

Em relação a rede de energia existente na região, essa é densa e impõe restrições para o alinhamento do HyperloopTT. Nesse sentido, caso conflitos ocorram, análises adicionais devem ser realizadas para a verificação da necessidade de alterações na altura de pilares ou reposicionamento da rede.

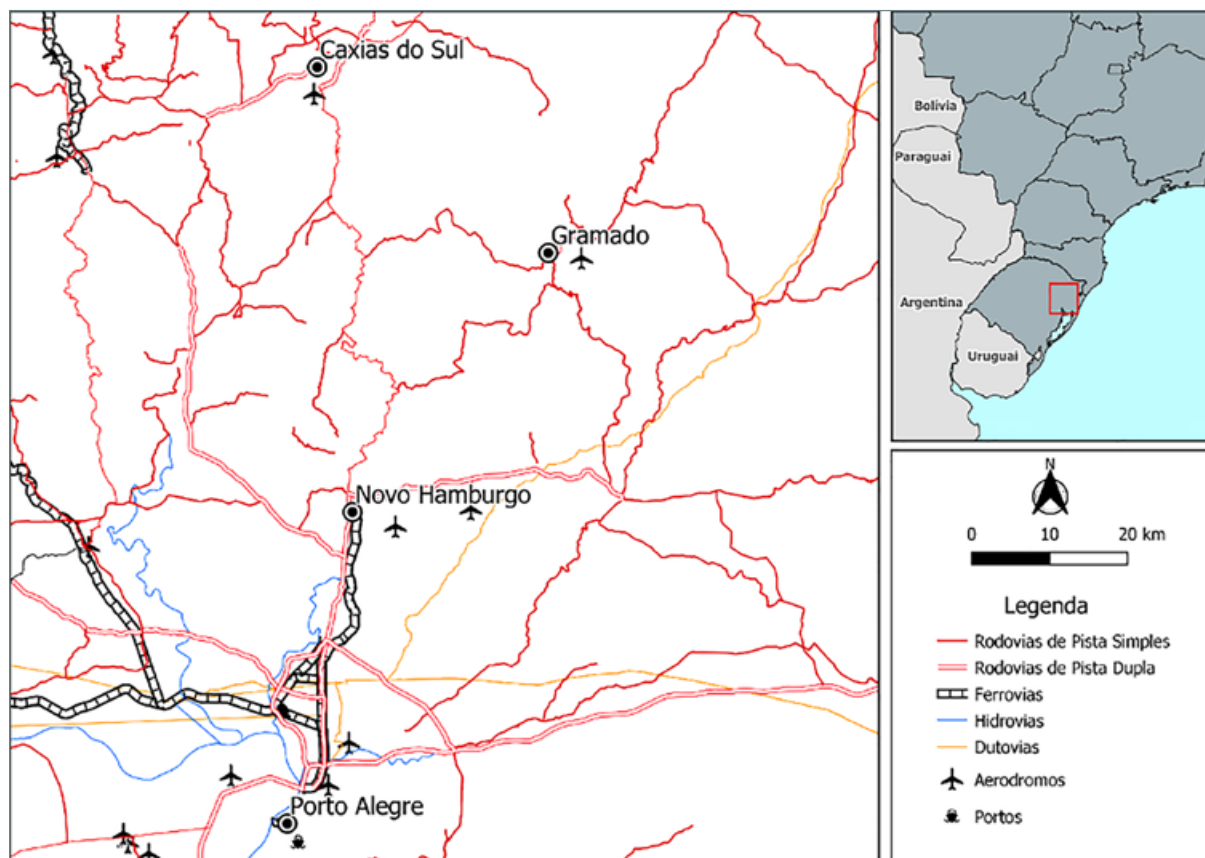


Figura 36 - Infraestrutura de transportes

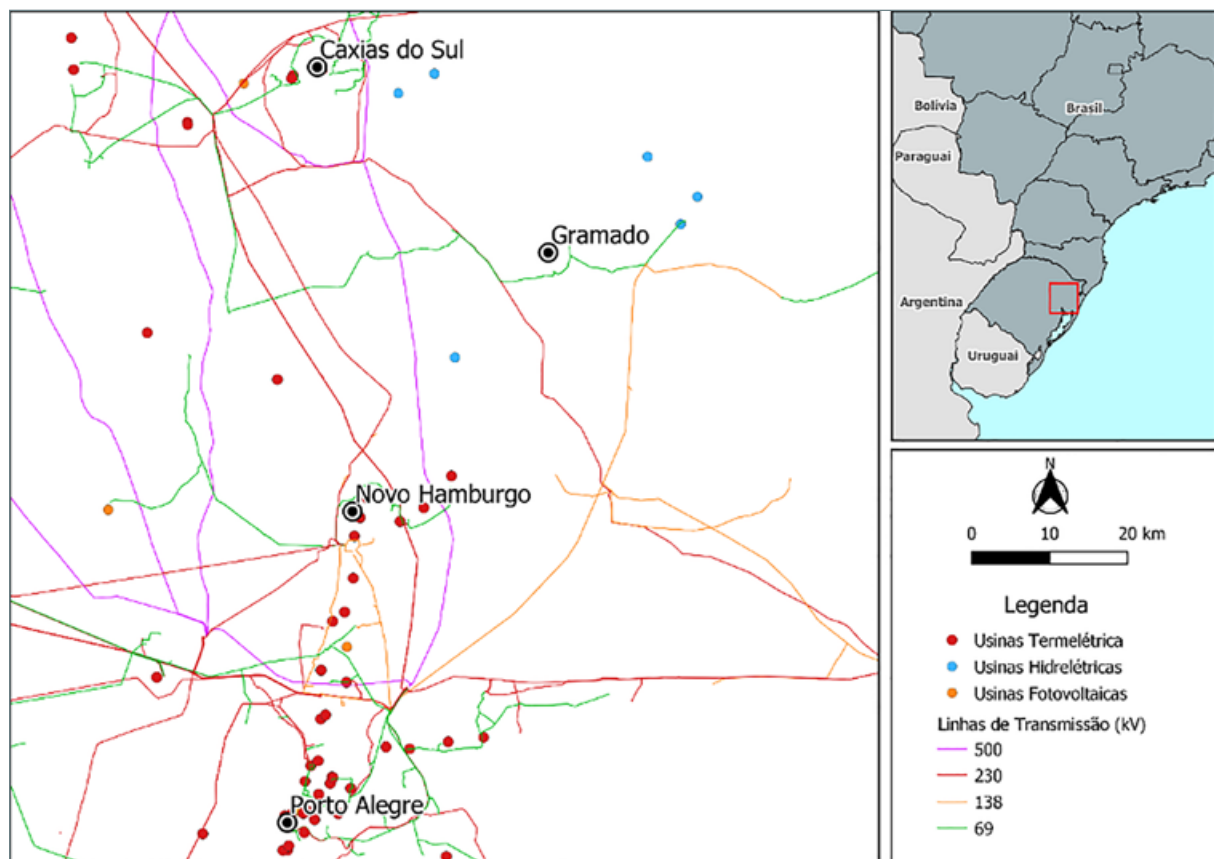


Figura 37 - Infraestrutura de energia

O contexto de infraestrutura apresentado mostra o potencial transformador que uma linha HyperloopTT possui na região de estudo, tendo em vista a atual relevância econômica da região para o estado e o país.

4.1.4. Geologia

Em relação à geologia da região, a Figura 38 apresenta a classificação para os solos da região. Similarmente à descrição topográfica, é possível observar duas áreas com configurações distintas em relação à geologia. Inicialmente, a área de menor altitude da região, que engloba as cidades de Porto Alegre e Novo Hamburgo, possui material superficial e sedimentar, com a presença principal de areias e arenitos. Por outro lado, a área montanhosa da região de estudo, que engloba as cidades de Gramado e Caxias do Sul, possui majoritariamente rochas Ígneas, com a presença principal de basalto, riódacito e quartzito..

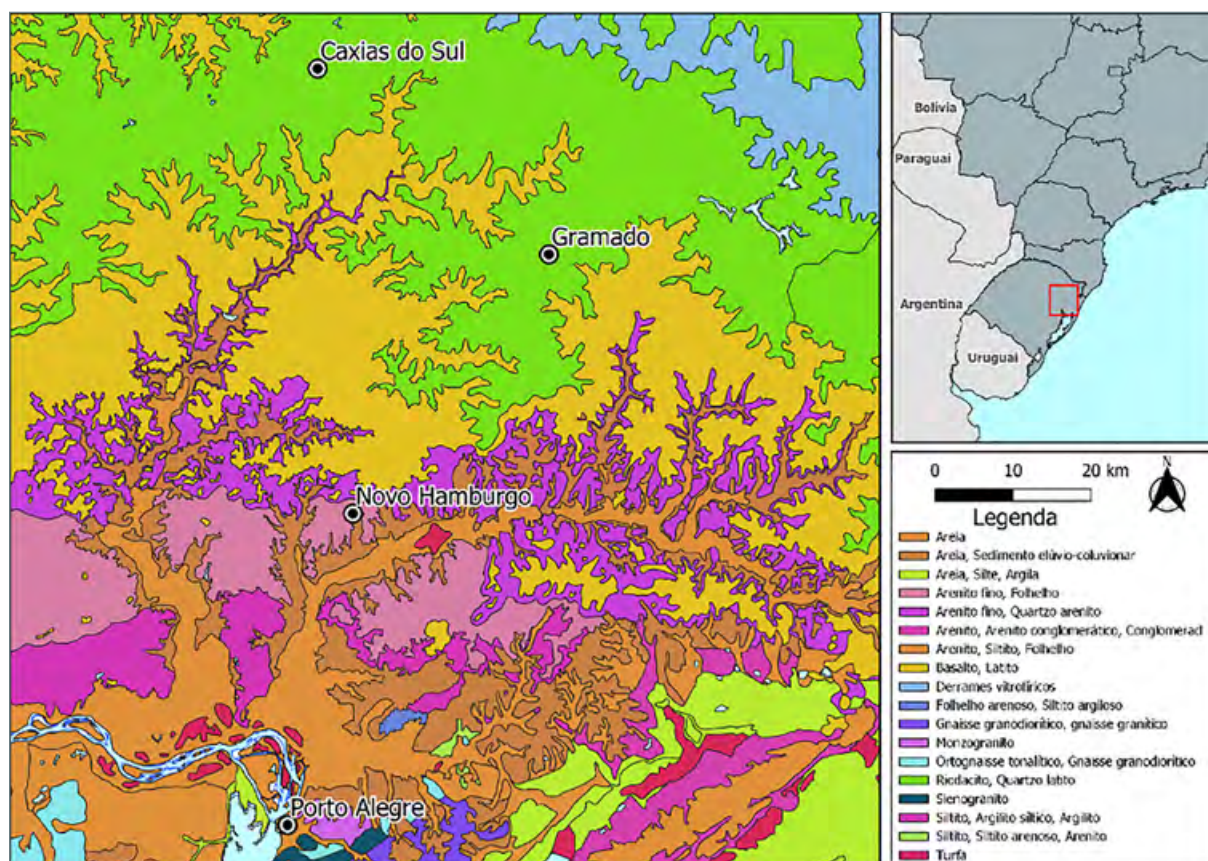


Figura 38 - Dados geológicos

A partir do contexto identificado, a informação sobre os solos da região foi utilizada para determinar a escolha do método construtivo. Nesse sentido, a principal influência do solo na definição da rota foi a não utilização de túneis profundos na região de solos moles, que engloba principalmente as cidades de Porto Alegre e Novo Hamburgo, na região Metropolitana de Porto Alegre.

4.1.5. Hidrografia

Em relação a hidrologia da região, apresentada na Figura 39, essa é representada majoritammente pelas bacias dos rios Caí e Sinos. O rio Caí, identificado na figura, tem importante influência no relevo da região entre as cidades de Gramado e Caxias do sul, servindo de separação natural entre as mesmas. O rio dos Sinos, por sua vez, se desloca principalmente em áreas planas, gerando diversas áreas sujeitas à inundação, especialmente na região entre as cidades de Porto Alegre e Novo Hamburgo.

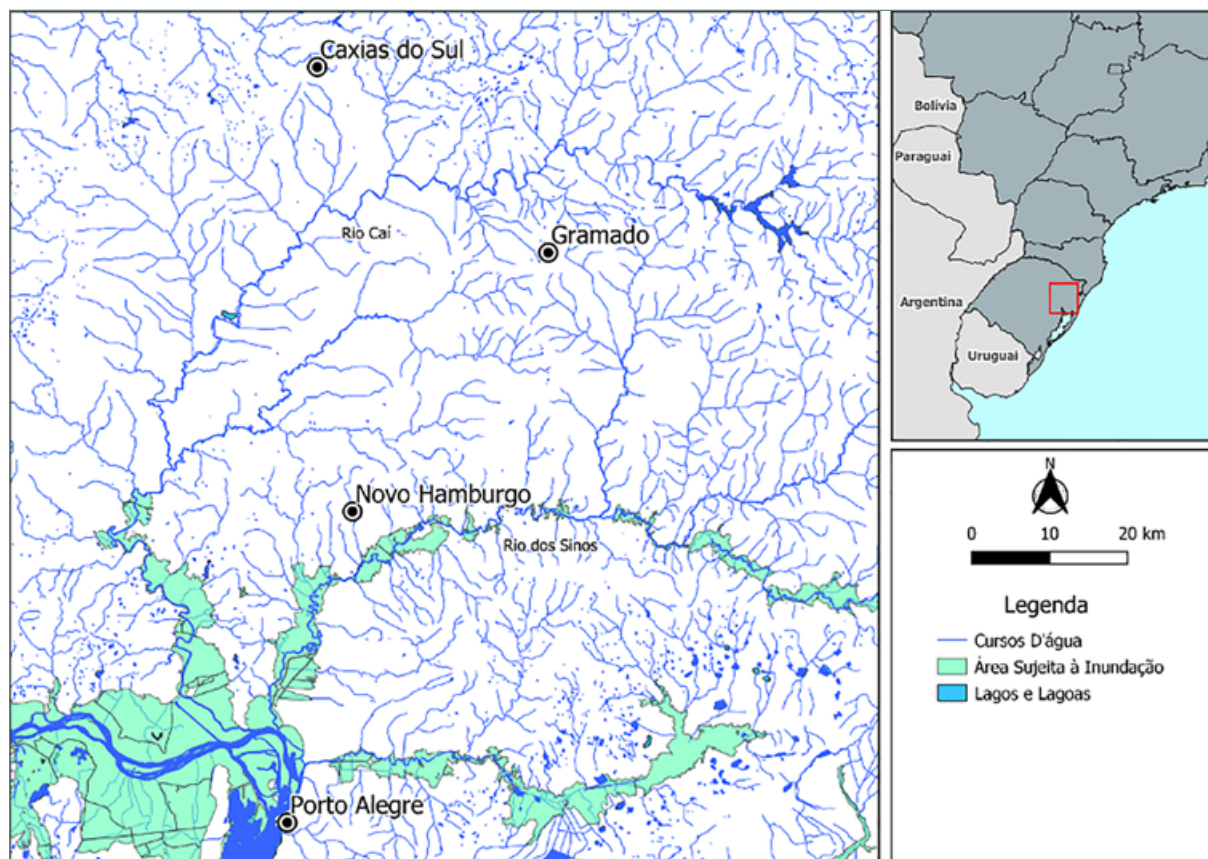


Figura 39 - Cursos d'água, corpos d'água e áreas sujeitas à inundação

A partir do contexto hidrológico apresentado, as áreas sujeitas à inundação na região oeste das cidades de Porto Alegre e Novo Hamburgo, em conjunto com a forte urbanização da região imediatamente lateral, inviabilizam o desenvolvimento do primeiro terço da rota nessa área. No entanto, a região leste dessas cidades também possui elementos hidrológicos que merecem atenção, especialmente próximo à cidade de Novo Hamburgo.

4.1.6. Meio ambiente e sociedade

Por fim, na Figura 40 são apresentadas as condicionantes socioambientais da região em estudo. Enquanto no contexto social essas condicionantes são representadas pelas comunidades tradicionais e áreas urbanas, no contexto ambiental essas são representadas pelas áreas de preservação permanente e unidades de conservação.

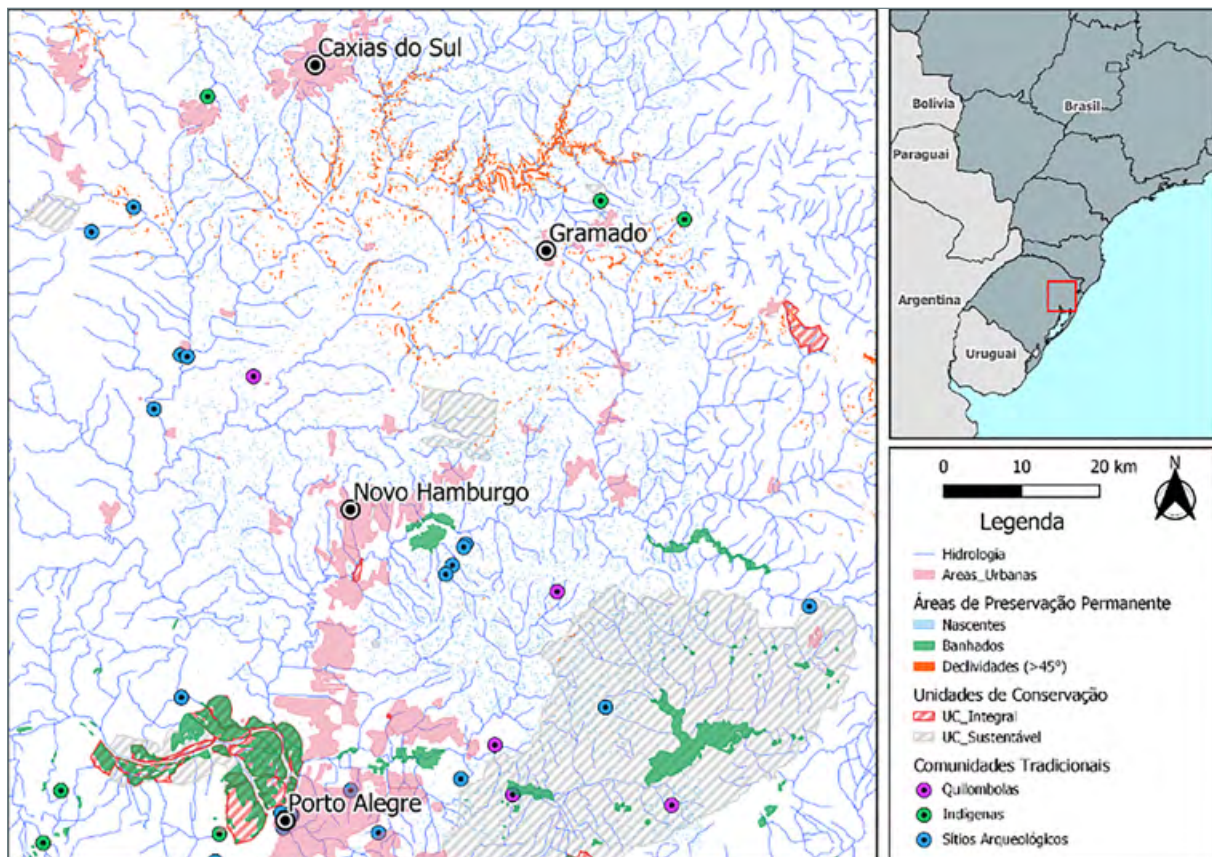


Figura 40 - Dados socioambientais

Em relação as condicionantes ambientais, a área de menor altitude da região, que engloba as cidades de Porto Alegre e Novo Hamburgo, possui a maior quantidade de elementos importantes, como unidades de conservação e banhados. Por outro lado, a região montanhosa, entre as cidades de Gramado e Caxias do Sul, possui inúmeras áreas de elevada declividade, causadas pela presença do rio Caí.

Em relação as condicionantes sociais, a área mais crítica se refere à região que engloba as cidades de Porto Alegre e Novo Hamburgo, que possui uma extensa conglomeração urbana, além de diversas comunidades quilombolas e sítios arqueológicos. A região montanhosa entre as cidades de Gramado e Caxias do sul, por sua vez, possui algumas áreas indígenas, mas que estão afastadas do eixo imaginário que liga ambas as cidades.

Nesse contexto, a região em estudo possui diversos elementos socioambientais que possuem influência na rota do HyperloopTT, especialmente na região entre as cidades de Porto Alegre e Novo Hamburgo.

4.2. Localização das estações

A partir da discussão realizada na seção anterior, foram definidas as localizações das estações das 4 cidades de interesse: Porto Alegre, Novo Hamburgo, Gramado e Caxias do Sul. A partir disso, a rota é desenvolvida de modo a atender as estações, respeitando as limitações geométricas e estruturais do sistema.

4.2.1. Estação de Porto Alegre

A primeira estação proposta fica situada na cidade de Porto Alegre, nas coordenadas aproximadas $29^{\circ}59'26,05''\text{S}$ e $51^{\circ}10'56,19''\text{O}$, conforme apresentado na Figura 41. Trata-se de estação terminal anexa ao Aeroporto Internacional Salgado Filho, que registrou 8,3 milhões de passageiros em 2019, ligando a cidade à América do Sul, América Central, América do Norte, África e Europa. O local selecionado está a 6 quilômetros do centro da cidade, e se conecta a uma linha metropolitana de trem, chegando ao centro de Porto Alegre, a partir da estação HyperloopTT, em menos de 20 minutos.

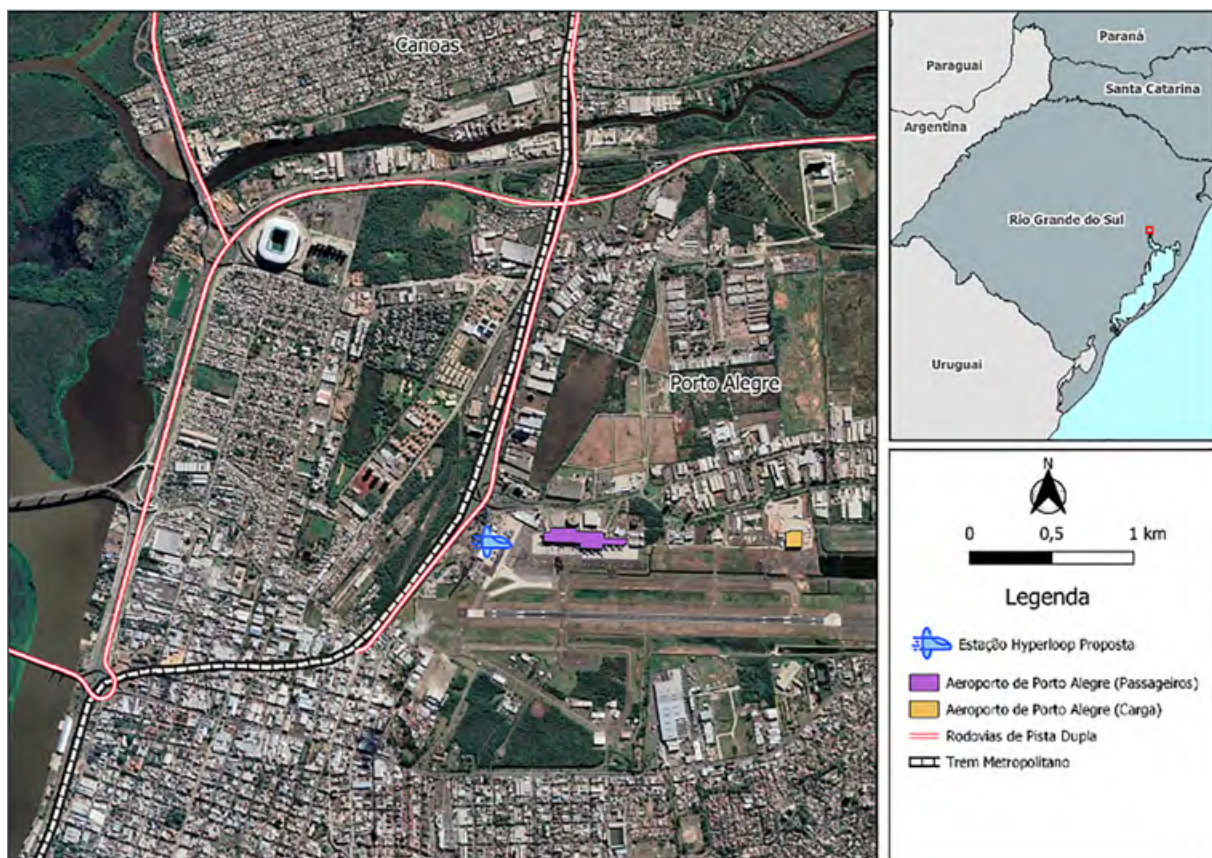


Figura 41 - Localização da futura estação HyperloopTT em Porto Alegre

Sua localização permite que turistas de todo o Brasil, que cheguem ao Aeroporto Internacional Salgado Filho, tenham acesso direto a região de Gramado e de Caxias do Sul em um tempo de viagem impensável para outros meios de transporte. Além de atrair a demanda de passageiros do aeroporto e da estação metrorviária, a localização também é estratégica para a demanda de cargas, tendo em vista a localização da estação em relação as principais rodovias da região.

Nessa configuração, o transporte aéreo não seria um concorrente, mas um parceiro-chave. Por meio do HyperloopTT, é disponibilizada a uma ligação direta entre a produção industrial da Serra Gaúcha e o resto do mundo. Além disso, o final da obra de expansão da pista do aeroporto, prevista para o final de 2021, irá contribuir ainda mais com esse tipo de parceria.

4.2.2. Estação de Novo Hamburgo

A estação proposta para a cidade de Novo Hamburgo se localiza a 10 quilômetros do centro da cidade, nas coordenadas aproximadas 29° 45'18,25"S e 51° 3'12,01"O, conforme apresentado na Figura 42. Situada em área com potencial para o desenvolvimento imobiliário, essa estação apresenta oportunidades para o desenvolvimento de novos empreendimentos residenciais, industriais ou comerciais, direcionando o tipo de demanda gerada. Permite-se, assim, a consolidação de iniciativas de desenvolvimento orientado ao transporte sustentável (DOTS). Além disso, a estação se situa próxima às cidades de São Leopoldo (10 km ao centro da cidade) e Campo Bom (8 km ao centro da cidade), que juntas com Novo Hamburgo possuem mais de 550 mil habitantes.

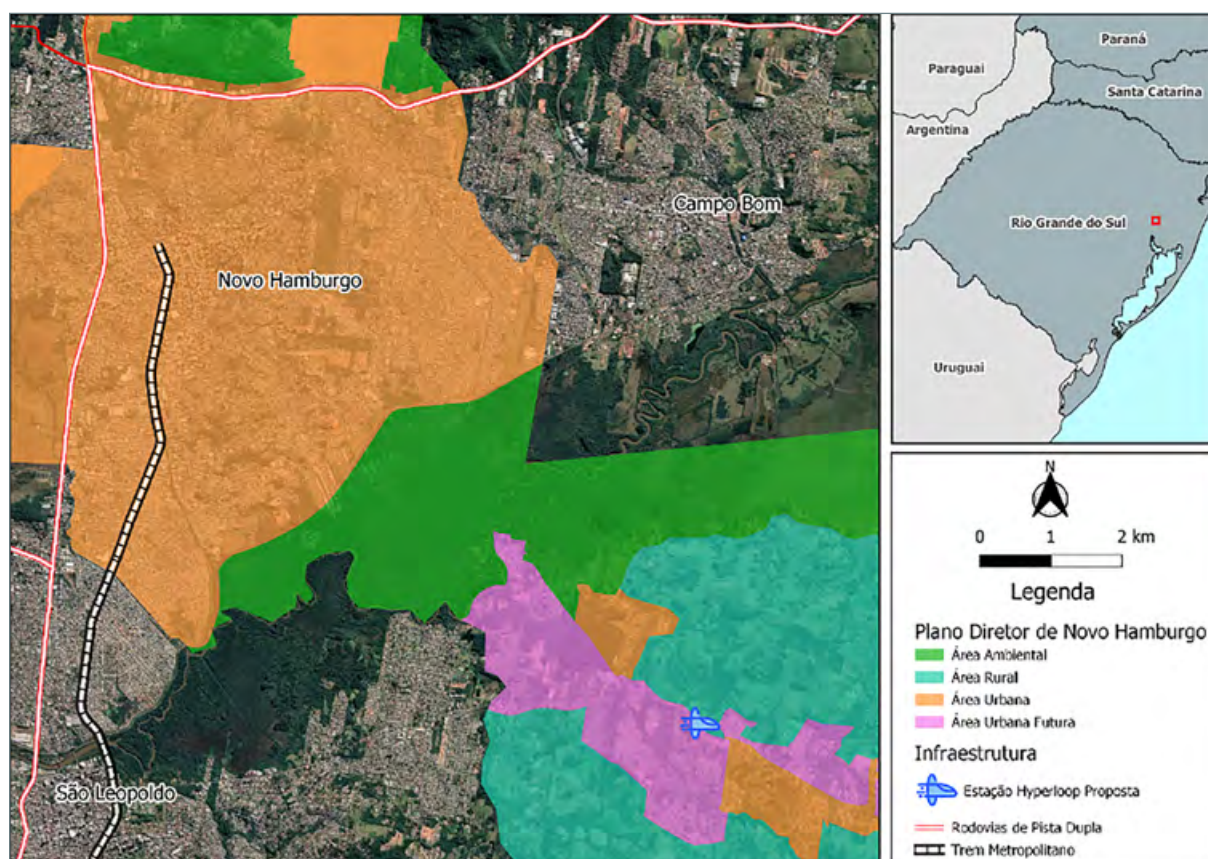


Figura 42 – Localização da futura estação HyperloopTT em Novo Hamburgo

A estratégia de localização da estação de Novo Hamburgo é decisiva para obtenção de retorno efetivo no mercado imobiliário. A estação está localizada em área prevista com o macrozoneamento de “Urbana Futura”, conforme o Plano Diretor de Novo Hamburgo. Essa zona está localizada na região conhecida como Lomba Grande, próxima de zonas urbanas já estabelecidas, porém ainda pouco povoada. Além disso, essa região de Novo Hamburgo é separada da região urbanizada principal pela área de várzea do Rio dos Sinos, que caracteriza uma área de proteção ambiental reconhecida pelo município. Por fim, tendo em vista sua distância em relação ao centro de, devem haver serviços de transporte público (ônibus e táxis) para conectar a estação às demandas potenciais de passageiros.

4.2.3. Estação de Gramado

Situada em um famoso e consolidado destino turístico do Brasil, a estação proposta para a cidade de Gramado tem como principal perfil o atendimento a demanda de passageiros. Dessa forma, sua localização foi definida próxima ao centro da cidade, com coordenadas aproximadas $29^{\circ}23'0,90''S$ e $50^{\circ}52'43,05''O$, conforma apresentado na Figura 4.3. Esta localização torna o HyperloopTT altamente acessível, dando acesso a uma área já bastante densa e eliminando a necessidade de meios de transporte complementares.

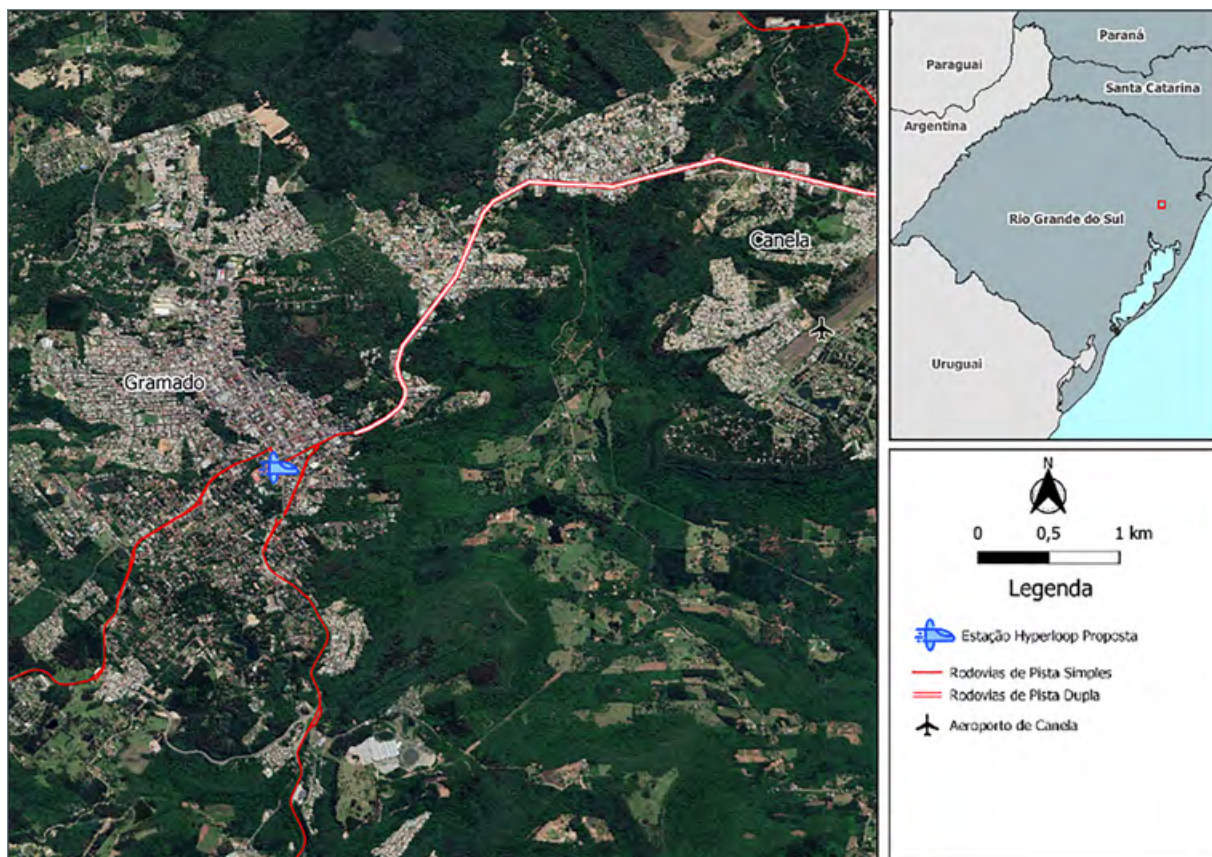
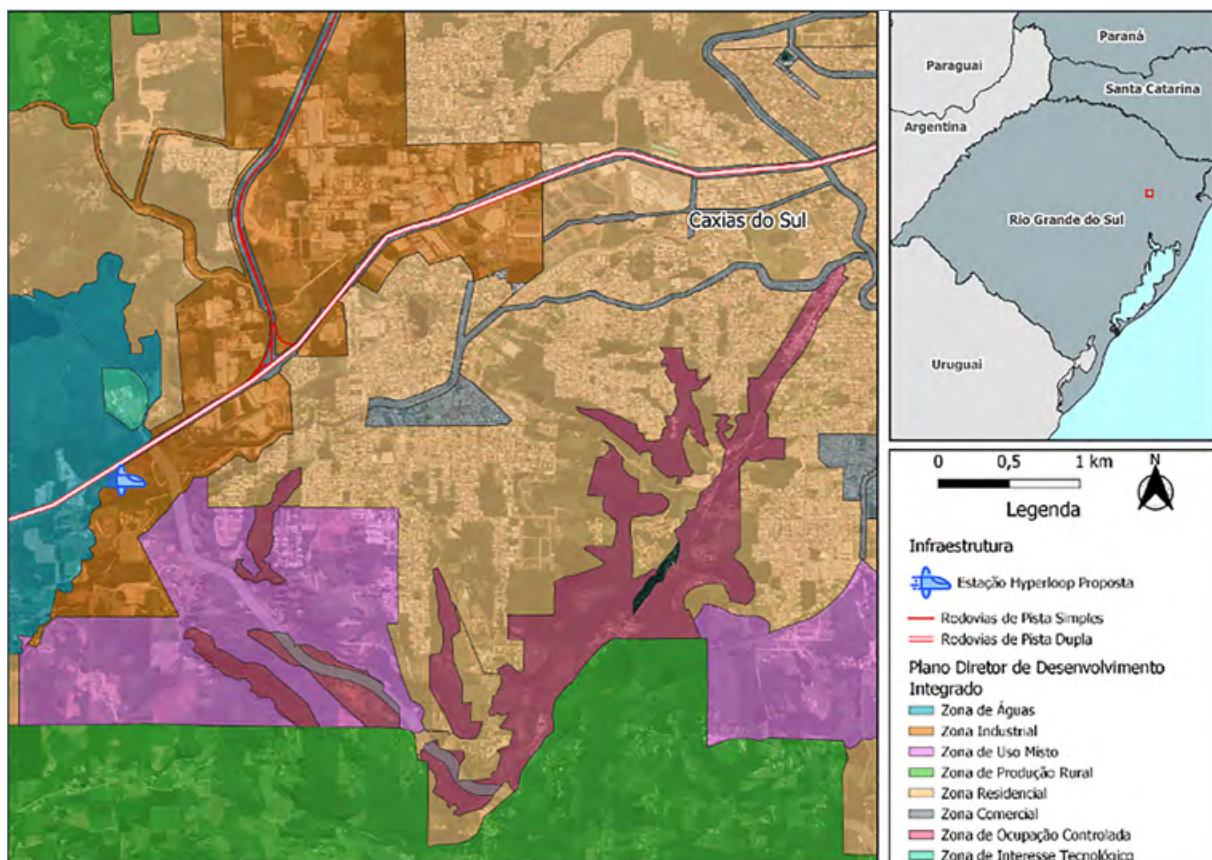


Figura 4.3 - Localização da futura estação HyperloopTT em Gramado

No entanto, tendo em vista que a cidade de Gramado possui área urbana já consolidada, e está a uma altitude de mais de 800 metros, foi realizada a escolha por uma estação subterrânea. Essa escolha facilita o desenvolvimento da rota devido às restrições verticais, tendo em vista que a provável região de passagem do traçado possui altitude inferior tanto antes quanto depois da cidade de Gramado. Nesse sentido, uma estação subterrânea exige rampas menos inclinadas, além de evitar interferências com a zona já construída.

4.2.4. Estação de Caxias do Sul

A quarta e última estação HyperloopTT proposta fica a oeste de Caxias do Sul, com coordenadas aproximadas $29^{\circ}11'58,74''S$, $51^{\circ}15'30,03''O$, conforme apresentado na Figura 44. A estação está localizada a uma distância de 8,7 quilômetros do centro da cidade, em posição estratégica para atender a demanda de cargas e passageiros de Caxias do Sul e das cidades de entorno, que possuem mais de 800 mil habitantes em sua região metropolitana. Tendo em vista sua distância em relação ao centro de, assim como em Novo Hamburgo, devem haver serviços de transporte público (ônibus e táxis) para conectar a estação às demandas potenciais de passageiros.



A localização proposta para a estação, conforme o Plano Diretor de Desenvolvimento Integrado de Caxias do Sul apresentado na figura anterior, ocorre em Zona Industrial. Essa está próxima à rodovia ERS-122, praticamente equidistante em relação ao centro dos municípios de Farroupilha e Caxias do Sul (em torno de 9 km). Nas proximidades da estação encontra-se um dos polos previstos para Empreendedorismo, Inovação e Tecnologia. A disponibilidade de terrenos para desenvolvimento imobiliário ocorre na vizinha Zona de Uso Misto (a leste da estação), que se encontra bastante próxima à consolidada Zona Residencial 4. A vizinha Zona das Águas (a oeste) também dispõe de áreas a serem ocupadas, porém com regramentos específicos visando a preservação dos mananciais da região.

4.3. Considerações sobre geometria e conforto

Além dos elementos apresentados anteriormente, algumas considerações a respeito do projeto foram utilizadas para definir o alinhamento ideal. Essas considerações baseiam-se nas práticas ferroviárias e relativas ao *Maglev* aceitas em relação ao conforto do passageiro e derivam das acelerações longitudinais, laterais e verticais máximas para um sistema HyperloopTT.

4.3.1. Aceleração longitudinal

A aceleração longitudinal máxima define o nível de conforto dos passageiros para a aceleração e frenagem da cápsula foi definida como 0,15g e 0,1g, respectivamente, conforme apresentado na Figura 4.5. Além disso, para situações de emergência a desaceleração máxima foi definida como 0,375g, conforme considerações do estudo de viabilidade dos Grandes Lagos (TEMS, 2019).

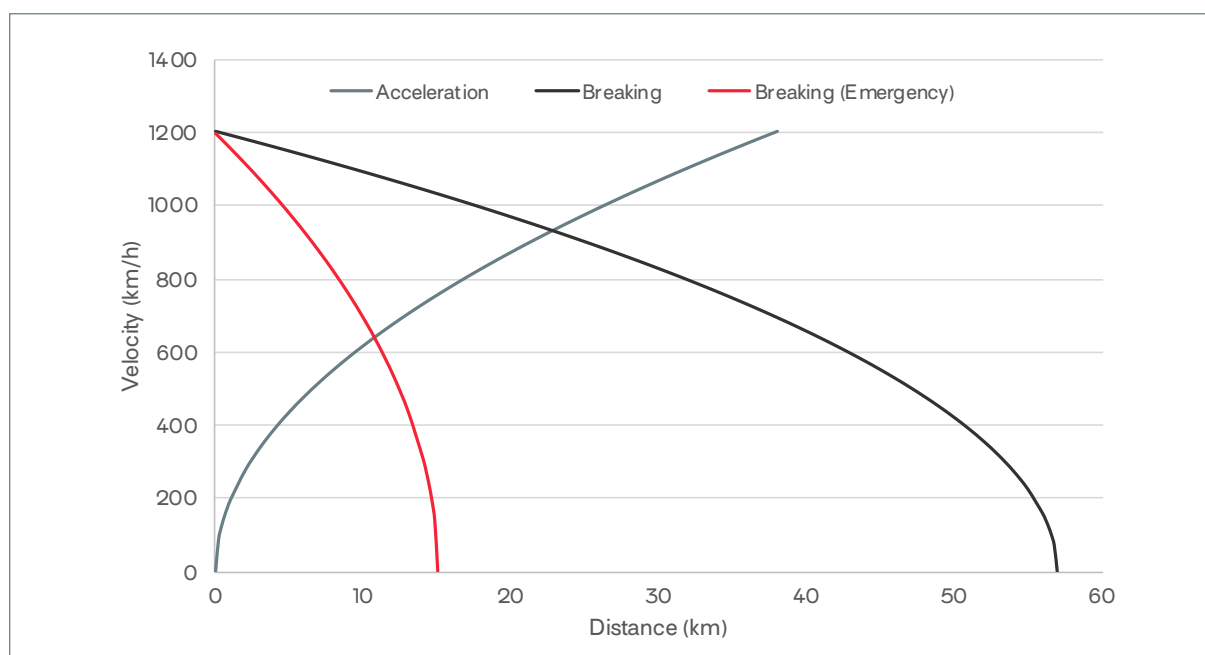


Figura 4.5 - Aceleração e frenagem para a cápsula HyperloopTT

Tendo em vista a relação quadrática da equação, a complexidade do sistema aumenta progressivamente na medida que a velocidade aumenta. Isso é especialmente crítico em regiões montanhosas, em que os raios horizontais desempenham fator importante para o ajuste ao terreno.

4.3.2. Aceleração lateral

A aceleração lateral máxima define o nível de conforto dos passageiros para as curvas horizontais, visto que essas são extremamente relevantes para um melhor ajuste ao terreno, e conseqüente redução de custos de implantação. Para o presente estudo, a aceleração lateral máxima utilizada foi de 0,2g; considerando que a mesma é auxiliada por uma superelevação de 12°. Este valor é um dos parâmetros que determinam os raios horizontais de curvatura, conforme mostrado na Equação (1) e Figura 46.

$$ac = \frac{v^2}{r}$$

(1)

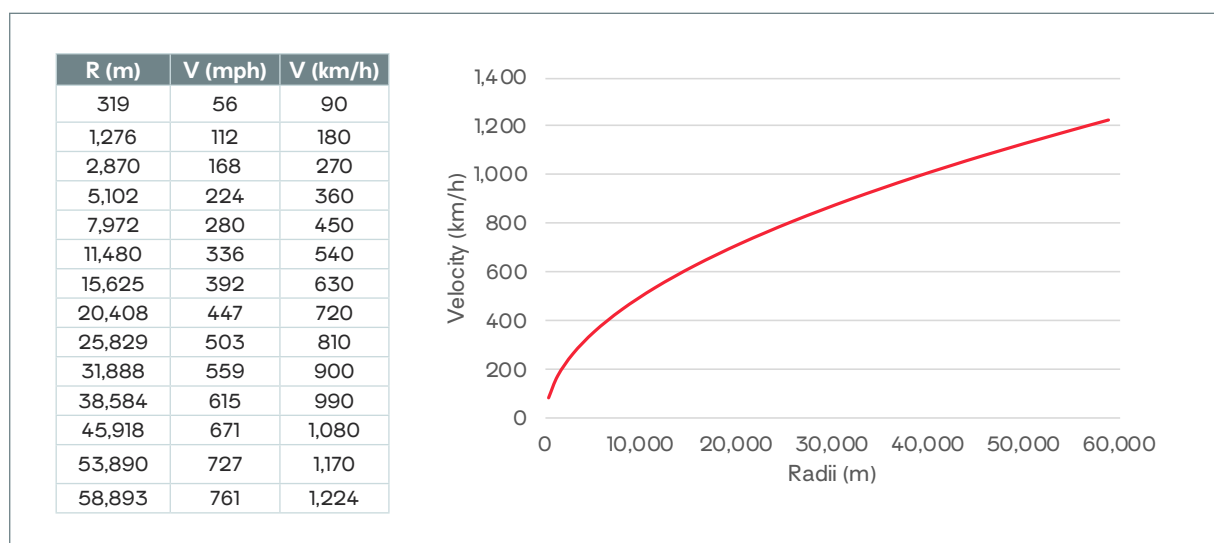


Figura 46 - Velocidade vs raio da curva horizontal

Tendo em vista a relação quadrática da equação, a complexidade do sistema aumenta progressivamente na medida que a velocidade aumenta. Isso é especialmente crítico em regiões montanhosas, em que os raios horizontais desempenham fator importante para o ajuste ao terreno.

4.3.3. Aceleração vertical

A aceleração vertical máxima define o nível de conforto dos passageiros para as curvas verticais e é definida como 0,028g. Seu valor é mais restritivo em relação à aceleração lateral, tendo em vista que essa última atua em conjunto com a superelevação. Para a determinação dos raios verticais, também é utilizada a Equação 1, resultando na Figura 47.

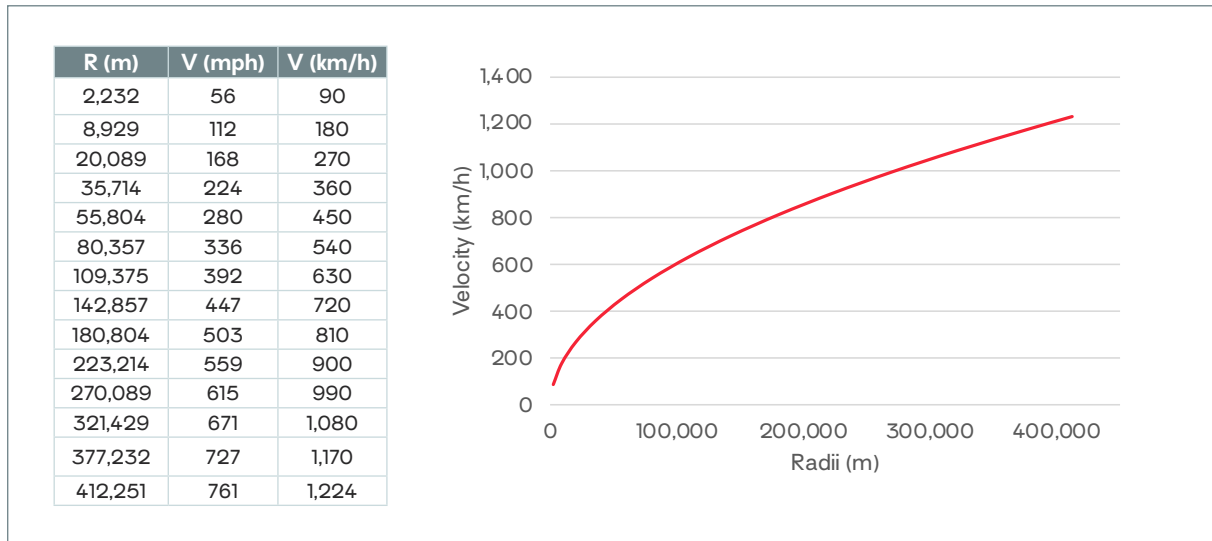


Figura 47 - Velocidade vs. raio da curva vertical

4.4. Diretriz do traçado

Como ponto de partida para o estudo da rota, foi utilizado o contexto de diretriz, comum em projetos de rodovias. O conceito representa a menor distância entre dois pontos de interesse, que no nosso caso são representados pelas estações, formando 3 diretrizes parciais com um comprimento total de 116,3 km, conforme apresentado na Figura 48. Para garantir um menor comprimento de rota, em projetos de rodovias busca-se se aproximar ao máximo das diretrizes. Apesar de que as grandes restrições geométricas de um sistema HyperloopTT limitam a importância do conceito de diretriz, esse pode ser útil para a compreensão dos desafios iniciais na análise de rotas possíveis.

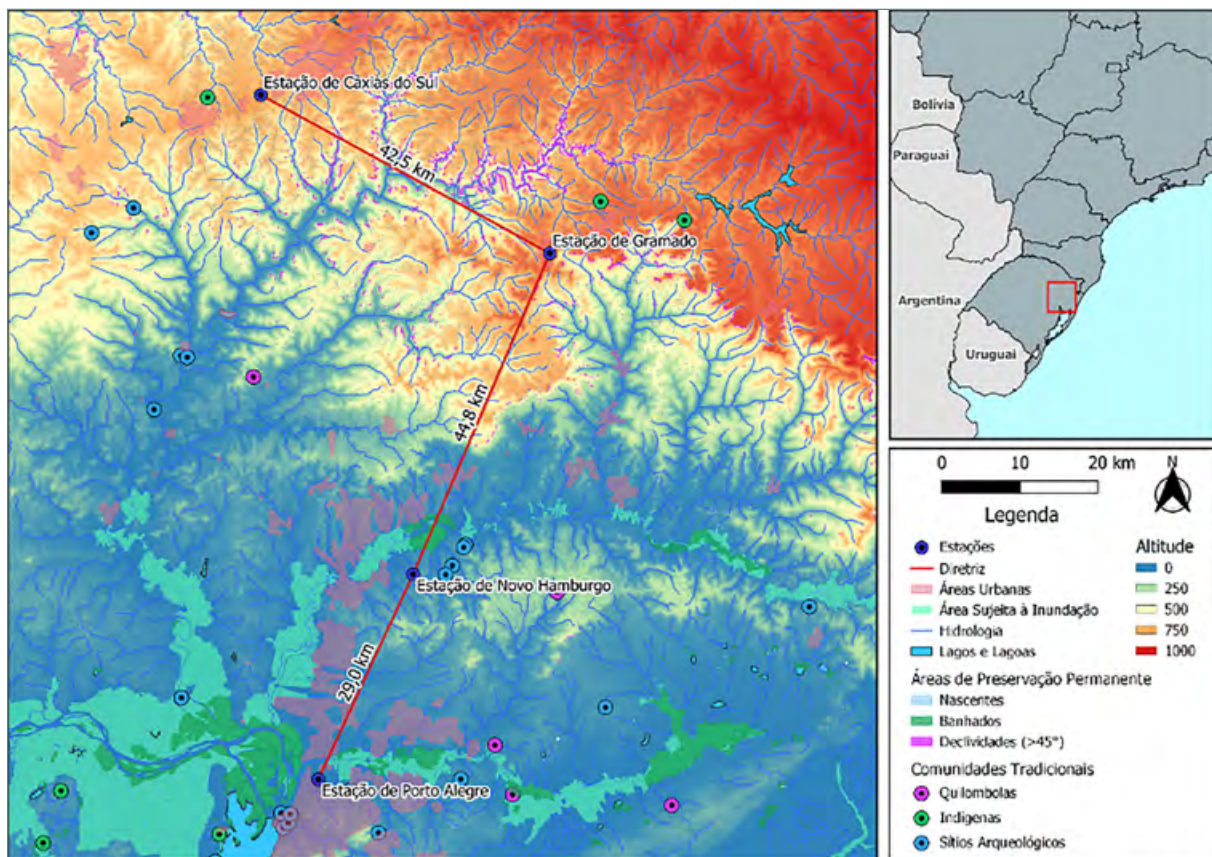


Figura 48 - Diretriz e principais condicionantes da região de estudo

A partir da diretriz apresentada, é possível a construção de um perfil altimétrico para a mesma, conforme apresentado na Figura 49. Enquanto as cidades de Porto Alegre e Novo Hamburgo estão localizadas ao nível do mar, Gramado e Caxias do Sul estão localizadas a uma altitude mais elevada, por volta de 830 m. O perfil apresentado permite identificar o desafio de ajustar um traçado para atender as cidades de interesse, ao mesmo tempo que reduzindo a altura de pilares, o comprimento de tuneis, e respeitando uma rampa máxima de 10%.

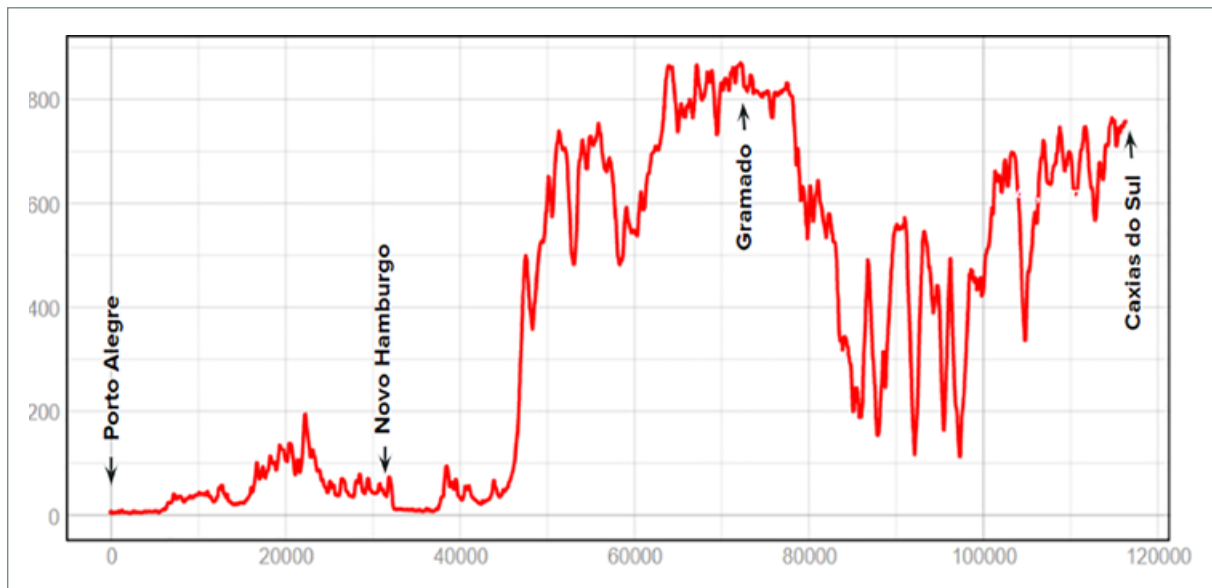


Figura 49 - Perfil altimétrico da diretriz

A partir das imagens apresentadas, é possível identificar as principais dificuldades em cada segmento da rota em estudo. O primeiro segmento, entre as cidades de Porto Alegre e Novo Hamburgo, possui como maiores dificuldades a alta urbanização da região. O segundo segmento, por sua vez, entre as cidades de Novo Hamburgo e Gramado, possui grandes limitações em relação a hidrologia e relevo, além de também apresentar importantes áreas urbanas. Por fim, o terceiro segmento, entre as cidades de Gramado e Caxias do Sul, possui como maior limitador a relevo da região, especialmente em relação as grandes variações de altitude que o vale do rio Caí proporciona.

O grande número de condicionantes existentes na região aumentam a importância de uma análise robusta para uma rota HyperloopTT, apesar do nível de pré-viabilidade do presente estudo. Isso ocorre pelas especificidades geométricas do sistema, que fazem com que uma pequena mudança geométrica influencie o tempo e custo de todo o percurso. Nesse sentido, na seguinte seção é apresentado o método desenvolvido para construção e otimização do alinhamento, utilizando as principais ferramentas utilizadas atualmente na área.

4.5. Método para construção e otimização do alinhamento

A partir do contexto identificado na seção anterior, foi desenvolvido um método para a construção e otimização da rota HyperloopTT conectando as estações previamente discutidas. Esse método em três etapas, conforme apresentado no fluxograma da Figura 50, onde cada etapa é realizada com a utilização de uma diferente ferramenta.



Figura 50 - Fluxograma para obtenção do Alinhamento HyperloopTT

A primeira etapa envolve a utilização do software QGIS, um sistema de informações geográficas de código aberto que permite a definição de um corredor inicial, a partir das condicionantes apresentadas anteriormente. A segunda etapa, por sua vez, envolve a utilização do software SAEPRO, uma ferramenta para projeto de infraestruturas lineares, que permite a definição de curvas horizontais e verticais para a rota em desenvolvimento. Por fim, um algoritmo em Python foi desenvolvido para otimizar o alinhamento proposto na etapa 2, alterando os elementos geométricos do alinhamento de modo a minimizar custo e tempos de viagem.

4.5.1. Corredor da rota (etapa 1)

Tendo em vista que o relevo da região se apresenta como maior desafio para o desenvolvimento de uma rota HyperloopTT, essa foi a condicionante considerada para a construção de um corredor inicial que reduzisse o impacto da mesma. Nesse sentido, utilizado um algoritmo no QGIS para reconhecer o Caminho de Menor Custo e, assim, para guiar o alinhamento do HyperloopTT. Esta etapa é realizada para evitar, tanto quanto possível, uma grande quantidade de túneis longos e grandes viadutos, tendo em vista que tais estruturas afetam significativamente o custo final do projeto.

Para esse processo, foi utilizada como superfícies de custo o *raster* da inclinação do terreno e a variação da inclinação do terreno. A partir disso, o algoritmo de Dijkstra permite identificar um caminho onde a inclinação ou a variação da inclinação do terreno seja menos intensa. Na Figura 51, os caminhos de menor custo determinados pela inclinação do terreno (Rota – Etapa 1A) e variação da inclinação do terreno (Rota – Etapa 1B) são representados em preto e vermelho, respectivamente.

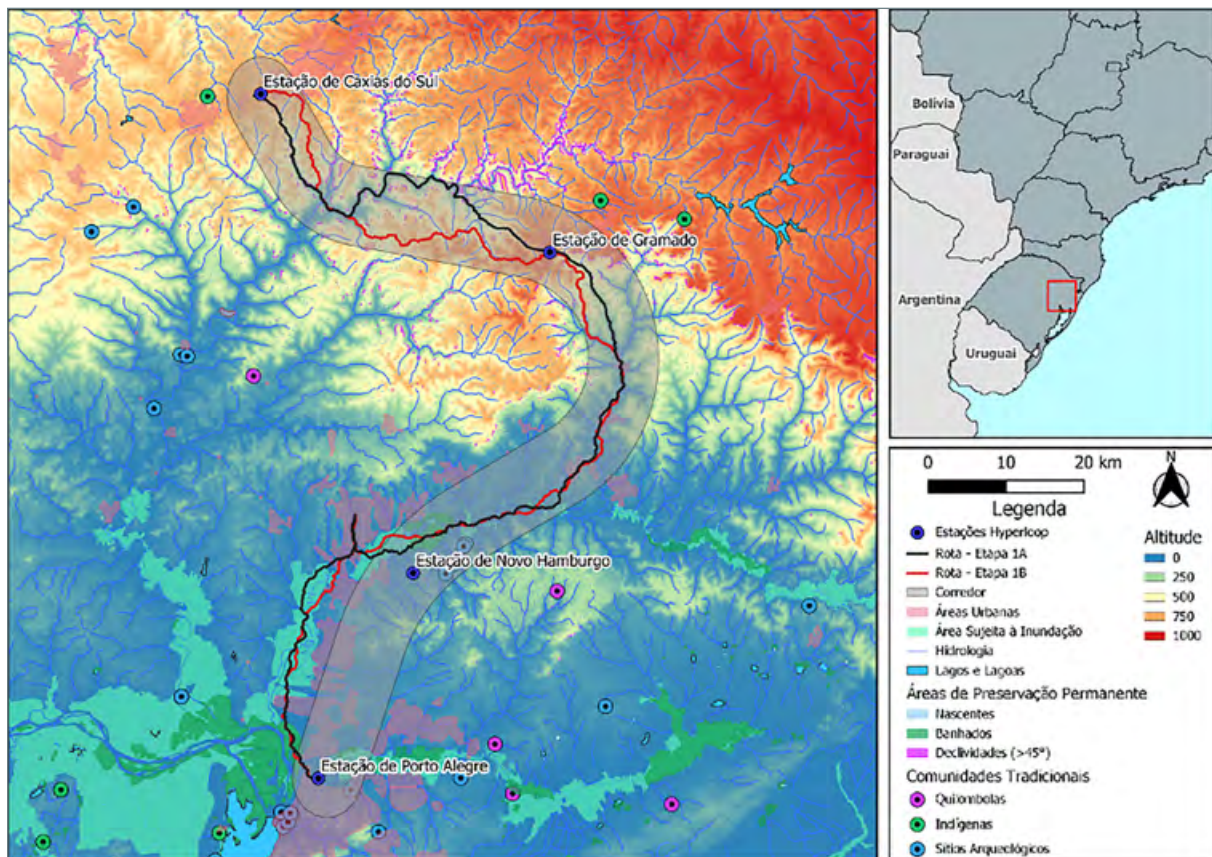


Figura 51 – Caminhos de menor custo pela inclinação e pela variação da inclinação do terreno

A partir dos caminhos de menor custo apresentados na figura anterior, diversos elementos foram identificados e considerados para a definição de um corredor de interesse, apresentado na mesma figura. No primeiro segmento da região, entre as cidades de Porto Alegre e Novo Hamburgo, os caminhos de menor custo seguem naturalmente os cursos dos rios da região. No entanto, tendo em vista que a região é extremamente plana, áreas de inundação impedem que a rota seja desenvolvida por esses locais. O segundo segmento, no entanto, permite identificar o melhor local para vencer a diferença de altitudes entre as cidades de Novo Hamburgo e Gramado, apesar dos cursos d'água e áreas urbanas existentes. Por fim, o terceiro e último segmento produz relevantes informações na definição do segmento final de rota, especialmente o caminho de menor variação da inclinação do terreno.

4.5.2. Alinhamento inicial (etapa 2)

A partir do corredor determinado segundo análises da etapa anterior, a segunda etapa do processo de construção e otimização da rota envolveu a definição de um alinhamento inicial, com a adição de elementos geométricos. Para esse processo foi realizado foi utilizado o software SAEPRO, ferramenta de projeto de infraestruturas lineares, como rodovias, ferrovias e dutovias, apresentado na Figura 52.

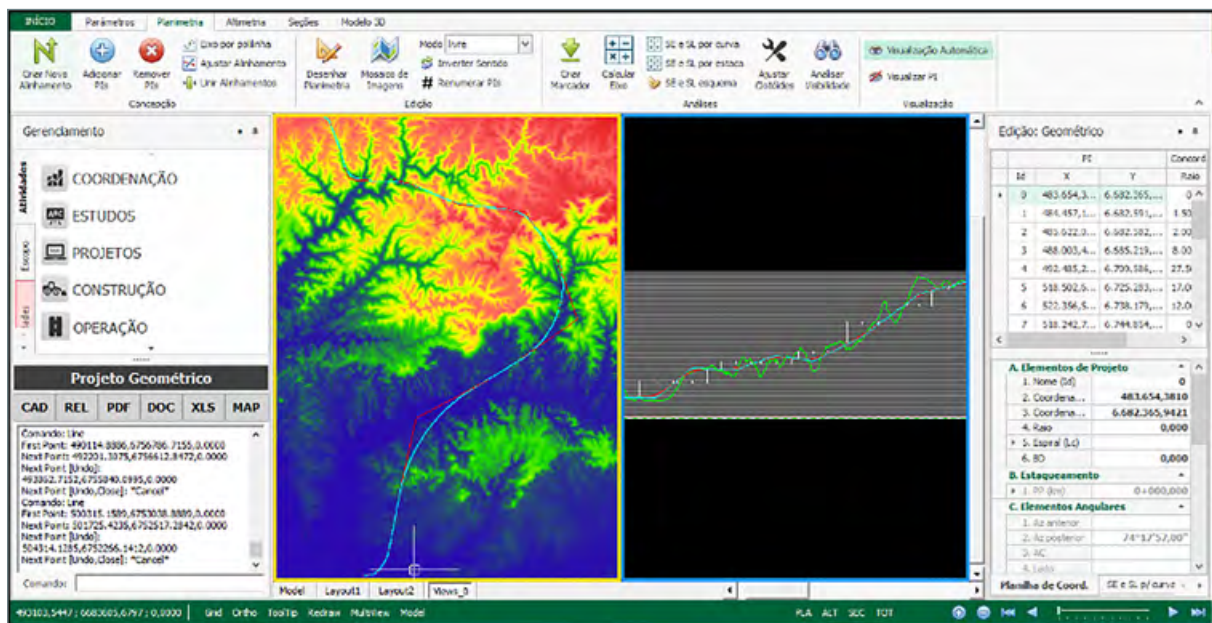


Figura 52 - Software SAEPRO

Essa etapa envolveu a adição de diversos elementos geométricos, como curvas horizontais, curvas verticais e rampas, considerando as especificidades que um sistema HyperloopTT apresenta nesse sentido. Esses elementos foram considerado em conjunto com todas as condicionantes apresentadas nesse capítulo, buscando um menor tempo de viagem e um menor custo, por meio da consideração dos elementos de relevo, sociais e ambientais, por exemplo. A Figura 53 apresenta o alinhamento horizontal realizado no software SAEPRO após a consideração dos elementos citados.

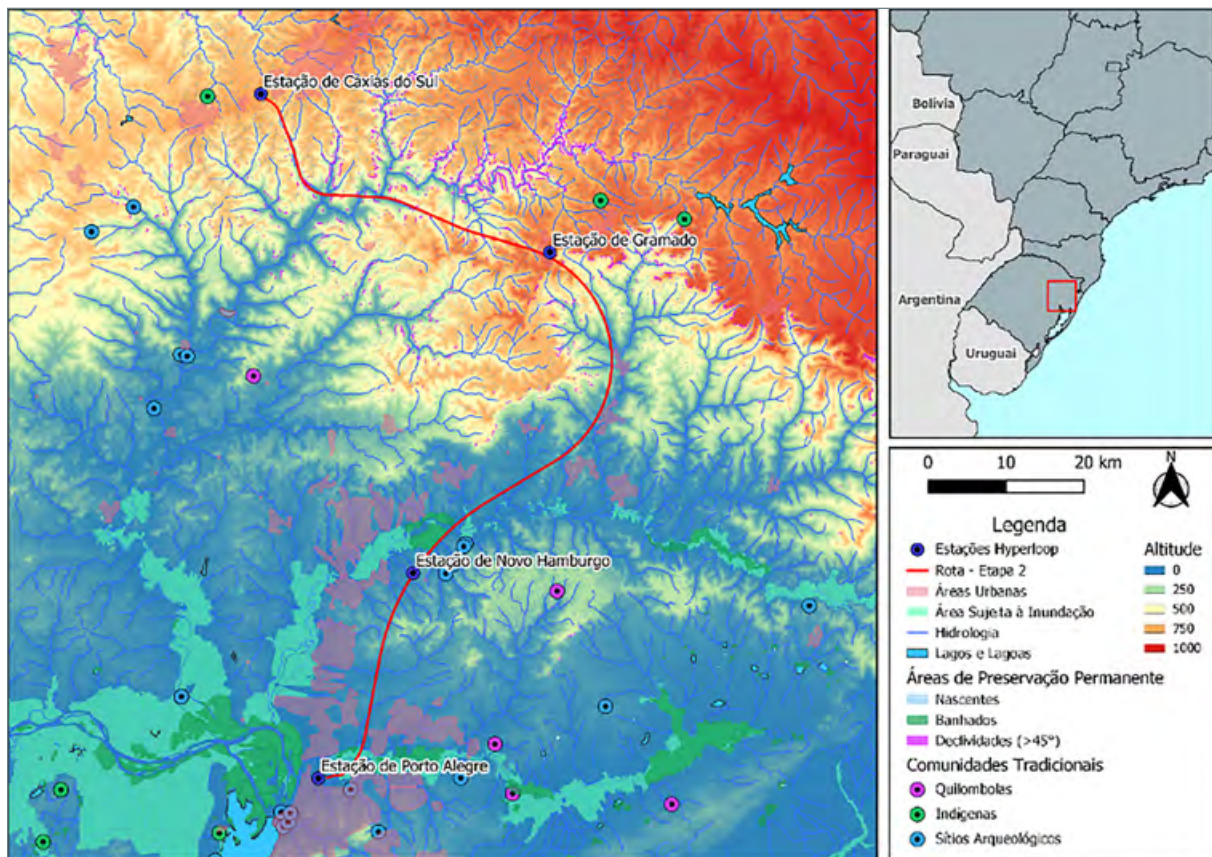


Figura 53 - Alinhamento horizontal a partir do software SAEPRO

A imagem anterior permite observar a evolução do desenvolvimento da rota a partir do corredor apresentado na subseção anterior. Entre os principais pontos de observação temos o pequeno número de conflitos com zonas urbanas e com áreas sujeitas à inundação, que possuem significativa presença na área de menor altitude da região. Além disso, foi realizado um ajuste inicial ao relevo da região montanhosa, mas de modo a garantir uma geometria suave o suficiente, para com isso maiores velocidades.

4.5.3. Otimização do alinhamento (etapa 3)

A partir do alinhamento inicial desenvolvido na etapa anterior, um algoritmo em python foi desenvolvido para a realização de uma análise mais refinada, considerando as características geométricas do sistema HyperloopTT e as condicionantes da região. O uso do recurso computacional permite o desenvolvimento do melhor alinhamento possível, evoluindo o alinhamento desenvolvido em uma abordagem mais tradicional, a partir da experiência do projetista. Além disso, esse processo ganha relevância no contexto do HyperloopTT, visto que para a manutenção das altas velocidades do sistema, uma pequena modificação na geometria pode influenciar o alinhamento por dezenas de quilômetros, gerando conflitos antes inexistentes. Nesse sentido, o recurso computacional permite a realização de milhares de iterações, eliminando ou mitigando conflitos de um modo que seria inviável a partir da abordagem tradicional.

Nesse contexto, o algoritmo desenvolvido busca otimizar o lucro do sistema por meio de modificações no alinhamento base. A receita do sistema essa possui relação direta com a demanda de passageiros, que por sua vez é inversamente proporcional ao tempo de viagem. Os custos, por outro lado, além de dependerem do alinhamento proposto, também são inversamente proporcionais ao tempo de viagem. A Figura 54 apresenta um fluxograma com as relações apresentadas, esclarecendo a influência do alinhamento, e conseqüente tempo de viagem, no lucro total do sistema.

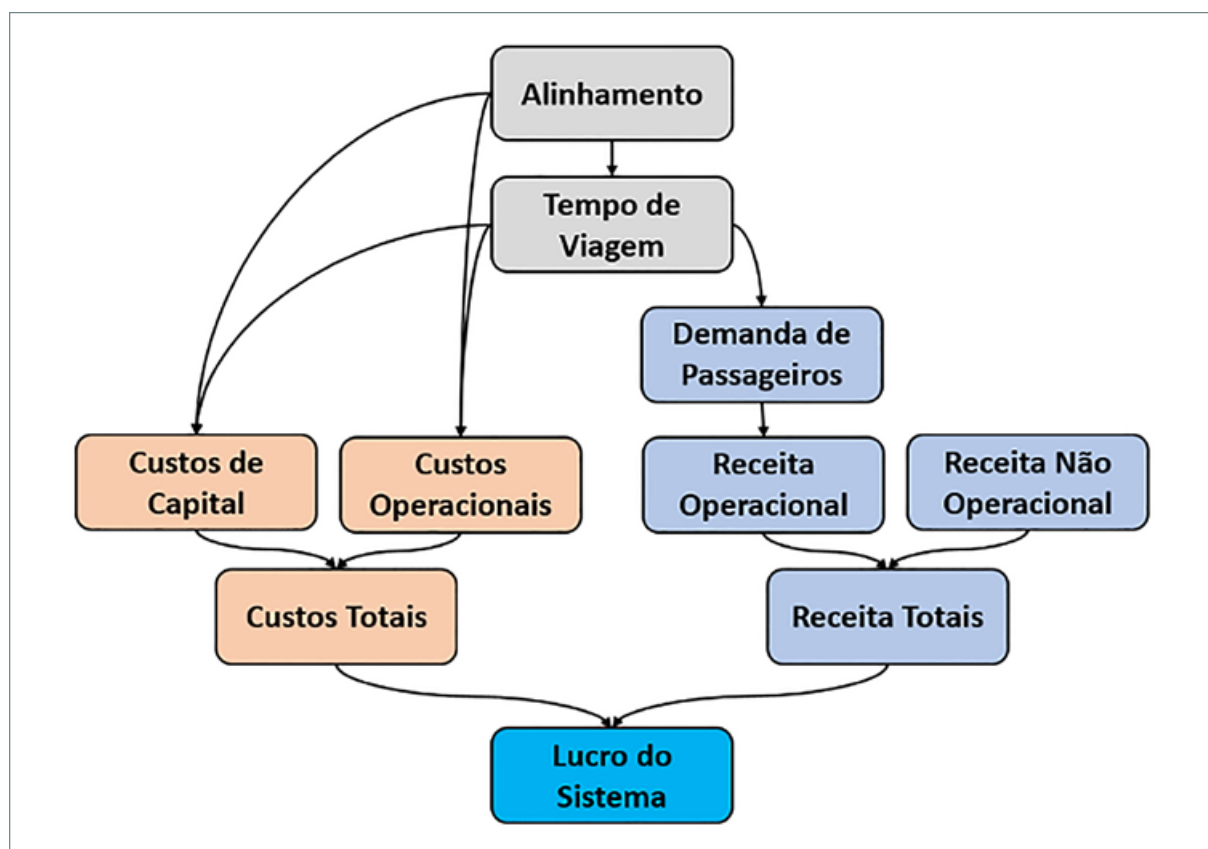


Figura 54 - Fluxograma de atuação do algoritmo

De forma mais específica, o algoritmo realiza iterações a partir de variações da geometria do alinhamento, realizando o cálculo dos custos a partir das condicionantes da região e a receita a partir do tempo de viagem. A Figura 55 apresenta um exemplo de funcionamento do algoritmo para o aspecto custo, para diferentes alinhamentos de entrada. Essa imagem foi construída para identificar que, independente do ponto de partida para a otimização, os resultados tendem a uma curva tempo vs custo, em que os custos crescem exponencialmente na medida que o tempo de viagem se reduz, tendo em vista as características da região.

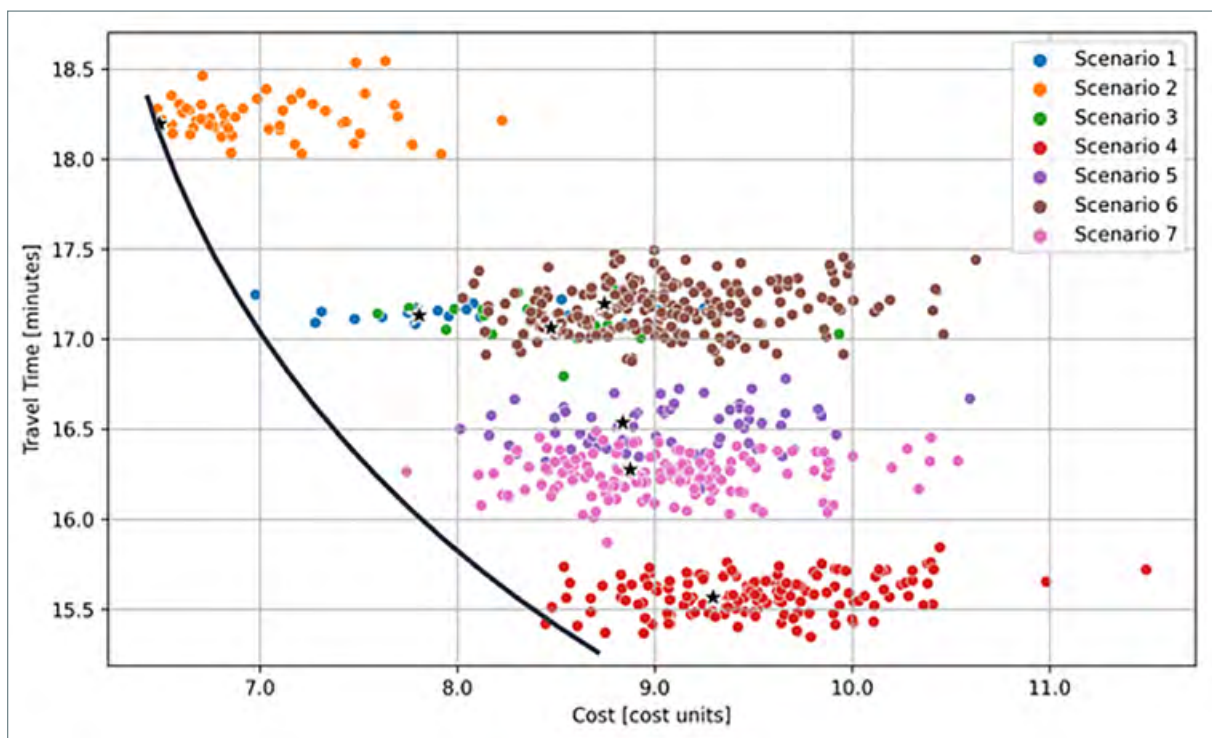


Figura 55 - Relação custo vs tempo para uma rota HyperloopTT

Apesar do algoritmo ter sido desenvolvido para considerar a variação da demanda com a variação dos tempos de viagem, o estudo de demanda apresentado no capítulo 6 mostra a baixa influência do tempo de viagem para o presente estudo. Isso é explicado pelas características da população em análise, em conjunto com a pequena extensão da rota, que gera tempos de viagem incomparáveis aos atualmente realizados. Nesse sentido, o algoritmo desenvolvido no presente estudo otimizou o alinhamento apenas para a redução de custos, ainda que considerando a importância de baixos tempos de viagem, tendo em vista as características do sistema e futuras expansões de rede. A partir disso, a Figura 56 apresenta o resultado final do processo de otimização considerando todos os elementos citados.

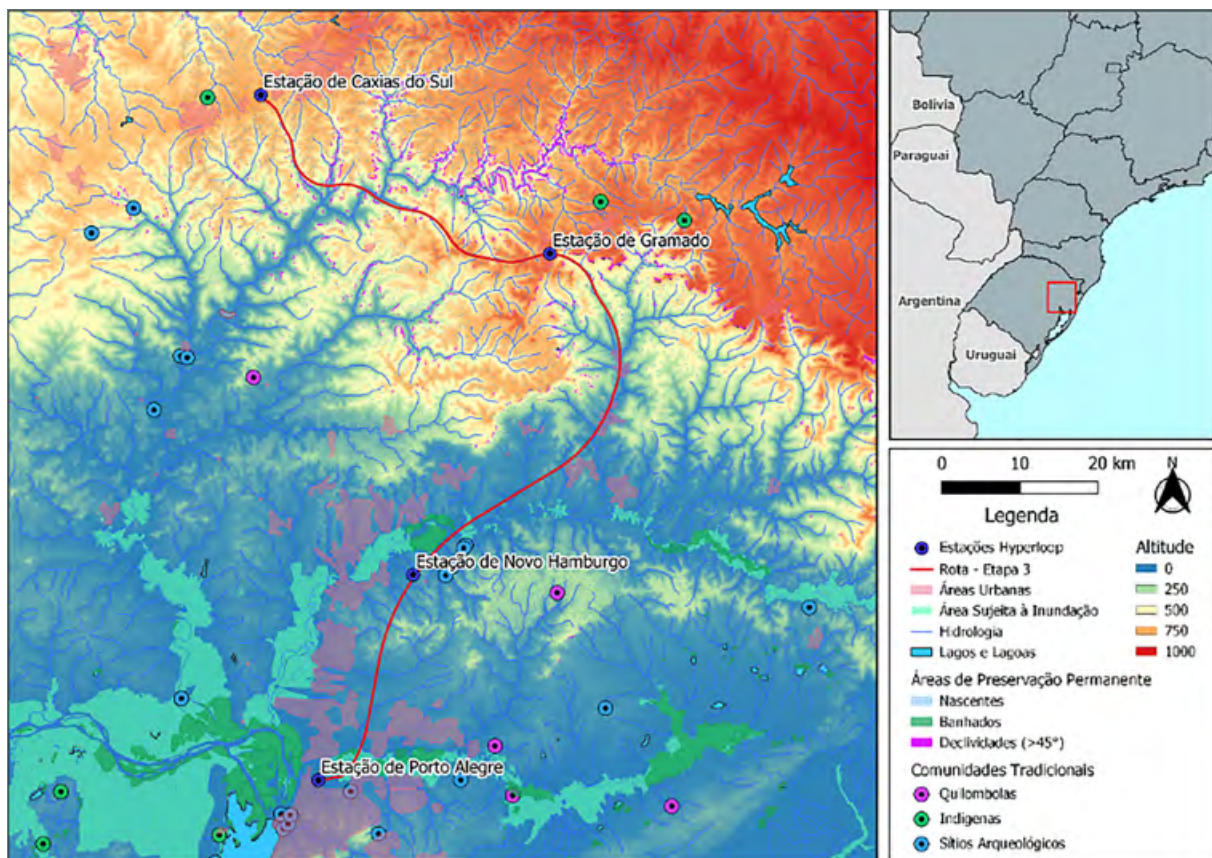


Figura 56 - Alinhamento otimizado pelo uso algoritmo Python

Na figura anterior é possível identificar a evolução do desenvolvimento da rota em relação as etapas anteriores. O principal ponto a ser observado nesse sentido é o melhor ajuste ao terreno nos últimos dois terços da rota, sem um aumento significativo nos tempos de viagem. Uma descrição mais aprofundada dos resultados do estudo da rota é apresentada na próxima seção.

4.6. Resultado do estudo da rota

A partir da metodologia apresentada, que resultou na rota otimizada da Figura 53, a Tabela 6 apresenta os principais indicadores da rota desenvolvida. Cada linha da tabela representa um dos pares origem-destino estudados, sendo que o par Porto Alegre – Caxias do Sul representa a rota completa.

Tabela 6 – Resultado final apra o estudo da rota

Origem - Destino	Tempo (min)	Distância (km)	Velocidade (km/h)	
			Média	Máxima
Porto Alegre - Novo Hamburgo	5:50	30,83	316	650
Porto Alegre - Gramado	11:20	88,70	470	835
Porto Alegre - Caxias do Sul	19:45	135,70	412	835
Novo Hamburgo - Gramado	8:22	57,87	414	765
Novo Hamburgo - Caxias do Sul	16:45	104,56	375	765
Gramado - Caxias do Sul	9:35	46,64	292	410

A tabela anterior nos permite observar a influência do terreno na rota desenvolvida. Por exemplo, o tempo de viagem para o par Porto Alegre – Gramado (11:20) representa 57% do tempo para o par Porto Alegre – Caxias do Sul (11:20), apesar de representar 65% da distância. Essa influência também é observada por meio das velocidades média e máximas, que são maiores para pares origem-destino com maiores extensões em região plana, que envolvem as cidades de Porto Alegre e Novo Hamburgo. Ainda nesse sentido, as Figura 57 a 62 apresentam o perfil de velocidade para cada um dos pares origem-destino, a partir da aceleração longitudinal máxima para o sistema e das restrições geométricas existentes. Enquanto a linha em preto representa as velocidades efetivamente desempenhadas, os segmentos em vermelho representam as maiores velocidades possíveis para cada local.

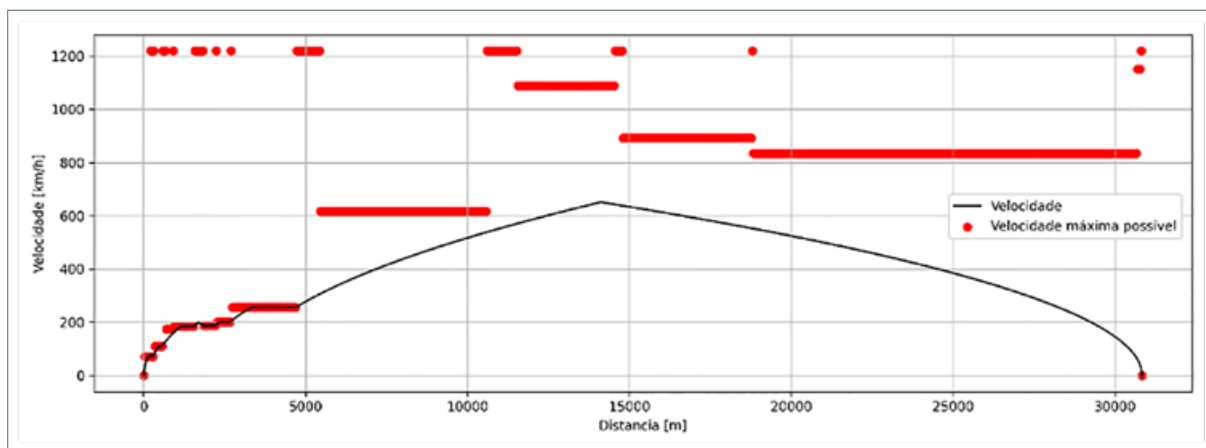


Figura 57 – Perfil de velocidade para a rota entre Porto Alegre e Novo Hamburgo

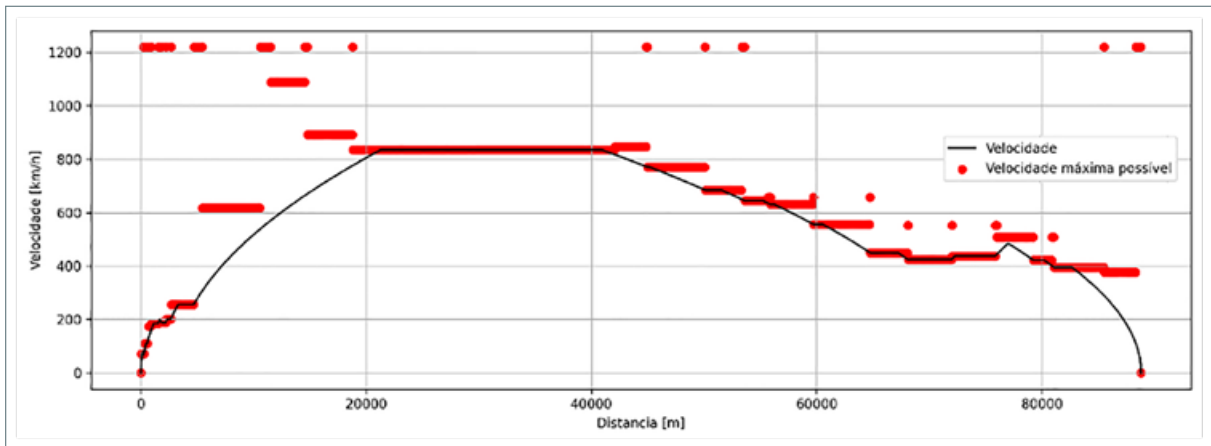


Figura 58 - Perfil de velocidade para a rota entre Porto Alegre e Gramado

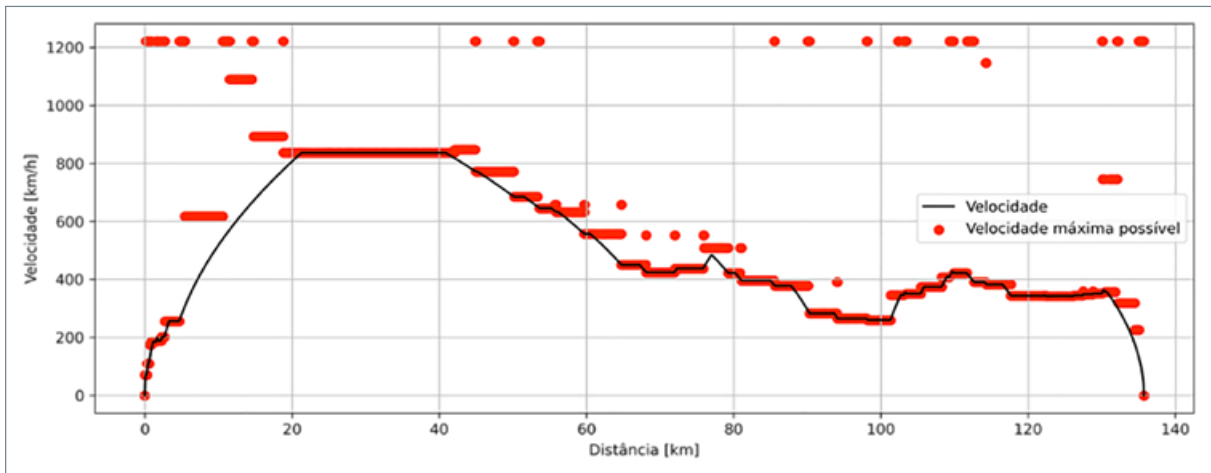


Figura 59 - Perfil de velocidade para a rota entre Porto Alegre e Caxias do Sul

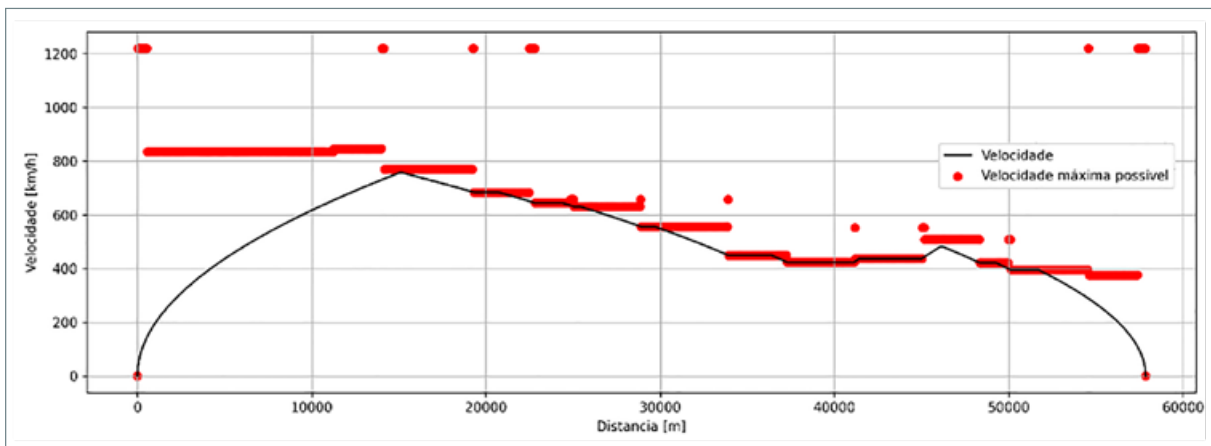


Figura 60 - Perfil de velocidade para a rota entre Novo Hamburgo e Gramado

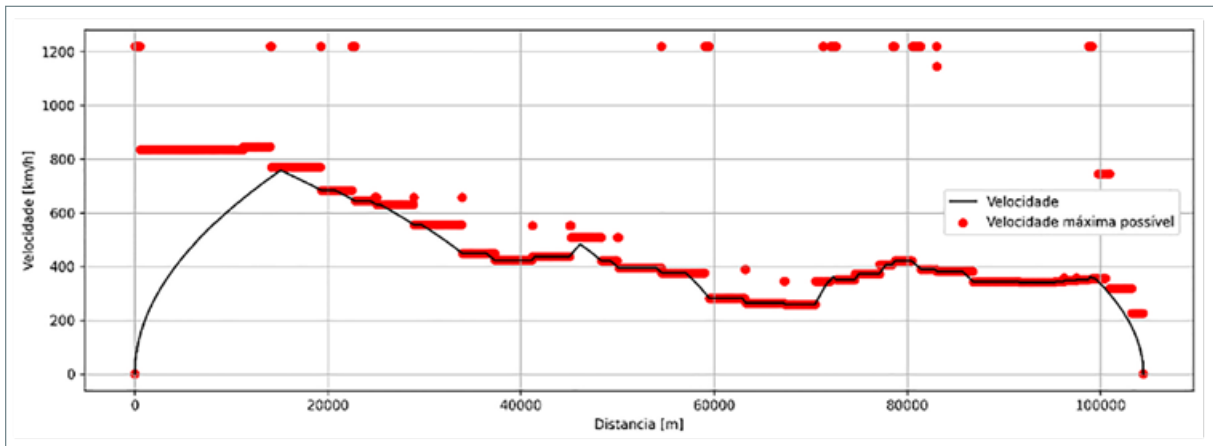


Figura 61 - Perfil de velocidade para a rota entre Novo Hamburgo e Caxias do Sul

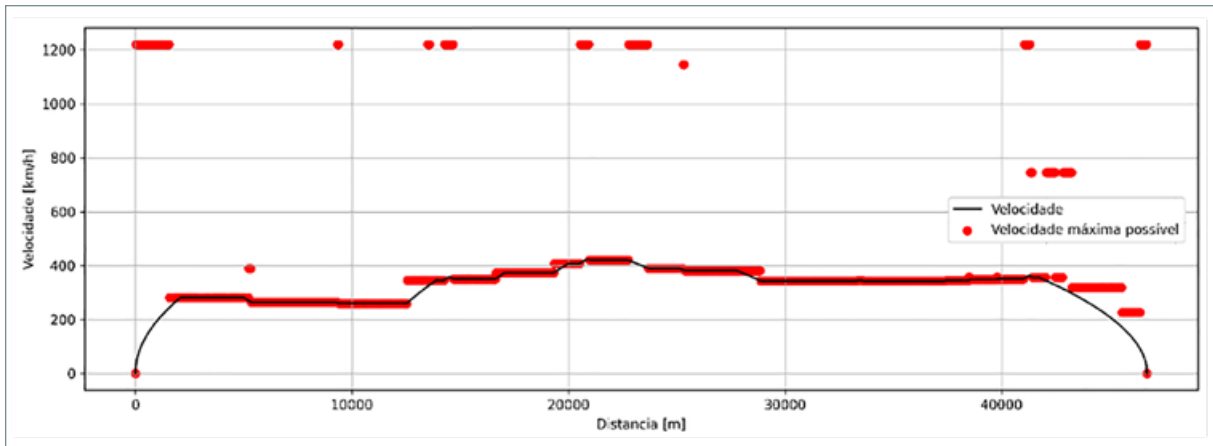


Figura 62 - Perfil de velocidade para a rota entre Gramado e Caxias do Sul

Em relação a geometria vertical, a Figura 63 apresenta o perfil da rota desenvolvida, as respectivas diferenças de altitude entre greide e terreno, e os custos acumulados para a infraestrutura. O perfil vertical permite a observação da existência de dois túneis profundos, que exigem a utilização de equipamento especializado, de maior valor. O primeiro desses túneis acontece sobre a cidade de Gramado, garantindo o acesso direto ao centro da cidade, ao mesmo tempo que evitando interferências com a zona densamente ocupada. Em relação aos custos, esses são influenciados em grande parte pelos túneis, especialmente quando profundos. Os valores apresentados, de quase \$2,5 bilhões, foram ajustados para o contexto brasileiro conforme descrito no capítulo 8.

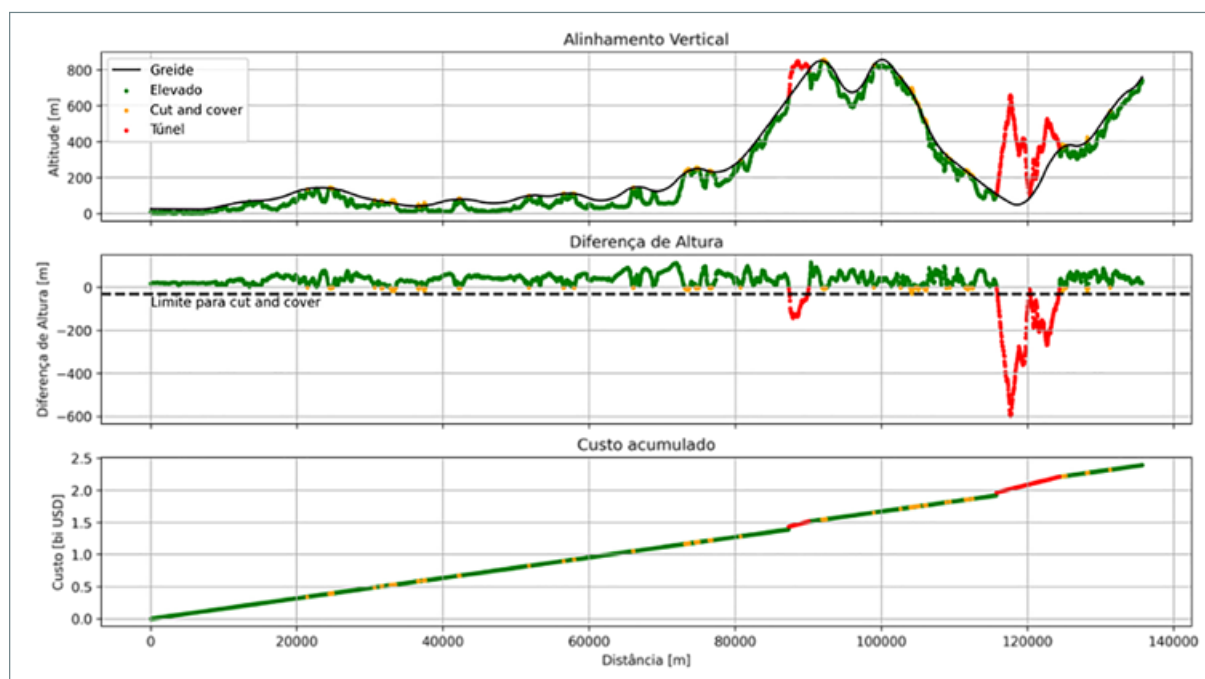


Figura 63 - Geometria vertical e custos para a rota otimizada

Por fim, a evolução desse estudo para uma análise de viabilidade pode ser realizada com a mesma metodologia apresentada, a partir de valores mais robustos de entrada. Por exemplo, estudos mais robustos sobre a demanda de passageiros, e sondagens mais específicas do solo do corredor, podem gerar um alinhamento otimizado com algumas diferenças, mas com uma maior precisão.



5. Necessidade energética

Este capítulo resume as necessidades de energia do HyperloopTT que conecta Porto Alegre, Novo Hamburgo, Gramado e Caxias do Sul. Está previsto o dimensionamento dos sistemas fotovoltaicos que supririam as necessidades anuais de energia para a operação. A potência fotovoltaica teórica que poderia ser instalada na rota elevada também é estimada.

5.1. Premissas básicas e necessidades de energia

As suposições básicas para as necessidades de energia do HyperloopTT foram retiradas do Apêndice F – Custos Operacionais Unitários para o HyperloopTT dos Grandes Lagos e são relatadas na Tabela 7 para fins de clareza. Os dados originais eram custos de energia, e a conversão para unidades de energia foi realizada considerando que o Ohio Futures Energy Study projeta um custo de eletricidade de \$ 0,11/kWh. Na Tabela 5, duas colunas com a conversão em unidades de energia e distância em km também estão incluídas.

Tabela 7 – Necessidades de energia (Apêndice F Estudo Viabilidade Grandes Lagos)

Energia	Custos (\$)	kWh/milha	kWh/km
Energia para vácuo	\$ 41916 por milha de rota por ano para energia (dois tubos)	381054 kWh / (milha ano)	236777 kWh/ (km ano)
Energia de Propulsão (Passageiro) Inductrak	\$0,042 por milha cápsula	0,382 kWh / (milha cápsula)	0,237 kWh/ (milha cápsula)
Energia de Propulsão (Carga) Inductrak:	\$0,060 por milha cápsula	0,545 kWh / (milha cápsula)	0,339 kWh/ (cápsula km)

As necessidades de energia para o projeto específico foram estimadas seguindo as características da rota e a hipótese relatada na Tabela 8.

Tabela 8 – Entradas gerais para o cálculo das necessidades de energia

Parâmetro de entrada	Valor	Unidade
Comprimento total da rota	135	km
Comprimento da rota em túneis subterrâneos	18	km
Número de viagens / dia (Passageiro, máximo anual)	2.326	-
Número de viagens / dia (frete, máximo anual)	132	-
Altitude de Caxias do Sul	760	m
Massa da cápsula de passageiro (tara 5000 kg + 50 passageiros x 80 kg)	9000	kg
Massa da cápsula de carga (tara 5.000 kg + 15.000 kg de carga útil)	20000	kg
Número de estações de passageiros (P. Alegre, N. Hamburgo, Gramado, Caxias)	4	-
Área de construção da estação de passageiros (m ²) (hipoteticamente)	10000	m ²
Consumo anual de energia das estações (Com base em Qian et al., 2019)	268	kWh/(m ² .ano)

O comprimento estimado da rota disponível para instalação de módulos fotovoltaicos na via é de cerca de 117 km (135 km – 18 km). Outra hipótese considerada é que cerca de 20% da rota sobre o solo não seria viável para a instalação de módulos fotovoltaicos, principalmente devido ao possível sombreamento do entorno. O comprimento efetivo da rota para instalação de sistemas fotovoltaicos é considerado com 94 km.

As estimativas de consumo anual de energia para as principais necessidades estão resumidas na Tabela 9. Os valores apresentados são calculados a partir dos dados relatados na Tabela 7 e na Tabela 8 da seguinte forma:

- A necessidade anual de energia de vácuo é simplesmente a distância da rota multiplicada pela energia para vácuo relatada na Tabela 5 (135 km x 236777 kWh/(km ano) = 31964837 kWh).
- A necessidade anual de energia de propulsão é calculada multiplicando os fatores: comprimento da rota x número de viagens por dia x energia para propulsão em kWh/(cápsula km) x 365 dias.
- A energia potencial é calculada multiplicando os seguintes fatores e considerando apenas a metade das viagens (nenhuma energia de regeneração é considerada para simplificar): massa da cápsula (kg) x 9,8 (m/s²) x altitude (m) x metade das viagens por dia x 365 dias x (1/3600000). O ajuste da unidade de joule para kWh é alcançado pelo fator 1/3600000.
- O consumo da estação de passageiros é calculado por: número de estações x área da estação (m²) x consumo específico de energia (kWh/m² ano)
- Os custos de energia são calculados para a unidade consumidora A4, onde a demanda de potência e os custos de energia têm valores diferentes para horários de ponta (18h às 21h) e fora de ponta. A4 é uma classificação de consumidores que compram energia com ligação à rede de média tensão (13,8 / 25 kV). O custo da energia incluindo impostos no horário fora de ponta é de R\$ 0,51/kWh. Os horários de ponta não foram incluídos, pois hipoteticamente

durante este período o sistema seria alimentado por baterias. As cobranças de demanda não foram consideradas devido à falta de parâmetros elétricos detalhados do projeto.

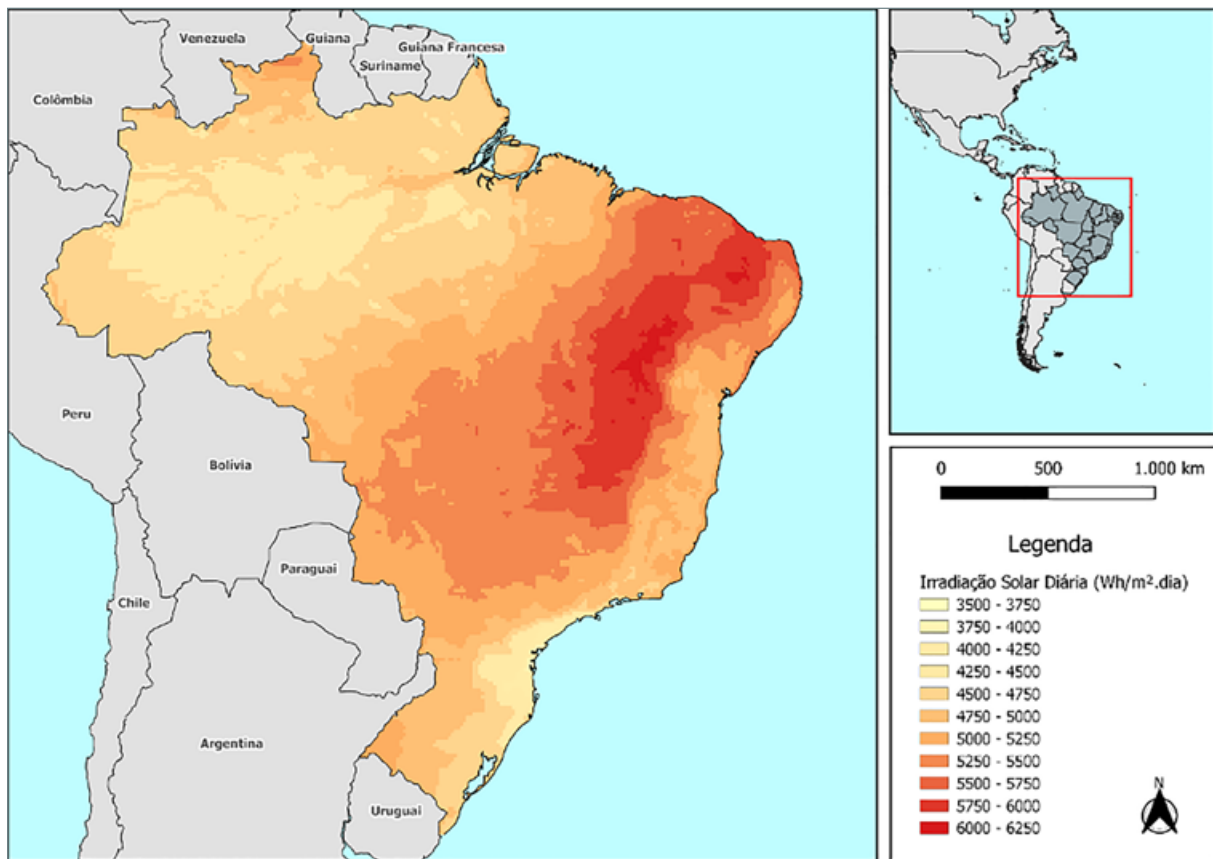
- Estima-se que 20% da conta de eletricidade seria devido aos custos de demanda de potência e outros encargos da fatura.
- Taxa de câmbio: 1 US\$ = 5 R\$

Tabela 9 – Necessidade anual de energia para operação HyperloopTT

Necessidade de energia	Máximo (dimensionamento)	Média anual	Unidade
Vácuo	31.964.837	31.964.837	kWh/ano
Propulsão (passageiro)	27.630.202	21.775.060	kWh/ano
Propulsão (carga)	2.202.090	1.773.118	kWh ano
Energia Potencial (passageiros – metade das viagens)	8.027.577	6.326.445	kWh/ano
Energia Potencial (carga – metade das viagens)	996.529	802.403	kWh/ano
Consumo da estação de passageiros	10.720.000	10.720.000	kWh/ano
Necessidades anuais de energia	81.541.234	73.361.862	kWh/ano

5.2. Disponibilidade de radiação solar e aspectos gerais da geração distribuída

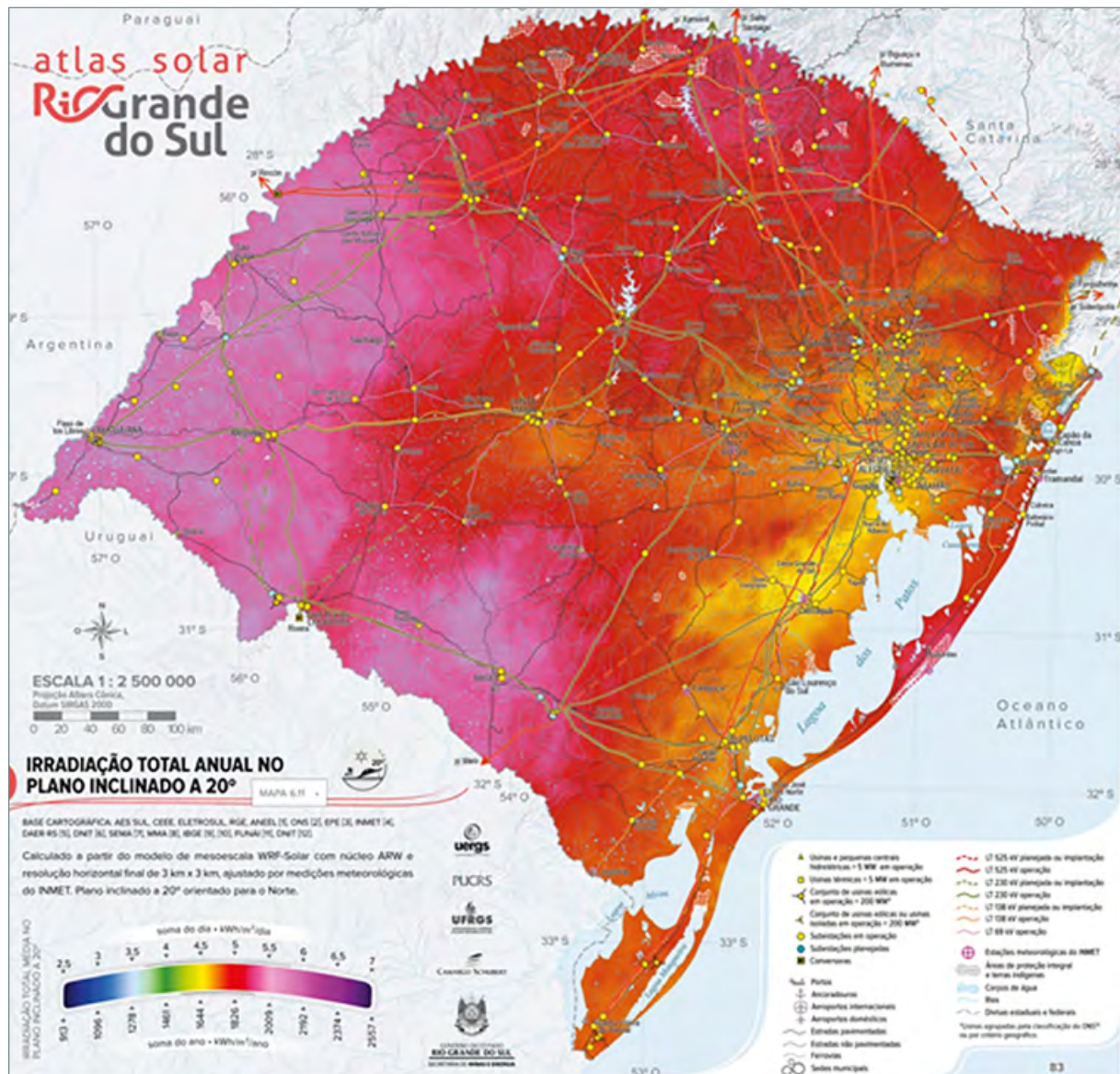
O Brasil é um país com alta incidência de radiação solar. Como o país é muito extenso, existem regiões de baixa latitude onde a irradiação solar não se altera muito ao longo do ano, mas também existem regiões onde a latitude é maior, sendo notados efeitos sazonais como nos estados do sul. Para uma ideia dos níveis de irradiação solar no Brasil, a Figura 64 apresenta um mapa do Atlas Brasileiro de Energia Solar (PEREIRA *et al.*, 2017) com representação da irradiação solar diária como a média anual da irradiação incidente em um plano inclinado com um ângulo igual à latitude local.



Fonte: adaptado de Pereira et al. (2017)

Figura 64 - Mapa irradiação solar no Brasil - plano inclinado ângulo latitude local

Um estudo muito mais detalhado no Estado do Rio Grande do Sul é apresentado no Atlas Solar do Rio Grande do Sul (SMERS, 2018). A Figura 65 apresenta o mapa de irradiação do Estado do Rio Grande do Sul extraído deste Atlas, observando que não há correspondência de cores entre a Figura 64 e a Figura 65.



Fonte: SMERS (2018)

Figura 65 - Incidente anual de irradiação solar em um plano inclinado de 20 ° voltado para o norte

Embora os mapas representem valores médios ao longo do ano, o banco de dados meteorológicos possui intervalos horários e, com isso, é possível analisar os efeitos na produção horária de eletricidade. A irradiação solar horária é dividida nas componentes direta e difusa para processar o cálculo da irradiação incidente em um plano inclinado. Como a direção da radiação solar é conhecida a cada hora, empregando modelos internacionalmente aceitos, não só são calculados os efeitos da radiação que dependem do ângulo de incidência, mas também os impactos da reflexão do vidro de cobertura dos módulos fotovoltaicos são estimados separadamente para as componentes direta e difusa da radiação.

Também a cada hora, é realizada uma simulação da temperatura dos módulos fotovoltaicos e, por último, pode ser calculada a produção de eletricidade para uma instalação fotovoltaica típica. No caso mostrado aqui, para obter o rendimento fotovoltaico anual típico, foram realizadas simulações para pequenas instalações de 5 kWp conectadas à rede, comparando o efeito do ângulo de incidência, efeito da temperatura, carregamento do inversor, variação da eficiência do módulo com irradiância solar, perdas em conexões e fiação. Com essas simulações, os dados de produção de eletricidade foram computados em relação à potência instalada, dando a métrica denominada Rendimento Fotovoltaico (YF) em uma base anual, que possui unidades de kWh/kWp. Este índice permite avaliar quanta energia elétrica em corrente alternada é entregue no ponto de conexão em kWh por ano para cada kWp de módulos fotovoltaicos instalados. Os equipamentos usados na simulação são componentes comuns, de boa qualidade, mas seria possível obter melhores resultados se a opção fosse instalar componentes de alto padrão. A Figura 66 mostra os resultados do YF na região de interesse.

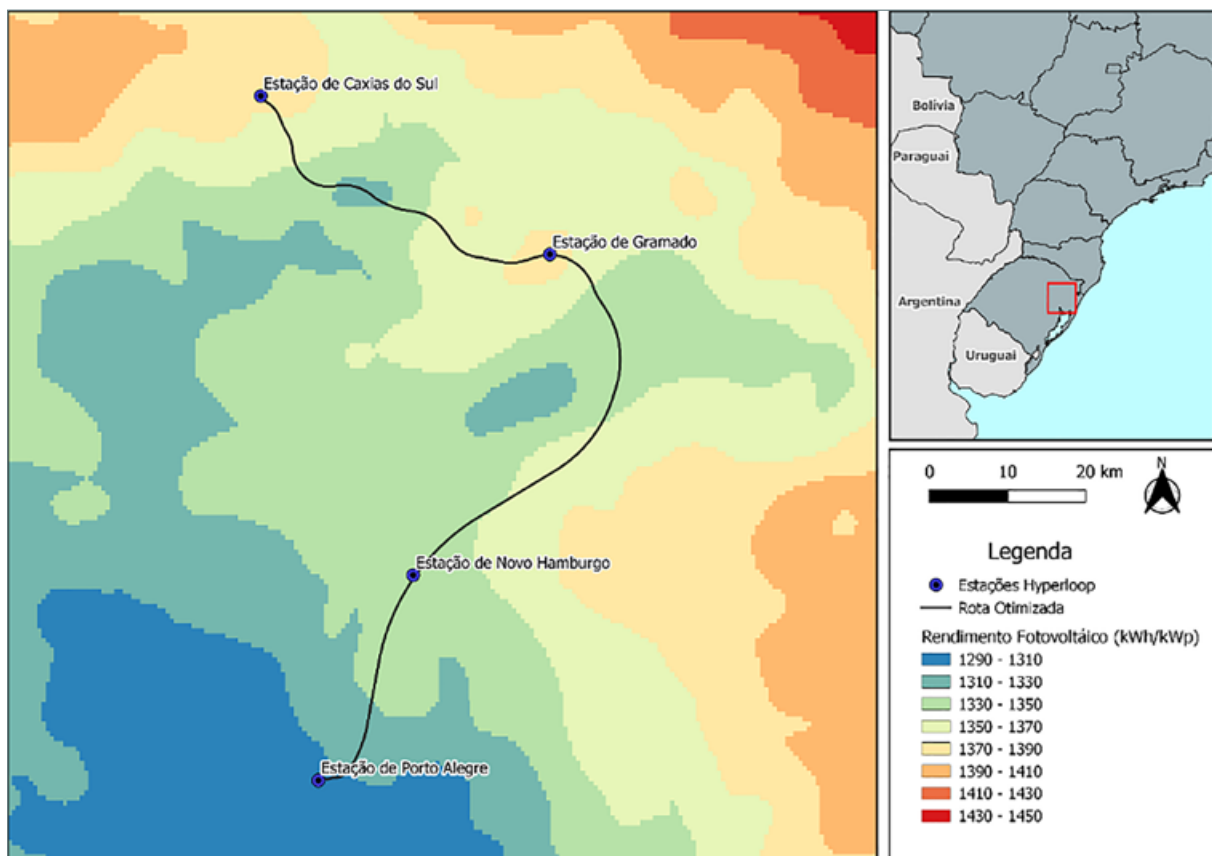


Figura 66 - Produtividade fotovoltaica anual para instalações interligadas à rede

5.3. Efeito da orientação e ângulo de inclinação dos módulos

A orientação azimutal e o ângulo de inclinação de um módulo fotovoltaico mudam sua capacidade de converter energia solar em eletricidade ao longo do ano. Se os módulos fotovoltaicos estiverem sempre orientados para o Sol por um rastreador, eles podem apresentar seu desempenho máximo, mas os mecanismos de movimentação dos módulos podem ser muito caros e causar transtornos de manutenção. Os mecanismos de rastreamento tendem a ser viáveis em grandes instalações terrestres. No caso de túneis HyperloopTT, módulos fixos seriam a escolha aconselhável.

Um módulo fotovoltaico tem seu desempenho modificado por sua orientação, pois a radiação solar direta incidente em um plano equivale à projeção de energia que atravessa uma superfície hipotética perpendicular aos raios solares na superfície do plano receptor. Se a normal do plano considerado forma um ângulo θ com a direção dos raios solares, a irradiância no plano tem um fator de redução igual ao cosseno deste ângulo para a irradiância direta que seria recebida no plano perpendicular aos raios solares.

Além dessa perda de projeção, há o fato de os módulos fotovoltaicos geralmente serem recobertos por uma lâmina de vidro, que reflete a radiação solar com maior intensidade quando o ângulo de incidência é maior. Portanto, a orientação azimutal e a inclinação dos módulos fotovoltaicos a serem instalados em uma planta devem ser consideradas. A forma mais precisa de saber esse impacto é fazer simulações que considerem a variabilidade horária da radiação solar, sua composição entre as componentes direta e difusa e o efeito da reflexão do vidro. Os resultados são diferentes para diferentes regiões do mundo, pois dependem da trajetória aparente do Sol, latitude, diferentes distribuições de probabilidade de haver mais nuvens pela manhã ou à tarde, e inúmeros outros fatores que também são usados em simulações mais completas.

Realizou-se então um estudo com simulação de rendimento fotovoltaico para diferentes orientações de módulos fotovoltaicos fixos e os resultados foram normalizados para a condição de maior produção de energia elétrica para a região considerada, que era a orientação norte com 25° de inclinação. Os resultados podem ser usados como fatores de correção anuais de uma tabela. A Figura 64 mostra um exemplo de rendimento fotovoltaico variável com orientação, onde um plano norte voltado para 25° é a referência como a orientação ideal para a região de interesse.

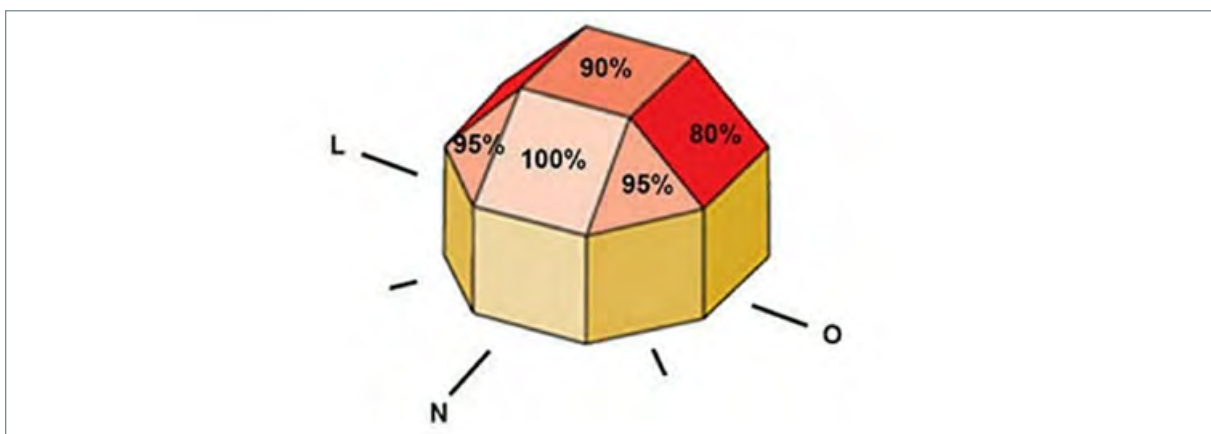
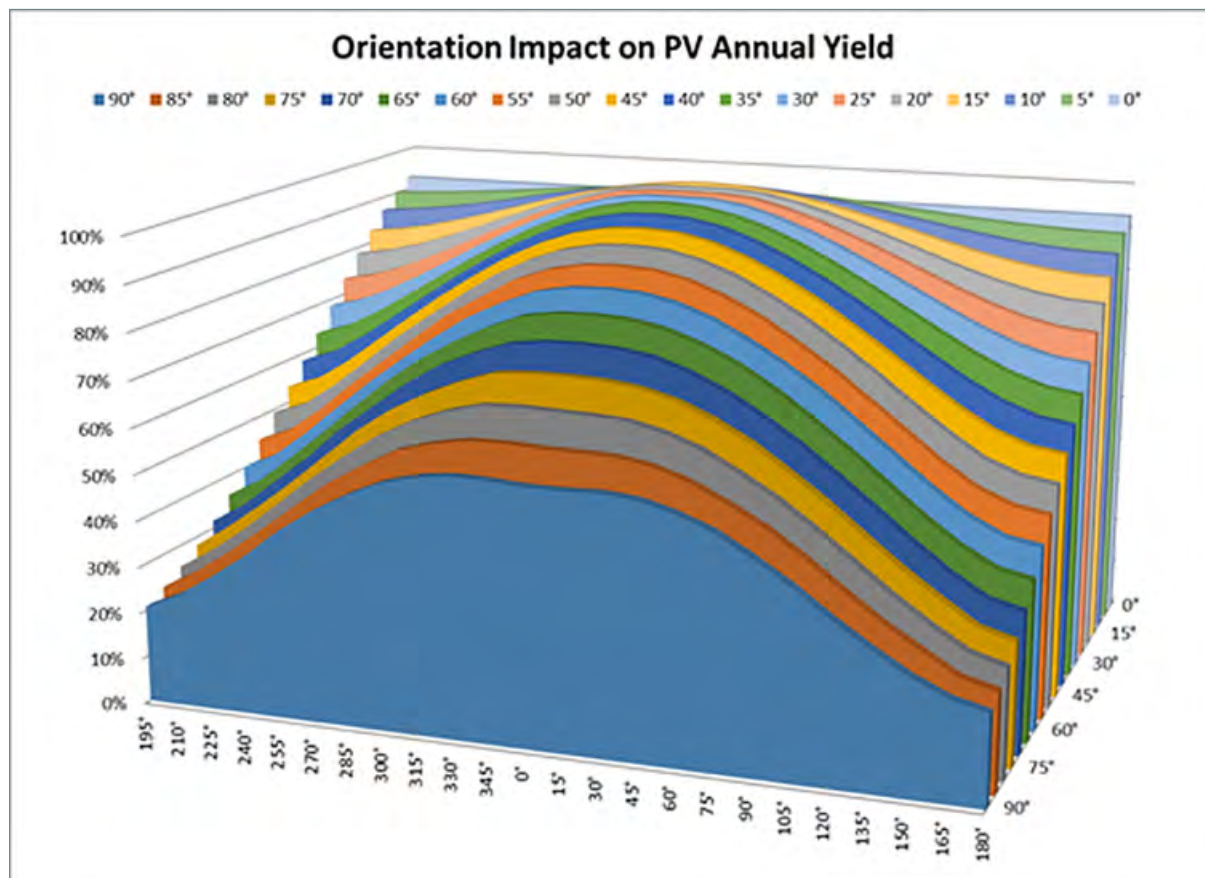


Figura 67 - Posição do painel e perda genérica de rendimento conforme orientação

A Figura 67 apresenta o impacto da orientação e inclinação do módulo nas porcentagens de rendimento anual. A Figura 68, por sua vez, mostra os fatores de correção do rendimento anual dependendo da orientação dos módulos, para ilustrar como o rendimento anual muda em relação às possibilidades de orientação e inclinação.



(0° é norte, 90° é leste, 180° é sul e 270° é oeste) e ângulo de inclinação (0° é horizontal e 90° é vertical).

Figura 68 - Variação anual do rendimento fotovoltaico de acordo com o azimute

No caso de módulos com múltiplas orientações na mesma instalação, como seria o caso da instalação sobre os túneis do HyperloopTT, é necessário um estudo específico sobre o projeto, proporcionando agrupamento adequado dos módulos para não perder desempenho. Este item inclui a decisão sobre o tipo de inversores a serem utilizados, incluindo inversores *string*, otimizadores ou mesmo microinversores como opções de solução técnica para múltiplas orientações.

O trajeto de Porto Alegre até Gramado segue essencialmente uma direção sul-norte, o que significa que alguns módulos fotovoltaicos seriam instalados voltados para o leste e os demais voltados para o oeste. Nesta seção, ambos os lados podem ser usados, considerando alguma redução devido à orientação não ideal para o rendimento anual máximo, onde os módulos fotovoltaicos idealmente estão voltados para o norte e o ângulo de inclinação está próximo à latitude (30°).

Estudos anteriores mostram que, no Rio Grande do Sul, os painéis voltados para o norte com ângulos de inclinação de 15° a 30° têm essencialmente o mesmo rendimento anual, diferindo em torno de 1%, e efetivamente, o melhor ângulo de inclinação do módulo fotovoltaico é em torno de 20-25°.

O trecho da rota de Gramado a Caxias torna-se uma predominantemente na direção Leste-Oeste. Neste caso, os módulos FV seriam instalados apenas no lado norte, reduzindo a área disponível. Do traçado da rota, esta região não seria a mais adequada, uma vez que contará com vários túneis subterrâneos e possibilidade de sombreamento desde as montanhas circundantes.

Para estudos de pré-viabilidade, o rendimento fotovoltaico típico da região (~1350 kWh/kWp) é reduzido em 10%, o que seria equivalente a módulos fotovoltaicos voltados para leste ou oeste e, portanto, um rendimento fotovoltaico típico de 1200 kWh/kWp é utilizado para dimensionar os sistemas fotovoltaicos, sem comprometer os principais resultados.

5.4. Geração distribuída no Brasil e possibilidades para o HyperloopTT

A eletricidade é tradicionalmente produzida em grandes usinas distantes dos centros de consumo. Esse panorama envolve as etapas de geração, transmissão e distribuição de energia elétrica que ligam a usina ao consumidor. Existem vários procedimentos para aumentar e diminuir tensões que envolvem linhas de transmissão, subestações e redes de distribuição. Além da construção e ampliação dos sistemas, há um gasto considerável na sua manutenção.

Mais recentemente, especificamente a partir de 2012, passou a ser possível compartilhar a responsabilidade pela geração de energia elétrica com unidades geradoras conectadas diretamente à rede de distribuição, em média ou baixa tensão. Essas unidades de geração distribuída colaboram com diversos aspectos positivos na manutenção da rede de distribuição, pois ao injetar energia elétrica em locais muito próximos aos centros de consumo, evitam-se perdas na transmissão, reduzem as perdas na rede de distribuição e até aumentam a segurança ao multiplicar os pontos de apoio para aumentar a energia no ambiente do consumidor.

A Resolução Normativa 482/2012 da ANEEL (Agência Nacional de Energia Elétrica) regulamentou a geração distribuída de energia por meio da definição do sistema de compensação, internacionalmente conhecido como *net-metering*. O sistema de compensação corresponde a um arranjo em que a energia ativa injetada na rede de distribuição por uma unidade consumidora é transferida para a distribuidora e posteriormente compensada com o consumo de igual quantidade de energia. Essa resolução foi revisada por outra, nº 687/2015 e define instalações de microgeração distribuída de usinas geradoras com potência de até 75 kW e instalações de minigeração distribuída com potência a partir de 75 kW até 5 MW, ambas conectadas à rede por meio de instalações de unidades consumidoras. Esse arranjo em uma unidade é chamado de prosumidor, local que produz e consome energia elétrica.

Também é importante destacar que a resolução normativa 482/2012 permite a instalação de geração distribuída em local diferente do ponto de consumo, por meio da geração compartilhada e

autoconsumo remoto, desde que as unidades consumidoras pertencentes ao mesmo proprietário e no interior limites da mesma área de concessão da companhia elétrica.

Algumas definições são importantes para destacar:

- Microgeração distribuída: planta geradora de energia elétrica, com potência instalada menor ou igual a 75 kW, conectada à rede de distribuição por meio de instalações de unidades consumidoras.
- Minigeração distribuída: planta geradora de energia elétrica, com potência instalada maior que 75 kW e menor ou igual a 5 MW, conectada à rede de distribuição por meio de instalações de unidades consumidoras. A maioria deles são conectados em média tensão (13,8/25 kV).
- Sistema de compensação de energia elétrica: sistema em que a energia ativa injetada por uma unidade consumidora com microgeração ou minigeração é transferida, por meio de empréstimo gratuito, para a distribuidora local e posteriormente compensada com o consumo de energia elétrica ativa;
- Autoconsumo Remoto: caracterizado por unidades consumidoras pertencentes a uma mesma Pessoa Jurídica, incluindo sede e filial, ou Pessoas Físicas que possuam uma unidade consumidora com microgeração ou minigeração distribuída em local diferente das unidades consumidoras, dentro da mesma área de concessão ou permissão, na qual o excedente de energia será compensado.

É importante considerar que a potência instalada de microgeração e minigeração distribuída se limita à potência disponibilizada à unidade consumidora ou demanda contratada onde será conectada a usina geradora. Para efeito de compensação, a energia ativa injetada no sistema de distribuição pela unidade consumidora será repassada na forma de empréstimo gratuito à distribuidora, e a unidade consumidora terá um crédito equivalente à quantidade de energia ativa a ser consumida por 60 (sessenta) meses.

Conforme mencionado, a compensação na modalidade de autoconsumo remoto deve ser feita dentro da mesma área de concessão da empresa fornecedora de energia elétrica. No caso da rota do HyperloopTT, estariam envolvidas pelo menos 3 concessionárias, conforme demonstrado nas áreas apresentadas na Figura 69. A consequência disso é que as usinas de cada área de concessão só poderão compensar energia com unidades consumidoras na mesma região.

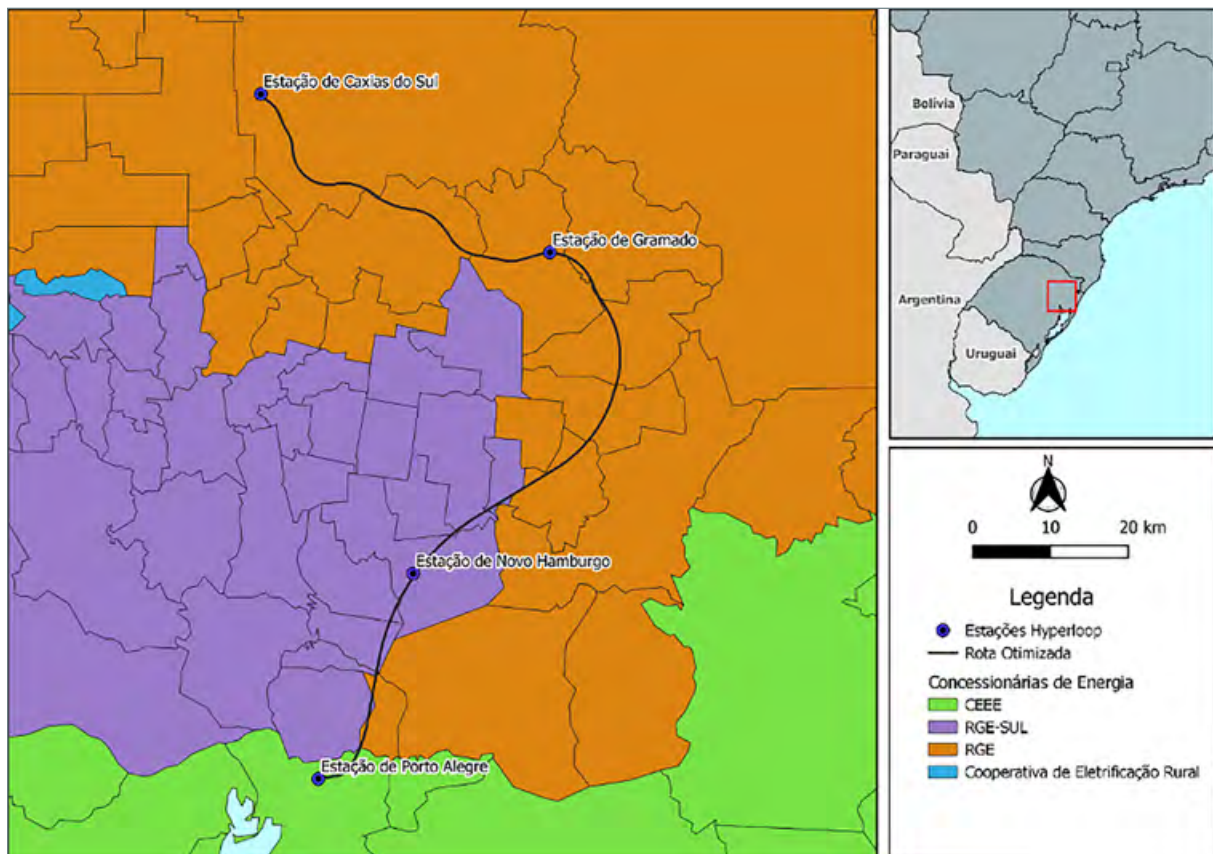


Figura 69 - Áreas de diferentes concessionárias de energia elétrica na rota

Este cenário é retratado considerando que o HyperloopTT entrará no modelo de geração distribuída, ou seja, compensando créditos de energia e não vendendo para a rede. No caso de outro tipo de conexão à rede, onde o HyperloopTT seria um vendedor de energia, as questões comerciais e regulatórias deveriam ser estudadas separadamente, envolvendo consultoria de empresas especializadas no mercado brasileiro de energia.

5.5 Dimensionamento do sistema fotovoltaico

A primeira estimativa da energia fotovoltaica é baseada nas necessidades anuais de energia e no rendimento fotovoltaico. A Tabela 10 resume os resultados gerais e as entradas usadas.

Tabela 10 – Dimensionamento fotovoltaico para suprir necessidades de energia

Parâmetro	Valor	unidade
Necessidade máxima anual de energia	81.541.234	GWh
Rendimento Fotovoltaico Anual	1.200	kWh / kWp
Potência nominal fotovoltaica necessária para gerar as necessidades anuais de energia (pico ou potência fotovoltaica nominal)	67,95	MWp
Eficiência do módulo fotovoltaico	21	%
Área de cobertura por módulos fotovoltaicos	235.271	m ²
Custos de instalação por kWp	800	US\$
Custo total da planta fotovoltaica	54,3 milhões	US\$

Considerando 10 km como a distância média entre as estações de bombeamento, seriam necessárias 14 estações. Cada estação terá uma ligação à rede local e um sistema fotovoltaico nessa ligação à unidade consumidora. Dividindo a potência nominal fotovoltaica pelo número de estações de bombeamento, daria 4,95 MWp por ponto de conexão, o que está abaixo dos limites da minigeração distribuída e é viável.

5.5.1. Potencial fotovoltaico ao longo da rota

O percurso tem 135 km, sendo 117 km de superfície. Considerando que cerca de 20% da rota de superfície pode apresentar restrições para instalação de módulos fotovoltaicos por sombreamento ou problemas técnicos, isso resulta em 94 km da rota disponível para instalação de módulos fotovoltaicos. Sem o desenvolvimento de um design detalhado, a Figura 70 apresenta um esboço de uma possível distribuição para módulos fotovoltaicos com uma largura de 1,11 m sobre a estrutura de túneis com diâmetro de 4 m separados por 1 m. A partir do esboço, é possível instalar 10 módulos fotovoltaicos sobre os túneis sem alongar muito a estrutura. Os módulos fotovoltaicos são colocados em ângulos diferentes para envolver os túneis.

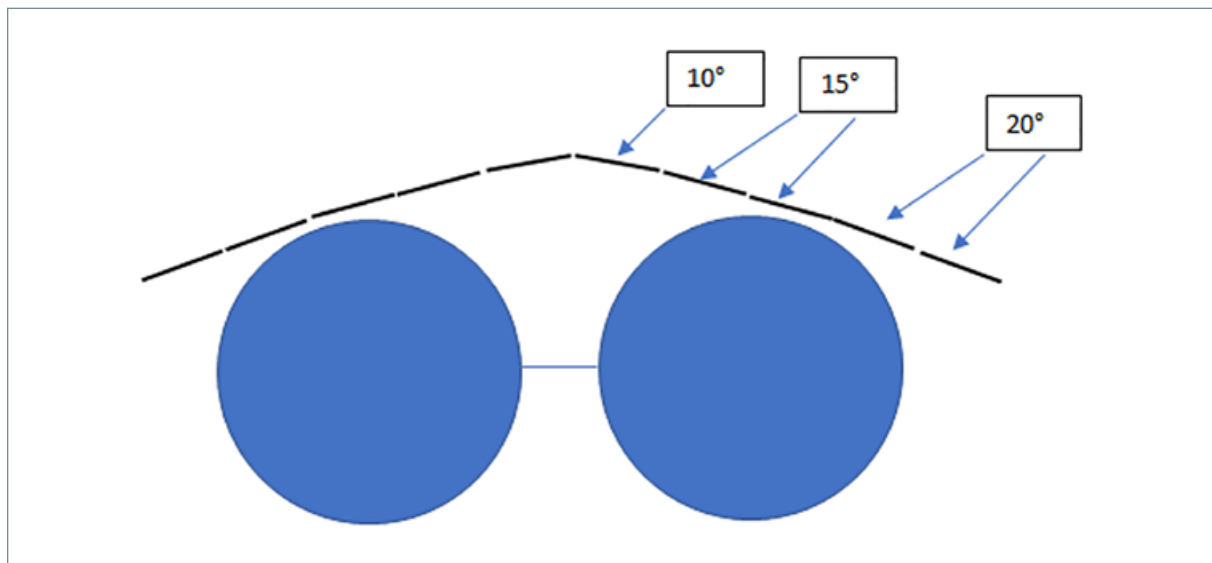


Figura 70 - Esquema para estimar aproximadamente o número de módulos fotovoltaicos

O módulo FV usado para estimar a potência é um módulo de meia célula de silício monocristalino disponível atualmente com 21% de eficiência. As dimensões são 2443 x 1134 x 35 mm (96,2 x 44,6 x 1,38 pol.), e a potência nominal é 590 W (eficiência de 21,3%). Se 94 km do percurso fossem percorridos pelos módulos FV de acordo com o esquema apresentado na figura 67, poderiam ser instalados cerca de 478.919 módulos FV, totalizando uma potência FV de 282,6 MWp, correspondente a cerca de 4,6 vezes (282,6MWp / (73,36GWh / 1200kWh/kWp) as necessidades anuais médias de energia ou um excedente de 3,6 vezes.

5.5.2. Suporte de bateria

É aconselhável instalar baterias que funcionem para armazenar energia por um determinado número de horas com o sistema funcionando de maneira autônoma. Este armazenamento forneceria a energia durante as falhas da rede e nos horários de pico (18h às 21h), onde os custos de energia e demanda são mais elevados. As seguintes suposições foram feitas: por hipótese, são consideradas 4 horas de operação autônoma, 3 horas de operação no horário de pico e 1 hora no caso de falhas na rede.

- Necessidades anuais de energia (máximo): ~81,54 GWh
- Necessidade diária de energia (em média): ~223,40 MWh
- Necessidade de energia por hora (em média): ~9.309,36 kWh
- Para 4 horas de operação autônoma, a bateria deve ter: 37.233,44 kWh
- Custos da bateria: ~US\$ 150/kWh (US\$ 137 nominais - adicionado 10% como contingência). Os preços estão sendo reduzidos, com previsão de chegar a US\$ 100/kWh em 2023.
- Capital de investimento em bateria: US\$ 5,6 milhões

As baterias seriam instaladas no eletrocentro fotovoltaico, onde estão instalados os inversores e o equipamento de gerenciamento elétrico.

5.6. Considerações finais

De forma sintética, podem ser apresentadas as principais conclusões referentes às questões energéticas na rota Porto Alegre Serra Gaúcha:

- Cerca de 117 km do percurso está acima do solo, e para fins de instalação fotovoltaica 94 km são considerados porque possíveis problemas técnicos como sombreamento podem inviabilizar a instalação em algumas seções.
- Considerando-se dois tubos com diâmetro de 4 m e 1 m entre eles, cerca de 10 módulos fotovoltaicos (largura 1,11 m) podem ser instalados em uma estrutura de cobertura ao redor dos tubos.
- Considerando módulos fotovoltaicos de 590 W e comprimento de 2,443 m, a rota pode suportar ~978.919 módulos fotovoltaicos, o que dá 282,6 MWp, ou cerca de 4,6 vezes a potência fotovoltaica necessária para suprir as necessidades de energia.
- Investimento total em sistemas fotovoltaicos + baterias (apenas para suprir as necessidades de energia em uma base anual): ~US\$ 59,9 milhões (54,3 milhões em PV + 5,6 milhões em baterias).
- Uma usina fotovoltaica ao longo de toda a extensão da rota não seria tão eficiente devido às longas distâncias para transportar a energia ou ao aumento do número de conexões de rede que seriam necessárias. Esse cenário exige mais estudos que fogem ao escopo de um estudo de pré-viabilidade.
- A geração anual de eletricidade na região para uma usina de 282,6 MWp é de 339.120 MWh (339,1 GWh). A necessidade anual estimada é de 81,5 GWh, portanto a eletricidade extra gerada é de 265,7 GWh, que poderia ser vendida por R\$ 0,198 / kWh (preço pago por energia de fonte fotovoltaica em leilões públicos recentes). Isso poderia render uma receita anual em torno de R\$ 52,61 milhões ou USD 10,52 milhões. Devido à complexidade do mercado de energia, esta é apenas uma estimativa do potencial de venda de energia com base nos últimos leilões públicos de energia.
- Uma avaliação mais detalhada dos aspectos financeiros da compra e venda de energia é apresentada na seção de Análise Financeira.



6. Análise da demanda de passageiros

Este capítulo apresenta a estimativa de demanda de passageiros para o cenário base (2019) e a projeção da demanda futura (2020 a 2060) para o sistema HyperloopTT. Este capítulo oferece uma visão geral da abordagem de estimativa de demanda e pesquisas realizadas, apresentando os resultados das estimativas de números de passageiros para os cenários analisados.

A estimacão da demanda de passageiros para o sistema HyperloopTT consiste na determinacão do número de viagens de passageiros no sistema para o ano base e a previsão para anos futuros (10, 20 e 30 anos). A Figura 71 apresenta um fluxograma do processo de previsão da demanda: (i) definicão da área de estudo, (ii) estimacão da demanda entre as zonas da área de estudo para o ano base por modo (automóvel, coletivo e fretado (turismo)), (iii) projeção da demanda entre as zonas usando como variável explicativa o crescimento do PIB das zonas de origem e destino, (iii) estimacão de modelos de divisão modal – modelo logit multinomial. (iv) estimacão de modelos de demanda induzida, os quais são descritos posteriormente.

A abordagem utilizada é baseada na utilizacão de dados secundários relativos a informacões de viagens e socioeconômicas no cenário atual e futuros e dados primários para determinacão da divisão modal e demanda induzida. Para isso, foi realizada uma pesquisa de preferência declarada com residentes na área de estudo.

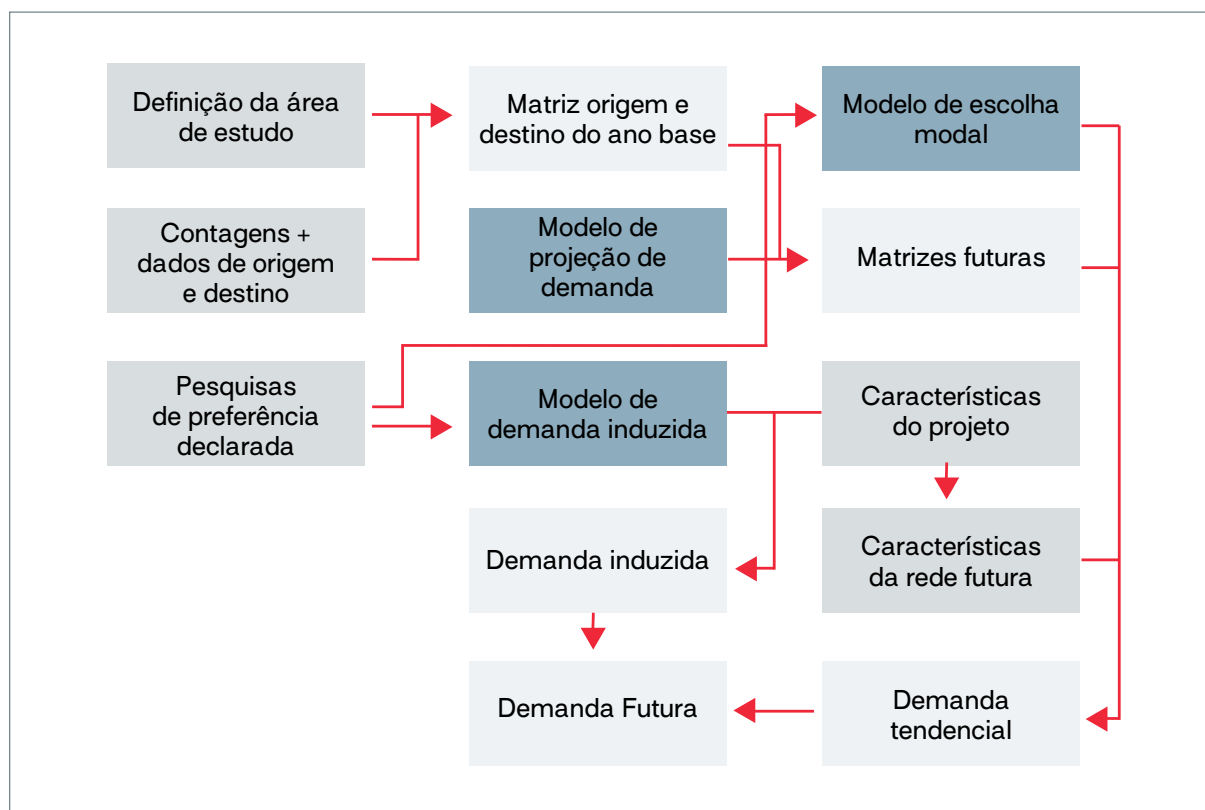


Figura 71 – Fluxograma das etapas de estimacão da demanda

O processo de estimativa começa com a definição da área de estudo. A seguir é definido o ano base dos estudos e são levantadas as informações de oferta e demanda para o ano base. Dados de origem e destino de cada modo foram utilizados para desenvolver matrizes de origem e destino (OD), as quais alimentam os modelos de demanda estimados. Os modelos estimados foram divididos em três: (i) Modelo de projeção da demanda, (ii) Modelo de divisão modal e (iii) Modelo de demanda induzida. Cada um deles foi calibrado separadamente.

O modelo de projeção de demanda tendencial busca determinar o número de viagens entre pares de zonas nos anos futuros em função das características socioeconômicas de cada zona. Os pares de zonas considerados foram: Porto Alegre – Novo Hamburgo, Porto Alegre – Gramado, Porto Alegre – Caxias do Sul, Gramado – Caxias do Sul, Novo Hamburgo – Gramado, Novo Hamburgo – Caxias do Sul. Este modelo é usado para estimar o crescimento tendencial da demanda com base na evolução das características socioeconômicas das zonas.

Conforme mencionado anteriormente, a abordagem adotada inclui a utilização de dados secundários para a determinação da demanda atual. Com base nos dados disponíveis, foi definido 2019 como ano base do estudo. Dois modos de transporte foram considerados para a determinação da demanda potencial desviada para o HyperloopTT: Transporte individual (automóvel) e transporte coletivo (ônibus intermunicipal, Trem Metropolitano e Ônibus fretados). Os dados de oferta coletados foram os tempos e custos de deslocamento de cada modalidade e as frequências do transporte coletivo. Os dados de demanda foram a quantidade de deslocamentos realizados entre as zonas de atendimento do HyperloopTT para os 3 modos de transporte considerados.

O modelo de divisão modal divide as viagens entre os modos disponíveis para cada pessoa para cada viagem. Este modelo usa informações da rede (por exemplo, tempos e custos de viagem) no cenário determinado, informações socioeconômicas dos indivíduos (por exemplo, renda e disponibilidade de automóvel) e dados de escolha individuais obtidos de uma pesquisa de preferência declarada para estimar modelos econométricos de escolha discreta. Desta forma, permitindo a estimação do número de passageiros do HyperloopTT para o cenário base. Esse número de passageiros vai ser a soma da demanda de três fontes:

- (i) Demanda desviada para o HyperloopTT, usuários que utilizavam outro modo antes da implantação do HyperloopTT e passaram a usar este novo modo;
- (ii) Demanda induzida por economia de tempo de viagem (melhora da acessibilidade); e
- (iii) Demanda induzida pelo desenvolvimento regional (longo prazo).

A demanda induzida por economia de tempo de viagem corresponde às novas viagens que serão realizadas devido à melhora da mobilidade e do acesso ao destino decorrente da implantação do sistema HyperloopTT, a qual impacta no curto assim como no longo prazo. A demanda induzida foi determinada utilizando duas abordagens: (i) abordagem baseada em técnicas de preferência declarada e (ii) abordagem logsum. Destaca-se que a primeira é uma técnica inovadora, baseada na elaboração de uma pesquisa de preferência declarada para determinar o número de viagens adicionais que o respondente realizaria em diferentes cenários hipotéticos apresentados, seguidos da estimação de modelos econométricos para a determinação do número de viagens adicionais no sistema (ZHANG, D. *et al.*, 2019). Neste caso, foram estimados modelos Poisson, binomial negativo, inflacionados de zeros com distribuição binomial negativo e Poisson e modelos binomial negativo com efeitos aleatórios. A segunda abordagem é baseada na estimação da acessibilidade

a partir dos modelos de utilidade, calculada pelo indicador logsum. A demanda induzida pelo desenvolvimento regional impacta no longo prazo e sua estimativa é apresentada nas seções subsequentes. O modelo de escolha modal é aplicado sobre as matrizes futuras de demanda tendencial de forma de obter o volume de passageiros que utilizará o HyperloopTT em função das suas características e das características dos modos alternativos. O modelo de demanda induzida é aplicado de forma a agregar os deslocamentos adicionais que serão gerados pela implantação do projeto.

Estas demandas são projetadas para anos futuros, obtendo a previsão de demanda em diferentes cenários e posteriormente, as previsões de demanda usadas pelo Modelo Econômico para avaliar a receita e os benefícios econômicos para cada cenário determinado.

6.1. Definição da área de estudo

A área de estudo para o estudo de demanda foi definida com base na definição preliminar do traçado e da localização das estações. Ela compreende os municípios onde serão localizadas as estações: Porto Alegre, Novo Hamburgo, Gramado, Caxias do Sul e os municípios adjacentes conforme indicado na Figura 72. Como as informações de demanda disponíveis estavam agregadas por município as zonas de tráfego seguiram o mesmo nível de agregação. Foram definidas 4 zonas de tráfego:

4. Porto Alegre;
5. Novo Hamburgo;
6. Gramado (municípios de Gramado e Canela);
7. Caxias do Sul (municípios de Caxias do Sul e Farroupilha)

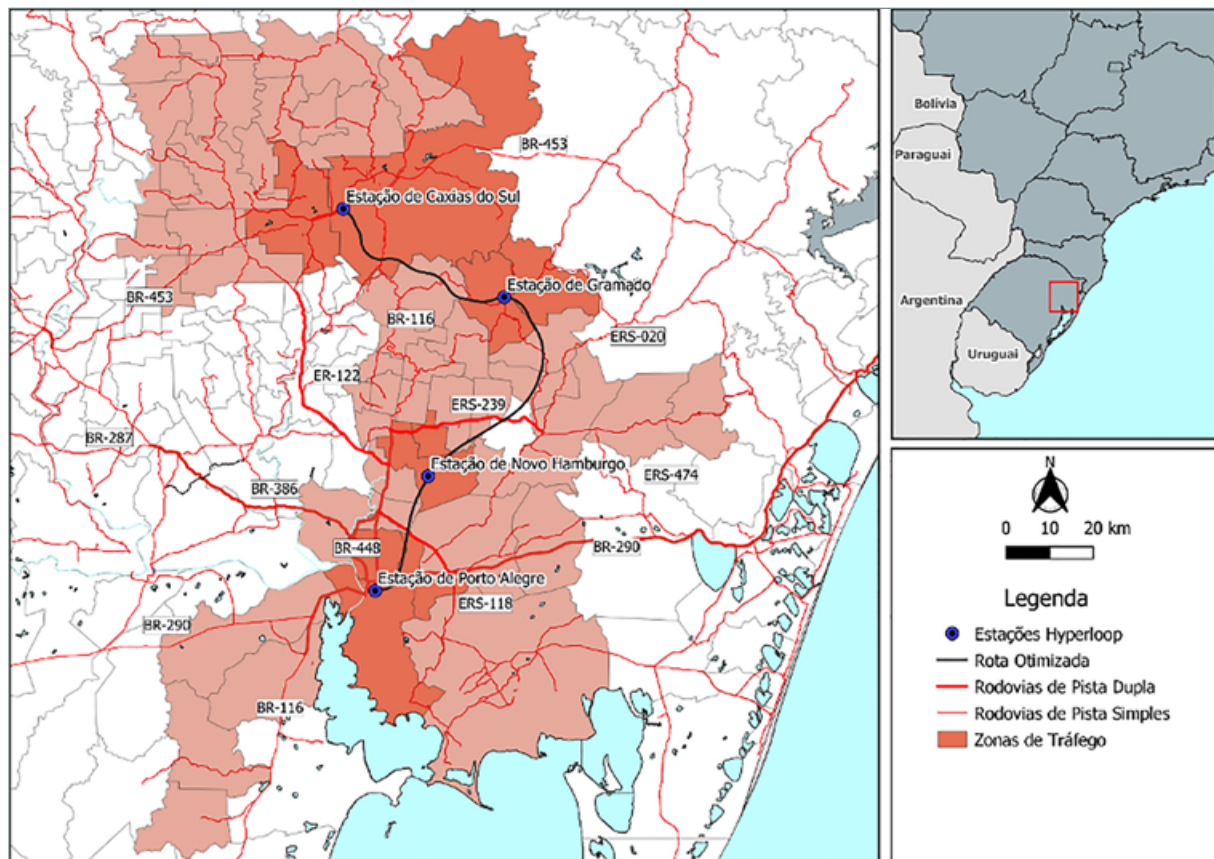


Figura 72 – Área de Estudo

6.2. Estimativas do ano base

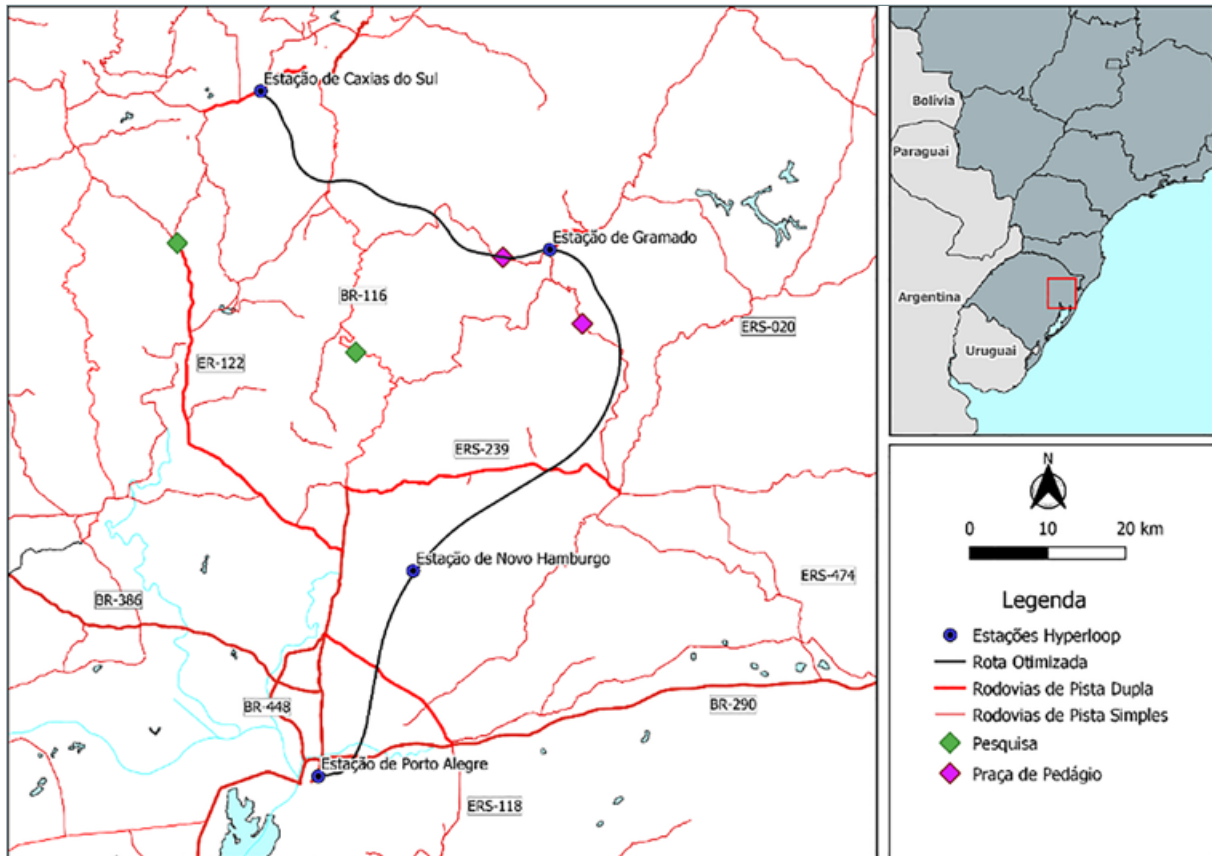
A estimativa da demanda para o ano base foi realizada utilizando informações secundárias. Foram estimadas demandas para 3 categorias de usuários:

1. Usuários de automóvel;
2. Usuários de transporte coletivo;
3. Usuários de transporte fretado para turismo.

Os dados de demanda de usuários de automóveis e transporte coletivo foram obtidos das seguintes fontes:

1. Para os deslocamentos entre Porto Alegre e Novo Hamburgo foram usadas informações de matrizes de origem e destino da Região Metropolitana de Porto Alegre derivadas de uma pesquisa domiciliar realizada pela Metroplan;
2. Para os deslocamentos entre Porto Alegre e Gramado, Porto Alegre e Caxias do Sul e Caxias do Sul e Gramado foram usados dados de tráfego das praças de pedágio de Três Coroas e Gramado operadas pela EGR dos anos de 2019 e 2020 e de contagens de tráfego e pesquisas de origem e destino realizadas em 2020 pelo Governo do Estado do Rio Grande do Sul para o programa de concessões rodoviárias; e

3. Para os deslocamentos de transporte fretado para turismo foram usadas informações da movimentação de turistas pelo Aeroporto Salgado Filho de 2019.



A Figura 73 apresenta a localização das praças de pedágio e pontos de pesquisa utilizados.

Em função da pandemia do COVID-19 não foi possível usar diretamente os dados de demanda das pesquisas de 2020. Por esse motivo, 2019 foi definido como o ano base para a estimativa da demanda. Os dados das praças de pedágio foram usados para dessazonalizar as contagens e estimar os volumes de tráfego para o ano de 2019 nos pontos de contagem.

A Tabela 11 apresenta a matriz de demanda de usuários anuais de automóveis.

A Tabela 12 apresenta a matriz de demanda de usuários anuais de transporte coletivo.

A Tabela 13 apresenta a matriz de demanda de usuários anuais de transporte fretado turístico.

Tabela 11 - Matriz Anual de Automóveis (pessoas por ano)

	Caxias	Gramado	NH	Porto Alegre	Total
Caxias		290.000	180.000	1.100.000	1.570.000
Gramado	290.000		100.000	530.000	920.000
NH	180.000	100.000		1.800.000	2.080.000
Porto Alegre	1.100.000	530.000	1.000.000		2.630.000
Total	1.570.000	920.000	1.280.000	3.430.000	7.200.000

Tabela 12 - Matriz Anual de Transporte Coletivo (pessoas por ano)

	Caxias	Gramado	NH	Porto Alegre	Total
Caxias		58.000	36.000	220.000	314.000
Gramado	58.000		20.000	106.000	184.000
NH	36.000	20.000		840.000	896.000
Porto Alegre	220.000	106.000	420.000		746.000
Total	314.000	184.000	476.000	1.166.000	2.140.000

Tabela 13 - Matriz Anual de Transporte Fretado Turístico (pessoas por ano)

	Gramado	Caxias do Sul	NH	Porto Alegre	Total
Gramado				1.245.000	1.245.000
Caxias				140.000	140.000
NH					
Porto Alegre	1.245.000	140.000			1.385.000
Total	1.245.000	140.000		1.385.000	2.770.000

6.3. Pesquisas de demanda tendencial

Esta seção aborda a metodologia utilizada, os parâmetros e pressupostos adotadas para a projeção da demanda tendencial. Conforme dito anteriormente, a demanda tendencial é projetada sem considerar a implantação do HyperloopTT, ou seja, considera somente o crescimento vegetativo das microrregiões de interesse para o empreendimento.

O modelo adotado para a projeção da demanda correlacionou a demanda com o PIB. Como elasticidades entre demanda e PIB variam significativamente de acordo com o tipo de veículo e com a localização geográfica e as elasticidades também variam ao longo do tempo em função das mudanças socioeconômicas da região, optou por adotar um modelo que incorpora na projeção da demanda o PIB regional, utilizando a seguinte equação:

$$\frac{dD_{t,v,i,j}}{D_{t+1,v}} = \frac{a_v + b_v * (dPIB_{t,v,i} + dPIB_{t,v,j})}{2}$$

$$D_{t+1,v} = \sum D_{t,v,i,j} * (1 + dD_{t,v,i,j})$$

(2)

Onde:

dDt = percentual de crescimento da demanda para o ano “t”

a,b = parâmetros a serem estimados: “b” é a elasticidade Demanda/PIB e “a” o intercepto)

dPIBt = percentual de variação do PIB previsto para o ano “t”

Dt = demanda do ano “t”

Essas equações estimam a demanda para cada categoria veicular “v” com base nas estimativas de crescimento do PIB das zonas de origem (“i”) e destino da viagem (“j”). Desta forma o modelo pode incorporar variações de tráfego diferentes com base nas diferenças de composição do tráfego de diversos pontos na rede.

A grande limitação do modelo é que existem menos disponibilidade de projeções de PIB regional. Por esse motivo, para usar esse tipo de modelo é necessário normalmente estabelecer as elasticidades entre a evolução do PIB nacional com o PIB regional. Essas elasticidades podem ser estimadas com base nas séries históricas do PIB regional e nacional de forma que:

$$dPIB_{t,i} = v_a + b * dPIB_t$$

(3)

O Apêndice A apresenta a série histórica do PIB brasileiro das 3 microrregiões localizadas dentro da área de estudo. Desde 2010 é observado na região de Gramado-Canela, de maneira geral, um crescimento superior ao observado no Brasil. Com exceção de 2015 que teve uma redução de 10% do PIB, a região de Caxias do Sul, também apresentou crescimento histórico superior ao observado no país como um todo.

Já a microrregião de Porto Alegre, por ser uma região mais consolidada e com componentes econômicos bastantes distintos das regiões de Caxias do Sul e Gramado-Canela, que possuem um forte polo industrial e turístico, respectivamente, o crescimento observado ao longo da série histórica foi quase 20% ao crescimento observado no mesmo período para o Brasil. Essas oscilações ao longo do tempo e a relação com o PIB brasileiro, permite que sejam determinadas as elasticidades PIB Regional – PIB Brasil, que estão apresentadas no Apêndice B.

Para as projeções do PIB de curto prazo foi utilizado como base as expectativas de crescimento do Banco Central, publicadas no relatório FOCUS de junho de 2021. Para os demais anos de horizonte, se adotou uma taxa de crescimento uniforme de 2,5%.

Como pressupostos da elasticidade demanda/PIB se usou como referência valores adotados usualmente em estudos semelhantes. Para os deslocamentos de automóveis se considerou uma elasticidade igual a 1, sendo decrescente nos próximos 15 anos até atingir 0,80 (Apêndice C). Já para o transporte coletivo, a elasticidade foi 0,3 chegando em 0,1 nos próximos 15 anos. Em relação ao transporte fretado (turismo), a elasticidade inicial foi de 0,5 e nos anos seguintes de 1,0 (Apêndice D).

Com base nas elasticidades demanda/PIB, as elasticidades PIB Regional/PIB Brasil, as taxas de crescimento do PIB e a estimativa da demanda para o ano base, foi estimado o tráfego futuro para automóveis, transporte coletivo e transporte fretado.

O Apêndice E apresenta a previsão da demanda de automóveis nos próximos 40 anos para os principais deslocamentos. O maior crescimento deverá ocorrer entre Caxias e Gramado, enquanto o menor deverá ser observado nos pares entre Novo Hamburgo e Porto Alegre, hoje atendidos pelo Trensurb. De maneira geral, é esperado ao longo deste horizonte um crescimento anual de cerca de 2%.

A Figura 74 apresenta as curvas de crescimento da demanda. Analisando o trecho entre Novo Hamburgo e Porto Alegre, observa-se que a demanda para o ano 2060 será superior a 5 milhões de viagens anuais. Em relação aos deslocamentos entre Gramado e Novo Hamburgo, a demanda corresponde a cerca de 190.000 viagens em 2020, aumentando até aproximadamente 500.000 viagens anuais em 2060.

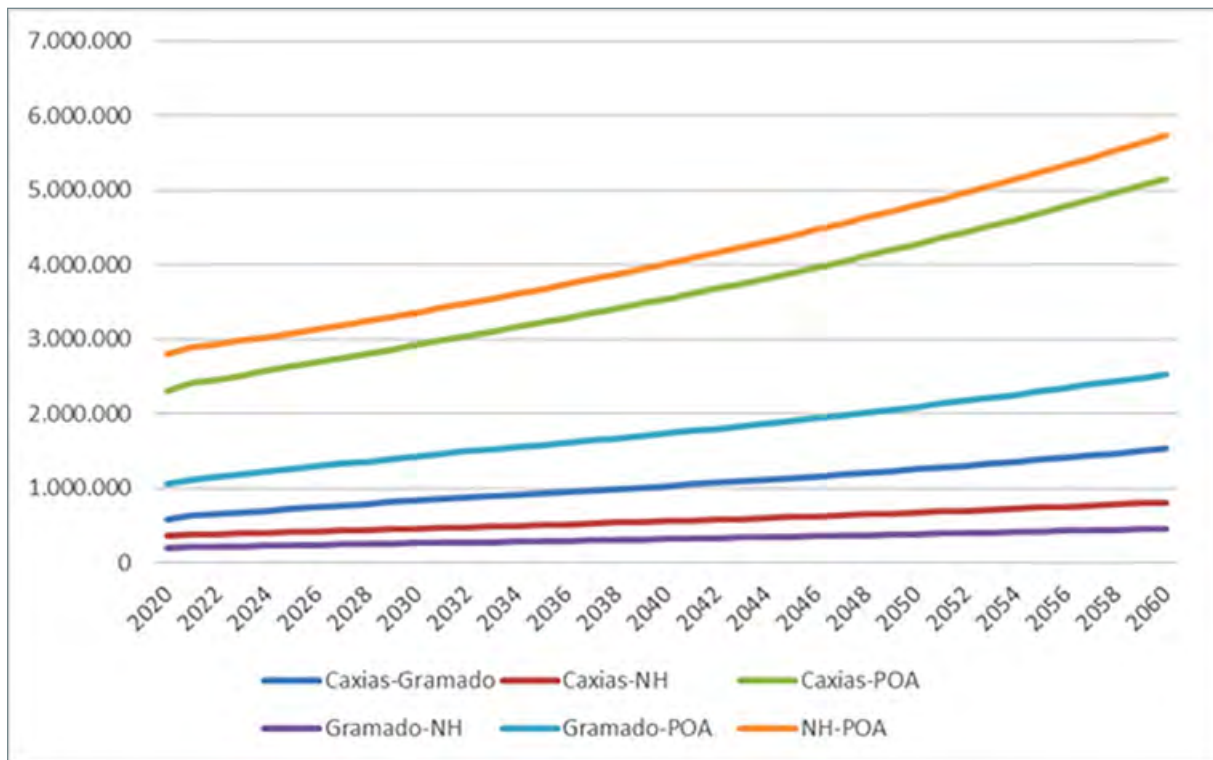


Figura 74 - Evolução da demanda anual por automóveis

O transporte fretado, por sua vez, apresenta um crescimento aproximado de 2% ao ano, conforme apresentado no Apêndice F e a Figura 75. Esse crescimento se deve principalmente à expectativa de aumento do transporte fretado. A demanda do transporte coletivo apresenta uma tendência decrescente próxima de 0,3% anual. Essa diferença de crescimento é ilustrada na Figura 76, onde a curva que corresponde ao transporte fretado mostra uma forte ascendência e a do transporte coletivo convencional um decréscimo mais atenuado.

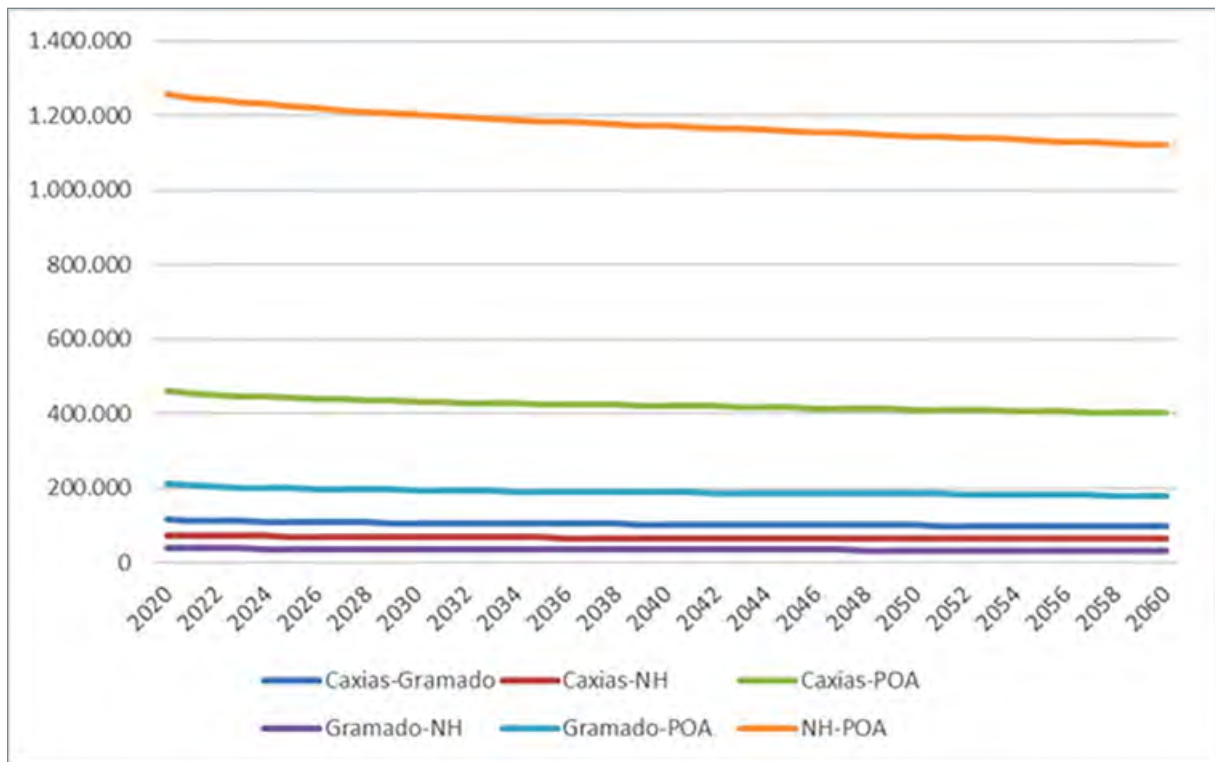


Figura 75 - Evolução da demanda de transporte coletivo

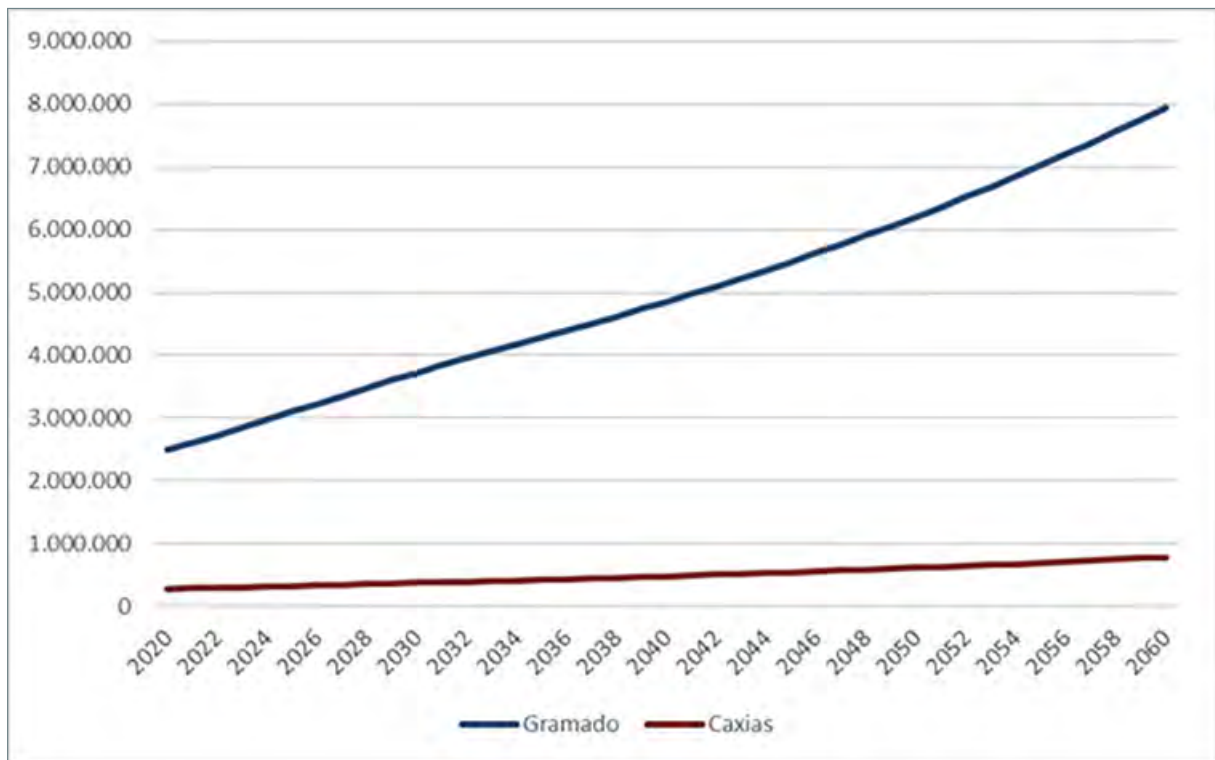


Figura 76 - Evolução da demanda de transporte fretado

6.4. Pesquisas de Preferência Declarada (PD)

Esta seção detalha os procedimentos metodológicos e resultados da elaboração de um instrumento de pesquisa baseado em técnicas de preferência declarada (PD) para determinar a divisão modal e a demanda induzida. Estas técnicas consistem em um conjunto de metodologias fundamentadas em juízos de valor declarados pelos indivíduos. Seu princípio básico é apresentar ao entrevistado um conjunto de situações hipotéticas. Em cada situação apresentada, o entrevistado escolhe uma alternativa (caracterizada por diversos atributos), dentre o conjunto de alternativas oferecido. Esta escolha realizada pelo indivíduo representa a sua preferência pelos atributos de uma alternativa sobre as outras. Assim, o objetivo das pesquisas PD é obter as preferências dos entrevistados em relação às alternativas apresentadas. Foi elaborada uma pesquisa de preferência declarada para determinação da divisão modal, considerando os modos de transporte existentes e o HyperloopTT, e as situações de escolha obtidas para o HyperloopTT apresentadas novamente para determinação da demanda induzida.

6.4.1. Elaboração da pesquisa PD

A elaboração do experimento PD requer três estágios:

- (i) Especificação do modelo;
- (ii) Projeto experimental; e
- (iii) Desenho do questionário.

6.4.1.1. Especificação do modelo

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

Assim, o problema de escolha foi caracterizado através de seis categorias, em função das alternativas de modos de transporte disponíveis e suas características de viagem nos trechos:

- (i) Porto Alegre–Gramado,
- (ii) Porto Alegre–Caxias do Sul,
- (iii) Novo Hamburgo–Gramado,
- (iv) Novo Hamburgo–Caxias do Sul,
- (v) Gramado–Caxias do Sul, e
- (vi) Porto Alegre –Novo Hamburgo.

Os primeiros cinco trechos compreendem as viagens realizadas com destino na Serra Gaúcha, as quais apresentam semelhanças nas alternativas de transporte disponíveis, mas diferenças nas suas características de viagem (por exemplo tempo, custo). O trecho Porto Alegre – Novo Hamburgo dispõe de um modo de transporte adicional, o trem metropolitano (Trensurb) que não

está disponível nos outros trechos. Para as primeiras cinco categorias, a análise do conjunto de escolha determinou três alternativas modais:

- (i) Ônibus,
- (ii) Automóvel e
- (iii) HyperloopTT.

Para a última categoria, Porto Alegre – Novo Hamburgo, foram determinadas quatro alternativas:

- (i) Ônibus,
- (ii) Automóvel,
- (iii) HyperloopTT e
- (iv) Trem metropolitano.

A seleção dos atributos que influenciam na decisão de escolha de um modo de transporte foi baseada numa revisão bibliográfica de artigos nacionais e internacionais relevantes na área e nos resultados obtidos de pesquisas prévias realizadas. Os atributos selecionados para o projeto do experimento, atributos usuais em pesquisas de preferência declarada para escolha modo, foram: Custo da viagem, Tempo de viagem e Headway (intervalo de tempo entre veículos). Para cada categoria foi elaborado um projeto experimental diferente. Os níveis dos atributos utilizados para gerar os projetos experimentais são apresentados a seguir (Tabela 14 a 19).

Tabela 14 – Atributos e níveis: Trecho Porto Alegre – Novo Hamburgo

Atributos	Ônibus			Automóvel			Hyperloop			Trem		
Tempo da viagem (não inclui acessos na origem e destino) (min)	50	60	80	35	45	60	15	20	25	-	-	-
Custo total da viagem (não inclui acessos na origem e destino) (R\$)	\$ 14.8	20.0	20	28	38	20	40	70	4.2	5.5	6.5	
Headway (min)	30	60	90	-	-	-	10	15	20	8	15	20

Tabela 15 – Atributos e níveis: Trecho Porto Alegre–Gramado

Atributos	Ônibus			Automóvel			Hyperloop		
Tempo da viagem (não inclui acessos na origem e destino) (min)	120	140	170	100	120	160	20	30	40
Custo total da viagem (não inclui acessos na origem e destino) (R\$)	41	47	60	60	75	90	60	120	200
Headway (min)	60	120	180	-	-	-	15	30	45

Tabela 16 – Atributos e níveis: Porto Alegre –Caxias do Sul

Atributos	Ônibus			Automóvel			Hyperloop		
Tempo da viagem (não inclui acessos na origem e destino) (min)	120	140	170	100	120	140	15	25	45
Custo total da viagem (não inclui acessos na origem e destino) (R\$)	38	44	60	70	80	95	60	130	230
Headway (min)	60	120	180	-	-		15	30	45

Tabela 17 – Atributos e níveis: Trecho Caxias do Sul – Gramado

Atributos	Ônibus			Automóvel			Hyperloop		
Tempo da viagem (não inclui acessos na origem e destino) (min)	105	140	160	70	100	130	15	25	35
Custo total da viagem (não inclui acessos na origem e destino) (R\$)	20	30	40	45	60	75	40	90	150
Headway (min)	60	180	240	-	-	-	15	30	45

Tabela 18 – Atributos e níveis: Trecho Caxias do Sul –Novo Hamburgo

Atributos	Ônibus			Automóvel			Hyperloop		
Tempo da viagem (não inclui acessos na origem e destino) (min)	130	150	170	90	120	150	25	35	45
Custo total da viagem (não inclui acessos na origem e destino) (R\$)	28	38	48	50	65	80	50	110	180
Headway (min)	240	480	720	-	-	-	15	30	45

Tabela 19 – Atributos e níveis: Trecho Gramado – Novo Hamburgo

Atributos	Ônibus			Automóvel			Hyperloop		
Tempo da viagem (não inclui acessos na origem e destino) (min)	120	140	170	80	110	150	20	30	40
Custo total da viagem (não inclui acessos na origem e destino) (R\$)	28	38	48	45	60	75	50	110	200
Headway (min)	60	120	240	-	-	-	15	30	45

Os níveis selecionados permitem a análise da não linearidade dos atributos e representar de forma mais adequada o comportamento de escolha. Os valores utilizados correspondem aos determinados para um nível de referência e variações em relação a esse nível de forma de capturar a sensibilidade dos indivíduos em relação a variações nas características das alternativas disponíveis. Para a determinação dos valores de referência das alternativas ônibus e trem, foram

analisados os serviços atuais (tempos, tarifas, headway) para cada trecho e diferentes tipos de serviço (comum, semidireto, executivo no caso do ônibus). Para o automóvel foram utilizados dados obtidos do serviço do GoogleMaps e informações da rede (por exemplo o valor do pedágio no trecho) para determinar tempos e custos de referência.

A determinação dos valores de tempo de referência para o HyperloopTT foi baseada no tempo no veículo calculados na otimização da rota. Foi incrementado o tempo necessário para acesso e egresso, utilizando um valor médio de 5 minutos para entrar e sair da estação com base nos estudos apresentados por Xie e Leurent (2017). O custo de referência para o HyperloopTT foi baseado na tarifa e distâncias determinados em outros estudos (HYDE; BARR; TAYLOR, 2016; TEMS, 2019; TRANSPOND, 2019; WALKER, 2018) apresentados na Tabela 20, estimando um valor por quilômetro de tarifa e aplicando linearmente para cada trecho (cotação do dólar considerada igual a 1\$= R\$ 5,56 – média de abril/2021).

Tabela 20 – Tarifas reportadas em estudos de HyperloopTT

Estudo	U\$/km	R\$/km
Bangkok – Phuket	0.062	0.344
Chiang Mai – Phuket	0.059	0.328
Bangkok – Chiang Mai	0.054	0.300
Los Angeles- São Francisco (valor mais baixo)	0.098	0.544
Los Angeles – São Francisco (valor mais alto)	0.163	0.906
Londres – Edimburgo	0.096	0.533
Grandes Lagos	0.155	0.862
Grandes Lagos (tarifa ótima)	0.671	3.731

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

6.4.1.2. Projeto experimental

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

O projeto experimental foi elaborado utilizando desenhos eficientes (ROSE; BLIEMER, 2009), definidos como aqueles que resultam na estimação de modelos com parâmetros de erros

padrão baixos, utilizando o software N-gene (CHOICE METRICS, 2014). Projetos eficientes foram escolhidos por gerarem estimativas precisas dos parâmetros (precisando tamanhos de amostra menores), com erros padrão tão pequenos quanto possível, para situações em que a ortogonalidade dos fatores pode ser dispensada. Entretanto, esses projetos requerem valores iniciais para os parâmetros da função utilidade. Como não havia informação prévia disponível, foi adotado um procedimento comumente utilizado que envolve (ROSE; BLIEMER, 2009):

- (i) elaboração de um projeto inicial, onde as estimativas dos parâmetros iniciais utilizadas correspondem às reportadas em estudo de trem rápido entre São Paulo e Rio de Janeiro (TAV BRASIL, 2012) e a partir destes valores gerados o primeiro projeto D-eficiente;
- (ii) aplicação de uma pesquisa piloto, realizada com 158 indivíduos utilizando o projeto inicial;
- (iii) estimação dos parâmetros do modelo, utilizando modelos logit multinomiais, para atualizar os valores iniciais dos parâmetros; e
- (iv) elaboração do projeto final, a partir dos valores obtidos na etapa anterior.

Para considerar a incerteza em relação aos parâmetros informados foi gerado um desenho eficiente bayesiano. A aproximação Bayesiana considera uma distribuição para os valores de cada parâmetro, gerando a través de números quase aleatórios (foi utilizada a sequência Halton) diferentes desenhos e calculando o valor médio da eficiência de todos os desenhos. Foram utilizadas 500 extrações de cada parâmetro e avaliada a eficiência de cada desenho.

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

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

(4)

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

$$D_b_error = \int_{\beta} \det(\Omega_1)^{1/L} f(\beta) d\beta$$

(5)

Um desenho D-eficiente busca minimizar este valor, e espera produzir modelos com baixos erros padrão para um tamanho de amostra dado. Assim, estimar modelos com o nível de precisão desejado utilizando uma amostra menor que com desenhos ortogonais. Os valores de D_error obtidos foram de 0.0119 para Porto Alegre-Gramado, 0.0517 para Porto Alegre-Caxias, 0.01586 para Porto Alegre Novo Hamburgo, 0.0969 para Gramado-Caxias, 0.0059 para Novo Hamburgo – Gramado e 0.0517 para Novo Hamburgo-Caxias.

6.4.3.1. Desenho do questionário de PD

A partir do projeto experimental foi construído o questionário da pesquisa PD para determinação da divisão modal e da demanda induzida. O questionário foi estruturado em cinco sessões conforme apresentado abaixo.

1. Características socioeconômica dos entrevistados
2. Informações sobre as viagens atuais
 - a. Modo de transporte utilizado na viagem mais frequente
 - b. Características das viagens mais frequentes
 - c. Custo e tempo dos acessos
4. Escolhas hipotéticas de deslocamento caso o HyperloopTT estivesse em operação.
5. Preferência declarada: divisão modal
6. Preferência declarada: demanda induzida.

A seção 1 tratou a caracterização dos usuários, abordando questões relativas às características socioeconômicas e demográficas dos indivíduos. Os respondentes foram questionados sobre idade, gênero, profissão, renda familiar, posse de automóvel, posse de carteira de habilitação, bairro e cidade de residência.

A seção 2 buscou identificar os padrões dos deslocamentos existentes entre as cidades de origem e destino de interesse da pesquisa. Desta maneira, os respondentes deveriam informar sua frequência de viagens, modos usuais de transportes e custos e tempos estimados de viagens. Perguntas similares buscavam identificar as formas de acesso as estações rodoviária e do trem metropolitano quando disponível.

A seção 3 buscou incentivar os respondentes a imaginar como seria o seu acesso ao futuro local da estação do HyperloopTT. Respondentes deviam informar o modo de transporte que utilizaria para posterior estimativa dos custos e tempos de acesso percebidos da residência dos indivíduos até a estação.

A seção 4 correspondeu a apresentação da pesquisa PD (9 situações de escolha) para estimar a divisão modal, conforme abordagem descrita anteriormente. A Figura 77 apresenta um exemplo dos cartões confeccionados (situação de escolha) e apresentados na viagem que realizava com mais frequência, escolhe-se dentro das condições apresentadas qual seria o modo de transporte que utilizaria para realizar o deslocamento. O tempo de acesso e egresso não foi apresentado de forma explícita no cartão de forma que cada respondente considere o tempo e custo adicional para estes deslocamentos.




Cenário 1				
	A	B	C	D
	Ônibus	Carro	Trem	Hyperloop
 Tempo	1 h + tempo até Rodoviária NH/SL + tempo Rodoviária POA até destino	45 min + tempo até o centro de NH/SL + tempo do Aeroporto até destino	43 min + tempo até a estação NH/SL + tempo da estação Aeroporto até o destino	20 min + tempo até a estação de NH/SL + tempo da estação de POA até o destino
 Intervalo (tempo entre veículos)	60 min		15 min	15 min
 Custo por pessoa	R\$ 20,00/pessoa + custo até Rodoviária NH/SL + custo Rodoviária POA até destino	R\$ 28,00/veículo + custo até o centro de NH/SL + custo do Aeroporto até destino	R\$ 4,20/pessoa + custo até a estação NH/SL + custo da estação Aeroporto até o destino	R\$ 70,00/pessoa ou 56,00*/pessoa *(grupo de 3 ou + passageiros) + custo até a estação de NH/SL + custo da estação de POA até o destino

Figura 77 - Exemplo de cartão apresentado na pesquisa de preferência declarada.

A seção 5 da pesquisa apresentou uma pesquisa de preferência declarada com o objetivo de modelar econometricamente a demanda induzida. Foi questionado aos respondentes se realizariam viagens a mais do que fazem na situação atual caso o HyperloopTT estivesse implantado, considerando para cada uma das estações planejadas. Diferentes situações de escolha, com variação dos parâmetros do sistema foram apresentadas para cada destino. Os respondentes deveriam identificar os motivos que os levariam a realizar mais viagens (Trabalho; Escolas/Educação; Compras/Lazer/Turismo; Médico/Dentista/Saúde) e quantas viagens a mais seriam realizadas por cada motivo no período de um ano. A Figura 78 apresenta um exemplo das situações de escolha apresentadas aos respondentes.




Cenário 3	
	Hyperloop
 Tempo	40 min + tempo até a estação de GRA + tempo da estação de POA até destino
 Intervalo (tempo entre veículos)	15 min
 Custo por pessoa	R\$ 120,00/pessoa ou 96,00*/pessoa *(grupo de 3 ou + passageiros) + custo até a estação de GRA + custo da estação de POA até destino

Figura 78 - Exemplo de escolha apresentada na pesquisa de preferência declarada.

O Apêndice G apresenta um fluxograma exemplo dos questionários elaborados. Doze questionários diferentes foram elaborados, considerando a origem e o destino do deslocamento (dois questionários para cada trecho, seis trechos).

6.4.2. Coleta de dados

A coleta de dados da pesquisa final foi realizada entre maio e junho de 2021. A pesquisa foi aplicada de forma *on-line*, obtendo uma amostra total de 842 respondentes. Os respondentes possuíam residência em 25 cidades distribuídas no entorno das 4 estações previstas no projeto.

O tamanho da amostra foi definido através do cálculo para estimadores de proporção em amostras aleatórias simples, usada tradicionalmente (6) para dois estratos de motivos de viagens: viagens por motivo lazer (turismo, recreação, visita a familiar, compras) e não lazer (outros motivos de viagens não incluídos na categoria anterior, como por exemplo trabalho, estudo, saúde, etc.). Esta estratificação foi usada na etapa de modelagem, determinando um mínimo de 384 entrevistados para cada estrato.

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

(6)

Onde:

n = número de indivíduos na amostra,

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

p = proporção populacional de indivíduos que utiliza o sistema (50%, valor que garante o tamanho máximo de amostra, no caso de a proporção populacional ser desconhecida)

E = erro máximo de estimativa, adotado o valor de 5%.

6.4.3. Análise dos dados

6.4.3.1 Identificação de indivíduos cativos e lexicográficos

Antes de iniciar o processo de modelagem, os dados foram analisados para identificar possíveis inconsistências ou problemas nas repostas entregues. A validação das respostas consistiu na comprovação que as escolhas realizadas foram conforme aos supostos do comportamento econômico, o qual implicou na identificação de indivíduos cativos (escolhem sempre a mesma alternativa, tipicamente a que é utilizada habitualmente, não considerando o compromisso definido entre as alternativas) e indivíduos lexicográficos (escolhem sempre a mesma alternativa na qual um atributo é melhor, violando o axioma de continuidade) (FOSTER; MOURATO, 2002).

Os indivíduos cativos, nesse caso, são os que sempre escolhem o mesmo modo de transporte. Isto pode ser devido a uma preferência clara por uma alternativa, o qual levaria aos indivíduos selecionar sempre o mesmo modo de transporte, pode acontecer em casos que o indivíduo deseja influir nas decisões políticas que podem ser obtidas como resultado da pesquisa (viés de política), ou em falta de interesse na participação (SAELENSMINDE, 1998). Dos 842 respondentes, 8 foram identificados como cativos do modo ônibus, 53 do modo carro e 23 do modo trem, representando aproximadamente 10% da amostra total. O percentual de indivíduos cativos em pesquisas PD de escolha modal está entre 15% e 20% do total de indivíduos entrevistados (CHERCHI; ORTÚZAR, 2002; ORTÚZAR, J. de D; IACOBELLI, 1998). Estes usuários foram mantidos na base de dados utilizada para estimar os modelos. O baixo número de usuários cativos pode estar vinculado ao caráter inovativo do sistema HyperloopTT capturando um maior interesse dos usuários em utilizar o sistema.

6.4.3.2. Características socioeconômica dos entrevistados

A Tabela 21 apresenta os dados socioeconômicos gerais dos respondentes que disseram realizar viagens. A maioria dos respondentes é do gênero masculino, entre 24 e 43 anos, com renda média, pós-graduação e empregado do setor público ou privado. Grande parte da amostra possui carteira de habilitação (90%) e 89% dos reportou posse de 1 ou mais automóveis na residência.

Tabela 21 – Características socioeconômicas da amostra

Característica socioeconômica	Amostra
Gênero	38% feminino 61% masculino 1% não quiseram responder
Idade	1% até 18 anos 6% de 18 a 23 anos 27% de 24 a 33 anos 25% de 34 a 43 anos 18% de 44 a 53 anos 18% de 54 a 63 anos 6% acima de 64 anos
Renda	19% Renda baixa 34% Renda média-baixa 29% Renda média-alta 19% Renda alta
Escolaridade	4% ensino médio completo ou incompleto 41% superior completo ou incompleto 55% pós-graduação completa ou incompleta
Profissão	1% Desempregado 2% Do lar 9% Estudante 16% Autônomo 18% Proprietário/Sócio empresa 24% Empregado do setor público 29% Empregado do setor privado
Possui carteira de habilitação	90% sim 10% Não
Número de automóveis na residência	11% dos respondentes não possuem automóvel 45% possuem 1 automóvel 35% possuem 2 automóveis 9% possuem 3 automóveis.

6.4.3.3. Viagens atuais dos entrevistados

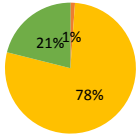
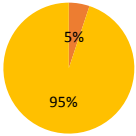
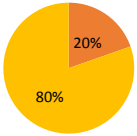
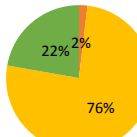
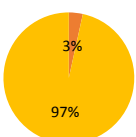
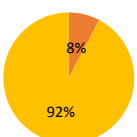
A Tabela 22 apresenta as principais características das viagens realizadas atualmente pelos respondentes. A maioria das viagens foram por motivos de lazer, realizadas na parte da manhã, onde o respondente viajava com uma ou mais pessoas. A maioria dos respondentes utiliza automóvel para o deslocamento (90%). Lembrando que o trem somente está disponível para a rota Porto Alegre – Novo Hamburgo. Demais características como tempo de viagem, custo da viagem e formas de acesso também dependem da rota analisada.

Tabela 22 – Características das viagens

Característica das viagens	Amostra
Principal motivo da viagem	2% viajam para levar ou buscar outra pessoa 3% viajam para escola/educação 4% viajam para buscar atendimento médico 21% viajam a trabalho 58% viajaram por motivo de lazer
Modo principal da viagem	90% viajam de carro 8% viajam de ônibus 4% viajam de trem.
Turno da viagem	72% Manhã 21% Trade 7% noite
Número de viajantes	19% viajam sozinho 39% viajam com mais uma pessoa 22% viajam com mais duas pessoas 14% viajam com mais três pessoas 6% viajam com mais quatro pessoas

Os gráficos apresentados na Tabela 23 apresentam a distribuição do modo de transporte utilizado para cada uma das rotas avaliadas. Como é possível observar há uma predominância pela escolha do carro na maioria das rotas com exceção da rota Gramado- Novo Hamburgo, onde os nove respondentes da rota informaram utilizar ônibus nos deslocamentos atuais. Nenhum dos respondentes afirmou realizar a rota Gramado- Caxias do Sul. Estes resultados obtidos da pesquisa estão em linha com os valores de demanda observados nos trechos, onde existe uma alta predominância do automóvel.

Tabela 23 – Distribuição dos modos de transporte utilizado por rota dos respondentes

Origem/ Destino	Porto Alegre	Novo Hamburgo	Gramado	Caxias do Sul
Porto Alegre	-			
Novo Hamburgo		-		
Gramado				
Caxias do Sul				
	<ul style="list-style-type: none"> • Ônibus • Carro • Trem 			

Avaliando os motivos das viagens para cada rota é possível identificar que existe uma assimetria entre os pares O-D. Ou seja, as demandas entre cidades não são recíprocas. A Tabela 24 apresenta os percentuais de viagens que tem como motivo principal lazer, compras ou turismo entre cada par O-D. É possível observar que as viagens a lazer estão concentradas nas rotas que tem como

destino nas cidades de Gramado, totalizando mais de 75% das viagens em todos os trechos. Já nos demais, a maior parte das viagens tem outros motivos que não lazer.

Tabela 24 – Distribuição das viagens por motivo lazer para os pares O-D

Origem/ Destino	Porto Alegre	Novo Hamburgo	Gramado	Caxias do Sul
Porto Alegre	-	21%	76%	27%
Novo Hamburgo	18%	-	83%	18%
Gramado	20%	30%	-	-
Caxias do Sul	22%	4%	84%	-

Por fim, a Tabela 25 apresenta os custos e tempos médios dos acessos entre cada par origem-destino. Os tempos e custos foram calculados com base na distância euclidiana entre as origens e destinos reportados na pesquisa. Para os acessos ao HyperloopTT foram calculadas as distâncias das origens e destinos até a estação projetada mais próxima. Já para o ônibus as distâncias foram calculadas para e a partir das estações rodoviárias mais próximas. Por fim, para o trem foi adotado critério semelhante aos anteriores.

Tabela 25 – Custo e tempo total dos acessos as estações por modo e por rota

Cidades de Destino	Hyperloop		Ônibus		Trem	
	Custo (R\$)	Tempo (min)	Custo (R\$)	Tempo (min)	Custo (R\$)	Tempo (min)
Origem Caxias do Sul						
Gramado	20.08	37.32	6.75	4.61	-	-
Novo Hamburgo	43.81	75.58	8.24	9.17	-	-
Porto Alegre	34.81	52.69	13.16	12.58	-	-
Origem Gramado						
Caxias do Sul	26.04	41.23	6.16	5.74	-	-
Novo Hamburgo	31.43	35.91	7.36	6.38	-	-
Porto Alegre	21.18	24.34	9.81	12.33	-	-
Origem Novo Hamburgo						
Caxias do Sul	43.58	57.44	8.48	10.45	-	-
Gramado	25.54	40.06	8.60	8.54	-	-
Porto Alegre	29.09	42.27	2.99	4.27	12.06	16.83
Origem Porto Alegre						
Caxias do Sul	42.40	58.73	13.93	16.11	-	-
Gramado	20.18	23.82	14.05	16.75	-	-
Novo Hamburgo	32.50	47.18	13.54	20.50	10.76	16.91

Para o modo carro foram calculados os tempos totais da origem até o destino. Os resultados estão apresentados na Tabela 26.

Tabela 26 – Custo e tempo total entre origens e destinos para o modo carro

Cidades de destino	Custo (R\$)	Tempo (min)
Origem Caxias do Sul		
Gramado	59.75	41.75
Novo Hamburgo	78.14	60.14
Porto Alegre	114.44	96.44
Origem Gramado		
Caxias do Sul	60.65	42.65
Novo Hamburgo	66.24	48.24
Porto Alegre	98.30	80.30
Origem Novo Hamburgo		
Caxias do Sul	77.50	59.50
Gramado	62.28	44.28
Porto Alegre	56.40	38.40
Origem Porto Alegre		
Caxias do Sul	117.64	99.64
Gramado	98.94	80.94
Novo Hamburgo	55.80	37.80

6.5. Modelo de divisão modal

Esta seção apresenta o desenvolvimento e aplicação do modelo de divisão modal descrito no início do capítulo. Modelos de escolha discreta foram estimados para determinar a participação modal do HyperloopTT e dos modos existentes. A percepção dos usuários e a escolha de modo podem variar conforme o motivo da viagem, assim foram estimados modelos separados por motivo lazer (turismo, recreação, visita a familiar, compras) e não lazer (outros motivos de viagens não incluídos na categoria anterior, como por exemplo trabalho, estudo, saúde, etc.). No trecho Porto Alegre–Novo Hamburgo existe uma alternativa modal não presente nos outros trechos, assim foram estimados modelos separados para Serra Gaúcha (considerando os trechos Porto Alegre–Gramado, Porto Alegre – Caxias, Caxias Novo Hamburgo, Novo Hamburgo–Gramado, Novo Hamburgo–Caxias) e para o trecho Porto Alegre– Novo Hamburgo.

Os modos de transporte considerados na estimação foram ônibus, automóvel e HyperloopTT para a Serra Gaúcha e ônibus, automóvel, trem e HyperloopTT para Porto Alegre–Novo Hamburgo. Os experimentos de escolha utilizados na coleta de dados de preferência declarada corresponderam a uma série de escolhas entre estas três (e quatro para o caso de Porto Alegre – Novo Hamburgo) alternativas de modo de transporte apresentadas simultaneamente (*choice*). As situações de escolha consistiam em comparações entre modos de transporte alternativos para realizar o deslocamento. Cada alternativa foi apresentada através de valores nos atributos considerados no experimento: Tempo total da viagem; Custo total da viagem e Headway.

Diversas estruturas de modelos foram testadas, buscando a melhor aderência do modelo aos dados coletados, representar da forma mais adequada o comportamento de escolha e permitir a aplicação dos modelos para previsão futura (dependendo neste caso dos dados disponíveis sobre a demanda existente). Em todas as estruturas foram utilizadas funções de utilidade lineares nos parâmetros, prática usual na modelagem de demanda de transporte (BEN-AKIVA; LERMAN, 1985) e levado em consideração que os dados utilizados são provenientes de uma amostra da população (ORTÚZAR; WILLUMSEN, 2011).

A estimação dos modelos foi realizada utilizando o pacote Apollo no software R (HESS, Stephane; PALMA, 2019). Foram estimados modelos logit multinomiais (MNL), sem e com incorporação de variações sistemáticas das preferências (especialmente a variação de renda, que impacta a percepção de custo dos indivíduos). É amplamente reconhecido que as escolhas individuais para o mesmo respondente não são independentes (HESS, S; PALMA, 2019; LOUVIERE; WOODWORTH, 1983), assim foi utilizado o estimador Sandwich, que permite corrigir os erros padrão na estimação de forma de incorporar a correlação entre as respostas de um mesmo indivíduo (dados em painel).

A seguir, uma descrição das formulações econométricas dos modelos utilizados. Os tempos e custos de acesso e egresso para cada modo foram calculados para cada indivíduo com base na origem e destino da viagem informado na pesquisa conforme apresentado anteriormente. Estes valores de tempo e custo estimados foram comparados com os custos de acesso e egresso percebidos (reportados na pesquisa para o HyperloopTT) e apresentaram diferença de menos de 5% nas estimativas.

6.5.1. Formulações econométricas

Os modelos de escolha discreta utilizados na modelagem da demanda de transportes baseiam-se na teoria da utilidade aleatória (MCFADDEN, 1974). Esta teoria se fundamenta no princípio da maximização da utilidade, onde é postulado que o indivíduo q associa a cada alternativa i uma utilidade do tipo estocástica U_{iq} , escolhendo aquela alternativa que maximiza sua utilidade. A incapacidade de apreciar, por parte do analista, todos os atributos e variações de preferências que determinam o comportamento dos indivíduos, bem como erros de medição, torna necessário considerar que a utilidade é uma variável aleatória (BEN-AKIVA; LERMAN, 1985). A utilidade aleatória de uma alternativa é expressa como a soma dos componentes observáveis ou sistemáticos (denotados como V_{iq}) e componentes não observáveis (denotados como ε_{iq}) conforme Equação a seguir (DOMENCICH; MCFADDEN, 1975):

$$U_{iq} = V_{iq} + \varepsilon_{iq}$$

(7)

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

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

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

(8)

isto é,

$$V_{iq} + \varepsilon_{iq} \geq V_{jq} + \varepsilon_{jq} \Rightarrow V_{iq} - V_{jq} \geq \varepsilon_{jq} - \varepsilon_{iq}$$

(9)

Considerando que o analista não conhece, não pode ter certeza se a expressão (9) é satisfeita ou não e, portanto, só pode postular a probabilidade de ocorrência. Assim, a probabilidade de escolher a alternativa i é dada por:

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

(10)

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

Frequentemente, a componente determinística da utilidade é definida como uma função linear nos atributos e parâmetros:

$$V_{iq} = \sum_{k=1}^K \beta_{ik} x_{ikq},$$

(11)

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

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

O modelo logit multinomial (multinomial logit - MNL) (MCFADDEN, 1974) é um dos modelos mais simples de escolha discreta e também o mais utilizado. Ele se baseia na hipótese que o termo aleatório ε_{iq} da função utilidade é identicamente e independentemente distribuído conforme uma distribuição de Gumbel (Valor Extremo tipo I). Este modelo apresenta algumas características que serão importantes na aplicação do modelo para o cenário base com e sem o sistema HyperloopTT. Estas características são (McFadden, 1973 e 1978; Train, 1986):

- Os coeficientes das variáveis são os mesmos para toda a população. Isto implica que as diferentes pessoas com as mesmas características atribuem o mesmo valor a cada uma das variáveis do modelo, embora possam variar entre alternativas;
- Verificam a propriedade da independência de alternativas irrelevantes (IIA). Esta propriedade implica que a razão entre as probabilidades de duas alternativas que fazem parte de um conjunto de escolha é constante e independe da existência de outras alternativas no conjunto. Quando o componente sistemático da utilidade é bem especificado, explicitando as variáveis explicativas do comportamento e o termo de erro é apenas ruído branco, a IIA é geralmente respeitada (Train, 2009).

6.5.2. Resultados dos modelos de divisão modal

A Tabela 27 apresenta os resultados dos modelos estimados por motivo lazer para Serra Gaúcha (trechos Porto Alegre-Gramado, Porto Alegre – Caxias, Caxias Novo Hamburgo, Novo Hamburgo-Gramado, Novo Hamburgo-Caxias) e para o trecho Porto Alegre- Novo Hamburgo.

Tabela 27 – Resultados dos modelos estimados por motivo lazer

Variáveis	Serra Gaúcha	Porto Alegre- Novo Hamburgo		
	Coeficientes	Valor t	Coeficientes	Valor t
<i>Custo total da viagem (R\$)</i>	-0.017	-21.486*	-0.039	-4.174*
<i>Tempo total da viagem (min)</i>	-0.005	-5.689*	-0.022	-3.080*
Constante ônibus	-2.242	-19.409*	-3.568	-5.886*
Constante HyperloopTT	0.340	9.035*	-0.348	-0.994
Constante trem	-		-2.324	-4.013*
	Nº Observações = 5.940.. Nº Indivíduos=660 Log likelihood= -4803 Pseudo-R ² = 0.25		Nº Observações = 360 Nº Indivíduos=40.. Log likelihood= -308.01 Pseudo-R ² = 0.29	

*significativo a 95% de confiança | Constante do carro fixada em zero.

A Tabela 28 apresenta os resultados dos modelos por motivo não lazer.

Tabela 28 – Resultados dos modelos estimados por motivo não lazer

Variáveis	Serra Gaúcha		Porto Alegre- Novo Hamburgo	
	Coeficientes	Valor t	Coeficientes	Valor t
<i>Custo total da viagem (R\$)</i>	-0.015	-11.344*	-0.044	-6.919*
<i>Tempo total da viagem (min)</i>	-0.003	-2.047*	-0.010	-2.314*
Constante ônibus	-2.203	-7.557*	-3.778	-4.965*
Constante HyperloopTT	0.367	9.076*	-0.355	1.512*
Constante trem	-		-2.557	-2.369*
	Nº Observações = 2196 Nº Indivíduos=244.. Log likelihood= -723.47 Pseudo-R ² = 0.29		Nº Observações = 801 Nº Indivíduos=89 Log likelihood=-1023.92 Pseudo-R ² = 0.290	

*significativo a 95% de confiança | Constante do carro fixada em zero.

O ajuste global dos modelos foi analisado através dos valores de Pseudo-R². Os valores obtidos são satisfatórios, considerando que valores de 0.4 são usualmente considerados excelentes ajustes (ORTÚZAR; WILLUMSEN, 2011). Os sinais obtidos para os parâmetros são consistentes com a teoria microeconômica e supostos prévios. Analisando os coeficientes estimados, é possível observar que os tempos e os custos contribuem negativamente para a escolha do modo, conforme esperado, para todas as alternativas disponíveis. Foram testadas outras variáveis explicativas que não melhoraram a condição de estimação dos modelos.

6.5.3. Cálculo do valor subjetivo do tempo

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

$$VS_{ik} = \frac{\partial v_i / \partial x_{ik}}{\partial v_i / \partial c_{ik}}$$

(12)

Em particular, o valor subjetivo do tempo é a taxa marginal de substituição entre o tempo e o custo de viagem, e mede a disposição a pagar dos indivíduos por diminuir seu tempo de viagem. Ao especificar uma função de utilidade linear como a dada pela Eq. 7 num modelo MNL, o valor do tempo é o quociente entre o parâmetro do tempo e o do custo. Os valores do tempo para os modelos MNL estimados está apresentado na Tabela 29.

Tabela 29 – Valores do tempo

Motivo	Trecho	Valor do tempo (R\$/h)	Valor do tempo (U\$/h)
Lazer	Porto Alegre- Novo Hamburgo	33.89	6.10
Não Lazer	Porto Alegre- Novo Hamburgo	13.50	2.43
Não Lazer	Porto Alegre-Serra Gaúcha (todos os usuários)	11.60	2.08
	Porto Alegre-Serra Gaúcha (usuários de renda alta)	29.13	5.23
	Porto Alegre-Serra Gaúcha (usuários de renda média e baixa)	15.53	2.79
Lazer	Porto Alegre-Serra Gaúcha (todos os usuários)	18.60	3.34
	Porto Alegre-Serra Gaúcha (usuários de renda alta)	21.62	3.88
	Porto Alegre-Serra Gaúcha (usuários de renda média e baixa)	10.59	3.80

O valor do tempo estimado no trecho Porto Alegre- Serra Gaúcha varia entre 11 R\$/hora e 19 R\$/hora (não lazer e lazer respectivamente) e para Porto Alegre -Novo Hamburgo entre 13 R\$/hora e 34 R\$/hora. Existe pouca evidencia empírica sobre valores de referência em contexto similares. Comparando com valores de tempo de viagem urbanos realizados em Porto Alegre, observa-se que os valores obtidos estão dentro do intervalo de variação esperado para viagens urbanas, os quais variam entre 12 R\$/hora e 4-3 R\$/hora, sendo que valores entre 18 R\$/hora e 4-3R\$/hora correspondem a indivíduos de renda média e alta. Realizando uma comparação com o estudo de trem de alta velocidade entre São Paulo e Rio de Janeiro, os valores estão em linha com os obtidos para as viagens regionais realizadas nesse corredor. O estudo entre São Paulo e Rio de Janeiro analisou dois grupos de viagens: viagens expressas (realizadas com poucas frequências e distâncias maiores) e viagens regionais (realizadas com bastante frequência, distâncias menores). Os valores de tempo reportados para viagens regionais são de aproximadamente 7 R\$/hora (PITMURB, 2015)), valores referentes a junho de 2009, aproximadamente 3.6 U\$/hora considerando a taxa média de conversão nessa data). Os valores de tempo reportados para o modelo regional são mais baixos do que as viagens de longa distância, o qual apresenta características mais similares ao corredor analisado na Serra Gaúcha.

Comparando com valores obtidos em estudos de demanda realizados em outros países é possível observar uma ampla variedade de valores para o tempo de viagem (value of travel time - VOT). Estudos mostram que o VOT varia com o lugar, tempo, características dos usuários (renda principalmente), motivo da viagem, urgência em chegar no destino (GUNN, 2000; HENSHER, D. A., 2001; LAM; SMALL, 2001). Valores reportados na literatura dependem do contexto analisado. Estudos europeus reportam valores de 9 R\$/hora a 66 R\$/hora (VTPI, 2007), alguns países subdesenvolvidos encontraram valores de 7.2 R\$/hora a 12 R\$/hora (ITT, 2002). Outros estudos recomendam valores relacionados com o nível salarial, variando de 54% a 80% da taxa salarial (COMMISSARIAT GÉNÉRAL DU PLAN, 2001; TRANSPORT CANADA, 1994; USDT, 1997; WATERS, 1996). Estudos para viagens de maiores distâncias, como os utilizados no estudo dos Grandes Lagos (TEMS, 2019), indicam valores significativamente maiores, variando entre 22U\$/hora e 30 U\$/hora (113 R\$/hora e 154R\$/hora) para ônibus e transporte privado.

6.5.4. Elasticidades

Para comparar a importância das variáveis explicativas com diferentes escalas e conhecer os efeitos quantitativos de mudanças da política de transporte na demanda foi calculada a elasticidade direta e cruzada da probabilidade de escolha modal em relação às variáveis explicativas. A elasticidade da probabilidade de escolha mede a sensibilidade da escolha dos indivíduos em relação a uma variável explicativa. Indica qual a mudança percentual na probabilidade de o indivíduo escolher uma alternativa em função de uma mudança marginal no valor da variável explicativa da função utilidade da mesma alternativa (Elasticidade direta), ou de outra alternativa (Elasticidade cruzada), que também pertence ao conjunto (ORTÚZAR; WILLUMSEN, 2011). O cálculo de elasticidades utilizou as equações propostas por Ortúzar e Willumsen (2011). A elasticidade direta utilizou a expressão apresentada na Equação (13) e a elasticidade cruzada a expressão apresentada na Equação (14). Os valores foram calculados aplicando a abordagem inocente (naive approach) para o cenário base utilizando a tarifa que otimiza a receita.

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

(13)

$$E_{P_{iq}, X_{jkq}} = -\theta_{jk} \cdot X_{jkq} \cdot P_{jq}$$

(14)

Onde $E_{P_{iq}, X_{ikq}}$: é a elasticidade da probabilidade de escolha da alternativa A_i em relação a uma mudança marginal do atributo k da alternativa A_i para o indivíduo q ; $E_{P_{iq}, X_{jkq}}$: é a elasticidade da probabilidade de escolha da alternativa A_i em relação a uma mudança marginal do atributo k da alternativa A_j para o indivíduo q ; θ_{ik} : valor do coeficiente da variável X_i na opção de troca; X_{ikq} : valor da variável na alternativa i oferecida; X_{jkq} : valor da variável na opção alternativa j e P_{iq} e P_{jq} : probabilidade da alternativa i ou j a ser escolhida. As Tabela 30 e Tabela 31 apresentam a elasticidade direta e cruzada da probabilidade de escolha do HyperloopTT em relação ao tempo de custo de viagem respectivamente.

Tabela 30 – Elasticidade direta e cruzada da probabilidade de escolha de HyperloopTT – tempo de viagem

Modo	HyperloopTT Poa -Gra (%)	HyperloopTT Poa -Cxs (%)	HyperloopTT Gra -Cxs (%)	HyperloopTT Poa -Nh (%)
LAZER				
Ônibus	0.08	0.09	0.06	0.05
Automóvel	0.23	0.23	0.16	0.50
Hyperloop	-0.25	-0.24	-0.18	-1.03
NÃO LAZER				
Ônibus	0.04	0.05	0.03	0.02
Automóvel	0.13	0.13	0.09	0.20
Hyperloop	-0.14	-0.13	-0.10	-0.45

Tabela 31 – Elasticidade direta e cruzada da probabilidade de escolha de HyperloopTT – custo de viagem

Modo	HyperloopTT Poa -Gra (%)	HyperloopTT Poa -Cxs (%)	HyperloopTT Gra -Cxs (%)	HyperloopTT Poa -Nh (%)
LAZER				
Ônibus	0.09	0.11	0.04	0.03
Automóvel	0.98	0.93	0.69	1.30
Hyperloop	-1.55	-1.47	-1.38	-1.94
NÃO LAZER				
Ônibus	0.09	0.09	0.04	0.04
Automóvel	0.84	0.82	0.59	1.33
Hyperloop	-1.36	-1.29	-1.19	-2.12

Os resultados obtidos mostram que a probabilidade de escolha do HyperloopTT é inelástica em relação ao tempo de ônibus e custo do ônibus. A variável que mais influencia a escolha do HyperloopTT é o Custo total da viagem. A demanda do HyperloopTT é elástica em relação à tarifa do mesmo, apresentando elasticidade significativamente menores para o tempo do mesmo. Para aumentos de 1% na tarifa do HyperloopTT, a probabilidade de escolha do mesmo decresce aproximadamente entre 1.3% e 1.5% para a Serra Gaúcha e 2% para Porto Alegre – Novo Hamburgo. Entretanto, aumento de tempo de 1% levam a uma redução da probabilidade de escolha do HyperloopTT de 0.1% a 0.2% para a Serra Gaúcha e entre 0.5% e 1% para Porto Alegre – Novo Hamburgo.

6.5.5. Aplicação do modelo para previsão de demanda

Os modelos obtidos são úteis para prever a variação da demanda em cenários alternativos. Aplicando o modelo obtido à situação atual, considerando unicamente as alternativas modais existentes, são recuperados os valores de partição do mercado atual. O cálculo da partição considerando unicamente as alternativas existentes é possível devido às características do modelo MNL, especificamente pela propriedade IIA (Independência das alternativas irrelevantes) dos mesmos (BEN-AKIVA; LERMAN, 1985). Aplicando ao cenário base, com implantação do HyperloopTT, utilizando valores resultantes da otimização da tarifa do HyperloopTT, e valores médios para as demais variáveis do modelo (*naive approach*) (ORTÚZAR; WILLUMSEN, 2011), são obtidos os seguintes valores para a divisão modal no cenário base, conforme apresentado na Tabela a seguir.

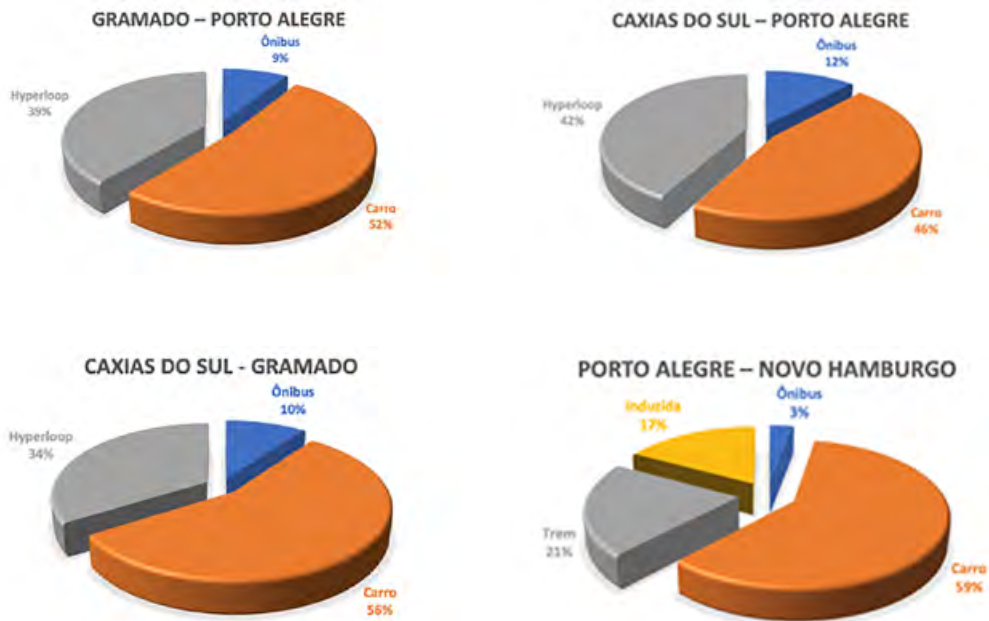
Tabela 32 - Partição de mercado situação atual modelado e real

Rotas	Divisão modal atual (%)			Divisão modal com projeto (%)				Demanda derivada - Origem da migração (%)		
	O*	C*	T*	O	C	H*	T	O	C	T
Lazer										
Gramado - Porto Alegre	15	85	-	9	52	39	-	6	33	-
Caxias do Sul - Porto Alegre	20	80	-	12	46	42	-	8.6	33.4	-
Caxias do Sul - Gramado	15	85	-	10	56	34	-	5	29	-
Porto Alegre - Novo Hamburgo	4	75	21	3	59	21	17	1	15	4
Não lazer										
Gramado - Porto Alegre	17	83	-	10	50	41	-	7	34	-
Caxias do Sul - Porto Alegre	20	80	-	11	46	43	-	8	35	-
Caxias do Sul - Gramado	16	84	-	10	54	36	-	6	30	-
Porto Alegre - Novo Hamburgo	5	70	25	4	54	23	19	1	16	6

*O: Ônibus, C: Carro, H: HyperloopTT, T: Trem

A Figura 79 apresenta de forma visual a divisão modal com projeto cujos valores estão apresentados na Tabela 32. Em seguida, da Figura 80 até a Figura 87 estão apresentadas as análises de sensibilidade da variação da tarifa do HyperloopTT para os trechos e motivos analisados.

Lazer



Não Lazer

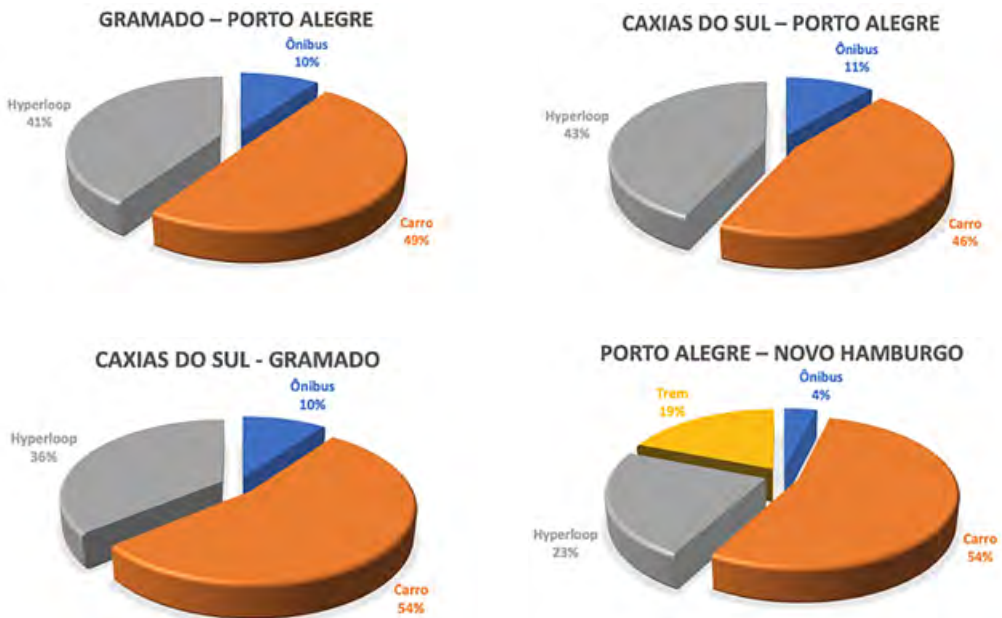


Figura 79 – Distribuição modal dos principais trechos do estudo

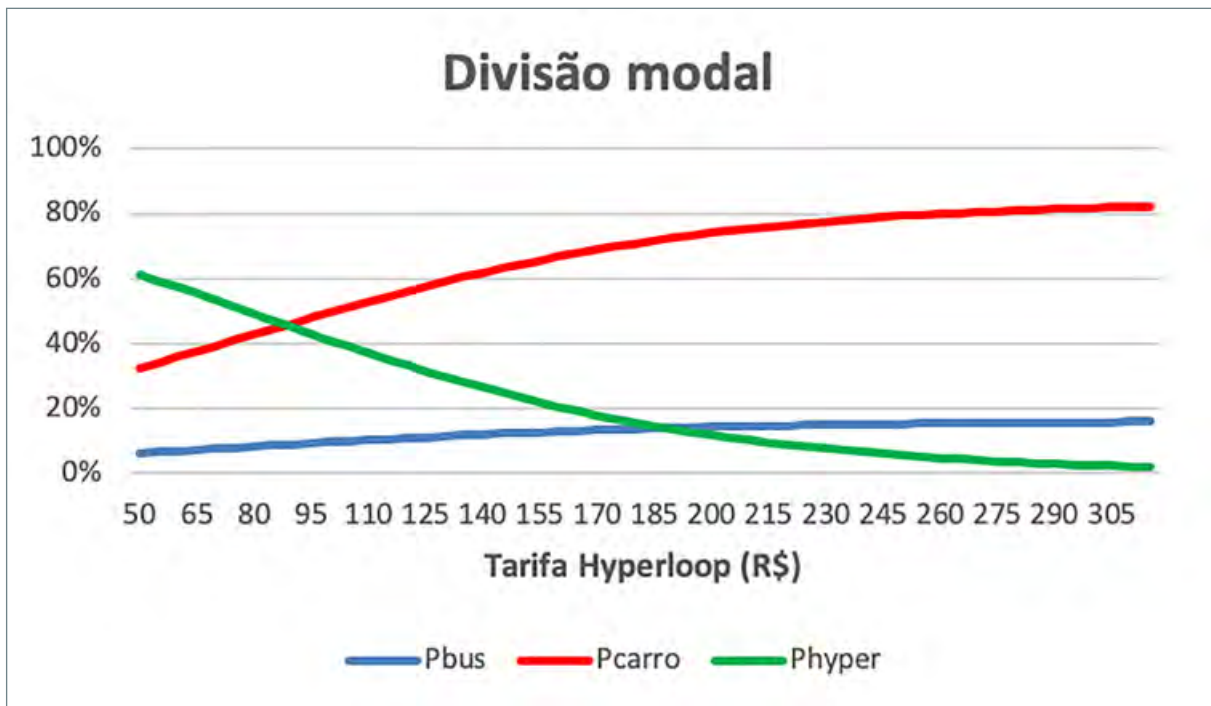


Figura 80 - Variação market share - aumento tarifa HyperloopTT: Viagens lazer, P. Alegre-Gramado

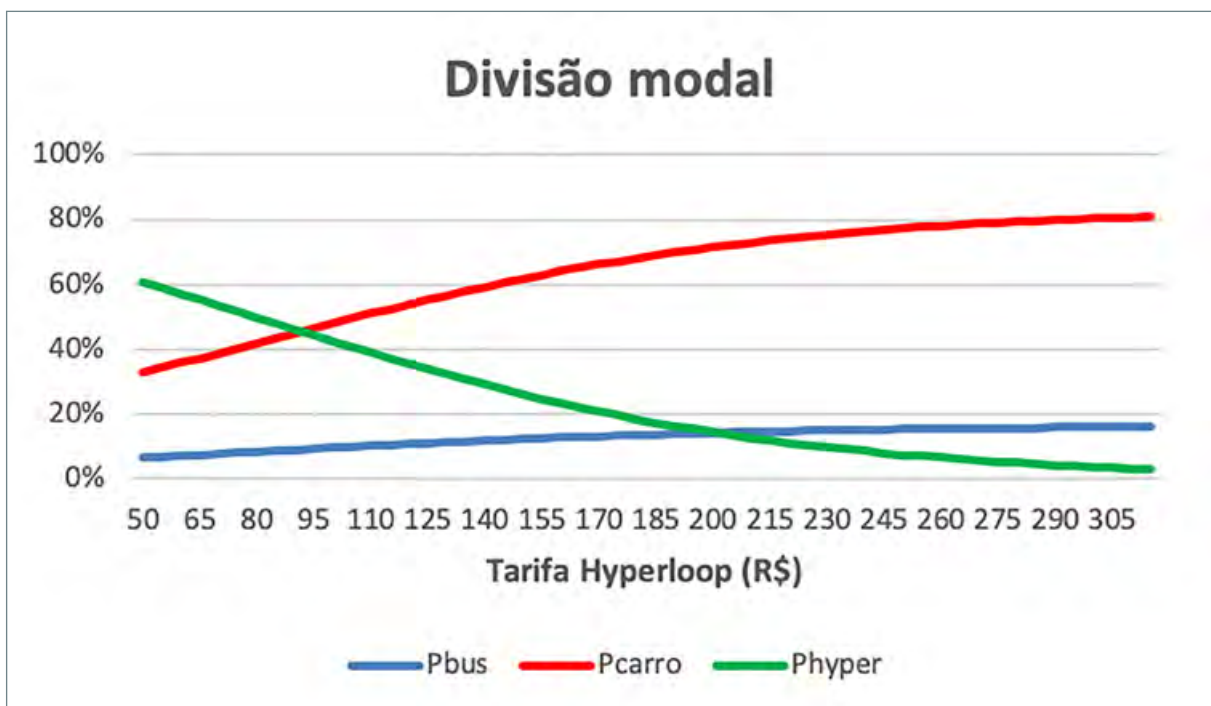


Figura 81 - Variação market share - aumento tarifa HyperloopTT: Viagens não lazer, P. Alegre-Gramado

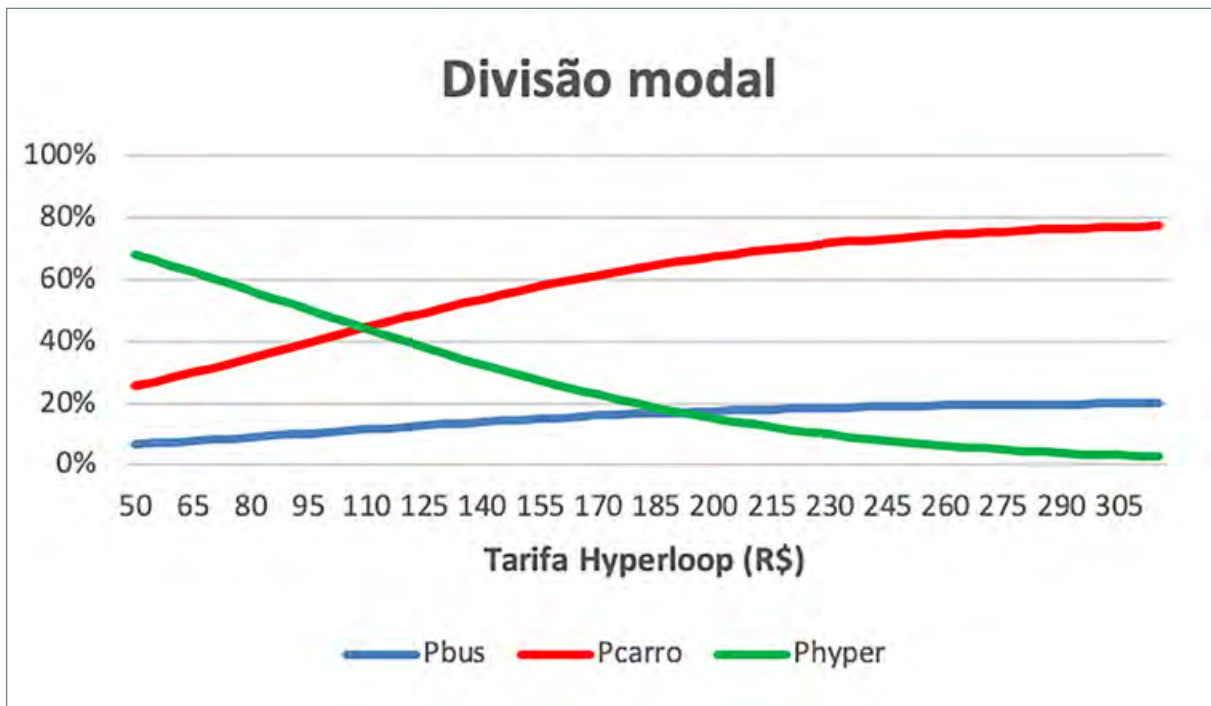


Figura 82 - Variação market share - aumento tarifa HyperloopTT: Viagens lazer, P. Alegre-Caxias

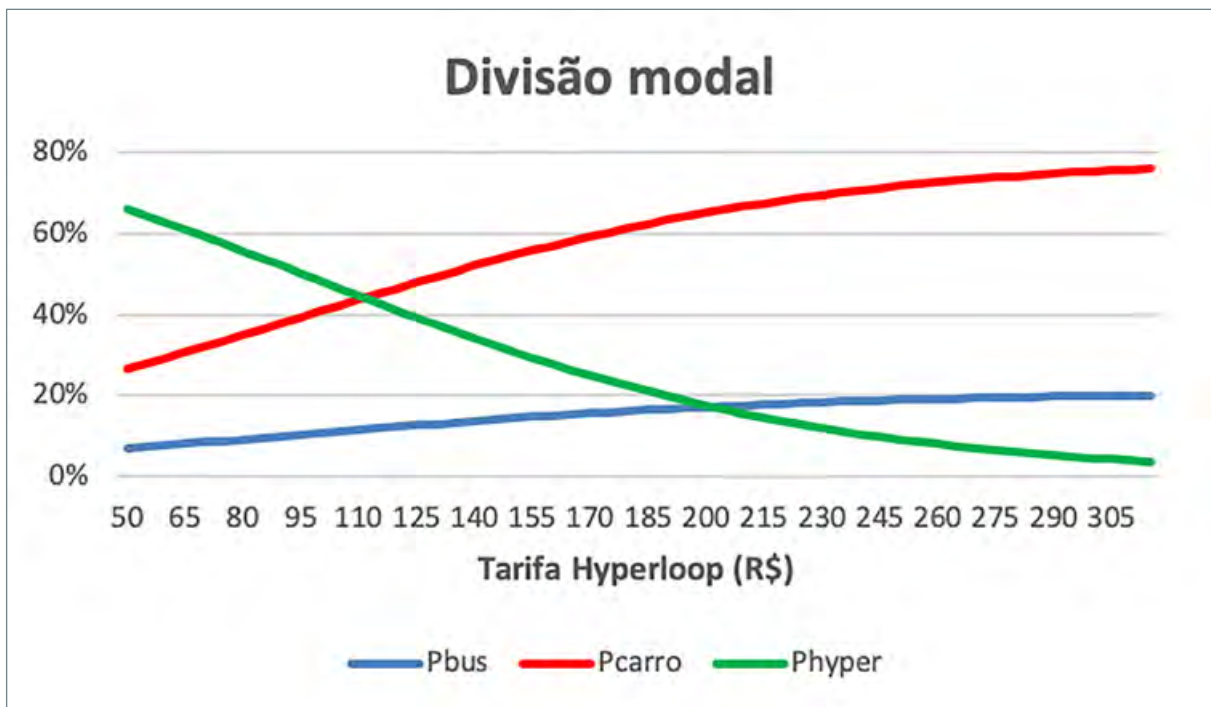


Figura 83 - Variação market share - aumento tarifa HyperloopTT: Viagens não lazer, P. Alegre-Caxias

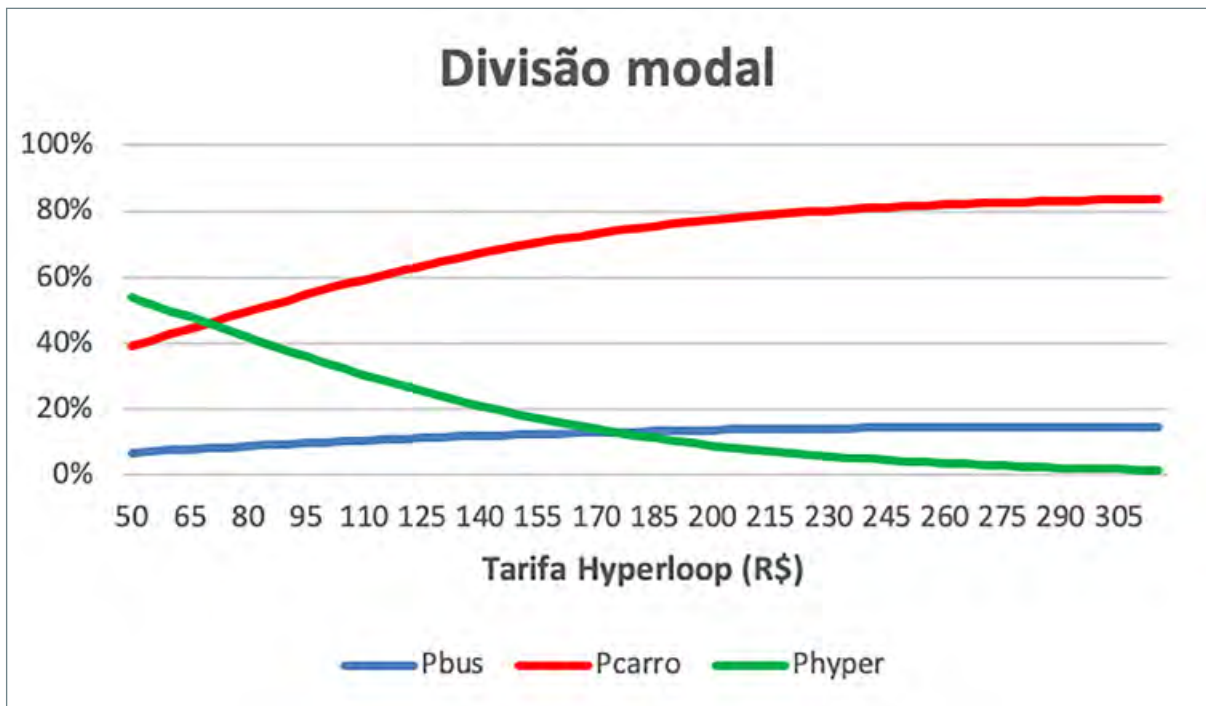


Figura 84 - Variação market share - aumento tarifa HyperloopTT: Viagens a lazer, Gramado-Caxias

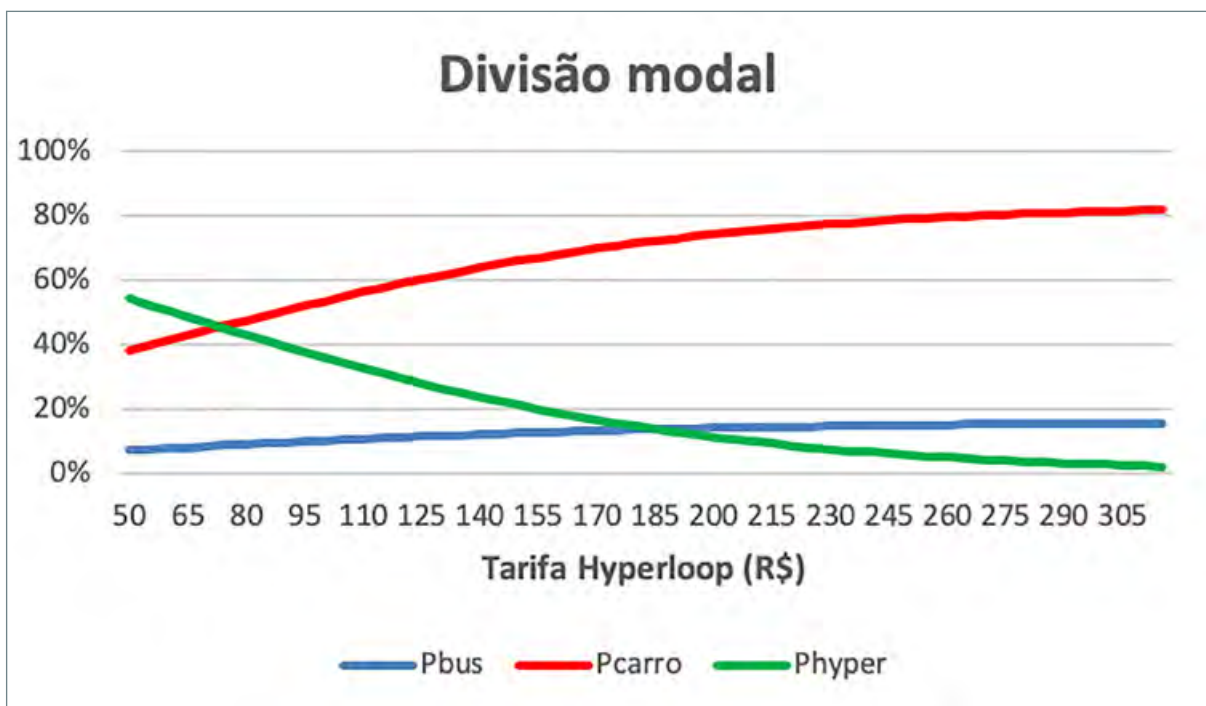


Figura 85 - Variação market share - aumento tarifa HyperloopTT: Viagens não lazer, Gramado -Caxias

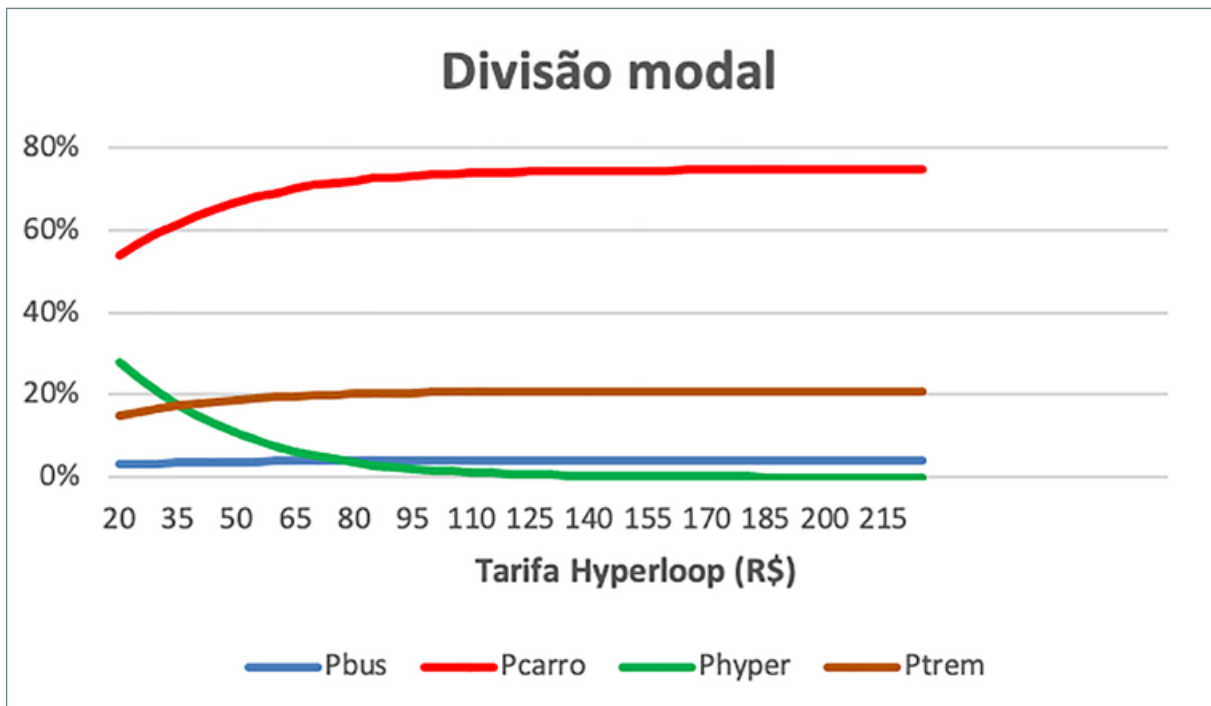


Figura 86 - Variação market share - aumento tarifa HyperloopTT: Viagens lazer, P. Alegre-N. Hamburgo

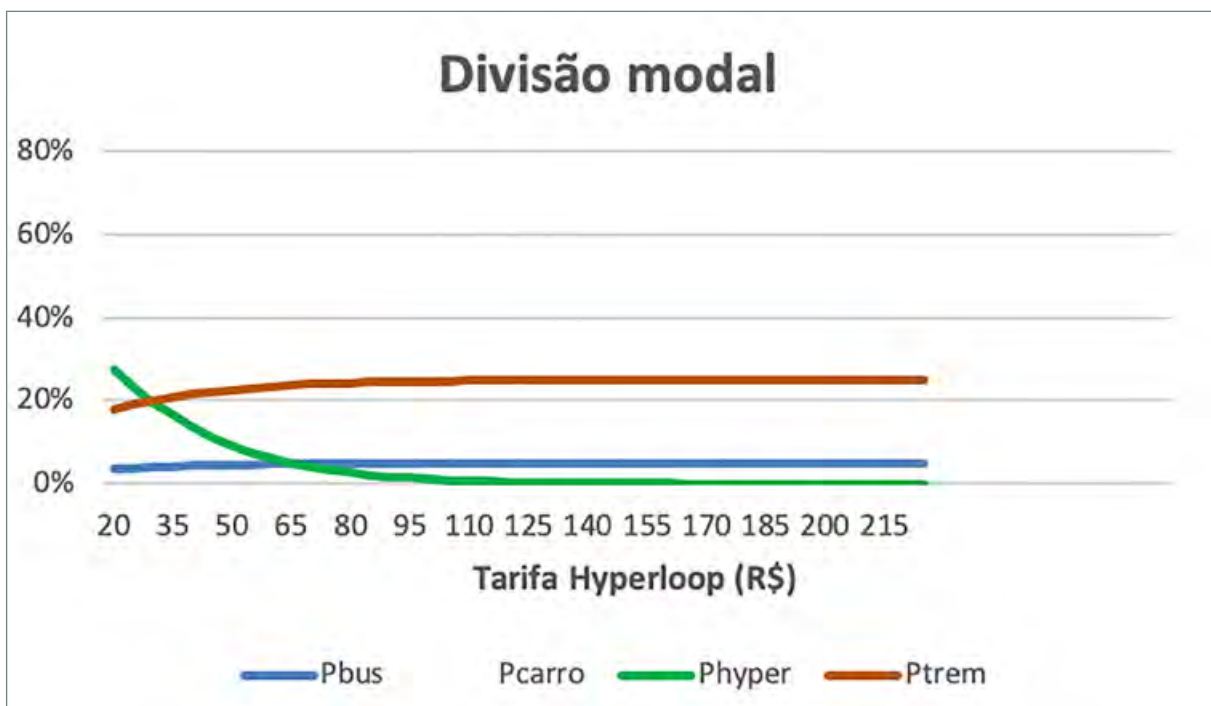


Figura 87 - Variação market share-aumento tarifa HyperloopTT: Viagens não lazer, P. Alegre-N. Hamburgo

As figuras apresentadas evidenciam a pouca atratividade do ônibus para os deslocamentos, o qual representa adequadamente a situação atual, na qual unicamente 15% das viagens à Serra Gaúcha são realizadas por ônibus. Adicionalmente, evidenciam a alta atratividade do carro. Tarifas inferiores a R\$90 levam a uma demanda maior do que a demanda do carro. Um aumento de 10% do valor da tarifa (por exemplo de R\$ 90 para R\$100 ou de R\$195 para R\$215), levariam a uma redução de 45% para 41% na demanda do HyperloopTT (redução de 10% na demanda) na primeira situação e de 16% para 12% na segunda (redução de 15%) mostrando a sensibilidade dos usuários em relação à tarifa cobrada e a característica de não linearidade dos modelos.

6.5.6. Determinação da tarifa ótima

A tarifa ótima foi calculada para cada trecho, utilizando a distribuição de viagens a lazer e não lazer obtidos da pesquisa e o número de viagens observados em cada trecho. Cabe destacar que a determinação da tarifa ótima é independente destes valores adotados, uma vez que é o produto entre o valor da tarifa, a participação do HyperloopTT e o número de viagens por motivo e por trecho, conforme Figura 88 a Figura 95.

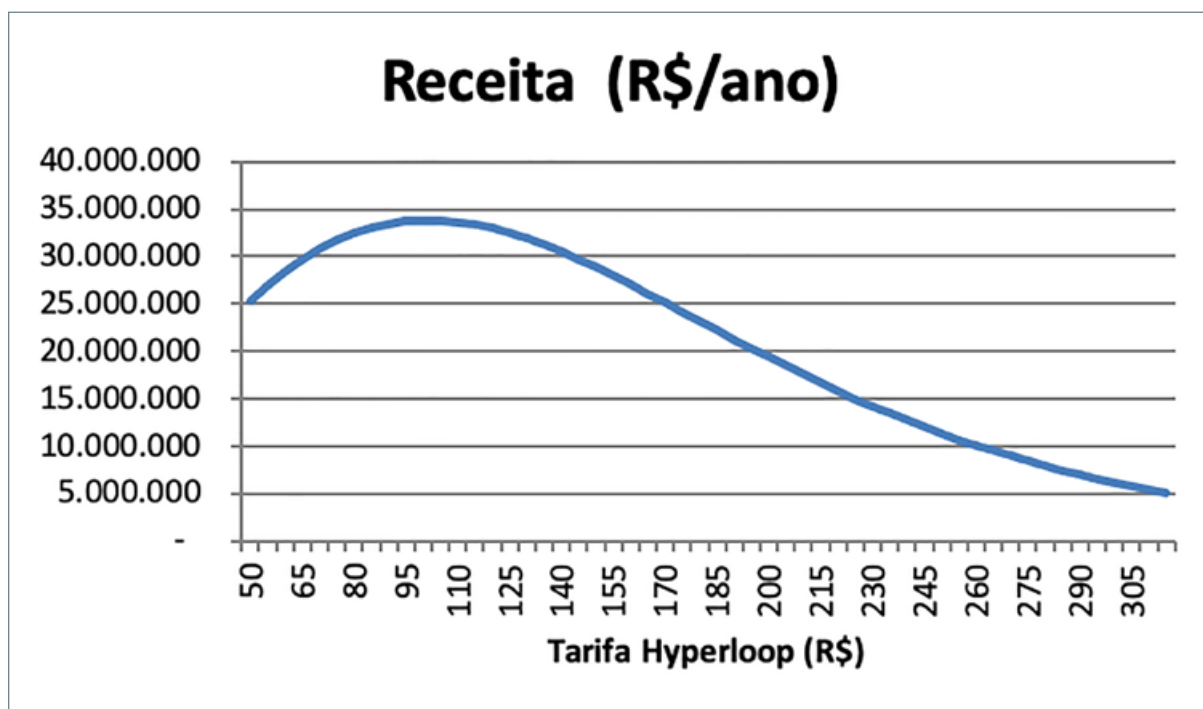


Figura 88 - Variação receita - variação tarifa HyperloopTT: Viagens a lazer, P. Alegre-Gramado

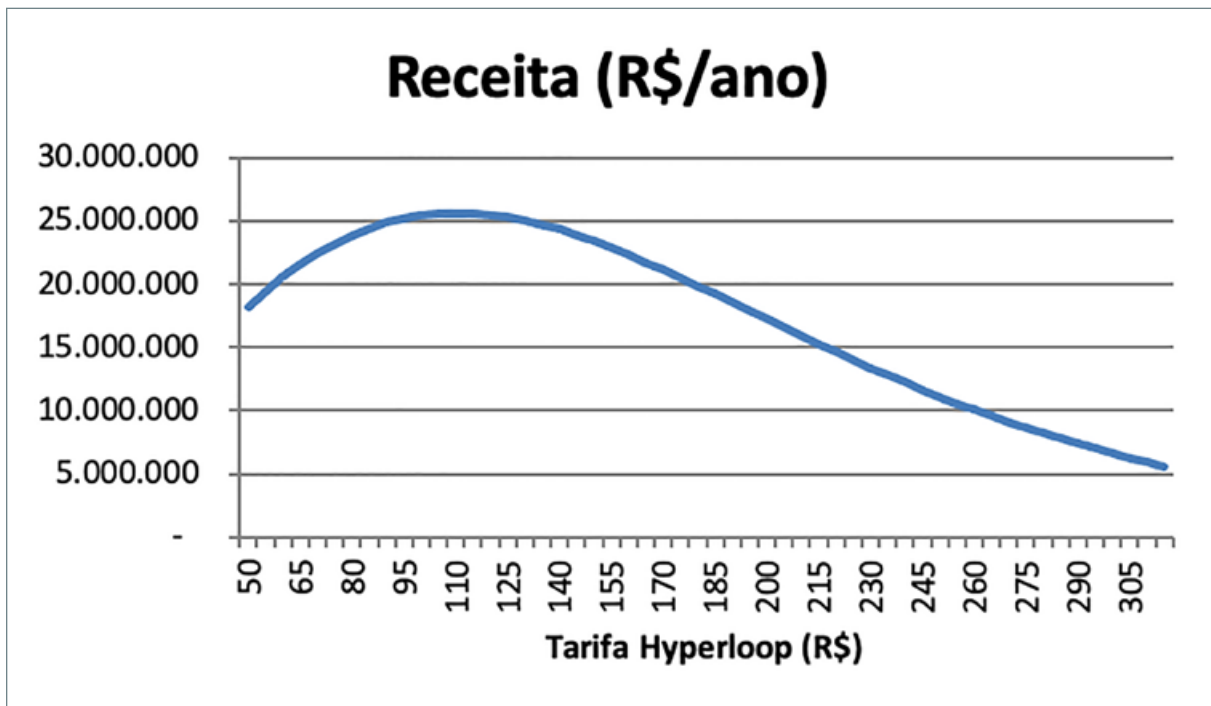


Figura 89 - Variação receita - variação tarifa HyperloopTT: Viagens não lazer, P. Alegre–Gramado

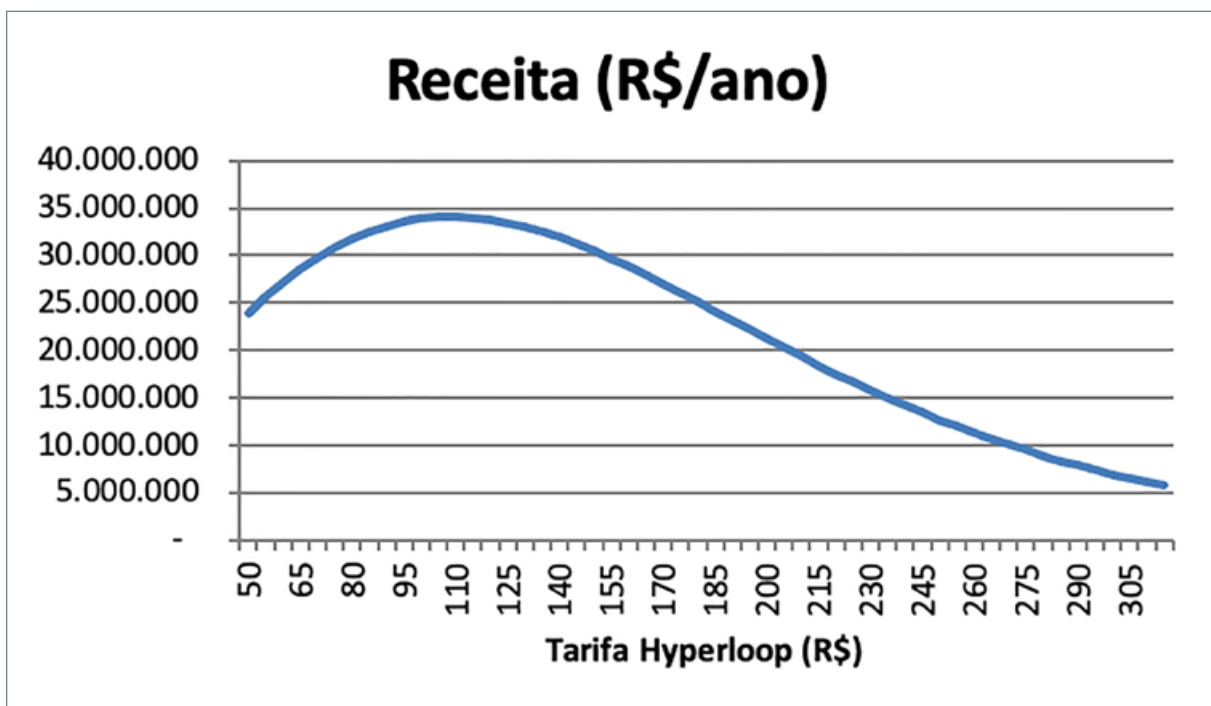


Figura 90 - Variação receita - variação tarifa HyperloopTT: Viagens lazer, P. Alegre–Caxias

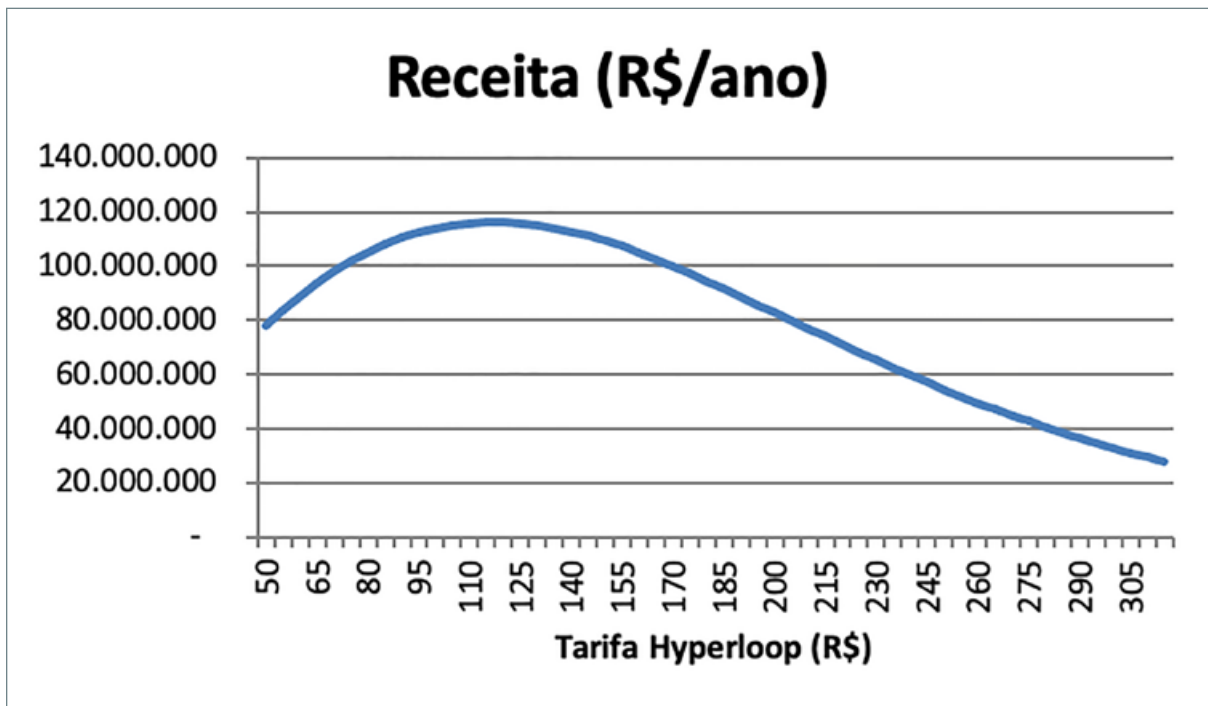


Figura 91 - Variação receita - variação tarifa HyperloopTT: Viagens não lazer, P. Alegre-Caxias

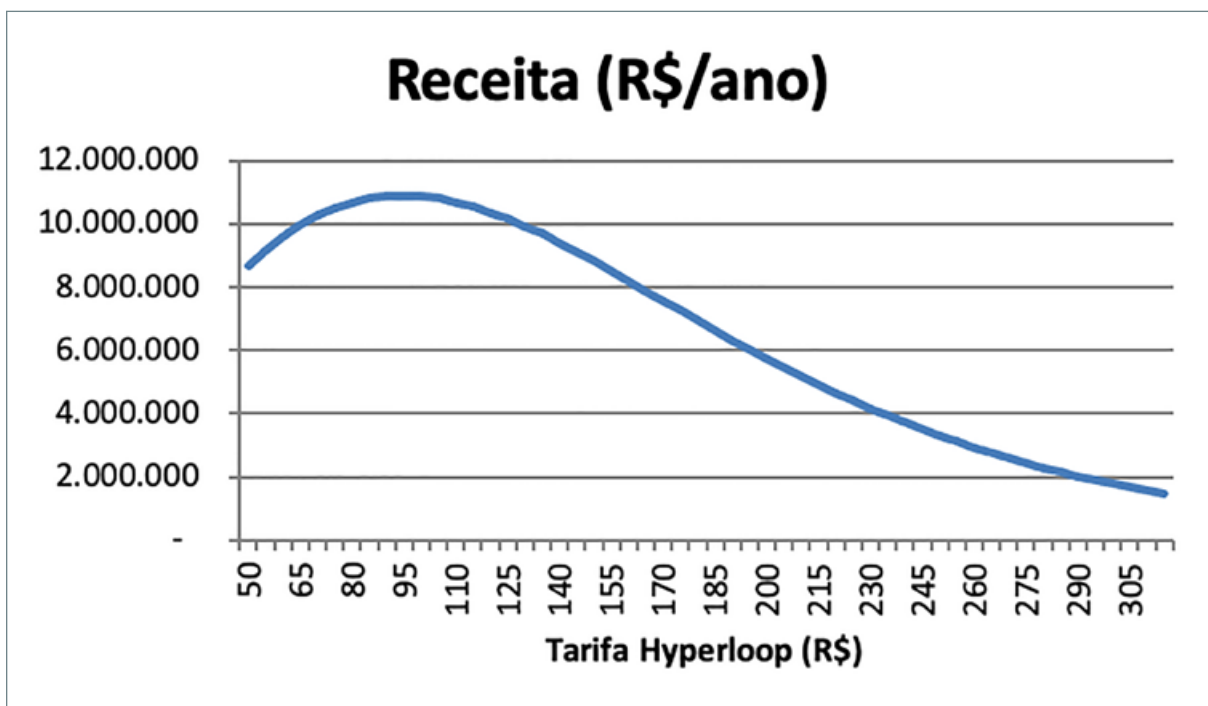


Figura 92 - Variação receita - variação tarifa HyperloopTT: Viagens lazer, Gramado-Caxias

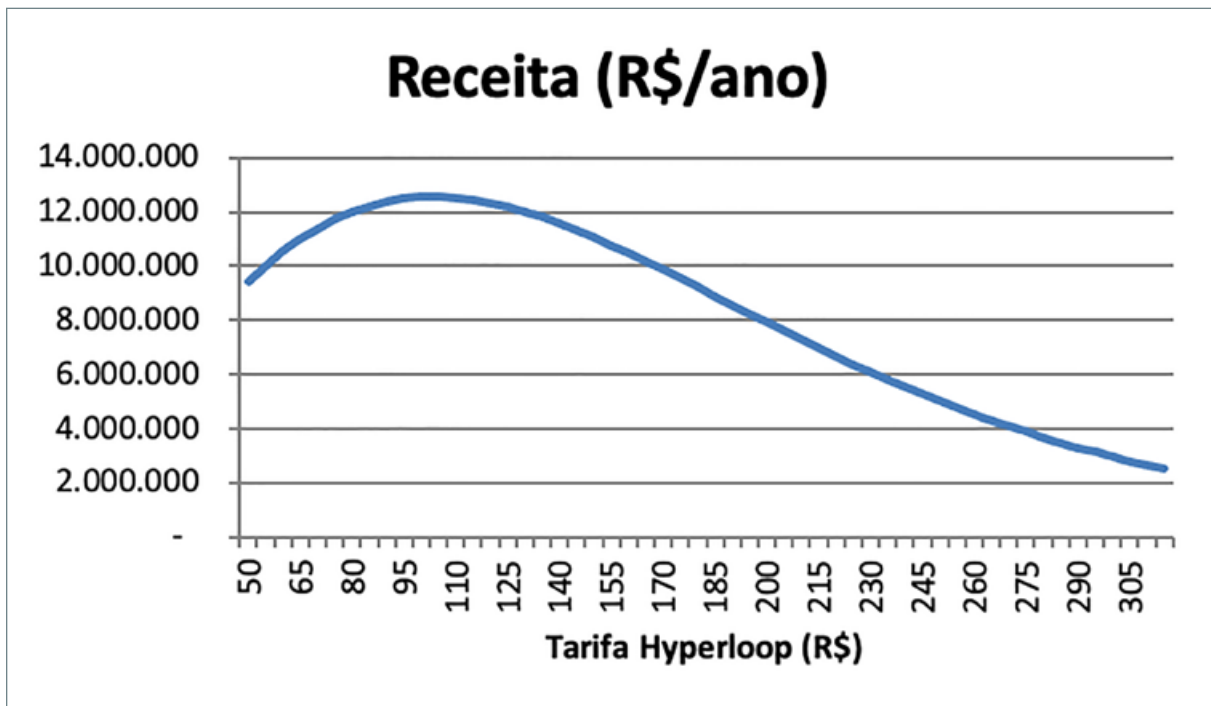


Figura 93 - Variação receita - variação tarifa HyperloopTT: Viagens não lazer, Gramado-Caxias

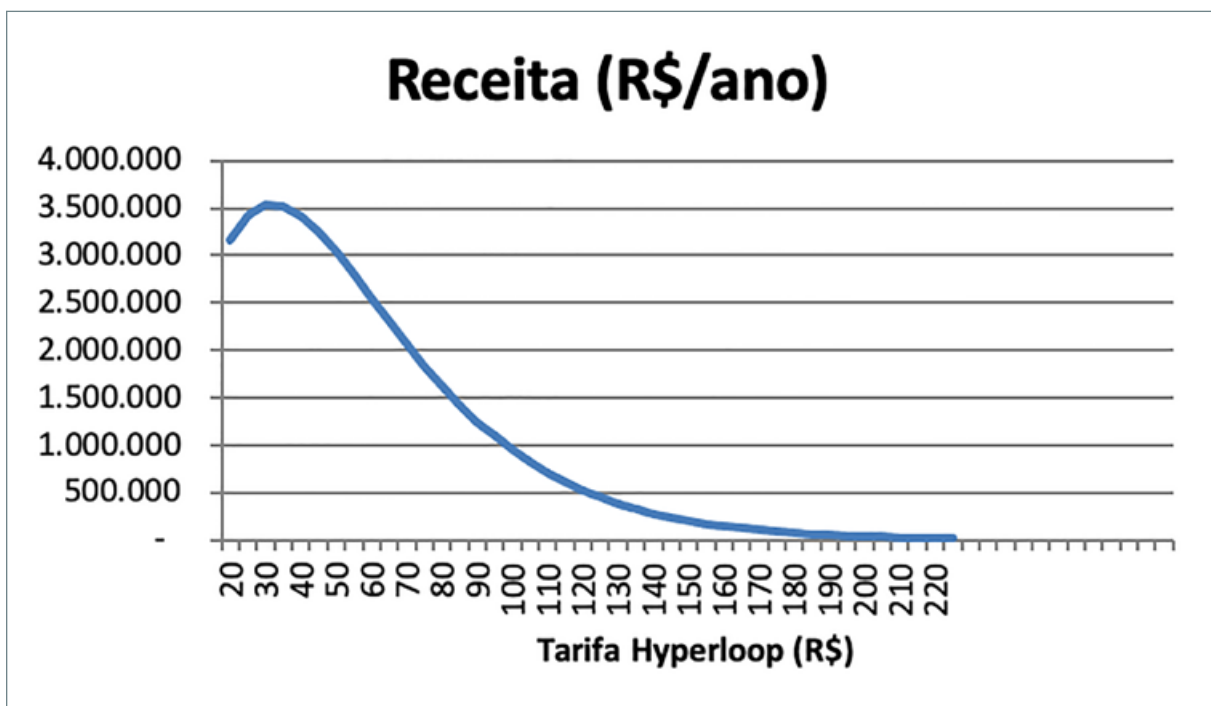


Figura 94 - Variação receita - variação tarifa HyperloopTT: Viagens lazer, P. Alegre-N. Hamburgo

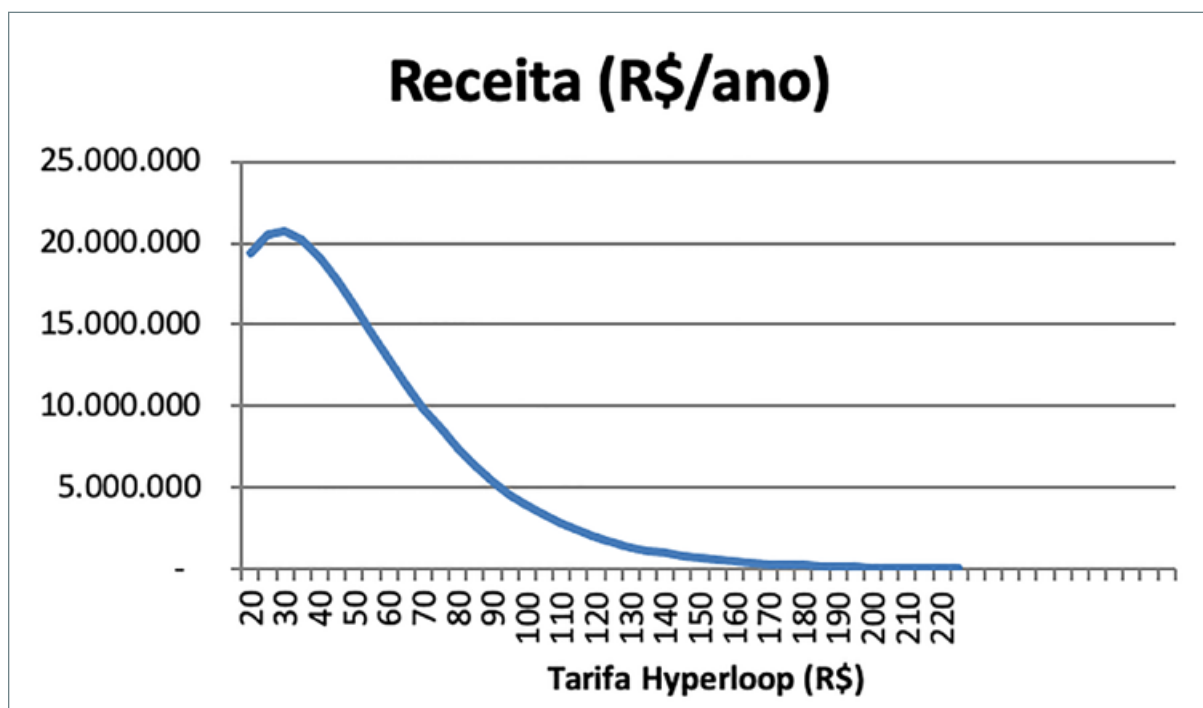


Figura 95 - Variação receita - variação tarifa HyperloopTT: Viagens não lazer, P. Alegre-N. Hamburgo

As tarifas que otimizam a receita do HyperloopTT por motivo de viagem e trecho são apresentadas na Tabela 33 assim como a tarifa sugerida. A tarifa ótima média para o trecho é calculada a partir da média ponderada da tarifa ótima por motivo e a distribuição das viagens conforme motivo observadas na pesquisa realizada.

Tabela 33 -Tarifas ótimas [R\$]

Trecho	Tarifa ótima Lazer	Tarifa ótima Não Lazer	Tarifa ótima Média Ponderada
Porto Alegre-Gramado	102	110	105
Porto Alegre-Caxias	109	117	115
Gramado - Caxias	94	104	99
Porto Alegre - Novo Hamburgo	32	29	30

6.6. Demanda induzida

A demanda induzida por viagens é um conceito simples; um fenômeno natural que ocorre à medida que as pessoas respondem às mudanças na quantidade de tempo que levam para viajar (GTZ, 2009). Seja viajando pela vizinhança, pelo país ou pelo mundo, as pessoas mudarão suas percepções sobre a facilidade com que podem se mover em um sistema de transporte. Essas respostas ocorrem independentemente de a mudança afetar carros, trens, ônibus ou aviões. Um fenômeno semelhante ocorre em relação aos movimentos de carga; os gerentes de produção e logística tomarão decisões sobre a logística associada à fabricação e entrega de mercadorias – a mistura de armazenamento e gases associada à saída do produto – com base em suas percepções de quão rápido e barato as mercadorias podem ser movimentadas. À medida que essas percepções mudam, com base em parte nas mudanças na rede que observam ocorrendo ao seu redor, o mesmo acontecerá com suas decisões.

Amplamente entendida, a demanda de viagem induzida é qualquer aumento na viagem resultante de melhores condições de viagem. A viagem é considerada induzida se puder ser demonstrado que há mais viagens ocorrendo quando ocorre uma melhoria nas condições de viagem do que seria o caso se essas melhorias não ocorressem. Na grande maioria dos casos em que a viagem induzida é uma preocupação, a melhoria específica nas condições de viagem em questão é uma melhoria no tempo de viagem – ou seja, uma redução no tempo de viagem, uma melhoria na confiabilidade do tempo de viagem ou ambos.

GTZ (2009) distingue o efeito da indução e viagens entre direto e indiretos. Viagem induzida diretamente refere-se a decisões conscientes de viajantes, ou viajantes em potencial, para aproveitar as mudanças reais ou percebidas no tempo de viagem ponto a ponto, alterando os padrões de viagem de uma maneira que aumente a viagem geral.

Viagem indireta induzida refere-se a aumentos na atividade de transporte que não teriam ocorrido se uma melhoria em particular no transporte não tivesse ocorrido, mas que não são os resultados de escolhas conscientes feitas por viajantes ou viajantes potenciais em resposta à mudança percebida no tempo de viagem ou confiabilidade. Pelo menos três mecanismos podem ser identificados pelos quais ocorrem viagens indiretas induzidas: efeitos de rede (ex: uso de uma via arterial, seja como uma nova rota para um destino antigo ou como um novo destino), efeitos de estilo de vida (ex: mudanças na propriedade do veículo e as mudanças na localização residencial) e efeitos de mercado (ex: acesso às oportunidades de varejo).

A demanda induzida direta correspondente às novas viagens que serão realizadas por decisões conscientes de viajantes devido à melhora da mobilidade e do acesso ao destino decorrente da implantação do sistema HyperloopTT resultando em economias no tempo de viagem. Essa demanda induzida foi determinada utilizando duas abordagens:

- (i) Abordagem baseada em técnicas de preferência declarada e
- (ii) Abordagem logsum.

Destaca-se que a primeira é uma técnica inovadora, baseada na elaboração de uma pesquisa de preferência declarada para determinar o número de viagens adicionais que o respondente realizaria em diferentes cenários hipotéticos apresentados, seguidos da estimação de modelos

econométricos para a determinação do número de viagens adicionais no sistema (ZHANG, D. et al., 2019). A segunda abordagem é baseada na estimação da acessibilidade a partir dos modelos de utilidade, calculada pelo indicador logsum. Ambas abordagens e resultados são apresentados a seguir.

A demanda induzida indireta, resultante do desenvolvimento regional foi obtida considerando que o impacto do novo sistema resultaria em aumento de demanda induzida crescente a 3% da soma das demais demandas consideradas no primeiro ano, mantendo um aumento simples de 3% por mais nove anos, quando estabiliza em 30% até o fim do projeto.

6.6.1. Demanda induzida a partir de técnicas de preferência declarada

Esta abordagem utiliza os dados coletados na pesquisa realizada (seção 5 do questionário descrito anteriormente). A pesquisa apresentava para cada trecho (Porto Alegre–Gramado, Porto Alegre – Caxias, Gramado Caxias, Porto Alegre – Novo Hamburgo), diferentes cenários hipotéticos, elaborados seguindo o projeto experimental (variando tempo, custo de viagem e intervalos para o HyperloopTT). Para cada cenário, os entrevistados deviam indicar o número de viagens a mais que realizariam por ano por cada um dos seguintes motivos de viagem:

- a) N° viagens a mais por ano por turismo/recreação/ compras
- b) N° viagens a mais por ano que escola/educação
- c) N° viagens a mais por ano por trabalho
- d) N° viagens a mais por ano por médico/dentista/saúde

Como as respostas do número de viagens são valores de contagens (inteiros não negativos), modelos lineares generalizados para dados de contagem foram utilizados. Diversos modelos foram estimados para cada um dos trechos analisados e estratificados por motivo de viagem lazer e não lazer. Os modelos estimados foram: Poisson, binomial negativo, inflacionados de zeros com distribuição binomial negativo e Poisson e modelos binomial negativo com efeitos aleatórios. O pacote computacional R foi utilizado.

Os modelos pressupõem diferente relação entre a média e variância da distribuição. O principal modelo para dados de contagem se baseia na distribuição de Poisson e possui a característica de equidispersão, isto é, a média é igual à variância. Este modelo foi estimado inicialmente para cada trecho e motivo e realizado o teste de hipótese de superdispersão de Cameron e Trivedi (1990) para testar estatisticamente a existência de superdispersão na distribuição. O resultado do teste em todos os modelos estimados (trecho e motivo) evidenciou a existência de superdispersão (variância maior do que a média) na amostra coletada, resultado usualmente encontrado para modelagem de frequência de viagens (CAO; HANDY; MOKHTARIAN, 2006).

Alternativamente, modelos de regressão binomial negativo foram estimados, os quais capturam o efeito de superdispersão introduzindo um efeito não observado na média da distribuição (GREENE, 2002). De forma a modelar mais adequadamente a frequência de viagens, foram calibrados modelos inflacionados de zero, os quais conseguem lidar com uma alta frequência de contagens 0 nas respostas. Cada entrevistado respondeu às perguntas de demanda induzida

repetidas vezes na pesquisa (para cada cenário e para cada trecho), levando a uma estrutura de dados em painel. Técnicas de regressão para dados em painel foram adotadas, para incorporar a correlação entre os mesmos indivíduos considerando um efeito aleatório sobre o parâmetro da dispersão. A comparação entre os modelos estimados foi realizada a partir do ajuste estatístico e hipóteses esperadas sobre o comportamento dos parâmetros, utilizando os critérios de AIC (Akaike Information Criterion) e BIC (Bayes Information Criterion) para a seleção do modelo mais adequado.

Em todos os trechos e motivos de viagem analisados, os modelos binômias negativos com efeitos aleatórios foram os que apresentaram melhor ajuste. Estes modelos incorporam a superdispersão dos dados conjuntamente com o efeito painel. Os resultados dos modelos estimados são apresentados na Tabela 34.

Tabela 34 - Resultados dos modelos de demanda induzida

Rota	Lazer			Não lazer		
	Intercepto (Valor p)	Coefficiente (Valor p)	AIC/BIC	Intercepto (Valor p)	Coefficiente (Valor p)	AIC/BIC
Porto Alegre/ Novo Hamburgo – Caxias do Sul	0.651 (0.000)	-0.004 (0.000)	15442.0/ 15468.3	0.932 (0.000)	-0.005 (0.000)	15127.7/15154.0
Porto Alegre/ Novo Hamburgo – Gramado	1.158 (0.000)	-0.004 (0.000)	13348.3/ 13373.3	1.034 (0.000)	-0.008 (0.000)	8901.8/8926.8
Caxias do Sul - Gramado	0.940 (0.000)	-0.004 (0.000)	28876.4/ 28904.9	1.071 (0.000)	-0.006 (0.000)	24231.4/ 24259.8
Porto Alegre – Novo Hamburgo	0.947 (0.000)	-0.006 (0.000)	11368.6/ 11393.0	1.190 (0.000)	-0.008 (0.000)	10808.0/ 10832.4

Assumindo que a amostra é representativa da população da área de estudo, os parâmetros estimados podem ser aplicados para toda população, obtendo o valor do número de viagens a mais por pessoa. O número de viagens adicionais estimados para toda a população representam a demanda induzida, que pode ser quantificada (% de demanda induzida) como a relação entre o número de viagens induzidos (D. induzida) e o tamanho do mercado no cenário base para o HyperloopTT (D. HyperloopTT) (ZHANG, D. et al., 2019), conforme apresentado na Tabela 35.

Tabela 35 – Distribuição da demanda induzida por motivo de viagem

Rota	Lazer		Não lazer		% demanda Induzida/demanda HyperloopTT
	% demanda Induzida/demanda HyperloopTT	Distribuição de viagens (pesquisa) (%)	% demanda Induzida/demanda HyperloopTT	Distribuição de viagens (pesquisa) (%)	
Porto Alegre/ Novo Hamburgo – Caxias do Sul	10.1	23	11.7	77	11.3
Porto Alegre/ Novo Hamburgo – Gramado	36.8	58	10.1	42	25.6
Caxias do Sul - Gramado	27	48	10.4	52	18.4
Porto Alegre – Novo Hamburgo	31.4	14	21.8	86	23.2

Os resultados mostram que a demanda induzida para os trechos analisados no cenário de tarifa ótima varia entre 11% e 26% da demanda do HyperloopTT. Este resultado está em linha com os obtidos em outros estudos como o de Pré-viabilidade realizado nos Grandes Lagos (TEMS, 2019) (valor de 30% em relação à demanda do HyperloopTT), Estudo de Viabilidade do trem rápido entre São Paulo e Rio de Janeiro (TAV BRASIL, 2012) (demanda induzida varia ente 16% e 17%). Uma revisão bibliográfica sobre evidências de demanda induzida após a introdução de trens de alta velocidade realizada por (GIVONI; DOBRUSZKES, 2013) mostra que a demanda induzida pode variar amplamente, de quase zero a 80% do total de passageiros transportados por trens de alta velocidade. Apesar da grande variabilidade nos resultados, determinar um valor médio de 20% para os primeiros anos (2 a 4 anos depois da introdução do sistema). A Figura 96 apresenta a variação da demanda induzida em relação à tarifa do HyperloopTT.

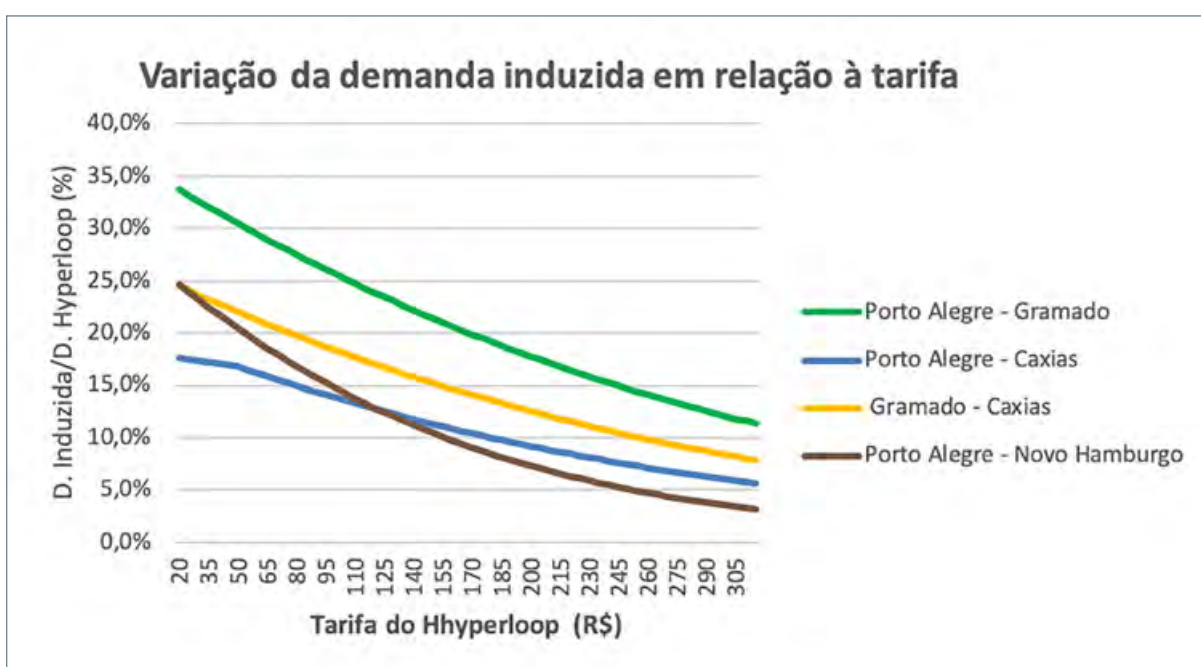


Figura 96 - Variação da demanda induzida frente a variação do valor da tarifa do HyperloopTT

6.6.2. Demanda induzida a partir do indicador *logsum*

A segunda abordagem é baseada na estimação da acessibilidade a partir dos modelos de utilidade, calculada pelo indicador *logsum*. A modelagem das preferências dos indivíduos (modelos de utilidade) em relação às alternativas de transporte permitiu determinar a acessibilidade desses indivíduos em diferentes trechos. O indicador de acessibilidade *logsum*, tradicionalmente usado em estudos de viabilidade, representa a percepção, ou utilidade esperada, agregada dos usuários sobre a rede de transportes (GEURS et al., 2010). O *logsum* se destaca entre as medidas de acessibilidade baseadas na utilidade pois pode ser interpretado como uma medida do excedente do consumidor ou da variação do bem-estar proporcionado por uma intervenção ou política pública (HANDY e NIEMEIER, 1997; De JONG et al., 2007).

Para determinar a mudança no número de viagens com a introdução do sistema HyperloopTT, um modelo de demanda direta (geração e distribuição de viagens) usando técnicas de regressão, foi estimado a partir da demanda existente nos trechos analisados, características socioeconômicas na origem e no destino, e da acessibilidade (*logsum*) antes e depois da introdução do HyperloopTT (Transportation Economics & Management Systems, Inc., 2008). A contribuição na demanda da nova alternativa modal seguiu a abordagem proposta por Handy e Niemeier (1997), estabelecendo dois cenários: (i) com os modos de transportes existentes e (ii) com os modos existentes mais o HyperloopTT; de forma de estimar a contribuição na acessibilidade proporcionada pelo novo modo de transporte.

As utilidades estimadas no modelo de divisão modal foram utilizadas para estimativa do *logsum* (DE JONG et al., 2007) para cada trecho (par OD da Serra Gaúcha) em cada um dos cenários (com e sem HyperloopTT). As características socioeconômicas foram combinadas conforme equação abaixo:

$$SE_{i,j} = PIB_i * PIB_j * (População_i + População_j) / 2$$

(15')

Onde PIB_i é o PIB na zona de origem, PIB_j é o PIB na zona de destino, População_i é a população na zona de origem, População_j é a população na zona de destino.

Os resultados obtidos a partir da abordagem de *logsum* e a comparação com os obtidos com a abordagem de preferência declarada são apresentados na Tabela a seguir.

Tabela 36 – Demanda induzida - Logsum

Trecho	Abordagem Logsum								Abordagem Preferência Declarada
	Motivo	Logsum sem HyperloopTT	Logsum com HyperloopTT	SE ij	Nij	D. induzida ij	D. induzida/ D. HyperloopTT (%) (por motivo de viagem)	D. induzida / D. HyperloopTT (%) (por trecho)	D. induzida / D. HyperloopTT (%) (por trecho)
POA-GRA	Lazer	-2.185	-1.688	2.2E+15	827,660	533,868	62%	62%	26%
POA- CXS	Lazer	-2.290	-1.745	2.6E+15	703,570	509,596	64%	65%	11%
GRA-CXS	Lazer	-1.345	-0.930	7.4E+14	320,640	164,526	56%	57%	18%
POA-GRA	Não Lazer	-1.769	-1.248	2.2E+15	599,340	410,491	63%		
POA- CXS	Não Lazer	-1.870	-1.302	2.6E+15	2,355,430	1,800,928	66%		
GRA-CXS	Não Lazer	-1.079	-0.631	7.4E+14	347,360	196,248	59%		

R2=0.572 Intercepto: 13.06 (valor-p 0.00) Logsum:1.0456(valor-p 0.20*) SE 1.197E-15(valor-p 0.12*) * coeficientes significativos com 80% de confiança, utilizado para reduzir o tipo de erro II.

Aplicando a abordagem do *logsum* a demanda induzida é significativamente maior do que aplicando a abordagem proposta a partir de preferência declarada. A aplicação da abordagem *logsum* apresenta muitas limitações neste estudo específico, devido à limitação de dados existentes para o corredor estudado. A estimação do número de viagens induzidas com esta abordagem foi baseada em poucas observações (informações unicamente de três pares OD por motivos lazer e não lazer), o qual compromete a aplicação do modelo para analisar a mudança na acessibilidade.

Entretanto, a abordagem utilizando preferência declarada, foi baseada em informações de todos os respondentes (usuários e não usuários), para cada trecho, em diferentes cenários propostos. Desta forma, permitiu estimar modelos com mais observações, aumentando a confiabilidade e acurácia dos modelos estimados. Os valores de demanda induzida utilizados para previsão correspondem aos valores obtidos com esta segunda abordagem.

6.6.3. Distribuição das viagens totais do HyperloopTT

A Figura 97 apresenta a distribuição das viagens totais realizadas pelo HyperloopTT considerando as migrações dos outros modos de transporte e as contribuições calculadas para a demanda induzida dada as viagens adicionais e as alterações devido ao uso do solo.

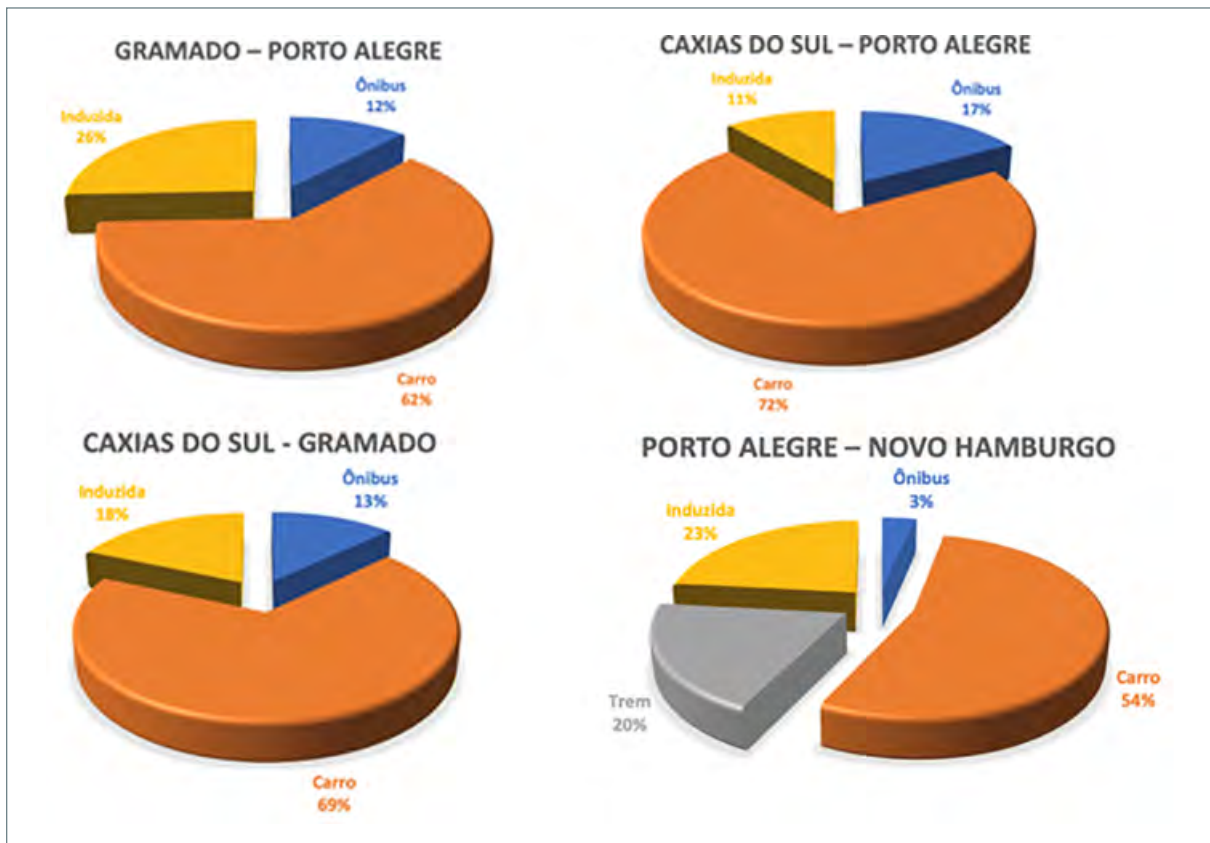


Figura 97 - Distribuição das viagens totais do HyperloopTT

6.7. Considerações adicionais – o valor da confiabilidade

A maioria dos estudos que usa a Análise de Custo-Benefício – CBA estima o valor do tempo (VoT) sem considerar o valor da Confiabilidade (VoR). Tanto a avaliação da confiabilidade quanto a inclusão da confiabilidade nos modelos de previsão de transporte são desafiantes. Como resultado, os benefícios de projetos e políticas que reduzem a variabilidade do tempo de viagem provavelmente serão subestimados – embora as estimativas de VOT possam incluir aspectos de confiabilidade se estes não forem especificados explicitamente no modelo de escolha subjacente às estimativas. Mas mesmo assim as estimativas são tendenciosas para a avaliação de projetos que têm efeitos não proporcionais sobre os tempos de viagem e sua variabilidade. Kouwenhoven, M, De Jong, GC, Koster, P et al. (2014) mostram que, na Holanda, há uma longa história de estimativa de VOTs para transporte de passageiros, mas VORs nunca foram medidos em um estudo de avaliação formal; ou seja, um estudo destinado a produzir valores para a formulação de políticas reais. A Tabela 37 mostra os valores de tempo e confiabilidade estimados pelos autores.

Tabela 37 – Valor de tempo e valor de confiabilidade para usuários de automóveis

Value of time and value of reliability (in 2010 euros/hour/person)			
	Value of time (VoT)	Value of Reliability (VoR)	VoR/VoT (%)
Commuter	9,25	3,75	40,5%
Business	26,25	30	114,3%
Other	7,5	4,75	63,3%

Fonte: Adaptado de Kouwenhoven, M, De Jong, GC, Koster, P et al. (2014)

É importante ressaltar que, no caso do corredor Porto Alegre – Serra Gaúcha, a variabilidade no tempo de deslocamento é alta. Principalmente considerando as viagens turísticas entre o aeroporto de Porto Alegre e a Serra Gaúcha (e vice-versa), os viajantes têm uma margem de segurança que, em alguns casos, pode chegar a cinco horas. Ou seja, as pessoas saem da região turística cinco horas antes do horário programado para embarque no aeroporto.

Assim, para considerar tal questão importante, neste projeto será considerada a relação de proporção entre VoR e VoT para usuários de automóveis encontrada por Kouwenhoven, M, De Jong, GC, Koster, P et al. (2014) e apresentado na Tabela 37.

6.8. HyperloopTT- reduzindo espaços e moldando cidades

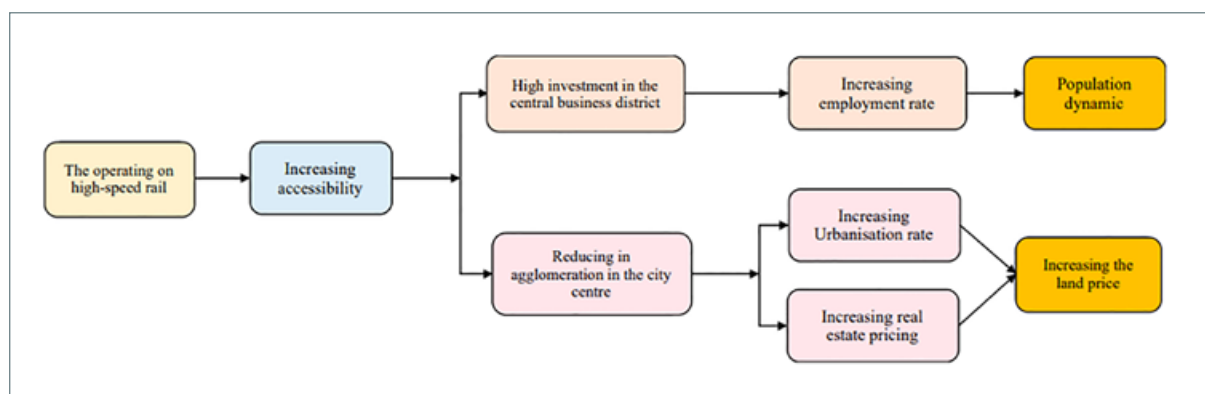
A implementação de uma linha HyperloopTT pode desempenhar um papel importante na reformulação dos padrões e atividades de viagens das pessoas e, conseqüentemente, mudando (e até mesmo dirigindo) como as cidades se desenvolvem. Os sistemas de trens de alta velocidades

em geral, e o HyperloopTT em particular, podem fomentar a promoção do crescimento econômico e do desenvolvimento regional.

Trens de alta velocidade e o HyperloopTT podem mudar a geografia de uma região, aproximando as cidades umas das outras ao aumentar a acessibilidade. Esses benefícios, por sua vez, podem ser a base para a promoção do desenvolvimento econômico.

A tecnologia de transporte que permite aos indivíduos acessar diferentes cidades sem viver dentro de seus limites oferece grandes benefícios ao permitir que as pessoas aproveitem as vantagens da aglomeração urbana, sem pagar aluguéis de imóveis de megacidade e custos sociais urbanos.

De acordo com o Departamento de Transportes do Reino Unido (2018), as evidências revisadas em um estudo confirmam que o tráfego induzido existe e pode ser significativo em algumas situações. Permanecem grandes variações nas evidências quantitativas que tornam difícil tirar conclusões quanto à magnitude do impacto da demanda induzida nas melhorias de capacidade das estradas feitas para a Rede de Estradas Estratégicas. No entanto, o estudo tirou algumas conclusões provisórias: uma elasticidade de cerca de 0,2 em toda a rede rodoviária, ou seja, um aumento de 10% na capacidade rodoviária pode levar a 2% da demanda induzida na rede. É provável que a demanda induzida seja maior para melhorias de capacidade em áreas urbanas ou em rotas altamente congestionadas, conforme apresentado na Figura 98. Há pouca evidência de que níveis extremos de demanda induzida ocorreriam na Rede de Estradas Estratégicas (DEPARTMENT FOR TRANSPORT, 2018).



Fonte: Panrawee Rungskunroch et al. (2020)

Figura 98 – Demanda induzida e uso do solo

6.9. Síntese dos valores de demanda de passageiros

O número de passageiros resultante é composto da demanda de quatro fontes:

- (i) Demanda desviada para o HyperloopTT. Representa viagens que seriam realizadas em um cenário equivalente sem o HyperloopTT, porém, por modos diferentes. O cálculo destas viagens resulta do produto da partição de mercado que corresponde ao HyperloopTT, resultante dos modelos de divisão modal, e o total de viagens projetadas para cada ano;
- (ii) Demanda induzida por economia de tempo de viagem. Representa as novas viagens que, sem o Hyprloop, não teriam sido realizadas, ou teriam sido realizadas para destinos diferentes. Essas viagens foram induzidas pela redução do tempo de viagem (melhoria na acessibilidade). Estas viagens foram calculadas pelo produto da demanda esperada para o HyperloopTT e o percentual estimado de demanda induzida para cada trecho;
- (iii) Demanda de turistas do aeroporto. Compreende as viagens entre Porto Alegre e Gramado realizadas por passageiros que utilizam o aeroporto Salgado Filho (Porto Alegre), em sua maioria turistas. O número de viagens esperado foi calculado como o produto entre a demanda esperada para HyperloopTT no trecho Porto Alegre-Gramado acrescido de 20%. Espera-se que a proporção de viagens por HyperloopTT realizado por turistas seja maior que a de residentes de Porto Alegre. Os turistas não possuem carro na cidade e, provavelmente, possam adquirir passagens em grupo ou dentro de um pacote oferecido pela operadora turística assim como integração direta entre o aeroporto e Gramado.
- (iv) Demanda induzida pelo desenvolvimento regional- derivada de negócios imobiliários. Corresponde a viagens induzidas pelo surgimento de novos espaços urbanos. Estima-se que esta demanda corresponde a 3% da soma das demais demandas consideradas no primeiro ano e possui um aumento simples de 3% por mais nove anos, quando estabiliza em 30% até o fim do projeto.

Nesse contexto, a Figura 99 gráfico a seguir apresenta o número total de viagens esperadas para cada ano de projeto por tipo de demanda.

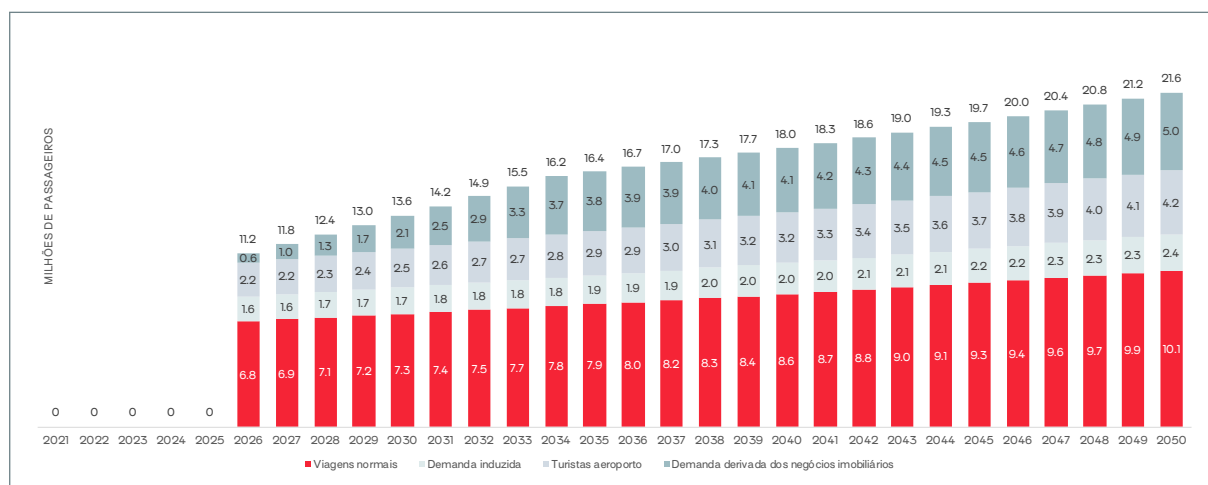


Figura 99 - Demanda de passageiros de HyperloopTT por ano

Por fim, na Tabela 38 apresenta-se os valores totais de viagens de passageiros para todo o período divididos por par origem-destino e por tipo de demanda.

Tabela 38 - Total de viagens por par origem-destino e tipo de demanda

	Viagens normais	Demanda induzida	Turistas aeroporto	Demanda derivada dos negócios imobiliários	Total	Percentual do total
CXS-GRA	22.092.929	4.960.073	0	6.285.832	33.338.833	7,0%
CXS-NH	11.410.968	1.705.087	0	3.006.556	16.122.611	3,4%
CXS-POA	95.117.280	14.212.927	0	25.065.193	134.395.400	28,3%
GRA-NH	7.136.332	2.404.219	0	2.199.630	11.740.181	2,5%
GRA-POA	42.773.702	14.640.663	87.544.955	34.157.924	179.117.244	37,8%
NH-POA	62.510.910	18.883.504	0	18.360.041	99.754.455	21,0%
Total	241.042.120	56.806.473	87.544.955	89.075.176	474.468.724	100,0%
Percentual do total	50,8%	12,0%	18,5%	18,8%	100,0%	-



7. Análise da Demanda de carga

7.1. Introdução

Para modelar o transporte de carga da região foram identificados diferentes tipos de estrutura de cadeia de suprimentos. Para cada uma delas, foram estimados os custos e os tempos tanto da situação atual como da situação depois da implementação do HyperloopTT. Os tempos e custos considerados foram: os tempos de atendimento, custos de transporte, custos de armazenagem e custos de carga e descarga. É importante salientar que o presente projeto tem foco em curtas distâncias, onde geralmente o modo rodoviário é altamente competitivo pela possibilidade de oferecer um serviço porta a porta.

A escolha do tipo de cadeia de suprimento (atual e com HyperloopTT) depende tanto do tipo de produto quanto do mercado que é atendido. O tipo de produto é influenciado em dois níveis: valor do produto e tipo de consumidor. O valor do produto foi utilizado como critério de filtro, onde buscou-se processar apenas produtos de alto valor agregado de tal forma que a proposta de redução de tempos de viagem possa ser mais atraente. No entanto, o tipo de consumidor afeta a escolha da cadeia de suprimento dependendo se são bens finais destinados a vários consumidores de uma região (varejo, atacado, pequenos produtos) ou um bem intermediário especializado (bens para consumo industrial).

Sobre o mercado a ser atendido, existem 3 possibilidades a serem consideradas. A primeira é o comércio com origem e destino dentro da área de influência do HyperloopTT. O segundo é onde o comércio que tem origem (ou destino) dentro da área de influência HyperloopTT e com destino (ou origem) em outra região do Brasil. Finalmente, o terceiro caso é uma carga com origem (ou destino) dentro da área do HyperloopTT e com destino (ou origem) no exterior, através de uma operação de exportação ou importação.

O segundo caso não será analisado devido à pequena contribuição do HyperloopTT na cadeia de suprimentos. Nesse caso, seria necessário um conjunto de consolidações adicionais para poupar uma proporção de tempo relativamente baixa ao tempo total de viagem. A exceção é o *e-commerce*, onde é provável o uso de sistemas *hub-spoke* com uma consolidação em Porto Alegre e outra na região de destino. Similarmente, para o caso de comércio exterior somente será considerado o modal aéreo pois as exportações marítimas ou rodoviárias teriam o mesmo problema.

Uma vez definidas as cadeias de suprimentos a serem analisadas, torna-se necessário definir o modelo de divisão modal. Para isso foi usado o modelo de PD do PELT-RS (LARRANAGA; ARELLANA; SENNA, 2017; PELT, 2017) com algumas modificações para incrementar a sensibilidade a baixos tempos de viagem. Dadas as limitações das fontes de dados, é importante salientar o rol do valor do produto no modelo dado que permite focar nos produtos que tenham maior valor do tempo e reduzir o viés que pode trazer a transferência de um modelo que teve como objetivo modelar transporte de longas distâncias. Uma vez calibrado o modelo por Origem-Destino e tipo de produto, estimou-se o preço que maximiza o lucro líquido (receita-custos variáveis) do sistema.

7.2. Cadeias de suprimento analisadas

Foram consideradas duas configurações de cadeias de suprimento para o comércio intrarregional. A primeira é um envio direto (Figura 100) onde a carga é transportada diretamente entre cliente e fornecedor, sem necessidade de consolidação para distribuição. Este tipo de cadeia é comum quando existe um único (ou poucos) clientes na área de destino, sem necessidade de armazenamento no destino. Por isto é que o tipo de produto considerado é aquele que tem como cliente uma indústria. As distâncias foram consideradas entre os centros das cidades.



Figura 100 – Envio direto

A segunda configuração caracteriza-se pela consolidação no destino para a distribuição final, como pode ser o caso de e-commerce e bens de consumo em massa, mostrado na Figura 101. A diferença com o caso anterior é que tem mais um dia de custo de armazenagem e uma operação de carga e descarga adicional.



Figura 101 – Envio com consolidação

Como alternativa, o HyperloopTT apresenta uma configuração multimodal, apresentado na Figura 102. O fornecedor faz um frete curto até a estação HyperloopTT onde ele é transportado até a estação de destino. Nessa estação o caminhão é carregado e pode ou ir diretamente ao cliente (primeira configuração) ou fazer a distribuição entre vários clientes (segunda configuração). Neste caso, foi considerado como tendo uma consolidação adicional em comparação ao envio direto, mas sem custo de armazenagem.

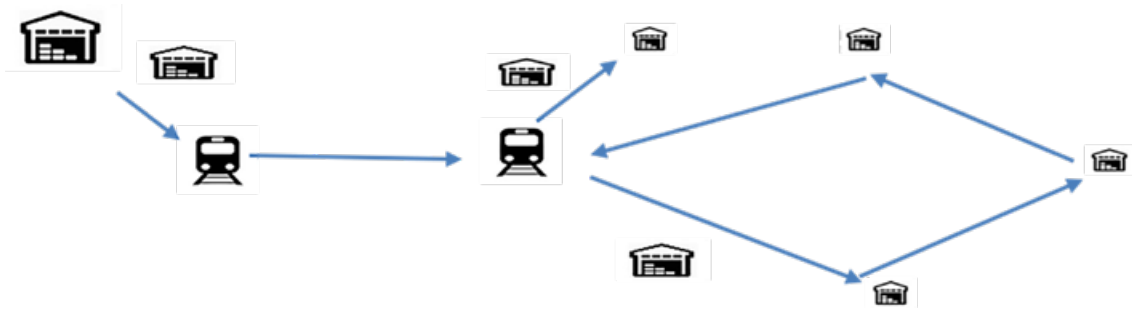


Figura 102 - Envio por HyperloopTT

O comércio que tem o exterior como origem ou destino apresenta uma configuração diferenciada. Considerando unicamente os fluxos de maior valor agregado (suficientemente altos para justificar o envio aéreo), as alternativas logísticas consideradas foram: envio por caminhão para os aeroportos de São Paulo, envio por caminhão para o aeroporto Salgado Filho, ou uso do HyperloopTT diretamente até o Aeroporto Salgado Filho, visto que a estação de Porto Alegre deverá ficar junto ao aeroporto. Cabe salientar que dado que o aeroporto fica em Porto Alegre, esta cidade não será considerada como origem ou destino. Similarmente, não podem ser distinguidos os fluxos de cabotagem entre o Salgado Filho e os aeroportos de São Paulo. Nas Figura 103 a Figura 105 são apresentados os fluxos de exportação, sendo a importação equivalente, mas no sentido inverso. 1

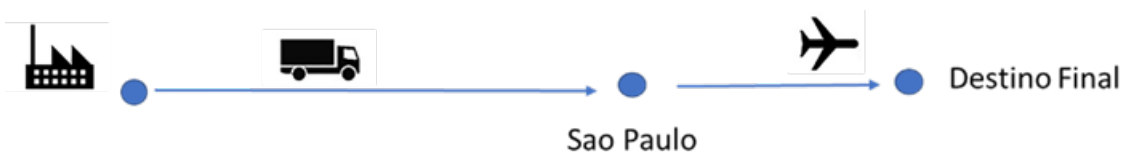


Figura 103 - Envios ao/do exterior pelos aeroportos de São Paulo



Figura 104 – Envios ao/do exterior pelo aeroporto de Salgado Filho com caminhão



Figura 105 – Envios ao/do exterior usando HyperloopTT

7.3. Processamento de insumos para a modelagem

Para a elaboração das estimativas de demandas de carga no presente estudo de viabilidade foi necessário buscar dados que permitissem identificar quantidades e valores de produtos transportados tanto no comércio interno relacionado com a área de região do HyperloopTT quanto com o comércio exterior.

Devido ao apoio fornecido pelo Governo do Estado do Rio Grande do Sul ao projeto do HyperloopTT, foi possível demandar conjuntos de dados completos referentes a notas fiscais eletrônicas onde ocorreu transporte, com origem e destino identificados. O processamento dessa base de dados forneceu elementos suficientes para identificar-se os fluxos resultantes de comércio interno (apenas no Brasil) de interesse para o presente projeto.

Para o detalhamento das cadeias de suprimento relacionadas ao comércio exterior foram utilizadas as bases de dados disponibilizadas publicamente para fins estatísticos através do site <http://comexstat.mdic.gov.br/en/home>.

A unidade espacial mínima para obtenção de dados de carga tanto do comércio interno quanto do exterior é o município. O processamento de dados por município iria gerar matrizes O-D grandes e pouco significativas. Assim, para a geração das matrizes O-D de demandas de carga, optou-se em agregar os dados de municípios pelas Hyper Regions apresentadas no capítulo 3.

O período de abrangência fixado para as análises foi o ano de 2019, visto que dados de 2020 trariam o viés das consequências da pandemia. Em ambas as fontes de dados, considerou-se apenas cargas de alto valor agregado, eliminando assim fluxos de cargas transportadas tipicamente por caminhões pesados ou via ferroviária, como é o caso de produtos agrícolas “in natura”. A análise de dados foi realizada através dos seguintes recursos de software:

- Banco de dados PostgreSQL com extensão PostGIS;
- Linguagem de Programação “R”;
- Software de geoprocessamento QGIS;
- Planilha Microsoft Excel.

Os critérios utilizados para o processamento desses dados são apresentados nas seções a seguir.

7.3.1. Organização da base geográfica

A definição da área de estudo é apresentada no capítulo 3. Para demandas de carga, a área de estudo considerada foi a mesma descrita no Capítulo 3, composta por 15 Hyper regiões. Considerou-se que todos os municípios dentro das Hyper regiões poderiam beneficiar-se desse modal, acessando a estação mais próxima. O mapa da Figura 106 apresenta os municípios das estações HyperloopTT (em cores) com as agregações de municípios das regiões de influência consideradas.

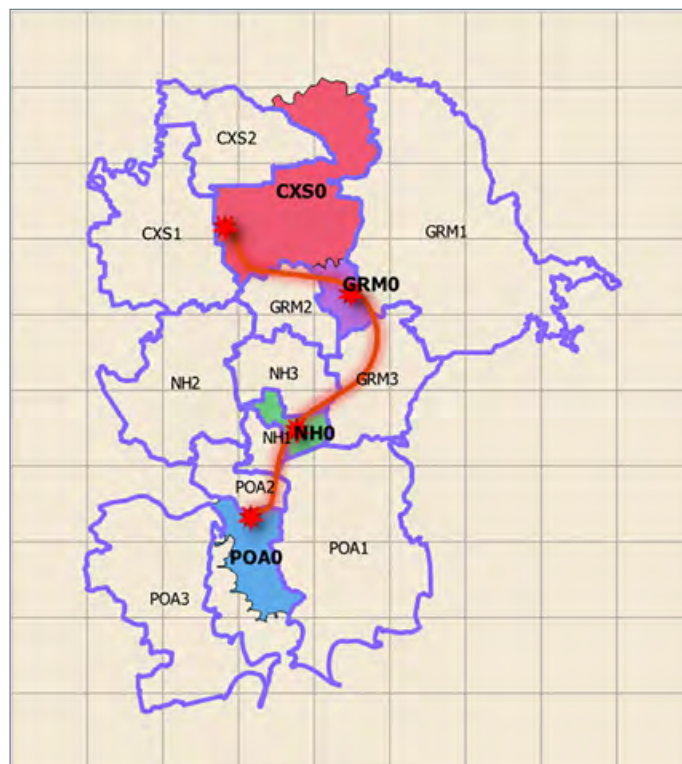


Figura 106 - Mapa com agregações de municípios das regiões de influência

Como forma alternativa de visualização em mapa do impacto da implementação do HyperloopTT na região desenvolveu-se um Cartograma de Distância. Trata-se de uma representação cartográfica onde o espaço é distorcido pelo tempo de distância.

Para elaborar um Cartograma de Distância básico, com critérios simplificados, considerou-se como ponto de referência para cada região o ponto da sede de município representativo. A matriz de tempos foi obtida através da distância euclidiana dentre as sedes dos municípios. Tomando-se como velocidade padrão de deslocamento de 60 km/h, considerou-se o valor da distância euclidiana em quilômetros, que acaba por ficar idêntico ao tempo de deslocamento em minutos para os deslocamentos entre as regiões vizinhas e o município da estação. Para o deslocamento entre estações, considerou-se o tempo de viagem em minutos utilizando o HyperloopTT.

A Figura 107 apresenta o cartograma resultante a partir da aplicação desses critérios, considerando-se a sede de Caxias do Sul como feição de referência.

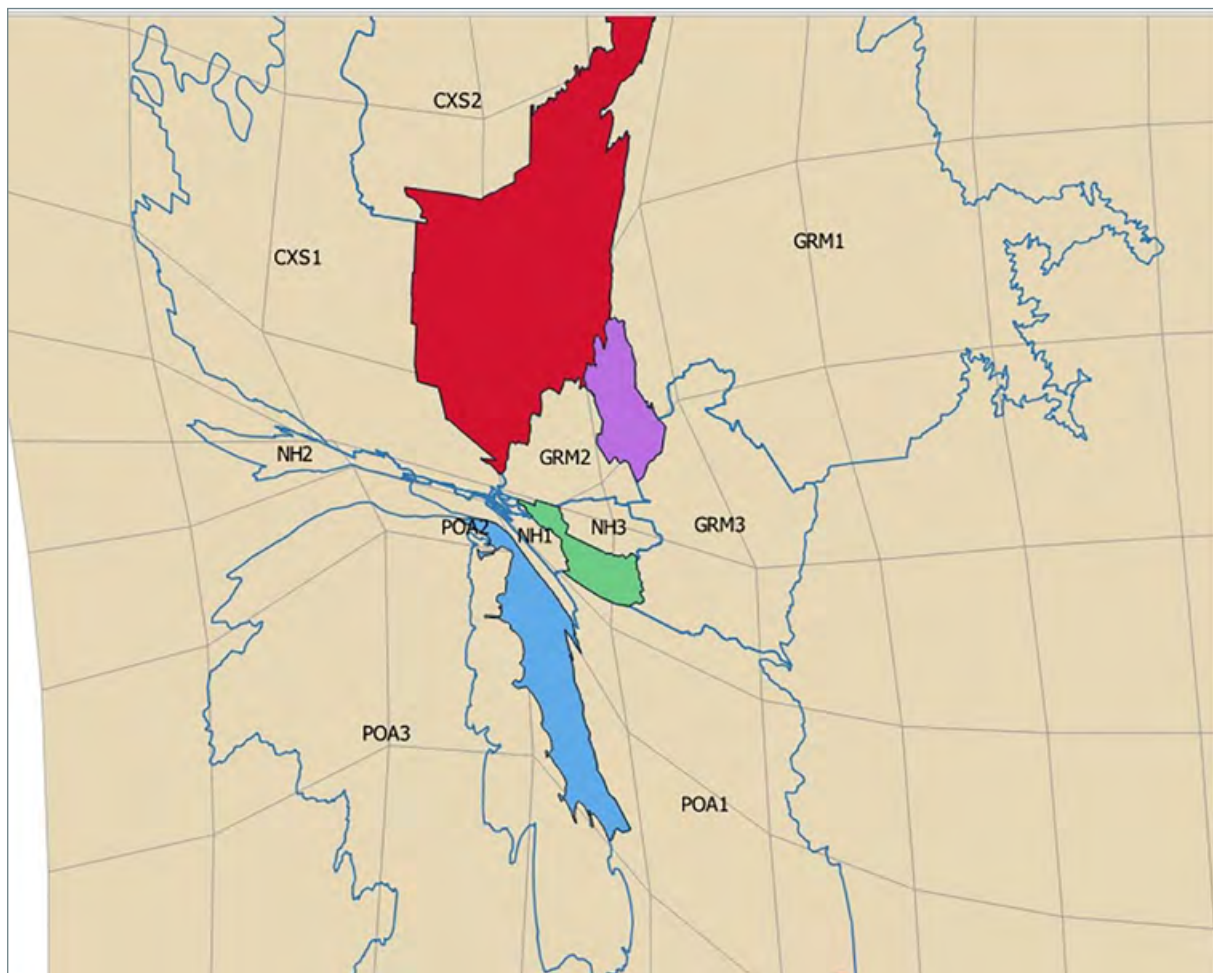


Figura 107 - Cartograma - utilização de critérios espaço-temporais - Caxias do Sul como referência

7.3.2. Codificação de produtos

As bases de dados do sistema fiscal do Rio Grande do Sul, assim como os dados de comércio exterior, utilizam o padrão NCM (Mercosur Common Nomenclature) para discriminação de produtos. Assim, o padrão NCM foi adotado no presente projeto, permitindo estabelecer correlações de dados entre o comércio interno e comércio exterior.

O código NCM é organizado em 22 grupos (I a XXII), que podem ser decompostos em até 4 níveis hierárquicos:

- NCM2: 2 dígitos 01 a 99 (97 grupos)
- NCM4: 4 dígitos 0101 a 9999 (1268 grupos)
- NCM6: 6 dígitos 010110 a 999999 (6305 grupos)
- NCM8: 8 dígitos 01011010 a 99999960 (13120 grupos)

Como a base de comércio exterior apresenta discriminado valor e peso em kg dos produtos, foi possível estabelecer-se um ranking de produtos em nível de código NCM2, classificando a lista de produtos através do valor agregado. A partir desse ranking obteve-se uma lista de 52 grupos de produtos com valor agregado médio superior a 3 dólares por quilograma, que poderiam ser considerados como de interesse de transporte para o HyperloopTT. Cada produto foi classificado conforme a cadeia de suprimentos onde ele melhor se enquadra, conforme apresentado no Anexo A.

Vale observar que o grupo código 36 (pólvoras e explosivos; artigos de pirotecnia; fósforos; ligas pirofóricas; matérias inflamáveis), apesar de possui alto valor agregado, foi propositalmente excluído da lista devido aos requisitos de segurança específicos exigidos para o seu transporte.

Alguns grupos, classificados como “Largeltem” incluem itens de tamanho incompatível com as dimensões de cápsulas previstas no presente projeto como, por exemplo, veículos prontos para uso. Nesse caso, o filtro de produtos incompatíveis foi aplicado sobre códigos em nível de hierarquia mais detalhado. Dentre essa lista podem ocorrer os produtos de alto valor agregado, mas que podem ser discutíveis sobre a possibilidade de transporte no HyperloopTT conforme as políticas a serem adotadas pela empresa, como, por exemplo, o transporte de armas e munições, ou de peles de animais para vestuário ou decoração.

7.3.3. Base de dados do comércio exterior

As tabelas passíveis de extração do sistema federal de registros do Comércio Exterior apresentam os seguintes agrupamentos referente a dados de exportação apresentam como atributos mais significativos:

- Tabela de Exportação por Estado (185.018 registros para o Estado do RS em 2019):
- Produto (código NCM8), Período (ano e mês), País de Destino, Estado do Brasil de Origem, Modal de Transporte, Unidade da Receita Federal, Peso Líquido, Valor em Dólar Americano (FOB).

- Tabela de Exportação por Município (131.997 registros para os municípios do Estado do RS em 2019):
 - Produto agregado (código NCM4), Período (ano e mês), País de Destino, Estado do Brasil de Origem, Peso Líquido, Valor em Dólar Americano (FOB).

Observa-se que, motivado principalmente por questões de sigilo fiscal, os dados disponibilizados por município não apresentam o nível de detalhamento que seria de maior interesse para o presente estudo, visto que o código do produto é generalizado, e não é apresentado o modal de transporte nem o posto fiscal de saída. Entretanto, a generalização mesmo em segundo nível (código NCM2), pode ser utilizada para determinação do market-share por tipo de produto. Esse recurso foi aplicado no presente estudo para determinar-se o market-share aproximado para os municípios da Região do HyperloopTT.

A Tabela 39 apresenta o total de exportações em 2019 dos municípios das 4 estações do HyperloopTT. Como Porto Alegre é um “hub” de exportações, incluindo produtos agrícolas, verificou-se um baixo valor agregado. Já para os municípios das demais estações do HyperloopTT verificou-se um perfil mais acentuado de exportação de produtos de maior valor agregado, elevando consideravelmente o valor do preço médio por quilograma de todas as mercadorias.

Tabela 39 – Total de exportações em 2019 dos municípios das estações do HyperloopTT

	US\$ FOB	kg	US\$/kg
Porto Alegre - RS	781,713,368	2,051,984,629	0.38
Caxias do Sul - RS	683,306,565	329,380,499	2.07
Novo Hamburgo - RS	126,097,967	15,150,683	8.32
Gramado - RS	6,629,020	1,542,328	4.30

7.3.4. Base de dados do estado do Rio Grande do Sul

Atendendo à demanda específica desse projeto, a Secretaria da Fazenda do Estado do Rio Grande do Sul forneceu uma extração da base de dados de notas fiscais eletrônicas emitidas em 2019. Nessa esteve caracterizado o transporte de mercadorias envolvendo os municípios da Região do HyperloopTT, abrangendo os fluxos internos dessa região, fluxos com o Estado do RS e fluxos com os demais estados do Brasil.

Como a base de dados de notas fiscais é muito grande, ao efetuar-se o pedido de extração foram estabelecidos diversos critérios relacionados a filtros e agrupamentos, conforme discriminado a a seguir:

- Data de emissão: Filtrado para o ano de 2019 e agrupado por mês;
- Tipo de operação: Filtrado para Nota Fiscal de Saída (as notas de Entrada não foram consideradas para evitar contagem dupla);
- Finalidade de emissão: apenas notas fiscais do tipo 1 – Normal;

- Operação interestadual: agrupamento por 0 – Estadual e 1 – Interestadual;
- Indicação de operação com consumidor final: agrupada por 0 – Normal, 1 – Consumidor Final;
- Indicador de presença do comprador no estabelecimento comercial no momento da operação: agrupada por 6 indicadores, onde encontra-se discriminada a operação não presencial pela Internet;
- Códigos de Região HyperloopTT de origem e destino, ou nulo quando origem ou destino ocorrem fora da região;
- Código NCM8 do produto comercializado, onde não ocorre necessidade de aplicação de sigilo, gerando 2250 agrupamentos de produtos dentro da lista de códigos NCM2 solicitados.
- Código NCM6 dos produtos dentro da lista de códigos NCM2 solicitados, gerando 1526 agrupamentos de produtos.
- Unidade comercial dos produtos, totalizando 144 agrupamentos distintos de unidades, onde as mais frequentes foram discriminações genéricas como “PC” (peça) e “UN” (unidade).

Considerando todos esses filtros e agrupamentos, foram fornecidas 2 tabelas com o mesmo esquema de dados, diferenciando-se apenas pelo nível de código NCM aplicado.

A tabela NCM6 totalizou 794.286 registros e a tabela NCM8 totalizou 814.589 registros. Para ambas as tabelas foram apresentados os seguintes campos de resultado, representando a soma dos valores dos agrupamentos:

- Quantidade de produtos (conforme unidade comercial informada);
- Valor Total Bruto dos Produtos (em R\$);
- Valor Total do Frete (em R\$);
- Quantidade de emitentes distintos;
- Quantidade de destinatários distintos.

A falta da possibilidade de discriminação do peso das mercadorias nessas bases foi compensada com o fornecimento de uma tabela auxiliar (“volume”) que contemplou o peso registrado em um frete onde ocorreu a presença de uma ou mais notas que foram discriminadas nas outras tabelas. Essa tabela já não apresentou a discriminação por NCM, registrando o total de valor em reais ao menos 3 vezes superior à da base NCM6, indicando assim a significativa presença de outros produtos (provavelmente de menor valor agregado) transportados no mesmo frete. Para essa tabela, que totalizou 31.319 registros, a quantidade de produtos foi substituída pelos campos:

- Peso Líquido (em quilogramas);
- Peso Bruto (em quilogramas).

7.3.5. Geração das matrizes origem-destino

A geração das matrizes origem-destino utilizou como insumo principal os dados descritos nas seções anteriores (Comércio Exterior e Secretaria da Fazenda) de forma complementar. Tendo em vista a dificuldade de estabelecer-se o peso das mercadorias discriminados nas notas fiscais

eletrônicas, adotou-se o como critério o valor por kg médio por NCM que foi possível obter pela base de dados do Comércio Exterior para 2019. Como os preços encontravam-se em dólares FOB, adotou-se a cotação de R\$ 4,00 / dólar como padrão para conversão dos preços.

As múltiplas combinações de origem e destino disponibilizadas a partir dessas bases foram organizadas conforme apresentado na tabela a seguir.

Tabela 40 – Múltiplas combinações de origem e destino

Fluxo	Descrição (HR = Hyper Região)
B1	De HR para outros estados do Brasil
B2	De outros estados do Brasil para HR
H1	HR interno: fluxos entre estações (potenciais usuários)
H2	HR interno: fluxos entre regiões vizinhas (sem uso do HyperloopTT)
H3	HR interno: fluxos na mesma região (sem uso do HyperloopTT)
R1	De HR para outros municípios do RS
R2	De outros municípios do RS para HR
E1	Exportação: De HR para outros países através de aeroportos fora do RS
E2	Exportação: De HR para outros países através do aeroporto de Porto Alegre
I1	Importação: De outros países para HR através de aeroportos fora do RS
I2	Importação: De outros países para HR através do aeroporto de Porto Alegre

As matrizes origem-destino finais, considerando peso de mercadoria em quilogramas, a serem consideradas na modelagem foram organizadas da seguinte forma:

- eCommerce, considerando os fluxos entre as 2 regiões externas (RS e demais estados do Brasil) e as e as regiões das estações de Caxias do Sul, Gramado e Novo Hamburgo, apenas para as NFe indicadas explicitamente como operações pela Internet.
- External flows, considerando os fluxos entre os demais estados do Brasil e as regiões das estações de Caxias do Sul, Gramado e Novo Hamburgo, para as NFe onde não consta indicação de operação pela Internet.
- International, considerando o a estação do HyperloopTT de Porto Alegre como ligação direta ao modal aéreo. Utilizando-se bases de dados do Comércio Exterior, foram consideradas as operações de exportações e importações realizadas através dos aeroportos de Porto Alegre e de Guarulhos (SP) com origem ou destino nas regiões das estações de Caxias do Sul, Gramado e Novo Hamburgo.

7.4. Execução da modelagem

7.4.1. Choice Model

A partir dos volumes estimados na seção anterior, procede-se a modelar a escolha da cadeia de suprimentos. O modelo usado é o modelo logit, re-estimado a partir dos dados da preferência declarada do PELT (LARRANAGA; ARELLANA; SENNA, 2017) para obter uma especificação mais adequada para baixos tempos de viagem e para que seja válido para fazer o *forecast*. Devido às dificuldades de obter valores do nível de serviço dos modos, foram utilizados apenas o tempo e o custo.

No caso do segmento de exportação, o modelo de escolha terá 3 alternativas:

- (i) Caminhão a São Paulo;
- (ii) Caminhão ao Salgado Filho e;
- (iii) HyperloopTT até o aeroporto Salgado Filho. Nesta escolha foi adicionada uma constante de modo para o Aeroporto Salgado Filho que permita recuperar a participação atual de mercado desse aeroporto. Adicionalmente, foi incrementado uma correlação entre as duas alternativas que usam o Salgado Filho.

Para as escolhas no contexto do comércio intrarregional, só ocorrem duas alternativas para cada tipo de produto. Uma sendo o HyperloopTT e a outra como a cadeia com consolidação ou envio direto, dependendo das características do produto.

7.4.2. Custos e tempos

Cada configuração da cadeia de suprimentos apresentada anteriormente contém diferentes quantidades de operações logísticas com diferentes modos. Estas operações são: carga e descarga, transporte e armazenagem. A Tabela 41 mostra o resumo destas quantidades.

Tabela 41 – Quantidades de operações logísticas com diferentes modos

Cadeia de suprimento	Carga e descarga	Transporte	Armazenagem	Outros
Envio direto	1 vez	Caminhão até destino	0 dias	-
Envio com consolidação	2 vezes	Caminhão até destino	1 dia	-
HyperloopTT local	2 vezes	HyperloopTT até destino	0 dias	-
São Paulo aeroporto	1 vez	Caminhão até São Paulo	Lead time in SP	Custo de exportação
Caminhão aeroporto	1 vez	Caminhão até Salgado Filho	Lead time in PoA	Custo de exportação
HyperloopTT aeroporto	2 vezes	HyperloopTT até Salgado Filho	Lead time in PoA	Custo de exportação

Cada uma das atividades mencionadas na Tabela 41 tem um custo e um tempo associado. As distâncias usadas no modo rodoviário são as distâncias entre os centros urbanos das regiões de destino. A velocidade média usada foi de 60 km/h, e foi adotado um tempo máximo de horas de trabalho do motorista de 8 horas por dia, conforme regulação vigente.

Para o custo de transporte rodoviário foi usado o modelo da Empresa Pública de Logística (EPL) (EPL, 2018) e atualizado conforme o índice de preços setorial do transporte. O modelo da EPL apresenta os custos médios de transporte rodoviário no Brasil. A ANTT (2020) tem apresentado uma tabela de preços rodoviários, que faz referência aos preços mínimos e tem como objetivo que os transportadores independentes tenham uma receita mínima. Os valores da EPL foram preferidos pois eles representam empresas de transporte com uma maior estrutura que permite um melhor nível de serviço, o que é compatível com produtos de maior valor agregado.

Os custos de armazenagem foram estimados a partir do custo de oportunidade do valor da carga imobilizada. Para isto foi utilizado o valor médio da Taxa Selic por dia útil e o valor da carga. No caso do e-commerce é diferente, pois a carga não é do tomador de decisão. Por isso, o custo de oportunidade dela é zero. Porém, o e-commerce também tem custo de carga/descarga no armazém. Os valores de carga e descarga da tabela da ANTT foram os adotados, visto que eles consideram explicitamente o custo de carga e descarga separadamente.

O tempo de carga e descarga foi estimado a partir do tempo de carregar e descarregar 15 pallets (BURDZIK; CIESLA; SŁADKOWSKI, 2014), que são aproximadamente as 15 toneladas de capacidade da cápsula. Na média de carga e descarga foi de 0,35 horas por operação.

Os valores aeroportuários de PoA e São Paulo foram extraídos do estudo para a ampliação da pista do aeroporto Salgado Filho (NGT ENGENHARIA, 2018). Desta fonte foram extraídos o Lead time dos aeroportos de São Paulo e o atual de Porto Alegre. Considerando que para quando o HyperloopTT estiver em operação a pista do aeroporto já tenha sido expandida, o lead time adotado tem uma melhora de 1 dia.

O tempo do HyperloopTT foi um insumo da equipe que fez o traçado do sistema. Respeito a tarifa do HyperloopTT, ela foi obtida pela maximização da contribuição líquida (receita-custos). Os custos do HyperloopTT considerados foram o custo de carga e descarga somado a um custo de propulsão de 0,037 USD/ton Km do estudo Great Lakes (TEMS, 2019).

Adicionalmente, foram acrescentadas algumas verificações adicionais da validade do modelo. Em nenhum dos casos o custo do HyperloopTT (mais o custo de exportação) poderia ultrapassar o 33% do valor do produto. Para incluir algum valor da complexidade da implantação das operações do transporte de carga (preparação de contratos, piloto para os diferentes clientes), foi definido um período de implantação de 2 anos até obter os valores que os modelos sugerem. A Tabela 42 sumariza o método de cálculo de cada uma delas.

Tabela 42 – Método de cálculo

Operação	Modal	Valor	Tempo
Transporte	Caminhão	EPL atualizado	Distancia / Velocidade média
Transporte	Hyperloop	Maximizador de contribuição marginal	Dado da equipe de traçado, comando carga e descarga
Carga/descarga	Caminhão	Inclusa no custo de EPL	Não incluído
Carga/descarga	Hyperloop	Valor da ANTT	0.7 horas (0.35 carga; 0.35 descarga)0.7 horas (0.35 carga; 0.35 descarga)
Carga/descarga	Inventário	Valor da ANTT	Incluso no tempo de armazenagem
Armazenagem	Todos	Valor mercadoria * Selic Média/dia Útil	Depende da configuração
Armazenagem	e-commerce	0	1 dia
Exportação/Importação	Aéreo	Valor de Air cargo market study	Valor de Air cargo market study

7.5. Síntese dos resultados

A Tabela 43 mostra os market shares do HyperloopTT para cada par OD aplicando o modelo proposto. Globalmente, o *market share* que o HyperloopTT teria é do 9%, principalmente devido ao grande peso que o comércio internacional tem nos volumes de alto valor agregado (em torno de 94% dos volumes transportados). Isto aqui salienta a necessidade da parceria com o aeroporto e o impacto que tem a expansão da pista do Salgado Filho, como qualquer outra melhoria que venha a ser aplicada no serviço.

Tabela 43 – Market shares do HyperloopTT para cada par OD aplicando o modelo proposto

		Destino					
		CX	GR	NH	PO	Exterior	Total
Origem	CX	-	22%	15%	39%	11%	11%
	GR	33%	-	22%	53%	9%	9%
	NH	25%	20%	-	14%	7%	7%
	PO	38%	37%	14%	-	-	22%
	Exterior	8%	14%	3%	-	-	8%
	Total Geral	9%	15%	5%	24%	9%	9%

Da Tabela 43 podem se observar algumas particularidades provindas da aplicação de modelo para cada tipo de produto em cada par OD, especialmente para a estação de Gramado. Como o modelo tem um valor máximo que o HyperloopTT pode representar do valor do produto, os pares OD que possuam produtos de maior valor agregado terão uma maior participação do HyperloopTT. Isto acontece para o par GR-PO e Exterior-GR. Com a exceção de Gramado, o resto dos pares mostra um *market share* menor quando as distâncias são menores.

No resto dos produtos podem se observar valores relativamente altos para os fluxos internos. Isto é devido a que estes pares possuem vários produtos comercializados baixo a modalidade com armazenamento. Contrariamente, todos os fluxos internacionais utilizam uma configuração de envio direto.

O volume total transportado é de 107.438 ton (28,42 cápsulas por dia útil) e 10.685.592 de ton-km. Estes valores indicam que, na média, esses produtos seriam transportados aproximadamente por 100 km no sistema. Esses volumes geram R\$ 9.500.000 por anos e contribuem para R\$ 4.200.000 depois dos custos variáveis.

Uma importante observação a ser considerada é o fato de estar sendo concluída a extensão da pista do aeroporto Salgado Filho, dos atuais 2,4 km para 3,2 km, o que significa a possibilidade de realização de voos internacionais diretos para qualquer aeroporto de destino no mundo (Figura 108). Esta possibilidade, a ser concluída ainda em 2021, permitirá que o aeroporto se transforme em um hub, influenciando fortemente o comércio exterior do estado, tanto no que concerne às exportações da ampla variedade de produtos de alto valor agregado produzidos no estado, quanto em relação às importações.

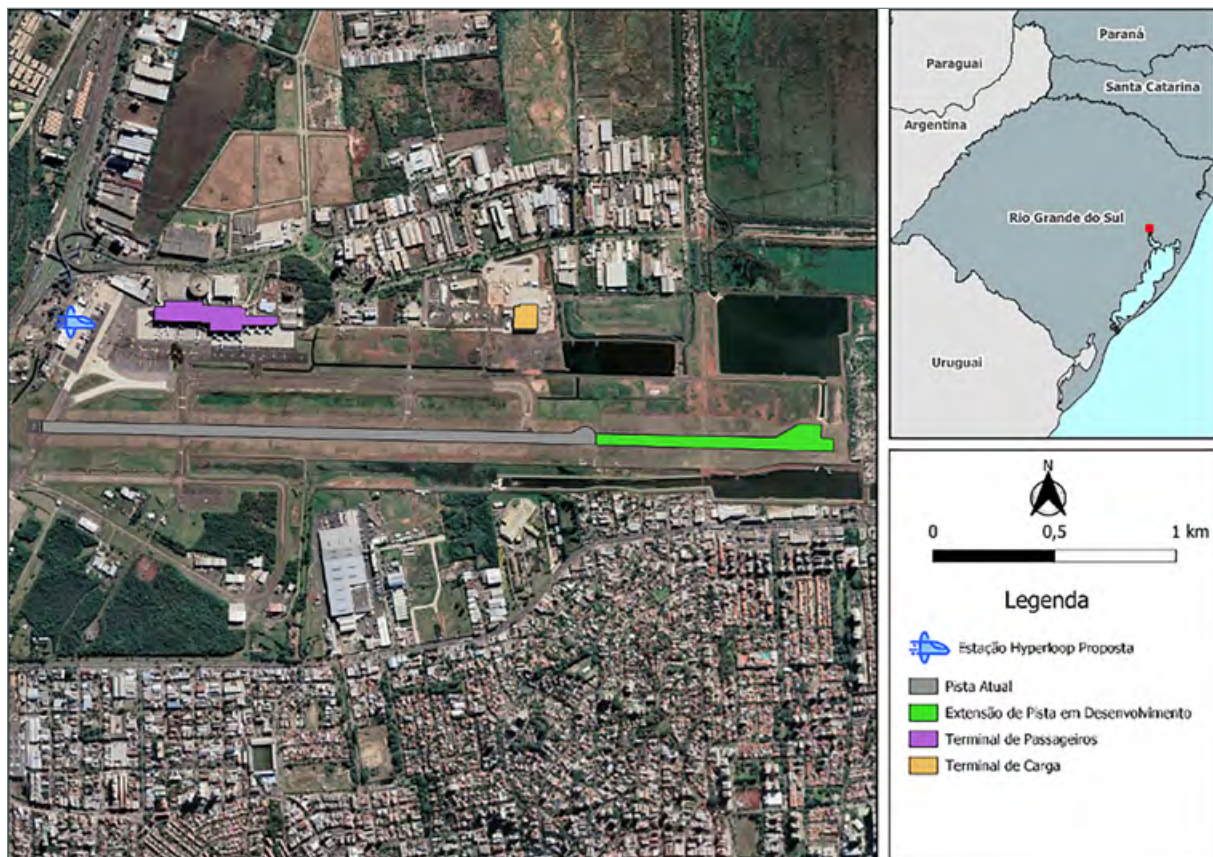


Figura 108 - Expansão da pista do aeroporto Salgado Filho – Porto Alegre

Ouvidos especialistas da área de logística e de comércio exterior, as expectativas conservadoras apontam no sentido de que a movimentação de carga no aeroporto deverá no mínimo dobrar nos próximos anos, a partir da conclusão das obras.

7.6. Considerações finais e recomendações

A área de estudo do presente relatório é relativamente baixa, de até 130km. Naturalmente, este tipo de distância é onde o caminhão é altamente competitivo pois pode oferecer um serviço porta a porta sem necessidades de operações de carga e descarga. O sistema é particularmente competitivo para cadeias de suprimento onde precisam de uma consolidação em destino, como os produtos de consumo massivo dada a grande influência nos tempos de viagem das operações de carga/descarga. Por exemplo, a viagem Porto Alegre-Caxias demora 0,3 horas de viagem, somados a aproximadamente 0.7 horas de carga e descarga da cápsula. A grande influência da operação de carga e descarga faz que o HyperloopTT perca parte das suas vantagens comparativas.

A partir da modelagem de transporte de carga, a partir das fontes utilizadas, percebe-se que os principais fluxos são os de comércio exterior. Portanto, é recomendável fazer um estudo mais detalhado e, se possível, em colaboração com o aeroporto e seus principais parceiros logísticos. O foco deveria estar orientado a entender melhor as preferências das empresas envolvidas, incluindo que destinos são no exterior e um estudo de PD. Como parte do detalhamento, um estudo sobre a governança da parceria pode ser de proveito também.

A colaboração com o aeroporto é fundamental, não só porque é um nodo indispensável para estes fluxos, mas porque a tarifa cobrada pelo aeroporto também é parte do processo de decisão do exportador/importador. Isto significa que a tarifa ótima para maximizar a receita deste fluxo tem que remunerar tanto o aeroporto como o HyperloopTT.



8. Análise Econômica

O HyperloopTT é basicamente um caso de inovação. O profundo impacto do HyperloopTT como um driver de inovação em uma região não é apenas inquestionável, mas também levanta uma discussão sobre “ecossistemas empreendedores”. Ecossistemas empreendedores são descritos por Audretsch et al. (2019) como “tentativas organizadas de estabelecer ambientes que sejam conducentes a aumentar o sucesso de empreendimentos recém-estabelecidos”. A ideia básica é que as empresas não competem apenas entre si por meio de estratégias autônomas bem desenvolvidas para obter vantagens sobre seus rivais, contando exclusivamente com seus próprios recursos, conhecimento e capacidades.

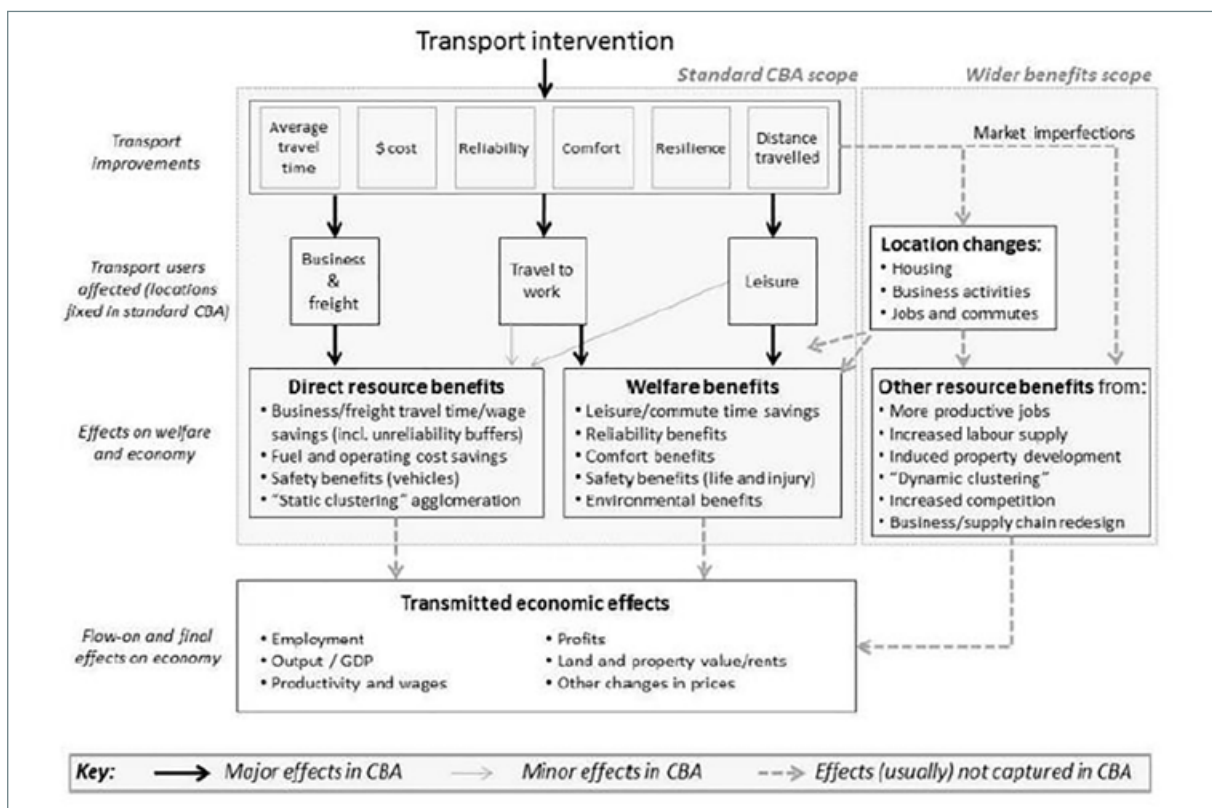
Na verdade, as vantagens estratégicas e competitivas são cada vez mais baseadas em recursos compartilhados, externalidades de rede, *spillovers* de conhecimento, dotações locais e apoio governamental, criando uma necessidade de conceitos além da abordagem de vantagem competitiva específica da empresa (PORTER, 1990). Conceitos, que consideram não apenas os atores envolvidos diretamente na própria cadeia de valor específica da empresa, como fornecedores próximos, financiadores ou clientes, mas sim todos os fatores que moldam a cadeia de valor de uma empresa também de forma indireta, são, portanto, necessários. Tal visão deve enriquecer o ambiente competitivo imediato, repensando as relações causais existentes e abrangendo ativos físicos e intangíveis, como infraestruturas, instituições, fontes de conhecimento e *spillovers* de capital humano e efeitos de rede (AUDRETSCH et al., 2019).

Um ecossistema é autodefinido por limites (físicos ou não), onde as espécies vivem juntas na autarquia. Esses agentes absorvem os recursos necessários do ecossistema e produzem recursos críticos para outros, que se propagam dentro e além dos limites do ecossistema. Os ecossistemas podem impactar de diferentes maneiras, sendo principalmente econômicas, tecnológicas e sociais:

- Os *impactos econômicos* referem-se ao aumento previsto na riqueza e prosperidade do capital local e como os ecossistemas empresariais geram e criam valor. Devido à agregação regional de fatores e recursos locais e sua exploração empresarial, bem como aos efeitos colaterais associados, os ecossistemas empresariais podem contribuir para a vitalidade, sustentabilidade e viabilidade de uma região. Além disso, os ecossistemas empreendedores criam vantagens competitivas e valor para empresas e setores individuais, moldando os resultados da inovação regional (AUDRETSCH et al., 2019; CUNNINGHAM; MENTER; O’KANE, 2018). Os impactos e sucessos econômicos também apoiam o desenvolvimento da reputação nacional e regional de ecossistemas empresariais que, por sua vez, contribuem para atrair capital financeiro e humano e outros recursos para o ecossistema (AUDRETSCH et al., 2019).
- Os *impactos tecnológicos* estão relacionados aos mecanismos regionais de inovação, ou seja, a eficiência de como a inovação é buscada e realizada. A transformação eficiente de ideias e invenções em produtos e serviços inovadores é crucial e dita os processos de transferência e inovação de tecnologia.
- *Impactos sociais* referem-se a resultados monetários e não monetários, ou seja, as fronteiras sociais entre os atores do ecossistema empreendedor. Os benefícios sociais podem se espalhar para a entrega de novos produtos e serviços que beneficiam a sociedade como um todo. Os benefícios e impactos também podem estar relacionados à criação de valor coletivo e efeitos públicos sólidos (AUDRETSCH et al., 2019).

8.1. Considerações econômicas

A análise de custo-benefício (ACB) é uma forma metodológica de resumir os impactos positivos e negativos de um projeto, constituindo-se em uma das principais ferramentas para decidir entre projetos concorrentes. Em relação a análise específica do presente estudo, esse mede a Taxa Interna de Retorno (TIR) e a compara com a Taxa de Desconto adotada, que seria equivalente ao Custo de Oportunidade de Capital, com base nos benefícios auferidos e nos investimentos projetados até o horizonte de ano de o projeto. A Figura 109 apresenta uma síntese da relação entre o CBA e o efeito econômico final de um projeto de transporte.



Fonte: ITF (2017)

Figura 109 - Relação entre CBA padrão e efeitos econômicos

O equilíbrio econômico do Projeto parte do pressuposto que os benefícios auferidos cubram os custos de implantação, operação, administração e manutenção, e propiciem um retorno adequado dos investimentos realizados pela sociedade (Governo). É importante ressaltar que este parâmetro não pode ser tomado isoladamente na avaliação da viabilidade de um projeto, devendo ser considerado sempre em conjunto com outros como: o Valor Presente Líquido (VPL), a relação Benefício/Custo (B/C), que contemplam, respectivamente, o montante do retorno do capital investido e a razão dos benefícios sobre os custos do projeto.

Para avaliar a viabilidade econômica do projeto, é adotada a metodologia de Fluxo de Caixa Descontado. Presume-se que os benefícios e despesas ocorrem apenas após intervalos de tempo iguais e finitos de um ano, supondo que estejam concentrados no final desse ano. Além disso, o prazo de execução do projeto é de 5 anos, e o horizonte do projeto, considerando seu período de análise, é de 30 anos.

Por fim, são realizadas análises de sensibilidade como instrumento para avaliar o impacto das mudanças nas variáveis, dentro da faixa de imprecisão associada à sua estimativa, ou mesmo devido a mudanças imprevistas. Ou seja, a análise de sensibilidade consiste em definir a rentabilidade do projeto em função de cada uma das variáveis, e observar a variação que ocorrerá na rentabilidade a cada mudança nas variáveis, aumentando custos, reduzindo receitas, ou ambos simultaneamente.

8.2. Benefícios

8.2.1. Crescimento do PIB

A história mostra que o desenvolvimento da infraestrutura pode efetivamente promover o crescimento econômico. Este se tornou um dos tópicos econômicos mais importantes nos círculos acadêmicos e políticos nos últimos anos (ZHANG, J. et al., 2021). Diversas abordagens têm sido utilizadas na literatura para avaliar a relação entre crescimento econômico e desenvolvimento de infraestrutura. Entre os principais usados estão a produção de equação única e funções de custo para séries temporais, seção cruzada e dados de painel, bem como modelos de vetor autorregressivo (VAR) / correção de erro vetorial (VEC) para dados de série temporal e dados de painel (BATOOL; GOLDMANN, 2020). Uma revisão mais ampla da literatura sobre o assunto pode ser encontrada em Elburz et al. (2017). Além desses, estudos mais recentes sobre o tema foram realizados para os continentes asiático e africano, com atenção especial para o efeito da infraestrutura de transporte, conforme demonstrado a seguir.

Para o caso do continente africano, Owusu-Manu et al. (2019) the United States' (US usou uma estrutura de defasagem distribuída autorregressiva (ARDL) para determinar o impacto da infraestrutura no crescimento econômico de Gana. Os autores encontraram o efeito mais significativo da capacidade de geração de eletricidade e também um impacto positivo das estradas pavimentadas no longo prazo, com um aumento de 1% nas estradas pavimentadas resultando em um aumento de 0,47% no PIB. Outro autor africano, Muvawala et al. (2020), também usou uma estrutura ARDL para avaliar o impacto da infraestrutura de transporte no crescimento econômico de Uganda. Eles encontraram um efeito positivo da infraestrutura de transporte rodoviário no longo prazo, com um aumento de 1% no investimento e um aumento de 6,2% no PIB.

Por outro lado, para o continente asiático, Batool & Goldmann (2020) aplicaram modelos VEC para avaliar o impacto da infraestrutura no crescimento econômico do Paquistão. Os autores encontraram um impacto positivo da infraestrutura de transporte rodoviário no longo prazo, com um aumento de 1% na infraestrutura rodoviária e um aumento de 2,2% no PIB. Outro autor asiático, Zhang et al. (2021), utilizou um modelo de dados em painel espacial para estudar a relação entre a

construção de diferentes tipos de infraestrutura pública e o crescimento econômico regional. Eles descobriram que há uma correlação espacial significativa no PIB real entre as cidades analisadas. Ainda, para o cenário estudado, os autores concluem que a construção de infraestrutura de transporte pode estimular o crescimento econômico local, com cada 1 yuan investido trazendo um retorno de 0,0670 yuan no PIB real.

Além dos estudos apresentados, Calderón et al. (2015) realizam uma análise mais ampla usando dados de 88 países industrializados e em desenvolvimento no período 1960–2000. Os autores estimaram uma função de produção agregada de longo prazo relacionando o PIB ao capital humano, capital físico e infraestrutura. Eles descobriram que a elasticidade da produção de longo prazo da infraestrutura varia de 0,07 a 0,1. Considerando que em valores nominais o PIB do Rio Grande do Sul em 2019 era de R \$ 480,577 bilhões, e assumindo as elasticidades encontradas pelo autor, o impacto dos investimentos do HyperloopTT variaria de R \$ 33,67 a R \$ 48,06 bilhões.

Conforme apresentado acima, melhorar a infraestrutura para atender à demanda na economia atual é cada vez mais relevante. A demanda por infraestrutura inclui não apenas as instalações tradicionais, mas também as novas que melhor respondem às necessidades em rápida evolução e fornecem serviços mais rápidos e confiáveis. Luo & Xu (2018) mostram que, embora a infraestrutura tradicional, como estradas, ferrovias, eletricidade, água e saneamento ainda seja fundamental, uma nova infraestrutura, como rodovias, trens de alta velocidade e internet banda larga, tornou-se necessária para uma economia para participar plenamente na cadeia de valor global e subir na escada da estrutura econômica. HyperloopTT é a mais nova infraestrutura.

8.2.2. Criação de empregos

Grandes projetos de infraestrutura têm impactos relevantes na contratação de mão de obra. No que diz respeito à geração de empregos, este projeto contemplará duas linhas principais: o setor da construção civil e os setores da indústria de energia. Em relação à construção da infraestrutura, o número de empregos gerados pelo projeto é estimado com base nos dados do BNDES (NAJBERG; IKEDA, 1999) e apresentados na Tabela 44.

Tabela 44 – Empregos criados por HyperloopTT considerando apenas infraestrutura

Setor	Empregos			
	Diretos	Indiretos	Efeito da renda	Total
Construção Civil	20	12	67	99

Fonte: Najberg e Ikeda (1999)

O levantamento do BNDES mostra que a cada R \$ 6.683.219,50 (de 1999 até os preços atuais), são gerados 99 empregos. Neste estudo considera-se que o número anual de empregos decorrentes investimentos em infraestrutura segue esta proporção, resultando em uma média de 50.071 empregos por ano nos primeiros 5 anos do projeto. Além disso, considera-se que durante o

período de operação o número de empregos anuais seguirá a mesma proporção com uma média de 9.243 empregos anuais.

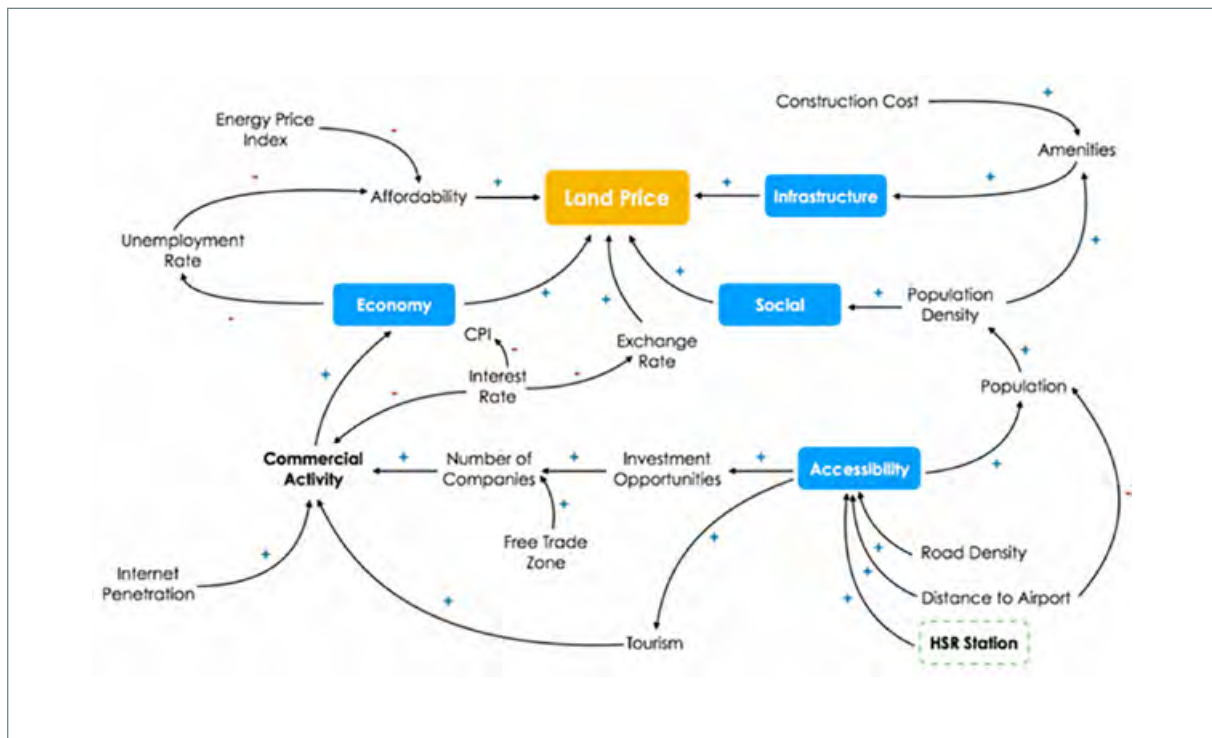
Ao discutir a dimensão da geração de energia solar no projeto HyperloopTT, vale ressaltar o impacto significativo na região. A estimativa é de que o projeto gere 69,23 MWp, o que teria um impacto considerável na economia. No caso da cadeia da energia solar fotovoltaica, é a que mais contrata no mundo, na fabricação, instalação, operação e manutenção, com 2,8 milhões de funcionários globalmente em 2015, gerando em torno de 25 a 30 empregos por MWp instalado (IRENA, 2016). Este estudo considera 30 empregos por MWp instalado. Assim, o número total de empregos criados é de $30 \times 69,23 = 2.077$ empregos.

Considerando uma renda individual nominal mensal de R\$ 1.500,00 e uma renda anual de R\$ 18.000,00, o benefício total decorrentes dos 17.779 empregos médios anuais ao longo do projeto é de R\$ 7.091.552.745,93

8.2.3. Valorização imobiliária

Esta seção apresenta a estimativa de valorização imobiliária esperada com a implementação do HyperloopTT e formas de incorporar esta avaliação na análise financeira do negócio. A primeira seção apresenta uma revisão da literatura sobre o assunto, em busca de cenários mais próximos do universo avaliado neste trabalho. A partir disso, a segunda e a terceira seções apresentam a avaliação imobiliária estimada para a rota avaliada, com base nos valores de avaliação observados e considerações específicas para a região.

Vários elementos influenciam o valor da terra. A Figura 110 mostra um diagrama de loop causal com todos os seus estoques e componentes constituintes e seus efeitos combinados sobre os preços da terra. Os estoques são acessibilidade, economia, social e infraestrutura (LOW; LEE, 2020). Existem dois tipos de loops de feedback neste diagrama. Embora os loops de feedback positivo e negativo possam agir simultaneamente, em momentos diferentes eles podem ter intensidades diferentes. As direções de relacionamento propostas foram identificadas e verificadas observando o grau de associações positivas e negativas com base em um conjunto de dados coletados de cada par de componentes ou componentes e estoques.



Fonte: Low e Lee (2020)

Figura 110 – Diagrama de loop causal para preços de terrenos

A análise empírica mostra que os locais com melhor acessibilidade têm valores de aluguel mais elevados. As novas instalações de transporte geralmente aumentam a acessibilidade e, como consequência, os valores de aluguel e de terreno. Acessibilidade pode ser definida como a facilidade com que os sistemas de uso da terra e transporte permitem que atividades ou destinos sejam alcançados por indivíduos (HANDY; NIEMEIER, 1997; HORNER, 2005; MORRIS; DUMBLE; WIGAN, 1979) ou frete.

A acessibilidade impulsiona as mudanças no valor da terra e fornece a oportunidade para uma atividade econômica aprimorada, o que aumenta o valor da terra. A evidência empírica sobre isso é mista, em parte porque acessibilidade, por definição, é um termo relativo, de modo que a acessibilidade melhorada em um local pode ser às custas de um local concorrente ou, se a acessibilidade já for alta, as melhorias na acessibilidade podem trazer apenas resultados marginais mudança e, portanto, pouco impacto (HENSHER.; LI; MULLEY, 2012). A acessibilidade aprimorada aproxima as atividades e essa proximidade, em geral, leva ao desenvolvimento. Melhorar a acessibilidade reduz efetivamente os custos de transporte e permite a exploração de economias de escala: Krugman (1991) mostra como altos custos de transporte levam a locais de fabricação dispersos, enquanto custos de transporte mais baixos concentram a localização de produção. Por sua vez, esta concentração terá um efeito de arrastamento nos valores dos terrenos.

O termo “polo gerador de viagens” deve-se principalmente ao alcance físico e temporal de seus efeitos, que podem se manifestar por meio de impactos diretos e indiretos (ou derivados). A Tabela 45 apresenta as principais dimensões e fatores influenciados, conforme demonstrado em Bortot (2019).

Tabela 4-5 – Polos geradores de viagem e suas principais dimensões de impacto

Tipos de Impacto	Dimensões	Principais fatores
Impactos diretos (ou de curto prazo)	Rodoviário	Estradas circunvizinhas; vias de acesso; aumento do tráfego e, conseqüentemente, conflito com o tráfego direto; engarrafamentos; semáforos; segurança.
	Transportes	Número de vagas de estacionamento; sistema de transporte público; ponto de ônibus; pontos de táxi; escolha do modo de transporte.
Impactos derivados (ou de médio e longo prazo)	Economia urbana	Uso, ocupação e valorização do solo; densidade; Planejamento regional; níveis de emprego, renda e atividades econômicas; cobrança de impostos; custos de transporte e energia.
	Social, histórico e cultural	Realocação de pessoas; acessibilidade; mobilidade; coesão da comunidade; bens de valor histórico e cultural
	Meio Ambiente	Ecossistemas; qualidade do ar; vibrações; ruídos; poluição visual

Fonte: Bortot (2019).

O HyperloopTT proporcionará mudanças dramáticas na acessibilidade para indústrias e residentes em propriedades dentro da área de influência da infraestrutura nova ou alterada porque algumas atividades e destinos estão mais próximos ou podem ser alcançados mais rapidamente, a um custo menor ou com um custo generalizado reduzido. Assim, as mudanças na acessibilidade podem ser vistas como impulsionadoras das mudanças no valor da terra, criando uma elevação de valor na presença de infraestrutura de transporte aprimorada.

Embora a maioria dos estudos que enfocam o quantum do aumento do valor da terra tenham se concentrado no impacto nas áreas urbanas, muitos estudos consideraram a infraestrutura de transporte de maneira mais geral. Gospodini (2005) analisou cidades em toda a Europa que implementaram projetos de infraestrutura de transporte de vários tamanhos e concluiu que os projetos de infraestrutura de transporte poderiam ser o catalisador para mudanças no uso da terra dentro de áreas. No entanto, o autor conclui que a escala do efeito depende de muitos fatores fora do controle da própria infraestrutura de transporte. Grandes projetos de transporte público atendendo grandes áreas geográficas têm um potencial mais significativo. Além disso, a localização do investimento em transporte teria mais impacto se houvesse espaço para um maior desenvolvimento, a pressão do mercado por tipos específicos de desenvolvimento e a estrutura institucional e política pudessem ser encorajadas, proporcionando um ambiente positivo para mudanças.

No que se refere ao contexto comercial, a discussão sobre valoração de terrenos na literatura é restrita, principalmente se considerarmos os trens de alta velocidade, sistema existente com características mais próximas do HyperloopTT. Porém, principalmente devido aos tempos de viagem do HyperloopTT, suas estações também podem ser comparadas a aeroportos. Nesse contexto, Cohen e Brown (2017) avaliaram o efeito dos aeroportos internacionais de Toronto e Vancouver sobre os valores dos imóveis comerciais para diferentes categorias de empreendimentos comerciais. Os autores identificaram maiores valorizações para hotéis e sedes corporativas, o que aumenta a

relevância da existência de uma estação na cidade de Gramado, devido ao seu potencial hoteleiro. Além disso, outro ponto importante a ser destacado é a ausência de efeitos sonoros no caso do HyperloopTT, que produz uma desvalorização considerável em terrenos próximos aos aeroportos.

No que diz respeito à valorização de imóveis residenciais ocasionada por novas infraestruturas de transporte, a literatura sobre o assunto é vasta, com resultados diferentes para diferentes cidades e países. Uma revisão abrangente desses estudos pode ser encontrada em Debrezion et al. (2007) e Mohammad et al. (2013). Além desses, Hensher et al. (2012) revisaram estudos focados na valorização imobiliária provocada por novas estações ferroviárias de alta velocidade. Os autores avaliaram oito países diferentes, dividindo os resultados por cidades grandes e pequenas (até 900.000 habitantes), e encontrando avaliações mais altas para cidades menores.

Nesse contexto, considerando que a valorização imobiliária depende de características locais, este trabalho buscou identificar valores oriundos de municípios semelhantes aos municípios atendidos pela rota do HyperloopTT Porto Alegre–Serra Gaúcha, principalmente em termos populacionais.

A Tabela 46 apresenta os valores de avaliação identificados, inicialmente para estudos sobre trilhos de alta velocidade e posteriormente para estudos de metrô ou metrô leves. Os valores apresentados representam a avaliação em torno da estação para diferentes distâncias. Além disso, na maioria desses estudos, foi identificado o efeito donut, significando uma menor valorização próxima à estação devido aos impactos sonoros, insignificantes para o HyperloopTT.

Tabela 46 – Valores de referência para o presente estudo

Autor	Sistema ferroviário	Localização	% variação
Haynes (1997)	Trem de alta velocidade	Nantes, França	20%
Haynes (1997)	Trem de alta velocidade	Lyon, França	43%
Preston & Wall (2008)	Trem de alta velocidade	Ashford, Reino Unido	3%
Gargiulo & Ciutiis (2010)	Trem de alta velocidade	Turim, Itália	30%
Gargiulo & Ciutiis (2010)	Trem de alta velocidade	Nápoles, Itália	15.5%
Laakso (1992)	Metro	Helsinki, Finlândia	3.5-6%
Chen et al. (1997)	VLT	Portland, EUA	10.5%
Dueker & Bianco (1999)	VLT	Portland, EUA	6.5%
Duncan (2008)	VLT	San Diego, EUA	5.7-16.6%

Em relação à distância que a estação afeta a avaliação imobiliária, esta tende a ser maior para o caso específico dos trens de alta velocidade e HyperloopTT. Para o presente estudo, foram consideradas distâncias de até 10 quilômetros, semelhantes aos valores encontrados por Geng et al. (2015) para uma estação ferroviária de alta velocidade. Considerando que esta valorização tende a diminuir com a distância, diferentes valores de avaliação foram considerados para diferentes buffers de distância (2, 5 e 10 quilômetros), conforme apresentado na Figura 111.

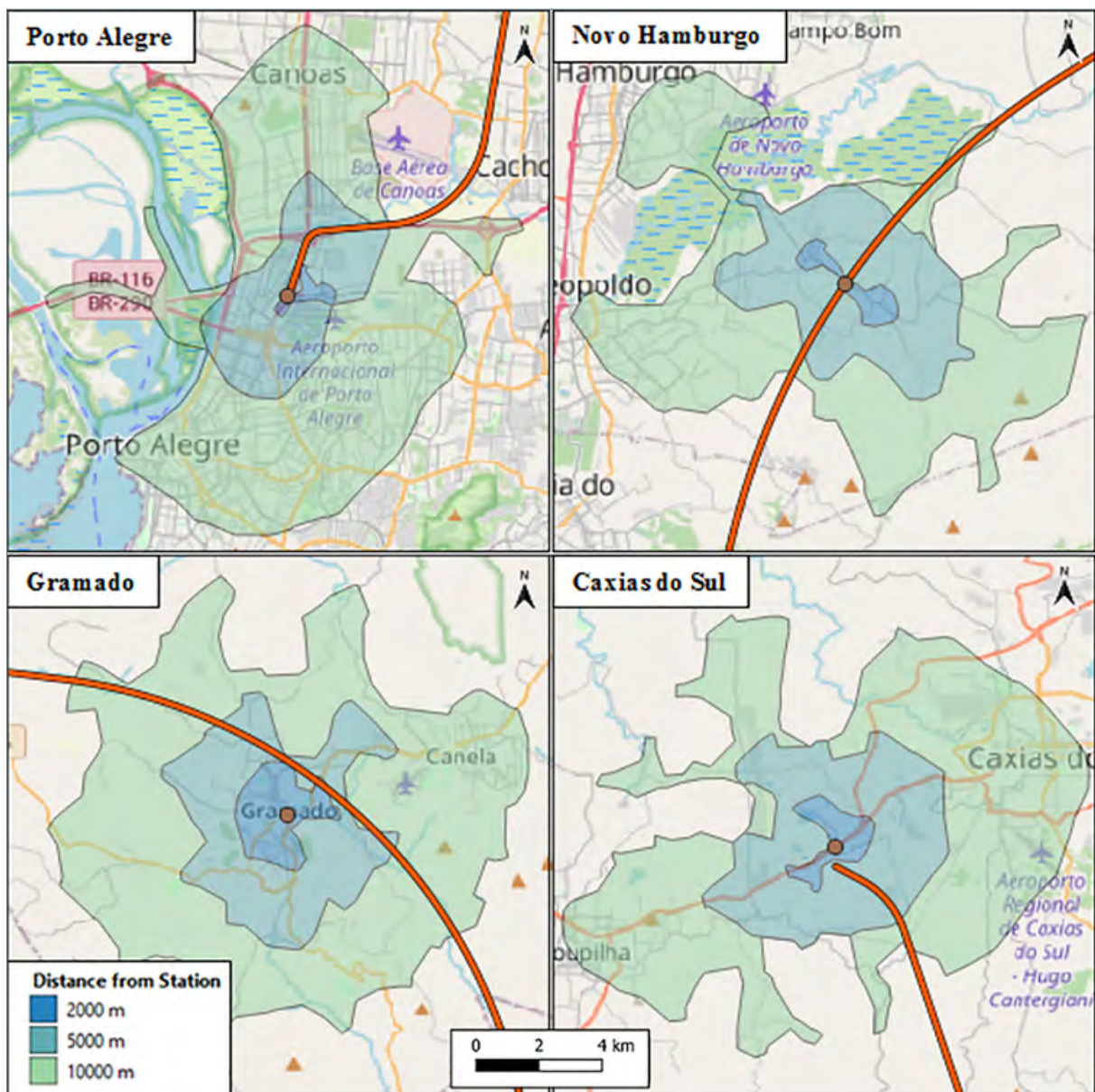


Figura 111 - Áreas impactadas por estações (distância na rede de transporte atual)

A Tabela 47 mostra a estimativa da área impactada para cada cidade e seu preço do metro quadrado para imóveis residenciais e comerciais (FIPE). O valor do terreno residencial é aplicado nas áreas de 2 a 5 km e de 5 a 10 km, enquanto o valor do terreno comercial é utilizado para a área de 0 a 2 km ao redor da estação. Os empreendimentos comerciais significativos devem ser localizados o mais próximo possível das estações, uma vez que os impactos da acessibilidade são menos extensos para propriedades comerciais do que residenciais (SEO et al., 2019).

Tabela 47 – Área impactada estimada para cada cidade

Cidade	Área km ² influenciada pela estação			Valor da terra (m ²)	
	Buffer 2 km	Buffer 5 km	Buffer 10 km	Residencial	Comercial
Porto Alegre	1,15	20,95	84,54	R\$ 6.179,00	R\$ 6.959,00
Canoas	0,00	2,99	30,06	R\$ 4.726,00	R\$ 5.322,58
Novo Hamburgo	2,66	33,48	84,63	R\$ 4.089,00	R\$ 4.605,17
São Leopoldo	0,00	1,97	23,80	R\$ 4.173,00	R\$ 4.699,77
Gramado	7,43	37,29	116,46	R\$ 6.000,00	R\$ 6.757,40
Canela	0,00	1,90	35,99	R\$ 4.500,00	R\$ 5.068,05
Caxias do Sul	3,86	38,08	103,03	R\$ 4.205,00	R\$ 4.735,81
Farroupilha	0,00	1,75	33,34	R\$ 3.153,75	R\$ 3.551,86

Fonte: <https://www.fipe.org.br/pt-br/indices/fipezap/#indice-fipezap-historico>

Em relação as taxas de valorização utilizadas, para as cidades de Porto Alegre e Gramado foram consideradas taxas de 6, 4 e 2%, para os buffers de distância de até 2, 5 e 10 km, respectivamente. Para o caso das cidades de Novo Hamburgo e Caxias do Sul, os valores considerados foram de 7, 5 e 2%, tendo em vista que essas possuem um potencial mais significativo para incorporação imobiliária. Em conclusão, foram utilizados valores conservadores, comparados aos apresentados na Tabela 4-6, considerando que o HyperloopTT é um sistema novo, com características únicas, além das características únicas das cidades envolvidas.

A partir das áreas de valorização consideradas, com suas respectivas taxas de valorização, pode-se realizar os cálculos de valorização imobiliária por município. A Tabela 4-8 descreve os cálculos de forma mais detalhada para a cidade de Porto Alegre, apresentando a etapa de desconto das áreas públicas (35%), e com isso a obtenção da área privada total impactada pela valorização imobiliária (65%). Multiplicando essa área pelo valor do metro quadrado comercial e pela taxa de valorização imobiliária esperada, temos a valorização imobiliária total. Os resultados da aplicação desse método para as demais cidades afetadas são apresentados na Tabela 4-9.

Tabela 48 – Estimativa de valorização imobiliária para a cidade de Porto Alegre

Buffer	Área total (m ²)	Área sem espaço público (m ²) (65%)	Preço (m ²)	Taxa de valorização (%)	Aumento no valor Dos imóveis
2km	1145139,46	744340,65	R\$ 6.959,00	6%	R\$ 310.791.993,23
5km	19806240,68	12874056,44	R\$ 6.179,00	3%	R\$ 2.386.463.842,53
10km	63591890,43	41334728,78	R\$ 6.179,00	1%	R\$ 2.554.072.891,29
			Total		R\$ 5.251.328.727,84
			Total		USD 1.009.870.909,05

Tabela 49 – Estimativa de valorização imobiliária para municípios impactados

Cidade	Área efetiva km ² / Taxa de valorização						Aumento do valor do terreno / propriedade
	Buffer 0-2 km		Buffer 2-5 km		Buffer 5-10 km		
Porto Alegre	0,74	6,0%	12,87	3,0%	41,33	1,0%	R\$ 5.251.328.727,04
Canoas	0,00	6,0%	1,94	3,0%	17,60	1,0%	R\$ 1.107.081.327,15
Novo Hamburgo	1,73	7,0%	20,03	3,0%	33,24	1,0%	R\$ 4.374.597.710,87
São Leopoldo	0,00	6,0%	1,28	3,0%	14,19	1,0%	R\$ 752.379.470,13
Gramado	4,83	6,0%	19,41	3,0%	51,46	1,0%	R\$ 8.539.400.826,50
Canela	0,00	6,0%	1,23	3,0%	22,16	1,0%	R\$ 1.184.724.775,31
Caxias do Sul	2,51	7,0%	1,23	3,0%	42,22	1,0%	R\$ 5.412.802.543,99
Farroupilha	0,00	6,0%	1,14	3,0%	20,53	1,0%	R\$ 755.348.516,94
							R\$ 27.377.633.897,94
							USD 5.264.935.364,99

Em conclusão, a Tabela 49 apresenta o valor total da valorização imobiliária para a região afetada pelas futuras estações HyperloopTT. O valor total de 27,4 bilhões de reais mostra a relevância de um projeto dessa dimensão para a sociedade.

8.2.4. Redução de acidentes

Os acidentes de trânsito tornaram-se um grande problema de saúde pública e a preservação da vida dos usuários do sistema viário está entre as principais preocupações das comunidades em todo o mundo. É consenso entre gestores e pesquisadores que o sistema de transporte rodoviário impõe, diariamente, um risco à vida das pessoas que nele trafegam.

Os estudos sobre segurança viária demonstram que os acidentes de trânsito ocorrem principalmente devido aos fatores humanos, à infraestrutura viária, à aspectos ambientais e suas interações (ELVIK, 2009). Apesar dos esforços contínuos dos governos e das políticas de segurança no trânsito para reduzir os níveis de accidentalidade, as taxas de acidentes continuam em um patamar inaceitável. Neste contexto, a provisão de alternativas de mobilidade mais seguras que promovam a redução das taxas de acidentes é muito bem-vinda.

Neste estudo a avaliação dos benefícios advindos da introdução do corredor de mobilidade do HyperloopTT na ligação Porto Alegre / Serra Gaúcha é abordado sob a perspectiva da redução da probabilidade de acidentes rodoviários nas rodovias na área de influência do projeto devido a redução do nível de exposição pela transferência de viagens para o novo modo ofertado.

No entanto, a redução do nível de exposição nas rodovias da rota estudada pela transferência de viagens ao novo modal é um efeito que tende a se esgotar com o passar do tempo. De fato, a demanda latente por nova capacidade rodoviária tende a provocar uma renovação na ocupação do espaço viário. Embora sejam múltiplos fatores que determinem o prazo para ocorrência desse

efeito de preenchimento de toda ou quase toda a capacidade viária, é razoável supor que a volta para situação inicial ocorra em uma década (LITMAN, 2021). Ainda que o aumento do volume de tráfego pela evolução desta retomada nos níveis de ocupação da rodovia seja sabidamente não linear, adotou-se essa simplificação nesse estudo de pré-viabilidade conforme apresentado na Figura a seguir. Error! Reference source not found..

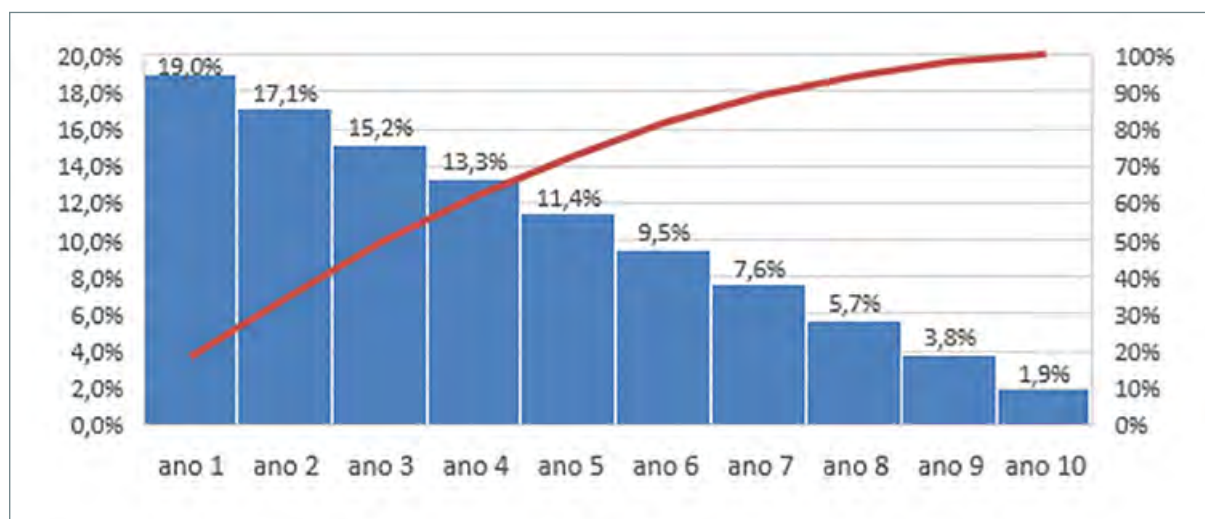
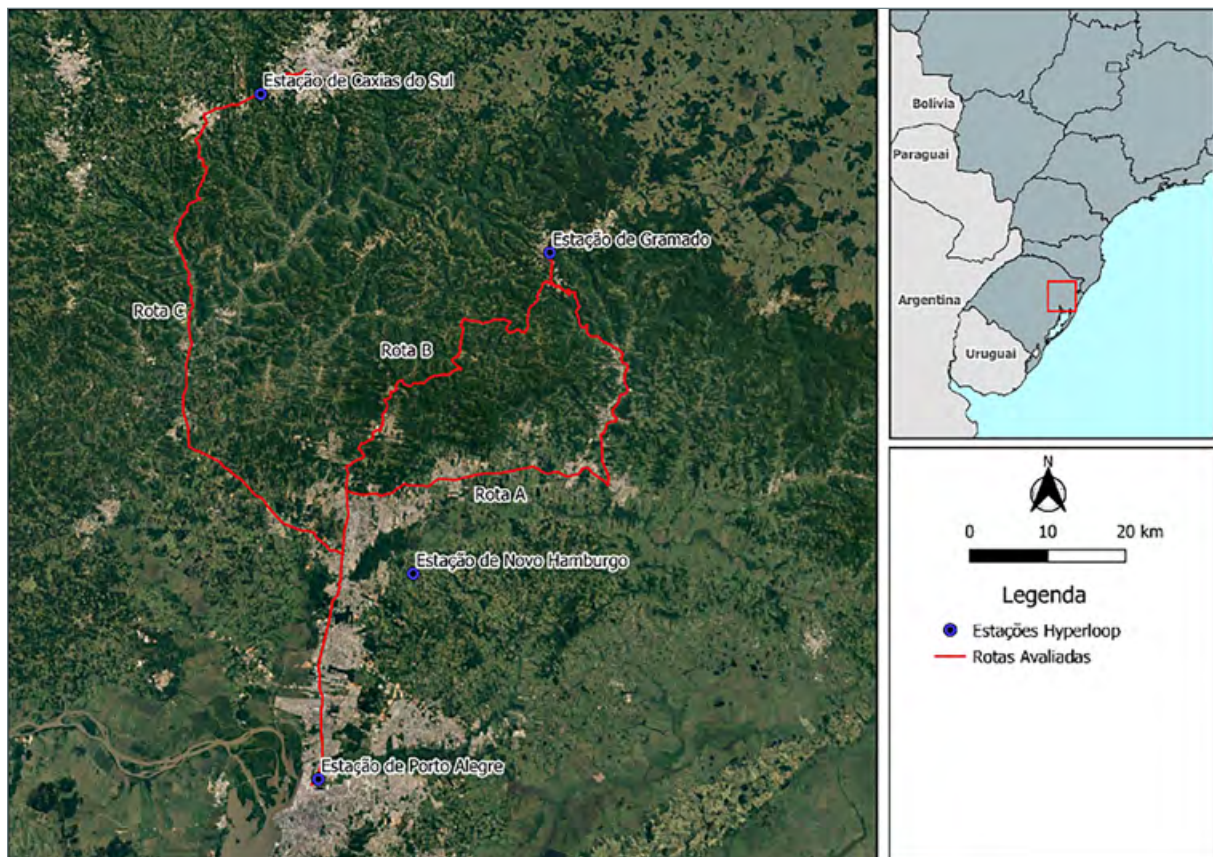


Figura 112 - Estimativa da redução % de VDMA pela demanda desviado para o novo modo

A redução inicial (no ano 1) foi obtida por meio dos resultados da pesquisa de demanda realizada pela técnica de Preferência Declarada. A pesquisa apontou que a introdução do corredor HyperloopTT entre Porto Alegre e a Serra Gaúcha atrairá 34% dos passageiros que hoje fazem o percurso por automóvel. Considerando uma média de 1,8 pessoas por veículo, tem-se uma redução de cerca de 19% no número de veículos que atualmente usam as rodovias do corredor que liga Porto Alegre a Serra Gaúcha.

O cálculo da estimativa da redução da probabilidade de acidentes rodoviários nas rodovias na área de influência do projeto devido a redução do nível de exposição pela transferência de viagens para o novo modo ofertado foi realizado por meio de Funções de Desempenho da Segurança propostas no HSM – Highway Safety Manual desenvolvido pela AASHTO – American Association of State Highway and Transportation Officials. O método de estimativa de redução de acidentes consiste na razão entre os valores de acidentes previstos com e sem a redução do VDMA (volume diário médio anual) decorrente da introdução do novo modo na rota em análise.

A Figura 113 apresenta as três principais rotas que serão impactadas pela redução do volume de tráfego e, conseqüentemente, terão reduzidos o nível de exposição ao risco dos seus usuários. As rotas “a” e “b” apresentam o trecho rodoviário entre Porto Alegre, Novo Hamburgo e Gramado. A Rota “c” apresenta o trecho viário entre Porto Alegre e Caxias do Sul.



Rotas "A" e "B" - Porto Alegre, Novo Hamburgo e Gramado e rota "C" - Porto Alegre e Caxias do Sul.

Figura 113 - Rotas principais que terão reduzido volume de tráfego

A partir da redução estimada no volume de tráfego é possível calcular a redução no número de acidentes nas rodovias de pista simples e dupla para as três rotas utilizando as Funções de Desempenho de Segurança do HSM. A função referente à acidentes em segmentos rodoviários de pista simples prevê uma relação linear entre a frequência de acidentes e o volume tráfego:

$$N_{SPF} = VMDA \times L \times 365 \times 10^{\alpha} \times e^{\beta}$$

(16)

Onde:

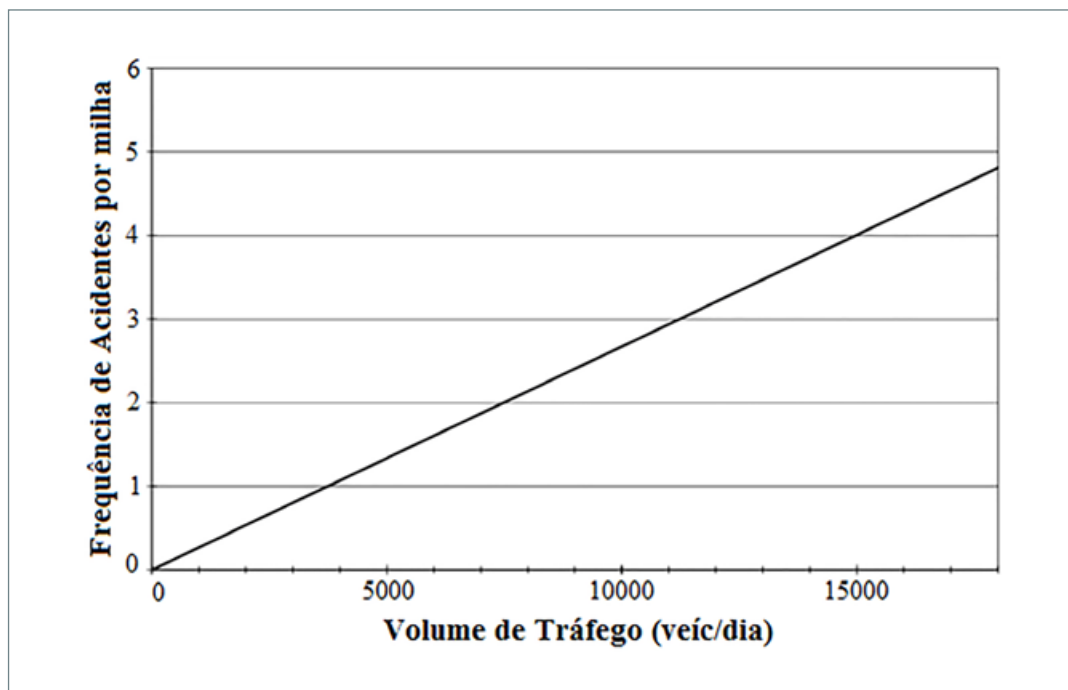
N_{SPF} : Frequência de acidentes esperada para as condições do segmento rodoviário base;

VMDA: Volume diário médio anual (veículos por dia);

L: Comprimento do segmento rodoviário (milhas); e

α , β : Parâmetros para ajuste do modelo.

Por exemplo, essa função estimaria para um segmento viário com quatro quilômetros e VDMA de 10000 veículos por dia, um total de 6,64 acidentes/ano. Caso o VDMA do mesmo trecho rodoviário fosse reduzido para 8100 veículos por dia (-19%), a função estimaria uma frequência anual de 5,38 acidentes, uma redução dos mesmos 19%. Dessa forma, uma certa redução percentual no volume de tráfego de um trecho rodoviário resultaria na mesma redução percentual no número de acidentes. Conforme mostra a Figura 114.



Tráfego previsto pelo Função de Desempenho de Segurança - segmentos rodoviários pista simples.

Fonte: AASHTO (2010)

Figura 114 - Relação frequência acidentes por milha / volume de tráfego

Quando analisado o efeito da redução no volume de tráfego em trechos de pista dupla, percebe-se que o modelo do HSM já não apresenta uma relação linear, mas exponencial. Portanto, para o modelo do HSM, uma redução percentual do volume de tráfego em um segmento de pista dupla gera uma redução percentual ainda maior do número da frequência de acidentes. Diante disso, adotou-se um valor de redução percentual de acidentes geral de 19% para o primeiro ano da implantação do corredor HyperloopTT. Esse valor simplifica as análises de modo conservador, uma vez que cerca de 40% das rodovias do corredor são de pista dupla e 60% são de pista simples.

Aplicando as reduções consideradas na frequência de acidentes das rotas analisadas é possível estimar os benefícios econômicos da implantação do HyperloopTT. Os números de acidentes evitados, apresentados na Tabela 50, foram calculados com base dados de frequências de acidentes em 2019 nas 3 rotas analisadas, conforme apresentado na Tabela 51. Os dados de 2020 foram desconsiderados devido às distorções causadas pela Pandemia COVID. Para o cálculo dos benefícios econômicos foram utilizados valores de custo dos acidentes propostos pelo IPEA – Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada, conforme apresentado na Tabela 52.

Tabela 50 – Número de acidentes evitados

	Acidentes evitados nas 3 rotas		
	com danos materiais	com feridos	com mortes
ano 1	118,36	218,80	12,24
ano 2	106,53	196,92	11,02
ano 3	94,69	175,04	9,80
ano 4	82,85	153,16	8,57
ano 5	71,02	131,28	7,35
ano 6	59,18	109,40	6,12
ano 7	47,34	87,52	4,90
ano 8	35,51	65,64	3,67
ano 9	23,67	43,76	2,45
ano 10	11,84	21,88	1,22
TOTAL	650,99	1203,42	67,34

Tabela 51 – Frequências de acidentes em 2019

rota		Acidentes em 2019		
		com danos materiais	com feridos	com mortes
a	POA GRA	235	457	28
b	POA GRA	129	405	18
c	POA GRA	258	289	18
TOTAL		623	1152	64

Tabela 52 - Valores do custo dos acidentes do IPEA

	Valor em R\$ Estudo de 2006	Valor em R\$ Corrigidos com base no estudo de 2020	Valor em US\$*
Acidentes com mortos	418.341,00	664.821,46	127.116,91
Acidentes com feridos	86.032,00	96.747,79	18.498,62
Acidentes sem feridos	16.840,00	22.849,70	4.368,96

Fonte: IPEA (2006, 2020)

Sendo assim, a estimativa do benefício econômico advindo do projeto pela redução de acidentes totaliza R\$ 176.074.982,58 (US\$ 33.666.344,66 - considerando a taxa de câmbio de 10/julho 2021) conforme apresentado na Tabela 53.

Tabela 53 - Benefício Econômico decorrente dos acidentes evitados

	Benefício econômico pela redução dos custos dos acidentes evitados nos 30 anos do Projeto	
	em Reais	em Dólares
Acidentes com mortos	44.771.760,91	8.560.566,14
Acidentes com feridos	116.428.288,31	22.261.623,00
Acidentes com danos materiais	14.874.933,36	2.844.155,52
Total	176.074.982,58	33.666.344,66

Por fim, destaca-se que, de acordo com o relatório da OMS (WHO, 2018), o Brasil apresenta uma taxa de óbitos em acidentes de trânsito de 19,7 por 100.000 habitantes. A Tabela 54 apresenta uma visão geral desse indicador para alguns países.

Tabela 54 - Taxa de óbitos em acidentes de trânsito por 100.000 habitantes

País	Taxa estimada por 100 mil habitantes (2016)
Brasil	19,7
Canadá	5,8
França	5,5
Suécia	2,8
Emirados Árabes	18,1
Estados Unidos da América	12,4

Fonte: WHO (2016)

O baixo desempenho neste indicador indica a necessidade urgente da provisão de melhorias nas condições de segurança. Os países com taxas elevadas de óbitos em acidentes de trânsito por 100.000 habitantes podem ser vistos como especialmente beneficiados com a introdução de um modo de transporte mais seguro, como o HyperloopTT.

8.2.5. Redução do custo operacional de veículos

Conforme descrito na seção anterior, a introdução do HyperloopTT acarretará a absorção de um market share. Os modelos de demanda no presente estudo identificaram que, a exemplo do que ocorre na redução de acidentes, o VDM terá redução da ordem de 19%. Para a análise da presente subseção, as mesmas rotas consideradas para a análise da redução de acidentes foi considerada, conforme Figura 113. Um VDM base conservador para essas rodovias foi considerado, de 8225 veículos por dia, conforme apresentado na Tabela 55, em conjunto com a redução esperada.

Tabela 55 – Redução VDM

	Rodovia A	Rodovia B	Rodovia C	
VDM	8225	8225	8225	24.675
VDM Anual				9.006.375
VDM 30 anos				270.191.250
Participação automóveis (86%)				232.364.475
Redução VDM (market share HyperloopTT = 19%)				44.149.250

Assumindo-se o valor histórico dos custos operacionais dos automóveis, a Tabela 56 apresenta os custos unitários dos veículos.

Tabela 56 – Custos unitários dos veículos

	Automóvel
Veículo novo (US\$)	9000
Troca de pneu (US\$)	60
Combustível (US\$/litro)	0,5
Óleo lubrificante (US\$/litro)	2
Manutenção US\$/hora)	5,6
Gastos gerais (US\$/ano)	400

Fonte: Adaptado de Klein et al. (2011).

Por fim, a partir dos elementos apresentados, A Tabela 57 apresenta a redução nos custos operacionais considerando-se a redução de 19% no volume de tráfego.

Tabela 57 – Redução dos custos operacionais

	Automóvel	Custo/km/ano (considerando rodagem anual e 20.000km)	Custo por veículo para 5 viagens por ano para um percurso médio de 100 km na rota
Veículo novo (US\$) – vida útil 5 anos	9000	0,09	45,00
Troca de pneu (US\$)	60	0,003	1,50
Combustível (US\$/litro)	0,5	0,000025	0,01
Óleo lubrificante (US\$/litro)	2	0,0001	0,05
Manutenção US\$/hora) 10 horas/ano	5,6	0,000028	0,01
Gastos gerais (US\$/ano)	400	0,02	10,00
Subtotal			56,58
Custo Total para o VDM total nos 30 anos			2.497.810.042,63

Em conclusão, os altos valores observados para a redução dos custos operacionais, apesar da não consideração de rodovias importantes da região, mostra que o sistema possui impactos secundários importantes em relação à redução de veículos nas estradas.

8.2.6. Redução no tempo de viagem

Um impacto evidente da implantação do HyperloopTT é a redução do tempo de viagem no corredor. Um exemplo disso é o atual percurso entre Porto Alegre e Caxias do Sul, que atualmente leva cerca de 2 horas de carro e que com o novo modal passaria a ser feito em menos de 20 minutos. Essa redução no tempo de viagem é um benefício para a sociedade, que poderia utilizar este tempo poupado de outras formas, em vez de utilizá-lo para deslocamento.

O benefício da redução no tempo de viagem devido ao HyperloopTT pode ser calculado por meio da multiplicação do número de horas que deixariam de ser utilizadas em viagem no corredor multiplicado pelo valor do tempo, este estimado mediante a pesquisa de preferência declarada (ver capítulo 6). O tempo economizado foi calculado para cada um dos pares O/D, para automóvel e transporte público, já considerando o tempo de acesso à estação HyperloopTT, e multiplicado pelo número total de viagens atual que seriam desviados para novo sistema, durante os 30 anos.

Dessa forma, estimou-se que esse benefício para a sociedade seria equivalente a aproximadamente R\$ 111 milhões para os 30 anos do projeto, conforme a Tabela 58. Percebe-se que o trecho Porto Alegre – Caxias do Sul é o mais beneficiado, visto que possui a maior redução de tempo de viagem e o maior número total de viagens. Por outro lado, percebe-se também que o trecho Porto Alegre – Novo Hamburgo apresenta um aumento no tempo de viagem, uma vez que o tempo de deslocamento até a estação e da estação até o destino final são considerados, impactando negativamente no cálculo final.

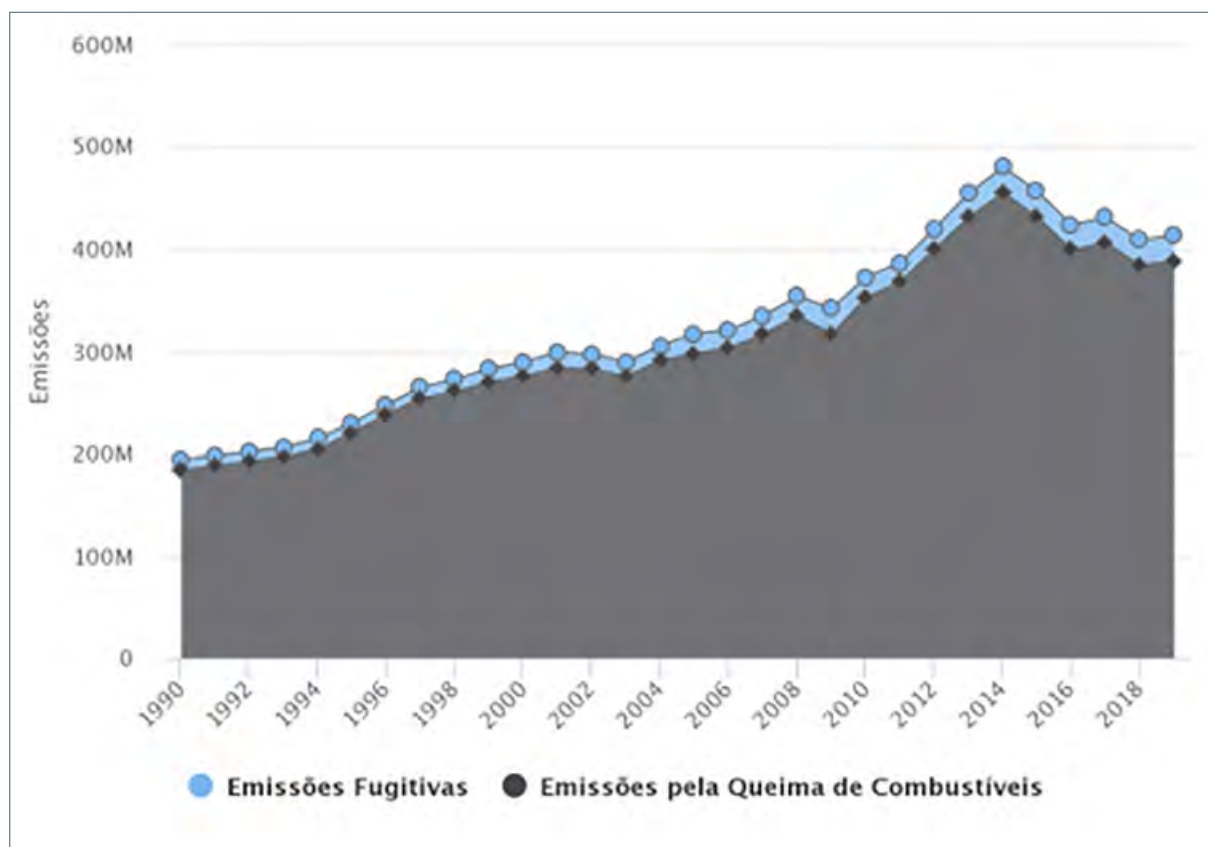
Tabela 58 – Cálculo do benefício da redução do tempo de viagem

Par O/D	Tempo economizado (min)		Valor do tempo (\$/min)		Total de Viagens (30 anos)	Benefício Redução do tempo (R\$)
	Carro	Ônibus	Lazer	Não Lazer		
CXS-GRA	16,1	56,3	0,059	0,037	22.092.929	12.167.987
CXS-NH	6,7	56,5	0,059	0,037	11.410.968	2.515.517
CXS-POA	27,5	63,8	0,059	0,037	95.117.280	72.851.816
GRA-NH	33,6	71,1	0,059	0,037	7.136.332	8.381.653
GRA-POA	21,6	83,6	0,059	0,037	42.773.702	32.879.718
NH-POA	-10,58	-0,11	0,11	0,049	62.510.910	-17.625.505
					Total	111.171.186

8.2.7. Redução de emissões

8.2.7.1. Impacto socioambiental do setor de transportes no Brasil

O setor de transporte no Brasil é responsável por uma elevada emissão de GEE anual em razão da dependência dos combustíveis fósseis, sobretudo no modal rodoviário. Apenas em 2019, o país apresentou um volume de emissões de 387.775.104 toneladas de CO₂e pela queima de combustíveis fósseis. Isso representa 58% das emissões do setor energético brasileiro que advém das atividades do setor de transportes (EPL, 2021). Desde 1990, o estoque de CO₂e emitido por combustíveis no Brasil foi de 9.205.424.236 toneladas (SEEG, 2021). A Figura 115 apresenta a evolução anual.

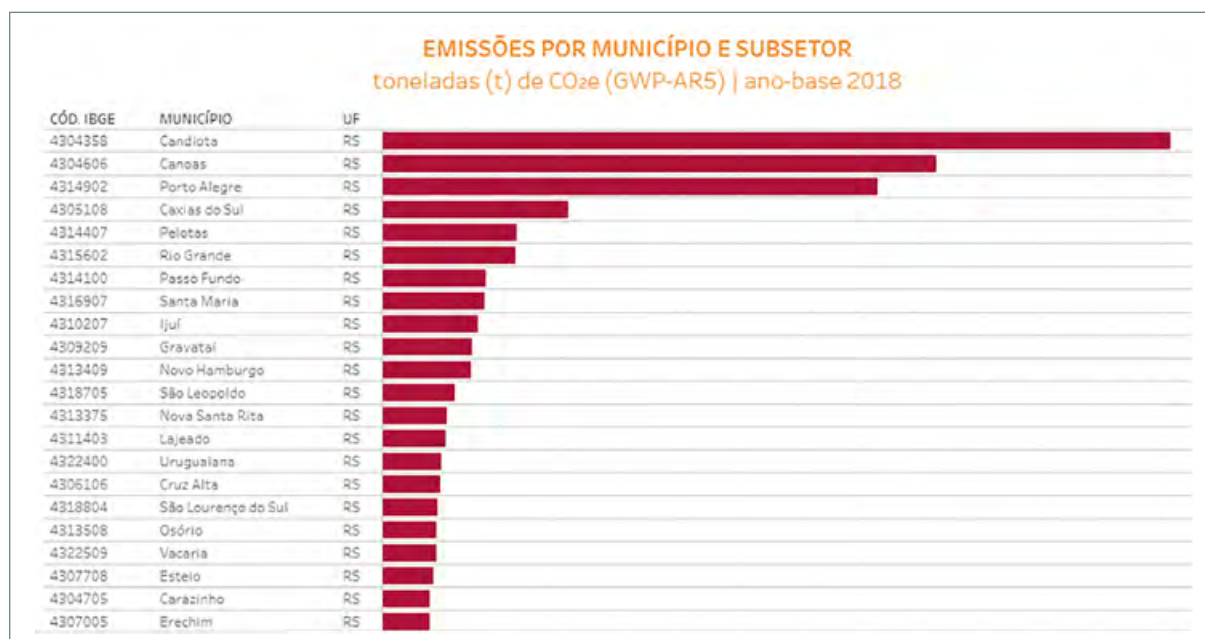


Fonte: SEEG (2021)

Figura 115 - Emissões do setor de Energia

No Rio Grande do Sul, Porto Alegre e Caxias do Sul estão entre os municípios mais emissores de gases advindos da queima de combustível fóssil, com uma apuração de 1.653.919 tCO₂e e 622.483 tCO₂e respectivamente¹. A Figura 116 ilustra esse ranking.

¹ Respectivo a 2018.



Fonte: SEEG (2021)

Figura 116 – Emissões por queima de combustível fóssil – municípios do RS

De acordo com o relatório “Ensuring Greener Economic Growth for Brazil” (ANTONACCIO et al., 2018), o país está aquém em qualidade e quantidade de infraestrutura, comparativamente ao resto do mundo. O Índice Competitivo Global do Fórum Econômico Mundial mostra que, em 2017 e 2018, o Brasil apresentou apenas 3,7 pontos, do total de 7,0 que poderia alcançar nos indicadores de qualidade de sua infraestrutura de transporte. Isso significa que o país ainda conta com uma infraestrutura deficitária que gera, como consequências, uma logística cara e complexa para o transporte de cargas e oferece uma mobilidade pouco eficiente para a sociedade. Isso tudo se reflete em um aumento geral de custo, uma redução da produtividade econômica e uma dependência dos modais intensivos em combustível de alta capacidade emissora de GEE.

Por isso, um passo importante para o Brasil é investir em infraestrutura de qualidade (CBI, 2020), tanto para mobilidade urbana quanto para transporte de carga. Segundo aponta a CBDS (2021),

“Os caminhões de carga são grandes fontes emissoras de GEE e se aproximam bastante das emissões de todo o setor industrial. Enquanto o primeiro foi responsável por 82,2 milhões de toneladas de emissões em 2012, todo o setor industrial emitiu 91,2 milhões de toneladas no mesmo período.”

A partir dos dados extraídos da Empresa de Planejamento e Logística, Antonaccio, et al., (2018) apuraram que os custos despendidos para investir na construção de uma nova infraestrutura para o transporte de cargas seria equivalente a 1,93% do PIB, em um único momento. Já os benefícios financeiros gerados por isso representariam 0,8% do PIB ao ano. Ou seja, os benefícios superariam os custos já no curto prazo.

Além dos benefícios econômicos, uma infraestrutura de transporte mais sustentável contribui para melhorias na qualidade da saúde da população. Pode-se citar como exemplo os elevados níveis de poluição no Brasil, cujo transporte é responsável por 90% das emissões dos gases poluentes. Também, reduz o risco de incidência de doenças respiratórias e, até mesmo, câncer de pulmão (ANTONACCIO et al., 2018; IDB, 2018; WHO, 2016).

Embora o setor de transporte seja um dos principais emissores, é também aquele que apresenta grandes oportunidades de transformação para contribuir com a descarbonização da economia. No Acordo de Paris, o Brasil se voluntariou a promover ações para melhorar a eficiência do setor de transporte e, para tanto, melhorar a infraestrutura em termos de qualidade e quantidade. Para isto, o setor de transporte precisa estar alinhado com as tecnologias do setor de energia, sobretudo àquelas associadas à geração de energia fotovoltaica e elétrica de fontes renováveis, para então promover uma infraestrutura sustentável.

8.2.7.2. Avaliação ambiental do traçado

Para a elaboração da proposta do traçado do HyperloopTT, foram consideradas as principais variáveis ambientais sugeridas pelo Guia Geral de Análise Socioeconômica de Custo-Benefício de Projetos de Investimento em Infraestrutura publicado pela Secretaria de Desenvolvimento da Infraestrutura da Secretaria Especial de Produtividade, Emprego e Competitividade do Ministério da Economia (SDI, 2021). Verificou-se, portanto, a existência de potenciais restrições socioambientais que poderiam afetar o desenvolvimento do projeto ou que demandariam estratégias de mitigação para minimizar os impactos. Nesse sentido, foram observadas a interferência do projeto em cavidades naturais, em patrimônios arqueológicos, em terra indígena, em território quilombola, em assentamentos populacionais ou áreas urbanas, em sítios paleontológicos e arqueológicos, em unidade de conservação e áreas de preservação permanente.

A partir do cruzamento de dados geoespaciais da Secretaria de Meio Ambiente do Rio Grande do Sul, observou-se que o traçado do modal, assim como as áreas das estações, foram desenhados considerando a minimização de qualquer impacto no meio ambiente. Não foram verificadas inconsistências significativas que barrariam o desenvolvimento do projeto, como interferências em terras de comunidades tradicionais e áreas de proteção ambiental. Ressalta-se, no entanto, que para um estudo mais avançado, refinamentos serão necessários para mitigar qualquer eventual outro impacto, como a possibilidade de o traçado passar em áreas urbanas. Para isso, cenários e estratégias deverão ser propostos para adequar a engenharia da infraestrutura, se necessário. A Figura 117a seguir ilustra o resultado do cruzamento das variáveis socioambientais definidas no Guia ACB do Ministério da Economia.

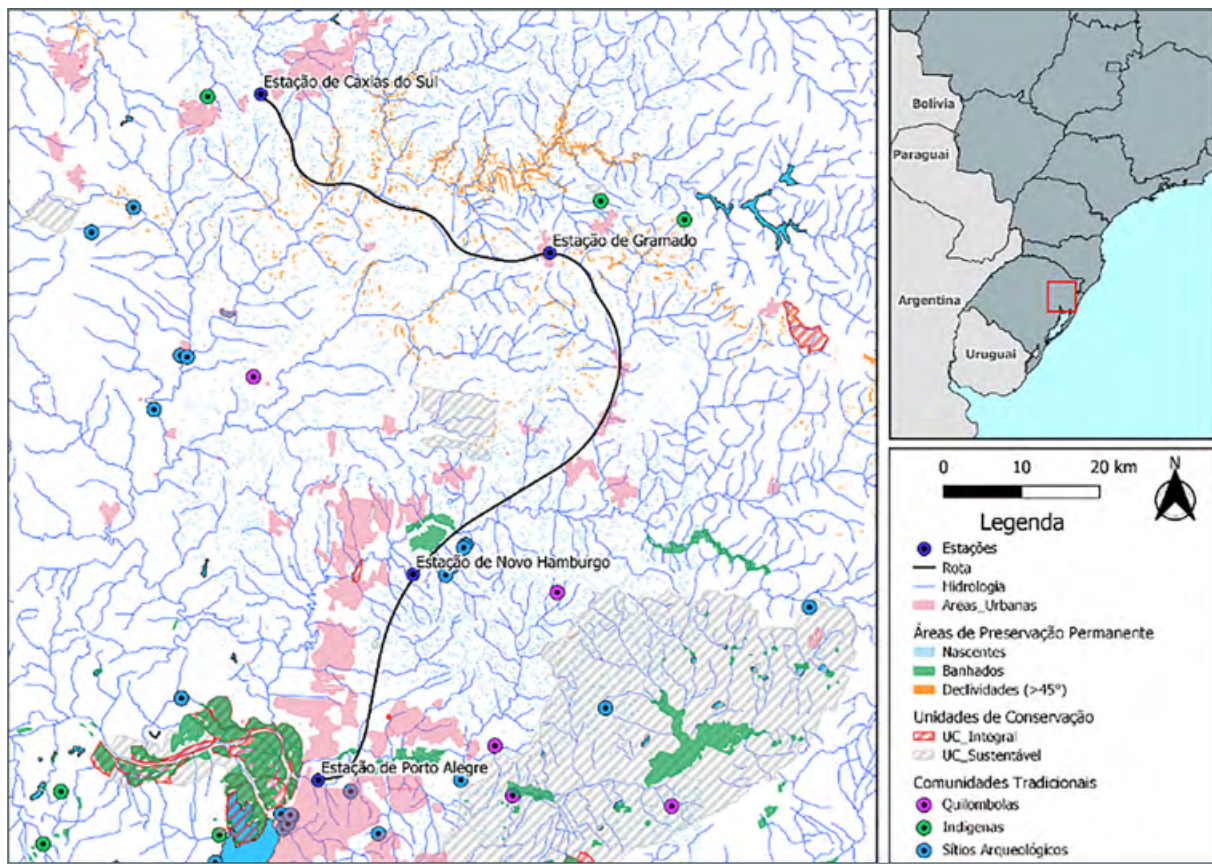


Figura 117 – Mapeamento de fragilidades socioambientais do traçado do HyperloopTT

Também se verificou se o projeto “(iii) contribui[ria] para um processo de descarbonização ou de mitigação de emissões, em linha com as Contribuições Nacionalmente Determinadas (Nationally Determined Contributions - NDCs) brasileiras [...]” (SDI, 2021, p. 31). Para verificação, se calculou o do carbono evitado anual e de todo o ciclo de vida do projeto. Se constatou, portanto, que o HyperloopTT contribuiria com a descarbonização, em linha com as NDCs. Considerando que a geração de energia por ano dos painéis solares é estimada em 44.644.205 kWh e que a média do Fator Médio Anual (tCO₂/MWh) do Sistema Interligado Nacional do Brasil (SNIS) de 2006 a 2020 equivale a 0,068, a quantidade de carbono evitado por ano pelo projeto é de 3.039.675,10 kg. Isso equivale, como apresentado na Tabela 59, um total de 91.190.253,13 kg de CO₂ evitados em 30 anos.

Tabela 59 – Estimação do carbono evitado do HyperloopTT

Ano	Fator Médio Anual (tCO ₂ /MWh)
2006	0,0323
2007	0,0293
2008	0,0484
2009	0,0246
2010	0,0512
2011	0,0292
2012	0,0653
2013	0,096
2014	0,1355
2015	0,1244
2016	0,0817
2017	0,0927
2018	0,074
2019	0,075
2020	0,0617
Média	0,068086667
Geração de energia por ano (kWh)	44.644.205,00
Geração de energia durante o ciclo de vida do projeto (30 anos)	1.339.326.150,00
Carbono evitado por ano (kg de Co2)	3.039.675,10
Carbono evitado em 30 anos (kg de Co2)	91.190.253,13

Fonte: Dados brutos do Fator Anual do SNIS extraídos de MCTI (2021)

Como o HyperloopTT faz uso de painéis fotovoltaicos, não haverá uso de corpo d'água para aproveitamento energético e, portanto, não haverá assoreamento e nem interferência na qualidade da água, impactos muito comuns de grandes empreendimentos. Também, dado que a energia gerada será de fonte limpa, o projeto não incidirá odores indesejados e nem emissão de poluentes causadores de doenças. Também, como a obra dos pilares é relativamente pouco complexa e demanda pouca área terrestre, não será necessária a desapropriação de terras, nem o deslocamento de populações e/ou atividades econômicas, que geralmente geram tensões entre a sociedade civil e o empreendedor.

Essa análise preliminar foi importante para antecipar riscos e eventuais impactos socioambientais consequentes do desenvolvimento do projeto e, então, traçar potenciais estratégias de mitigação. Dado o porte do empreendimento e o arcabouço legal brasileiro, prevê-se a conformidade com os principais instrumentos de amparo ao meio ambiente, à saber: EIA/RIMA, determinados pela Lei de nº 6.938/1981, que, por sua vez, dispõe sobre a Política Nacional do Meio Ambiente, regulamentada pelo CONAMA.

8.2.8. Aumento da receita tributária

De acordo com a Receita Federal - Ministério da Economia, a carga tributária bruta no Brasil atingiu 32,52% do PIB em 2019, uma pequena queda de 0,05 p.p. do PIB em comparação com o ano anterior. A carga tributária bruta para o ano de 2020 foi de 31,64% do PIB, e a Tabela 60 apresenta a evolução da arrecadação tributária nos últimos três anos. Os dados são apresentados por tipo de tributo agrupado por cada ente da Federação (União, estados e municípios), segregando também a arrecadação parafiscal (como FGTS e Sistema S).

Tabela 60 - Principais mudanças na carga tributária (% do PIB)

Imposto	Receita tributária total				
	Ano (%)			Variação 2019-2018 pp)	Variação 2020-2019 (pp)
	2018	2019	2020		
Receita tributária total	32,72	32,52	31,64	-0,2	-0,87
Imposto federal	19,98	19,71	19,03	-0,27	-0,69
Orçamento fiscal	8,04	8,22	7,86	0,19	-0,36
Orçamento previdenciário	11,45	11,02	10,72	-0,43	-0,3
Outros	0,49	0,46	0,44	-0,03	-0,02
Destinação de impostos parafiscais (sistema FGTS, S)	2,11	2,09	1,97	-0,02	-0,12
Imposto estadual	8,47	8,49	8,53	0,02	0,03
Imposto municipal	2,15	2,22	2,12	0,07	-0,1

Fonte: (FGV, 2021)

O principal fator explicativo para a queda da arrecadação do Governo Federal em 2019 foi o PIS / COFINS, que caiu 0,36 p.p. do PIB. Estados e municípios, por sua vez, mantiveram o desempenho da série histórica. Os dados de 2020, por sua vez, indicam que a queda ocorreu principalmente no IOF (-0,26 p.p. do PIB) e, mais uma vez, nos impostos sobre vendas (-0,27 p.p. do PIB). A carga tributária dos governos estaduais aumentou (+0,12 p.p. do PIB) e nos municípios diminuiu 0,12 p.p. do PIB.

8.3. Custos

Neste estudo os custos foram separados em CapEx (capital expenditure) e OpEx (operation expenditure). O CapEx se refere ao capital comprometido com a aquisição de bens materiais. Neste estudo considera-se como CapEx os investimentos em infraestrutura, como estações, túneis, painéis solares, tubos e cápsulas, bem como desapropriações.

O OpEx, por sua vez, se refere aos custos envolvidos na operação do sistema e na sua conservação. Ressalta-se que, uma vez iniciada a utilização do empreendimento, as atividades técnicas e administrativas devem ser realizadas de forma a preservar as características de desempenho técnico de seus componentes e / ou sistemas. Trata-se de acoplar o conceito de depreciação à análise, ou seja, quanto é a recuperação do investimento feito no passado. A manutenção preventiva consiste em atividades realizadas antes da ocorrência de um problema. A manutenção corretiva, por outro lado, só é realizada após o aparecimento de uma falha. 1

8.3.1. CapEx

Neste projeto os investimentos em CapEx mais significativos se referem à construção de viadutos/ trechos elevados, túneis e estações. No caso dos trechos elevados considerou-se um custo por km construído e no caso dos túneis um custo por km somado a um custo fixo por túnel referente aos custos de mobilização e construção de maquinário específico.

O custo das seções elevadas está diretamente ligado a especificações de projeto a serem utilizadas na concepção final da tecnologia. Por conta disso neste estudo são utilizados valores de referência informados pela HyperloopTT TT para pilares, fundações e tubos. Contudo, profissionais da área da construção com experiência bilateral entre Estados Unidos e Brasil relatam que os custos da construção no Brasil são menores devido a maior disponibilidade de matéria prima e de custos de mão de obra inferiores (BEYER, 2014; DEMSAS, 2021). Por conta disso considerou-se uma redução de 33% nos valores informados, chegando-se a um valor de 10,720,000 USD/km. Este valor é multiplicado pela extensão elevada do alinhamento proposto.

O cálculo dos custos de túneis levou em consideração túneis rodoviários construídos na América do Sul, relatos de profissionais e os valores de referência informados pela HyperloopTT TT. O quadro a seguir resume os valores encontrados e decisão de cálculo final para este estudo. Aos valores informados na tabela adiciona-se 5,500,000 USD/km para o custo dos tubos, conforme valores de referência.

Tabela 61 – Custos de túneis

	Localização	Tipo	Comp. [km]	Custo USD (valores pres.)	USD/km
Túneis concluídos	Florianópolis (Sul do Brasil)	Twin	8	725.490.000	90.686.250
	Morro Alto (Rio Grande do Sul)	Twin	1,8	237.161.000	131.756.111
	Medellín (Colômbia)	Twin	8,4	320.000.000	38.095.238
	Média				86.845.866
Profissionais	<ul style="list-style-type: none"> • Túneis rodoviários: 70-120 USD/km • Cut-and-cover: 25% do custo dos túneis 				
HyperloopTT TT	<ul style="list-style-type: none"> • 22,875,000 USD/km • Sugestão: custo fixo para mobilização mais custo por km 				
Decisão final	<ul style="list-style-type: none"> • Túneis para HyperloopTT devem ter seção menor que túneis rodoviários e, portanto, ser mais baratos • Fator de redução de custo = 11% • Valor dos túneis concluídos * 11% = 9.5MM/USD • Propõe-se utilizar uma equação de custo composta de: <ul style="list-style-type: none"> • Custo de mobilização por túnel: 45MM USD • Custo por km: 17MM USD/km • Custo de cut-and-cover igual a 50% do valor dos túneis sem acréscimo de custo de mobilização. 				

No cálculo dos custos das estações leva-se em conta a criação de um centro de visitação, trabalhos de terra, 4 estações, uma área de armazenamento e uma área de depósito. O custo de cada um destes elementos foi considerado com base nos valores de referência da HyperloopTT TT e decrescido em 33%. Esta redução foi aplicada pelos mesmos motivos considerados para os trechos elevados e pela comparação entre obras de dimensões semelhantes realizadas nos Estados Unidos e no Brasil, como estações e estádios esportivos. O custo final destes elementos soma USD 422.480.599, o que equivale a USD 105.620.150 por estação.

Os custos da tecnologia de propulsão e levitação magnética, bem como da operação do sistema foram considerados com base nos valores de referência. O valor de referência das instalações relativas à energia solar resultou próximo, mas superior ao valor calculado, portanto foi adotado o maior valor.

Além dos custos mencionados, também é necessária a realização de desapropriações ou aluguéis de terra para a construção do sistema. Para esta análise considera-se que todo o trecho urbano pelo qual o HyperloopTT passar será desapropriado e as áreas rurais serão alugadas. As desapropriações são consideradas CapEx, e os aluguéis OpEx, portanto apresentados na próxima seção. A área de interferência utilizada para este fim corresponde a uma faixa de 10m ao longo da diretriz do alinhamento horizontal proposto e considerou-se um custo de R\$ 4,000/m². A tabela a seguir traz um resumo das áreas e dos custos de desapropriação por cidade sobre as quais deverá passar o HyperloopTT.

Tabela 62 - Custos de desapropriação por cidade

	Comprimento [m]	Área [m ²]	Valor [BRL/m ²]	Desapropriações [BRL]
Caxias do Sul	0	0	4.000,00	0
Nova Petrópolis	0	0	4.000,00	0
Três Coroas	1185	11.850	4.000,00	47.400.000
Parobé	160	1.600	4.000,00	6.400.000
Gramado	0	0	4.000,00	0
Novo Hamburgo	0	0	4.000,00	0
Igrejinha	4090	40.900	4.000,00	163.600.000
Canela	0	0	4.000,00	0
Cachoeirinha	250	2.500	4.000,00	10.000.000
Sapucaia do Sul	710	7.100	4.000,00	28.400.000
Porto Alegre	0	0	4.000,00	0
Sapiranga	0	0	4.000,00	0
Araricá	0	0	4.000,00	0
São Leopoldo	0	0	4.000,00	0
Canoas	0	0	4.000,00	0
Campo Bom	0	0	4.000,00	0
Esteio	0	0	4.000,00	0
Total BRL				255.800.000
Total USD				51.160.000

Além destes custos, também foram considerados custos gerais e custos com a construção ou aquisição de cápsulas. Para estes foram considerados os valores de referência. A tabela a seguir traz um resumo de todos os custos incluídos no CapEx.

Tabela 63 – Síntese dos valores de CapEx

Elemento de custo	Custo [USD]	% Total
Infraestrutura (A)	1.770.367.850	52%
Túneis e tubos	510.446.250	15%
Trechos elevados e tubos	1.259.921.600	37%
HyperloopTT exceto tubos (B)	818.592.873	24%
Condições gerais (C)	215.801.546	6%
<i>Sub-total (A+B+C)</i>	<i>2.804.762.270</i>	<i>82%</i>
<i>Custo USD/km</i>	<i>20.664.277</i>	
Cápsulas (D)	152.905.430	4%
Estações (E)	422.480.599	12%
<i>Total USD (A+B+C+D+E)</i>	<i>3.380.148.299</i>	<i>99%</i>
<i>Custo USD/km</i>	<i>24.903.472</i>	
Desapropriações (F)	51.160.000	1%
<i>Total USD (A+B+C+D+E+F)</i>	<i>3.431.308.299</i>	<i>100%</i>
<i>Custo USD/km</i>	<i>25.280.397</i>	

Os custos de CapEx são distribuídos em 5 anos para custos de infraestrutura e em 4 anos para os custos com desapropriações. Os percentuais adotados para cada ano são apresentados na tabela a seguir.

Tabela 64 – Distribuição do CapEx no tempo

Ano	Infraestrutura	Desapropriações
0	7%	25%
1	13%	25%
2	20%	25%
3	30%	25%
4	30%	0%

8.3.2. OpEx

Os custos de OpEx se referem aos custos de operação do sistema proposto, visando sua execução, manutenção e administração. Como os custos de operação são diretamente ligados à tecnologia do HyperloopTT, alguns dos drivers de custo foram extraídos do estudo de viabilidade dos Grandes Lagos (TEMS, 2019), por se tratar de estudo referência. Contudo, alguns valores precisaram ser ajustados para condizer com a realidade brasileira ou puderam ser diretamente calculados.

Entre os custos que puderam ser calculados estão o de energia de vácuo e propulsão. Neste estudo considerou-se um custo anual igual a 20% da energia produzida para consumo próprio. Este valor se refere a uma taxa de disponibilidade da rede para atender eventuais demandas, como quando da falha dos sistemas de armazenagem de energia.

O custo com as equipes a bordo das cápsulas utilizado no estudo dos Grandes Lagos foi reduzido em 33%. Comparando-se o salário médio de equipes de bordo em aviões nos Estados Unidos e no Brasil, concluiu-se que os valores pagos, inclusive os encargos, são cerca de 60% menores no Brasil. A redução de 33% aplicada é, portanto, conservadora.

Além disso foram incluídos os custos de aluguel das áreas por onde a diretriz do sistema deverá passar. Considerou-se que todo o trecho rural sobre o qual o HyperloopTT passar será alugado a uma taxa de 4% a.a. do valor do terreno, sendo o valor do terreno igual a R\$1.000/m². A faixa de interferência utilizada nesse caso é de 3m. A tabela a seguir resume os valores anuais de locação.

Tabela 65 - Valor anuais de locação de terras

	Comprimento [m]	Área [m ²]	Valor da área [BRL/m ²]	Aluguel 4% [BRL]
Caxias do Sul	20525	61.574	61.574.097,80	2.462.964
Nova Petrópolis	17690	53.069	53.068.961,88	2.122.758
Três Coroas	10373	31.118	31.118.408,57	1.244.736
Parobé	11007	33.020	33.019.935,45	1.320.797
Gramado	11048	33.143	33.143.015,52	1.325.721
Novo Hamburgo	10680	32.041	32.040.995,24	1.281.640
Igrejinha	4160	12.480	12.479.833,78	499.193
Canela	7501	22.502	22.502.010,00	900.080
Cachoeirinha	6707	20.121	20.120.593,61	804.824
Sapucaia do Sul	6042	18.125	18.124.748,21	724.990
Porto Alegre	6194	18.582	18.582.209,27	743.288
Sapiranga	4761	14.283	14.283.107,40	571.324
Araricá	4643	13.928	13.928.345,20	557.134
São Leopoldo	3028	9.083	9.083.391,55	363.336
Canoas	2572	7.715	7.714.760,61	308.590
Campo Bom	825	2.476	2.475.870,27	99.035
Esteio	385	1.155	1.155.104,03	46.204
Total BRL	0	0	0	15.376.616
Total USD	0	0	0	3.075.323

A partir disso, a tabela a seguir traz um resumo dos drivers de custo utilizados no cálculo do Opex.

Tabela 66 - Drivers de custo do OpEx

Driver	Fonte	Unidade	Valor
Manutenção de equipamentos	Appendix F - Great Lakes	USD/(cap*km)	0,518
Equipe de bordo	Appendix F - Great Lakes (reduzido em 33%)	USD/(cap*km)	0,416
Energia de propulsão (passageiros)	Nossa	USD/viagens dárias	238,24
Energia de propulsão (carga)	Nossa	USD/viagens diárias	339,88
Energia para vácuo	Nossa	USD/ano	651.131
Serviço de bordo	Appendix F - Great Lakes	% receita de serviços de bordo	50%
Seguro	Appendix F - Great Lakes	USD/(passageiro*km)	0,009
Manutenção da via	Appendix F - Great Lakes	USD/km/ano	94.448,66
Manutenção cíclica da via	Appendix F - Great Lakes	USD/ano/km depois de 20 anos	62.137,27
Manutenção cíclica anual	Appendix F - Great Lakes	USD/ano	1.553,43
Manutenção cíclica inicial	Appendix F - Great Lakes	USD/ano/km	31.068,64
Manutenção do sistema de vácuo	Appendix F - Great Lakes	USD/km/ano	36.263,31
Estações	Appendix F - Great Lakes	USD/estação/ano	975.555,20
Administração - Base	Appendix F - Great Lakes	USD/ano	12.303.180,19
Administração - Motorista	Appendix F - Great Lakes	USD/motorista	0,48
Administração - Receita	Appendix F - Great Lakes	% da receita	2,80%
Aluguel de terras	Nossa	% valor da terra	4,00%

Considera-se que os custos de OpEx se iniciam com a conclusão das obras de CapEx, portanto a partir do ano 5. Contudo, considera-se que custos com administração se inicial no ano 0 e custos com aluguéis de terras no ano 1. A tabela a seguir traz uma síntese da soma dos valores anuais de CapEx, a média anual, o valor presente descontado a uma taxa de 3% e um comparativo com o valor presente total de OpEx.

Tabela 67 - Resumo do OpEx

	Total	Média anual	VPL	% OpEx Total
OpEx total	3.219.094.202	107.303.140	2.015.410.478	100,0%
Custos operacionais	3.219.094.202	107.303.140	2.015.410.478	100,0%
Manutenção de equipamentos	554.550.000	18.485.000	386.258.442	19,2%
Equipe de bordo	445.501.799	14.850.060	310.303.545	15,4%
Energia de propulsão (passageiros)	17.563.440	585.448	11.780.562	0,6%
Energia de propulsão (carga)	1.609.700	53.657	1.089.355	0,1%
Seguros	544.454.616	18.148.487	365.189.333	18,1%
Manutenção da via	320.487.902	10.682.930	223.228.127	11,1%
Manutenção cíclica da via	185.545.627	6.184.854	125.339.672	6,2%
Manutenção do Sistema de vácuo	123.050.487	4.101.683	85.707.852	4,3%
Energia do vácuo	19.978.023	665.934	13.915.211	0,7%
Estações	97.555.520	3.251.851	67.949.947	3,4%
Administração	745.910.061	24.863.669	499.202.108	24,8%
Aluguel de terras	89.184.370	2.972.812	59.010.698	2,9%
Carga	73.702.658	2.456.755	43.826.200	2,2%

Os custos de OpEx, bem como os de CapEx, são utilizados tanto na análise econômica quanto na análise financeira. Para dar conta do custo de oportunidade do investimento do ponto de vista social, contudo, na análise econômica estes valores são multiplicados por um fator de conversão padrão, como apresentado na seção a seguir.

8.4. Preço sombra (Shadow Price)

O preço sombra corresponde ao custo de oportunidade de uma atividade, que pode ser referido como seu verdadeiro preço econômico. Eles podem ser calculados para bens e serviços que não têm um preço de mercado.

Por se tratar de um projeto público, exige valores a preços econômicos. Para tanto, os fatores de conversão são usados para transformar os custos de preços de mercado em preços sociais. O preço econômico, sombra, social ou de eficiência é aquele que ocorreria em uma economia em equilíbrio, em condições de concorrência perfeita e ausência de distorções de mercado - impostos discriminatórios, subsídios, externalidades, etc. Embora o rigor técnico distinga diferenças metodológicas no cálculo a esses preços, na prática, a conversão de um orçamento de projeto a preços financeiros ou de mercado para preços sociais é sempre realizada utilizando fatores de conversão que são específicos para cada insumo utilizado no projeto, ou generalizados: mão de obra, insumos importados, eletricidade, ou nacionais componentes, etc.

Fator de conversão padrão – FCP

O FCP será o multiplicador aplicado aos custos de manutenção / conservação (investimentos) e benefícios identificados. A tabela a seguir apresenta exemplos de projetos com seus respectivos FCP.

Tabela 68 – Values for Standard Conversion Factor – FCP

Valores do Fator de Conversão Padrão – FCP		
Fonte	Órgão financiador	Fator de Conversão Padrão – FCP
Empresa Brasileira de Engenharia de Infraestrutura; Ernst & Young Terco; Trends Engenharia e Infraestrutura; Enefer Consultoria, Projetos; Siqueira Castro – Advogados; Vetec Engenharia. Corredor bioceânico ferroviário: estudos técnicos referentes ao Eixo de Capricórnio: relatório consolidado. https://web.bndes.net/bib/jspui/handle/1408/1466	BNDES	0,98
Roseli da Silva. Projeto de Expansão e Aperfeiçoamento da Educação Infantil e do Ensino Fundamental em Florianópolis (BR-L1329). www.iadb.org/projectDocument.cfm?id=36767197	IDB	0,96
Campos, R. T. (2007). Avaliação benefício-custo de sistemas de dessalinização de água em comunidades rurais cearenses. RER, Rio de Janeiro, vol. 45, nº 04, p. 963-984, out/dez 2007 – Impressa em novembro 2007. Disponível em: http://www.scielo.br/pdf/resr/v45n4/a07v45n4	-	0,94
Fonte. BID.BNB. Critério de elegibilidade e avaliação de projetos do setor de saneamento no âmbito do Prodetur NE/II. Relatório Operacional, Anexo M. Fortaleza: 2002a.	IDB	0,94
Critério de elegibilidade e avaliação de projetos de urbanização de orlas e áreas turísticas no âmbito do Prodetur NE/II. Relatório Operacional, Anexo L. Fortaleza: 2002b. Obtido em: www.bnb.gov.br .	IDB	0,94
Avaliação benefício-custo de sistemas de dessalinização de água em comunidades rurais cearenses. Revista de Economia e Sociologia Rural – RER, Rio de Janeiro, vol. 45, nº 04, p. 963-984, out/dez 2007 – Impressa em novembro 2007	BIRD	0,94

Neste estudo, é utilizado o Fator de Conversão Padrão – FCP de 0,94, que representa o fator de conversão padrão para transformar o valor financeiro da Disposição a Pagar em um valor econômico, que neste caso pode ser considerado um valor conservador.

O FCP foi aplicado sobre os custos de manutenção e sobre os benefícios decorrentes do potencial da atividade econômica, com o objetivo de transformar custos considerados privados em custos econômicos.

8.5. Avaliação Socioeconômica

8.5.1. Figuras de mérito

A avaliação socioeconômica do projeto, alternativa considerada, é realizada por meio da obtenção de cifras de mérito, como a Taxa Interna de Retorno Econômico - TIR, Valor Presente Líquido - VPL e a relação Benefício / Custo, obtida a partir da comparação de benefícios e custos, apresentados em fluxos de caixa com base nos cenários com e sem o projeto.

As variáveis que compõem os benefícios e custos deste projeto foram descritas acima e incluem custos de capital, orçamento de custeio e externalidades. As externalidades apresentam resultados positivos, computados como benefício social e negativos, considerados como custo de oportunidade.

Para o cálculo de cada um dos benefícios considerados, foram estruturados fluxos distintos para o horizonte do projeto (30 anos). Os valores obtidos, para cada um dos benefícios considerados, foram transformados em preços de eficiência e atualizados a uma taxa de desconto de 3,4% ao ano, correspondente ao valor real das expectativas de longo prazo da taxa Selic frente ao IPCA.

Para a avaliação econômica do projeto, são consideradas as seguintes cifras de mérito:

- Valor presente líquido - VPL;
- Taxa interna de retorno - TIR;
- Relação B / C.

O Valor Presente Líquido - VPL - consiste na soma de todas as receitas e despesas incorridas no período de análise, cada uma descontada para o presente à taxa de juros adotada. Se esse valor for maior que zero, significa que os benefícios auferidos no período de análise serão suficientes para cobrir as despesas operacionais.

Taxa interna de retorno - TIR - em termos de cálculo consiste na taxa de juros que anula o VPL. Equacione a taxa de juros máxima que você pode pagar em um empréstimo e garanta o seu equilíbrio durante o período do projeto. Assim, se a TIR resultar acima da taxa de juros de mercado, o projeto é atraente. A TIR também é útil no caso de empréstimos a taxas de juros flutuantes, indicando a flutuação máxima permitida sem afetar a lucratividade da empresa.

Razão B/C - Benefício dividido pela comparação de custos deve ser maior ou igual a 1. Quanto maior essa razão, mais robusta é a viabilidade do projeto.

Os resultados da avaliação econômica devem ser vistos em uma perspectiva ampla, ou seja, se apresentarem a relação Benefício / Custo maior que a unidade, a TIR for maior que a taxa de desconto adotada e o VPL for positivo, o projeto pode ser considerado viável.

8.5.2. Resultados

Os benefícios e custos citados nesta seção são distribuídos ao longo dos 30 anos de projeto para que o fluxo de caixa econômico seja calculado. Nesta análise receitas operacionais, receitas de negócios imobiliários não são consideradas como benefícios. Os benefícios considerados são geração de empregos, valor do tempo poupado, valor de emissões poupadas, custos não despendidos pelos passageiros e valorização imobiliária. Na parte dos custos são considerados os custos de CapEx, inclusive as desapropriações, e os custos de OpEx, conforme descritos anteriormente. Impostos não foram considerados nem no lado dos benefícios nem no lado dos custos. O fluxo de caixa é apresentado na figura a seguir.

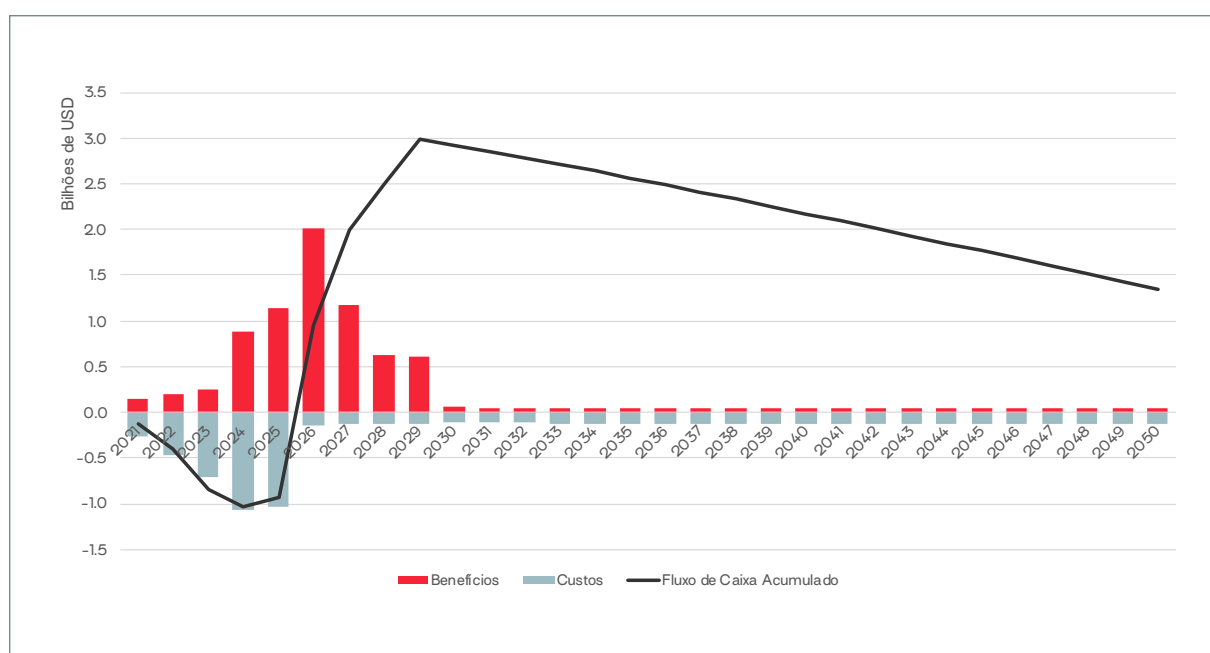


Figura 118 - Fluxo de caixa econômico. Valores nominais (não descontados)

Para aferição dos resultados e sua melhor compreensão, apresenta-se na Tabela 69 a soma simples dos valores utilizados no fluxo, o valor médio anual, o valor presente líquido descontado a 3,4% a.a., o valor presente líquido descontado a 3,4% a.a. multiplicado pelo correspondente FCP e uma análise vertical dos valores encontrados. O fluxo econômico completo do projeto é apresentado no Apêndice H.

Tabela 69 – Resumo do fluxo de caixa econômico, em dólares

		Total	Média anual	VPL	VPL*FCP	% Benefícios
FCP	Benefícios	8.001.106.158	266.703.539	6.507.774.095	6.207.822.070	100,00%
1,00	Empregos	1.920.098.381	64.003.279	1.418.310.549	1.418.310.549	22,85%
1,00	Empregos – Infraestrutura	901.275.840	30.042.528	826.404.728	826.404.728	13,31%
1,00	Empregos – Diretos/ Indiretos	831.901.541	27.730.051	482.922.786	482.922.786	7,78%
1,00	Empregos – Energia Solar	186.921.000	6.230.700	108.983.035	108.983.035	1,76%
1,00	Tempo poupado	111.171.185,52	3.705.706	62.843.462	62.843.462	1,01%
1,00	CXS-GRA	12.167.987	405.600	7.841.276	7.841.276	0,13%
1,00	CXS-NH	2.515.517	83.851	1.631.467	1.631.467	0,03%
1,00	CXS-POA	72.851.816	2.428.394	47.099.689	47.099.689	0,76%
1,00	GRA-NH	8.381.653	279.388	5.407.634	5.407.634	0,09%
1,00	GRA-POA	32.879.718	1.095.991	21.247.614	21.247.614	0,34%
1,00	NH-POA	-17.625.505	-587.517	-11.391.661	-11.391.661	-0,18%
1,00	Acidentes evitados	33.665.441	1.122.181	25.849.623	25.849.623	0,42%
1,00	Mortes	8.560.053	285.335	7.513.309	7.513.309	0,12%
1,00	Feridos	22.261.239	742.041	19.538.915	19.538.915	0,31%
1,00	Apenas danos materiais	2.844.149	94.805	2.496.339	2.496.339	0,04%
1,00	Emissões	2.712.530	90.418	1.570.041	1.570.041	0,03%
0,94	Custos Operacionais	457.931.841	15.264.395	415.597.084	390.661.259	6,29%
0,94	Valorização imobiliária	5.475.526.780	182.517.559	4.583.603.336	4.308.587.136	69,41%
0,94	Negócios imobiliários	0	0	0	0	0,00%
0,94	Valorização	5.475.526.780	182.517.559	4.583.603.336	4.308.587.136	69,41%
	Custos	6.251.378.351	208.379.278	5.050.565.402	4.747.531.478	76,48%
0,94	CapEx (sem desapropriações)	3.380.148.299	112.671.610	3.099.351.400	2.913.390.316	46,93%
0,94	OpeEx (sem impostos)	3.219.094.202	107.303.140	1.902.522.507	1.788.371.156	28,81%
0,94	Desapropriações	51.160.000	1.705.333	48.691.495	45.770.006	0,74%
	Fluxo de caixa	1.749.727.808	58.324.260	1.457.208.693	1.460.290.592	23,52%

O fluxo de caixa econômico aponta valor presente líquido positivo quando descontado a uma taxa de 3,4% a.a.. A partir do fluxo de caixa econômico também são calculadas outras métricas de avaliação de projetos, as quais são apresentadas na seguinte tabela.

Tabela 70 – Resumo da avaliação econômica

TIR	38,12%
VPL (USD)	1.460.290.592
Payback	5,50
B/C (Valor Presente)	1,31

A avaliação econômica indica uma taxa interna de retorno consideravelmente superior a taxas de referência, como a taxa Selic, fixada a 4,25% na data de confecção deste relatório e as previsões para a taxa Selic de longo prazo, em 3,4%. O valor presente líquido do projeto evidencia os benefícios à sociedade e o payback indica que este retorno ocorrerá rapidamente. A razão B/C corrobora estas análises, indicando que os benefícios são cerca de 30% superiores aos custos envolvidos no projeto.

Embora tecnicamente a avaliação econômica seja feita por meio da conversão de custos e benefícios em valores monetários, também é importante avaliá-los em suas unidades originais por serem mais tangíveis. Na tabela a seguir são apresentados os benefícios em suas unidades originais.

Tabela 71 – Benefícios com valores originais

Benefícios	Soma	Média (período efetivo)
Empregos	-	17.779
Empregos – Infraestrutura	-	50.071
Empregos – Diretos/Indiretos e efeito renda	-	9.243
Empregos – Energia Solar	-	2.077
Tempo [dias equivalentes]	1.769.080	70.763
CXS-GRA	176.440	7.058
CXS-NH	41.209	1.648
CXS-POA	1.193.457	47.738
GRA-NH	116.198	4.648
GRA-POA	455.825	18.233
NH-POA	-214.049	-8.562
Acidentes evitados	1.922	-
Mortes	67	-
Feridos	1.203	-
Apenas danos materiais	651	-
Emissões [ton]	94.990	-
Custos operacionais [BRL]	2.289.659.205	228.965.921

Benefícios	Soma	Média (período efetivo)
Setor imobiliário [BRL]	27.377.633.898	0
Negócios imobiliários [BRL]	0	0
Valorização imobiliária [BRL]	27.377.633.898	4.562.938.983
Sobra de energia potencial [kWh]	-	265.713.046
(+) Produção potencial [kWh]	-	339.074.908
(-) Consumo [kWh]	-	73.361.862

O tempo em dias equivalentes indica a soma da quantidade de tempo poupada por todos os viajantes de HyperloopTT dado o modal que originalmente utilizariam. A fim de se tangibilizar ainda mais este valor, apresenta-se na seguinte tabela o tempo poupado por viajantes de cada um dos pares O-D utilizando como unidade o número de viagens equivalente do respectivo par e imaginando que o passageiro realiza a viagem uma vez por semana.

Tabela 72 - Detalhamento do tempo de viagem poupado

Par O-D	Tempo poupado por viagem (min)	Viagens equivalentes por ano
CXS-GRA	16,90	15,44
CXS-NH	7,79	4,03
CXS-POA	28,70	15,04
GRA-NH	34,33	19,77
GRA-POA	23,02	13,24
NH-POA	-9,52	-12,28
Média	15,88	7,29

Embora os impostos não tenham sido levados em conta na análise econômica, o aumento na arrecadação é de especial interesse para os municípios envolvidos. Neste estudo considera-se que o Imposto Sobre Serviços (ISS) decorrente dos serviços de transporte de passageiros e carga possui alíquota de 5% e, por ser municipal, é rateado entre os municípios proporcionalmente ao comprimento de HyperloopTT que passa em cada um deles. A tabela a seguir apresenta os valores utilizados no rateio e o valor presente dos fluxos de ISS a serem recolhidos descontados a uma taxa real de 3,4% a.a. e considerando inflação anual de 3% a.a.

Tabela 73 – Valor presente (total) do ISS a ser recolhido por município no período do projeto

	Rateio	ISS [R\$]
Total	100,0%	1.271.689.042
Caxias do Sul	15,3%	194.011.472
Nova Petrópolis	13,1%	167.212.964
Três Coroas	8,6%	109.251.118
Parobe	8,3%	105.553.667
Gramado	8,2%	104.429.061
Novo Hamburgo	7,9%	100.956.748
Igrejinha	6,1%	77.983.306
Canela	5,6%	70.900.723
Cachoeirinha	5,2%	65.760.356
Sapucaia do Sul	5,0%	63.819.912
Porto Alegre	4,6%	58.549.973
Sapiranga	3,5%	45.004.097
Araricá	3,5%	43.886.291
São Leopoldo	2,3%	28.620.511
Canoas	1,9%	24.308.144
Campo Bom	0,6%	7.801.125
Esteio	0,3%	3.639.573

Além do ISS, considera-se no estudo a incidência de PIS, COFINS, IR e CSLL. Os valores presentes considerando-se as mesmas taxas de inflação e desconto são apresentados na tabela a seguir.

Tabela 74 – Valor presente de impostos a serem recolhidos no período do projeto [US\$]

Total	2.231.860.222
PIS	118.193.727
COFINS	490.418.966
ISS	254.337.808
IR	1.006.551.265
CSLL	362.358.455

8.6. Considerações adicionais

8.6.1. Avaliação de possibilidades do projeto de energia

Neste estudo considerou-se conservadoramente que seria instalada uma planta fotovoltaica sobre HyperloopTT capaz de suprir apenas as demandas energéticas do projeto. Deste modo, não se previu que a energia produzida em excesso fosse enviada para a rede e vendida. Esta decisão foi tomada pois o HyperloopTT passa por mais de uma rede de distribuição de energia e a forma como a precificação da energia produzida seria feita carece de aprofundamentos.

Embora não tenha sido considerada no projeto, nesta seção apresenta-se uma análise preliminar comparativa entre três diferentes cenários relativos a energia. Os cenários levam em conta o investimento inicial, as receitas ao longo do tempo e os custos ao longo do tempo. São:

- a) Apenas compra de energia;
- b) Apenas uso próprio – Proposta do estudo;
- c) Venda de excedente.

Os cenários são descritos com maior detalhe a seguir.

Cenário a) Apenas compra de energia

Neste cenário considera-se que não são instaladas quaisquer placas fotovoltaicas e que toda a energia é comprada da rede. Neste caso considera-se que investimentos iniciais não são necessários, mas, além da taxa de disponibilidade da rede de 25% sobre o valor da demanda a um custo de 0,50 R\$/kWh para que o HyperloopTT possa comprar energia em caso de necessidade, adquire-se energia da rede a um valor de 0,50 R\$/kWh para atender a demanda.

Cenário b) Apenas uso próprio – Proposta do estudo

Neste cenário, utilizado no estudo, considera-se que a energia é produzida por meio de placas fotovoltaicas instaladas ao longo do HyperloopTT visando suprir apenas as necessidades energéticas do sistema. Deste modo, os investimentos iniciais existem mas são menores do que no caso de se instalar placas sobre toda a extensão. Considera-se que nos primeiros anos serão instaladas placas que supram a demanda projetada do 30º ano de projeto. Portanto neste cenário não existem custos e receitas de compra e venda de energia, contudo se considera uma taxa de disponibilidade da rede de 25% sobre o valor da demanda a um custo de 0,50 R\$/kWh.

Cenário c) Venda de excedente

Neste cenário considera-se que 90% da área coberta pelo trecho elevado do HyperloopTT é coberta por placas fotovoltaicas para produção de energia. Como a geração de energia é maior, também é maior o investimento inicial para dar conta dela. Considera-se que o excedente de energia após o uso próprio é vendido à rede por um valor de 0,198 R\$/kWh. Mantém-se a taxa de disponibilidade da rede de 25% sobre o valor da demanda para eventuais necessidades.

Comparação entre os projetos

Os projetos são comparados por meio do Valor Presente Líquido das receitas de previstas energia reduzidas dos investimentos iniciais e dos custos ao longo do tempo. Os investimentos iniciais seguem a mesma distribuição anual de investimentos iniciais do projeto como um todo, conforme apresentado na tabela a seguir.

Tabela 75 – Comparação de possíveis projetos de energia. Valores em R\$

Total	a) Comprar	b) Uso próprio	c) Vender
Receita	0	0	919.964.912
CapEx	-586.835.796	-255.864.145	-1.007.542.137
OpEx	0	-157.259.252	-157.259.252
VPL	-586.835.796	-417.305.331	-391.848.802
Incremento de VPL	-	169.530.465	194.986.994

Esta análise deixa que claro que a opção de comprar energia da rede, além de estar desconectada do cunho sustentável do projeto, é mais inviável financeiramente. Contudo, a diferença entre produzir energia apenas para consumo próprio e para vender é pequena e, tendo em vista as suposições para a avaliação, pode-se considerar que são equivalentes. A decisão entre produzir energia para venda ou não deverá ser feita mediante um estudo mais aprofundado quanto às possibilidades de implementação.

8.6.2. HyperloopTT: Infraestrutura sustentável e práticas ESG

O gap existente no desenvolvimento da infraestrutura brasileira abre espaço para investimentos que gerem benefícios sociais e ambientais, incentivando a alavancagem de uma infraestrutura com bases mais sustentáveis. De acordo com uma pesquisa realizada pelo Brazil Green Finance Programme (HALL et al., 2020), o Brasil precisará investir cerca de R\$ 3,5 bilhões em todos os setores da infraestrutura, entre 2020 e 2040, para alcançar um cenário em que a infraestrutura disponível seja sustentável. Isto é, uma infraestrutura “planejada, projetada, construída, operada e desativada de maneira a garantir sustentabilidade econômica e financeira, social, ambiental (incluindo resiliência climática) e institucional ao longo de todo o ciclo de vida do projeto” (IDB, 2018), que contribua com o alcance das metas da Contribuição Nacionalmente Determinada (NDCs, em inglês) brasileira e dos Objetivos do Desenvolvimento Sustentável (ODSs), em linha com o Acordo de Paris e a Agenda 2030.

Segundo The New Climate Economy (2016), cerca de 60% das emissões de GEE advém do estoque existente de infraestrutura, intensiva em combustível fóssil. Não obstante, prevê-se que entre 35% e 60% do orçamento em tecnologias de baixo impacto será destinado aos setores da infraestrutura. Por isso, a importância em investir em setores-chaves da infraestrutura sustentável se dá não apenas pela necessidade de se considerar riscos das mudanças climáticas, impactos nos ecossistemas e mudanças sociais como condicionantes para uma transição real de uma

economia tradicional para uma de baixo impacto e zero emissão (IDB, 2018), mas, também, pela oportunidade da criação de novas tecnologias e modelos de negócio para projetos e ativos menos vulneráveis, a longo prazo (HALL et al., 2020). Ainda, de acordo com o Bando Mundial (WORLD BANK, 2019), investimentos em infraestrutura sustentável contribuem para o aumento da capacidade produtiva que, conseqüentemente, elevam as taxas de crescimento econômico e a qualidade do desenvolvimento, vis-à-vis o fortalecimento das bases econômicas e sociais para mitigar e se adaptar aos riscos climáticos (WORLD BANK, 2019).

Nesse sentido, são considerados investimentos em infraestrutura sustentável todos aqueles que visam promover saneamento e uma gestão dos resíduos sólidos mais eficiente, a geração, distribuição e transmissão de energia de baixo carbono (considerando biocombustíveis), o acesso à telecomunicações, a disseminação de meios de transporte urbano limpo, o incentivo aos modais portuário, hidroviário e ferroviário (HALL et al., 2020), construção de edifícios verdes e desenvolvimento urbano (CBI, 2021). De acordo com Serebrisky et al. (2015) e Youssef e Nahas (2017), as restrições financeiras e a desalavancagem do setor público estão abrindo espaço para o setor privado atuar com papel mais estendido na prestação desses serviços de infraestrutura. Isso ocorre porque permite que a carga fiscal pública seja reduzida, contribuindo para uma maior eficiência do gasto público. Além disso, prevê-se uma infraestrutura com maior desempenho em termos de gestão e projeto de engenharia.

Porém, levando-se em conta os empecilhos financeiros ainda existentes que dificultam que os bancos consigam financiar grandes empreendimentos de longo prazo, é inevitável “o aumento do acesso ao capital de longo prazo a taxas adequadas para apoiar os investimentos em infraestrutura sustentável, [que exigirá] maior participação de atores privados” (IDB, 2018, p. 6). Nesse sentido e em linha com o “boom” da temática ESG no mercado financeiro, novas oportunidades de captação de recurso têm surgido, alinhadas aos principais frameworks internacionais e taxonomias para setores sustentáveis (para maiores informações, acessar Climate Bonds Taxonomy (CBI, 2021), Green Bonds Principles (ICMAM 2020), EU Bond Taxonomy (European Commission, 2021), Framework for Sustainable Infrastructure (IDB, 2018)).

8.6.3. Financiamento sustentável e responsabilidade socioambiental

Uma avaliação do projeto do HyperloopTT foi feita para verificar o quão alinhado com os principais frameworks internacionais e nacionais de desenvolvimento sustentável e finanças sustentáveis o projeto está. Para isso, foram considerados a revisão dos seguintes documentos: “G20 Principles for Quality Infrastructure Investment”, da OCDE, “Climate Bonds Taxonomy”, da CBI, “Não Perca Esse Bond”, da SITAWI, o Acordo de Paris, acordo firmado entre as partes da Convenção-Quadro Das Nações Unidas Sobre Mudança Do Clima e os Objetivos do Desenvolvimento Sustentável, da ONU.

Verificou-se, assim, que o projeto já tem potencial de estar em conformidade com os princípios da OCDE para a promoção de investimentos em uma infraestrutura de qualidade. Conforme resumido

¹ <https://www.icmagroup.org/sustainable-finance/the-principles-guidelines-and-handbooks/green-bond-principles-gbp/>

² https://ec.europa.eu/info/sites/default/files/business_economy_euro/banking_and_finance/documents/200309-sustainable-finance-teg-final-report-taxonomy_en.pdf

na Tabela 76, são esperados benefícios sociais, ambientais e econômicos para as populações das regiões diretamente impactadas ou na tangência do projeto, para os colaboradores e para os investidores.

Tabela 76 - Alinhamento projeto HyperloopTT com os princípios da OCDE

Princípio	Benefícios da HyperloopTT
Princípio 1: Maximizar o impacto positivo da infraestrutura para alcançar o crescimento e desenvolvimento sustentáveis	O projeto está alinhado com a criação de novos empregos durante a construção, operação e manutenção da infraestrutura do modal; com a geração de efeitos de <i>spillovers</i> positivos da obra, que incentivarão a criação de novos empregos nas áreas de influência das estações; com a chegada de uma tecnologia avançada, que permitirá o espriamento e a transferência de conhecimento para novos projetos; com a alocação de recursos mais eficiente, visto que serão destinados a um modal sustentável; com a melhoria da produtividade nas economias locais nas áreas de influência do projeto, sendo o transporte de carga e de passageiros configurando-se como centrais; com a ampliação da base de investidores privados de diversos setores produtivos e imobiliário, dada a atratividade inovativa do projeto; com o barateamento do frete para transporte de cargas, entre outros. Além disso, o empreendimento e os serviços da HyperloopTT tem como business core a promoção do desenvolvimento sustentável.
Princípio 2: Aumentar a eficiência econômica em vista do custo do ciclo de vida do projeto	É premissa do projeto considerar todos os investimentos necessários durante todo o seu ciclo de vida, garantindo, assim, maior eficiência do gasto e uma sustentabilidade financeira. Tem-se ciência da necessidade de incluir na análise de viabilidade econômico-financeira estratégias de mitigação de possíveis riscos.
Princípio 3: Inclusão de aspectos ambientais nos investimentos em infraestrutura	O projeto tem como premissa considerar os impactos da obra nos ecossistemas ambientais, na biodiversidade e na mudança do clima. Por isso, prevê-se que toda e qualquer estratégia de mitigação para minimizar os impactos negativos devem ser levantados durante todo o ciclo de vida do projeto, de forma transparente para os stakeholders.
Princípio 4: Resiliência contra desastres naturais e outros riscos	O design do projeto, desde o traçado até as estações, tem como premissa considerar os riscos humanos e não humanos, de forma a garantir a sustentabilidade da sua manutenção. Por isso, sistemas de controle de riscos e mitigação são essenciais sobretudo na operação do projeto, garantindo, assim, resiliência e maior segurança para os investidores.
Princípio 5: Inclusão de aspectos sociais nos investimentos em infraestrutura	O projeto tem como premissa a maximização dos benefícios sociais, buscando ser inclusivo, acessível e de qualidade para os usuários e colaboradores internos.
Princípio 6: Fortalecimento da governança da infraestrutura	O projeto deve ter como pilar a boa governança da infraestrutura, para garantir responsabilidade, transparência, rentabilidade e integridade do investimento no curto e no longo prazo.

Além de estar alinhado com o conceito de infraestrutura sustentável do IDB e com os princípios da OCDE para uma infraestrutura de qualidade, o projeto da HyperloopTT tem potencial de se enquadrar em diversos critérios de elegibilidade da Taxonomia do Climate Bonds Initiative (CBI), como listado na Tabela 77. Se atestado por uma verificadora externa a partir de um parecer de segunda opinião independente (SPO, sigla em inglês), o projeto poderia captar recursos para sua construção e implementação via mercado de capitais, a partir da emissão de Debêntures, por exemplo, com lastro verde, social ou de sustentabilidade, dado seu impacto ambiental e social positivo. Títulos de dívida privada com lastro de impacto são atrativos para os investidores, que cada vez mais querem alocar seus recursos em empreendimentos que contribuem para a Agenda 2030. Importante destacar, no entanto, que apesar das características do projeto apontarem para esse caminho, em razão da disruptividade do modal de transporte proposto nunca antes existente no Brasil, a tipificação do projeto não está enquadrada em apenas uma categoria de projetos verdes.

Tabela 77 - Categorias Taxonomia do CBI-elegibilidade para emissão Título Verde

Setor	Categoria	Especificidade
Energia solar	Instalação de geração (energia e calor)	Instalação de geração fotovoltaica, desde que as instalações não tenham mais do que 15% da eletricidade gerada a partir de fontes renováveis não energéticas.
Transporte público de passageiros	Trens	Veículos para transporte público eletrificado, como ferrovias eletrificadas, bondes, trólebus.
	Infraestrutura	Infraestrutura dedicada para transporte público eletrificado.
Frete ferroviário/ transporte de carga	Trens	Transporte ferroviário de carga eletrificado.
	Infraestrutura	Infraestrutura dedicada para transporte ferroviário de carga eletrificado.
"Cross Cutting"		Tecnologia da informação que melhora a utilização de ativos, fluxo e transferência modal, independentemente do modo de transporte (informações de transporte público, esquemas de compartilhamento de carros, cartões inteligentes, sistemas de cobrança rodoviária, etc), mediante economias substanciais de emissões de GEE por passageiro/km ou tonelada/km.
		Terminais para melhorar os tempos de viagem, mediante economias substanciais de emissões de GEE por passageiro/km ou tonelada/km.
		Integração de transporte e planejamento de desenvolvimento urbano, mediante economias substanciais de emissões de GEE por passageiro/km ou tonelada/km.

Mediante cumprimento dos indicadores de triagem, que comprovariam a adequação do projeto para elegibilidade, e mediante a verificação externa com parecer de segunda opinião e a certificação

do CBI para lastro climático do Título de dívida, o HyperloopTT teria potencial se ser considerado um Projeto Verde que contribui para o desenvolvimento sustentável e mitigação das mudanças climáticas. Do ponto de vista do investidor, isso dá maior incentivo e segurança na alocação dos recursos.

Além disso, o projeto da HyperloopTT está alinhado com os Objetivos do Desenvolvimento número 9 – Indústria, Inovação e Infraestrutura, 11 – Cidades e Comunidades Sustentáveis e 13 – Ação Contra a Mudança Global do Clima. Também o está com o framework “Não perca esse bond”, da Sitawi, que o coloca como um projeto com potencialidade de contribuir sistematicamente e no longo prazo para uma economia de baixo carbono, limitando o aquecimento global a uma temperatura de 1,5°C. Isso, mais uma vez, reflete sua importância para direcionar a infraestrutura de transporte brasileira para uma trajetória de baixo carbono e inovação.



9. Análise Financeira

Nesta seção a análise financeira do projeto é realizada com o objetivo de compreender a viabilidade do projeto do ponto de vista da empresa realizadora. As receitas e os custos envolvidos ao longo do projeto são dispostos no tempo por meio de uma análise financeira completa, ou seja, fazendo-se uso de demonstrativo de resultados, balanço e fluxo de caixa. Nesta análise foram considerados impostos sobre as receitas e sobre o lucro, a possibilidade de compensação do prejuízo acumulado no valor de 30% do LAIR (Lucro Antes do Imposto de Renda) e a depreciação linear de 100% do CapEx em 25 anos. Optou-se por desenvolver um modelo com valores reais, portanto valores não sujeitos a inflação, como a depreciação, foram deflacionados e os demais foram mantidos com a parcela real. Utilizou-se inflação de 3% a.a. por todo o período.

Nesta análise considerou-se que não são realizados quaisquer tipos de financiamento. Por conta disso as análises são conservadoras, uma vez que utilização de capital de terceiros tende a reduzir o custo médio ponderado de capital. O custo de capital utilizado é de 3%, representando a taxa mínima de atratividade para o projeto.

Assim como na avaliação econômica, primeiramente são evidenciados as receitas e os custos, e então é apresentado o fluxo de caixa financeiro junto dos indicadores, TIR, VPL, payback e R/D. Uma análise de sensibilidade dos principais drivers também é incluída.

9.1. Receita

A receita deste projeto pode ser separada em duas: operacionais e não operacional. As receitas operacionais se referem às receitas diretamente associadas ao sistema HyperloopTT, e incluem receita de passageiros, carga, traslados médicos por meio de cápsulas especializadas, serviço de bordo, publicidade e direito de passagem. Como comentado anteriormente, para que a análise fique a favor da segurança não foram consideradas vendas de energia.

As receitas não-operacionais, por sua vez, correspondem a negócios imobiliários aos quais a HyperloopTT TT poderá participar como fonte complementar de receita e à receita advinda do aluguel de espaços nas estações. Nas sub-seções a seguir cada um destes núcleos de receita são apresentados com maior detalhe.

9.1.1. Receita operacional

A receita de fontes operacionais está relacionada principalmente à cobrança de serviços em:

- Passageiros
- Carga
- Serviços de saúde (ambulância UTI)
- Publicidade e propaganda
- Parcerias imobiliárias
- Comércio em estações
- Serviços de turismo

9.1.1.1. Passageiros

A receita de passageiros é a principal receita dentro deste projeto, correspondendo a mais de 50% da receita total. A receita de passageiros foi segregada em quatro categorias distintas, sendo elas:

- Normais,
- Induzida,
- Turistas vindos do aeroporto de Porto Alegre e
- Derivada da valorização imobiliária.

Normais

Esta categoria se refere à receita advinda de passageiros que já realizam viagens no trajeto e passarão a utilizar o HyperloopTT. Para o cálculo foi considerado, para cada par O-D, o modal share do HyperloopTT, a demanda anual e o valor ótimo da passagem. Uma vez que a pesquisa de preferência declarada apontou diferença no modal share entre viagens feitas a lazer e a outros fins, considerou-se como modal share de cada par O-D a média entre o valor de modal share a lazer e a outros fins ponderada pelo número de respondentes de cada uma delas. Portanto, a receita da categoria Normais é calculada por:

$$\text{Receita}_{\text{Normais}} = \text{Modal share} * \text{Demanda} * \text{Passagem}$$

(17)

Induzida

Refere-se a receita de passageiros que passarão a realizar viagens ou realizarão mais viagens por conta do advento do HyperloopTT. O valor encontrado na pesquisa de demanda induzida se refere ao percentual de passageiros totais (Normais + Induzida) que se originarão de demanda induzida. Portanto a demanda induzida é calculada por:

$$\text{Receita}_{\text{Induzida}} = \text{Receita}^{\text{Normais}} * \% \text{ Demanda Induzida}$$

(18)

Turistas vindos do aeroporto de Porto Alegre

Esta categoria se refere a uma análise específica voltada aos turistas que desembarcam em Porto Alegre com destino a Gramado. Como a pesquisa de preferência declarada foi feita apenas com residentes, a demanda projetada destes turistas foi multiplicada pelo modal share do par O-D Porto Alegre – Gramado a fins de lazer acrescida de 20 pontos percentuais. A receita desta categoria se dá por:

$$\text{Receita}_{\text{AeroPOA}} = (\text{Modal share}_{(\text{POA-GRA}, \text{lazer})} + 20\%) * \text{Demanda} * \text{Passagem}$$

(19)

Derivados da valorização imobiliária

Demanda de passageiros gerada por novos moradores na região por conta do advento do HyperloopTT. Considerou-se que esta demanda será de 3% da soma das demais demandas e crescerá 3 pontos percentuais por ano até o 10 ano, quando estabilizará em 30% da soma das demais demandas. Portanto a receita desta categoria se dá por:

$$\text{Receita}_{\text{Aero POA}} = \begin{cases} (3\% * \text{Ano de operação} * (\text{Receita}_{\text{Normais}} + \text{Receita}_{\text{Induzida}} + \text{Receita}_{\text{Aeroporto POA}}), \text{Ano de operação} \leq 10 \\ 30\% * (\text{Receita}_{\text{Normais}} + \text{Receita}_{\text{Induzida}} + \text{Receita}_{\text{Aeroporto POA}}), \text{Ano de operação} > 10 \end{cases}$$

(20)

Um resumo da demanda de passageiros, bem como da receita que cada um representa para o projeto é apresentada na tabela a seguir.

Tabela 78 – Resumo da demanda e receita de passageiros

	Viagens		Receita	
Total de viagens	424.707.620	100,0%	4.628.901.341	100,0%
Normais	241.042.120	56,8%	2.512.792.039	54,3%
Induzidas	56.828.139	13,4%	546.621.909	11,8%
Turistas do aeroporto POA	87.544.955	20,6%	1.099.836.014	23,8%
Derivados da valorização imobiliária	89.075.176	21,0%	1.050.619.278	22,7%

9.1.1.2. Carga

A receita de carga foi calculada a partir do modelo de escolha de carga apresentado nas seções anteriores. Para os fins das análises deste projeto, contudo, os valores foram ajustados para refletir um possível aumento de demanda por conta do prolongamento da pista do Aeroporto Salgado Filho, de Porto Alegre, que permitirá que aviões maiores utilizem o aeroporto. Porta conta disto os valores apresentados anteriormente foram acrescidos em 100%, com base na expectativa de profissionais do setor de logística.

9.1.1.3. Serviços de saúde (ambulância UTI)

A crise do COVID-19 criou circunstâncias sem precedentes que forçaram todas as operadoras de meios de transporte a mudar e adaptar suas operações. Para auxiliar a equipe médica na luta contra o coronavírus, as ferrovias, por exemplo, buscam soluções extraordinárias como a conversão de trens de alta velocidade em hospitais móveis (O’SULLIVAN, 2020; ZASIADKO, 2020).

Na França, os trens TGV foram convertidos em um hospital móvel durante a pandemia de Covid-19. O serviço de alta velocidade está sendo usado para transportar pacientes com coronavírus de áreas fortemente impactadas. A esperança era aliviar a pressão sobre os hospitais nas regiões orientais. Cada carruagem pode acomodar quatro pacientes e tem uma equipe médica.

O número de viagens por veículos de emergência não está facilmente disponível. Algumas informações sobre os serviços públicos podem ser obtidas no SAMU – Serviço de Atendimento Móvel de Urgência, conforme tabela a seguir.

Tabela 79 – Atendimento de emergência pelo SAMU na RMPA

Transportes SAMU regulados pela Central estadual de urgências - CRU/SAMU/RS (Origem-destino; 2018 - 2020)			
HYPER area / POA - CANOAS	1152	655	497
NH / POA - CANOAS	183	151	32
TOTAL	1335		

Por um período de dois anos, o número total de viagens de ambulância é de 1.335, o que significa uma média de 667 por ano. É importante enfatizar que se trata de dados de emergência regulamentados. Aqui estão os serviços privados cujos dados não estão disponíveis.

Quando questionados sobre o número de viagens de emergência privadas, os especialistas consultados pelo projeto sugerem que 30% das movimentações de emergência são feitas por ambulâncias privadas. Assim, o número total de viagens na região é estimado em 867 viagens. A disponibilidade de serviços médicos HyperloopTT pode induzir tais viagens.

Na ausência de mais informações, presume-se que um extra de 80%, o que significa um número total de 1560 viagens de emergência por ano. O valor de receita considerado para cada uma das viagens é de USD 525.

9.1.1.4. Publicidade e propaganda

As vendas de passagens constituem a maior fonte de receita, que as operadoras podem maximizar ainda mais ao adotar estratégias de gerenciamento de rendimento usadas por companhias aéreas e hotéis – segmentando o mercado e oferecendo produtos diferentes para clientes diferentes – entre os quais:

- Classes de viagens;
- Assento reservado ou não reservado;
- Flexibilidade de passagens;
- Passes mensais e outros serviços de valor agregado; e
- Programas de fidelidade.

Os operadores HyperloopTT também podem ser criativos na geração de receita fora do pico, como a promoção de pacotes turísticos fora do pico.

O HyperloopTT também deve buscar gerar receita por meio do fornecimento de serviços auxiliares adicionais. Os exemplos incluem:

- Parcerias com serviços de transporte, viagens e hospitalidade (ou seja, locadoras de veículos, serviços de táxi, hotéis e muito mais) para capturar uma maior porcentagem dos gastos com viagens de turistas e empresas.

- Em Gramado, por exemplo, importante destino turístico, o aluguel de carro elétrico é uma grande oportunidade absolutamente integrada ao meio social.
- Parcerias comerciais. Transport for London, por exemplo, recebe receitas e benefícios de até US \$ 10 milhões por ano por meio de seu contrato para distribuir o jornal Metro em sua rede de ônibus e ferrovia).

Entre as várias opções para receitas de não passageiros incluem:

- Desenvolver o terminal como atração / destino por direito próprio. A Estação Internacional St. Pancras do Eurostar em Londres é o principal exemplo de uma estação movimentada e animada que se tornou um centro cultural e artístico, o que atrai ainda mais empresas com empresas multinacionais que mudam seus escritórios para a área.
- Receitas de publicidade. Veja a estação de Nogizaka em Tóquio, por exemplo. Ele usa o corrimão nas escadas como meio de propaganda, usando um conceito conhecido como “Info-ride” para exibir informações sobre lojas e atrações da área.

Outros exemplos no Brasil incluem concessionárias de transporte que estão lucrando cada vez mais com as receitas acessórias de seus negócios. Nos metrô, aeroportos e rodovias, a arrecadação de taxas, tarifas e pedágios continua sendo a principal fonte de receita. No entanto, a exploração de espaços para publicidade e áreas para comércio e serviços começa a ganhar espaço em receita e é um campo promissor.

Na Companhia do Metrô de São Paulo, por exemplo, as receitas não tarifárias já correspondem a cerca de 10% das tarifas. Essa participação relevante se deve à movimentação de 1 bilhão de passageiros que percorrem os espaços das 61 estações do Metrô de São Paulo por ano. As áreas são concedidas para divulgação e exploração comercial de lojas e shoppings adjacentes, além do licenciamento da marca para venda de produtos e lembranças. A principal fonte de receita não tarifária vem do segmento imobiliário, que representa 46% dessa receita, com destaque para shopping centers e terminais rodoviários adjacentes.

Na área do Metrô, principalmente na Linha 4 Amarela de São Paulo, o percentual da receita comercial chega a 7% da receita total. Do total da receita de acessórios, 66% são provenientes de publicidade e promoções e o outro terço é proveniente de varejo, alimentação e serviços (ANP TRILHOS, 2016).

Nas rodovias federais, o percentual varia entre 2% a 2,5%. O que mais contribui para a receita comercial nas rodovias é a faixa de servidão da fibra óptica na faixa de domínio da rodovia. Neste estudo, considerou-se que a receita de publicidade é de 5% da receita de passageiros.

9.1.1.5. Serviços de turismo

Na ausência de estatísticas específicas para o corredor turístico Grande Porto Alegre - Serra Gaúcha, o Rio Grande do Sul estimou o fluxo turístico desse corredor por meio da oferta do UH - Unidade hoteleira dos meios de hospedagem nos municípios das quatro microrregiões turísticas. São 27 cidades ao todo, algumas das quais integram o Corredor Turístico. O procedimento para a estimativa dos turistas que chegam a gramado é apresentado a seguir, começando com a Tabela 80.

Tabela 80 - Meios, Unidades hoteleiras e Fluxo turístico de hospedagem

MICRO REGIÕES	MH	UH (ago/2013)	UH (dec/2012)	Fluxo Turístico (2012)	Participação do UH no estado
Rio Grande do Sul	1.256	45.800	44.100	3.815.913	100%
Somatório das Microrregiões	384	16.709	16.089	1.392.142	36,50%
Hortênsias	207	6.380	6.143	531.562	13,90%
Porto Alegre e Delta do Jacuí	121	9.329	8.983	777.263	20,40%
Campos de Cima da Serra	48	791	762	65.904	1,70%
Vale do Paranhana	8	209	201	17.413	0,50%

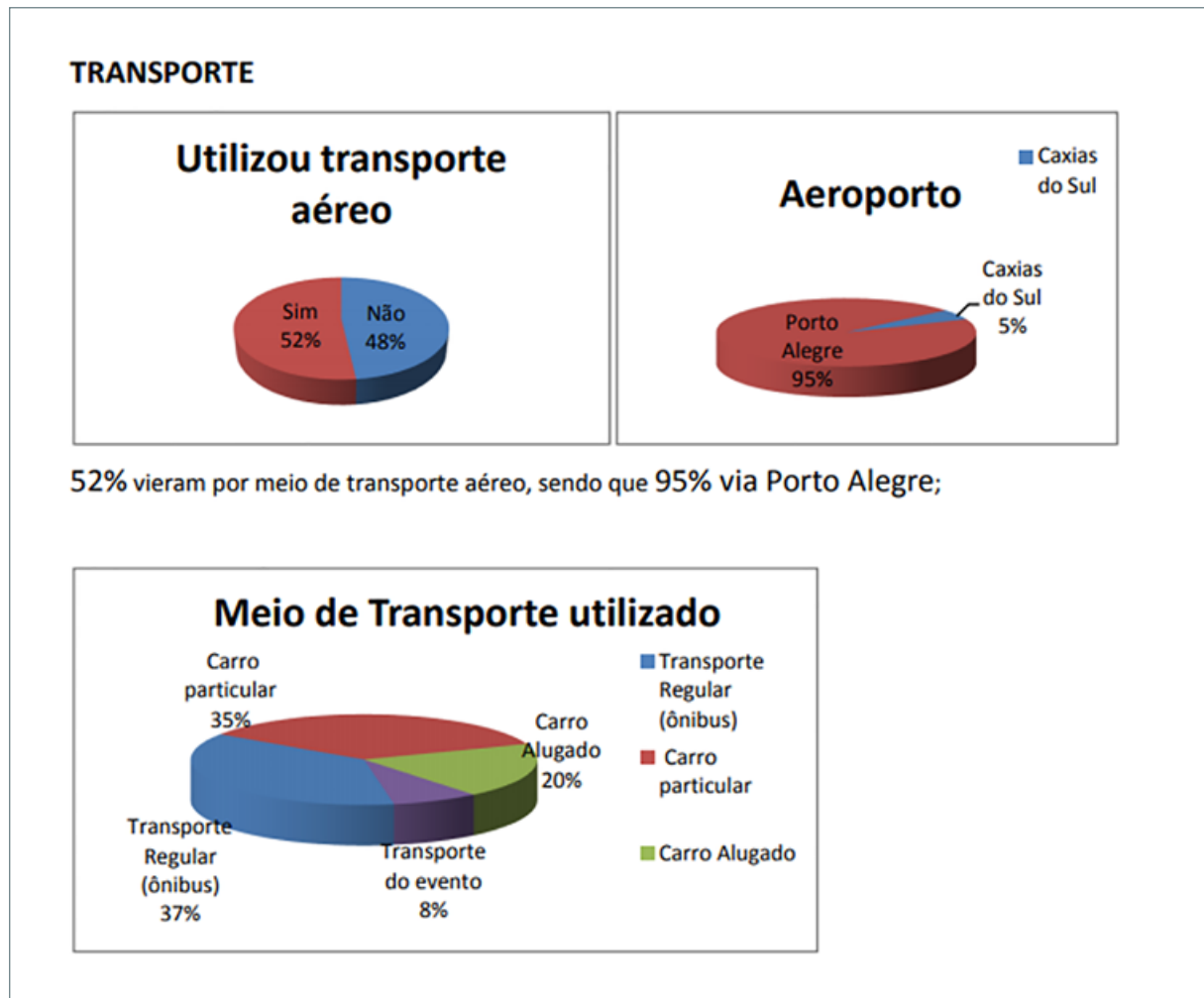
Significativa parte dos turistas que chegam aos municípios da Serra Gaúcha tem como origem de suas viagens outros estados, como apresentado na Tabela 81.

Tabela 81 - Origem dos turistas viajando à Serra Gaúcha

	Número turistas	Percentual
Rio Grande do Sul	1.235.385	39,5
Demais estados	1.891.765	60,5
Total	3.126.765	100

Fonte: SEBRAE (2009)

Desses, a maioria chega por via aérea, no aeroporto Salgado Filho, em Porto Alegre, e complementam a viagem com transfers, ônibus ou aluguel de automóveis. A Figura 119 apresenta a forma como os turistas chegaram a gramado e canela.



Fonte: Gramado e Canela Convention & Visitors Bureau (2016)
 Figura 119 – Meios de transporte dos turistas visitando a serra gaúcha

A partir da Figura 119 é possível identificar que a predominância das viagens por via aérea é através do aeroporto de Porto Alegre (95%), que corresponde a 52% do total de viagens.

As viagens turísticas, sejam elas com finalidade de congressos ou lazer, são predominantemente realizadas através de operadores turísticos, que contratam o meio mais eficiente para complementar a viagem aérea. Portanto, é razoável assumir que a maioria das viagens realizadas dessa forma venham a ser realizadas através do HyperloopTT em sua etapa final. No presente caso, estima-se que o Market share seja da ordem de 80%. Os restantes 20% utilizarão aluguel de automóveis e ônibus. A Tabela 82 apresenta a transformação desses percentuais em números de viajantes pelos vários modos.

Tabela 82 - Percentual de turistas utilizando o HyperloopTT

	Número turistas	Percentual	HyperloopTT (80% das viagens aéreas)
Rio Grande do Sul	1.235.385	39,5	
Demais estados	1.891.765	60,5	1.513.412
Total	3.126.765	100	1.513.412

9.1.2. Receita não operacional

A receita não operacional se refere a receitas desconexas ao fim específico do transporte de passageiros e carga do HyperloopTT. Neste sentido, estas receitas englobam parcerias imobiliárias que gerarão receitas para o projeto e o aluguel de espaços das estações.

9.1.2.1. Parcerias imobiliárias

O impacto da valorização imobiliária pode ser uma parte vital da receita do projeto. Por isso, é necessário explorar as áreas mais próximas das estações, onde a valorização seria maior, conforme apresentado no capítulo 8. Conforme mostra a Figura 120, Novo Hamburgo, e Caxias do Sul possuem maiores áreas propícias para exploração imobiliária. A cidade de Porto Alegre também possui áreas propícias, mas em menor proporção. Gramado, por sua vez, possui alta densidade urbana atual e terreno desafiador, o que limita o desenvolvimento de novos empreendimentos comerciais e residenciais.

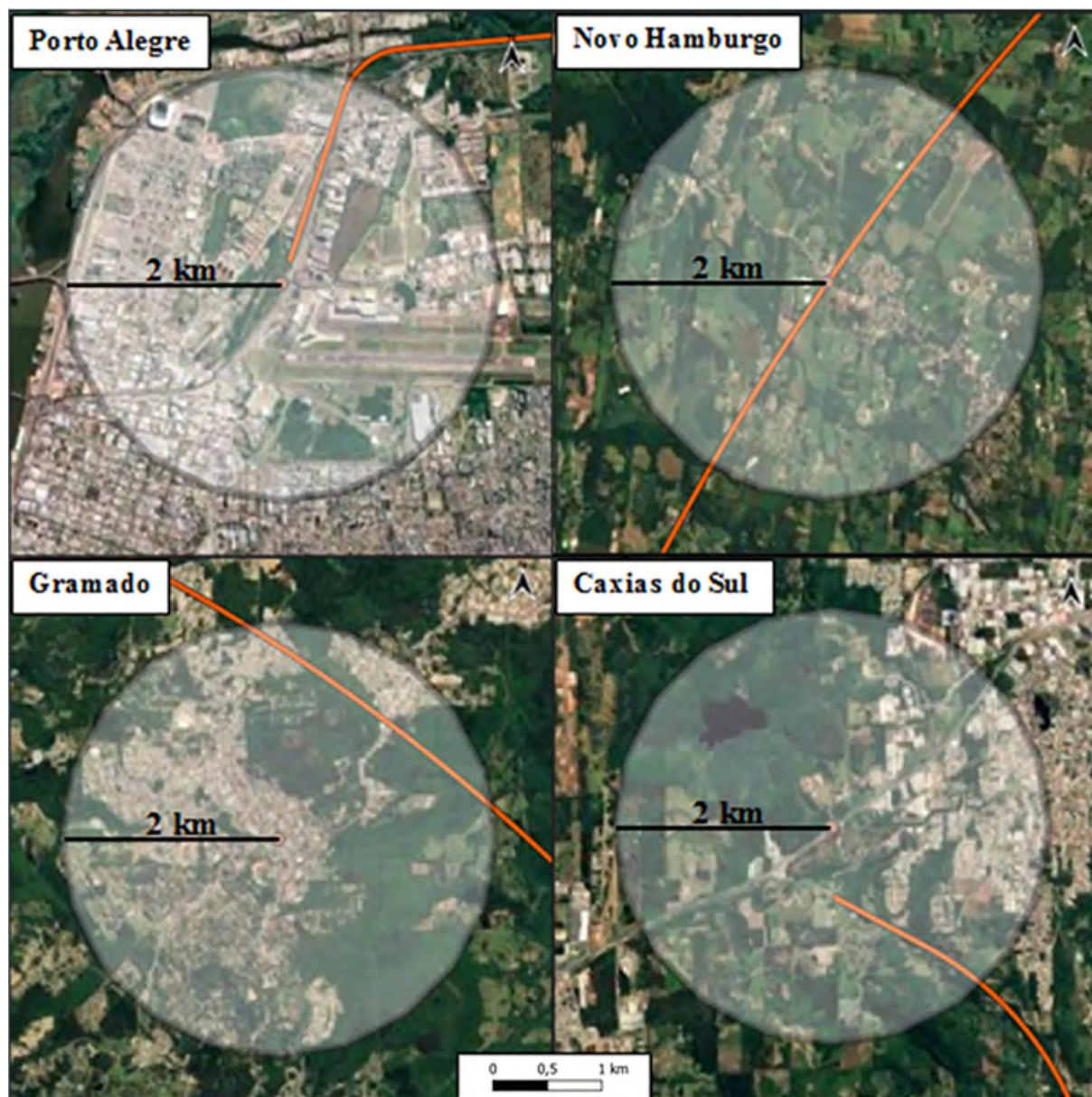


Figura 120 – Áreas de alto potencial imobiliário ao redor das estações

Para a presente análise, foi considerada a participação da HyperloopTT em 20% dos novos empreendimentos nas áreas com distância de até 2 km das estações. No entanto, tendo em vista as especificidades de cada estação, foram considerados diferentes aproveitamentos possíveis para novos empreendimentos, conforme discutido anteriormente. Como valores de referência, foi considerado 100% de aproveitamento para as áreas no entorno das estações de Novo Hamburgo e Caxias do Sul, 30% PARA Porto Alegre e nenhum aproveitamento para Gramado. Nesse sentido, a Tabela 83 apresenta as etapas para o cálculo do benefício financeiro possível da participação da HyperloopTT em 20% dos novos empreendimentos, a partir da área efetivamente disponível e valor de venda das propriedades.

Tabela 83 – Valores de propriedade de novos projetos imobiliários

	Porto Alegre	Novo Hamburgo	Caxias do Sul
Nova área (m ²) (100%)	3769911,18 (30%)	12566370,61	12566370,61
Área privativa disponível para construção (m ²) (65%)	2450442,27	8168140,899	8168140,899
Valor de venda da nova área (valor m ² x área) x taxa de valorização (5-7%)	R\$ 17.905.259.143,32	R\$ 35.737.495.106,99	R\$ 36.751.324.755,42
Participação da HyperloopTT em novos empreendimentos imobiliários (20%)	R\$ 3.581.051.828,66	R\$ 7.147.499.021,40	R\$ 7.350.264.951,08
Total		R\$ 18.078.815.801,14	
Total		USD 3.615.763.160,23	

Nesse sentido, o valor total esperado da participação da HyperloopTT em negócios imobiliários decorrentes do advento do sistema é de cerca de USD 3 bilhões, que foram distribuídos no tempo conforme tabela a seguir.

Tabela 84 – Receitas de parcerias imobiliárias

Período	3	4	5	6	7	8
Share	10%	15%	35%	20%	10%	10%
Receita	361.576.316	542.364.474	1.265.517.106	723.152.632	361.576.316	361.576.316

9.1.2.2. Aluguel de espaço nas estações

Como premissa deste estudo, as estações serão construídas e operadas pela HyperloopTT TT. Por conta disso, espera-se que as áreas internas das estações sejam locadas para viabilização de lojas, restaurantes e prestação de serviços. Considera-se para estas receitas que a área total de cada uma das quatro estações é de 20.000 m², a área locável corresponde a 35% da área total e o valor anual da locação e o valor da locação é de 600 USD/m² ao ano.

9.2 Custos

Os custos considerados no modelo de fluxo de caixa financeiro são os mesmos incorrem no modelo econômico (CapEx e OpEx), contudo também foram contabilizados impostos sobre a receita e o lucro. As alíquotas consideradas são apresentadas na tabela a seguir.

Tabela 85 – Alíquotas de impostos utilizados no modelo financeiro

Impostos sobre as receitas	14%
PIS	2%
COFINS	8%
ISS	5%
Impostos sobre o lucro	34%
CSLL	9%
IRPJ	25%
Impostos sobre o uso do solo	0,26%
IPTU	0,26%

Neste estudo considera-se que PIS e COFINS incidem sobre todas as fontes de receita operacional e não operacional, e que o ISS incide apenas sobre as receitas operacionais. IRPJ e CSLL incidem sobre o LAIR, contudo há possibilidade de compensação de prejuízos acumulados com um limite de 30% do LAIR do exercício. O IPTU incide sobre as áreas locadas e sobre as áreas adquiridas para construção do sistema.

9.3. Fluxo de caixa

O fluxo de caixa financeiro é calculado subtraindo-se os custos de CapEx, OpEx e os impostos das receitas operacionais e não operacionais. A figura a seguir apresenta uma visualização deste fluxo junto das receitas e os custos em valores nominais (não descontados).

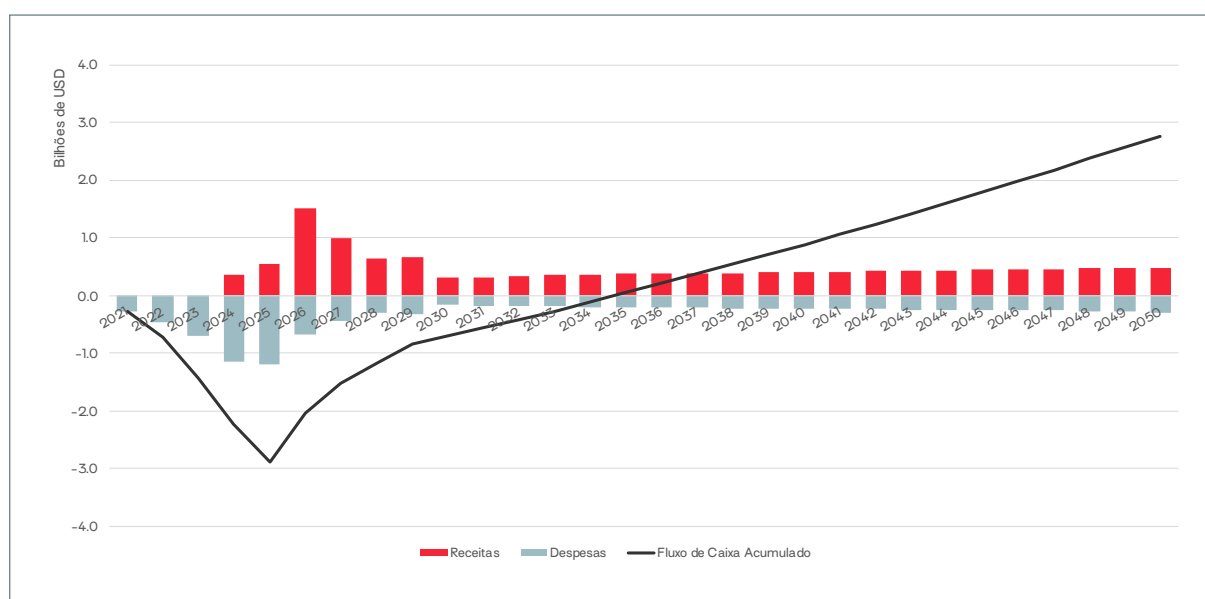


Figura 121 – Fluxo de caixa financeiro

Para tornar a análise mais apresenta-se na Tabela 86 um sumário do fluxo de caixa com as receitas e os custos detalhados, a soma simples dos valores projetados ao longo do período do projeto, o valor anual médio, o valor presente descontado a uma taxa de 3% a.a. e uma análise vertical dos resultados. O fluxo financeiro completo do projeto é apresentado no Apêndice I e o balanço, demonstrativo de resultados e demonstrativo do fluxo de caixa são apresentados nos Apêndices J e K.

Tabela 86 - Sumário do fluxo de caixa com receitas e custos detalhados

	Total	Média anual	VPL	VPL/Receita
Receita	13.150.805.968	438.360.199	8.774.893.315	100,0%
Operacional	9.115.042.807	303.834.760	5.425.495.738	61,8%
Passageiros (ida + volta)	7.777.341.819	259.244.727	4.628.901.341	52,8%
Carga	150.624.716	5.020.824	89.588.155	1,0%
Uso médico	20.475.000	682.500	12.671.041	0,1%
Serviço de bordo	388.867.091	12.962.236	231.445.067	2,6%
Publicidade	388.867.091	12.962.236	231.445.067	2,6%
Energia	0	0	0	0,0%
Direito de passagem	388.867.091	12.962.236	231.445.067	2,6%
Não-operacionais	4.035.763.160	134.525.439	3.349.397.577	38,2%
Negócios imobiliários	3.615.763.160	120.525.439	3.089.478.793	35,2%
Aluguel das estações	420.000.000	14.000.000	259.918.784	3,0%
Custos	-10.397.040.948	-346.568.032	-7.713.809.357	-87,9%
CapEx	-3.431.308.299	-114.376.943	-3.179.360.691	-36,2%
OpEx	-3.219.094.202	-107.303.140	-2.015.410.478	-23,0%
Impostos	-3.746.638.447	-124.887.948	-2.519.038.188	-28,7%
Fluxo de caixa	2.753.765.020	91.792.167	1.061.083.958	12,1%

Percebe-se que o modelo financeiro aponta para um VPL positivo. Para que a avaliação do projeto seja ainda mais precisa, este é adicionalmente avaliado com base na TIR, nos paybacks simples e descontado e na razão R/D. A seguinte tabela traz os valores destas métricas.

Tabela 87 – Resumo da avaliação financeira

TIR	6,62%
VPL (USD)	1.061.083.958
Payback	14,71
R/D (Valor Presente)	1,14

A TIR de 6,62% é superior a taxa mínima de atratividade de 3% e permite que o projeto seja aceito mesmo que prêmios de risco maiores sejam considerados. O payback e o R/D estão nos mesmos patamares de projetos de infraestrutura realizados por meio de concessões no Brasil.

9.4. Análise de sensibilidade

Pela análise vertical do fluxo de caixa financeiro fica evidente o que mais pode influenciar o projeto são a receita de passageiros, os investimentos iniciais em infraestrutura e os negócios imobiliários decorrentes do advento do HyperloopTT na região. Por conta disso, apresenta-se na tabela a seguir análises de sensibilidade de variação da demanda em função da variação do custo da passagem, do valor dos negócios imobiliários e dos investimentos iniciais.

Tabela 88 – Análise de sensibilidade da TIR financeira

	Demanda					
		-20%	-10%	0	10%	20%
Passagem	-20%	3,7%	4,3%	4,8%	5,3%	5,8%
	-10%	4,6%	5,2%	5,8%	6,3%	6,8%
	0	5,5%	6,1%	6,6%	7,2%	7,7%
	10%	6,2%	6,8%	7,4%	8,0%	8,5%
	20%	6,9%	7,6%	8,2%	8,7%	9,3%

	Demanda					
		-20%	-10%	0	10%	20%
Negócios imobiliários	-20%	4,0%	4,7%	5,2%	5,8%	6,3%
	-10%	4,7%	5,3%	5,9%	6,4%	6,9%
	0	5,5%	6,1%	6,6%	7,2%	7,7%
	10%	6,2%	6,8%	7,4%	7,9%	8,4%
	20%	7,0%	7,6%	8,2%	8,7%	9,2%

	Demanda					
		-20%	-10%	0	10%	20%
Investimento em infraestrutura	-20%	8,5%	9,1%	9,7%	10,3%	10,9%
	-10%	6,8%	7,4%	8,0%	8,6%	9,1%
	0	5,5%	6,1%	6,6%	7,2%	7,7%
	10%	4,4%	4,9%	5,5%	6,0%	6,5%
	20%	3,4%	4,0%	4,5%	5,0%	5,5%

Apesar de variações de 20% terem sido aplicadas na análise de sensibilidade, a pior combinação gerou uma TIR de 3,4%, ainda superior ao custo de capital requerido de 3%. Cenários mais otimistas, por sua vez, indicam retornos superiores a 10%, valores excelentes para projetos de infraestrutura como este. Adicionalmente, realizou-se a análise de um cenário onde não há receitas de participações em negócios imobiliários. Os resultados são apresentados a seguir.

Tabela 89 – Análise de sensibilidade sem negócios imobiliários

	Demanda					
		-20%	-10%	0	10%	20%
Passagem	-20%	-1,9%	-1,3%	-0,8%	-0,2%	0,2%
	-10%	-1,0%	-0,4%	0,2%	0,7%	1,2%
	0	-0,1%	0,5%	1,1%	1,6%	2,1%
	10%	0,7%	1,3%	1,8%	2,4%	2,9%
	20%	1,4%	2,0%	2,5%	3,1%	3,6%

	Demanda					
		-20%	-10%	0	10%	20%
Investimento em infraestrutura	-20%	1,0%	1,7%	2,3%	2,9%	3,4%
	-10%	0,4%	1,1%	1,6%	2,2%	2,7%
	0	-0,1%	0,5%	1,1%	1,6%	2,1%
	10%	-0,6%	0,0%	0,6%	1,1%	1,5%
	20%	-1,0%	-0,4%	0,1%	0,6%	1,1%

Observa-se que sem os negócios imobiliários a TIR do projeto é igual a 1,1%, inferior a taxa mínima de atratividade. Esta análise evidencia a importância destas receitas.

10. Consolidação dos resultados do estudo

Diante do exposto na presente análise, ficam demonstradas as amplas possibilidades de viabilidade econômica e financeira da implantação do projeto HyperloopTT na rota Porto Alegre – Serra Gaúcha. Essa viabilidade se dá pelo fato dos benefícios a serem auferidos pela sociedade compensarem largamente os investimentos necessários para sua implantação. A Tabela 90 sintetiza os principais benefícios para a sociedade a partir da implantação do projeto.

Tabela 90 – Síntese dos principais benefícios para a sociedade

Benefícios		
Empregos	Valor	Período
Empregos – Infraestrutura	50.071	p/ano em 5 anos
Empregos – Diretos/Indiretos e efeito renda	9.018	p/ano em 30 anos
Empregos – Energia Solar	2.077	p/ano em 30 anos
Tempo [dias equivalentes]	1.769.080	em 30 anos
Acidentes evitados	1.922	em 30 anos
Mortes	67	em 30 anos
Feridos	1.203	em 30 anos
Apenas danos materiais	651	em 30 anos
Emissões [ton]	94.990	em 30 anos
Custos operacionais [BRL]	2.289.659.205	em 30 anos
Valorização imobiliária [BRL]	27.377.633.898	em 6 anos
Sobra de energia potencial [kWh]	265.713.046	por ano
(+) Produção potencial [kWh]	339.074.908	por ano
(-) Consumo [kWh]	73.361.862	por ano

A Tabela 91, por sua vez, apresenta a arrecadação com impostos municipais, através do ISS, que poderão ser utilizados em outros investimentos sociais que visem aumentar a qualidade de vida da população.

Tabela 91 – Valor do ISS a ser recolhido por município no período do projeto

Município	Rateio	ISS [R\$]
	100,0%	1.271.689.042
Caxias do Sul	15,3%	194.011.472
Nova Petrópolis	13,1%	167.212.964
Três Coroas	8,6%	109.251.118
Parobé	8,3%	105.553.667
Gramado	8,2%	104.429.061
Novo Hamburgo	7,9%	100.956.748
Igrejinha	6,1%	77.983.306
Canela	5,6%	70.900.723
Cachoeirinha	5,2%	65.760.356
Sapucaia do Sul	5,0%	63.819.912
Porto Alegre	4,6%	58.549.973
Sapiranga	3,5%	45.004.097
Araricá	3,5%	43.886.291
São Leopoldo	2,3%	28.620.511
Canoas	1,9%	24.308.144
Campo Bom	0,6%	7.801.125
Esteio	0,3%	3.639.573

Além do ISS, haverá também a incidência de outros impostos, como PIS, COFINS, IR e CSLL, que significam reforços nos cofres públicos para investimentos em projetos para aumentar o bem-estar econômico e social da população. A Tabela 92 sintetiza os valores estimados.

Tabela 92 – Valor de impostos a serem recolhidos no período do projeto [US\$]

Total	2.231.860.222
PIS	118.193.727
COFINS	490.418.966
ISS	254.337.808
IR	1.006.551.265
CSLL	362.358.455

A comparação entre benefícios auferidos pela sociedade e custos para a implantação do HyperloopTT fortemente recomenda sua implementação. O respaldo para essa afirmação é dado pelos indicadores econômicos calculados a partir do fluxo de caixa do projeto, onde se ressalta a

Taxa Interna de Retorno (TIR), substancialmente superior ao custo de oportunidade adotado e o expressivo valor Presente Líquido (VPL) positivo.

Da mesma forma, a análise de sensibilidade efetuada com o intuito de avaliar o impacto de possíveis interferências futuras de fatores exógenos, de natureza conjuntural ou mesmo estrutural, e de difícil antecipação, mas que possam vir a interferir nos valores projetados para os benefícios a serem auferidos pelo projeto, bem como nos custos, apenas deu maior confiabilidade aos resultados alcançados.

Em vista de todos esses elementos, a conclusão do presente estudo de pré-viabilidade é que, tanto do ponto de vista da avaliação socioeconômica, quanto da avaliação financeira, o projeto de implantação da HyperloopTT na rota Porto Alegre – Serra Gaúcha apresenta-se viável, devendo ser empreendido.

A forte recomendação de imediata implantação deve-se não apenas pelas condicionantes econômicas e financeiras nitidamente favoráveis apresentadas pelo projeto, como também pelas fortes características de quebra de paradigmas, de inovação e ambientais, energia limpa e renovável, assim como o potencial de geração de atividades econômicas e de renda.



11. Referências

AASHTO. **Highway safety manual**. 1st eded. Washington, D.C: American Association of State Highway and Transportation Officials, 2010.

ANA. **Base Hidrográfica Ottocodificada (BHO) 2. Sistema Nacional de Informações sobre Recursos Hídricos (SNIRH)**. Brasília: [s. n.], 2015.

ANEEL. **Sistema de Informações Georreferenciadas do Setor Elétrico**. Concessão: 2017.

ANP TRILHOS. **Receita acessória aumenta ganho das concessionárias**. [S. l.], 2016. Available at: <https://anptrilhos.org.br/receita-acessoria-aumenta-ganho-das-concessionarias/>. Acesso em: 12 jul. 2021.

ANTONACCIO, L. *et al.* **Ensuring Greener Economic Growth for Brazil**. [S. l.: s. n.], 2018.

ANTT. **COEFICIENTES DOS PISOS MÍNIMOS DE TRANSPORTE RODOVIÁRIO DE CARGA**. [S. l.: s. n.], 2020.

AUDRETSCH, D. B. *et al.* Entrepreneurial ecosystems: economic, technological, and societal impacts. **The Journal of Technology Transfer**, [s. l.], v. 44, n. 2, p. 313–325, 2019. Available at: <https://doi.org/10.1007/s10961-018-9690-4>

BANCO CENTRAL. **Estatísticas**. [S. l.], 2021. Available at: <https://www.bcb.gov.br/estatisticas>. Acesso em: 5 jun. 2021.

BATOOL, I.; GOLDMANN, K. The role of public and private transport infrastructure capital in economic growth. Evidence from Pakistan. **Research in Transportation Economics**, [s. l.], n. July 2019, p. 100886, 2020. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.retrec.2020.100886>

BEN-AKIVA, M.; LERMAN, S. R. **Discrete Choice Analysis: Theory and Application to Travel Demand**. [S. l.]: MIT Press, 1985.

BEYER, S. **7 Reasons U.S. Infrastructure Projects Cost Way More Than They Should**. [S. l.], 2014. Available at: <https://www.bloomberg.com/news/articles/2014-04-07/7-reasons-u-s-infrastructure-projects-cost-way-more-than-they-should>. Acesso em: 18 jul. 2021.

BORTOT, A. C. B. **Estudo da valorização de áreas urbanas no entorno de Instituições de Ensino Superior: Um modelo multicritério de apoio à decisão**. 2019. – Universidade Federal de Itajubá, [s. l.], 2019.

BURDZIK, R.; CIESLA, M.; SŁADKOWSKI, A. Cargo loading and unloading efficiency analysis in multimodal transport. **Promet - Traffic - Traffico**, [s. l.], v. 26, n. 4, p. 323–331, 2014. Available at: <https://doi.org/10.7307/ptt.v26i4.1356>

CALDERÓN, C.; MORAL-BENITO, E.; SERVÉN, L. Is infrastructure capital productive? A dynamic heterogeneous approach. **Journal of Applied Econometrics**, [s. l.], v. 30, n. 2, p. 177–198, 2015. Available at: <https://doi.org/10.1002/jae.2373>

CAMERON, A. C.; TRIVEDI, P. K. Regression-based tests for overdispersion in the Poisson model. **Journal of Econometrics**, [s. l.], v. 46, n. 3, p. 347–364, 1990. Available at: [https://doi.org/10.1016/0304-4076\(90\)90014-K](https://doi.org/10.1016/0304-4076(90)90014-K)

CAO, X.; HANDY, S. L.; MOKHTARIAN, P. L. The Influences of the Built Environment and Residential Self-Selection on Pedestrian Behavior: Evidence from Austin, TX. **Transportation**, [s. l.], v. 33, n. 1, p. 1–20, 2006. Available at: <https://doi.org/10.1007/s11116-005-7027-2>

CBDS. **Transportes terão papel central no alcance das metas mitigatórias do brasil**. [S. l.], 2021. Available at: <http://cebds.org/cop22/transportes-terao-papel-central-no-alcance-das-metas-mitigatorias-do-brasil/>. Acesso em: 11 jun. 2021.

CBI. **Climate Bonds Standard Version 3.0**. [S. l.: s. n.], 2021. Available at: https://www.climatebonds.net/files/files/CBI_Taxonomy_Tables-2June21.pdf.

CBI. **Oportunidades de Investimento em Infraestrutura Verde, Brasil 2019**. [S. l.: s. n.], 2020. Available at: <https://www.climatebonds.net/resources/press-releases/2019/11/infraestrutura-verde-climate-bonds-initiative-lanca-relatorio-com>.

CHEN, H.; RUFOLLO, A.; DUEKER, K. Measuring the Impact of Light Rail Systems on Single Family Home Values: A Hedonic Approach with GIS Application. *In*: , 1997. **Anais [...]**. [S. l.: s. n.], 1997.

CHERCHI, E.; ORTÚZAR, J. de D. Mixed RP/SP models incorporating interaction effects. **Transportation**, [s. l.], v. 29, n. 4, p. 371–395, 2002. Available at: <https://doi.org/10.1023/A:1016307308723>

CHOICE METRICS. **Ngene 1.1.2 User Manual & Reference Guide**. [S. l.: s. n.], 2014.

COHEN, J. P.; BROWN, M. The effect of international airports on commercial property values: Case studies of Toronto, Ontario, Canada and Vancouver, BC, Canada. **Advances in Airline Economics**, [s. l.], v. 6, p. 313–333, 2017. Available at: <https://doi.org/10.1108/S2212-160920170000006012>

COMMISSARIAT GÉNÉRAL DU PLAN. **Transportation: Choice of investments and the cost of nuisances**. Paris: [s. n.], 2001.

CPI. **Quilombolas no Brasil**. [S. l.: s. n.], 2021. Available at: <https://cpisp.org.br/direitosquilombolas/observatorio-terras-quilombolas/quilombolas-brasil/>. Acesso em: 16 jul. 2021.

CUNNINGHAM, J. A.; MENTER, M.; O’KANE, C. Value creation in the quadruple helix: a micro level conceptual model of principal investigators as value creators. **R&D Management**, [s. l.], v. 48, n. 1, p. 136–147, 2018. Available at: <https://doi.org/10.1111/radm.12310>

DE JONG, G. *et al.* The logsum as an evaluation measure: Review of the literature and new results. **Transportation Research Part A: Policy and Practice**, [s. l.], v. 41, n. 9 SPEC. ISS., p. 874–889,

2007. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.tra.2006.10.002>

DEBREZION, G.; PELS, E.; RIETVELD, P. The impact of railway stations on residential and commercial property value: A meta-analysis. **Journal of Real Estate Finance and Economics**, [s. l.], v. 35, n. 2, p. 161–180, 2007. Available at: <https://doi.org/10.1007/s11146-007-9032-z>

DEMSAS, J. **Why does it cost so much to build things in America?**. [S. l.], 2021. Available at: <https://www.vox.com/22534714/rail-roads-infrastructure-costs-america>. Acesso em: 18 jul. 2021.

DEPARTMENT FOR TRANSPORT. **Latest evidence on induced travel demand: an evidence review**. [S. l.: s. n.], 2018.

DNIT. **Mapas e Bases dos Modos de Transportes**. [S. l.: s. n.], 2018. Available at: <https://www.gov.br/infraestrutura/pt-br/assuntos/dados-de-transportes/bit/bitmodosmapas>. Acesso em: 7 jun. 2021.

DOMENCICH, T.; MCFADDEN, D. **Urban Travel Demand. A behavioral analysis**. Amsterdam: North Holland Publishing Company, 1975.

DUEKER, K. J.; BIANCO, M. J. Light-Rail-Transit Impacts in Portland: The First Ten Years. **Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board**, [s. l.], v. 1685, n. 1, p. 171–180, 1999. Available at: <https://doi.org/10.3141/1685-22>

DUNCAN, M. Comparing Rail Transit Capitalization Benefits for Single-Family and Condominium Units in San Diego, California. **Transportation Research Record**, [s. l.], v. 2067, n. 1, p. 120–130, 2008. Available at: <https://doi.org/10.3141/2067-14>

ELBURZ, Z.; NIJKAMP, P.; PELS, E. Public infrastructure and regional growth: Lessons from meta-analysis. **Journal of Transport Geography**, [s. l.], v. 58, p. 1–8, 2017. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.jtrangeo.2016.10.013>

ELVIK, R. **The handbook of road safety measures**. 2. ed. Bingley, UK: Emerald, 2009.

EPL. **Metodologia EPL-IEEMA para emissões de GEE e poluentes locais**. [S. l.: s. n.], 2021. Available at: <https://www.epl.gov.br/greenbonds>.

EPL. **SIMULADOR DE CUSTO DE TRANSPORTE - RODOVIÁRIO**. [S. l.], 2018.

FGV. **Carga tributária no Brasil: 1990–2020**. [S. l.: s. n.], 2021.

FOCUS ECONOMICS. **Brazil econom data**. [S. l.], 2021. Available at: <https://www.focus-economics.com/countries/brazil>. Acesso em: 10 jun. 2021.

FOSTER, V.; MOURATO, S. Testing for Consistency in Contingent Ranking Experiments. **Journal of Environmental Economics and Management**, [s. l.], v. 44, n. 2, p. 309–328, 2002. Available at: <https://doi.org/10.1006/jeem.2001.1203>

FUNAI. **Terras Indígenas**. Brasília: [s. n.], 2020. Available at: <http://www.funai.gov.br/index.php/indios-no-brasil/terras-indigenas>. Acesso em: 15 jul. 2021.

GARGIULO, C.; CIUTIIS, F. De. Urban Transformation and Property Value Variation. The Role of HS Stations. **TeMA - Journal of Land Use, Mobility and Environment**, [s. l.], v. 2, n. 0 SE-Applications, 2010. Available at: <https://doi.org/10.6092/1970-9870/124>

GENG, B.; BAO, H.; LIANG, Y. A study of the effect of a high-speed rail station on spatial variations in housing price based on the hedonic model. **Habitat International**, [s. l.], v. 49, p. 333–339, 2015. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.habitatint.2015.06.005>

GEURS, K. T. *et al.* Accessibility appraisal of land-use/transport policy strategies: More than just adding up travel-time savings. **Transportation Research Part D-Transport and Environment**, [s. l.], v. 15, n. 7, p. 382–393, 2010. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.trd.2010.04.006>

GIVONI, M.; DOBRUSZKES, F. A Review of Ex-Post Evidence for Mode Substitution and Induced Demand Following the Introduction of High-Speed Rail. **Transport Reviews**, [s. l.], v. 33, n. 6, p. 720–742, 2013. Available at: <https://doi.org/10.1080/01441647.2013.853707>

GOSPODINI, A. Urban development, redevelopment and regeneration encouraged by transport infrastructure projects: The case study of 12 European cities. **European Planning Studies**, [s. l.], v. 13, n. 7, p. 1083–1111, 2005. Available at: <https://doi.org/10.1080/09654310500242121>

GRAMADO E CANELA CONVENTION & VISITORS BUREAU. **Estudo do Perfil do Turista de Eventos de Gramado e Canela foi realizado entre Abril e Novembro de 2016**. [S. l.: s. n.], 2016. Available at: <https://canela.rs.gov.br/wp-content/uploads/2017/11/Canela-Perfil-de-Turista-de-Eventos-2016.pdf>.

GREENE, W. H. **Econometric Analysis**. 5. ed. Upper Saddle River: Prentice Hall, 2002.

GTZ. **Desmitifying induced travel demand. Sustainable Urban Transport Technical Document**. [S. l.: s. n.], 2009.

GUNN, H. F. An Introduction to the Valuation of Travel-Time Savings and Losses. *In*: HANDBOOK OF TRANSPORT MODELLING. [S. l.: s. n.], 2000.

HALL, G. *et al.* **Brazil's Sustainable Infrastructure Market Assessment**. [S. l.: s. n.], 2020. Available at: <https://ukbrazilgreenfinanceprogramme.com/midia-conteudo?pagina=1&tipo=1>.

HANDY, S. L.; NIEMEIER, D. A. Measuring Accessibility: An Exploration of Issues and Alternatives. **Environment and Planning A: Economy and Space**, [s. l.], v. 29, n. 7, p. 1175–1194, 1997. Available at: <https://doi.org/10.1068/a291175>

HAYNES, K. E. Labor markets and regional transportation improvements: the case of high-speed trains. **The Annals of Regional Science**, [s. l.], v. 31, n. 1, p. 57–76, 1997. Available at: <https://doi.org/10.1007/s001680050039>

HENSHER, D. A. Measurement of the Valuation of Travel Time Savings. **Journal of Transport Economics and Policy**, [s. l.], v. 35, n. 1, p. 71–98, 2001. Available at: <http://www.jstor.org/stable/20053859>

HENSHER, D.; LI, Z.; MULLEY, C. The impact of high speed rail on land and property values: A review of market monitoring evidence from eight countries. **Road & Transport Research**, [s. l.], v. 21, p. 3, 2012.

HESS, S; PALMA, D. **Apollo version 0.1.0, user manual**. [S. l.: s. n.], 2019. Available at: www.ApolloChoiceModelling.com

HESS, Stephane; PALMA, D. Apollo: A flexible, powerful and customisable freeware package for choice model estimation and application. **Journal of Choice Modelling**, [s. l.], v. 32, p. 100170, 2019. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.jocm.2019.100170>

HORNER, M. W.; N, M. J. GIS-Based Strategies for Measuring Worker Accessibility to Job Opportunities: The Case of Bus Transit. In: , 2005, Washington DC. **Transportation Research Board**. Washington DC: [s. n.], 2005.

HYDE, D. J.; BARR, L. C.; TAYLOR, C. **HyperloopTT Commercial Feasibility Analysis : High Level Overview**. [S. l.: s. n.], 2016. Available at: <https://rosap.nrl.bts.gov/view/dot/12308>

IBGE. **Áreas Territoriais**. [S. l.: s. n.], 2021. Available at: <https://www.ibge.gov.br/geociencias/organizacao-do-territorio/estrutura-territorial/15761-areas-dos-municipios.html?=&t=o-que-e>. Acesso em: 10 jul. 2021.

IDB. **What is Sustainable Infrastructure? A Framework to Guide Sustainability Across the Project Cycle**. Washington, D.C.: [s. n.], 2018. Available at: <https://doi.org/10.18235/0001043>.

IPEA. **Custos dos acidentes de trânsito no Brasil: estimativa simplificada com base na atualização das pesquisas do ipea sobre custos de acidentes nos aglomerados urbanos e rodovias**. Rio de Janeiro, RJ: [s. n.], 2020.

IPEA. **Impactos sociais e econômicos dos acidentes de trânsito nas rodovias brasileiras – Relatório Executivo**. Brasília: [s. n.], 2006.

IRENA. **Renewable energy statistics 2016**. [S. l.: s. n.], 2016. Available at: <https://www.irena.org/publications/2016/Jul/Renewable-Energy-Statistics-2016>.

IT TRANSPORT. **The Value of Time in Least Developed Countries**. [S. l.: s. n.], 2002. Available at: www.transport-links.org/transport_links.

ITF. **Quantifying the Socio-economic Benefits of Transport**. [S. l.]: OECD, 2017. (ITF Roundtable Reports). Available at: <https://doi.org/10.1787/9789282108093-en>

KLEIN, F. C.; PARREIRA, A. B.; FERNANDES JÚNIOR, J. L. Avaliação dos custos de operação dos veículos e dos tempos de viagem em função da geometria das rodovias. **Minerva**, [s. l.], v. 3(2), n.

223–233, 2011.

KOUWENHOVEN, M. *et al.* New values of time and reliability in passenger transport in The Netherlands. **Research in Transportation Economics**, [s. l.], v. 47, p. 37–49, 2014. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.retrec.2014.09.017>

KRUGMAN, P. Increasing Returns and Economic Geography. **Journal of Political Economy**, [s. l.], v. 99, n. 3, p. 483–499, 1991. Available at: <https://doi.org/10.1086/261763>

LAAKSO, S. Public transport investment and residential property values in helsinki 1. **Scandinavian Housing and Planning Research**, [s. l.], v. 9, n. 4, p. 217–229, 1992. Available at: <https://doi.org/10.1080/02815739208730308>

LAM, T. C.; SMALL, K. A. The value of time and reliability: measurement from a value pricing experiment. **Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review**, [s. l.], v. 37, n. 2–3, p. 231–251, 2001. Available at: [https://doi.org/10.1016/S1366-5545\(00\)00016-8](https://doi.org/10.1016/S1366-5545(00)00016-8)

LARRANAGA, A. M.; ARELLANA, J.; SENNA, L. A. Encouraging intermodality: A stated preference analysis of freight mode choice in Rio Grande do Sul. **Transportation Research Part A: Policy and Practice**, [s. l.], v. 102, p. 202–211, 2017. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.tra.2016.10.028>

LITMAN, T. **Generated Traffic and Induced Travel Implications for Transport Planning**. [S. l.: s. n.], 2021. Available at: <https://www.vtpi.org/gentraf.pdf>.

LOUVIERE, J. J.; WOODWORTH, G. Design and Analysis of Simulated Consumer Choice or Allocation Experiments: An Approach Based on Aggregate Data. **Journal of Marketing Research**, [s. l.], v. 20, n. 4, p. 350, 1983. Available at: <https://doi.org/10.2307/3151440>

LOW, J. M. W.; LEE, B. K. A Data-Driven Analysis on the Impact of High-Speed Rails on Land Prices in Taiwan. **Applied Sciences**, [s. l.], v. 10, n. 10, p. 3357, 2020. Available at: <https://doi.org/10.3390/app10103357>

LUO, X.; XU, X. **Infrastructure, Value Chains, and Economic Upgrades**. Washington, DC: [s. n.], 2018. Available at: <http://hdl.handle.net/10986/30237>.

MANSKI, C. F. The structure of random utility models. **Theory and Decision**, [s. l.], v. 8, n. 3, p. 229–254, 1977. Available at: <https://doi.org/10.1007/BF00133443>

MCFADDEN, D. The measurement of urban travel demand. **Journal of Public Economics**, [s. l.], v. 3, n. 4, p. 303–328, 1974. Available at: [https://doi.org/10.1016/0047-2727\(74\)90003-6](https://doi.org/10.1016/0047-2727(74)90003-6)

MCTI. **Fator médio - Inventários corporativos**. [S. l.], 2021. Available at: https://antigo.mctic.gov.br/mctic/opencms/ciencia/SEPED/clima/textogeral/emissao_corporativos.html. Acesso em: 25 jul. 2021.

MOHAMMAD, S. I. *et al.* A meta-analysis of the impact of rail projects on land and property values. **Transportation Research Part A: Policy and Practice**, [s. l.], v. 50, p. 158–170, 2013. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.tra.2013.01.013>

MORRIS, J. M.; DUMBLE, P. L.; WIGAN, M. R. Accessibility indicators for transport planning. **Transportation Research Part A: General**, [s. l.], v. 13, n. 2, p. 91–109, 1979. Available at: [https://doi.org/10.1016/0191-2607\(79\)90012-8](https://doi.org/10.1016/0191-2607(79)90012-8)

MUVAWALA, J.; SEBUKEERA, H.; SSEBULIME, K. Socio-economic impacts of transport infrastructure investment in Uganda: Insight from frontloading expenditure on Uganda's urban roads and highways. **Research in Transportation Economics**, [s. l.], n. October 2019, p. 100971, 2020. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.retrec.2020.100971>

NAJBERG, S.; IKEDA, M. **Modelo de geração de emprego: metodologia e resultados**. Rio de Janeiro, RJ: [s. n.], 1999. Available at: <http://web.bndes.gov.br/bib/jspui/handle/1408/13494>.

NGT ENGENHARIA. **Air cargo market study Porto Alegre Airport – Salgado Filho**. [S. l.: s. n.], 2018.

O'SULLIVAN, F. **How to Fight Coronavirus With High-Speed Rail**. [S. l.], 2020. Available at: <https://www.bloomberg.com/news/articles/2020-03-26/how-to-fight-coronavirus-with-high-speed-rail>. Acesso em: 17 jul. 2021.

ORTÚZAR, J. de D; IACOBELLI, A. Mixed modelling of interurban trips by coach and train. **Transportation Research**, [s. l.], v. 32A, p. 345–357, 1998.

ORTÚZAR, Juan de Dios; WILLUMSEN, L. G. **Modelling Transport**. 4. ed. [S. l.]: Wiley, 2011.

OSM. **Base map and data from OpenStreetMap and OpenStreetMap Foundation**. [S. l.], 2021. Available at: <https://www.openstreetmap.org/export#map=9/-29.6403/-51.1523&layers=T>. Acesso em: 15 jun. 2021.

OWUSU-MANU, D. G. *et al.* The impact of infrastructure development on economic growth in sub-Saharan Africa with special focus on Ghana. **Journal of Financial Management of Property and Construction**, [s. l.], v. 24, n. 3, p. 253–273, 2019. Available at: <https://doi.org/10.1108/JFMPC-09-2018-0050>

PELT. **RELATÓRIO MODELAGEM**. [S. l.: s. n.], 2017.

PEREIRA, E. *et al.* **Atlas brasileiro de energia solar**. [S. l.]: Universidade Federal de São Paulo, 2017. Available at: <https://doi.org/10.34024/978851700089>

PITMURB. **Plano Integrado de Transporte e Mobilidade Urbana – PITMUrb no âmbito da Região Metropolitana de Porto Alegre**. [S. l.: s. n.], 2015. Available at: http://lproweb.procempa.com.br/pmpa/prefpoa/smf/usu_doc/anexo_v-a_relatorio_sintese_do_pitmurb.pdf.

PORTER, M. E. **The Competitive Advantage of Nations**. New York, NY, USA: [s. n.], 1990.

PRESTON, J.; WALL, G. The Ex-ante and Ex-post Economic and Social Impacts of the Introduction of High-speed Trains in South East England. **Planning Practice and Research**, [s. l.], v. 23, n. 3, p. 403–422, 2008. Available at: <https://doi.org/10.1080/02697450802423641>

ROSE, J. M.; BLIEMER, M. C. J. Constructing Efficient Stated Choice Experimental Designs. **Transport Reviews**, [s. l.], v. 29, n. 5, p. 587–617, 2009. Available at: <https://doi.org/10.1080/01441640902827623>

S&P. **Research Update: Brazil Outlook Revised To Positive On Prospects For Sustained Fiscal Improvements; “BB-/B” Ratings Affirmed.** [S. l.: s. n.], 2019.

SAELENMINDE, K. **Causes and consequences of lexicographic choices in stated choice studies.** Oslo: [s. n.], 1998.

SANTOS, H. G. dos *et al.* **O novo mapa de solos do Brasil: legenda atualizada.** [S. l.: s. n.], 2011.

SDI. **Guia Geral de Análise Socioeconômica de Custo-Benefício de Projetos de Investimento em Infraestrutura.** [S. l.: s. n.], 2021.

SEBRAE. **Pesquisa Perfil do Turista Baixa e Alta Temporada.** [S. l.: s. n.], 2009.

SEEG. **Sistema De Estimativa De Emissões De Gases De Efeito Estufa.** [S. l.: s. n.], 2021. Available at: http://plataforma.seeg.eco.br/total_emission.

SEMA. **Unidades de Conservação.** [S. l.: s. n.], 2020. Available at: <https://atlassocioeconomico.rs.gov.br/unidades-de-conservacao>. Acesso em: 20 jun. 2021.

SEO, K. *et al.* Hedonic modeling of commercial property values: distance decay from the links and nodes of rail and highway infrastructure. **Transportation**, [s. l.], v. 46, n. 3, p. 859–882, 2019. Available at: <https://doi.org/10.1007/s11116-018-9861-z>

SEREBRISKY, T. *et al.* **Financing Infrastructure in Latin America and the Caribbean: How, How Much and by Whom?** [S. l.: s. n.], 2015. Available at: <https://publications.iadb.org/en/financing-infrastructure-latin-america-and-caribbean-how-how-much-and-whom>.

SMERS. **Atlas solar: Rio Grande do Sul.** Porto Alegre: [s. n.], 2018.

TAV BRASIL. **Estudos de demanda do Trem da alta velocidade.** [S. l.: s. n.], 2012. Available at: http://antigo.antt.gov.br/index.php/content/view/full/11610/Previsoes_de_Demanda_e_Receita.html.

TEMS. **Great Lakes HyperloopTT Feasibility Study. In cooperation with HyperloopTT Transportation.** [S. l.: s. n.], 2019.

THE NEW CLIMATE ECONOMY. **The sustainable infrastructure imperative.** [S. l.], 2016. Available at: <https://newclimateeconomy.report/2016/>. Acesso em: 20 jul. 2021.

TRANSPOD. **HyperloopTT in Thailand: Preliminary study on the implementation of a TransPod HyperloopTT line in Thailand.** [S. l.: s. n.], 2019. Available at: https://transpod.com/wp-content/uploads/2019/03/Final_Report_TransPod_Hyperloop_Thailand.pdf.

TRANSPORT CANADA. **Guide to benefit-cost analysis in Transport Canada.** Ottawa: [s. n.], 1994. Available at: http://www.tc.gc.ca/finance/BCA/en/TOC_e.htm.

USDOT. **The value of travel time: Departmental guidance for conducting economic evaluations.** Washington DC: [s. n.], 1997.

USGS. **SRTM 1 Arc-Second Global.** [S. l.: s. n.], 2016. Available at: <https://earthexplorer.usgs.gov/>. Acesso em: 8 maio 2021.

VTPI. **Transportation Cost and Benefit Analysis II – Travel Time Costs.** [S. l.: s. n.], 2007. Available at: www.vtpi.org.

WALKER, R. **HyperloopTT: Cutting through the Hype.** [S. l.: s. n.], 2018. Available at: <https://trl.co.uk/uploads/trl/documents/ACA003-Hyperloop.pdf>.

WATERS, W. G. I. Values of travel time savings in road transport project evaluation Research – Proceed. *In: , 1996. World conference on transport research.* [S. l.: s. n.], 1996.

WHO. **Ambient air pollution: A global assessment of exposure and burden of disease.** [S. l.: s. n.], 2016.

WHO. **Global Status Report on Road Safety 2018.** Geneva: [s. n.], 2018.

WORLD BANK. **Aspectos gerais do brasil.** [S. l.], 2021. Available at: <https://www.worldbank.org/pt/country/brazil/overview>. Acesso em: 1 jun. 2021.

WORLD BANK. **We need to act now. Sustainable infrastructure investments.** [S. l.: s. n.], 2019. Available at: <https://blogs.worldbank.org/voices/we-need-act-now-sustainableinfrastructure-investments>.

XIE, X.; LEURENT, F. Estimating distributions of walking speed, walking distance, and waiting time with automated fare collection data for rail transit. **Transportation Research Record**, [s. l.], v. 2648, n. 1, p. 134–141, 2017.

YOUSSEF, J.; NAHAS, R. **Bridging the Infrastructure Gap: Engaging the Private Sector in Critical National Development; Benefits, Risks, and Key Success Factors.** [S. l.: s. n.], 2017.

ZASIADKO, M. **High-speed trains run as mobile hospitals.** [S. l.], 2020. Available at: <https://www.railtech.com/rolling-stock/2020/04/03/high-speed-trains-run-as-mobile-hospitals/?gdpr=accept&gdpr=accept>. Acesso em: 12 jun. 2021.

ZHANG, D. *et al.* Induced Travel Demand Modeling for High-Speed Intercity Transportation. **Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board**, [s. l.], v. 2673, n. 3, p. 189–198, 2019. Available at: <https://doi.org/10.1177/0361198119837189>

ZHANG, J. *et al.* Infrastructure Investment and Regional Economic Growth: Evidence from Yangtze River Economic Zone. **Land**, [s. l.], v. 10, n. 3, p. 320, 2021. Available at: <https://doi.org/10.3390/land10030320>

12. Anexo

Anexo A – Classificação produtos conforme a cadeia de suprimentos onde melhor se enquadra

NCM2	Grupo de Produtos	Rank	Supply Chain
97	Objetos de arte, de coleção e antiguidades	1	Direct
88	Aeronaves e aparelhos espaciais, e suas partes	2	Largeltem
67	Penas e penugem preparadas e suas obras; flores artificiais; obras de cabelo	3	Direct
91	Artigos de relojoaria	4	NextDay
71	Pérolas naturais ou cultivadas, pedras preciosas ou semipreciosas e semelhantes, metais preciosos, metais folheados ou chapeados de metais preciosos (plaquê), e suas obras; bijuterias; moedas	5	Direct
90	Instrumentos e aparelhos de óptica, de fotografia, de cinematografia, de medida, de controle ou de precisão; instrumentos e aparelhos médico-cirúrgicos; suas partes e acessórios	6	NextDay
92	Instrumentos musicais; suas partes e acessórios	7	NextDay
50	Seda	8	NextDay
62	Vestuário e seus acessórios, exceto de Malha	9	NextDay
61	Vestuário e seus acessórios, de malha	10	NextDay
42	Obras de couro; artigos de correio ou de seleiro; artigos de viagem, bolsas e artefatos semelhantes; obras de tripa	11	NextDay
30	Produtos farmacêuticos	12	NextDay
81	Outros metais comuns; ceramais (cermets); obras dessas matérias	13	NextDay
93	Armas e munições; suas partes e acessórios	14	NextDay
75	Níquel e suas obras	15	Direct
43	Peles com pelo e suas obras; peles com pelo artificiais	16	NextDay
64	Calçados, polainas e artefatos semelhantes; suas partes	17	NextDay
80	Estanho e suas obras	18	Direct
59	Tecidos impregnados, revestidos, recobertos ou estratificados; artigos para usos técnicos de matérias têxteis	19	NextDay
65	Chapéus e artefatos de uso semelhante, e suas partes	20	NextDay
45	Cortiça e suas obras	21	Direct
82	Ferramentas, artefatos de cutelaria e talheres, e suas partes, de metais comuns	22	NextDay
84	Reatores nucleares, caldeiras, máquinas, aparelhos e instrumentos mecânicos, e suas partes	23	Largeltem
85	Máquinas, aparelhos e materiais elétricos, e suas partes; aparelhos de gravação ou de reprodução de som, aparelhos de gravação ou de reprodução de imagens e de som em televisão, e suas partes e acessórios	24	NextDay
46	Obras de espartaria ou de cestaria	25	Direct
60	Tecidos de malha	26	NextDay
83	Obras diversas de metais comuns	27	Direct
87	Veículos automóveis, tratores, ciclos e outros veículos terrestres, suas partes e acessórios	28	Largeltem
66	Guarda-chuvas, sombrinhas, guarda-sóis, bengalas, bengalas-assentos, chicotes, pingalins, e suas partes	29	NextDay

NCM2	Grupo de Produtos	Rank	Supply Chain
96	Obras diversas	30	Direct
63	Outros artefatos têxteis confeccionados; sortidos; artefatos de matérias têxteis, calçados, chapéus e artefatos de uso semelhante, usados; trapos	32	NextDay
95	Brinquedos, jogos, artigos para divertimento ou para esporte; suas partes e acessórios	33	NextDay
03	Peixes e crustáceos, moluscos e outros invertebrados aquáticos	34	Direct
37	Produtos para fotografia e cinematografia	35	Direct
58	Tecidos especiais; tecidos tufados; rendas; tapeçarias; passamanarias; bordados.	36	NextDay
49	Livros, jornais, gravuras e outros produtos das indústrias gráficas; textos manuscritos ou datilografados, planos e plantas	37	Direct
54	Filamentos sintéticos ou artificiais	38	NextDay
33	Óleos essenciais e resinóides; produtos de perfumaria ou de toucador preparados e preparações cosméticas	39	NextDay
74	Cobre e suas obras	40	Direct
89	Embarcações e estruturas flutuantes	41	Largeltem
86	Veículos e material para vias férreas ou semelhantes, e suas partes; aparelhos mecânicos (incluindo os eletromecânicos) de sinalização para vias de comunicação	42	Largeltem
57	Tapetes e outros revestimentos para pisos (pavimentos), de matérias têxteis	43	NextDay
21	Preparações alimentícias diversas	44	NextDay
35	Matérias albuminóides; produtos à base de amidos ou de féculas modificados; colas; enzimas	45	NextDay
55	Fibras sintéticas ou artificiais, descontínuas	46	NextDay
40	Borracha e suas obras	47	NextDay
24	Tabaco e seus sucedâneos manufaturados	48	NextDay
18	Cacau e suas preparações	49	NextDay
51	Lã, pelos finos ou grosseiros; fios e tecidos de crina	50	NextDay
06	Plantas vivas e produtos de floricultura	51	Direct
16	Preparações de carne, de peixes ou de crustáceos, de moluscos ou de outros invertebrados aquáticos	52	NextDay
41	Peles, exceto as peles com pelo, e couros	61	NextDay

13. Apêndices

Apêndice A - Histórico do PIB brasileiro e das Microrregiões da área de estudo.

Ano	Caxias do Sul	Gramado-Canela	Porto Alegre	Brasil
1999	R\$ 28.488.824	R\$ 7.622.851	R\$ 128.934.015	R\$ 4.511.069.353
2000	R\$ 30.435.177	R\$ 8.153.229	R\$ 134.150.768	R\$ 4.696.474.303
2001	R\$ 30.518.217	R\$ 8.129.839	R\$ 137.178.019	R\$ 4.761.755.296
2002	R\$ 32.443.377	R\$ 8.661.313	R\$ 126.644.056	R\$ 4.906.988.833
2003	R\$ 32.641.371	R\$ 8.352.983	R\$ 128.004.692	R\$ 4.962.928.505
2004	R\$ 36.196.222	R\$ 9.305.381	R\$ 132.429.492	R\$ 5.248.793.188
2005	R\$ 36.141.789	R\$ 9.189.379	R\$ 139.131.439	R\$ 5.416.754.569
2006	R\$ 35.445.489	R\$ 9.180.860	R\$ 138.654.554	R\$ 5.631.258.050
2007	R\$ 37.451.244	R\$ 9.179.022	R\$ 146.648.431	R\$ 5.973.075.414
2008	R\$ 39.748.521	R\$ 9.523.205	R\$ 148.985.048	R\$ 6.277.104.953
2009	R\$ 38.669.109	R\$ 9.447.504	R\$ 154.928.759	R\$ 6.268.944.716
2010	R\$ 45.682.295	R\$ 11.799.180	R\$ 164.384.439	R\$ 6.740.996.253
2011	R\$ 47.857.509	R\$ 11.853.908	R\$ 162.941.478	R\$ 7.008.613.805
2012	R\$ 48.077.942	R\$ 12.488.275	R\$ 164.682.543	R\$ 7.143.179.190
2013	R\$ 48.390.658	R\$ 12.683.004	R\$ 167.926.240	R\$ 7.357.474.565
2014	R\$ 48.424.753	R\$ 13.258.678	R\$ 169.876.144	R\$ 7.394.261.938
2015	R\$ 43.510.668	R\$ 13.014.678	R\$ 170.647.517	R\$ 7.115.498.263
2016	R\$ 41.519.698	R\$ 12.725.717	R\$ 169.098.524	R\$ 6.859.340.326
2017	R\$ 41.576.482	R\$ 12.267.113	R\$ 165.716.147	R\$ 6.927.933.729
2018	R\$ 44.276.087	R\$ 12.868.349	R\$ 165.522.311	R\$ 7.004.141.000

Apêndice B – Projeções PIB Brasileiro e Microrregiões.

Ano	Taxas PIB BR	Elasticidades PIB			Taxas PIB			Crescimento Acumulado			
		CXS	GRA	POA	CXS	GRA	POA	BRA	CXS	GRA	POA
2021	5,00%	1,26	1,99	0,65	6,3%	10,0%	3,3%	1,05	1,06	1,10	1,03
2022	2,10%	1,24	1,92	0,67	2,6%	4,0%	1,4%	1,07	1,09	1,14	1,05
2023	2,50%	1,22	1,85	0,69	3,1%	4,6%	1,7%	1,10	1,12	1,20	1,07
2024	2,50%	1,20	1,78	0,70	3,0%	4,4%	1,8%	1,13	1,16	1,25	1,08
2025	2,50%	1,18	1,71	0,72	3,0%	4,3%	1,8%	1,15	1,19	1,30	1,10
2026	2,50%	1,17	1,64	0,74	2,9%	4,1%	1,9%	1,18	1,23	1,36	1,12
2027	2,50%	1,15	1,57	0,76	2,9%	3,9%	1,9%	1,21	1,26	1,41	1,15
2028	2,50%	1,13	1,50	0,78	2,8%	3,7%	1,9%	1,24	1,30	1,46	1,17
2029	2,50%	1,11	1,42	0,79	2,8%	3,6%	2,0%	1,27	1,33	1,51	1,19
2030	2,50%	1,09	1,35	0,81	2,7%	3,4%	2,0%	1,31	1,37	1,57	1,21
2031	2,50%	1,07	1,28	0,83	2,7%	3,2%	2,1%	1,34	1,41	1,62	1,24
2032	2,50%	1,06	1,21	0,85	2,6%	3,0%	2,1%	1,37	1,44	1,67	1,27
2033	2,50%	1,04	1,14	0,86	2,6%	2,9%	2,2%	1,41	1,48	1,71	1,29
2034	2,50%	1,02	1,07	0,88	2,5%	2,7%	2,2%	1,44	1,52	1,76	1,32
2035	2,50%	1,00	1,00	0,90	2,5%	2,5%	2,3%	1,48	1,56	1,80	1,35
2036	2,50%	1,00	1,00	0,90	2,5%	2,5%	2,3%	1,51	1,60	1,85	1,38
2037	2,50%	1,00	1,00	0,90	2,5%	2,5%	2,3%	1,55	1,64	1,89	1,41
2038	2,50%	1,00	1,00	0,90	2,5%	2,5%	2,3%	1,59	1,68	1,94	1,45
2039	2,50%	1,00	1,00	0,90	2,5%	2,5%	2,3%	1,63	1,72	1,99	1,48
2040	2,50%	1,00	1,00	0,90	2,5%	2,5%	2,3%	1,67	1,76	2,04	1,51
2041	2,50%	1,00	1,00	0,90	2,5%	2,5%	2,3%	1,71	1,81	2,09	1,54
2042	2,50%	1,00	1,00	0,90	2,5%	2,5%	2,3%	1,76	1,85	2,14	1,58
2043	2,50%	1,00	1,00	0,90	2,5%	2,5%	2,3%	1,80	1,90	2,20	1,62
2044	2,50%	1,00	1,00	0,90	2,5%	2,5%	2,3%	1,85	1,94	2,25	1,65
2045	2,50%	1,00	1,00	0,90	2,5%	2,5%	2,3%	1,89	1,99	2,31	1,69
2046	2,50%	1,00	1,00	0,90	2,5%	2,5%	2,3%	1,94	2,04	2,36	1,73
2047	2,50%	1,00	1,00	0,90	2,5%	2,5%	2,3%	1,99	2,09	2,42	1,77
2048	2,50%	1,00	1,00	0,90	2,5%	2,5%	2,3%	2,04	2,15	2,48	1,81
2049	2,50%	1,00	1,00	0,90	2,5%	2,5%	2,3%	2,09	2,20	2,55	1,85
2050	2,50%	1,00	1,00	0,90	2,5%	2,5%	2,3%	2,14	2,25	2,61	1,89
2051	2,50%	1,00	1,00	0,90	2,5%	2,5%	2,3%	2,19	2,31	2,68	1,93
2052	2,50%	1,00	1,00	0,90	2,5%	2,5%	2,3%	2,25	2,37	2,74	1,97
2053	2,50%	1,00	1,00	0,90	2,5%	2,5%	2,3%	2,30	2,43	2,81	2,02
2054	2,50%	1,00	1,00	0,90	2,5%	2,5%	2,3%	2,36	2,49	2,88	2,06
2055	2,50%	1,00	1,00	0,90	2,5%	2,5%	2,3%	2,42	2,55	2,95	2,11
2056	2,50%	1,00	1,00	0,90	2,5%	2,5%	2,3%	2,48	2,61	3,03	2,16
2057	2,50%	1,00	1,00	0,90	2,5%	2,5%	2,3%	2,54	2,68	3,10	2,21
2058	2,50%	1,00	1,00	0,90	2,5%	2,5%	2,3%	2,61	2,75	3,18	2,25
2059	2,50%	1,00	1,00	0,90	2,5%	2,5%	2,3%	2,67	2,82	3,26	2,31
2060	2,50%	1,00	1,00	0,90	2,5%	2,5%	2,3%	2,74	2,89	3,34	2,36

Apêndice C – Taxas de variação da demanda de deslocamentos por automóvel.

Ano	Elasticidade Demanda/ PIB	Taxas Auto					
		Caxias- -Gramado	Caxias-NH	Caxias- -POA	Gramado- -NH	Gramado- -POA	NH- -POA
2021	1,000	8,1%	4,8%	4,8%	6,6%	6,6%	3,3%
2022	0,986	3,3%	2,0%	2,0%	2,7%	2,7%	1,4%
2023	0,971	3,7%	2,3%	2,3%	3,1%	3,1%	1,7%
2024	0,957	3,6%	2,3%	2,3%	3,0%	3,0%	1,7%
2025	0,943	3,4%	2,2%	2,2%	2,9%	2,9%	1,7%
2026	0,929	3,3%	2,2%	2,2%	2,8%	2,8%	1,7%
2027	0,914	3,1%	2,2%	2,2%	2,7%	2,7%	1,7%
2028	0,900	3,0%	2,1%	2,1%	2,6%	2,6%	1,7%
2029	0,886	2,8%	2,1%	2,1%	2,5%	2,5%	1,8%
2030	0,871	2,7%	2,1%	2,1%	2,4%	2,4%	1,8%
2031	0,857	2,5%	2,0%	2,0%	2,3%	2,3%	1,8%
2032	0,843	2,4%	2,0%	2,0%	2,2%	2,2%	1,8%
2033	0,829	2,3%	2,0%	2,0%	2,1%	2,1%	1,8%
2034	0,814	2,1%	1,9%	1,9%	2,0%	2,0%	1,8%
2035	0,800	2,0%	1,9%	1,9%	1,9%	1,9%	1,8%
2036	0,800	2,0%	1,9%	1,9%	1,9%	1,9%	1,8%
2037	0,800	2,0%	1,9%	1,9%	1,9%	1,9%	1,8%
2038	0,800	2,0%	1,9%	1,9%	1,9%	1,9%	1,8%
2039	0,800	2,0%	1,9%	1,9%	1,9%	1,9%	1,8%
2040	0,800	2,0%	1,9%	1,9%	1,9%	1,9%	1,8%
2041	0,800	2,0%	1,9%	1,9%	1,9%	1,9%	1,8%
2042	0,800	2,0%	1,9%	1,9%	1,9%	1,9%	1,8%
2043	0,800	2,0%	1,9%	1,9%	1,9%	1,9%	1,8%
2044	0,800	2,0%	1,9%	1,9%	1,9%	1,9%	1,8%
2045	0,800	2,0%	1,9%	1,9%	1,9%	1,9%	1,8%
2046	0,800	2,0%	1,9%	1,9%	1,9%	1,9%	1,8%
2047	0,800	2,0%	1,9%	1,9%	1,9%	1,9%	1,8%
2048	0,800	2,0%	1,9%	1,9%	1,9%	1,9%	1,8%
2049	0,800	2,0%	1,9%	1,9%	1,9%	1,9%	1,8%
2050	0,800	2,0%	1,9%	1,9%	1,9%	1,9%	1,8%
2051	0,800	2,0%	1,9%	1,9%	1,9%	1,9%	1,8%
2052	0,800	2,0%	1,9%	1,9%	1,9%	1,9%	1,8%
2053	0,800	2,0%	1,9%	1,9%	1,9%	1,9%	1,8%
2054	0,800	2,0%	1,9%	1,9%	1,9%	1,9%	1,8%
2055	0,800	2,0%	1,9%	1,9%	1,9%	1,9%	1,8%
2056	0,800	2,0%	1,9%	1,9%	1,9%	1,9%	1,8%
2057	0,800	2,0%	1,9%	1,9%	1,9%	1,9%	1,8%
2058	0,800	2,0%	1,9%	1,9%	1,9%	1,9%	1,8%
2059	0,800	2,0%	1,9%	1,9%	1,9%	1,9%	1,8%
2060	0,800	2,0%	1,9%	1,9%	1,9%	1,9%	1,8%

Apêndice D – Taxas de variação da demanda de deslocamentos por transporte coletivo e fretado.

Ano	Elasticidades		Taxas Coletivo						Taxas Turismo	
	Coletivo	Turismo	Caxias-Gramado	Caxias-NH	Caxias-POA	Gramado-NH	Gramado-POA	NH-POA	Gramado	Caxias
2021	-0,300	0,500	-2,4%	-1,4%	-1,4%	-2,0%	-2,0%	-1,0%	5,0%	3,1%
2022	-0,286	1,000	-0,9%	-0,6%	-0,6%	-0,8%	-0,8%	-0,4%	4,0%	2,6%
2023	-0,271	1,000	-1,0%	-0,6%	-0,6%	-0,9%	-0,9%	-0,5%	4,6%	3,1%
2024	-0,257	1,000	-1,0%	-0,6%	-0,6%	-0,8%	-0,8%	-0,5%	4,4%	3,0%
2025	-0,243	1,000	-0,9%	-0,6%	-0,6%	-0,7%	-0,7%	-0,4%	4,3%	3,0%
2026	-0,229	1,000	-0,8%	-0,5%	-0,5%	-0,7%	-0,7%	-0,4%	4,1%	2,9%
2027	-0,214	1,000	-0,7%	-0,5%	-0,5%	-0,6%	-0,6%	-0,4%	3,9%	2,9%
2028	-0,200	1,000	-0,7%	-0,5%	-0,5%	-0,6%	-0,6%	-0,4%	3,7%	2,8%
2029	-0,186	1,000	-0,6%	-0,4%	-0,4%	-0,5%	-0,5%	-0,4%	3,6%	2,8%
2030	-0,171	1,000	-0,5%	-0,4%	-0,4%	-0,5%	-0,5%	-0,3%	3,4%	2,7%
2031	-0,157	1,000	-0,5%	-0,4%	-0,4%	-0,4%	-0,4%	-0,3%	3,2%	2,7%
2032	-0,143	1,000	-0,4%	-0,3%	-0,3%	-0,4%	-0,4%	-0,3%	3,0%	2,6%
2033	-0,129	1,000	-0,4%	-0,3%	-0,3%	-0,3%	-0,3%	-0,3%	2,9%	2,6%
2034	-0,114	1,000	-0,3%	-0,3%	-0,3%	-0,3%	-0,3%	-0,3%	2,7%	2,5%
2035	-0,100	1,000	-0,3%	-0,2%	-0,2%	-0,2%	-0,2%	-0,2%	2,5%	2,5%
2036	-0,100	1,000	-0,3%	-0,2%	-0,2%	-0,2%	-0,2%	-0,2%	2,5%	2,5%
2037	-0,100	1,000	-0,3%	-0,2%	-0,2%	-0,2%	-0,2%	-0,2%	2,5%	2,5%
2038	-0,100	1,000	-0,3%	-0,2%	-0,2%	-0,2%	-0,2%	-0,2%	2,5%	2,5%
2039	-0,100	1,000	-0,3%	-0,2%	-0,2%	-0,2%	-0,2%	-0,2%	2,5%	2,5%
2040	-0,100	1,000	-0,3%	-0,2%	-0,2%	-0,2%	-0,2%	-0,2%	2,5%	2,5%
2041	-0,100	1,000	-0,3%	-0,2%	-0,2%	-0,2%	-0,2%	-0,2%	2,5%	2,5%
2042	-0,100	1,000	-0,3%	-0,2%	-0,2%	-0,2%	-0,2%	-0,2%	2,5%	2,5%
2043	-0,100	1,000	-0,3%	-0,2%	-0,2%	-0,2%	-0,2%	-0,2%	2,5%	2,5%
2044	-0,100	1,000	-0,3%	-0,2%	-0,2%	-0,2%	-0,2%	-0,2%	2,5%	2,5%
2045	-0,100	1,000	-0,3%	-0,2%	-0,2%	-0,2%	-0,2%	-0,2%	2,5%	2,5%
2046	-0,100	1,000	-0,3%	-0,2%	-0,2%	-0,2%	-0,2%	-0,2%	2,5%	2,5%
2047	-0,100	1,000	-0,3%	-0,2%	-0,2%	-0,2%	-0,2%	-0,2%	2,5%	2,5%
2048	-0,100	1,000	-0,3%	-0,2%	-0,2%	-0,2%	-0,2%	-0,2%	2,5%	2,5%
2049	-0,100	1,000	-0,3%	-0,2%	-0,2%	-0,2%	-0,2%	-0,2%	2,5%	2,5%
2050	-0,100	1,000	-0,3%	-0,2%	-0,2%	-0,2%	-0,2%	-0,2%	2,5%	2,5%
2051	-0,100	1,000	-0,3%	-0,2%	-0,2%	-0,2%	-0,2%	-0,2%	2,5%	2,5%
2052	-0,100	1,000	-0,3%	-0,2%	-0,2%	-0,2%	-0,2%	-0,2%	2,5%	2,5%
2053	-0,100	1,000	-0,3%	-0,2%	-0,2%	-0,2%	-0,2%	-0,2%	2,5%	2,5%
2054	-0,100	1,000	-0,3%	-0,2%	-0,2%	-0,2%	-0,2%	-0,2%	2,5%	2,5%
2055	-0,100	1,000	-0,3%	-0,2%	-0,2%	-0,2%	-0,2%	-0,2%	2,5%	2,5%
2056	-0,100	1,000	-0,3%	-0,2%	-0,2%	-0,2%	-0,2%	-0,2%	2,5%	2,5%
2057	-0,100	1,000	-0,3%	-0,2%	-0,2%	-0,2%	-0,2%	-0,2%	2,5%	2,5%
2058	-0,100	1,000	-0,3%	-0,2%	-0,2%	-0,2%	-0,2%	-0,2%	2,5%	2,5%
2059	-0,100	1,000	-0,3%	-0,2%	-0,2%	-0,2%	-0,2%	-0,2%	2,5%	2,5%
2060	-0,100	1,000	-0,3%	-0,2%	-0,2%	-0,2%	-0,2%	-0,2%	2,5%	2,5%

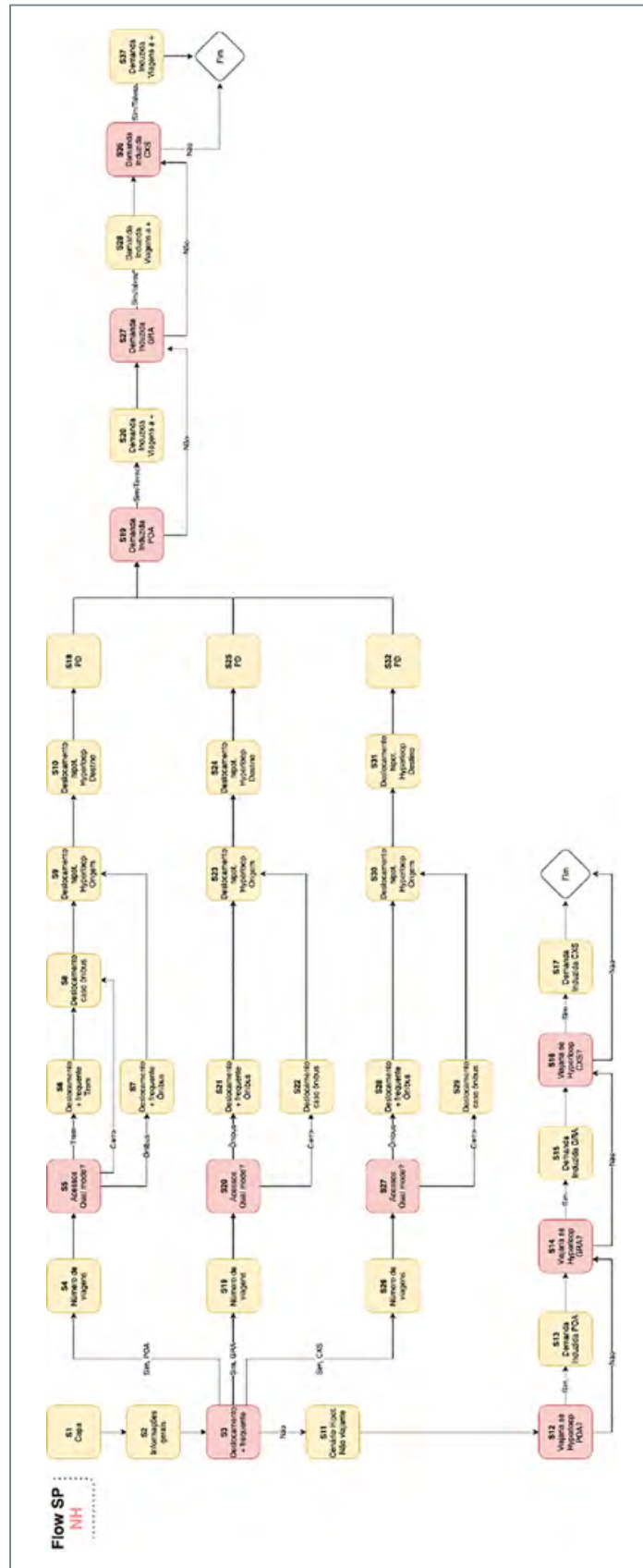
Apêndice E – Evolução da demanda por automóvel (pessoas).

Ano	Automóvel							Taxa
	Caxias-Gramado	Caxias-NH	Caxias-POA	Gramado-NH	Gramado-POA	NH-POA	Total	
2020	580.000	360.000	2.300.000	190.000	1.050.000	2.800.000	7.280.000	
2021	627.000	377.000	2.410.000	203.000	1.119.000	2.891.000	7.627.000	4,8%
2022	648.000	385.000	2.457.000	208.000	1.149.000	2.931.000	7.778.000	2,0%
2023	672.000	394.000	2.514.000	214.000	1.185.000	2.980.000	7.959.000	2,3%
2024	696.000	403.000	2.572.000	221.000	1.220.000	3.030.000	8.142.000	2,3%
2025	719.000	412.000	2.629.000	227.000	1.255.000	3.082.000	8.324.000	2,2%
2026	743.000	421.000	2.688.000	233.000	1.290.000	3.135.000	8.510.000	2,2%
2027	766.000	430.000	2.746.000	240.000	1.324.000	3.189.000	8.695.000	2,2%
2028	788.000	439.000	2.805.000	246.000	1.358.000	3.245.000	8.881.000	2,1%
2029	811.000	448.000	2.864.000	252.000	1.391.000	3.302.000	9.068.000	2,1%
2030	832.000	458.000	2.924.000	258.000	1.424.000	3.360.000	9.256.000	2,1%
2031	853.000	467.000	2.983.000	263.000	1.456.000	3.420.000	9.442.000	2,0%
2032	874.000	476.000	3.043.000	269.000	1.488.000	3.481.000	9.631.000	2,0%
2033	893.000	486.000	3.103.000	275.000	1.518.000	3.543.000	9.818.000	1,9%
2034	912.000	495.000	3.163.000	280.000	1.549.000	3.607.000	10.006.000	1,9%
2035	931.000	504.000	3.223.000	286.000	1.578.000	3.672.000	10.194.000	1,9%
2036	949.000	514.000	3.284.000	291.000	1.608.000	3.738.000	10.384.000	1,9%
2037	968.000	524.000	3.347.000	297.000	1.639.000	3.805.000	10.580.000	1,9%
2038	988.000	534.000	3.410.000	302.000	1.670.000	3.874.000	10.778.000	1,9%
2039	1.007.000	544.000	3.475.000	308.000	1.701.000	3.944.000	10.979.000	1,9%
2040	1.027.000	554.000	3.541.000	314.000	1.734.000	4.015.000	11.185.000	1,9%
2041	1.048.000	565.000	3.608.000	320.000	1.767.000	4.087.000	11.395.000	1,9%
2042	1.069.000	576.000	3.677.000	326.000	1.800.000	4.160.000	11.608.000	1,9%
2043	1.090.000	586.000	3.747.000	332.000	1.835.000	4.235.000	11.825.000	1,9%
2044	1.112.000	598.000	3.818.000	338.000	1.869.000	4.312.000	12.047.000	1,9%
2045	1.134.000	609.000	3.890.000	345.000	1.905.000	4.389.000	12.272.000	1,9%
2046	1.157.000	621.000	3.964.000	351.000	1.941.000	4.468.000	12.502.000	1,9%
2047	1.180.000	632.000	4.040.000	358.000	1.978.000	4.549.000	12.737.000	1,9%
2048	1.204.000	644.000	4.116.000	365.000	2.016.000	4.631.000	12.976.000	1,9%
2049	1.228.000	657.000	4.195.000	372.000	2.054.000	4.714.000	13.220.000	1,9%
2050	1.252.000	669.000	4.274.000	379.000	2.093.000	4.799.000	13.466.000	1,9%
2051	1.277.000	682.000	4.356.000	386.000	2.133.000	4.885.000	13.719.000	1,9%
2052	1.303.000	695.000	4.438.000	393.000	2.173.000	4.973.000	13.975.000	1,9%
2053	1.329.000	708.000	4.523.000	401.000	2.214.000	5.063.000	14.238.000	1,9%
2054	1.356.000	721.000	4.609.000	408.000	2.257.000	5.154.000	14.505.000	1,9%
2055	1.383.000	735.000	4.696.000	416.000	2.299.000	5.246.000	14.775.000	1,9%
2056	1.410.000	749.000	4.785.000	424.000	2.343.000	5.341.000	15.052.000	1,9%
2057	1.439.000	763.000	4.876.000	432.000	2.388.000	5.437.000	15.335.000	1,9%
2058	1.467.000	778.000	4.969.000	440.000	2.433.000	5.535.000	15.622.000	1,9%
2059	1.497.000	793.000	5.063.000	449.000	2.479.000	5.635.000	15.916.000	1,9%
2060	1.527.000	808.000	5.160.000	457.000	2.526.000	5.736.000	16.214.000	1,9%

Apêndice F – Evolução da demanda anual por transporte coletivo e fretado.

Ano	Transporte Coletivo						Turismo		Total	Taxa
	Caxias- -Gra- -mado	Caxias- -NH	Caxias- -POA	Gra- -mado- -NH	Gramado- -POA	NH-POA	Gramado	Caxias		
2020	116.000	72.000	460.000	38.000	210.000	1.260.000	2.490.000	280.000	4.926.000	
2021	113.000	71.000	453.000	37.000	206.000	1.248.000	2.614.000	289.000	4.742.000	-3,7%
2022	112.000	71.000	451.000	37.000	204.000	1.243.000	2.719.000	296.000	4.837.000	2,0%
2023	111.000	70.000	448.000	37.000	202.000	1.237.000	2.845.000	305.000	4.950.000	2,3%
2024	110.000	70.000	445.000	36.000	201.000	1.231.000	2.972.000	315.000	5.065.000	2,3%
2025	109.000	69.000	443.000	36.000	199.000	1.226.000	3.098.000	324.000	5.180.000	2,3%
2026	108.000	69.000	440.000	36.000	198.000	1.221.000	3.225.000	333.000	5.297.000	2,3%
2027	107.000	69.000	438.000	36.000	197.000	1.216.000	3.352.000	343.000	5.415.000	2,2%
2028	107.000	68.000	436.000	35.000	196.000	1.211.000	3.477.000	353.000	5.530.000	2,1%
2029	106.000	68.000	434.000	35.000	195.000	1.207.000	3.601.000	362.000	5.646.000	2,1%
2030	105.000	68.000	432.000	35.000	194.000	1.202.000	3.723.000	372.000	5.759.000	2,0%
2031	105.000	67.000	431.000	35.000	193.000	1.198.000	3.842.000	382.000	5.871.000	1,9%
2032	104.000	67.000	429.000	35.000	192.000	1.195.000	3.958.000	392.000	5.980.000	1,9%
2033	104.000	67.000	428.000	35.000	192.000	1.191.000	4.071.000	402.000	6.088.000	1,8%
2034	104.000	67.000	427.000	35.000	191.000	1.188.000	4.180.000	413.000	6.192.000	1,7%
2035	104.000	67.000	426.000	34.000	191.000	1.186.000	4.285.000	423.000	6.293.000	1,6%
2036	103.000	66.000	425.000	34.000	190.000	1.183.000	4.392.000	434.000	6.393.000	1,6%
2037	103.000	66.000	424.000	34.000	190.000	1.180.000	4.502.000	444.000	6.499.000	1,7%
2038	103.000	66.000	423.000	34.000	189.000	1.178.000	4.614.000	456.000	6.607.000	1,7%
2039	102.000	66.000	422.000	34.000	189.000	1.175.000	4.730.000	467.000	6.718.000	1,7%
2040	102.000	66.000	421.000	34.000	188.000	1.173.000	4.848.000	479.000	6.832.000	1,7%
2041	102.000	66.000	420.000	34.000	188.000	1.170.000	4.969.000	491.000	6.949.000	1,7%
2042	102.000	66.000	419.000	34.000	187.000	1.167.000	5.093.000	503.000	7.068.000	1,7%
2043	101.000	65.000	418.000	34.000	187.000	1.165.000	5.221.000	515.000	7.191.000	1,7%
2044	101.000	65.000	417.000	34.000	187.000	1.162.000	5.351.000	528.000	7.317.000	1,8%
2045	101.000	65.000	416.000	34.000	186.000	1.159.000	5.485.000	541.000	7.446.000	1,8%
2046	101.000	65.000	415.000	34.000	186.000	1.157.000	5.622.000	555.000	7.580.000	1,8%
2047	100.000	65.000	414.000	34.000	185.000	1.154.000	5.763.000	569.000	7.715.000	1,8%
2048	100.000	65.000	413.000	33.000	185.000	1.152.000	5.907.000	583.000	7.855.000	1,8%
2049	100.000	64.000	412.000	33.000	184.000	1.149.000	6.054.000	598.000	7.996.000	1,8%
2050	100.000	64.000	411.000	33.000	184.000	1.146.000	6.206.000	613.000	8.144.000	1,9%
2051	99.000	64.000	410.000	33.000	184.000	1.144.000	6.361.000	628.000	8.295.000	1,9%
2052	99.000	64.000	409.000	33.000	183.000	1.141.000	6.520.000	644.000	8.449.000	1,9%
2053	99.000	64.000	408.000	33.000	183.000	1.139.000	6.683.000	660.000	8.609.000	1,9%
2054	99.000	64.000	407.000	33.000	182.000	1.136.000	6.850.000	676.000	8.771.000	1,9%
2055	98.000	64.000	406.000	33.000	182.000	1.134.000	7.021.000	693.000	8.938.000	1,9%
2056	98.000	63.000	405.000	33.000	181.000	1.131.000	7.197.000	710.000	9.108.000	1,9%
2057	98.000	63.000	404.000	33.000	181.000	1.128.000	7.377.000	728.000	9.284.000	1,9%
2058	98.000	63.000	403.000	33.000	180.000	1.126.000	7.561.000	746.000	9.464.000	1,9%
2059	97.000	63.000	402.000	33.000	180.000	1.123.000	7.750.000	765.000	9.648.000	1,9%
2060	97.000	63.000	401.000	33.000	180.000	1.121.000	7.944.000	784.000	9.839.000	2,0%

Apêndice G



Apêndice H – Fluxo de caixa econômico (milhões de USD)

Year	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033	2034	2035	2036	2037	2038	2039	2040	2041	2042	2043	2044	2045	2046	2047	2048	2049	2050	
Benefícios	148,6	191,2	247,2	879,0	1.137,3	2.013,3	1.179,5	620,8	612,3	53,6	45,1	45,0	44,8	44,4	44,1	44,1	44,4	44,7	45,1	45,4	45,7	46,0	46,3	46,6	46,9	47,2	47,5	47,8	48,1	48,4	
Empregos - Infraestrutura	65,3	116,6	180,6	273,1	266,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Empregos - Diretos indiretos	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	38,0	34,4	32,1	32,5	30,2	30,6	31,0	31,4	31,8	32,0	32,3	32,5	32,7	33,0	33,2	33,5	33,7	33,9	34,1	34,3	34,5	34,7	34,9	35,2	35,4	35,4
Empregos - Energia Solar	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	7,5	7,5	7,5	7,5	7,5	7,5	7,5	7,5	7,5	7,5	7,5	7,5	7,5	7,5	7,5	7,5	7,5	7,5	7,5	7,5	7,5	7,5	7,5	7,5	7,5	7,5
Tempo poupado	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	3,5	3,6	3,7	3,8	3,8	3,9	4,0	4,1	4,1	4,2	4,3	4,3	4,4	4,5	4,6	4,7	4,7	4,8	4,9	5,0	5,1	5,2	5,3	5,4	5,5	
CXS-GRA	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	
CXS-NH	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1
CXS-POA	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	2,3	2,4	2,4	2,5	2,5	2,6	2,6	2,7	2,7	2,8	2,8	2,9	2,9	3,0	3,0	3,1	3,2	3,2	3,2	3,3	3,3	3,4	3,4	3,5	3,6	3,6
GRA-NH	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4
GRA-POA	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	1,0	1,1	1,1	1,1	1,1	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,3	1,3	1,3	1,3	1,4	1,4	1,4	1,4	1,4	1,5	1,5	1,5	1,6	1,6	1,6	
NH-POA	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	-0,6	-0,6	-0,6	-0,6	-0,6	-0,6	-0,6	-0,6	-0,7	-0,7	-0,7	-0,7	-0,7	-0,7	-0,7	-0,7	-0,8	-0,8	-0,8	-0,8	-0,8	-0,8	-0,8	-0,8	-0,9	
Acidentes evitados	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	6,1	5,5	4,9	4,3	3,7	3,1	2,4	1,8	1,2	0,6	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Montes	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	1,6	1,4	1,2	1,1	0,9	0,8	0,6	0,5	0,3	0,2	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Feridos	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	4,0	3,6	3,2	2,8	2,4	2,0	1,6	1,2	0,8	0,4	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Apenas danos materiais	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,5	0,5	0,4	0,4	0,3	0,3	0,2	0,2	0,1	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Emissões Operacionais	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1
Operational Costs	83,3	74,9	66,6	58,3	50,0	41,6	33,3	25,0	16,7	8,3	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Valorização imobiliária	0,0	0,0	0,0	547,6	821,3	1.916,4	1.095,1	547,6	547,6	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Negócios imobiliários	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Valorização	0,0	0,0	0,0	547,6	821,3	1.916,4	1.095,1	547,6	547,6	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Custos	270,0	464,1	705,4	1.062,7	1.028,2	142,6	129,2	120,4	121,9	113,2	114,7	116,2	117,8	119,3	120,2	121,0	121,9	122,8	123,7	124,6	125,5	126,3	127,0	127,8	128,6	129,4	130,2	131,0	131,9	132,8	
CapEx (sem despropriações)	244,9	435,9	677,2	1.024,4	997,7	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	
OpEx (sem impostos)	12,3	15,4	15,4	25,5	30,6	142,6	129,2	120,4	121,9	113,2	114,7	116,2	117,8	119,3	120,2	121,0	121,9	122,8	123,7	124,6	125,5	126,3	127,0	127,8	128,6	129,4	130,2	131,0	131,9	132,8	
Despropriação	12,8	12,8	12,8	12,8	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	
Fluxo de caixa	-121,5	-272,9	-458,2	-183,7	109,1	1.870,4	1.050,7	500,4	490,4	-59,6	-69,6	-71,2	-72,9	-74,6	-75,7	-76,9	-77,5	-78,0	-78,6	-79,2	-79,8	-80,3	-80,7	-81,2	-81,7	-82,2	-82,7	-83,2	-83,8	-84,3	

Apêndice I – Fluxo de caixa financeiro (milhões de USD)

Ano	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033	2034	2035	2036	2037	2038	2039	2040	2041	2042	2043	2044	2045	2046	2047	2048	2049	2050	
Período	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	
Recitas	0,0	0,0	0,0	361,6	542,4	1.519,8	990,5	641,7	654,7	306,5	320,0	333,8	347,9	362,1	368,6	375,1	381,8	388,7	395,6	402,8	410,2	417,6	425,2	433,0	441,0	449,1	457,4	465,9	474,6	483,4	
Operacional	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	237,4	250,5	263,3	276,3	289,7	303,2	317,0	331,1	345,3	351,8	358,3	365,0	371,9	378,8	386,0	393,4	400,8	408,4	416,2	424,2	432,3	440,6	449,1	457,8	466,6	
Passageiros	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	202,5	213,2	224,2	235,4	246,9	258,6	270,5	282,6	294,9	300,4	305,9	311,7	317,5	323,4	329,5	335,8	342,1	348,6	355,2	362,0	368,9	376,0	383,2	390,5	398,1	
Carga	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	3,8	4,5	4,7	4,8	4,9	5,0	5,1	5,3	5,4	5,5	5,7	5,8	6,0	6,1	6,3	6,4	6,6	6,7	6,9	7,1	7,3	7,4	7,6	7,8	8,0	
Uso médico	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	
Serviço de bordo	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	
Publicidade	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Energia	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Direito de passagem	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Não-operacional	0,0	0,0	0,0	361,6	542,4	1.282,3	740,0	378,4	378,4	378,4	378,4	378,4	378,4	378,4	378,4	378,4	378,4	378,4	378,4	378,4	378,4	378,4	378,4	378,4	378,4	378,4	378,4	378,4	378,4	378,4	378,4
Negócios imobiliários	0,0	0,0	0,0	361,6	542,4	1.265,5	723,2	361,6	361,6	361,6	361,6	361,6	361,6	361,6	361,6	361,6	361,6	361,6	361,6	361,6	361,6	361,6	361,6	361,6	361,6	361,6	361,6	361,6	361,6	361,6	361,6
Aluguel mas estações	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	16,8	16,8	16,8	16,8	16,8	16,8	16,8	16,8	16,8	16,8	16,8	16,8	16,8	16,8	16,8	16,8	16,8	16,8	16,8	16,8	16,8	16,8	16,8	16,8	16,8	16,8
Custos	-270,0	-464,4	-705,8	-1.156,6	-1.206,8	-672,0	-452,5	-308,4	-316,1	-172,2	-180,1	-188,1	-196,1	-204,3	-208,6	-212,8	-217,2	-221,6	-226,0	-230,5	-235,1	-239,6	-244,1	-248,7	-253,3	-258,0	-264,3	-271,8	-280,7	-291,3	
CapEx	-257,7	-448,7	-690,0	-1.037,2	-997,7	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	
OpEx	-12,3	-15,4	-15,4	-25,5	-30,6	-142,6	-129,2	-120,4	-113,2	-114,7	-116,2	-117,8	-119,3	-120,2	-121,0	-121,9	-122,8	-123,7	-124,6	-125,5	-126,3	-127,0	-127,8	-128,6	-129,4	-130,2	-131,0	-131,9	-132,8		
Impostos	0,0	-0,3	-0,3	-93,9	-178,6	-529,4	-323,3	-187,9	-194,2	-59,0	-65,4	-71,8	-78,4	-85,0	-88,4	-91,8	-95,3	-98,8	-102,3	-105,9	-109,6	-113,3	-117,1	-120,9	-124,7	-128,7	-134,2	-140,8	-148,8	-158,6	
Fluxo de caixa	-270,0	-464,4	-705,8	-795,0	-664,4	847,7	538,0	333,3	388,6	134,3	139,9	145,8	151,7	157,8	160,0	162,2	164,6	167,1	169,6	172,3	175,1	178,1	181,1	184,3	187,7	191,1	193,0	194,0	193,9	192,0	

Apêndice J – Fluxo de Caixa Financeiro (visão contábil) e balanço (milhões de USD)

Ano	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033	2034	2035	2036	2037	2038	2039	2040	2041	2042	2043	2044	2045	2046	2047	2048	2049	2050
Período	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29
(=) Lucro Líquido	12	25	41	117	249	731	425	223	232	31	39	48	57	66	71	75	80	85	90	95	100	105	111	116	121	127	135	145	159	175
(+) D&A	-	10	26	50	85	117	113	110	107	104	101	98	95	92	89	87	84	82	79	77	75	73	71	69	67	65	58	49	35	17
(-) Compensações	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
(+/-) Variação no capital de giro	-	-	-	76	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
(=) Fluxo de caixa operacional	12	16	16	242	333	848	538	333	339	134	140	146	152	158	160	162	165	167	170	172	175	178	181	184	188	191	193	194	194	192
(-) CapEx	258	449	690	1.037	998	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
(=) Fluxo de Caixa para a Firma	270	464	706	795	664	848	538	333	339	134	140	146	152	158	160	162	165	167	170	172	175	178	181	184	188	191	193	194	194	192
(-) Amortização/Novas dívidas	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
(-) Dividendos	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
(=) Fluxo de Caixa para Acionistas	270	464	706	795	664	848	538	333	339	134	140	146	152	158	160	162	165	167	170	172	175	178	181	184	188	191	193	194	194	192

Ano	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033	2034	2035	2036	2037	2038	2039	2040	2041	2042	2043	2044	2045	2046	2047	2048	2049	2050
Período	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29
Ativos	245	671	1.323	2.298	3.211	3.942	4.366	4.590	4.822	4.852	4.892	4.940	4.997	5.062	5.133	5.208	5.289	5.374	5.464	5.560	5.660	5.765	5.876	5.992	6.113	6.239	6.374	6.520	6.678	6.853
Ativos no fim do período	245	671	1.323	2.298	3.211	3.094	2.981	2.871	2.764	2.660	2.560	2.462	2.367	2.275	2.186	2.099	2.015	1.933	1.854	1.776	1.702	1.629	1.558	1.490	1.423	1.359	1.301	1.252	1.217	1.200
Caixa	-	-	-	-	-	848	1.386	1.719	2.058	2.192	2.332	2.478	2.629	2.787	2.947	3.109	3.274	3.441	3.611	3.783	3.958	4.136	4.317	4.502	4.689	4.880	5.073	5.267	5.461	5.653
Passivo e Patrimônio Líquido	258	697	1.361	2.349	3.262	3.993	4.418	4.641	4.873	4.904	4.943	4.991	5.048	5.114	5.184	5.260	5.340	5.425	5.515	5.611	5.711	5.816	5.927	6.043	6.164	6.290	6.425	6.571	6.729	6.904
Passivo	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Patrimônio Líquido	258	697	1.361	2.349	3.262	3.993	4.418	4.641	4.873	4.904	4.943	4.991	5.048	5.114	5.184	5.260	5.340	5.425	5.515	5.611	5.711	5.816	5.927	6.043	6.164	6.290	6.425	6.571	6.729	6.904
Capital social	270	734	1.440	2.235	2.900	2.900	2.900	2.900	2.900	2.900	2.900	2.900	2.900	2.900	2.900	2.900	2.900	2.900	2.900	2.900	2.900	2.900	2.900	2.900	2.900	2.900	2.900	2.900	2.900	2.900
Lucro/Prejuízo Acumulado	12	38	79	114	362	1.093	1.518	1.741	1.973	2.004	2.043	2.091	2.148	2.214	2.285	2.360	2.440	2.526	2.616	2.711	2.811	2.917	3.027	3.143	3.264	3.391	3.526	3.671	3.830	4.005

Apêndice K – Demonstrativo de resultados (milhões de USD)

Período	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033	2034	2035	2036	2037	2038	2039	2040	2041	2042	2043	2044	2045	2046	2047	2048	2049	2050		
(-) Receita Bruta	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	237,4	250,5	263,3	276,3	289,7	303,2	317,0	331,1	345,3	351,8	358,3	365,0	371,9	378,8	386,0	393,4	400,8	408,4	416,2	424,2	432,3	440,6	449,1	457,8	466,6		
(-) Despesas e impostos (14,25%)	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	-33,8	-35,7	-37,5	-39,4	-41,3	-43,2	-45,2	-47,2	-49,2	-50,1	-51,1	-52,0	-53,0	-54,0	-55,0	-56,1	-57,1	-58,2	-59,3	-60,4	-61,6	-62,8	-64,0	-65,2	-66,5		
(-) PIS (1,65%)	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	-3,9	-4,1	-4,3	-4,6	-4,8	-5,0	-5,2	-5,5	-5,7	-5,8	-5,9	-6,0	-6,1	-6,3	-6,4	-6,5	-6,6	-6,7	-6,9	-7,0	-7,1	-7,3	-7,4	-7,6	-7,7		
(-) COFINS (7,6%)	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	-18,0	-19,0	-20,0	-21,0	-22,0	-23,0	-24,1	-25,2	-26,2	-26,7	-27,2	-27,7	-28,3	-28,8	-29,3	-29,9	-30,5	-31,0	-31,6	-32,2	-32,9	-33,5	-34,1	-34,8	-35,5		
(-) ISS (5%)	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	-11,9	-12,5	-13,2	-13,8	-14,5	-15,2	-15,9	-16,6	-17,3	-17,9	-18,3	-18,6	-18,9	-19,3	-19,7	-20,0	-20,4	-20,8	-21,2	-21,6	-22,0	-22,5	-22,9	-23,3			
(-) Receita Líquida	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	203,6	214,8	225,8	236,9	248,4	260,0	271,8	283,9	296,1	301,6	307,2	313,0	318,9	324,9	331,0	337,3	343,7	350,2	356,9	363,7	370,7	377,8	385,1	392,5	400,1		
(-) CSP	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0		
(-) CMV	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	
(-) Lucro Bruto	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	203,6	214,8	225,8	236,9	248,4	260,0	271,8	283,9	296,1	301,6	307,2	313,0	318,9	324,9	331,0	337,3	343,7	350,2	356,9	363,7	370,7	377,8	385,1	392,5	400,1		
Margem bruta (%)	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	
(-) Despesas Operacionais	-12,3	-15,4	-15,4	-25,5	-30,6	-142,6	-129,2	-120,4	-121,9	-113,2	-114,7	-116,2	-117,8	-119,3	-119,3	-120,2	-121,0	-121,9	-122,8	-123,7	-124,6	-125,5	-126,3	-127,0	-127,8	-128,6	-129,4	-130,2	-131,0	-131,9	-132,8	
(-) IPTU	0,0	-0,3	-0,3	-0,3	-0,3	-0,3	-0,3	-0,3	-0,3	-0,3	-0,3	-0,3	-0,3	-0,3	-0,3	-0,3	-0,3	-0,3	-0,3	-0,3	-0,3	-0,3	-0,3	-0,3	-0,3	-0,3	-0,3	-0,3	-0,3	-0,3		
(-) EBITDA	-12,3	-15,7	-15,7	-25,8	-30,9	60,6	85,3	105,0	114,7	134,8	144,9	155,3	165,8	176,4	181,1	185,8	190,8	195,8	200,8	206,1	211,4	217,1	222,9	228,8	234,8	241,0	247,3	253,7	260,3	267,0		
Margem EBITDA (%)	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	29,8%	39,7%	46,5%	48,4%	54,3%	55,7%	57,1%	58,4%	59,6%	60,0%	60,2%	60,9%	61,4%	61,8%	62,3%	62,7%	63,2%	63,6%	64,1%	64,6%	65,0%	65,5%	65,9%	66,3%	66,7%		
(-) Depreciação e amortização (D&A)	0,0	-9,5	-25,7	-49,7	-84,7	-116,6	-113,2	-109,9	-106,7	-103,6	-100,6	-97,7	-94,8	-92,1	-89,4	-86,8	-84,3	-81,8	-79,4	-77,1	-74,9	-72,7	-70,6	-68,5	-66,5	-64,6	-62,8	-61,2	-59,8	-58,4		
(-) EBIT	-12,3	-25,2	-41,4	-75,6	-115,6	-56,0	-27,9	-5,0	8,0	31,2	44,3	57,6	71,0	84,4	91,7	99,1	106,5	114,0	121,4	129,0	136,6	144,4	152,3	160,3	168,3	176,4	189,1	205,1	225,0	250,1		
Margem EBIT (%)	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	-27,5%	-13,0%	-2,2%	3,4%	12,6%	17,1%	21,2%	25,0%	28,5%	30,4%	32,2%	34,0%	35,7%	37,4%	39,0%	40,5%	42,0%	43,5%	44,9%	46,3%	47,6%	50,1%	53,3%	57,3%	62,5%		
(+/-) Resultados Financeiros	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	
(+/-) Resultado não-operacional	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	
(-) Receita não-operacional	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	
(-) Despesas e taxas (9,25%)	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	
(-) Despesas não-operacionais	0,0	0,0	0,0	338,1	492,2	1.163,7	671,5	343,4	378,4	378,4	378,4	378,4	378,4	378,4	378,4	378,4	378,4	378,4	378,4	378,4	378,4	378,4	378,4	378,4	378,4	378,4	378,4	378,4	378,4	378,4	378,4	
(-) LAIR	0,0	0,0	0,0	361,6	542,4	1.282,3	740,0	378,4	378,4	378,4	378,4	378,4	378,4	378,4	378,4	378,4	378,4	378,4	378,4	378,4	378,4	378,4	378,4	378,4	378,4	378,4	378,4	378,4	378,4	378,4	378,4	
(-) Compensações (30%)	0,0	0,0	0,0	-33,4	-50,2	-118,6	-68,4	-35,0	-35,0	-1,6	-1,6	-1,6	-1,6	-1,6	-1,6	-1,6	-1,6	-1,6	-1,6	-1,6	-1,6	-1,6	-1,6	-1,6	-1,6	-1,6	-1,6	-1,6	-1,6	-1,6	-1,6	
(-) LAIR de pós compensações	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
(-) RECSILL (3%)	-12,3	-25,2	-41,4	252,6	376,6	1.107,7	643,6	338,4	351,4	46,4	59,6	72,9	86,2	99,6	107,0	114,3	121,8	129,2	136,7	144,2	151,8	159,7	167,6	175,5	183,6	191,7	204,4	220,4	240,2	265,3		
(-) Imposto Líquido	-12,3	-25,2	-41,4	176,8	376,6	1.107,7	643,6	338,4	351,4	46,4	59,6	72,9	86,2	99,6	107,0	114,3	121,8	129,2	136,7	144,2	151,8	159,7	167,6	175,5	183,6	191,7	204,4	220,4	240,2	265,3		
Margem Líquida (%)	-12,3	-25,2	-41,4	176,8	376,6	1.107,7	643,6	338,4	351,4	46,4	59,6	72,9	86,2	99,6	107,0	114,3	121,8	129,2	136,7	144,2	151,8	159,7	167,6	175,5	183,6	191,7	204,4	220,4	240,2	265,3		

Apêndice L – Timeline for projects approval

Some considerations on the timeline for HyperloopTT projects development and approval – Porto Alegre – Serra Gaúcha –

Introduction

The implementation of HyperloopTT project is more complex than the implementation of a conventional transport infrastructure, such as a highway, for example. It is, in fact, a project that could be considered as being hybrid, with strong infrastructure elements and also industrial elements, such as the installation of vacuum tubes and vehicles circulating inside them. Such considerations are relevant to the identification of a timeline that foresees the various steps to be taken for the project's full approval by government authorities and releases for its full functioning. Due to the complexity and multidisciplinary nature involved, the planning process and engineering works require more detailed analysis. In this sense, the following sections present a discussion and later the timeline itself.

Project structuring

The flow of infrastructure projects, in general, follows the sequence shown in Figure 1.

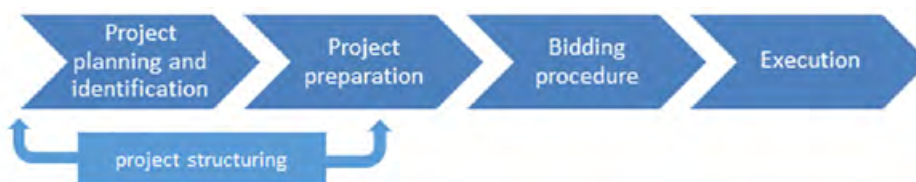


Figure 1. Flow of infrastructure projects

Typical project preparation refers to the stage in which all necessary studies are carried out to start the bidding procedure (if any), when, then, there will be, to a lesser or greater degree, government interaction with potential bidders for the final format of the project.

When analyzing examples of project preparation processes in the European Community and the United Kingdom, the different phases considered are observed. Figure 2 presents the three phases that comprise the preparation of projects within the European Community. In the first phase, technical, economic and environmental feasibility studies are carried out. The second deepens financial viability and defines, albeit on a preliminary basis, the allocation of risks, so as to enable the calculation of Value for Money. This information guides decision-making on which contracting model to use: a public work or a PPP, for example. Once the contracting model has been defined, the third phase of project preparation begins, which includes the additional detailing of feasibility studies, the preparation of preliminary legal documents (public notice and contract drafts), the choice of the bidding model (type of competitive process) and the definition of the criteria for judging bidders' proposals.

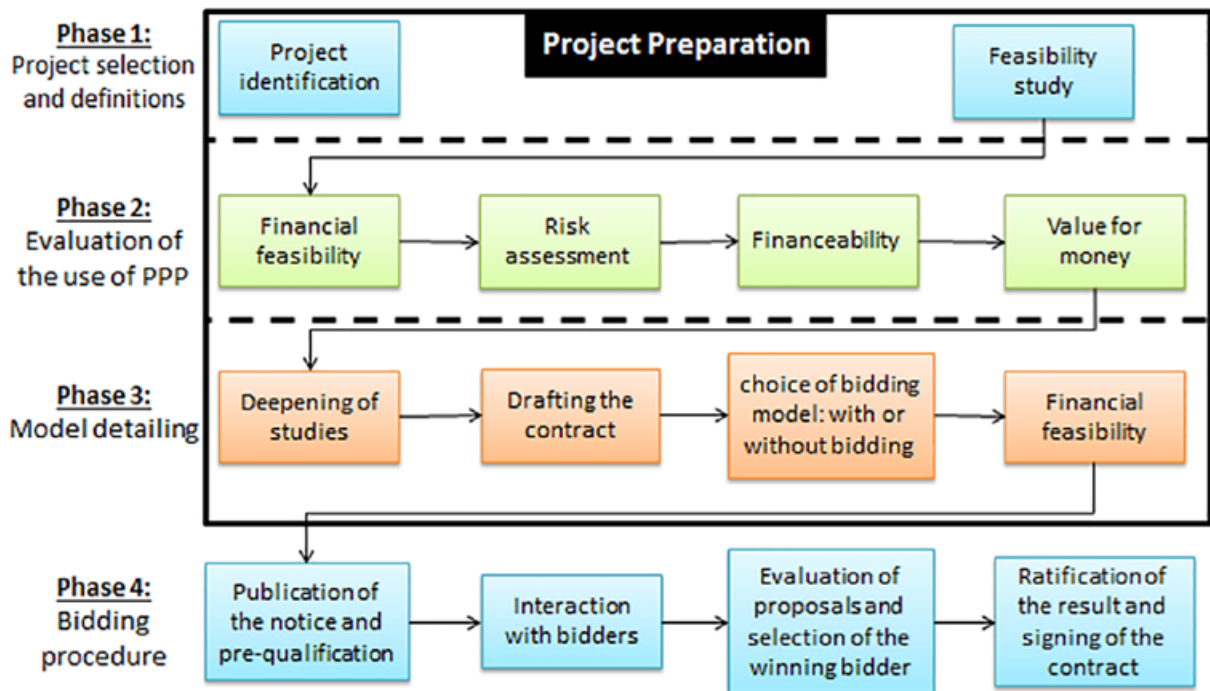
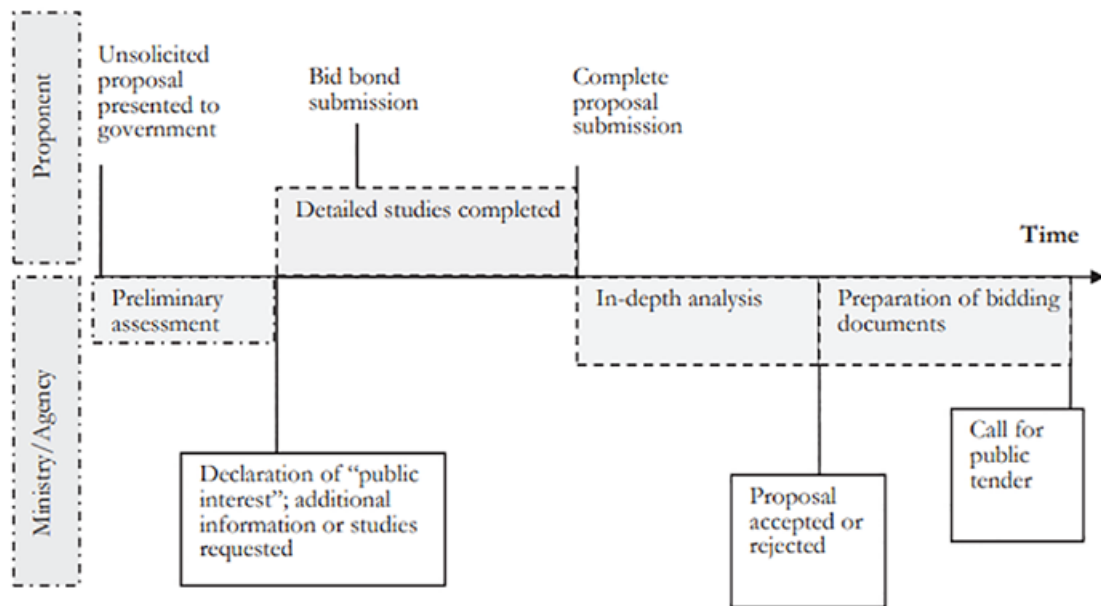


Figure 2. Preparation and bidding of infrastructure projects in the European Community

Unsolicited proposals

In emerging countries, unsolicited proposals play an important role in structuring infrastructure projects. In theory, the unsolicited proposal mechanism applied in developing countries would have the same function as in reference countries, that is, it is a mechanism that should be used in a timely manner in innovative projects, not previously identified by the government and characterized by elements of intellectual property. Given this context, the following process was developed, uniformly, in several countries (World Bank, 2007).

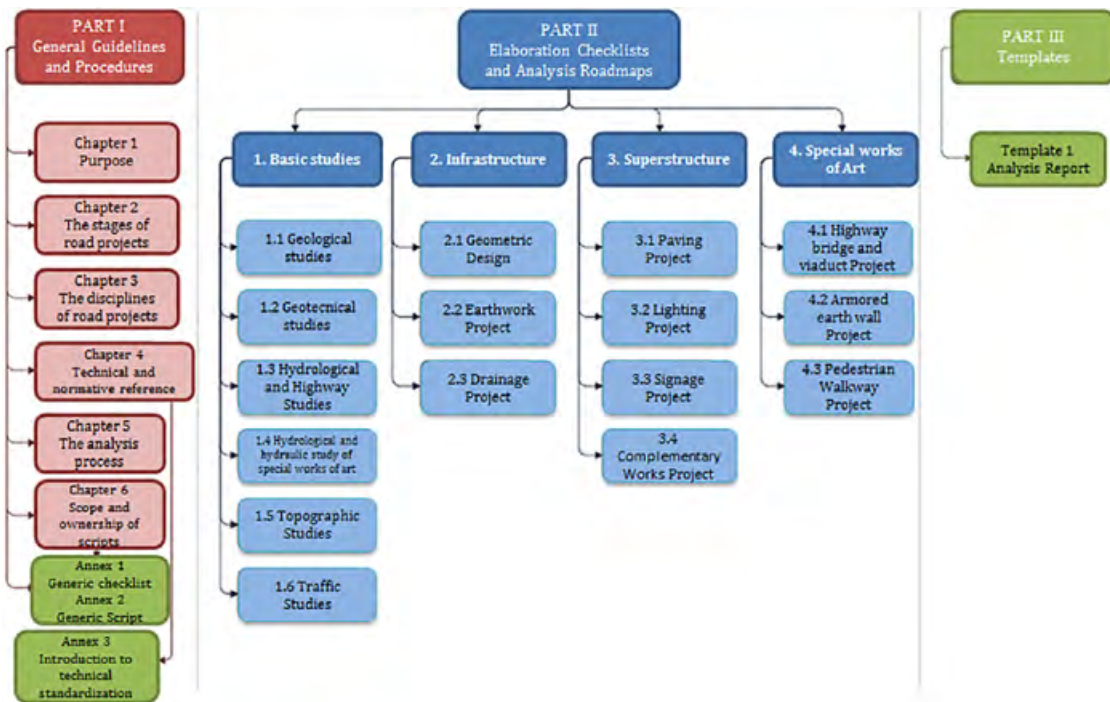


Source: World Bank (2007).

Figure 3. Fluxo de unsolicited proposals em países em desenvolvimento

Design of a basic structure for a conventional infrastructure project

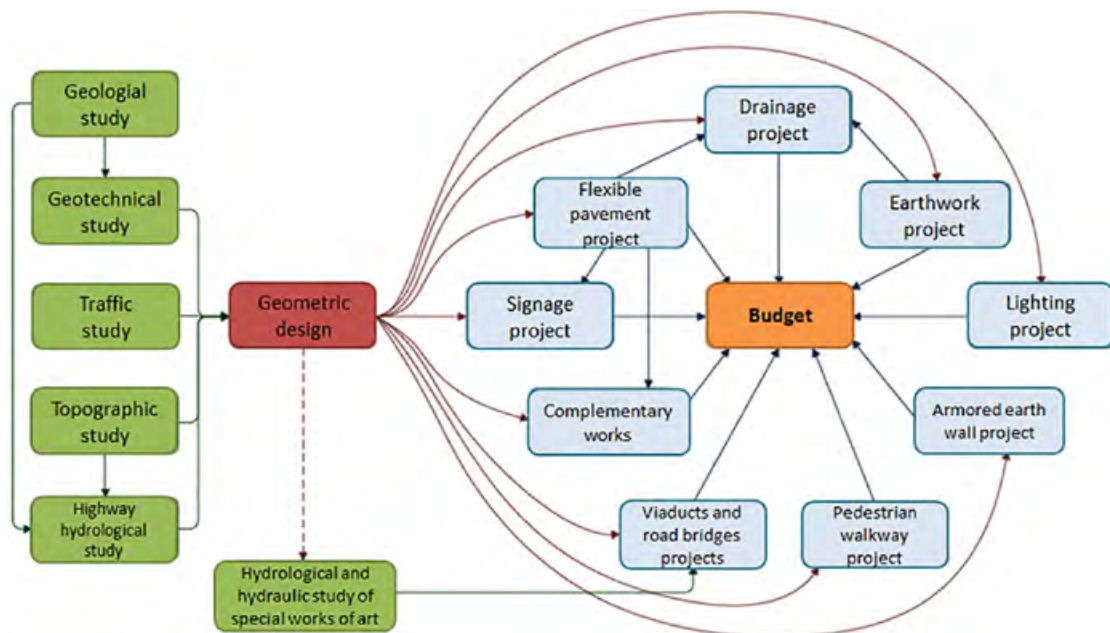
A traditional infrastructure project, such as a highway, for example, presupposes a set of projects to be produced for its full implementation. Figure 4 shows the organization chart of the analysis guide proposed by DNIT (2018).



Source: DNIT (2018)

Figure 4. DNIT analysis guide organization chart

The project preparation flow proposed by DNIT (2018) is shown in Figure 5.



Source: DNIT (2018)

Figure 5. Project elaboration flow

Engineering works of the size of HyperloopTT are characterized by presenting complex and multidisciplinary projects. Starting from a road infrastructure concept, the usual steps that make up a project include:

The Recognition stage, which consists of a primary study of the region where the layout will be developed. The purpose of reconnaissance is to guide the positioning of the road over the terrain. It is a study carried out on the Itinerary or Exploration Range (Flight Plan), through Air Survey for the production of charts.

The placement of one (or more) sequence of alignments in plan is studied. The study is completed with an analysis of the longitudinal profile. The biggest constraints considered in this stage are: characteristics of the terrain, wetlands, native forests and expropriations. At this stage, the geometry of the track is defined: horizontal and vertical curves, ramps, visibility issues, width of the carriageway, grade, stakeout, etc. A pre-dimensioning of drainage and paving is also defined. A survey of all quantities is carried out to project an estimate of the cost of the work. Preliminarily, all the technical and economic elements of the project are defined.

With the draft, the technical feasibility of the infrastructure is achieved. With the cost estimate, a Technical, Economic and Environmental Feasibility Study – EVTEA can be developed and the convenience of implementation can be analysed based on priorities or availability of resources. The draft is an important decision-making tool. The displacement of technical teams to the field is scheduled to carry out specific, detailed and complete surveys. Key services include:

- Topographic Studies: survey of the land and location of the pre-project axis; line adjustments; survey of cross sections; survey of deposits and quarries and registration of the Domain Strip;
- Geological and Geotechnical Studies: knowledge of the constitution of the terrain through subgrade soundings; surveys and surveys of deposits; quarries and loans.
- Material characterization tests to verify the possibilities of use;
- Hydrological Studies: collection of information on basins, maximum flood levels and watercourse crossings.
- Traffic Studies: volumetric counts; Directional counts for intersections.
- Analysis and projections of traffic in the project horizon.

The data and information collected in the field are duly noted and recorded in digital files. After consistency analysis, the data collected are made available to a Central Office where they will be worked on with a view to preparing the Executive or Final Project. It is the set of information that enable the understanding and construction of the road. The highway design documents are basically:

- Project Report
- Executive Project

The Project Report contains texts with the descriptive memory and justification of the Studies and Projects developed. A budget with the estimated cost of the project is presented.

The Executive Project brings together drawings, details, plans, spreadsheets and other indispensable elements for the visualization, preparation of an executive proposal, contracting and implementation

of the work.

The Final Project (in addition to the Field Studies) consists of at least the following parts:

- Geometric Project;
- Earthworks Project;
- Drainage Project;
- Paving Project;
- Signaling Project;
- Intersection Project;
- Special Works Project;
- Complementary Works Project;
- Executive Specifications;
- Schedule;
- Costs and Budget.

Currently, due to the greater needs for environmental preservation, the following services are also part of the scope of a Project:

- Environmental Impact Study – EIA: carried out by an interdisciplinary team. Technical and scientific studies and analyses are carried out to systematically assess the consequences of implementing a project on the environment, through their own assessment methods and impact prediction techniques and the development of specific measures for the protection, recovery and improvement of the environment. environment, ensuring minimal effect on the ecosystem.
- Environmental Impact Report – RIMA: it is the document that presents the results of the technical and scientific studies of the environmental impact assessment. It must contain the clarification of all the elements of the proposal under study, so that they can be disclosed and appreciated by the entire society.

Project at Federal level

After qualification by the Investment Partnership Program (PPI) team of an infrastructure project, the National Land Transportation Agency ANTT becomes responsible for technical and economic-financial feasibility studies, with support from the Ministry of Infrastructure, Valec Engenharia, Planning Company and Logistics (EPL) and PPI, as well as external consultants. The Infrastructure Concession Superintendence acts in the project structuring phases until the signing of the respective contract or addendum:

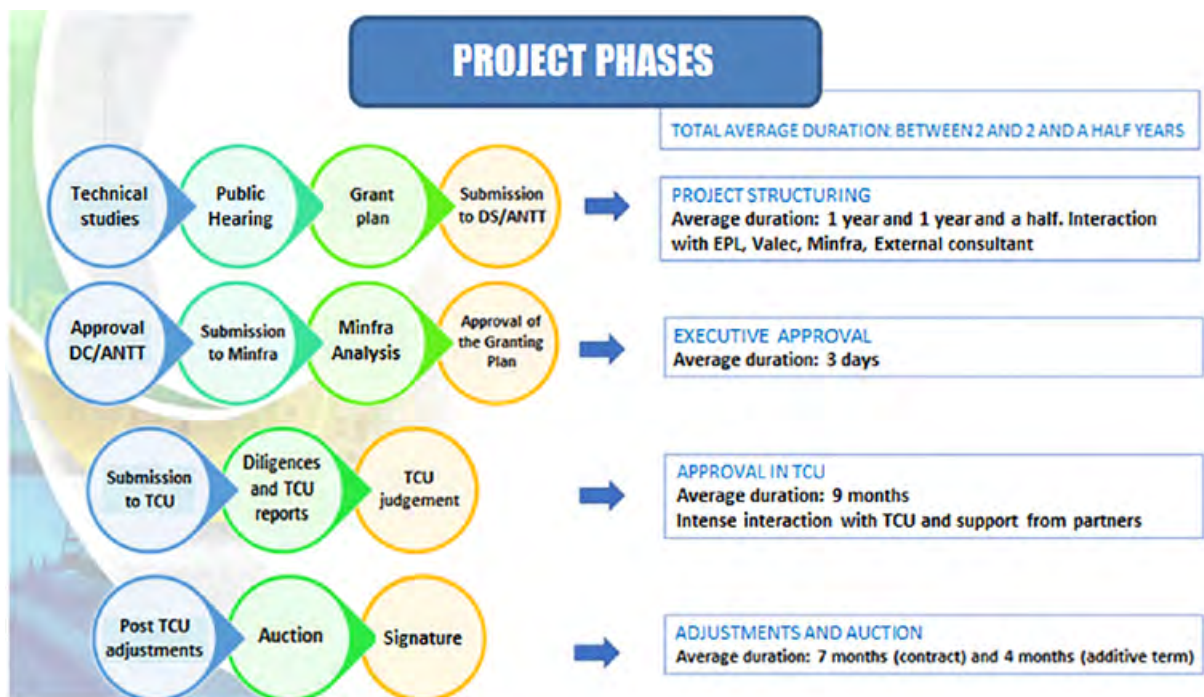


Figure 6. Phases of a project at the federal level

Commissioning

Commissioning is a process that aims to ensure that systems and components of a building or industrial plant are in accordance with the requirements and operational needs, regarding design, installation, testing and operation. It is an integrated application of engineering techniques and concepts to verify, inspect and test all components of the project.

As previously mentioned, the HyperloopTT project contains elements of transport infrastructure, but also of an industrial plant, due to the complexity of the proposed operations. In this sense, industrial projects can be divided into five stages, namely:

- Enterprise management,
- Technical-economic feasibility,
- Engineering, supplies,
- Construction and
- Pre-operation / testing.

Obviously, commissioning can take place at all stages of the project. Typically, the commissioning process is divided into the following steps:

- Commissioning Planning;
- Mechanical Complementation;
- Pre-commissioning;
- Commissioning;
- Assisted Operation.

A simple way to manage these steps is to divide the project by commissioning packages, where each package has several components to be tested, and for each component to develop a checklist (protocol) that will validate or fail the tests.

New legal framework for railways

A new legal framework is under discussion at the Brazilian Senate. Senate' Bill No. 261/2018 allows the indirect exploitation by the Federal Government of rail transport in privately owned infrastructures. The discussion is on its final stages of processing. It authorizes rail self-regulation; disciplines transit and rail transport; amends Decree-Law No. 3365, of June 21, 1941, Laws Nos. 9503, of September 23, 1997, 10,233, of June 5, 2001, 12,379, of January 6, 2011; and makes other arrangements.

In the proposed Law, new forms of relationship between public and private are introduced, such as the figure of authorization. In this case, it means the encouragement and formalization of the figure of greenfield projects fully conceived and implemented by the private sector.

This new configuration introduces some changes on previous procedures that were based on public projects *latu sensu*. This analysis intends to incorporate possible changes that may impact the project approval timeline.

Environmental approval

The Henrique Luis Roessler State Environmental Protection Foundation (Fepam) is the institution responsible for environmental licensing in Rio Grande do Sul state. Since 1999, Fepam has been linked to the State Secretariat for the Environment and Infrastructure (Semai). Fepam shares the attribution of licensing and authorization processes for environmental intervention with the State Department of Forests and Protected Areas (Defap) and with the Department of Water Resources (DRH).

Fepan is one of the executive bodies of the State System for Environmental Protection (Sisepa), which provides integrated action of the state's environmental bodies in conjunction with the work of the municipalities.

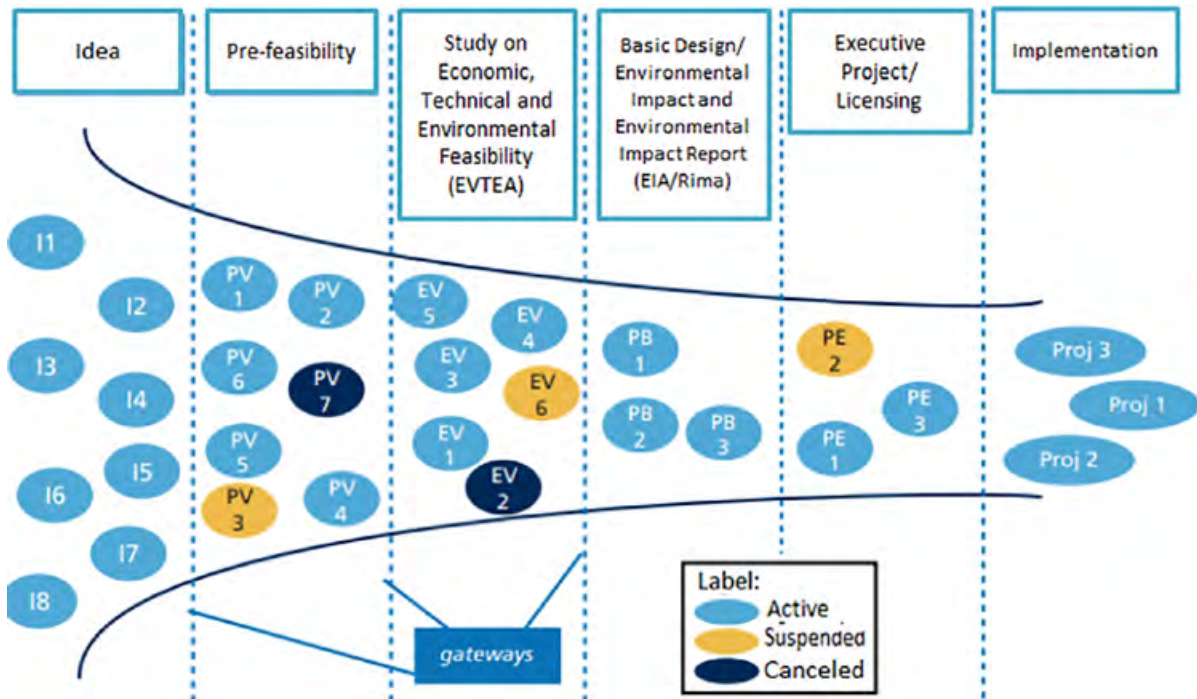
Environmental Licensing (LI) is the administrative procedure by which the competent environmental agency, which may be federal, state or municipal, licenses the location, installation, expansion and operation of projects and activities that use environmental resources, considered effective or potentially polluting or those that, in any form, can cause environmental degradation.

The Preliminary License (LP) is the first environmental license to be requested in the preliminary phase of the Environmental Licensing of project planning, which will assess the environmental feasibility of the site proposed for the implementation or expansion of the project.

The Operating License (LO) is the environmental license that must be requested after the completion of the project's installation works, in which environmental conditions for its operation will be established.

Risks

The following figure lists some eventualities associated with risks at different stages of a project.



Source: Souza e Pompemayer (2018)
Figure 7. Project Portfolio Management

In the cases of public investment projects in infrastructure, the risk assessment of each solution alternative must also be considered during their selection, as they are extremely complex processes, intensive in scale and capital and involve high financial resources in conditions of high unpredictability, which they threaten its good execution in terms of cost, time or quality (Souza and Pompemayer, 2018).

Risks can be categorized and described based on certain events. The following table lists some eventualities associated with risks at different stages of a project.

Tabela 1. Categorias de riscos associados a diferentes etapas de um projeto

Type of risk	Detailing
Geographical inadequacy	Inappropriate terrain; delays in licensing; site contamination; environmental damage; risks related to land tenure and discovery of assets.
Directly linked to the project	Execution error; and acceptance and openness to use process.
Financial and corporate nature	Interest rate fluctuation; failure to obtain funding sources; insolvency of the concessionaire; adverse financial conditions; delay in releasing funding; risks of additional design and construction requirements; tax risk and change in the concessionaire's corporate control.
Operational character	Higher cost of inputs and execution; market risks; technical failures, inadequacy of technology and insufficient demand; adverse economic situation; unanticipated competition; risks of geographic changes and inflation and monetary erosion of real revenues.
Interface character	Risks of lack of integration with complementary services, failures in the strengthening of infrastructure services; labor and social risks; strikes; protests; political frictions; legislative and governmental risks; need for additional licensing; and risks of changes in law or policy.
Residual risks	Asset useful life; early expiry of the contract; and risk of a reduction in the residual value of the reverted asset.
Force majeure risks	Political upheavals; environmental disasters; and serious accidents.

Source: Souza e Pompemayer (2018)

Steps - timeline

Based on the previous discussion, it is possible to summarize the main steps to be considered, as shown below:

1. Draft (see HyperloopTT)
 - a. The project structuring
 - b. Technical feasibility of the highway.
2. Approvals (3 months to 1 year)
 - a. The Approval of the project/state and municipal level (due to the size, the enterprise must be subject to authorizations and conditions - crossing of rural, urban areas, infrastructure, etc.)
3. Basic project (6 months)
 - a. 1 year
 - i. Geometric Design;
 - ii. Earthworks Project;
 - iii. Drainage Project;
 - iv. Paving Project;
 - v. Signalling Project;
 - vi. Intersection Project;
 - vii. Special Works Project;
 - viii. Complementary Works Project;
 - ix. Executive Specifications;
 - x. Schedule;
 - xi. Costs and Budget.

4. Environmental licensing (1 year, but can start with elements of the draft)
5. Government authorization (6 months)
6. Expropriation (negotiations and acquisition of urban and rural land) (3 to 6 months)
7. Energy generation project
8. Construction (see HyperloopTT) 4 years
9. Distributed energy generation project
 - a. As regards the distributor, that is, the interested party submits the project for approval, the regulation establishes the following deadlines for issuing the access opinion (approving the project and carrying out the studies to enable the connection):
 - i. Microgeneration (plants $\leq 75\text{kW}$):
 1. Up to 15 days if there is no need for improvements or reinforcements in the distribution system accessed;
 2. Up to 30 days of need for improvements or reinforcements.
 - ii. Mini-generation ($75\text{kW} < \text{plants} \leq 5\text{MW}$):
 1. Up to 30 days if there is no need for improvements or reinforcements in the distribution system accessed;
 2. Up to 60 days of need for improvements or reinforcements.
 3. Occasionally there are violations of these deadlines, but this is the general rule.
10. Commissioning (see HyperloopTT) 6 months
11. Start of commercial operation

The table timeline below and the table present the times required for the development and approval of the various stages of the HyperloopTT project.

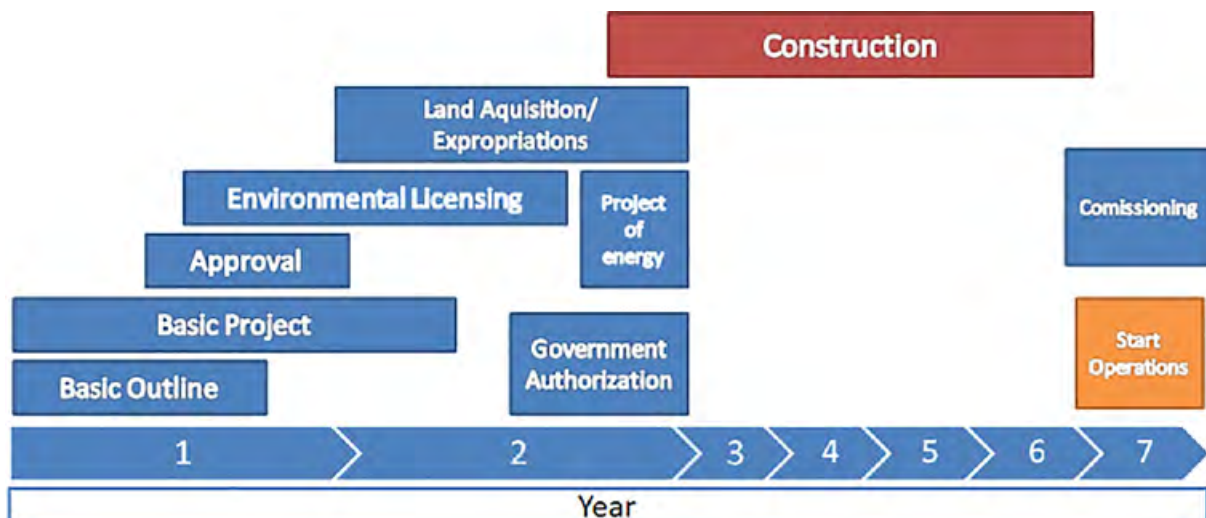


Figura 8. Timeline for project approval

References

Brasil. Ministério do Meio Ambiente. (2016). Procedimentos de Licenciamento Ambiental do Brasil / Maria Mônica Guedes de Moraes e Camila Costa de Amorim, autoras; Marco Aurélio Belmont e Pablo Ramosandrade Villanueva, Organizadores. – Brasília: MMA,2016. p. 544. ISBN 978-85-7738-276-7

DNIT (2018). Guia de análise de projetos rodoviários Janeiro.

Souza, Rennaly Patricio Sousa; e Pompermayer, Fabiano Mezadre (2018). ELABORAÇÃO, AVALIAÇÃO E SELEÇÃO DE PROJETOS NO SETOR DE INFRAESTRUTURA. In: Governança da política de infraestrutura: condicionantes institucionais ao investimento / Alexandre de Ávila Gomide, Ana Karine Pereira, editores. – Rio de Janeiro : Ipea, 2018. 449 p. : il.: gráfs. Inclui bibliografia. ISBN 978-85-7811-332-2

World Bank. Unsolicited infrastructure proposals: how some countries introduce competition and transparency, 2007.



HYPERLOOPTT

HyperloopTT Transportation
Technologies Inc.

12 ADDRESS STREET
SUBURB, POSTCODE
COUNTRY, STATE

[HYPERLOOPTT.COM](https://www.hyperlooptt.com)