



UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA  
CENTRO TECNOLÓGICO  
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL  
CURSO DE GRADUAÇÃO DE ENGENHARIA CIVIL

Vinícius de Andrade

**ESTUDO DE ADAPTAÇÃO DE UMA FERROVIA ENTRE SÃO PAULO (SP) E SÃO  
JOSÉ DOS CAMPOS (SP) COM USO COMBINADO PARA TRANSPORTE DE  
CARGAS E PASSAGEIROS**

Florianópolis, Santa Catarina

2023

Vinícius de Andrade

**ESTUDO DE ADAPTAÇÃO DE UMA FERROVIA ENTRE SÃO PAULO (SP) E SÃO JOSÉ DOS CAMPOS (SP) COM USO COMBINADO PARA TRANSPORTE DE CARGAS E PASSAGEIROS**

Trabalho Conclusão do Curso de Graduação em Engenharia Civil do Centro Tecnológico da Universidade Federal de Santa Catarina como requisito para a obtenção do título de Bacharel em Engenharia Civil.

Orientador: Prof. Dr. Marcos Aurélio Noronha

Florianópolis, Santa Catarina

2023

Ficha de identificação da obra elaborada pelo autor,  
através do Programa de Geração Automática da Biblioteca Universitária da UFSC.

Andrade, Vinícius de

Estudo de adaptação de uma ferrovia entre São Paulo (SP) e São José dos Campos (SP) com uso combinado para transporte de cargas e passageiros / Vinícius de Andrade ; orientador, Marcos Aurélio Marques Noronha, 2023.

102 p.

Trabalho de Conclusão de Curso (graduação) - Universidade Federal de Santa Catarina, Centro Tecnológico, Graduação em Engenharia Civil, Florianópolis, 2023.

Inclui referências.

1. Engenharia Civil. 2. Ferrovias. 3. Estudo de Traçado. 4. Infraestrutura. 5. Projeto brownfield. I. Noronha, Marcos Aurélio Marques. II. Universidade Federal de Santa Catarina. Graduação em Engenharia Civil. III. Título.

Vinícius de Andrade

**Estudo de adaptação de uma ferrovia entre São Paulo (SP) e São José dos Campos (SP) com uso combinado para transporte de cargas e passageiros**

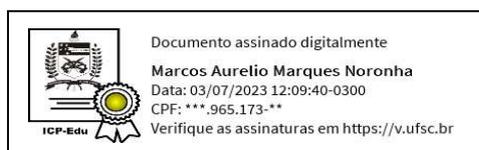
Este Trabalho de Conclusão de Curso foi julgado adequado para obtenção do título de “Bacharelem Engenharia Civil” e aprovado em sua forma final pelo Curso de Graduação em Engenharia Civil.

Florianópolis, 26 de junho de 2023.

---

Prof.<sup>a</sup> Liane Ramos da Silva, Dra.

**Banca examinadora**



Prof. Marcos Aurélio Marques Noronha, Dr.

Orientador

Prof. Eduardo Lobo, Dr.

Avaliador

Eng. Gabriel Fonseca Bordeaux Rego

Avaliador

## **AGRADECIMENTOS**

Primeiramente agradeço aos meus pais e minha madrasta que sempre me deram muito amor, uma boa educação e foram muito importantes para eu chegar até aqui. Apesar de eu não ser muito de ligar com frequência, saibam que penso bastante em vocês e sinto saudades. Ao meu irmão também, que vive dizendo o quanto sou inteligente, o que sempre me dá um boost na confiança, necessário. E inclusive virou pai esse ano, parabéns pelo Raelzinho, Fe!

Agradeço aos meus amigos, Érico e Sota, que apesar da distância, me ajudaram numa parte muito importante dessa jornada, que é a diversão, sempre estando presente nas calls (exceto quanto estavam no mercado ou no conforto médico né) nos momentos que eu precisava me distrair um tanto do estresse da vida acadêmica com provas, trabalhos e afins.

Aos professores que, através de seus conhecimentos, colaboraram na minha formação acadêmica e profissional para eu me tornar um bom engenheiro. Aos colegas de classe que compartilharam as salas de aula, fazendo trabalhos juntos e etc., em especial ao grande Thiagão, que me salvou muito me ajudando em diversas matérias, sempre comentei que ia mencionar tu no meu TCC, e tá aí.

Enfim, a todos que passaram pela minha vida nessa grande jornada, seja de passagem ou pra ficar. Vindo do interior de São Paulo, introvertido que sou, morando sozinho em Florianópolis foi muito bom não ficar realmente sozinho e conhecer pessoas incríveis nesse meio tempo. Um agradecimento especial a Liz, que me ajudou muito em diversos momentos durante esses anos de graduação, entre outras coisas.

Um agradecimento também ao Professor Marcos Aurélio Marques Noronha por toda ajuda, tempo disponibilizado e conhecimento repassados não só ao longo da orientação, mas também nas aulas, sempre trazendo o conteúdo de forma interessante, acendendo em mim esse interesse por ferrovias que me fez conhecer um pouco do passado de minha cidade natal, São José dos Campos, realizando este trabalho.

Por fim, agradeço aos membros da banca, que se disponibilizaram para avaliar e contribuir para esse fim de um ciclo em minha vida.

“É como se todo mundo contasse uma história sobre si mesmo dentro de sua própria cabeça. Sempre. O tempo todo. Essa história faz de você o que você é. Nós nos construímos a partir dessa história.”

ROTHFUSS, Patrick – O Nome do Vento  
(meu livro favorito)

## RESUMO

O setor ferroviário do Brasil apresenta-se estagnado nas últimas décadas, já que a malha não apresentou avanços significativos em sua extensão e muitos trechos estão inativos. Conseqüentemente, as rodovias são responsáveis por grande porcentagem do transporte de cargas tanto entre o transporte de cargas quanto para a mobilidade de passageiros, ocasionando no sobre uso de um único modal. É sabido que o modal ferroviário é o mais indicado para o transporte de produtos de baixo valor agregado em longas distâncias, contudo há ainda a possibilidade do uso deste modal para carga geral, que possuem um maior valor agregado, utilizando-se da intermodalidade, fazendo a última milha com o transporte rodoviário, que satisfaz a necessidade do transporte porta a porta para cargas gerais. Desse modo, considerando sua extensão territorial, o investimento em ferrovias torna-se um assunto prioritário na pauta de infraestrutura e logística do país. Este estudo alia a importância do uso da infraestrutura existente para novos projetos ferroviários com soluções de intermodalidade para a eliminação dos gargalos físicos e operacionais existentes no setor. Abordou-se o conceito de projetos brownfield para a adaptação de traçados existentes de ferrovia para um uso de transporte de cargas e passageiros, considerando a adequação de parâmetros a serem considerados como rampa máxima de inclinação vertical e raio mínimo de curva horizontal, além de soluções para garantir o acesso a outros modais. Como estudo de adaptação foi escolhido o a ferrovia que liga São Paulo (SP) a São José dos Campos (SP). A região em questão apresenta um relevo de planalto, que facilita em muito a exequibilidade e análises de adaptação, dando enfoque para as soluções de acesso para os usuários e conexão com outros modais. Por fim, o estudo foi feito utilizando-se principalmente de imagens de satélites disponíveis e verificação de normas estabelecidas.

**Palavras-chave:** Ferrovias. Projeto brownfield. Transporte de passageiros e carga geral. Adaptação de ferrovia.

## ABSTRACT

The railway sector in Brazil has been stagnant in recent decades, as the network has not experienced significant expansion, and many sections are inactive. Consequently, highways account for a large percentage of both freight transportation and passenger mobility, leading to the overuse of a single mode of transport. It is well known that the railway mode is most suitable for transporting low-value goods over long distances. However, there is still the possibility of utilizing this mode for general cargo, which has higher added value, by employing intermodality and incorporating the last mile with road transport, which meets the need for door-to-door transportation for general cargo. Thus, considering its territorial expanse, investment in railways becomes a priority on the country's infrastructure and logistics agenda. This study combines the importance of utilizing existing infrastructure for new railway projects with intermodal solutions to eliminate existing physical and operational bottlenecks in the sector. The concept of brownfield projects was addressed, focusing on the adaptation of existing railway alignments for the transportation of goods and passengers. This includes the adjustment of parameters such as maximum vertical incline gradient and minimum horizontal curve radius, as well as solutions to ensure access to other modes of transport. The railway linking São Paulo (SP) to São José dos Campos (SP) was chosen as a case study for the adaptation. The region in question has a plateau topography, which greatly facilitates the feasibility and analysis of adaptation, with emphasis on solutions for user access and connection to other modes of transport. Finally, the study primarily relied on available satellite images and compliance with established regulations.

**Keywords:** Railways, Brownfield project, Passenger and general cargo transportation, Railway adaptation.

## LISTA DE FIGURAS

<i>Figura 1. Carregamentos de automóveis em veículos/dia – 2018 - MMP</i>	19
<i>Figura 2. Carregamentos de ônibus rodoviários em veículos/dia – 2018 - MMP</i>	19
<i>Figura 3. Carregamentos em toneladas/dia – 2018 - MMP</i>	20
Figura 4. Mapa - Avanço das Companhias Ferroviárias no Estado de São Paulo	22
<i>Figura 5. Mapa - Criação de municípios e o avanço das ferrovias no Estado de São Paulo.</i>	23
<i>Figura 6. Mapa Ferroviário de SP com ferrovias ativas e inoperantes</i>	26
<i>Figura 7. Horários do Tráfego Provisório da Recém linha ferroviária em SJC.</i>	28
Figura 8. Mapa da Central do Brasil de 1922, mostrando a linha antiga (linha em tráfego) e a linha nova em construção (variante)	29
Figura 9. Mapa da Central do Brasil de 1922 e sobreposição com imagem de satélite de São José dos Campos.	29
Figura 10. Recortes de jornais com notícias de acidentes no traçado do Banhado	30
<i>Figura 11. Ferrovias russas – Toneladas por commodities</i>	36
<i>Figura 12. Ferrovias chinesas – Toneladas por commodities</i>	37
Figura 13. Participação na Matriz de Transportes Brasil x Mundo	42
<i>Figura 14. Tipos de Regulação no Modal Ferroviário</i>	50
<i>Figura 15. Divisão da Macrometrópole Paulista</i>	53
<i>Figura 16. Sistema Logístico Difuso x Estruturado</i>	55
Figura 17. Gráfico - Distribuição percentual da demanda de passageiros e captação TIC – Rede completa	58
Figura 18. Fluxograma sobre Estudo de Viabilidade (Preliminar)	64
Figura 19. Fluxograma sobre Projeto Básico (Anteprojeto)	66
Figura 20. Fluxograma sobre Estudo de Traçado	68
Figura 21. Forças atuantes no carro ferroviário	70
Figura 22. Determinação de insuficiência de superelevação (I)	71
Figura 23. Determinação de excesso de superelevação (E)	72
Figura 24. Forças atuantes sobre veículo parado na curva	73
Figura 25. Faixa de superelevação permitida – 80km/h	75
Figura 26. Faixa de superelevação permitida – 100km/h	75
Figura 27. Faixa de superelevação permitida – 120km/h	76

Figura 28. Raio de Curva mínimo com superelevação permitida	76
Figura 29. Faixa de superelevação permitida – 160km/h	77
Figura 30. Topografia da região, com filtros de altitude	78
Figura 31. Traçado da Ferrovia existente	79
Figura 32. Destaque da Curva em “S” e Alternativa considerada	80
Figura 33. Perfil de Elevação da Alternativa considerada	80
Figura 34. Perfil de Elevação Curva em análise	80
Figura 35. Perfil de Elevação da via existente SJC-SP	82
Figura 36. Fórmula de Scott e gráfico T x N	84
Figura 37. Traçado da via com Pátios de Ultrapassagem destacados	85
Figura 38. Sistema de blocos exemplificado	87
Figura 39. Blocos de Operação a cada 15km	90
Figura 40. Locação do Terminal Logístico de Cargas e Rodovias de interesse próximas - SP	93
Figura 41. Terminal Logístico existente e imagem de satélite - SP	94
Figura 42. Locação do Terminal Logístico de Cargas e Rodovias de interesse próximas - SJC	94
Figura 43. Locação do Terminal Logístico e Imagem de satélite	95
Figura 44. Esquema de Manutenção para o cenário de vetores operando isoladamente	96
Figura 45. Esquema de Vias PAM-TL	97

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Fluxos de deslocamentos para trabalho e estudo entre arranjos populacionais da 2ª Integração do Arranjo Populacional de "São Paulo/SP", acima de 2 000 pessoas – 2010 .....	18
Tabela 2 - Características gerais dos trens de passageiros.....	33
<i>Tabela 3 - Matriz do Transporte de Cargas no Brasil.....</i>	<i>42</i>
<i>Tabela 4 - Extensões da Malha Ferroviária Brasileira de Cargas e suas Respectivas Bitolas .....</i>	<i>45</i>
Tabela 5 – Extensão e Demanda dos serviços TIC .....	57
Tabela 6 – Máximo de excesso de superelevação (E) – UIC-703R.....	73
Tabela 7 – Insuficiência de superelevação (I) – UIC-703R .....	74
Tabela 8 - Resumo das limitações de superelevação .....	74
Tabela 9 -. Rampa máxima conforme relevo.....	81
Tabela 10 – Premissas Operacionais Resumidas para Elaboração de Grade Horária .....	88
Tabela 11 – Tempos de viagem por tipo de trem TIC e EC – Vetor 4.....	88

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ANTF – Associação Nacional dos Transportadores Ferroviários

ANTT – Agência Nacional de Transportes Terrestres

CAPEX – Capital Expenditure

CCO – Centro de Controle Operacional

CNT – Confederação Nacional do Transporte

CPTM - Companhia Paulista de Trens Metropolitanos

DMU – *Diesel Multiple Unit*

EMU – *Electric Multiple Unit*

DNIT – Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes

ISF – Instrução de Serviço Ferroviário

MMP – Macro Metrôpole Paulista

OAEs – Obras de Arte Especiais

PAM-TL – Plano de Ação de Transporte de Passageiros e Logística de Cargas da Macrometrôpole Paulista

RFFSA – Rede Ferroviária Federal

SJC – São José dos Campos

SNCF – *Société Nationale des Chemins de fer Français*

TGV – *Train à Grande Vitesse*

TKU – Tonelada Quilômetro Útil

TU – Tonelada Útil

VAC/VCA – Volts em Corrente Alternada

VLT – Veículo Leve sobre Trilhos

VLP – Veículo Leve sobre Pneus

## SUMÁRIO

<b>1. INTRODUÇÃO</b> .....	<b>15</b>
<b>1.2 CONSIDERAÇÕES INICIAIS</b> .....	<b>16</b>
<b>1.3 OBJETIVOS</b> .....	<b>16</b>
1.3.1 Objetivo Geral .....	17
1.3.2 Objetivos Específicos .....	17
<b>1.4 JUSTIFICATIVA</b> .....	<b>17</b>
<b>1.5 Estrutura do Trabalho</b> .....	<b>21</b>
<b>2. Contextualização Geral</b> .....	<b>21</b>
<b>2.1 Histórico Ferroviário no Estado de São Paulo</b> .....	<b>22</b>
2.1.1 O ideal Rodoviário e Consequências para a Malha Ferroviária Atual no Estado de São Paulo	23
<b>2.2 Histórico de São José dos Campos e Ferrovias</b> .....	<b>26</b>
<b>2.3. Definições pertinentes para estudo de Ferrovias</b> .....	<b>31</b>
2.3.1. Características do Mercado de Transporte .....	31
2.3.1.1. Serviços de Transporte para Passageiros.....	31
2.3.1.2. Serviços de Frete de Cargas.....	36
2.3.1.3. O que as Ferrovias fazem melhor .....	39
2.3.1.4. Resumo de Outros modais e Matriz de Transportes Brasil x Mundo .....	40
<b>2.4. Principais Gargalos e Soluções para o Sistema Ferroviário</b> .....	<b>43</b>
2.4.1. Falta de Padronização das Bitolas .....	43
2.4.2. Regulação do Modal Ferroviário: Direito de Passagem, Tráfego Mútuo e Concessões .....	47
2.4.3. Passagens em Nível e Invasões de Faixas de Domínio.....	50
<b>3. Plano de Ação de Transporte e Logística</b> .....	<b>53</b>
<b>3.1 Soluções propostas no PAM-TL pertinentes ao presente estudo</b> .....	<b>56</b>
3.1.1 Trem Intercidade (TIC) .....	56
3.1.2 Expresso Carga (EC).....	58
3.1.2.1 VUCBOXes .....	59
3.1.2.2 Requisitos para os novos Veículos Urbanos de Carga no transporte das VUCBoxes propostas.....	60
3.1.2.3 O conceito de operação dos trens do Expresso Carga.....	60
<b>4. Análise de Traçado</b> .....	<b>61</b>

<b>4.1. Aspectos Técnicos no Estudo de Traçados Ferroviários e Fases do Projeto.....</b>	<b>62</b>
<b>4.1.1 Estudos de Viabilidade.....</b>	<b>62</b>
<b>4.1.2 Anteprojetos .....</b>	<b>64</b>
<b>4.2. Projetos Greenfield e Brownfield.....</b>	<b>66</b>
<b>4.3. Estudo de Adaptação.....</b>	<b>67</b>
<b>4.3.1. Estudo de Traçado.....</b>	<b>67</b>
<b>4.3.2. Definições iniciais.....</b>	<b>68</b>
<b>4.3.3 Restrições de Raio Mínimo de Curvatura e Superelevação .....</b>	<b>69</b>
<b>4.3.4 Limitação de Rampa máxima.....</b>	<b>78</b>
<b>4.3.5. Adequação para nova Demanda .....</b>	<b>82</b>
<b>4.3.6. Capacidade da Via e Operação por Blocos .....</b>	<b>83</b>
<b>4.3.7. Captação de Passageiros e Intermodalidade.....</b>	<b>91</b>
<b>4.3.8. Localização do Centro de Logística (EC).....</b>	<b>91</b>
<b>4.3.9. Trecho Brás-Itaquaquecetuba.....</b>	<b>95</b>
<b>4.3.10. Resultados .....</b>	<b>96</b>
<b>5. Considerações finais e recomendações .....</b>	<b>98</b>
<b>5.1 Considerações finais .....</b>	<b>98</b>
<b>5.2 Recomendações de Trabalhos Futuros .....</b>	<b>99</b>
<b>6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b>	<b>100</b>

## 1. INTRODUÇÃO

A Revolução Industrial foi um período de grande avanço tecnológico iniciado na Inglaterra, na segunda metade do século XVIII, e em pouco tempo esses novos avanços mudaram a relação do homem entre si e com o mundo, e com isso, uma demanda por transporte de pessoas, cargas e diminuição de distâncias foram criadas. E foi neste contexto de crescimento que a primeira ferrovia foi concebida, no século XIX, e se mostrou muito eficaz para suprir as novas demandas, e desde então vem se espalhando pelo mundo e se aperfeiçoando até os dias atuais. Rapidamente, observando o sucesso inglês, houve um interesse do governo imperial brasileiro, que elaborou uma lei em outubro de 1835 incentivando a construção de estradas de ferro, na qual figuras importantes marcaram seus nomes na História, tal como Irineu Evangelista, o Barão de Mauá, que teve papel importante nas primeiras ferrovias do Brasil, que teve um grande crescimento neste período. Desse modo, houve uma época em que a construção de ferrovias era interesse de muitos investimentos estatais e privados que buscavam, sobretudo, meios de agilizar o escoamento de produtos, como o café. Da metade do século XIX até a década de 1920, a malha ferroviária brasileira cresceu muito. Em 1919, o país já possuía mais de 28 mil quilômetros de ferrovias, possuindo assim um futuro promissor. Contudo, esse ímpeto logo passou com a chegada das indústrias automobilísticas e políticas focalizadas em favor destas, colocando a ferrovia em segundo plano, que agora com baixos investimentos, passaram a ser sucateadas. Fazendo um panorama geral do setor de transporte no Brasil no último século, após algumas décadas, as consequências do afunilamento para um modal único de transporte, nos anos 50, se tornaram evidentes com gargalos associados ao seu uso sobre uso.

O transporte desempenha um papel fundamental no desenvolvimento econômico e social de um país, e as ferrovias têm sido uma parte essencial desse sistema ao longo da história. No contexto brasileiro, as ferrovias tiveram um papel crucial no passado, impulsionando o crescimento e a integração das regiões, mas enfrentaram desafios significativos ao longo do tempo, tendo como consequência seu sucateamento. No entanto, nas últimas décadas, tem havido um renovado interesse no setor ferroviário, com esforços para revitalizar e expandir a infraestrutura ferroviária em todo o país.

O objetivo deste trabalho é investigar o papel das ferrovias no transporte de passageiros e cargas no Brasil, explorando os desafios enfrentados pelo setor, as oportunidades de desenvolvimento e os impactos econômicos e ambientais associados. Além disso, busca-se compreender as iniciativas governamentais e privadas em curso para impulsionar a modernização e a eficiência das ferrovias brasileiras, visando aprimorar a logística de transporte e promover a sustentabilidade.

Ao longo deste estudo, serão abordados temas como a história das ferrovias no Brasil, os avanços tecnológicos no setor, a intermodalidade com outros modais de transporte, a importância das ferrovias para o transporte de passageiros e cargas, bem como os desafios enfrentados, como a falta de investimentos e a necessidade de melhorias na infraestrutura. Espera-se que este trabalho contribua para uma compreensão mais abrangente do papel das ferrovias no contexto brasileiro e para o fomento de discussões e iniciativas que impulsionem o desenvolvimento do transporte ferroviário no país.

## **1.2 CONSIDERAÇÕES INICIAIS**

Dado um panorama geral das ferrovias no Brasil, e sua subutilização, diversas propostas são feitas para melhorar este cenário no decorrer dos anos, sendo uma dessas, que será objeto de estudo para este trabalho, o Plano de Ação de Transporte e Logística para a Macrometrópole Paulista (PAM-TL), que tem como algumas de suas propostas o Trem Intercidade (TIC), no que se refere a transporte de passageiros, e os Expresso de Cargas (EC), para transporte de cargas.

Com as recentes mudanças, incluindo medidas provisórias e programas de incentivo ao modal ferroviário no Brasil, projetos que anteriormente estavam paralisados devido à falta de recursos financeiros e outras questões, agora ganham perspectivas mais favoráveis em termos de viabilidade financeira. Portanto, é válido considerar a viabilidade de projetos logísticos anteriores, aproveitando as oportunidades criadas por essas novas medidas.

## **1.3 OBJETIVOS**

Nas seções abaixo estão descritos o objetivo geral e os objetivos específicos deste TCC.

### **1.3.1 Objetivo Geral**

Avaliar o traçado de ferrovia que conecta São Paulo (SP) e São José dos Campos (SP) e identificar a possibilidade de uso combinado de transporte de cargas e passageiros com o aproveitamento da infraestrutura existente, se possível.

### **1.3.2 Objetivos Específicos**

- (a) Estudar o histórico das ferrovias existentes no Estado de São Paulo e São José dos Campos, com o intuito de identificar e compreender os motivos que levaram a sua subutilização;
- (b) Analisar o Plano de Ação de Transporte e Logística para a Macrometrópole Paulista (PAM-TL) e a verificar as medidas pertinentes para a rota em estudo;
- (c) Realizar um estudo do traçado existente, verificando possíveis alternativas e melhorias, e definindo áreas para implementação de centro de logística intermodal. De forma a chegar num esquema compatível com o elaborado pelo PAM-TL, por meio de uma análise de infraestrutura, o qual não é discutido em detalhes no Documento Executivo.

## **1.4 JUSTIFICATIVA**

São José dos Campos é uma cidade de grande importância econômica, sendo um dos principais polos tecnológicos do Brasil. O destaque está no Parque Tecnológico, que se posiciona como um dos principais centros de desenvolvimento da indústria aeronáutica no país. O Parque abriga mais de 300 empresas e já recebeu investimentos públicos e privados no valor de mais de R\$ 1,89 bilhão. Além da aeronáutica, a cidade também concentra negócios nos setores automotivo, energético, saúde, têxtil, tecnologia da informação e comunicação, e transporte. A presença de universidades, institutos de pesquisa e empresas de renome cria um ambiente propício para a conexão entre diferentes setores.

Considerando esse cenário, a adição de rotas ferroviárias que conectem São Paulo, uma das principais cidades do Brasil, a São José dos Campos se torna altamente interessante. Além da relevância estratégica, visto que a cidade de São José se encontra no caminho para o Rio de Janeiro, existe uma demanda empírica evidente, impulsionada pelo fluxo diário de deslocamento de cerca de 15.000 pessoas, conforme apresentado na Tabela 1.

Portanto, a criação de rotas ferroviárias entre São Paulo e São José dos Campos não apenas promoveria a integração entre essas duas importantes regiões, mas também facilitaria o acesso de profissionais, estudantes e pesquisadores a esses centros tecnológicos e promoveria um desenvolvimento regional ainda mais robusto.

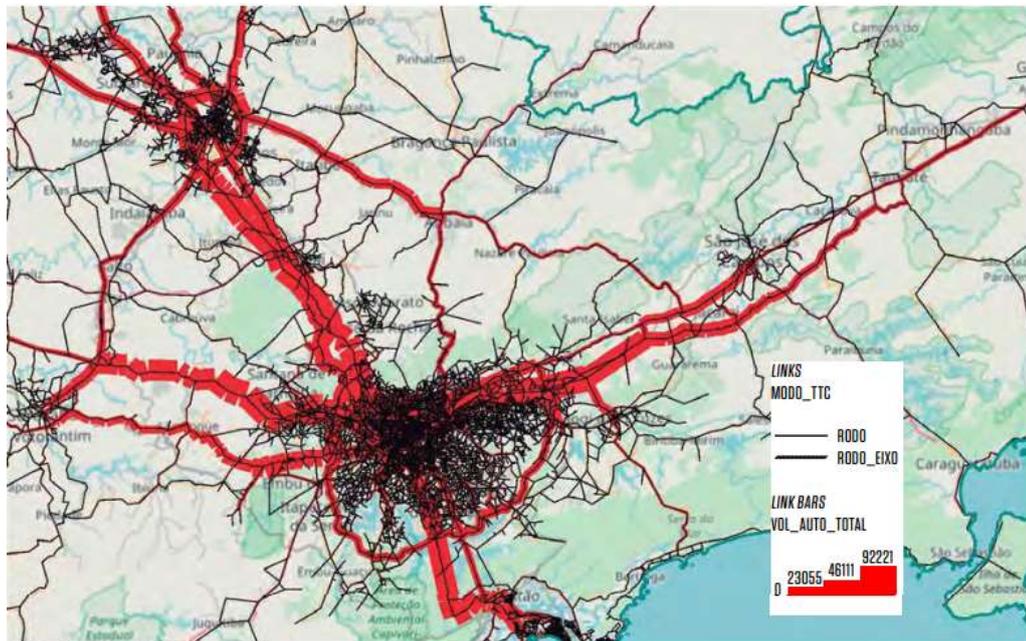
Tabela 1 - Fluxos de deslocamentos para trabalho e estudo entre arranjos populacionais da 2ª Integração do Arranjo Populacional de "São Paulo/SP", acima de 2 000 pessoas – 2010

Arranjo populacional A	Arranjo populacional B	Pessoas que trabalham e estudam na ligação	Percentual, por motivo do deslocamento (%)		
			Trabalho e estudo	Trabalho	Estudo
Baixada Santista/SP	São Paulo/SP	38 259	2,7	76,5	20,8
Jundiaí/SP	São Paulo/SP	38 248	2,0	81,4	16,6
Campinas/SP	São Paulo/SP	26 335	2,7	66,4	30,9
Americana - Santa Bárbara d'Oeste/SP	Campinas/SP	22 168	1,6	72,8	25,7
São José dos Campos/SP	São Paulo/SP	14 634	2,9	65,2	31,9
Campinas/SP	Jundiaí/SP	14 477	1,0	74,0	24,9
São José dos Campos/SP	Taubaté - Pindamonhangaba/SP	14 164	2,8	75,0	22,3
São Paulo/SP	Sorocaba/SP	12 853	3,4	68,7	27,9
São Paulo/SP	São Roque - Mairinque/SP	6 480	3,1	73,5	23,3
São Roque - Mairinque/SP	Sorocaba/SP	5 304	1,2	62,5	36,3
Itu - Salto/SP	Sorocaba/SP	5 089	1,2	65,3	33,5
Americana - Santa Bárbara d'Oeste/SP	Piracicaba/SP	4 656	2,6	65,0	32,4
São Paulo/SP	Taubaté - Pindamonhangaba/SP	3 924	4,1	69,0	26,9

(Fonte: Arranjos Populacionais e Contrações Urbanas no Brasil – IBGE/2016)

Considerando o intenso fluxo pendular entre São José dos Campos e São Paulo, juntamente com os demais fluxos pendulares que ocorrem no Vale do Paraíba, envolvendo várias cidades, fica evidente a sobrecarga das principais rodovias, como a Via Dutra e a Ayrton Senna. Isso ressalta a importância crucial das vias de transporte de passageiros por automóveis, conectando a capital às cidades-sede das regiões metropolitanas vizinhas, como São José dos Campos no lado leste. Essa realidade pode ser visualmente comprovada na imagem 1, obtida durante o estudo da Síntese das Matrizes e Viagens do PAM-TL.

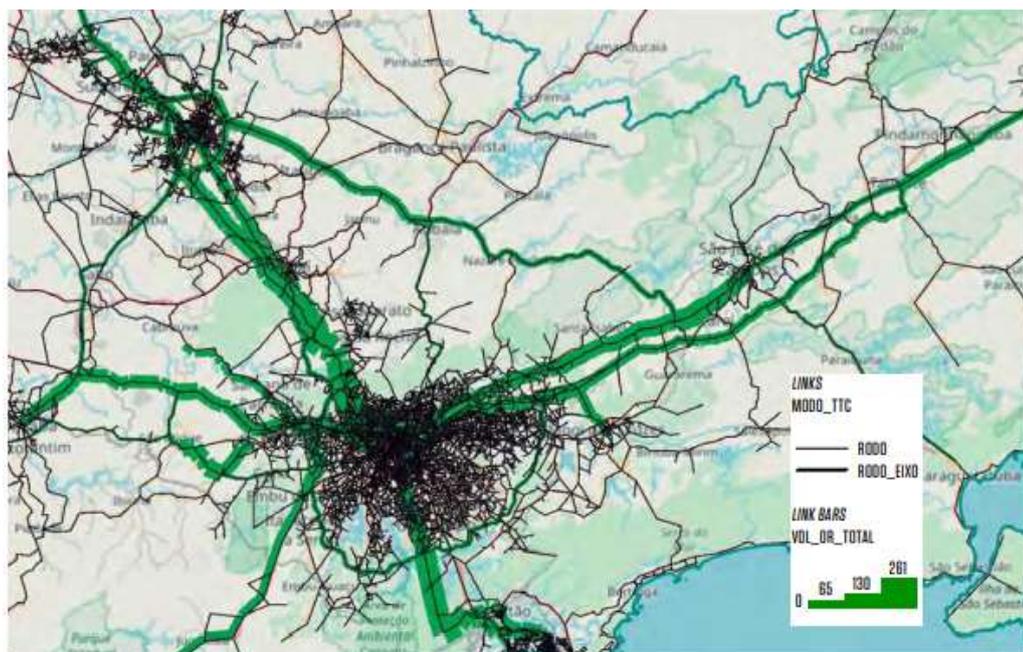
Figura 1. Carregamentos de automóveis em veículos/dia – 2018 - MMP



(Fonte: Consórcio Pro-TL, 2020)

Ainda no âmbito de transporte de passageiros, é possível verificar a alta demanda de locomoção entre São José e a Capital do Estado por meio dos dados de carregamento de ônibus rodoviário do mesmo estudo.

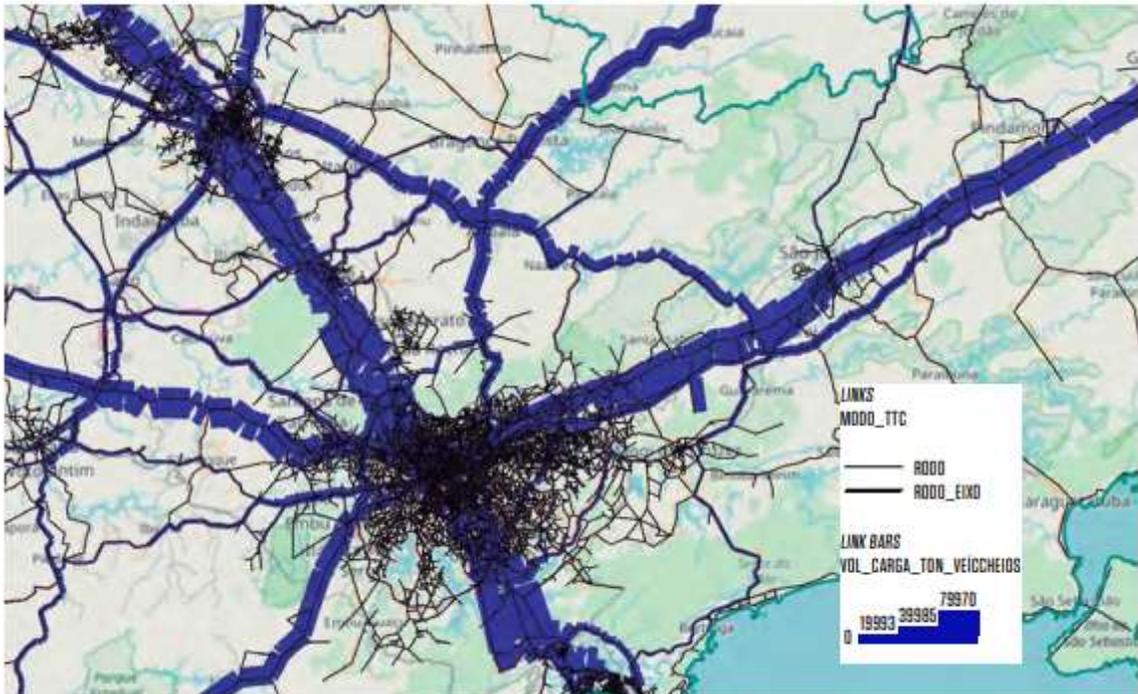
Figura 2. Carregamentos de ônibus rodoviários em veículos/dia – 2018 - MMP



(Fonte: Consórcio Pro-TL, 2020)

No caso do transporte de cargas, observa-se novamente um grande carregamento nas rodovias no trecho que passa por São José dos Campos, porém dessa vez o fluxo continua alto indo em direção ao Rio de Janeiro, conforme demonstrado.

Figura 3. Carregamentos em toneladas/dia – 2018 - MMP



(Fonte: Consórcio Pro-TL, 2020)

Devido à intensa demanda e superutilização, as rodovias frequentemente sofrem com congestionamentos, especialmente nos pontos de conexão entre trechos e durante os horários de pico. Diante desse cenário, torna-se essencial a implementação de alternativas de transporte para aliviar essa sobrecarga no modal rodoviário, tanto para o transporte de cargas quanto para o transporte de passageiros.

Ao diversificar as opções de transporte, é possível reduzir a dependência exclusiva das rodovias, distribuindo a carga de tráfego para outras modalidades, como ferrovias, hidrovias e transporte público eficiente. Essas alternativas podem desafogar o sistema rodoviário e proporcionar soluções mais sustentáveis e eficazes para o deslocamento de mercadorias e pessoas.

É importante considerar estratégias integradas de transporte que promovam a intermodalidade e incentivem a utilização de modos de transporte mais adequados para cada tipo de demanda. Isso não apenas reduzirá a pressão sobre as rodovias

congestionadas, mas também trará benefícios em termos de eficiência, segurança e preservação do meio ambiente.

### **1.5 Estrutura do Trabalho**

O presente trabalho está estruturado em cinco capítulos, dispostos da seguinte forma:

O capítulo 1 contém a introdução, objetivos gerais e específicos e a justificativa do trabalho.

No capítulo 2 é realizada uma abordagem histórica das ferrovias no Estado de São Paulo e em específico para São José dos Campos. Logo após é apresentado o cenário atual do setor ferroviário, a sua importância no transporte de cargas e de passageiros, além de elucidar aspectos técnicos úteis para acompanhar temas abordados nos capítulos seguintes.

No capítulo 3 é realizada uma revisão no PAM-TL, abordando os componentes de soluções ferroviárias do plano em questão, dando enfoque no trecho de interesse entre São Paulo (SP) e São José dos Campos (SP).

No capítulo 4 são apresentados aspectos técnicos de traçados ferroviários, dando ênfase na análise de projetos *greenfield x brownfield*, verificando a capacidade de via e compatibilizações necessárias. Logo após, é apresentado o resultado do planejamento do trecho.

O capítulo 5 contém as considerações finais e sugestões para trabalhos futuros.

## **2. Contextualização Geral**

No presente capítulo, será abordado o histórico e contexto atual das ferrovias do Estado de São Paulo, com ênfase nas particularidades da rota para São José dos Campos desde sua formação. Serão analisados os motivos que levaram ao sucateamento das rotas ferroviárias que existiam anteriormente e que hoje não estão mais em operação.

Também será destacada a importância do modal ferroviário no transporte de passageiros, justificando os projetos de Trens Intercidades que têm sido discutidos em diversos planos no panorama atual. Essas iniciativas visam estabelecer uma logística e um sistema de transporte eficiente, reconhecendo o potencial das ferrovias para atender às necessidades de deslocamento de passageiros de forma sustentável e econômica.

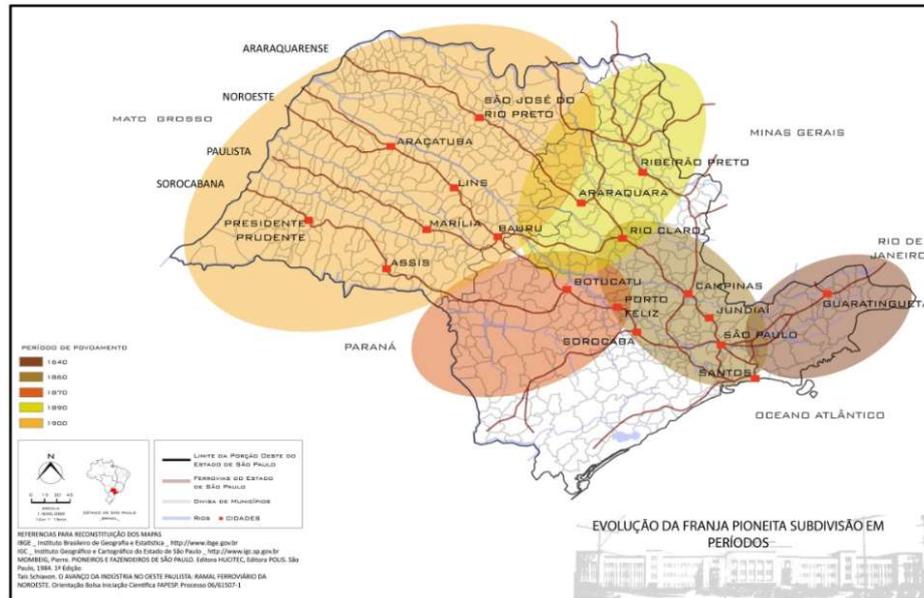
## 2.1 Histórico Ferroviário no Estado de São Paulo

No início do século XIX, o Estado de São Paulo experimentou um grande crescimento na produção de café, que se tornou sua principal indústria por várias décadas. Isso gerou uma demanda por infraestrutura de transporte para escoar o café para outros estados brasileiros e, principalmente, para exportação pelo Porto de Santos. Para atender a essa necessidade, combinada com os esforços do governo brasileiro na expansão das estradas de ferro, linhas ferroviárias começaram a ser construídas, resultando na formação e contínua expansão da malha ferroviária.

Segundo Langenbuch (1971), as estradas de ferro, naquela época, desempenharam um papel fundamental no povoamento e ocupação do território de várias maneiras. Conseqüentemente, as ferrovias eram vistas como um sinal de progresso, pois impulsionavam o desenvolvimento de novas demandas locais. Povoados surgiram ao redor das novas estradas e, posteriormente, cidades foram estabelecidas. Sérgio Milliet, em seu livro "O Roteiro de Café e Outros Ensaio", mostrou que existem dois tipos de povoamento na região em relação ao ciclo ferroviário. O primeiro tipo inclui povoados que se desenvolveram a partir de aldeamentos indígenas anteriores à chegada das linhas férreas, e o traçado das ferrovias foi influenciado pela localização desses povoados. O segundo tipo refere-se aos aldeamentos estabelecidos após a chegada das companhias ferroviárias, que cresceram ao redor das estações de trem, construídas para manutenção das locomotivas ou para o transporte de cargas das áreas rurais.

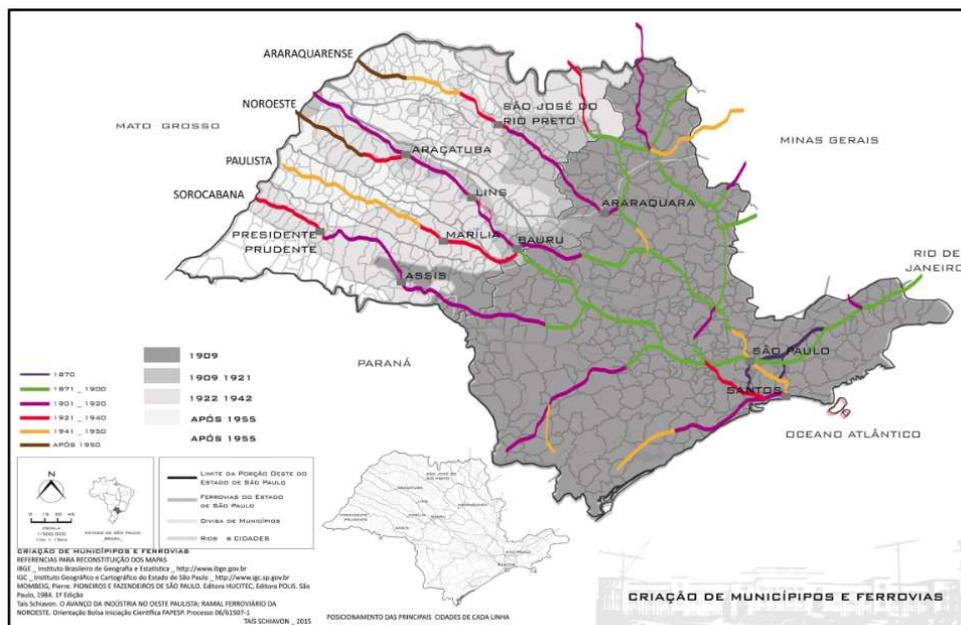
O avanço das companhias ferroviárias estava intimamente ligado à expansão econômica e urbana resultante do crescimento da "Franja Pioneira". Essa expansão ocorria em paralelo ao crescimento do plantio de café, em que o rápido esgotamento dos solos impulsionava o deslocamento constante dos centros de produção. Os mapas a seguir, nas figuras 4 e 5, ilustram essa condição, mostrando a evolução das principais ferrovias do Estado de São Paulo e indicando os momentos de "colonização" do território paulista e o surgimento de cidades, sobrepostos à evolução das ferrovias no estado. É importante destacar que muitos dos municípios atuais já haviam sido estabelecidos antes de 1909 (data inicial referente ao mapa), reflexo da ação de ciclos econômicos pré-existentes, caracterizando o primeiro tipo de povoamento mencionado anteriormente.

Figura 4. Mapa - Avanço das Companhias Ferroviárias no Estado de São Paulo



Fonte: Schiavon, 2015.

Figura 5. Mapa - Criação de municípios e o avanço das ferrovias no Estado de São Paulo.



Fonte: Schiavon, 2015.

### 2.1.1 O ideal Rodoviário e Consequências para a Malha Ferroviária Atual no Estado de São Paulo

A estruturação das estradas para veículos automotores em São Paulo teve início no início do século XX, com a Rodovia Anhanguera (SP-330) sendo a primeira estrada planejada e construída com esse propósito. As obras da rodovia tiveram início em 1916 e foram concluídas em 1921. Nessa época, o Estado de São Paulo contava com pouco mais de três mil carros de passageiros e 100 caminhões. Já nesse período,

os congressos realizados no território paulista discutiam diretrizes técnicas para futuros projetos rodoviários, ao mesmo tempo em que se divulgavam as "vantagens do novo sistema de transporte automotor".

O Plano de Viação do Estado de 1913, elaborado pelo professor Clodomiro Pereira da Silva, dividia o planejamento em duas categorias de estradas: as estradas agrícolas e as de longo curso. As estradas agrícolas serviram como apoio às ferrovias, que ainda estavam em ampla expansão naquela época, e seriam financiadas pelos municípios por meio de impostos cobrados de seus usuários, incluindo os produtores de café. Já as estradas de longo curso eram destinadas a interesses particulares e seriam financiadas por particulares.

Na década de 1920, o país foi impulsionado pelo desejo de integração nacional e várias transformações levaram ao aumento das rodovias. Nesse período, foi desenvolvido o lema de governo de Washington Luiz, que afirmava que "governar é abrir estradas". Em 1921, foi elaborado o primeiro Plano de Viação do Estado com foco exclusivamente rodoviário. Segundo Monbeig, "a estrada e o caminhão, complementando a ferrovia, permitiram que os pioneiros se afastassem ainda mais, pois tinham a certeza de poder transportar sua produção. As terras se valorizavam e a revolução nos meios de transporte se juntava aos demais fatores desfavoráveis ao desenvolvimento das pequenas propriedades". É possível entender um pouco mais do contexto na citação de seu livro abaixo:

A vantagem de poder transportar em caminhão cargas variadas como sacas de café, de arroz, de milho e feijão eram anuladas pela ausência de estradas capazes de suportar o peso. Os fazendeiros, que haviam compreendido muito bem o que aproveitar da estrada de ferro, adotariam rapidamente o Ford e o caminhão e convenceram-se da necessidade imperiosa de construir estradas. A iniciativa de criar a rede rodoviária ficou a cargo do Estado, que lançou o slogan "boas estradas para todo o ano". Era uma obra de longo fôlego e os poderes públicos elaboraram um plano ambicioso, que visava ligar a capital do Estado à capital federal e aos Estados de Mato Grosso e Paraná. (...). Em 1922, uma estrada carroçável já estava aberta entre São Paulo e Ribeirão Preto, então ainda considerada a capital do café. Essa estrada foi em seguida continuada em direção ao Triângulo Mineiro, acentuando assim a permanência dos antigos rumos de circulação. Foi empreendida igualmente a construção de uma estrada até Botucatu e daí até Bauru e Mato Grosso. (Monbeig, 1984, 198p.)

De acordo com Arcani (1928), a estratégia em torno das rodovias era inversa à das ferrovias. No novo modelo, as estradas percorriam o maior número possível de cidades, enquanto as ferrovias se concentravam nos centros produtores. Sant'Anna

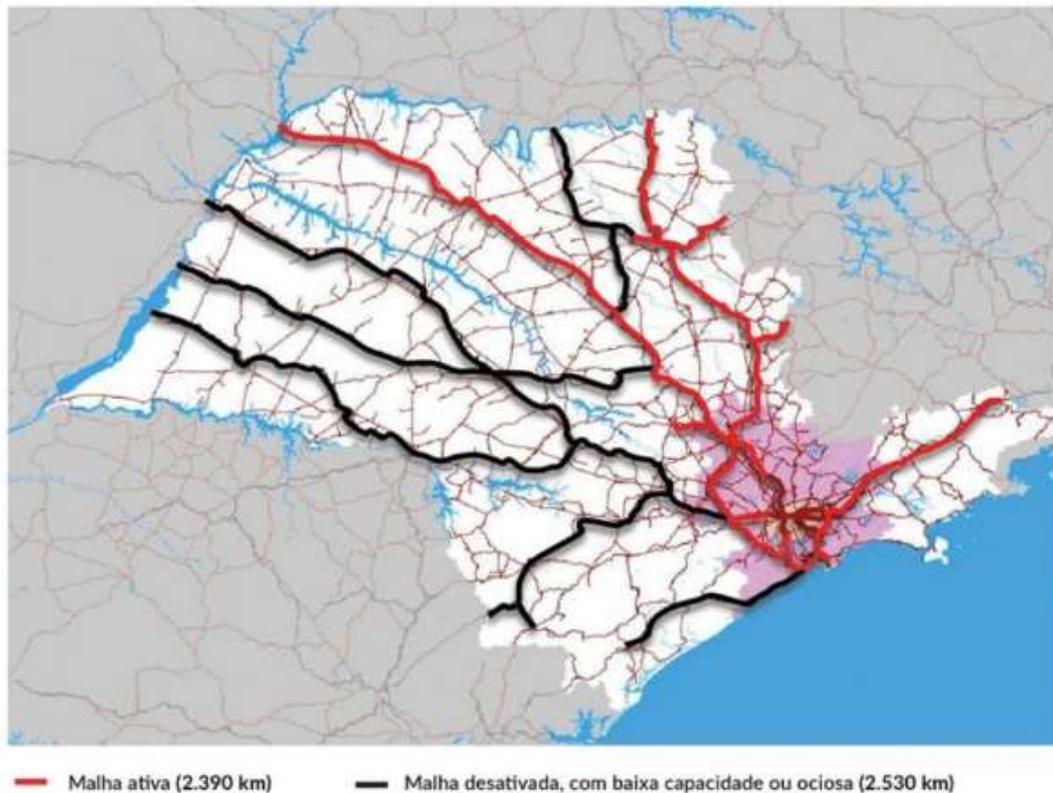
(1933) aponta que as estradas de rodagem atuavam como vias de penetração em busca de novas terras para a cultura cafeeira, complementando as linhas ferroviárias existentes.

Ao analisar o histórico, é evidente que as ferrovias desempenharam um papel fundamental na definição dos principais rumos viários na malha atual do estado e do país. No estado de São Paulo, em particular, as ferrovias foram o principal modal de transporte, estabelecendo as bases para o desenvolvimento viário. Inicialmente, a inovação no modal rodoviário era vista como um complemento às ferrovias já estabelecidas.

No entanto, com o crescimento do ideal rodoviário, e uma unilateralidade no seu investimento, impulsionado pelo governo de Washington Luís e continuado nos governos subsequentes, chegando na gestão de Juscelino Kubitschek, que promoveu ainda mais indústria automobilística e o desenvolvimento rodoviário com o lema "50 anos em 5", aos poucos as ferrovias perderam força. Esse enfoque nos investimentos no modal rodoviário resultou na escassez de recursos para a conservação e melhoria das ferrovias, levando ao seu sucateamento. De modo que as imponentes estações ferroviárias foram substituídas por largas avenidas projetadas para acomodar os automóveis.

Atualmente, de acordo com um levantamento do GT Ferrovias, a malha ferroviária ativa representa uma parcela menor em comparação às ferrovias inoperantes, de baixa capacidade ou ociosas. A malha ativa corresponde a 2.390 km (46% do total), enquanto as ferrovias ociosas totalizam 2.530 km (54%), como ilustrado no mapa a seguir:

Figura 6. Mapa Ferroviário de SP com ferrovias ativas e inoperantes



Fonte: Secretaria de Logística e Transportes, foto: Estadão, 2022

Essa situação destaca a necessidade de revitalização e investimento nas ferrovias para aproveitar todo o potencial desse modal de transporte e promover uma infraestrutura mais equilibrada e sustentável.

## 2.2 Histórico de São José dos Campos e Ferrovias

Conforme visto no capítulo anterior, as estradas de ferro se constituíram em importante melhoria nos sistemas de transporte do país, promovendo crescimento econômico e expansão da malha urbana ao longo do seu traçado. Também em São José dos Campos essa influência se fez sentir, embora de maneira diversa à ocorrida na maioria das cidades do Vale do Paraíba. O crescimento desta cidade não ocorreu em torno do chamado Complexo Cafeeiro. Embora o café fosse a principal atividade econômica do município, este alcançou somente níveis modestos de produção, em relação a outras cidades vale-paraibanas. Mesmo com a chegada do sistema ferroviário em 1886, inicialmente este quadro urbano não sofreu grandes modificações. Contudo, a estrada promoveu uma melhoria no sistema de transporte de cargas e passageiros, e favoreceu as transações comerciais, além da localização estratégica,

pois a cidade se encontrava no meio de uma rota ligava as duas grandes capitais, São Paulo e Rio de Janeiro.

No entanto, foi durante a chamada Fase Sanatorial (1900-1965), que a cidade de São José dos Campos teve seu crescimento urbano acelerado. Numa época em que a tuberculose, também conhecida como peste branca, assolava a população. O início dos centros de tratamento para os tuberculosos ocorreu em 1918, com a construção do sanatório Vicentina Aranha, prédio este que está em funcionamento até os dias atuais, hoje funcionando como hospital geriátrico. Mas é fato que as ferrovias foram primordiais para este processo migratório, trazendo maior contato entre as cidades, agindo como elemento facilitador para a chegada de doentes, técnicos, além dos equipamentos, necessários para o tratamento e atividades para este fim (sanatórios, pensões, médicos, enfermeiros, etc.).

Abaixo está em citação, um histórico da linha de São José dos Campos, disponível no site da prefeitura de SJC, em linha cronológica:

*Em 1869, foi constituída por fazendeiros do Vale do Paraíba a E. F. do Norte (ou E. F. São Paulo-Rio), que abriu o primeiro trecho, saindo da linha da SPR no Brás, em São Paulo, e chegando até a Penha. Em 12/05/1877, chegou a Cachoeira (Paulista), onde, com bitola métrica, encontrou-se com a E. F. Dom Pedro II, que vinha do Rio de Janeiro e pertencia ao Governo Imperial, constituída em 1855 e com o ramal, que saía do tronco em Barra do Pirai, Província do Rio, atingindo Cachoeira no terminal navegável dois anos antes e com bitola larga (1,60m). A inauguração oficial do encontro entre as duas ferrovias se deu em 8/7/1877, com festas. As cidades da linha se desenvolveram, e as que eram prósperas e ficaram fora dela viraram as "Cidades Mortas"... O custo da baldeação em Cachoeira era alto, onerando os fretes e foi uma das causas da decadência da produção de café no Vale do Paraíba. Em 1889, com a queda do Império, a E. F. D. Pedro II passou a se chamar E. F. Central do Brasil, que, em 1896, incorporou a já falida E. F. do Norte, com o propósito de alargar a bitola e unificar as 2 linhas. O primeiro trecho ficou pronto em 1901 (Cachoeira-Taubaté) e o trecho todo em 1908. Em 1957 a Central foi incorporada pela RFFSA. O trecho entre Mogi e São José dos Campos foi abandonado no fim dos anos 1980, pois a construção da variante do Parateí, mais ao norte, foi aos poucos provando ser mais eficiente. Outras variantes também foram construídas substituindo a linha original do percurso. Em 31 de outubro de 1998, o transporte de passageiros entre o Rio e São Paulo foi desativado, com o fim do Trem de Prata, mesmo ano em que a MRS passou a ser a concessionária da linha. O transporte de subúrbios, existente desde 1914 no ramal, continua hoje apenas entre o Brás e Estudantes, em Mogi.*

Abordando alguns acontecimentos para entender o uso, e identificar possíveis gargalos que contribuíram para o encerramento do uso da linha, para transporte de passageiro: O primeiro teste na linha recém-concluída foi feito entre Jacareí e São José em 16 de julho de 1876: O trajeto demorou 20 minutos, tendo uma velocidade

média de 54 km/hora (A Província de S. Paulo, 18/7/1876). Inicialmente funcionava regularmente fazendo viagens diárias, de ida ou volta, a estrada contou com o tráfego provisório ligando São Paulo e São José, fazendo paradas nas cidades de Mogi das Cruzes, Paraíba, Jacareí e finalmente o destino final, São José dos campos, com as datas e horários vistos na figura 7. Nota-se que o trajeto demorava cerca de 4 horas no total entre SP e SJC, contabilizando os tempos de parada nas estações intermediárias.

Figura 7. Horários do Tráfego Provisório da Recém linha ferroviária em SJC.



**Companhia S. Paulo e Rio de Janeiro**  
**Trafego provisório**

Do dia 1 do proximo mez de Setembro em dian e correrão os trens entre S. Paulo e S. José, de-conformidade com o plano abaixo declarado :

**DIAS**

**De S. Paulo para S. José**  
2, 4, 6, 8, 10, 12, 14, 16, 18, 20, 22, 24, 26, 28 e 30 de Setembro

**De S. José para S. Paulo**  
1, 3, 5, 7, 9, 11, 13, 15, 17, 19, 21, 23, 25, 27 e 29 de Setembro

**HORARIO**

De S. Paulo para S. José			De S. José para S. Paulo		
ESTAÇÕES	MANHA	H. M.	ESTAÇÕES	MANHA	H. M.
Norte (S. Paulo)	Partida	10.	S. José . . . . .	Partida	10.0
Mogy das Cruzes	{ Chegada	11.38	Jacarehy . . . . .	{ Chegada	10.40
	{ Partida	11.48		{ Partida	11.0
Parahyba . . . . .	{ Chegada	12.35	Parahyba . . . . .	{ Chegada	11.42
	{ Partida	12.40		{ Partida	11.44
Jacarehy . . . . .	{ Chegada	1.19	Mogy das Cruzes . . . . .	{ Chegada	12.35
	{ Partida	1.30		{ Partida	12.45
S. José . . . . .	Chegada	2.40	Norte (S. Paulo)	Ch-ged.	2.30

São Paulo, 28 de Agosto de 1876.

**W. BURNETT, inspector do trafego.**

Fonte: A Província de S. Paulo, 1876

Anos mais tarde, devido a um grave acidente ocorrido na cidade devido a uma curva de difícil manejo, que causava problemas recorrentes e tinha justificativas técnicas, a EFCB (Estrada de Ferro Central do Brasil) decidiu alterar o traçado da ferrovia, criando uma nova rota que passava pela várzea, conhecida como Banhado,

contornando a cidade pelos campos de Santana, onde foi construída a nova estação. A linha original em operação e a nova variante da ferrovia podem ser visualizadas na figura 8, assim como a sobreposição com uma imagem de satélite da cidade atualmente, presente na figura 9.

Figura 8. Mapa da Central do Brasil de 1922, mostrando a linha antiga (linha em tráfego) e a linha nova em construção (variante)



Fonte: Acervo Ralph M. Giesbrecht

Figura 9. Mapa da Central do Brasil de 1922 e sobreposição com imagem de satélite de São José dos Campos.



Fonte: Acervo Ralph M. Giesbrecht

Após a inauguração da nova variante da linha ferroviária, que foi acompanhada por diversos protestos, conforme observado nos recortes da figura 10, devido aos

impactos socioeconômicos que a linha de trem causava nas regiões próximas, resultando no deslocamento do centro da cidade, a nova alternativa continuou enfrentando diversos acidentes, o que intensificou os protestos e as demandas pelo retorno à rota anterior. Nesse período, já era perceptível uma tendência em direção ao uso de automóveis, impulsionada pela inauguração da Rodovia Presidente Dutra em 1951, que se tornou um marco no transporte rodoviário de passageiros por ônibus, permitindo que um maior número de pessoas se deslocasse entre as cidades de São Paulo e Rio de Janeiro, bem como as cidades que ficavam ao longo dessa rodovia, incluindo São José dos Campos.

Figura 10. Recortes de jornais com notícias de acidentes no traçado do Banhado



Fonte: O Estado de S. Paulo, 1925

Desse modo, ao longo dos anos, cada vez menos investimentos foram feitos nas ferrovias presentes em São José dos Campos, levando ao seu sucateamento gradual. O transporte ferroviário de passageiros foi encerrado em 1991, restando apenas as linhas destinadas ao transporte de cargas.

Diversos foram os principais obstáculos que contribuíram para o declínio do transporte ferroviário em São José dos Campos. Além do enfoque nacional no setor rodoviário, problemas relacionados ao bom funcionamento e critérios de segurança foram identificados, com ocorrências frequentes de atrasos e acidentes. Além disso, as mudanças socioeconômicas, como a implementação da variante no traçado ferroviário, também geraram protestos e insatisfação por parte da população. Esses

aspectos devem ser considerados como fatores cruciais para o sucesso de uma nova alternativa de transporte ferroviário na região.

### **2.3. Definições pertinentes para estudo de Ferrovias**

Algumas definições para Ferrovias de acordo com o documento-guia internacional, *Rail Reform Toolkit*, traduzido pelo autor deste trabalho entre os subcapítulos 2.3.1.1 a 2.3.1.3, e com o uso também de outras fontes, devidamente identificadas:

#### **2.3.1. Características do Mercado de Transporte**

Os mercados de transporte ferroviários podem ser divididos em dois segmentos principais – de passageiros e frete de cargas. A infraestrutura para cada segmento é similar, por vezes até a mesma, mas o tipo de transporte, equipamentos e detalhes da infraestrutura são frequentemente diferentes.

##### **2.3.1.1. Serviços de Transporte para Passageiros**

Os segmentos típicos do mercado de passageiros são urbanos, incluindo metrô, bondes e trens leves para sistemas ferroviários, serviços suburbanos ou suburbanos e intermunicipais, que inclui trens convencionais e de alta velocidade.

As ferrovias urbanas geralmente atendem ao centro da cidade e arredores imediatos; dentro do distrito central de negócios, os metrô geralmente funcionam no subsolo. A capacidade típica do carro é de cerca de 100 passageiros sentados e lotação de até 160 passageiros em pé. A maioria dos metrô pode viajar em velocidades de até 100 km/h e são eletrificados a 750 VDC ou 1.500 VDC, a cada segundo carro; os trens do metrô operam com quatro ou seis vagões, que geralmente são automatizados. Os metrô são melhores para transportar grandes volumes de passageiros por curtas distâncias em torno de um área urbana. Exemplos incluem o metrô de Londres e o metrô de Paris. No Brasil, há uma grande malha de metrô em SP-SP.

Os bondes são outro tipo de sistema ferroviário urbano. Os bondes geralmente se misturam com o tráfego da rua mas alguns têm direito de passagem reservado; eles têm capacidade para 80 passageiros sentados ou 120 em pé. A maioria dos bondes opera a 750 VDC; embora eles têm uma velocidade máxima de 80 km / h, sua velocidade média geralmente é menor. A maioria dos bondes operar em unidades

simples ou duplas com uma estação de motorista em cada carro. Muitas cidades europeias operam sistemas de bondes e Melbourne, na Austrália, opera um dos maiores serviços de bondes do mundo.

Os sistemas de veículos leves sobre trilhos (VLT), muitas vezes são indistinguíveis de bondes, mas, no uso moderno, os sistemas de metrô leve têm maior probabilidade de ter uma via exclusiva e são projetados para atender rotas específicas, como aeroportos ou centros de convenções. Os assentos dos carros de metrô leve são semelhantes aos dos bondes; os VLT geralmente operam em conjuntos de dois ou quatro carros, com uma cabine de motorista em cada extremidade, e os trens geralmente são eletrificados em 750 VCC. Os serviços VLT são relativamente novos; eles têm menor capacidade do que um metrô, mas geralmente são menos caros. No entanto, possuem maior capacidade do que bondes devido ao tamanho do trem, aceleração e uma via exclusiva.

Os sistemas suburbanos geralmente oferecem serviços de deslocamento de longa distância para passageiros que moram em áreas periféricas. A densidade de assentos é menor e eles oferecem mais conforto para viagens mais longas. Frequentemente, são utilizados carros de passageiros de dois andares para aumentar a capacidade e o conforto dos passageiros. Os sistemas suburbanos são normalmente tracionados por locomotivas elétricas ou diesel-elétricas, sendo que a eletrificação geralmente é de 25 kVAC.

Os padrões modernos de equipamentos obscurecem as fronteiras entre os serviços de metrô leve e suburbanos; equipamentos semelhantes frequentemente atendem a ambos. Se os serviços suburbanos operam em infraestrutura comum com serviços de carga, os padrões de segurança para colisões de equipamentos de passageiros são elevados, razão pela qual a maioria deles é tracionada por locomotivas.

Os serviços convencionais de transporte interurbano de passageiros geralmente são tracionados por locomotivas elétricas de 25 kVAC ou locomotivas diesel-elétricas. Esses serviços muitas vezes compartilham a via com serviços de carga e podem ser operados pelas mesmas locomotivas. As velocidades máximas estão em torno de 120 km/h. Alguns serviços de trem interurbano possuem várias classes e carros dormitório. O número de assentos nos vagões convencionais é de

aproximadamente 80 passageiros, sendo menor na primeira classe, que às vezes possui compartimentos privados e serviços de leito.

Os serviços de trem de alta velocidade (HSR) operam a 250 km/h ou mais. Os trens de HSR geralmente operam em conjuntos de oito carros. Alguns têm locomotivas integradas, enquanto outros possuem motores distribuídos por todo o trem, com assentos de passageiros naquilo que seria a "seção da locomotiva". Alguns trens de HSR possuem carros de passageiros de dois andares. Os trens de HSR operam em uma via exclusiva, por isso as frequências dos trens geralmente são bastante altas, sendo um trem por hora um intervalo máximo típico. Os trens de HSR às vezes também operam em trilhos de velocidade convencional para acessar locais onde não é possível construir uma via exclusiva, como estações ferroviárias no centro da cidade. Os trens são sempre eletrificados, sendo 25 kVAC o valor típico.

Trens de passageiros que possuem motores de tração distribuídos por todo o trem em "unidades múltiplas" de carros de passageiros; trens elétricos são chamados de "EMUs", enquanto trens a diesel são frequentemente chamados de "DMUs". Esses trens geralmente não possuem uma locomotiva separada, embora possa haver um carro aerodinâmico na frente e atrás com as cabines dos motoristas. Usando essa classificação, metrô, bondes, metrô leve e muitos trens de alta velocidade são EMUs. Todos os EMUs e DMUs possuem motores elétricos em vários conjuntos de rodas para fornecer tração. Isso é diferente dos trens convencionais e trens suburbanos tracionados por locomotivas, nos quais apenas a locomotiva possui conjuntos de rodas com motor e o restante do material rodante é rebocado (puxado ou empurrado).

A tabela abaixo resume as principais características dos equipamentos utilizados em cada segmento de mercado.

Tabela 2 - Características gerais dos trens de passageiros

Tipo de Serviço	Velocidade (km/h)	Passageiros por Vagão	Passageiros por trem	Vagões por Trem	Distância Típica	Custo / Trem - US \$
Bonde	40	120	240	2	1-2 km	\$4 m
Metro	70	160	720	6	2-4 km	\$12 m
Veículo Leve sobre Trilhos	80	100	400	4	5-10 km	\$6m
Trem suburbano	120	80	480	6	15-20 km	\$12m
Trem intercidade convencional	160	80	640	8	25-120km	\$12m
Trem de alta velocidade	250-350	70	560	8	250-350 km	\$25 m

Fonte: R.R.Toolkit traduzido e adaptado pelo autor deste trabalho

Medidas típicas dos serviços de passageiros são as viagens ou trajetos de passageiros e os passageiros-quilômetros. Uma viagem de passageiro é geralmente contada desde a entrada no sistema de passageiros até a saída. Em viagens urbanas que podem envolver várias linhas de metrô, uma viagem pode incluir a viagem em mais de um trem. Quando as linhas de trem estão sob estruturas de gestão separadas, cada segmento pode constituir "uma viagem" para fins contábeis. Os passageiros-quilômetros são geralmente medidos com base na distância da viagem ferroviária entre a origem e o destino multiplicada pelo número de passageiros que viajam entre cada origem e destino.

Os cálculos de receita de passageiros costumam ser complexos. As tarifas para os serviços de passageiros variam de acordo com o tipo de serviço, o meio usado para cobrar as tarifas e o valor do subsídio fornecido. Por exemplo, muitos sistemas de metrô vendem passes mensais que podem ser usados para um número ilimitado de viagens ou segmentos de viagem. Categorias especiais de passageiros, como estudantes, pessoas com deficiência e aposentados, geralmente têm direito a passes mensais com desconto. Outros sistemas de metrô cobram por segmento e usam cartões recarregáveis de "valor armazenado" para cobrar por cada viagem. Os cartões de valor armazenado podem ser adquiridos com descontos, dependendo das vendas antecipadas ou da categoria de passageiro - estudante, pessoa com deficiência ou aposentado. Para linhas de metrô de propósito especial, como serviços de aeroporto, uma taxa fixa por viagem é a norma.

Normalmente, as tarifas para serviços suburbanos são baseadas na distância e horário do dia - uma taxa adicional pode ser aplicada durante os períodos de pico. Se os serviços suburbanos e urbanos forem coordenados, o mesmo bilhete pode ser usado para ambos os segmentos e as receitas geralmente são alocadas entre os serviços de forma equitativa, com base em custos relacionados às medidas como passageiros-quilômetros.

Normalmente, os serviços urbanos são operados como serviços públicos subsidiados pelo governo. Alguns sistemas urbanos, como o MTR de Hong Kong e o metrô de Londres, operam com custos operacionais que se pagam. Raramente se espera que eles cubram os custos de capital.

O transporte ferroviário de passageiros é especialmente adequado para o deslocamento rápido de um grande volume de pessoas, tornando o transporte

ferroviário urbano um elemento essencial no planejamento urbano. Os sistemas ferroviários urbanos definem centros populacionais e afetam significativamente os padrões de desenvolvimento urbano. Da mesma forma, os serviços de passageiros para deslocamentos e suburbanos são uma forma eficaz e relativamente econômica de conectar comunidades suburbanas ao centro da cidade e entre si. Os sistemas ferroviários urbanos e suburbanos podem proporcionar benefícios públicos significativos, incluindo economias substanciais que se acumulam em todos os níveis de governo e cidadãos privados, como redução de congestionamentos e poluição, menor número de acidentes e melhoria do planejamento espacial. Além disso, os sistemas ferroviários urbanos e suburbanos geram benefícios financeiros com o aumento do valor dos imóveis e padrões de desenvolvimento de alta qualidade. Alguns sistemas ferroviários urbanos e suburbanos, especialmente no Japão, conseguiram aproveitar o aumento do valor dos imóveis com sucesso para financiar seus sistemas ferroviários, além de gerar todos os benefícios públicos mencionados acima.

As receitas dos serviços de passageiros interurbanos frequentemente cobrem os custos operacionais, mas poucos são esperados para cobrir seus custos de capital. A maioria dos serviços TGV da SNCF, uma companhia da França que faz serviços de trens de alta velocidade, opera com lucro, incluindo os custos de equipamentos, mas seus serviços provinciais ou convencionais raramente o fazem. Portanto, a maior parte dos custos de infraestrutura dos serviços de passageiros é subsidiada; às vezes, o governo fornece material rodante.

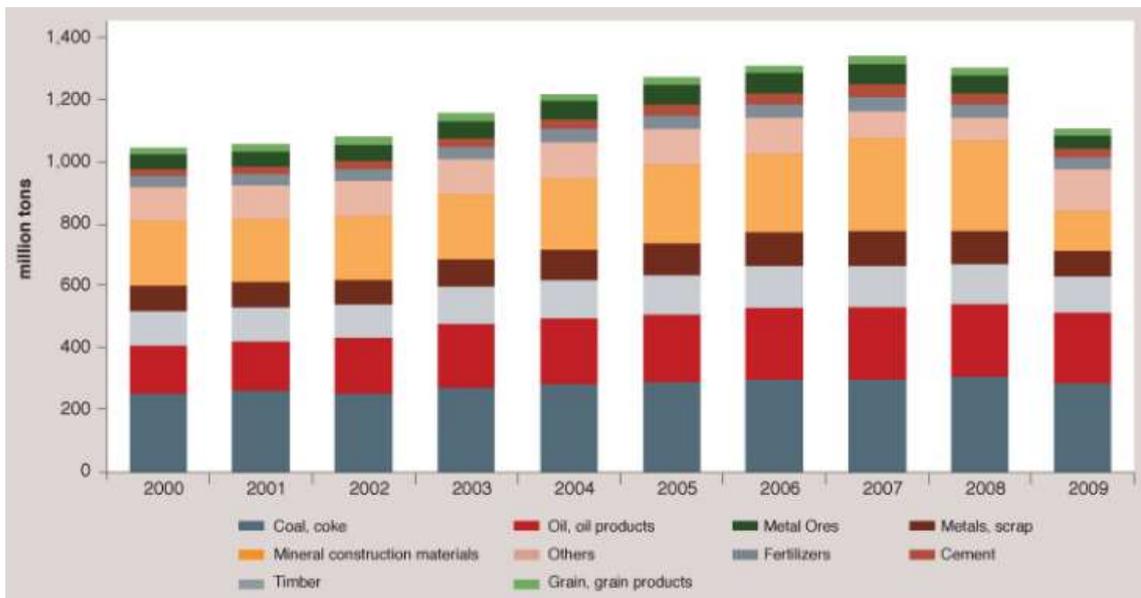
Os serviços de passageiros ferroviários geram benefícios públicos significativos na forma de tempos de viagem rápidos, redução de congestionamentos nas estradas, redução da poluição do ar e das emissões de CO<sub>2</sub>, além de redução de perdas decorrentes de acidentes. Se a demanda de passageiros for alta para serviços de trem interurbano, os governos podem evitar o custo de construção adicional de rodovias, o que aumenta a eficiência energética geral. Às vezes, o transporte ferroviário é o único meio de mobilidade para populações distantes. No entanto, se menos de 1.000 passageiros por dia estiverem sendo transportados, os serviços de ônibus de longa distância geralmente são mais baratos e oferecem eficiência energética similar ou melhor, dependendo da frequência dos trens e do fator de ocupação.

A maioria dos serviços ferroviários de passageiros tem excelentes registros de segurança; o número de acidentes por passageiro-quilômetro é menor do que a maioria dos outros meios de transporte de passageiros. Os acidentes que ocorrem frequentemente envolvem a interface entre estrada e ferrovia em cruzamentos de nível.

### 2.3.1.2. Serviços de Frete de Cargas

Os serviços de transporte ferroviário de carga são importantes para o crescimento econômico em muitos países e regiões. Como mencionado anteriormente, esses serviços são eficientes e podem transportar volumes massivos de carga por longas distâncias de forma eficaz e a preços razoáveis. Os serviços ferroviários de carga são dominados pelo transporte de commodities a granel, como carvão, minério de ferro, fosfatos, grãos e cereais, madeira, cascalho, areia e outros materiais de construção.

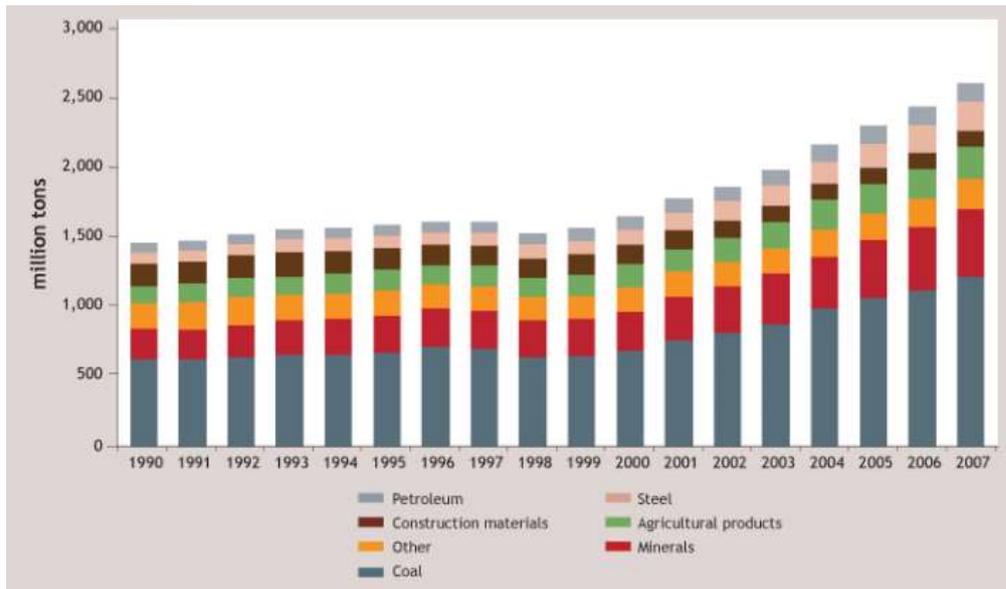
Figura 11. Ferrovias russas – Toneladas por commodities



Fonte: R.R.Toolkit for Improving Rail Sector Performance

A composição de commodities da Russian Railways, mostrada na figura acima, é típica de muitas redes ferroviárias de grande porte; dados semelhantes para a China Rail são mostrados na imagem a seguir. Em ambos os casos, o carvão, produtos minerais, produtos agrícolas e materiais de construção dominam a mistura de tráfego nessas grandes redes.

Figura 12. Ferrovias chinesas – Toneladas por commodities



Fonte: R.R.Toolkit for Improving Rail Sector Performance

Se vias navegáveis interiores não estiverem disponíveis, o transporte ferroviário é o único meio eficaz para movimentar volumes elevados de commodities a granel. Frequentemente, mercadorias a granel são transportadas em trens que consistem inteiramente em uma única commodity - do mesmo local de origem para o mesmo destino - de uma mina para uma usina de energia ou siderúrgica, ou de um silo de grãos para um porto. Esses trens são altamente eficientes, pois não ocorre manipulação intermediária; no entanto, muitas vezes, os vagões de carga retornam vazios.

O transporte ferroviário também é um meio eficaz de transportar cargas gerais, automóveis e objetos pesados. A maioria dessas cargas precisa ser levada a um pátio de classificação para ser ordenada por destino e agrupada em quantidades adequadas para envio. Embora a classificação dos vagões de carga pesada leve tempo, o transporte ferroviário ainda é um meio eficiente para movimentar cargas mistas, pois os trens podem transportar de 50 a 150 vagões, dependendo da infraestrutura.

O transporte de contêineres ferroviários está em expansão. Desde o início da containerização em 1959, tornou-se importante no transporte de mercadorias

manufaturadas, incluindo commodities líquidas e granulares, especialmente importações e exportações associadas aos movimentos de transporte marítimo.

Antes da containerização, a indústria de transporte marítimo conseguia carregar e descarregar cerca de 0,6 toneladas por pessoa/hora; em 1976, esse número era de 4.235 toneladas por pessoa/hora; agora está acima de 8.000 toneladas por pessoa/hora em um porto de contêiner típico. Normalmente, um navio de carga geral que manipula caixas, barris e sacos de mercadorias diversas ficaria no porto por várias semanas, e em 1959, um navio comercial de carga geral podia transportar 10.000 toneladas de carga a uma velocidade de 16 nós (29 km/h). Em 2009, os navios de contêineres podiam transportar 77.000 toneladas a 25 nós (46 km/h) e ficavam no porto por apenas 16 horas para descarregar e carregar. Algumas dessas mesmas eficiências se aplicam ao transporte ferroviário de carga geral. Os vagões fechados podem transportar mais mercadorias do que um contêiner e são úteis para muitas commodities, mas só podem ser utilizados por embarcadores localizados em linhas ferroviárias. Outros embarcadores devem carregar mercadorias em contêineres e usar o transporte rodoviário para levá-las a um terminal de contêineres onde são transferidas para um navio ou trem para transporte em maiores distâncias. Em muitos mercados, o transporte ferroviário concorre acirradamente com o transporte rodoviário para remessas de contêineres; a maioria das cargas urgentes é transportada por via rodoviária do ponto de origem ao destino. No entanto, o transporte ferroviário de contêineres está cada vez mais sendo preferido para transportar cargas gerais de e para portos e centros logísticos internos distantes.

O tráfego de cargas em qualquer modalidade é geralmente medido em toneladas e tonelômetros. Um tonelômetro = peso da carga transportada X distância transportada — também relatado como tonelada por quilômetro útil (TKU). Outra medida frequentemente relatada é o tonelômetro de receita, que se refere a toneladas de carga que geram receita e exclui carga não geradora de receita, como lastro ferroviário ou outros bens transportados para uso da empresa ferroviária. Para ferrovias, uma medida importante do trabalho realizado é o tonelômetro bruto, que inclui o peso vazio dos vagões de trem para movimentos vazios e carregados. Essa medida de tonelômetros brutos também é chamada de "toneladas arrastadas" ou o total de toneladas sendo transportadas. Às vezes, as medidas de tonelômetros brutos incluem o peso das locomotivas usadas para puxar trens de carga.

O consumo de energia e combustível em ferrovias está intimamente relacionado aos tonelômetros brutos, pois essa é uma medida quase direta do trabalho realizado. A geografia também desempenha um papel importante no consumo de energia. Se os trens precisam ser transportados sobre uma cadeia de montanhas ou descem colinas, isso afeta diretamente o consumo de energia de uma linha ferroviária específica. No entanto, dada a geografia, o consumo de energia geralmente está relacionado aos tonelômetros brutos.

### **2.3.1.3. O que as Ferrovias fazem melhor**

As ferrovias são um meio eficiente e econômico de transportar grandes volumes de passageiros e carga em diversas distâncias, especialmente entre pontos de origem e destino com alto volume de tráfego. A eficiência de custo do transporte ferroviário aumenta conforme os volumes e distâncias aumentam. Quando a demanda de tráfego envolve volumes menores de passageiros e carga que precisam ser distribuídos por um maior número de pontos, o transporte rodoviário geralmente é mais eficiente e econômico.

Para grandes volumes, as ferrovias proporcionam economias de custo, benefícios ambientais, de energia, uso do solo e outros benefícios sociais muito mais significativos do que o transporte rodoviário, embora, em alguns casos, o transporte ferroviário possa ser mais lento. O transporte aquaviário pode ser mais eficiente em termos energéticos e mais barato do que o transporte ferroviário, dependendo da rede de vias navegáveis e disponibilidade, mas geralmente o transporte aquaviário é muito mais lento. O transporte ferroviário de passageiros e carga é competitivo com o transporte rodoviário e aéreo em algumas distâncias.

O transporte ferroviário é geralmente o modo de transporte mais eficaz disponível para volumes maiores e distâncias mais longas, por exemplo, para transportar carvão ou minerais de uma mina ou centro de produção localizado no interior de um país para mercados distantes. A infraestrutura ferroviária requer relativamente pouco espaço - uma faixa de terra com 100 metros de largura geralmente é mais do que suficiente, e a faixa de domínio típica de uma ferrovia pode ser tão estreita quanto 10 metros. No entanto, ferrovias de carga exigem aclives e curvas relativamente suaves, especialmente para transportar minerais - os aclives não devem exceder 2,0 por cento. Em contraste, vias rodoviárias de alta capacidade

podem ter aclives tão íngremes quanto 5,0 por cento ou mais. Portanto, as linhas ferroviárias entre dois pontos podem ser mais sinuosas do que o transporte rodoviário.

Além disso há de se considerar o efeito ambiental, de acordo com dados da ANTT, um vagão graneleiro modelo HPT possui capacidade de transportar aproximadamente 100 toneladas de carga, o equivalente a cerca de três caminhões graneleiros (com capacidade aproximada de 33 toneladas de carga). Uma composição ferroviária composta por 120 vagões é capaz de transportar o equivalente a 368 caminhões graneleiros, ocasionando uma redução considerável da emissão de dióxido de carbono: segundo dados do Instituto de Logística e Supply Chain — Ilos, quando comprado ao rodoviário, o modal ferroviário emite menos cerca de 85% de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>). De acordo com dados do Sistema de Estimativas de Emissões e Remoções de Gases de Efeito Estufa (SEEG), em 2020 o modo ferroviário de cargas foi responsável por aproximadamente 2,9% das emissões nacionais oriundas do setor de transporte de carga.

#### **2.3.1.4. Resumo de Outros modais e Matriz de Transportes Brasil x Mundo**

O modal rodoviário é especialmente adequado para o transporte de cargas de pequeno volume e alto valor agregado em distâncias curtas. Embora o Brasil seja um país com uma vasta extensão territorial, onde as distâncias percorridas são consideráveis, e haja uma ênfase na exportação de produtos de baixo valor agregado, o transporte rodoviário não deveria predominar. No entanto, sua flexibilidade operacional é a melhor entre todos os modais, já que é o único que oferece transporte porta-a-porta. Além disso, os investimentos iniciais necessários para iniciar uma operação rodoviária são os menores em comparação com outros modais, permitindo que pequenas empresas iniciem e interrompam facilmente suas operações em determinadas localidades, de acordo com as necessidades impostas. Na realidade brasileira vivida no meio do século XX, com o crescimento industrial e o rápido desenvolvimento do interior, havia uma demanda urgente pela construção de uma infraestrutura de transporte. A construção de rodovias, além de ser relativamente barata, pode ser realizada em etapas e oferece uma capilaridade que nenhum outro meio de transporte proporciona (COELI, 2004).

O modal aquaviário é composto por três segmentos: a navegação de cabotagem, que ocorre entre portos dentro do mesmo país; a navegação de longo

curso, realizada entre portos de diferentes países; e a navegação interior, que ocorre em hidrovias internas. No caso do Brasil, devido à extensa costa navegável, esse modal tem grande potencial e perspectivas promissoras. O foco principal do modal aquaviário é o transporte de cargas de grande volume, sendo essa a sua principal vantagem. No entanto, apresenta desvantagens, como tempos de trânsito mais longos, baixa velocidade de deslocamento e menor flexibilidade, exigindo, muitas vezes, a combinação com outros modais para levar a carga do porto até o destino final. Além disso, é necessário que haja vias marítimas navegáveis para a operação deste tipo de transporte, enquanto os modais rodoviário e ferroviário contam com uma maior disponibilidade para operar. Os custos fixos do modal aquaviário são maiores em comparação com o modal rodoviário, mas menores em relação ao modal ferroviário.

O modal dutoviário refere-se ao transporte realizado por meio de dutos, e é caracterizado por operar de forma quase ininterrupta, dispensando o uso de veículos como caminhões e trens. É o modal com maior custo fixo e menor custo variável. No entanto, apresenta uma limitação em termos de flexibilidade de rota, uma vez que somente produtos nas formas de gás, líquido ou semifluido podem ser transportados por dutos (COELI, 2004). Destacam-se no modal dutoviário os oleodutos e gasodutos, que reduzem a quantidade de substâncias perigosas nas estradas e ferrovias. Uma vantagem significativa desse modal é a consistência do serviço e o cumprimento dos prazos acordados, uma vez que não depende de condições climáticas nem de tráfego.

O modal aeroviário, ou transporte aéreo de cargas, é conhecido por sua rápida velocidade de entrega, sendo o mais rápido de todos os modais. No entanto, seu custo é significativamente elevado, o que o torna mais adequado para o transporte de cargas de pequeno volume e alto valor agregado. Como resultado, a participação do modal aeroviário na matriz do transporte de cargas brasileira, disponível na tabela abaixo, é a menor de todas.

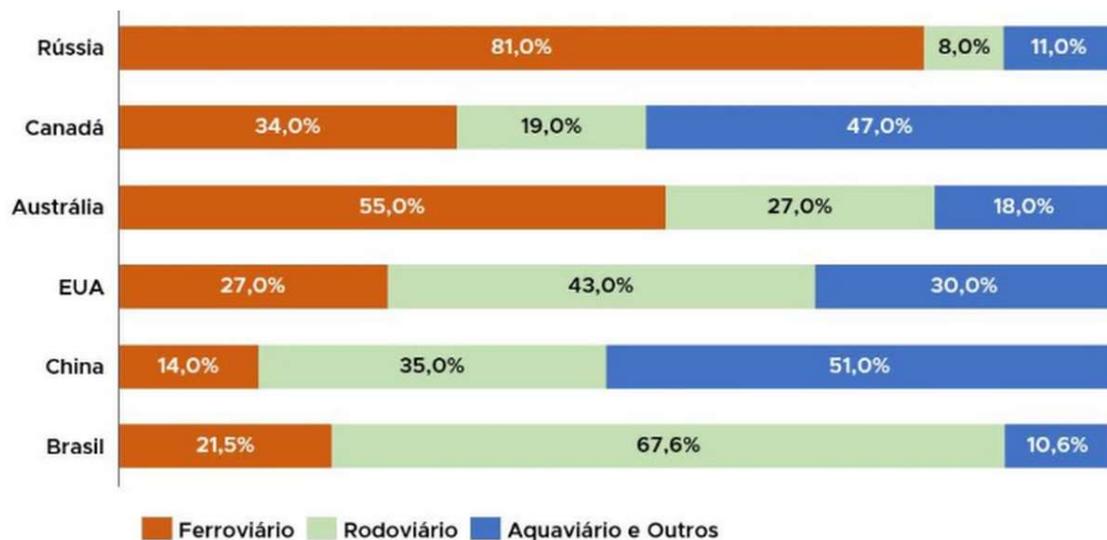
Tabela 3 - Matriz do Transporte de Cargas no Brasil

MATRIZ DO TRANSPORTE DE CARGAS NO BRASIL 2018		
Modal	Milhões (TKU)	Participação (%)
Rodoviário	485.625	61,1
Ferrovário	164.809	20,7
Aquaviário	108.000	13,6
Dutoviário	33.300	4,2
Aéreo	3.169	0,4

Fonte: REGO, Gabriel Fonseca Bordeaux. (2019)

Ao comparar a matriz de transportes brasileira com a de outros países de grande extensão territorial, na figura 13, é evidente que o modal rodoviário predomina no Brasil para o transporte de cargas. No entanto, ao analisar países com extensões territoriais semelhantes à do Brasil, a disparidade na participação do modal ferroviário é alarmante. De acordo com a CNT (2013), cargas de alta tonelage são preferencialmente transportadas por ferrovias, especialmente quando é necessário percorrer grandes distâncias. Portanto, é crucial adotar estratégias e medidas para equilibrar esse cenário e promover uma logística cada vez mais eficiente.

Figura 13. Participação na Matriz de Transportes Brasil x Mundo



Fonte: Plano Nacional de Logística 2035

## **2.4. Principais Gargalos e Soluções para o Sistema Ferroviário**

Para alcançarem a eficiência e ganhos previstos, os projetos de novas ferrovias no território nacional precisam ser acompanhados de melhorias e soluções dos gargalos físicos e operacionais existentes nos dias de hoje, uma vez que estes projetos quando forem implantados estarão incluídos dentro do sistema logístico brasileiro. Lang (2007), menciona que dentre os principais problemas que comprometem o desenvolvimento da malha ferroviária, destacam-se:

- Falta de padronização das bitolas;
- Falta de uma regulação adequada do modal ferroviário brasileiro e a ineficiência do direito de passagem e tráfego mútuo;
- Invasões nas faixas de domínio das ferrovias e passagens em nível críticas, principalmente nos centros urbanos;
- Necessidade de expansão integrada da malha e fazer uso da intermodalidade.

### **2.4.1. Falta de Padronização das Bitolas**

A escolha da bitola em projetos ferroviários é um aspecto crucial, pois afeta tanto os custos de construção da via quanto o desempenho operacional no futuro. Lacerda (2009) afirma que, para a escolha da bitola em um projeto ferroviário deve-se levar em conta os custos de construção da via e o desempenho operacional desta no seu futuro. As bitolas métricas possuem um custo de construção menor, por causa dos gastos inferiores com volume de lastro, tamanho de dormentes e largura das obras de arte. Outra vantagem da menor distância entre os trilhos está na viabilidade de se construir curvas mais acentuadas, portanto em terrenos montanhosos a diferença entre custos de construção da bitola métrica para a larga é significativa. Porém, a diferença entre o desempenho operacional no transporte de cargas é relativamente pequena, uma vez que este é medido em função dos ângulos das curvas e da inclinação das vias o que delimita a velocidade comercial, não conferindo à bitola larga grandes vantagens. Tamagusko (2013) cita que ao optar-se pela bitola larga em terrenos favoráveis, isso confere à via várias vantagens como maior capacidade de carga e uma melhor estabilidade, permitindo com que se atinja maiores velocidades. O desempenho operacional de uma ferrovia de carga é função dos ângulos das curvas e da inclinação das vias, o que determina sua velocidade comercial (CURY, 2011). Cabe salientar que as mais recentes ferrovias construídas

no país como a Ferronorte, a Ferrovia Norte-Sul e a Estrada de Ferro Carajás empregaram a bitola larga durante suas implantações.

A uniformidade de bitola é o fator que mais contribui para a economicidade do êxito comercial de um sistema ferroviário, e, não, o tamanho da bitola, propriamente dita (CURY, 2011). A questão da unificação da malha brasileira para um único tipo de bitola é motivo de muita discussão. Pellegrin (2014) afirma que apesar dos últimos projetos terem adotado a bitola larga é inviável a padronização para este tipo de bitola atualmente, uma vez que a malha em bitola métrica é muito representativa e a interdição desses trechos para a alteração de bitola provocaria perdas econômicas e transtorno no sistema ferroviário. Para Lacerda (2009) a alteração da bitola métrica para a larga provocaria mudanças e readequações nas obras de arte de toda a malha como: pontes, viadutos e túneis, além do lastro, dormentes, cortes e aterros, o que resultaria em um custo elevado para fazer essas correções. O caminho inverso (bitola larga para a estreita) é mais fácil visto que o número de reparações é menor. Outro custo a ser considerado em uma mudança de bitola da via é o de mudar a distância das rodas das locomotivas e dos vagões. Nesse momento, a melhor solução é preparar a infraestrutura para portar uma via mista com a inserção de um terceiro trilho nos trechos de bitola larga, sem grandes obras, tornando o processo menos oneroso. Brina (1988) aponta que outra solução para o problema apresentado seria, ao invés de transformar a via, duplicar o trecho iniciando outro ramal paralelo ao antigo com a nova bitola desejada, quando a faixa de domínio permitir, visto que o custo para as duas intervenções é semelhante. Pellegrin (2014) ainda complementa que como a realidade de diferentes tipos de bitolas na malha brasileira persistirá por mais algumas décadas, alternativas às obras de adaptação de bitola mista precisam ser desenvolvidas.

No Brasil, existem quatro tipos de bitola: métrica, larga, padrão e mista. A bitola padrão de 1,435 m foi oficialmente adotada internacionalmente e é a mais comum em todo o mundo, porém no Brasil ela é a menos usada, com cerca de 200km de extensão, não sendo mencionada na Tabela 4 a seguir:

Tabela 4 - Extensões da Malha Ferroviária Brasileira de Cargas e suas Respectivas Bitolas

Ferrovias	Bitola			
	Larga	Métrica	Mista	Total
	(1,6 m)	(1,0 m)		
América Latina Logística Malha Oeste S.A. - ALLMO <sup>(1)</sup>	-	1.945	-	1.945
Ferrovias Centro-Atlântica S.A. - FCA	-	7.910	156	8.066
MRS Logística S.A. - MRS	1.632	-	42	1.674
Ferrovias Tereza Cristina S.A. - FTC	-	164	-	164
América Latina Logística Malha Sul S.A. - ALLMS	-	7.254	11	7.265
Estrada de Ferro Paraná Oeste S.A. - FERROESTE	-	248	-	248
Estrada de Ferro Vitória a Minas - EFVM	-	905	-	905
Estrada de Ferro Carajás - EFC	892	-	-	892
Transnordestina Logística S.A. - TLSA	-	4.189	18	4.207
América Latina Logística Malha Paulista S.A. - ALLMP	1.463	243	283	1.989
América Latina Logística Malha Norte S.A. - ALLMN	617	-	-	617
Ferrovias Norte-Sul - FNS - VALEC/Subconcessão:	720	-	-	720
<b>SubTotal</b>	<b>5.324</b>	<b>22.858</b>	<b>510</b>	<b>28.692</b>

Fonte: Transporte e Economia: O Sistema Ferroviário Brasileiro, CNT, 2013

A uniformidade de bitola é essencial para a eficiência do sistema ferroviário, mas a realidade brasileira apresenta uma variedade de bitolas, o que gera custos adicionais e dificulta a conexão entre as malhas. A padronização para a bitola larga no Brasil atualmente é inviável a curto prazo devido aos custos de adaptação das infraestruturas existentes, visto que a maior parte da malha ainda é de bitola métrica. Alternativas, como a utilização de bitola mista em trechos de bitola larga, podem ser adotadas para reduzir os gastos. Porém conforme novos trechos são construídos, adotando a bitola larga como padrão, a longo prazo, a representatividade desta se torna maior, tornando cada vez mais interessante a unificação de bitolas, em um aspecto nacional.

Lacerda (2009) menciona o fato de que a construção de ferrovias com diferentes bitolas não foi um problema somente no Brasil. Os Estados Unidos e a Europa Ocidental tiveram êxito em homogeneizar suas redes. De acordo com Puffert (apud TAMAGUSKO, 2013), nos Estados Unidos em 1861 existiam mais de vinte bitolas diferentes, sendo a padrão de 1,435 m apenas 54% de sua malha. Já em 1886, 96% da rede americana estava padronizada, esta homogeneização ocorreu pelo fato do crescimento pela demanda de transporte inter-regional e o aumento da cooperação entre ferrovias. Hoje em dia o país é ligado da costa leste à oeste pela bitola padrão. Entretanto, alguns países ainda sofrem com as consequências de vários tipos de

bitola em seu território. Cury (2011) relata que na Austrália, antes de sua independência cada estado era responsável pela sua rede de ferrovias, o que resultou em três tipos diferentes de bitola. Essa falha das relações entre os governos dos estados e o nacional, há mais de cem anos, ainda traz resultados negativos para o país. Já a malha das ferrovias da Espanha e de Portugal contam com o predomínio da bitola de 1,668 m, conhecida também como bitola Ibérica. A explicação para este tipo diferente de bitola está na proteção da fronteira da Península Ibérica com a França, visto que por motivos militares ela foi adotada para conter o avanço das tropas francesas na região, na primeira metade do século XX. Outras bitolas que valem ser mencionadas são a de 1,520 m adotada por países da antiga União Soviética, tendo destaque a Rússia; a de 1,600 m na Irlanda e Irlanda do Norte e a de 1,067 m no Japão. Nestes dois últimos por serem ilhas, não há a necessidade de seguir o padrão de outros países.

Nos Estados Unidos, a cooperação entre as ferrovias e a demanda de transporte inter-regional foram fatores-chave para a homogeneização da rede. Na Espanha e Portugal, a adoção de uma bitola diferente foi motivada por questões militares. A América do Sul enfrenta desafios logísticos devido às grandes distâncias marítimas e barreiras geográficas dos Andes. A falta de integração ferroviária entre países é causada pela mudança de bitola, impedindo a circulação de trens sem troca de material rodante.

Em resumo, a escolha da bitola em projetos ferroviários é um equilíbrio entre os custos de construção e o desempenho operacional. A padronização da bitola é fundamental para a eficiência do sistema, mas a realidade brasileira e da América do Sul no geral apresenta desafios devido à variedade de bitolas existentes. Alternativas e soluções devem ser consideradas para minimizar os custos e melhorar a conectividade entre as malhas ferroviárias.

## **2.4.2. Regulação do Modal Ferroviário: Direito de Passagem, Tráfego Mútuo e Concessões**

O IPEA (2010) relatou que o marco regulatório da época, para o setor ferroviário brasileiro nasceu com a extinção da RFFSA e consolidou-se com a concessão das ferrovias à iniciativa privada. Se antes o Ministério dos Transportes contava com todas as atribuições do setor e a operação encontrava-se na mão de poucas empresas, hoje o contexto ficou mais complexo. O Ministério continuava a formular estratégias a longo prazo, porém a operação está em sua maioria nas mãos de empresas privadas. Já a fiscalização e as regras de operação e concessão tornaram-se atribuições da Agência Nacional de Transportes Terrestres.

Segundo o estudo da CNT (2013), até a década de 1980, o setor ferroviário da maioria dos países estava centralizado em empresas públicas, garantindo assim lucros do governo com os ganhos de escala e que não houvesse possíveis abusos de um monopolista privado. Entretanto, os prejuízos resultantes no setor e a sua ineficiência em alguns casos resultou em reformas no arranjo regulatório. Nos Estados Unidos, o Ato de Ferrovias de Staggers concedeu liberdade para fixação de tarifas de frete, facilitou o ingresso de novos operadores do setor e incentivou a separação dos serviços operacionais e de construção, possibilitando melhores condições financeiras para as ferrovias americanas.

Santos (2005) aponta para o fato que a desregulamentação realizada com Staggers permitiu a fusão de empresas, bem como reduziu as tarifas de linhas pequenas (short lines). Com isso, à medida que surgiam grandes transportadores, também ocorreu a criação de pequenas ferrovias que não existiriam sem as novas facilidades concebidas pelo ato. Santos (2005) ainda relata que a Europa, principalmente a Ocidental, também sofreu com a ineficácia e custos do seu setor ferroviário principalmente devido à crise do petróleo, na qual favoreceu outros modais de transportes. A Europa Oriental por sua vez, devido à política centralizada dos governos comunistas, protegeu suas ferrovias. Apesar da preferência pelo transporte de passageiros, nos últimos anos o transporte de cargas também evoluiu e tornou-se mais ágil, muito pelo fato do repasse do serviço de cargas para a iniciativa privada, ficando para as empresas estatais somente a tração dos trens.

Os termos de tráfego mútuo e direito de passagem embora possam causar algum tipo de dúvida, não são sinônimos. Para a ANTT (2016), tráfego mútuo é a

operação em que uma concessionária precisando ultrapassar os limites de sua malha para completar um trajeto, compartilha recursos operacionais, tais como: material rodante, via permanente, pessoal, serviços e equipamentos com a concessionária que fará o prosseguimento da prestação do serviço, mediante o pagamento de valor determinado. Já direito de passagem configura-se como a operação em que uma concessionária, mediante o pagamento de valor determinado, permite outra a trafegar em sua malha utilizando a sua via permanente para que esta possa completar a prestação de serviço. Rosa (2016) ajuda a compreensão da diferença entre as duas descrevendo que tráfego mútuo é quando a ferrovia 1 entrega os seus vagões sem tração para a ferrovia 2, e esta coloca a tração com maquinista para circular o trem. O direito de passagem ocorre quando a ferrovia 1 entra com seus vagões, sua tração e seu maquinista na via permanente da ferrovia 2.

A CNT (2013) revela que os critérios para tráfego mútuo e direito de passagem são pautados na capacidade ociosa da via e nas metas de produção por trecho acertadas entre a concessionária e a ANTT, no qual ocorrerá pagamento da requerente para a cedente. As 45 administrações ferroviárias são obrigadas a operar em tráfego mútuo ou, no caso de sua impossibilidade, permitir o direito de passagem a outros operadores (IPEA, 2012). O principal debate em torno das regras de interconexão, segundo o IPEA (2012), está voltado para o fato de só se permitir o direito de passagem quando houver capacidade ociosa da via, visto que nos principais trajetos como as vias que acessam aos portos, a capacidade máxima já foi atingida, impedindo que outras concessionárias ingressem nesses trechos, e ainda há a indefinição sobre qual concessionária, a visitada ou a visitante, deve realizar investimentos para o aumento dessa capacidade. Outro problema questionado é a inexatidão quanto a verdadeira capacidade das vias, uma vez que este parâmetro é definido pela própria ferrovia a ser visitada, podendo esta, impor restrições técnicas e de segurança.

Entre os modelos de operação ferroviária atuantes pelo mundo, destacam-se três: o modelo vertical, o modelo horizontal (open access) e o modelo misto (compartilhado). Mohr (2017) aprofunda cada um deles:

### Modelo Vertical:

No sistema vertical uma única empresa, seja pública ou privada, é responsável pela operação do serviço de transporte e realização de investimentos em melhorias e manutenção da infraestrutura. Este modelo pode acarretar um monopólio natural em função do poder dominante da empresa ao aplicar tarifas com preços convenientes a ela. Dentro desse sistema estão também as malhas particulares, nas quais as empresas, como no caso da indústria do minério de ferro, operam o transporte, são responsáveis pela via e ainda são detentoras da carga transportada.

### Modelo Horizontal (Open Access):

Este modelo é muito comum nos países europeus, principalmente no transporte de passageiros. Semelhante ao que ocorre em aeroportos e nos sistemas de telecomunicações, neste sistema temos uma concessionária, na maioria das vezes pública, a qual não oferece nenhuma prestação de serviço de transporte, sua atribuição consiste apenas na ampliação e melhoria da infraestrutura da via férrea e na operação do Centro de Controle Operacional (CCO). O transporte de cargas e passageiros é executado por diversos Operadores Ferroviários Independentes (OFIs) que pagam uma tarifa pelo direito de passagem nos trilhos, sendo esta proporcional ao número de vagões, toneladas transportadas e o tipo de carga. Neste sistema é criada uma vasta concorrência sobre os trilhos, porém necessita de relações muito bem definidas entre o gestor da malha e os OFIs.

### Modelo Misto (Compartilhado):

Este modelo caracteriza-se por haver uma empresa dominante, pública ou privada, responsável pela gestão da infraestrutura e manutenção, do controle do CCO e de grande parte da operação do transporte de cargas. No entanto, diferentemente do que ocorre com o modelo vertical, na malha compartilhada também circulam trens de OFIs, nos quais através do devido exercício do direito de passagem ou tráfego mútuo conseguem acessar os pontos finais de destino das suas cargas, mediante pagamento de tarifas. Há também neste modelo as chamadas short lines que são ramificações pequenas do tronco ferroviário principal, operados por pequenas empresas de baixo custo, que levam para a empresa dominante as cargas dessas regiões. Apesar de ainda pequena, este sistema cria uma concorrência no modal ferroviário. A Figura 14 resume os três tipos de modelos citados:

Figura 14. Tipos de Regulação no Modal Ferroviário



Fonte: REGO, Gabriel Fonseca Bordeaux. (2019)

No Brasil atualmente o modelo que tem sido praticado é o vertical, ou seja, a concessionária detém a operação de transporte na via e é responsável pela infraestrutura. Na teoria, existe na regulação atual o benefício do direito de passagem, porém como visto anteriormente, na prática, ele é raramente exercido. No entanto, com o Marco Legal das Ferrovias, promulgado em 2021, muitas dessas questões foram solucionadas, de forma que o Modelo Misto ou Horizontal foi facilitado. Visto que mesmo com a renovação de concessão, a Lei assegura que a concessionária deve permitir acesso à malha ferroviária, disponibilizando a capacidade de carga requerida, assegurada a remuneração pela capacidade contratada, nos termos do contrato de concessão.

### 2.4.3. Passagens em Nível e Invasões de Faixas de Domínio

Faixa de domínio é a faixa de terreno em que se localizam as vias férreas e demais instalações da ferrovia, inclusive os acréscimos necessários à sua expansão (ANTT, 2016). O estudo da CNT (2013) apontou a presença de mais de 355 invasões nas faixas de domínio. A existência de construções irregulares às margens das ferrovias acarreta a redução das velocidades das composições reduzindo a eficácia do transporte ferroviário.

Outro problema que tem comprometido a competitividade deste modal é o fato de as vias férreas passarem excessivamente por dentro das cidades resultando nas

passagens em nível, o que aumenta o risco de acidentes e restringe a eficiência dos trens, em áreas urbanas, as composições chegam a reduzir em oito vezes a velocidade, de 40 km/h para 5 km/h, causando prejuízos. É o que aponta a Pesquisa CNT de Ferrovias 2015. Segundo dados do boletim estatístico da CNT (2019) existem atualmente 12.289 passagens em nível no país, sendo destas 2.659 críticas, conferindo uma velocidade média operacional dos trens de 22 km/h. O IPEA (2010) relata que em condições adequadas, na qual fossem eliminados os problemas de invasões de faixas de domínio e passagens em nível, os trens que viajam a 22 km/h atualmente poderiam alcançar 80 km/h, mesma velocidade de operação dos Estados Unidos. As soluções apontadas pela CNT (2015) para estes problemas contemplariam: a remoção das invasões com realocação das famílias; implantação e melhorias nos dispositivos de sinalização; a construção de passagens em desnível como viadutos e pontes; e a criação de contornos ferroviários para impedir que as ferrovias adentrem aos centros das cidades.

#### **2.4.4. Falta de Conexão entre as Ferrovias e Ausência da Intermodalidade**

As ferrovias brasileiras foram originalmente construídas até meados do século XX com um traçado perpendicular ao litoral, impulsionadas pelos interesses econômicos de exportação de matérias-primas pelos portos. Márcio Silveira (2007) destaca que as primeiras ferrovias eram controladas por capital estrangeiro, que visava apenas à lucratividade do empreendimento, sem preocupação com a formação de uma rede de transporte integrada. Além disso, a construção de uma malha interligada encontrou obstáculos devido à dispersão territorial e à distância entre as regiões produtoras e os portos, tornando inviável a criação de uma rede integrada naquele momento. Atualmente, essa ausência de integração entre modais ainda resulta em prejuízos econômicos para o desenvolvimento do país, devido aos altos custos logísticos.

Resende et al. (2009) afirmam que o sucesso do modal ferroviário brasileiro depende do crescimento da malha ferroviária por meio de novos projetos, integrando-os com as linhas já existentes e com outros modais. Ainda são necessários investimentos em terminais intermodais para que os embarcadores considerem a integração de modos de transporte como uma opção vantajosa, proporcionando

eficiência e confiabilidade. Coeli (2004) acrescenta que, na maioria dos casos, o transporte ferroviário precisa ser complementado pelo rodoviário, utilizando o transporte porta-a-porta para levar a carga até seu destino final. As ferrovias brasileiras competem entre si em poucas rotas, sendo seus principais concorrentes o modal rodoviário e, em algumas regiões, o hidroviário e a cabotagem. A integração entre as ferrovias tornaria esse modal mais competitivo em relação aos outros modos de transporte (Coeli, 2004).

De acordo com o estudo da CNT (2015), o escoamento da produção de grãos no Brasil ocorre em duas etapas. A primeira etapa envolve o transporte dos produtos agrícolas até os armazéns, geralmente realizado por meio do modal rodoviário, que é caro devido à falta de pavimentação da maioria das estradas rurais. A segunda etapa refere-se ao transporte dos armazéns até as indústrias que destinam os produtos ao mercado interno, em distâncias curtas geralmente percorridas por rodovias, ou até os portos, em longas distâncias para exportação da produção do Centro-Oeste para terminais do Sul e Sudeste, utilizando rodovias, ferrovias, hidrovias ou combinações desses modais. A integração do sistema de transporte brasileiro proporcionaria maior eficiência no deslocamento de mercadorias pelo país, uma vez que a utilização de mais de um modal permitiria a redução de custos e tempo (CNT, 2015).

Lambert et al. (1998) ressaltam que as ferrovias, assim como os modais aquaviário e dutoviário, estão restritas aos trilhos, oferecendo um transporte de terminal a terminal, em oposição ao transporte porta a porta do modal rodoviário, a menos que os embarcadores possuam ramais ferroviários até suas instalações. Um exemplo proveitoso de intermodalidade é a parceria entre a Santa Fé Railway e uma grande empresa de transporte rodoviário americana nos anos 1990, que proporcionou aos embarcadores um serviço porta a porta entre a Califórnia e o Meio-Oeste dos Estados Unidos, com um sistema unificado de comunicação e faturamento. Santos (2005) também destaca a falta de concorrência resultante da divisão em malhas regionais das concessões ferroviárias no Brasil. O modelo americano, apesar de regionalizado, permitiu a construção de ferrovias paralelas concorrendo entre si, evitando a formação de um monopólio natural e incentivando as concessionárias a buscar novas tecnologias e melhorias em suas linhas.

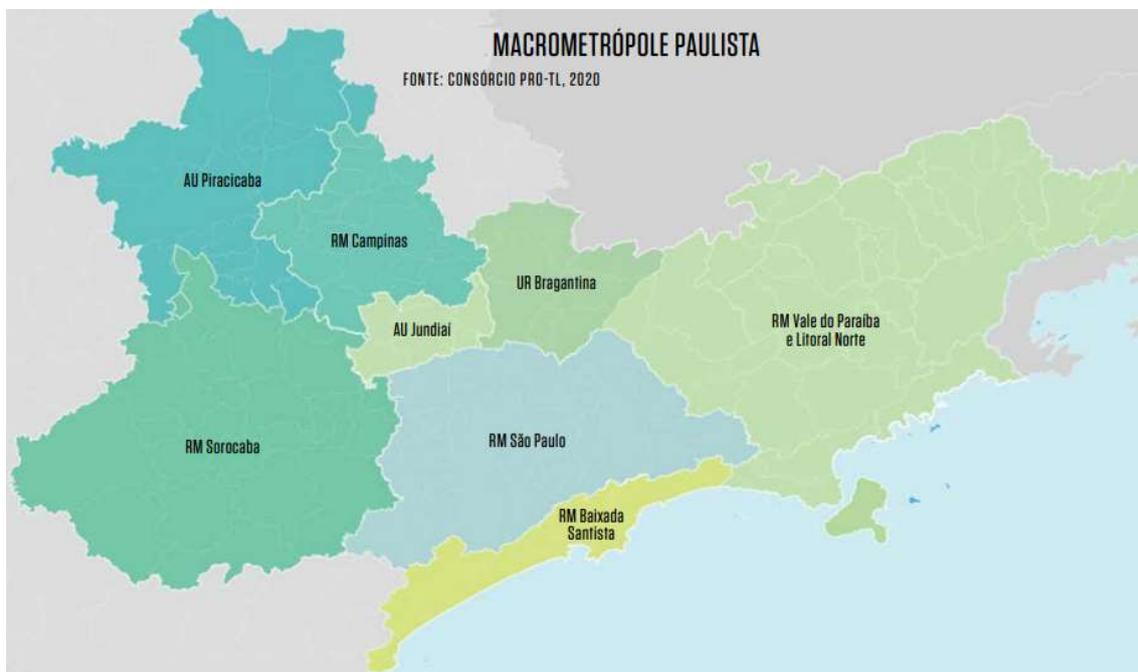
### 3. Plano de Ação de Transporte e Logística

Neste capítulo será descrito em resumo as diretrizes do PAM-TL, documento utilizado como base para definições do projeto em estudo, e será feita a análise das soluções do plano logístico pertinentes a ferrovias, incluindo a intermodalidade.

#### 3.1 Apresentação do plano e diretrizes do PAM-TL

O Plano de Ação de Transporte e Logística, PAM-TL, é uma iniciativa do Governo do Estado de São Paulo em busca de uma solução multidisciplinar e integrada para as questões críticas de transporte e logística, de passageiros e carga na Macrometrópole Paulista, delimitada pelas Grande São Paulo e as quatro regiões metropolitanas em torno: Campinas, Sorocaba, Baixada Santista e São José dos Campos.

*Figura 15. Divisão da Macrometrópole Paulista*



Fonte: Relatório Síntese do PAM-TL, 2020

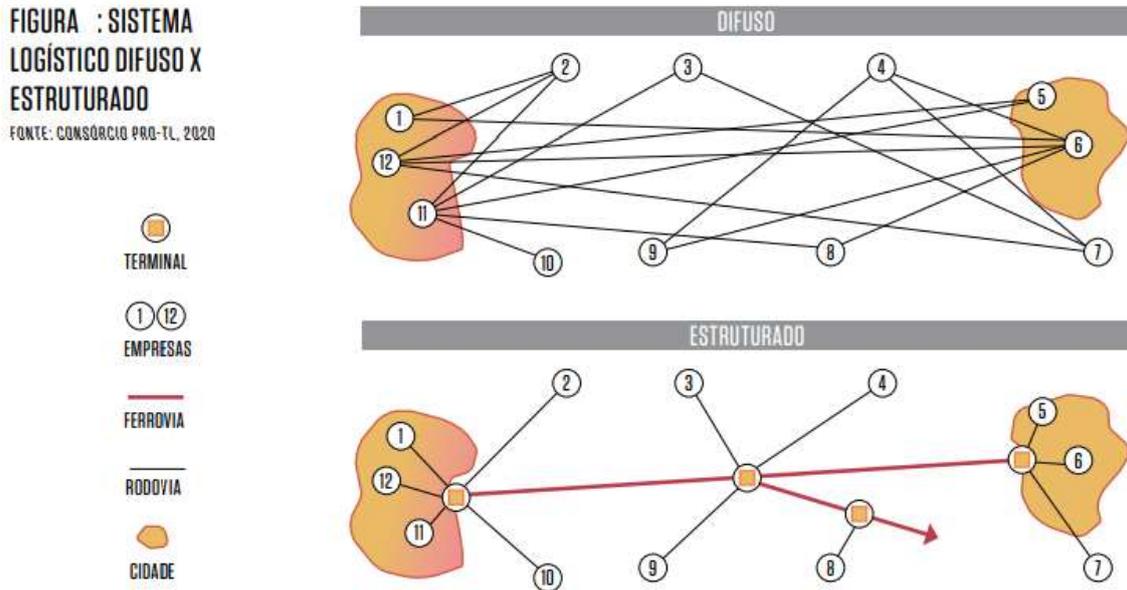
O plano foi elaborado considerando o contexto em que a região da Macrometrópole Paulista concentra a maior parte da população e do PIB do Estado de São Paulo. Recentemente, reconheceu-se que devido à dependência do sistema

rodoviário, a região enfrenta dificuldades em atender às demandas de desenvolvimento, tornando necessária a reativação e ampliação das ligações ferroviárias. É importante destacar que o Plano de Ação Macrometrópole Paulista para Transporte e Logística (PAM-TL) não se limita apenas a soluções ferroviárias, mas também propõe melhorias nas rodovias existentes, como serviços noturnos de transporte de carga, implementação de dutovias, Rodoanel, Ferroanel, além de melhorias no Porto de Santos e a implementação de um novo aeroporto. No entanto, para este estudo em particular, o foco estará nas soluções ferroviárias, incluindo a intermodalidade e enfatizando as rotas com influência no Vale do Paraíba e São José dos Campos.

Ao analisar o histórico, observa-se que, no início do século XIX, devido à base agrícola extrativista da economia, foi criado um sistema de transporte voltado para a exportação de commodities, com destaque para as ferrovias, que tiveram um crescimento significativo antes do surgimento da política rodoviária. Com o passar do tempo, principalmente a partir do século XX, houve uma mudança radical na economia regional, impulsionada pelos setores secundário e terciário, resultando na formação do grande complexo da Macrometrópole Paulista. Essas transformações geraram grandes demandas de mobilidade de pessoas e uma mudança no perfil das mercadorias transportadas, passando de produtos a granel para cargas gerais, que possuem exigências logísticas mais complexas e um maior valor agregado. Portanto, a intensa concentração de origens e destinos na área urbana apresenta novos e grandes desafios para a circulação de passageiros e bens, justificando o uso do modal rodoviário, que permite o transporte porta a porta. No entanto, o uso desenfreado desse modal causa gargalos que precisam ser solucionados para alcançar uma logística de transporte funcional e fluida.

É importante ressaltar que a evolução das ferrovias no Brasil se deparou com um sistema que não se adaptou adequadamente e que se concentrou no escoamento do setor primário, com corredores de exportação e atividades relacionadas. Isso resultou em uma dependência excessiva do transporte rodoviário para atender às enormes demandas domésticas, resultando em um sistema logístico disperso, quando idealmente o mais eficiente seria um sistema estruturado, conforme representado na figura 16.

Figura 16. Sistema Logístico Difuso x Estruturado



Fonte: Consórcio Pró-TL, 2020

Enquanto isso, o transporte regional de passageiros por trens é praticamente inexistente. Atualmente, o transporte de passageiros por trem no Brasil representa uma pequena porcentagem do total de viagens de transporte público. De acordo com dados da Agência Nacional de Transportes Terrestres (ANTT), em 2019, o transporte ferroviário de passageiros foi responsável por aproximadamente 1% do total de viagens de transporte público no país. Anteriormente, os trens eram o meio de transporte mais utilizado durante décadas, mesmo antes da formação da Macrometrópole Paulista. No entanto, os passageiros de viagens intercity foram gradualmente migrando para automóveis e ônibus, assim como ocorreu na transição urbana dos bondes para carros e ônibus. Essa falta de políticas assertivas visando uma logística eficiente se repete. Apesar de há muito tempo ser conhecido o problema desse padrão problemático, a resposta eficaz por parte das políticas públicas tem sido insuficiente.

Ao observar o histórico, essas incongruências não foram causadas apenas por políticas mal elaboradas, principalmente aquelas de responsabilidade do governo federal, que contribuíram para a decadência da ferrovia e a colocaram em desvantagem competitiva. Em São Paulo, no caso do transporte de cargas, até pode haver uma justificativa: o transporte rodoviário de porta a porta, principalmente para curtas distâncias, atende melhor às necessidades do transporte de carga geral. No

entanto, o uso indiscriminado das rodovias para caminhões, ônibus e automóveis tem seus limites. Além de ser caro e ambientalmente agressivo, não é viável expandir indefinidamente a infraestrutura desses modais sobre um mesmo território.

### **3.2 Soluções propostas no PAM-TL pertinentes ao presente estudo**

#### **3.2.1 Trem Intercidade (TIC)**

Na cidade de São Paulo, mesmo que fosse possível expandir indefinidamente a capacidade rodoviária, o sistema viário urbano da metrópole, especialmente as marginais, não seria capaz de suportar o tráfego previsto. Nesse sentido, a criação de ligações ferroviárias intermunicipais surge como uma alternativa para aliviar o sistema viário na entrada dos grandes centros, evitando congestionamentos, reduzindo filas nas áreas urbanas e proporcionando benefícios em termos de qualidade das viagens para todos os usuários. O modal ferroviário oferece velocidade, segurança e confiabilidade, características essenciais para o transporte de passageiros, e a intermodalidade no transporte de pessoas é uma forma de reorganizar os sistemas de transporte, visando a melhoria da mobilidade.

O objetivo desse sistema é garantir conexões de alta qualidade entre as cidades e regiões da Macrometrópole Paulista. Estações de transferência entre os modos de transporte rodoviário e ferroviário serão utilizadas para conectar as linhas de trem às redes rodoviárias e viárias urbanas. Além disso, a integração dos modos rodoviários com os novos serviços ferroviários não se limita apenas aos automóveis, e as conexões devem levar em consideração os sistemas de transporte coletivo disponíveis nas extremidades das viagens ferroviárias. As conexões estritamente ferroviárias, como aquelas entre os novos serviços propostos (Trens Intercidades - TICs) e o Metrô ou CPTM na Região Metropolitana de São Paulo, também estão incluídas nesse conceito de transporte integrado.

Nesse contexto, são apresentados os Trens Intermunicipais, conforme detalhado na Tabela 5, que visam a implantação de um conjunto de serviços ferroviários de passageiros ligando a cidade de São Paulo às cidades de Campinas (incluindo o Aeroporto de Viracopos), Sorocaba, Santos e São José dos Campos. Essas linhas, em sua maioria, serão desenvolvidas ao longo das faixas de domínio ferroviário existentes, aproveitando e aprimorando infraestruturas e sistemas para permitir a operação de trens elétricos de dois andares (Electric Multiple Units - EMUs),

com capacidade total de aproximadamente 1.200 passageiros. Esses trens poderão atingir uma velocidade máxima de 160 km/h, com facilidades operacionais e de manutenção abrangendo estações, pátios, sinalização, telecomunicações, catenária, suprimento de energia elétrica e outros componentes necessários para o funcionamento do sistema.

Tabela 5 – Extensão e Demanda dos serviços TIC

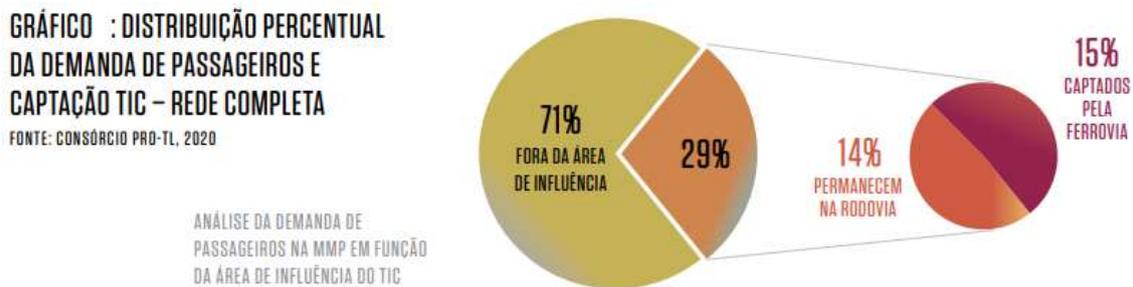
VETOR	PROJETO	EXTENSÃO (KM)	DEMANDA CAPTADA 2040 (PAX/D NOS 2 SENTIDOS)	
			ISOLADO	EM REDE
1	TIC CAMPINAS VIRACOPOS	122,3	116.170	268.461
2	TIC SOROCABA	101,2	99.487	141.945
3	TIC SANTOS	76,3	56.900	160.709
4	TIC SÃO JOSÉ DOS CAMPOS	104,3	45.978	165.171

Fonte: Consórcio Pró-TL, 2020

A análise do desempenho dos Trens Intercidades (TICs) mostra que o seu funcionamento isolado ou em rede possui variações significativas. Existe uma sinergia entre os diferentes trechos, de modo que a captação de passageiros aumenta quando a rede opera como um todo.

No caso específico do presente estudo, o foco está no Vetor 4 - TIC São José dos Campos. No entanto, é importante ressaltar que as estimativas e projeções do Plano são feitas levando em consideração a operação da rede completa, e, portanto, não é possível fazer uma correlação direta para um caso isolado. O resultado esperado desses projetos, quando operando em rede, em termos de atendimento às demandas, é representado em um gráfico.

Figura 17. Gráfico - Distribuição percentual da demanda de passageiros e captação TIC – Rede completa



Fonte: Consórcio Pró-TL, 2020

A Área de Influência dos TICs refere-se ao espaço que engloba as origens e destinos das viagens em que o trem é considerado competitivo. O restante da área de estudo está fora da Área de Influência e provavelmente não utilizará esse serviço. Estima-se que metade da demanda de dentro da Área de Influência (29%) será captada pelos TICs (15%), podendo captar ainda mais no futuro, caso os TICs sejam expandidos territorialmente para além da MMP, ampliando assim a Área de Influência.

### 3.2.2 Expresso Carga (EC)

Uma das importantes conclusões do Plano de Ação Metropolitano de Transporte e Logística (PAM-TL) é que é tecnicamente viável implantar um serviço ferroviário de carga geral em cada vetor radial, utilizando a mesma infraestrutura ferroviária do respectivo TIC. Enquanto o TIC alivia o tráfego rodoviário de veículos de passageiros, o Expresso Carga (EC) irá retirar uma parte dos caminhões que transportam cargas das estradas.

A proposta do EC envolve a implementação de um serviço intermodal caminhão-trem-caminhão, uma vez que a ferrovia não realiza coleta e distribuição porta a porta. Essa estratégia não deve ser vista como restrita apenas à Macrometrópole Paulista, pois, por um lado, a extensão limitada das linhas ferroviárias restringe resultados mais expressivos e, por outro lado, ela abre oportunidades para estender o serviço intermodal para todo o estado de São Paulo, considerando a predominância absoluta do transporte de carga geral nos fluxos estaduais. Nessa perspectiva, o PAM-TL, em sua configuração proposta, funciona como o ponto de partida para um empreendimento subsequente que poderia abranger todo o estado e, a partir daí, ter alcance nacional e internacional.

### 3.2.2.1 VUCBOXes

No contexto do serviço proposto, surge um novo conceito de embalagem de mercadorias com ênfase no transporte ferroviário. Para agilizar o processo de carga e descarga de trens e caminhões, é proposta a unitização das cargas em unidades padronizadas de transporte, chamadas de VUCBoxes. Essas caixas devem ser compatíveis com as regulamentações da cidade, mas oferecem as vantagens de unidades de transporte padronizadas, semelhantes aos contêineres, porém em uma escala de movimentação de cargas menor.

Vale ressaltar que a padronização por contêineres revolucionou o transporte marítimo devido às suas grandes vantagens de padronização, conforme mencionado anteriormente, e essa tecnologia já é utilizada no contexto ferroviário. No entanto, a desconsolidação e consolidação de cargas em contêineres requerem tempo, espaço físico e equipamentos de manuseio especializados. Para o contexto do Expresso de Cargas e o transporte de cargas gerais, uma escala menor, como a VUCBox, seria uma solução ideal, reduzindo também os espaços necessários nos centros de logística da rede proposta.

A VUCBox é uma caixa pequena, com elementos de identificação e segurança semelhantes aos de um contêiner padrão, mas pode ser acomodada diretamente em um chassi semelhante ao VUC (Veículo Urbano de Carga), permitindo fácil fixação e liberação. A adoção desse tipo de solução está condicionada ao tipo de carga adequada para a unitização. De forma geral, foram considerados os seguintes tipos de carga para estimar a demanda do novo sistema ferroviário proposto:

- Produtos alimentícios refrigerados;
- Outros produtos alimentícios; • Bebidas;
- Produtos têxteis;
- Papel e celulose;
- Material de limpeza;
- Artigos de higiene pessoal, cosméticos e medicamentos;
- Artigos de borracha e plástico;
- Insumos de construção;
- Eletrônicos;

- Carga geral.

### **3.2.2.2 Requisitos para os novos Veículos Urbanos de Carga no transporte das VUCBoxes propostas**

Os requisitos específicos para os novos VUCs serem habilitados a transportar as VUCBoxes são relativamente simples. Além de terem uma capacidade de carga um pouco maior para acomodar o tamanho da VUCBox, eles precisam apenas de um encaixe para fixação da caixa. O uso de um pino de encaixe na VUCBox permite conectá-la ao chassi do VUC, evitando que ela caia durante a viagem e impedindo sua desconexão em caso de assalto.

No entanto, é importante que os procedimentos de fixação e soltura da caixa no caminhão sejam fáceis de realizar. Uma possível solução é adotar travas de torção semelhantes às utilizadas em contêineres ISO como padrão. Para atender aos clientes que não possuem equipamentos de manuseio, o chassi do VUC pode ter uma grua fixa, permitindo que o motorista ou o pessoal de logística possa carregar e descarregar as VUCBoxes.

No que diz respeito ao manuseio das caixas, as VUCBoxes projetadas podem ser manipuladas por grandes empilhadeiras com garfos estendidos. Isso reduz o consumo de espaço na área de manuseio, uma vez que as caixas podem ser empilhadas, ocupando menos espaço para armazenamento intermediário. A quantidade de equipamentos de manuseio pode ser ajustada conforme necessário. É recomendado que as novas empilhadeiras sejam ecologicamente corretas, podendo ser movidas a gás ou eletrificadas, com baixas emissões.

Essas empilhadeiras não requerem infraestrutura adicional além daquela necessária para os VUCs e são facilmente adquiríveis. Elas precisam apenas de pequenas áreas para manobras, sendo que aproximadamente 8 metros de espaço operacional são suficientes para as operações. Com um raio de giro extremamente reduzido, o espaço operacional necessário para as operações é determinado principalmente pela diagonal da VUCBox.

### **3.2.2.3 O conceito de operação dos trens do Expresso Carga**

No sistema proposto, os trens de carga funcionam como shuttles, percorrendo trechos diretamente entre os Pontos de Ligação Rodoviária (PLRs) ou entre PLR e Pontos de Ligação Urbana (PLUs), levando as VUCBoxes o mais próximo possível de

seu destino final. Devido à facilidade de manuseio, as VUCBoxes podem ser acomodadas em pilhas duplas nos vagões.

Atualmente, não existem vagões totalmente adaptados para o transporte das VUCBoxes, considerando os equipamentos necessários para o manuseio, a interferência com instalações existentes, como a catenária (sistema de alimentação elétrica dos trens) e requisitos de frenagem, entre outros. No entanto, algumas recomendações podem ser feitas para a configuração das composições a fim de melhor adaptá-las ao sistema existente:

- O comprimento operacional total do trem deve ser de 800 metros, sendo 760 metros para os vagões e 40 metros para as locomotivas.
- Essa configuração permite o transporte de até 328 VUCBoxes, com uma carga útil líquida de 1.250 toneladas por trem.
- Considerando a operação contínua ao longo do ano, estima-se que o sistema seja capaz de transportar até 437.500 toneladas de carga útil líquida por ano por trem.

Essas recomendações servem como diretrizes iniciais para a configuração das composições de trens de carga que transportarão as VUCBoxes, possibilitando a utilização eficiente do espaço nos vagões e otimizando a capacidade de carga por trem. É importante destacar que serão necessários estudos mais detalhados e ajustes específicos para adequar as composições aos requisitos técnicos e operacionais do sistema de transporte ferroviário existente.

#### **4. Análise de Traçado**

Neste capítulo será abordado o principal objetivo deste trabalho que é analisar o traçado para o trecho ligando São Paulo e São José dos Campos e verificar a possibilidade de transporte de passageiros, seguindo as diretrizes do PAM-TL. Primeiramente realizar-se-á uma revisão bibliográfica resumida, apresentando normas do Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes (DNIT) e outras fontes identificadas, logo após será realizado o Estudo de Adaptação, como um Memorial Descritivo das ações e medidas a serem tomadas para chegar no resultado proposto pelo Plano.

#### **4.1. Aspectos Técnicos no Estudo de Traçados Ferroviários e Fases do Projeto**

O DNIT, em sua Instrução de Serviço Ferroviário (ISF) – 205, apresenta um documento normativo para estudos de traçado de projetos ferroviários no Brasil. Segundo este, os estudos deverão ser executados em duas fases consecutivas: A primeira é a preliminar, que engloba a coleta, compilação e análise de dados e informações disponíveis, bem como a identificação e estudo das alternativas de traçado, e de esquemas operacionais, e uma estimativa sucinta dos custos de implantação com estudo de viabilidade; A segunda fase é a definitiva abrangendo a análise e avaliação das alternativas e a escolha de suas concepções geométricas. A elaboração de estudos é feita de forma a definir as diretrizes técnicas e ambientalmente possíveis da ferrovia, determinar a viabilidade física das alternativas indicadas como sendo a adequada pelos estudos de tráfego para a ligação ferroviária proposta, definir soluções básicas para elaboração dos trabalhos mais detalhados nos estudos posteriores, além de estimar os custos aproximados de construção e de desapropriação, para fins de avaliação econômica e financeira.

Nabais (2014) afirma que devido a sua importância e custo, os projetos ferroviários devem ser desenvolvidos em três fases:

- Estudos preliminares (ou de viabilidade técnica, econômica e ambiental – EVTEA);
- Anteprojeto (ou projeto básico);
- Projeto final de engenharia (ou projeto executivo).

O estudo de traçado é mais intenso na fase preliminar e no anteprojeto, etapas que serão abordadas no estudo realizado neste trabalho, uma vez que o projeto executivo se reporta apenas a questões pontuais, que visam solucionar problemas específicos causados por dificuldades ambientais, desapropriações ou situações não previstas nas fases precedentes. Estes ajustes são feitos geralmente no próprio campo. O estudo de traçado é de importância primordial, pois pode inviabilizar técnica ou economicamente o empreendimento, elevar o custo de tal forma que atrase a construção ou tornar a relação custo-benefício pouco atrativa (NABAIS, 2014).

##### **4.1.1 Estudos de Viabilidade**

Definida a necessidade de transporte de pessoas ou bens entre dois pontos que possa ser feito por ferrovia, ou constatada a necessidade de reforma, ampliação

ou melhoria da capacidade de uma ferrovia existente, são necessários estudos de viabilidade técnica, econômica e ambiental (EVTEAs) para definir sua viabilidade e comparação de sua eficiência com outros meios de transporte concorrentes ou complementares. Ressalta-se que a ferrovia, um pouco menos que a hidrovia – pois esta exige um rio navegável durante pelo menos a maior parte do ano –, tem limitações quanto a origens e destinos se comparada com modais rodoviários, pois estes permitem o transporte porta a porta. Isso leva a considerar a intermodalidade dos transportes, em que cada um, com suas vantagens, podem complementar os demais, otimizando o sistema como um todo. Para casos de estudo de melhorias em uma ferrovia existente, os estudos de viabilidade das melhorias a serem implantadas são mais simplificados em relação a implantação, pois seu traçado e principais pontos de passagem já estão definidos, resumindo muito ou até mesmo eliminando o estudo de traçado. Sendo necessário apenas a análise de melhorias pontuais para solução de problemas específicos, em particular para quanto à operação ou em razão de interferências nos núcleos habitacionais ou comerciais desenvolvidos em torno da ferrovia. Podendo ainda existir a necessidade de criar ligações com outros centros produtores ou de consumo (NABAIS, 2014).

Dado o panorama, o estudo preliminar é composto pela estimativa de custos, somando-se todas as despesas ao longo da vida útil da ferrovia, incluindo a implantação inicial da via permanente, aquisição do material rodante, a desapropriação da faixa de domínio, as compensações ambientais e operação a manutenção da via.

Em seguida, ponderam-se as receitas estimadas e se verifica a relação custo-benefício e as taxas internas de retorno para a tomada de decisão. Vale ressaltar que para esta análise não apenas aspectos econômicos são levados em consideração, mas também sociais e ambientais já citadas anteriormente no capítulo 2.

Nabais (2014) ainda complementa que na fase preliminar o estudo de traçado é iniciado com o reconhecimento dos pontos obrigatórios “de condição”, tais como: cidades, centros produtores, portos e indústrias. Logo, se define os pontos de origem e destino da ferrovia e os locais de interesse que ela deverá passar obrigatoriamente. Após a pesquisa da posição destes pontos e os dados estatísticos/econômicos das cidades que serão atendidas pela ferrovia, vem a etapa de estudo dos pontos obrigatórios “de passagem”, por exemplo: cursos d’água que necessitem de pontes e

relevos que possam se cogitar a construção de túneis. É necessário então, nesta parte, muito conhecimento da topografia do terreno, para isso conta-se com a ajuda de fotografias aéreas, satélite e modelos digitais. Na verdade, durante esta fase do estudo não existe um traçado propriamente dito, mas sim alinhamentos e diretrizes tecnicamente viáveis. Do ponto de vista econômico, a estimativa de custos no Estudo de Viabilidade Técnica e Ambiental (EVTEA) abrange: os custos de implantação da via permanente e investimentos em equipamentos, frota e instalações operacionais; também conhecido como CAPEX, e os custos operacionais; Operational Expenditure (OPEX), além das receitas operacionais. Logo depois são analisados a relação custo/benefício e a Taxa Interna de Retorno (TIR). Nesta fase a estimativa de custos de drenagem, superestrutura ferroviária e obras complementares pode ser realizada por um valor médio por quilômetro. Os custos de construção da infraestrutura da via permanente podem ser obtidos no Sistema de Custos Rodoviários (Sicro). A Figura 18 apresenta um fluxograma das sequências de operações para o estudo de viabilidade técnico-econômica.

Figura 18. Fluxograma sobre Estudo de Viabilidade (Preliminar)



FIG. 1.7 Fluxograma do estudo de viabilidade técnico-econômica

Fonte: Manual Básico de Engenharia Ferroviária, Nabais (2014)

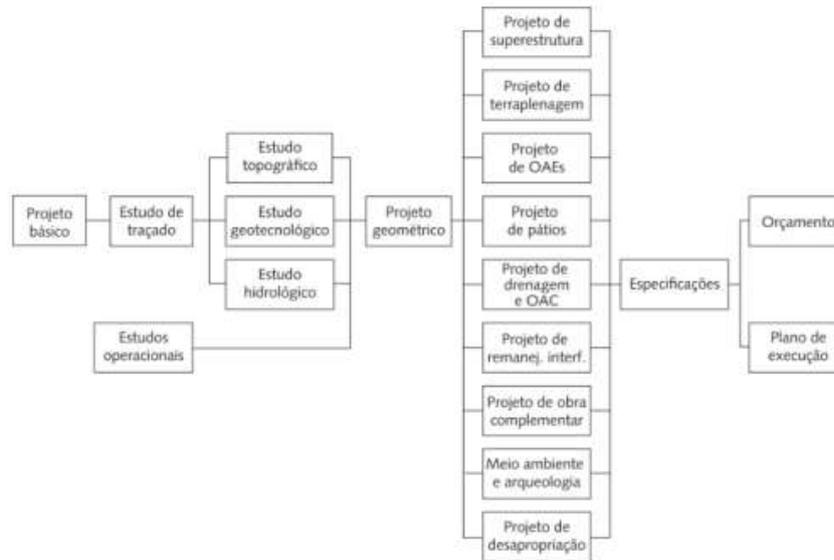
#### 4.1.2 Anteprojetos

Após definida a viabilidade técnica e econômica para a construção da ferrovia, durante a etapa de Anteprojeto ou Projeto Básico é que ocorre, segundo Nabais

(2014), o detalhamento da diretriz escolhida. Ou seja, nesta fase do projeto é realizada: a definição dos raios de cada curva; a caracterização dos cruzamentos da via projetada com rios, rodovias, ferrovias e núcleos urbanos próximos; e a otimização de rampas, curvas e movimentação de terra. Ainda segundo o autor é realizada nesta etapa a definição dos pontos obrigatórios de passagem juntamente com o ponto exato do início e fim da ferrovia e a localização dos seus terminais, oficinas e postos de abastecimento. Há também a preocupação acerca da intermodalidade com a escolha dos locais que ocorrerá a integração da ferrovia com outros modais. Por fim são analisados potenciais problemas socioambientais, arqueológicos e geológicos. A redução destes problemas consiste no descarte de: áreas geologicamente instáveis; locais alagadiços; solos com baixa capacidade potencial; locais com possíveis vestígios materiais históricos e cruzamentos com áreas urbanas.

Nabais (2014) ainda relata a importância desta etapa nos estudos operacionais da via que delimitam as características geométricas dos traçados, influenciando no raio mínimo de curva horizontal e rampa máxima compensada de projeto e, conseqüentemente, na velocidade de projeto e operação. A rampa máxima também define o trem-tipo e este interfere na extensão dos desvios de cruzamento. Caso o projeto seja um prosseguimento de uma linha já existente, o trem-tipo deverá ser compatível com o do trecho em operação. A capacidade da via também é analisada neste momento. Simulações são realizadas para conferir o desempenho dos trens de modo a estabelecer: os tempos de viagem, a velocidade do trem em cada ponto, o consumo de combustíveis e a verificação e/ou revisão do trem tipo adotado. No Projeto Básico são necessários alguns estudos de campo com investigações geotécnicas e sondagens, os estudos ambientais começam a ser mais detalhados a fim de obter licenças e os quantitativos avaliados são mais precisos, portanto, é possível estimar o custo da obra com mais exatidão. Com base na Lei de Licitações (Lei nº 8.666) é exequível a licitação da obra apenas com o Projeto Básico, apesar deste não apresentar o nível de detalhamento que contém o Projeto Executivo. A Figura 19 apresenta um fluxograma sobre as atividades da etapa de Projeto Básico (Anteprojeto) conforme a instrução normativa 80- IN-011A-00-7001 da Valec.

Figura 19. Fluxograma sobre Projeto Básico (Anteprojeto)



Fonte: Manual Básico de Engenharia Ferroviária, Nabais (2014)

## 4.2. Projetos Greenfield e Brownfield

O uso dos termos "greenfield" e "brownfield" é comum quando se trata de projetos e investimentos, especialmente no contexto de infraestrutura e desenvolvimento imobiliário. No PAM-TL, esses termos são utilizados para descrever diferentes abordagens de projetos.

Greenfield refere-se a projetos que são desenvolvidos em áreas não utilizadas anteriormente. Isso significa que o projeto é iniciado do zero, em terrenos virgens ou em locais onde não houve desenvolvimento prévio significativo. É como começar com uma tela em branco, sem restrições ou limitações impostas por construções ou infraestruturas existentes. O termo greenfield também pode ser aplicado a investimentos em novos setores ou negócios, nos quais não há herança ou legado prévio.

Brownfield, por outro lado, descreve projetos que envolvem a reutilização ou reabilitação de áreas ou estruturas já existentes. Essas áreas podem ter sido utilizadas anteriormente para fins industriais, comerciais ou residenciais, mas foram abandonadas ou estão subutilizadas. Os projetos brownfield envolvem a regeneração dessas áreas, podendo incluir a demolição de estruturas antigas, a remediação de

problemas ambientais e a criação de novos empreendimentos em cima da infraestrutura existente.

Projetos brownfield são atrativos na área de infraestrutura, pois aproveitam a estrutura já existente, o que pode reduzir significativamente os custos associados a obras civis e desapropriação. Isso é especialmente relevante no contexto das ferrovias no Brasil, onde quase metade da malha ferroviária do estado de São Paulo está desativada. No entanto, é necessário analisar se o projeto existente é compatível com as demandas do novo projeto e avaliar possíveis restrições regulatórias e legais. Se essas restrições forem excessivamente onerosas ou difíceis de cumprir, optar pelo desenvolvimento greenfield pode ser uma alternativa mais viável.

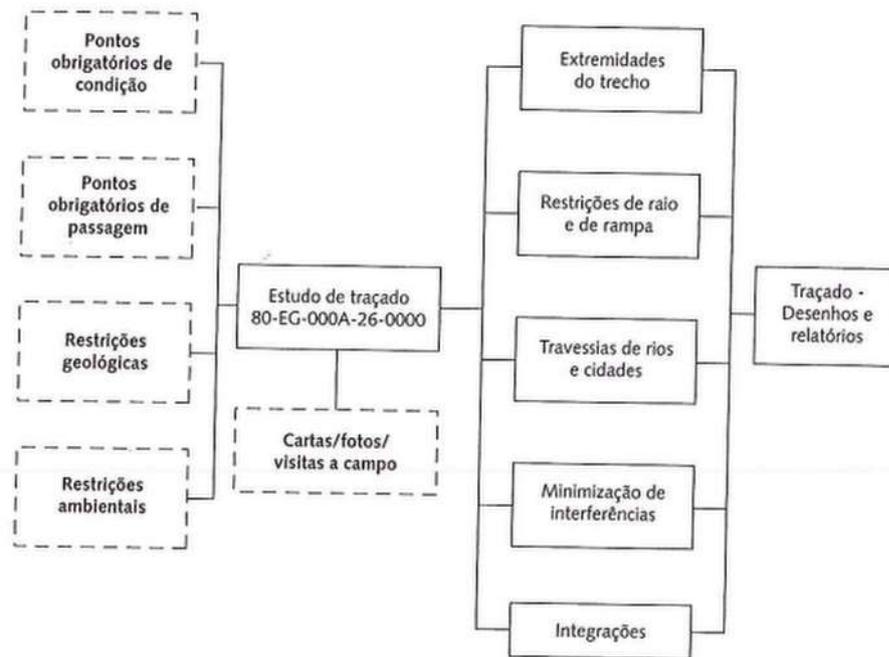
### **4.3. Estudo de Adaptação**

Ressalta-se que para o estudo da ferrovia em questão, considerou-se a viabilidade inerente do Projeto, bem detalhada no PAM-TL, porém que não faz parte do escopo deste trabalho, que se focará mais nas questões de adaptação na Infraestrutura, adotando o modelo de projeto brownfield, especificado anteriormente.

#### **4.3.1. Estudo de Traçado**

A Figura 20 apresenta um fluxograma referente às atividades desenvolvidas no estudo de traçado segundo a instrução normativa 80-EG-00A-26-0000 da Valec.

Figura 20. Fluxograma sobre Estudo de Traçado



Fluxograma do estudo de traçado (Especificação de Projeto nº 80-EG-000A-26-0000 da Valec)

Fonte: Manual Básico de Engenharia Ferroviária, Nabais (2014)

Baseado no fluxograma, por meio de engenharia reversa, com o auxílio das normas técnicas é possível entender e analisar o traçado de ferrovia existente, mesmo sem o projeto original que a concebeu, para definir se o eixo de projeto existente é compatível com a nova demanda de transporte de passageiros e aumento de volume de cargas.

#### 4.3.2. Definições iniciais

Um aspecto importante já citado para resolver gargalos associados a ferrovias no país, é a padronização de bitolas, e para isso, vindo de acordo com os projetos recentes que são construídos, como a Norte-Sul, a bitola determinada será a larga, de 1600mm, que além de já ser a bitola em uso pela CPTM, com a qual a compartilhará parte da via, é a que mais apresenta estabilidade e conforto, fator importante para transporte de passageiros.

Para fins de análise, a velocidade operacional máxima para o transporte de cargas irá variar entre 80km/h e 120km/h para transporte de cargas e 160km/h para transporte de passageiros.

Para realizar o estudo, é necessário definir os pontos de partida, chegada e passagem ao longo da rota. Considerando a rota existente e o objetivo de ligação entre São Paulo e São José dos Campos, alguns pontos estratégicos foram selecionados.

Em São Paulo, optou-se por iniciar a rota na Estação do Brás, devido à sua localização estratégica e a possibilidade de intermodalidade com as linhas de metrô da capital paulista. Além disso, já existe uma linha de trem em funcionamento na região, as linhas 11 e 12, operada pela CPTM. Essa linha pode ser absorvida e integrada ao funcionamento dos TICs, ligando a Estação do Brás à Estação Engenheiro Manoel Feio, localizada em Itaquaquecetuba. Essa escolha considera a necessidade de sair da densidade urbana da Grande São Paulo, visando minimizar impactos negativos, como poluição sonora e necessidade de desapropriações. Portanto, o ponto de partida virtual no eixo SP seria a Estação em Itaquaquecetuba.

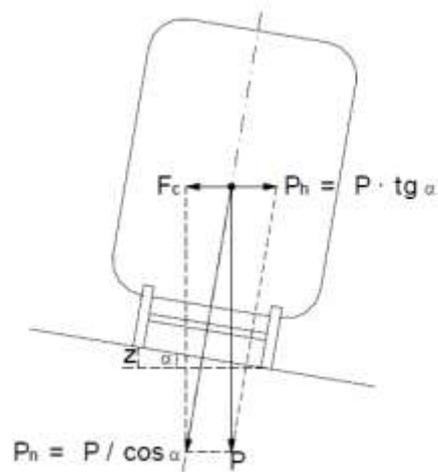
Quanto a São José dos Campos, a escolha intuitiva para o ponto de partida é a própria Estação Ferroviária da cidade. Essa estação está localizada próxima ao centro da cidade e à rodoviária atual, o que torna a conexão intermodal interessante. Além disso, existem áreas próximas com espaço adequado para uma possível implantação de uma Central Logística para Cargas, localizada após a Estação Ferroviária destinada aos passageiros.

Essa definição de pontos de início, chegada e passagem ao longo da rota é um primeiro passo para o estudo e planejamento do sistema de Trens Intermunicipais (TICs) entre São Paulo e São José dos Campos.

#### **4.3.3 Restrições de Raio Mínimo de Curvatura e Superelevação**

Um conceito muito importante para curvas em ferrovias é a necessidade de superelevação, que é projetada para ajudar a contrabalancear a força centrífuga, direcionando uma parte da força vertical para o lado interno da curva, mantendo assim a estabilidade dos trens. Quando um trem entra em uma curva, o veículo é empurrado para o lado de fora da curva devido à inércia. A superelevação permite que os trens permaneçam nivelados ou próximos do nível, reduzindo a inclinação percebida pelos passageiros e melhorando a estabilidade, conforme ilustrado na figura 21.

Figura 21. Forças atuantes no carro ferroviário



Fonte: STECH, Pedro Henrique. (2012)

Sabendo que a somatória das forças é nula, tem-se que:

$$\sum F_h = 0 \rightarrow F_c - P \times \operatorname{tg} \alpha = 0 \rightarrow \frac{P}{g} \times \frac{V^2}{R} = P \times \operatorname{tg} \alpha$$

Da figura 21., se deduz que a relação existente entre a superelevação “z” e a distância entre os eixos dos trilhos no plano horizontal “a”, é dada por:

$$\alpha \cong \operatorname{tg} \alpha \cong \operatorname{sen} \alpha = \frac{z}{a}$$

Portanto, a fórmula teórica que proporciona a superelevação pode ser representada pela equação a seguir (MANTARAS; RODRIGUES, 2003):

$$\frac{P}{g} \times \frac{V^2}{R} = P \times \frac{z}{a} \rightarrow z = \frac{a}{g} \times \frac{V^2}{R}$$

Onde “P” é o peso do veículo (kfg); “g” é a aceleração gravitacional (m/s<sup>2</sup>); “V” é a velocidade (m/s); “R” é o raio da curva circular (m); “z” é a superelevação (mm), “a” é a distância entre os eixos dos trilhos (mm).

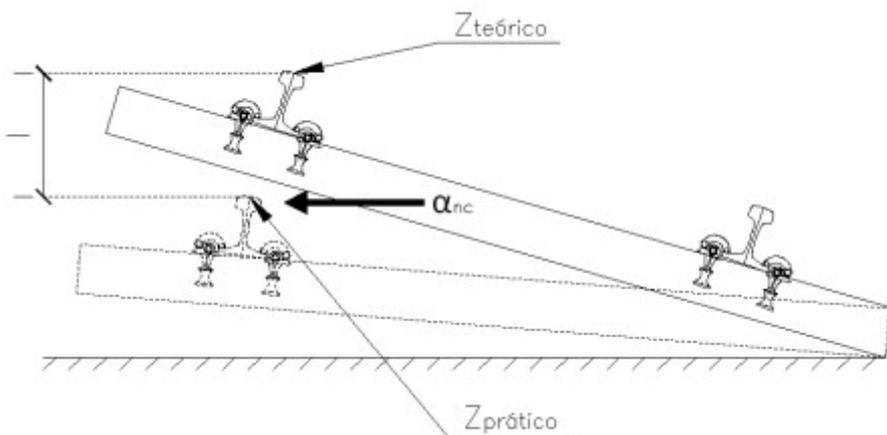
Nota-se que a superelevação é função da velocidade, nos trens de menor velocidade admite-se uma tolerância de superelevação maior que a teórica, enquanto que, para trens de maior velocidade, tolera-se uma superelevação menor que a teórica (STOPATO, 1987). Portanto em uma situação de tráfego heterogêneo, em que

circulam trens com velocidades diferentes, a superelevação estabelecida em uma curva não pode se ajustar ao valor teórico necessário para cada trem. Com isso, podem surgir casos de insuficiência ou excesso de superelevação, como será descrito seguir.

**Insuficiência de superelevação:** ocorre quando um trem circula em uma curva com velocidade maior que a de equilíbrio para uma superelevação “z”. Nesse caso a somatória de forças não é nula, aparecendo uma aceleração transversal não compensada ( $\alpha_{nc}$ ), dirigida ao exterior da curva.

Define-se insuficiência de superelevação como a diferença entre a superelevação teórica que deveria haver para que a aceleração não compensada fosse nula e a superelevação prática, conforme a figura 22:

Figura 22. Determinação de insuficiência de superelevação (I)

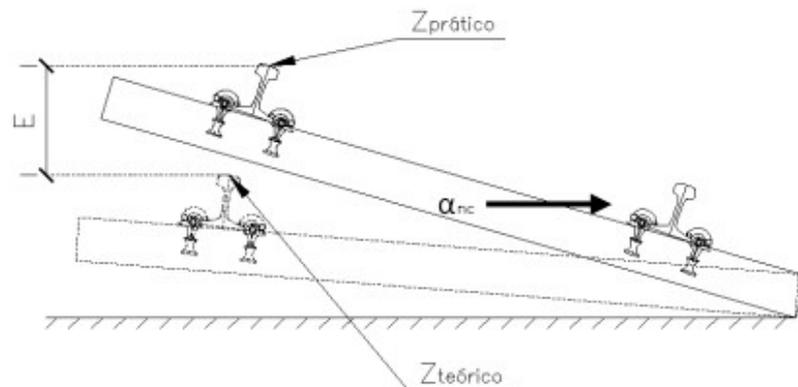


Fonte: STECH, Pedro Henrique. (2012)

**Excesso de superelevação:** ocorre quando um trem circula em uma curva com velocidade menor que a de equilíbrio para uma superelevação “z”. Nesse caso a somatória de forças não é nula, aparecendo uma aceleração transversal não compensada ( $\alpha_{nc}$ ), dirigida ao interior da curva.

Define-se excesso de superelevação como a diferença superelevação real e a superelevação teórica que deveria haver para que a aceleração não compensada fosse nula, conforme a figura 23:

Figura 23. Determinação de excesso de superelevação (E)

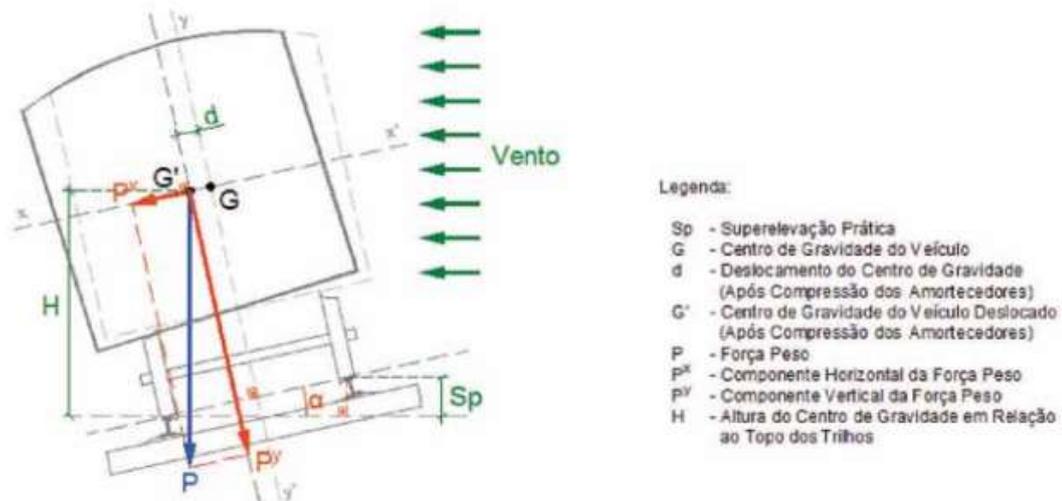


Fonte: STECH, Pedro Henrique. (2012)

Os valores de superelevação, assim como a insuficiência ou excesso associados quando há heterogeneidade de velocidade de trens que circulam numa mesma via são limitados de acordo com normativas, que variam de acordo com a velocidade e localidade. A seguir estão algumas dessas normativas que serão consideradas para o estudo:

As normas técnicas da extinta Rede Ferroviária Federal S.A. RFFSA (1984), discorrem que o cálculo da superelevação máxima considera a hipótese de um veículo ferroviário parar em uma curva dotada de superelevação. Como o mesmo não está em movimento, não há compensação entre força centrífuga e força peso, ficando o sistema sob a influência exclusiva da força peso, cujo efeito se traduz na origem de uma componente paralela ao plano dos trilhos, que força os frisos das rodas do veículo de encontro ao trilho interno da curva, conforme a figura 24:

Figura 24. Forças atuantes sobre veículo parado na curva



Fonte: - Forças atuantes no vagão e variáveis de cálculo relevantes (Adaptado de BRINA, 1983)

Mundrey (2000) acrescenta que o excesso de superelevação contribui para o tombamento de trens de carga vazios quando expostos a ventos com alta velocidade, conforme a Figura 24. As recomendações da VALEC (2011) definem o valor máximo da superelevação como um décimo do valor da bitola em milímetros, resultando em valores de 100 milímetros para bitola métrica e 160 milímetros para bitola larga, por exemplo.

A seguir algumas tabelas com normas que definem limites de excesso e insuficiência de superelevação:

Tabela 6 – Máximo de excesso de superelevação (E) – UIC-703R

Máximo excesso de superelevação (E) – UIC-703R												
Categoria	I			II			III		IV			
Velocidade Máxima (km/h)	80 - 120			120 - 200			≤ 250		250 - 300			
							(FS)	(DB)	(SNCF)			
Valores	Normal	Máx.	Excep.	Normal	Máx.	Excep.	Normal	Máx.	Normal	Máx.		
Excesso de superelevação (mm)	50	70	90	70	90	110	100	-	50	70	-	110

FS = Ferrovie Dello Stato Italiane; DB = Deutsch Bahn; SNCF = Société Nationale des Chemins de fer Français;

Fonte: UIC-703R (1989)

Tabela 7 – Insuficiência de superelevação (I) – UIC-703R

Insuficiência de superelevação (I) – UIC-703R												
Categoria	I			II			III			IV		
Velocidade Máxima (km/h)	80 - 120			120 - 200			≤ 250			250 - 300		
Valores	Normal	Máx.	Excep.	Normal	Máx.	Excep.	Normal	Máx.	Normal	Máx.	Normal	Máx.
							(FS)	(DB)	(SNCF)			
Insuficiência de superelevação (mm) *	80	100	130	100	120	150	121	-	40	60	50	100
Insuficiência de superelevação (mm) **	60	80	120	60	80	100	-	-	-	-	50	100

FS = Ferrovie Dello Stato Italiane; DB = Deutsch Bahn; SNCF = Société Nationale des Chemins de fer Français;  
 \* Via sem características especiais;  
 \*\* Via na região de aparelhos de mudança de via (AMV's);

Fonte: UIC-703R (1989)

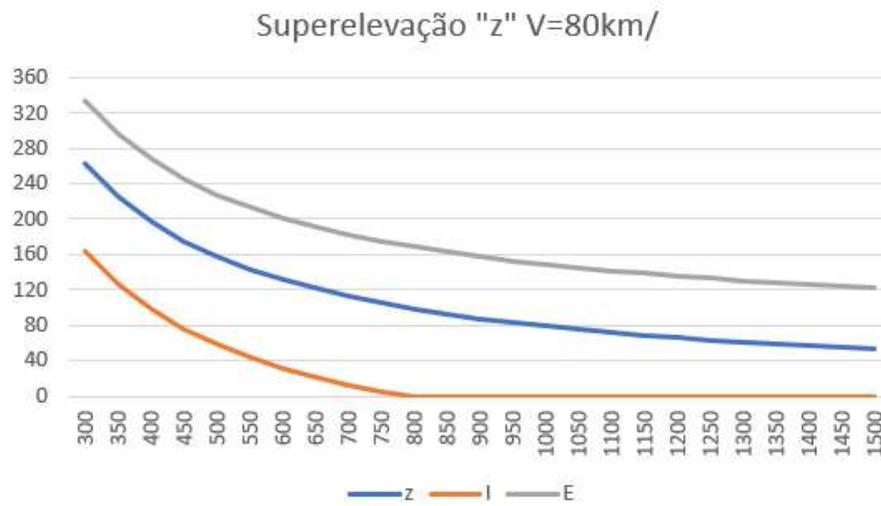
Tabela 8 - Resumo das limitações de superelevação

Superelevação teórica (z)	160
Excesso limite (E)	70
Insuficiência limite (I)	100

Fonte: elaborado pelo autor deste trabalho

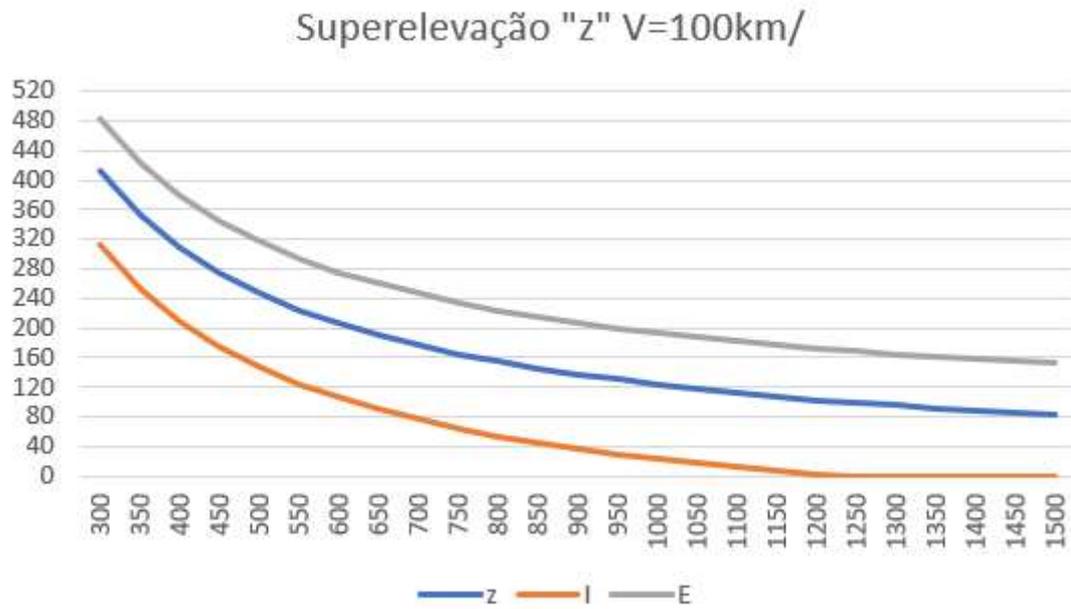
Aplicando os valores de operação na fórmula de superelevação deduzida anteriormente, com  $g=10\text{m/s}^2$ ; variando a velocidade entre 80km a 120km/h; bitola de 1600mm (bitola larga), temos as seguintes faixas de superelevação permitidas por norma:

Figura 25. Faixa de superelevação permitida – 80km/h



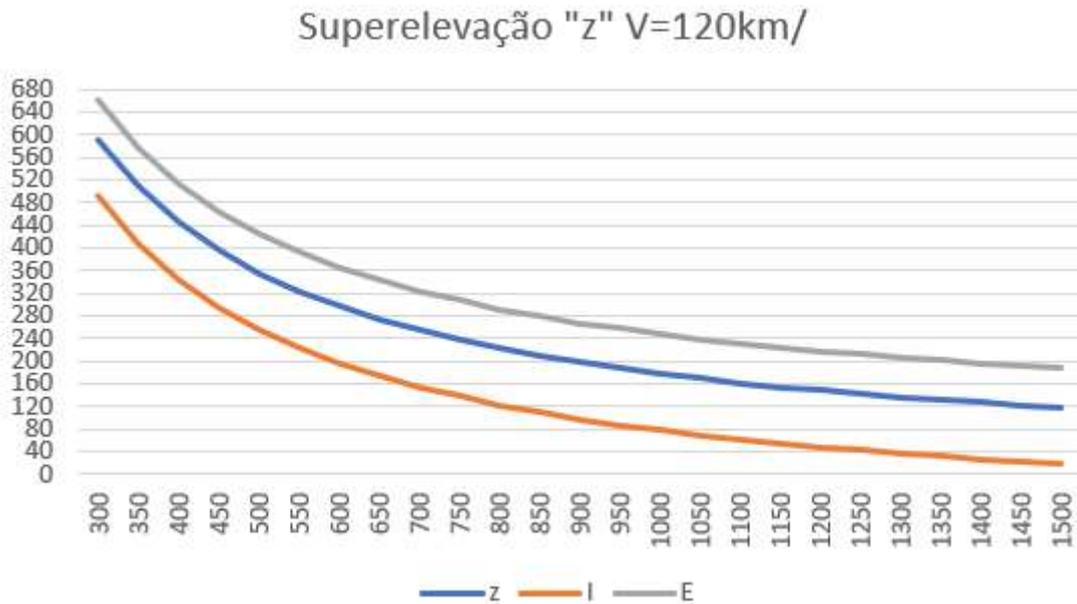
Fonte: elaborado pelo autor deste trabalho

Figura 26. Faixa de superelevação permitida – 100km/h



Fonte: elaborado pelo autor deste trabalho

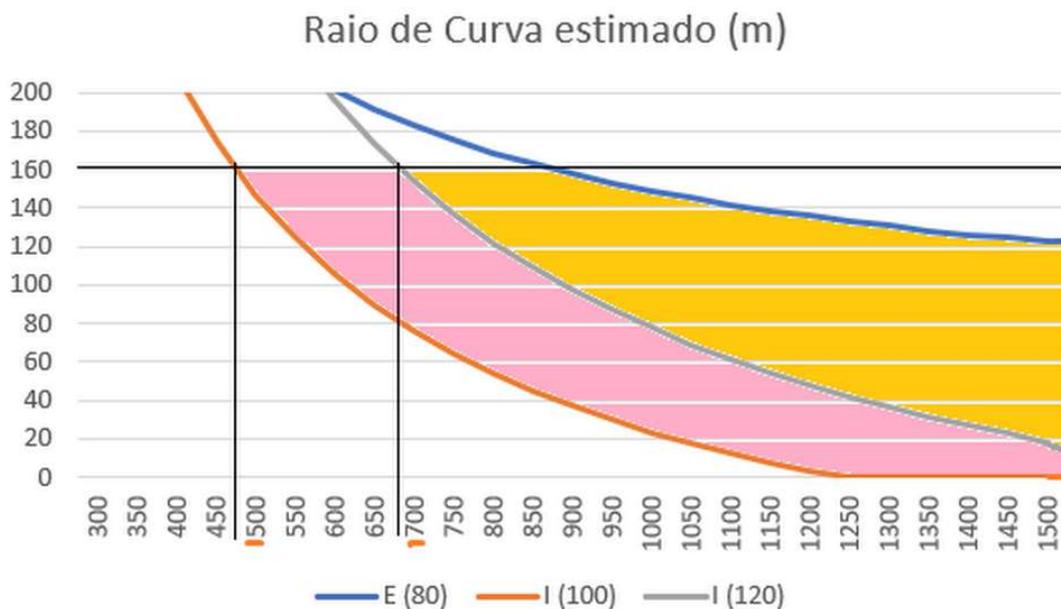
Figura 27. Faixa de superelevação permitida – 120km/h



Fonte: elaborado pelo autor deste trabalho

Considerando apenas a área abaixo de 160mm, estabelecido por norma, com o maior excesso da menor velocidade e insuficiência da maior velocidade é possível estimar o raio de curva e superelevação que podem coexistir com uma diferença de velocidade operacional:

Figura 28. Raio de Curva mínimo com superelevação permitida



Fonte: elaborado pelo autor deste trabalho

Legenda de hachuras:

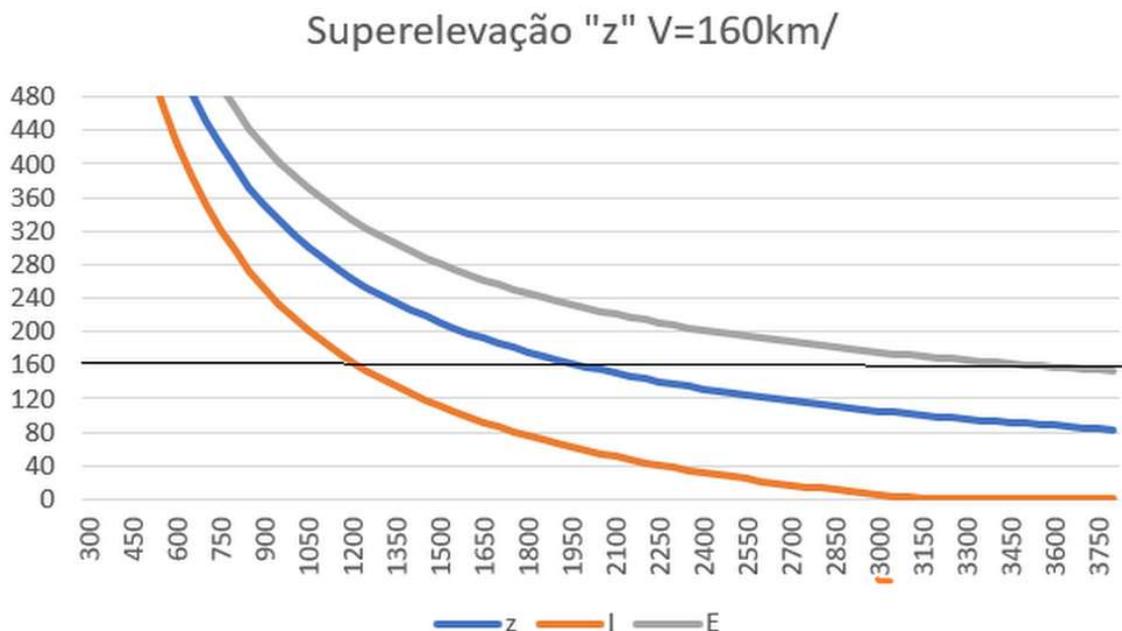
A área em amarelo demarca a faixa de superelevação permitida para tráfego de 100km/h e 120km/h, simultaneamente;

A área em rosa, somada a faixa amarela anterior, demarca a faixa de superelevação permitida para tráfego de 80km/h e 120km/h, simultaneamente.

Conforme análise da imagem 28, o raio de curva mínimo necessário para a via, na qual possibilita superelevação conforme a norma é por volta de 500m para tráfego de 100km/h e 700m para tráfego de 120km/h. A imagem também confirma que não haverá problema de superelevação em excesso para os trens mais lentos que percorrerão a via, contanto que se respeita a faixa indicada.

Por fim, para curvas com raios circulares elevados, para um tráfego de 160km/h que é a velocidade operacional máxima prevista para o TIC, o raio mínimo de curvatura é na faixa de 2000m, podendo considerar até mesmo a partir de 1200m considerando a insuficiência de superelevação permitida, como visto na figura 29 a seguir. Contudo, vale ressaltar que a favor da segurança, é importante considerar a superelevação, pois esta tem função primordial para evitar descarrilamentos.

Figura 29. Faixa de superelevação permitida – 160km/h



Fonte: elaborado pelo autor deste trabalho

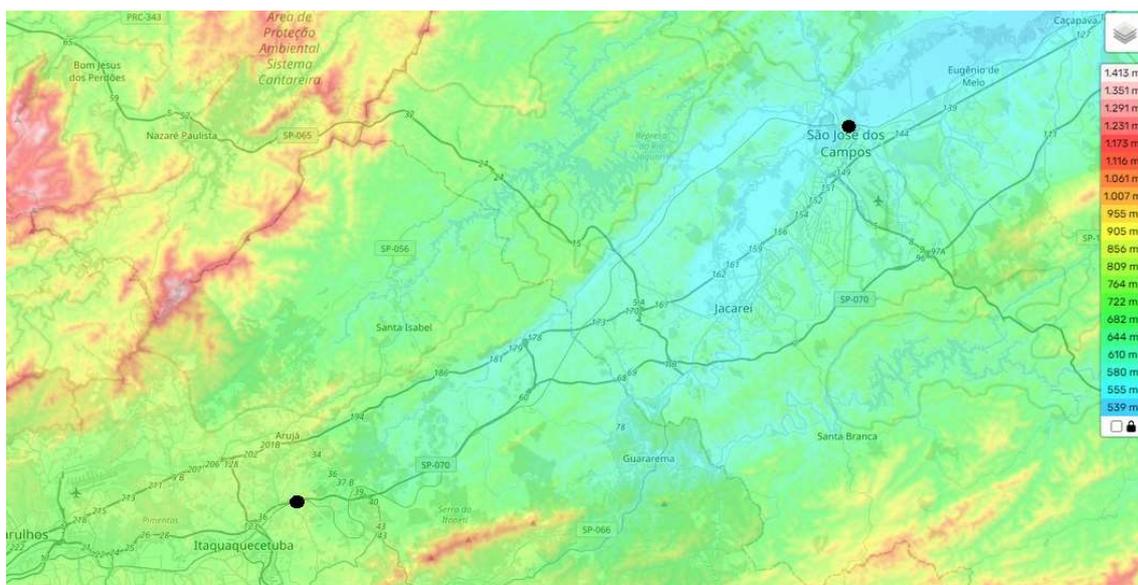
Essa análise e definição foram realizadas para conferir a compatibilização do traçado existente para um aumento de velocidade operacional, definidos inicialmente, desse modo, mesmo com poucas curvas é necessário conferir se os raios mínimos se encaixam dentro do raio mínimo encontrado, entre 500 e 700m, e ainda definir a operação para as curvas, limitando a velocidade do TIC para o valor necessário. Por exemplo, se no traçado existente for identificado uma curva de 550m de raio circular, a velocidade máxima que o TIC pode passar pela curva será de 100km/h, de modo a não alterar o traçado, que é o objetivo inicial, se possível.

Fazendo uma análise superficial, nota-se que as curvas do traçado existente se encaixam dentro dos valores esperados, com curvas pontuais com raios entre 500 a 700m que requerem atenção especial na limitação de velocidade de operação e trechos com curvas com raios grandes o suficientes de modo a permitir a velocidade operacional máxima sem limitações, além dos grandes trechos de retas.

#### 4.3.4 Limitação de Rampa máxima

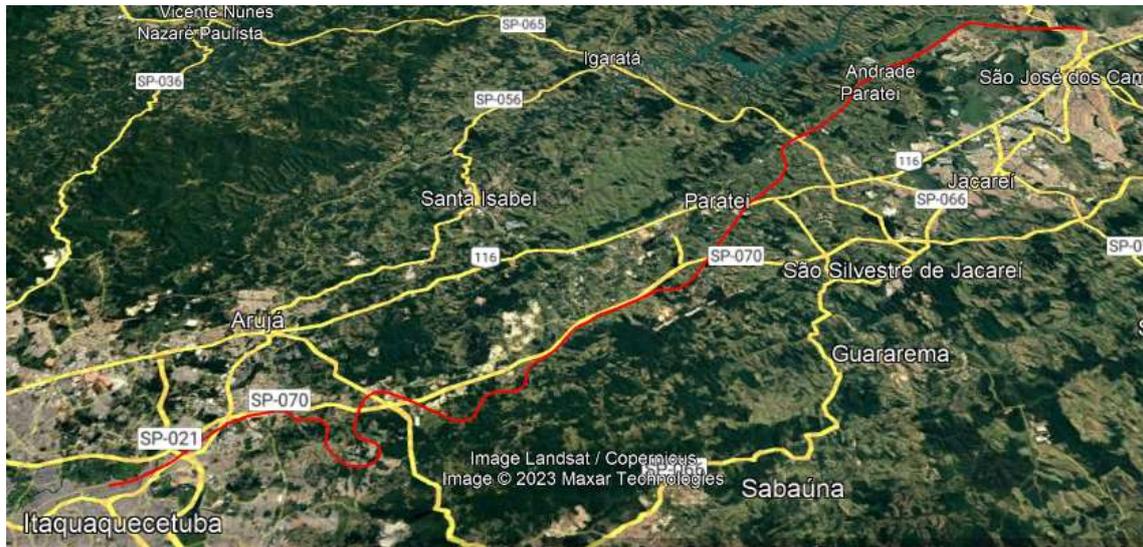
Uma vez definidas os pontos de início e fim, é possível iniciar o estudo de traçado, com auxílio de Dados topográficos, ambientais e hidrografia existentes, conforme ilustrados nas figuras 30 e 31 a seguir:

Figura 30. Topografia da região, com filtros de altitude



Fonte: elaborado pelo autor, utilizando a ferramenta disponível em: <https://pt-br.topographic-map.com/>

Figura 31. Traçado da Ferrovia existente



Fonte: Elaborado pelo Autor com uso do Google Earth

Dada a topografia entre os dois pontos marcados, é possível notar que se trata de um planalto, sem cadeias de montanhas ou vales expressivos a serem vencidos, de forma que o traçado tende a ter muitas retas, conforme é possível observar na Ferrovia existente, com cerca de 75km de extensão, destacada na figura 31, sendo as curvas necessárias pontualmente para desvio de Área de Preservação, centros populacionais densos, áreas de grandes estruturas, etc. Um ponto que chama atenção é uma curva em “S”, destacada em azul na figura 32, logo após a saída de Itaquaquecetuba, mas esta é justificada por conta de uma adequação da rampa máxima, conforme análise do perfil de elevação de uma alternativa mais retilínea, destacada em amarelo:

Figura 32. Destaque da Curva em “S” e Alternativa considerada



Fonte: Elaborado pelo Autor com uso do Google Earth

Figura 33. Perfil de Elevação da Alternativa considerada



Fonte: Elaborado pelo Autor com uso do Google Earth

Comparando com o trecho em “S” da curva em si, temos o seguinte perfil de elevação, bem mais uniforme:

Figura 34. Perfil de Elevação Curva em análise



Fonte: Elaborado pelo Autor com uso do Google Earth

Vale ressaltar que ainda há a necessidade de conferir o raio de curva desse trecho, conforme a limitação de superelevação, e também que o perfil de elevação, gerado no software Google Earth, possui erros pontuais que podem ser desconsiderados, partindo do princípio que a ferrovia de cargas em funcionamento atual já segue parâmetros mínimos de rampa máxima, dispostos a seguir:

Tabela 9 - Rampa máxima conforme relevo

Tipo de Região	Faixa de Rampa (%)
Região plana	0 - 0,7
Região acidentada, colinosa	0,7 - 1,5
Região montanhosa	1,5 - 2,7 (*)

(\*) máximo aceitável = 2%

Tabela acima apresentada para “Projeto Geométrico do Traçado da Via Permanente – CPTM” .

Fonte: CPTM

A alternativa traçada, apesar de onerosa, sendo necessário um grande volume de corte e aterros, além de desapropriações e OAEs, do ponto de vista apenas de infraestrutura é possível, levando em conta o desnível de aproximadamente 50m a ser vencido em uma extensão de 8km, podendo chegar até a 0,625% de rampa, num auge/declive contínuo, que é dentro dos parâmetros aceitáveis para região plana. Desse modo, seria necessário comparar o investimento o desenvolvimento de traçado de uma alternativa ou a adequação de projeto geométrico considerando uma velocidade operacional elevada, além de aspectos de conforto necessários para transporte de passageiros estimando uma operação adaptada e suas consequências para o planejamento da via de suprir uma nova demanda.

De modo a manter um traçado próximo ao resultado final do esquema proposto pelo PAM-TL, disponível ao final deste capítulo, foi decidido por adaptar a operação nas curvas, limitando a velocidade máxima operacional em trechos de curvas a 100km/h, desse modo será possível utilizar a infraestrutura de traçado da via toda, com apenas algumas mudanças pontuais.

Repetindo este processo, para a via toda, é possível analisar o perfil de elevação aproximado do caminho existente, fazendo o caminho de dos pontos de início e chegada definidos anteriormente, partindo da Estação de São José do Campos:

Figura 35. Perfil de Elevação da via existente SJC-SP



Fonte: Elaborado pelo Autor com uso do Google Earth

Dada a altitude inicial na faixa de 750m e final na casa dos 550m, há 200m de desnível a ser vencido em 75km de extensão da via. Vale ressaltar novamente que a curva de perfil é aproximada e não condiz 100% com a realidade dos trilhos, visto que o software as vezes falha em diferenciar o nível dos trilhos com pontes e viadutos que passam por cima, além de não identificar trechos de túneis, o qual o traçado é possível identificar dois trechos na via com o auxílio de imagens de satélites. Apesar dessa dificuldade, considerando uma inclinação média total contínua é possível chegar em até 0,267% de rampa, considerando o perfil de elevação com declividade relativamente uniforme.

Observa-se que com o uso adequado dos pontos facilitadores de relevo, não há necessidade de muitas Obras de Artes Especiais no decorrer do traçado, contando com 2 trechos de túneis, com aproximadamente 200 e 150 metros, e 2 pontes para atravessar o Rio Tietê, em Itaquaquecetuba e o Rio Paraíba do Sul, em São José dos Campos. Isso é relevante pois OAEs têm um custo mais oneroso para adequação ou adaptação para um novo projeto, por conta de suas peculiaridades, portanto o fato de haver a presença de poucas é vantajoso para o aproveitamento de traçado.

#### 4.3.5. Adequação para nova Demanda – Invasão de Faixa de Domínio e altura de pontes e viadutos

Dada a possibilidade de uso do traçado existente, fazendo a análise de rampa máxima e raio de curva horizontal. Ainda é necessário a adequação para a nova demanda de Projeto considerando o seu uso para viagens expressas, que devem funcionar como *shuttles*, que é um conceito que se refere a um tipo de serviço ou operação em que trens operam em um padrão de vai e vem entre dois pontos específicos, comumente utilizado em sistemas de transporte de passageiros, como trens urbanos e suburbanos, bem como em alguns sistemas de transporte de carga.

Com essa necessidade, é interessante não haver passagens em nível durante a linha da ferrovia, visto que essas podem representar um risco considerando o aumento do fluxo de trens, já que existe o potencial de colisões entre trens e veículos ou pedestres se não forem devidamente respeitadas e utilizadas corretamente, além de diminuir a velocidade operacional nas áreas de parada. Por esse motivo, a sinalização e a segurança adequada são fundamentais para minimizar os perigos associados a esses cruzamentos. Recomenda-se um estudo para fechar todas essas ocorrências, priorizando alternativas como viadutos, pontes ou passarelas, principalmente nos casos em que ocorrem o cruzamento com estradas municipais, pois estas têm maior tráfego. Para as estradas residenciais não classificadas, muitas são caracterizadas como invasão de faixa de domínio, devendo estas ser removidas, sendo necessário a manutenção e fiscalização contínua para evitar a ocorrências destas. Uma solução é adotar o fechamento de proteção da faixa de domínio, com muro ou gradis.

Pontes e Viadutos também deve ser objeto de estudo específico, levando em consideração a eletrificação da via e mudança de trem tipo usual, por exemplo para trens de passageiros o PAM-TL recomenda o uso de trens de 2 andares, que têm uma altura maior do que os trens de carga que atualmente correm sobre a via. Deve haver a conferência da compatibilidade de altura considerando o sistema se há ou não altura útil disponível pra continuar passando sob as pontes durante o percurso e fazer estudo para solucionar casos onde a altura será insuficiente. Vale ressaltar que o mesmo vale para os trechos de túneis da via.

Os pontos de interesse para essa compatibilização foram identificados com o uso de dados Cartográficos e imagens de satélites e estão listados a seguir:

- Pelo menos 15 Passagens em nível com Vias de Rodovia Não Classificadas, normalmente Vias Residenciais;
- 8 Passagens em Nível com Estradas, em sua maioria estradas municipais;
- 34 Pontes ou Viadutos passando por cima da Ferrovia, em sua maioria Rodovias;
- 2 túneis, com cerca de 200m e 150m de comprimento cada.

#### **4.3.6. Capacidade da Via e Operação por Blocos**

Muitas ferrovias são construídas como linhas de via única, o que é o caso da linha existente. Os trens saem de uma estação ou pátio com várias vias e seguem

para a próxima estação ou pátio por uma única via. Apenas um trem pode operar em uma linha de via única ao mesmo tempo. Linhas de via única frequentemente possuem desvios em vários pontos onde trens se movendo em direções opostas podem se encontrar e se ultrapassar (desvios de ultrapassagem). A capacidade de uma linha ferroviária é determinada pelo tempo mais longo para os trens se moverem entre os desvios de ultrapassagem. Como uma regra geral, é possível estimar a capacidade em trens por dia usando diversos métodos, sendo um deles usando a "Fórmula de Scott" (Figura 36), que diz:

Figura 36. Fórmula de Scott e gráfico T x N

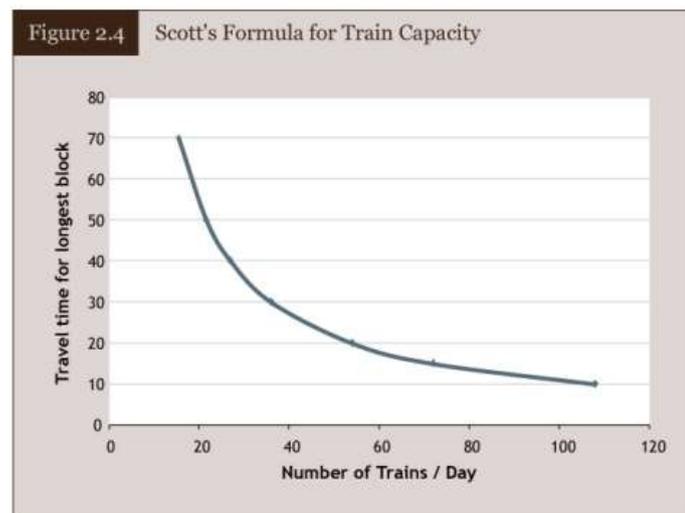
$$N = (E \times 24 \times 60) / T$$

where

**N** = Number of trains/day

**E** = Efficiency of signaling system (usually between 0.7 and 0.9)

**T** = longest Travel and stopping time in minutes between passing sidings on a given line



Fonte: R.R.Toolkit for Improving Rail Sector Performance

Com o auxílio de imagens de satélite, foi possível identificar 5 desvios de ultrapassagem no traçado atual. Os trechos de via singela, indo em direção a capital estão representados enumerados em azul e os pátios de ultrapassagem em laranja, na figura 37, possuindo as seguintes dimensões:

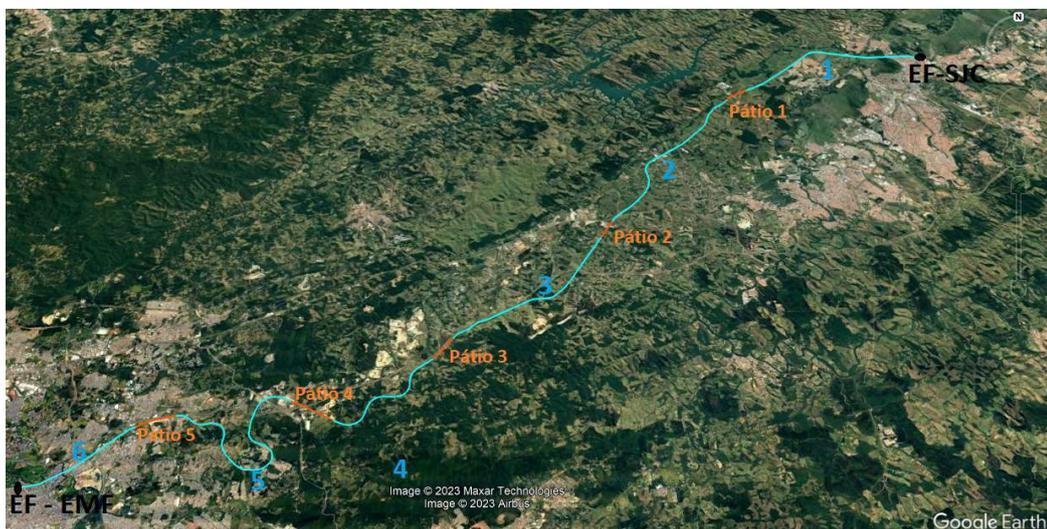
-Trecho 1: 12,1km

-Pátio de Ultrapassagem 1: 1,75km

-Trecho 2: 14,8km

- Pátio de Ultrapassagem 2: 1,50km
- Trecho 3: 11,5km
- Pátio de Ultrapassagem 3: 1,65km
- Trecho 4: 7,0km
- Pátio de Ultrapassagem 4: 2,40km
- Trecho 5: 12,4km
- Pátio de Ultrapassagem 5: 1,86km
- Trecho 6: 5,86km

Figura 37. Traçado da via com Pátios de Ultrapassagem destacados



Fonte: Elaborado pelo Autor com uso do Google Earth

Os trens geralmente são pesados e a mesma característica que os torna eficientes em termos de energia - baixas perdas por atrito - torna difícil pará-los. Cada vagão de carga e carro de passageiros possui freios a ar em cada roda para desacelerar e parar os trens, mas ainda assim é preciso percorrer uma grande distância para parar um trem, muitas vezes um quilômetro ou mais. Quanto maior a velocidade do trem e mais pesado ele for, mais tempo leva para pará-lo. Da mesma forma, leva muito tempo e distância para retirar um trem pesado de um desvio de ultrapassagem e levá-lo à velocidade da via principal. Esses fatores são levados em consideração ao determinar o valor de "T" na equação Scott.

De acordo com os dados, utilizando o maior trecho entre pátios de ultrapassagem, de 14,8km e velocidade média operacional atual dos trens da RMS, de 50km/h com a infraestrutura atual, sendo este o maior tempo de viagem:

$$14,8\text{km} / 50\text{km/h} = 0,296\text{h} = 17,76\text{min}$$

Considerando ainda que enquanto um trem passa por um trecho, outro na direção oposta deve aguardar no pátio de ultrapassagem, o tempo de espera deve ser maior que o tempo médio de vigem, adicionando ainda um tempo de folga:

$$17,76\text{min} + 17,76\text{min} = 35\text{min} \rightarrow T = 40\text{min}$$

Portanto, com  $E=0.8$

$$0,8 \cdot 24 \cdot 60 / 40 = 28,8 \text{ trens/dia, assumindo metade em cada direção.}$$

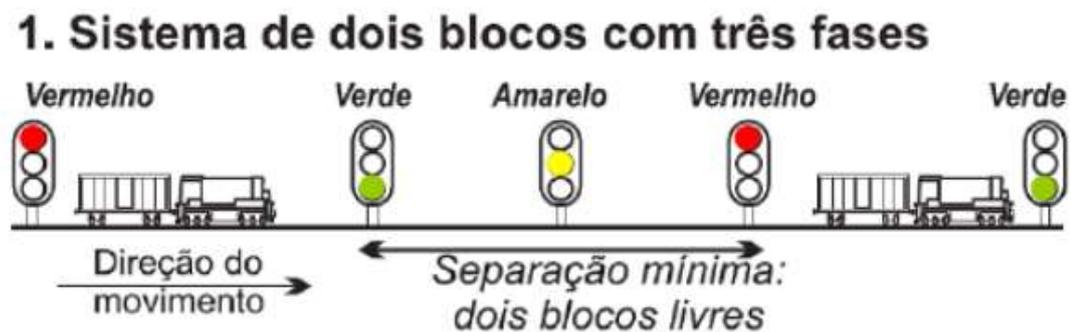
Considerando apenas a demanda dos serviços de TIC e EC, este valor poderia ser considerado viável, porém assumindo uma operação com Modelo Misto, com a RMS Logística, detentora atual de concessão da via, mantendo seus serviços de frete com rotas para RJ, MG e etc. Com todas essas rotas compartilhando o trecho de São Paulo até São José dos Campos, a capacidade da via deve ser bem maior para manter um fluxo adequado.

De acordo com o R.R. Toolkit, à medida que o número de trens aumenta, a interferência entre os trens aumenta e os atrasos em todos os trens da linha também tendem a aumentar. Há um gama de estratégias a utilizar para aumentar a capacidade, como aumentar a velocidade dos trens (isso reduz T na equação), construir mais desvios de ultrapassagem (o que também tende a reduzir T) e modernizar os sistemas de sinalização (aumentando E). À medida que o número de trens aumenta ainda mais, as ferrovias irão conectar os desvios de ultrapassagem para criar trechos de via dupla, permitindo que os trens se cruzem enquanto ainda estão em movimento e economizando tempo de parada e partida. Eventualmente, para criar mais capacidade, toda a linha será duplicada. A capacidade também pode ser um problema em linhas de via dupla. Os trens podem seguir uns aos outros com uma distância mínima igual à distância de parada do trem mais lento. Em comboios de carga mistos, alguns trens podem ser lentos - parando em muitas pequenas estações ou sendo muito pesados - enquanto outros podem ser rápidos. Grandes diferenças de velocidade entre trens tendem a limitar a capacidade da linha, mesmo

em via dupla, uma vez que os trens têm que mudar de faixa para se afastar uns dos outros. Alguns sistemas ferroviários urbanos precisam de até seis vias para permitir as frequências de trens necessárias em áreas urbanas densas.

Considerando uma duplicação total da via, com cada via funcionando em apenas um sentido, a necessidade de ultrapassagem entre trens vindo de direção oposta não ocorre, porém há ainda a se considerar pátios para ultrapassagem por conta da grande diferença de velocidade operacional entre trens para passageiros e trens de carga da RMS. Realizando um novo cálculo de capacidade, com as premissas do PAM-TL e resultados das simulações para definir tempo de viagem, ambos ilustrados nas tabelas 8 e 9, e assumindo um sistema de operação em blocos, representada a seguir:

Figura 38. Sistema de blocos exemplificado



Fonte: Unesp – Aula Capacidade

Tabela 10 – Premissas Operacionais Resumidas para Elaboração de Grade Horária

CRITÉRIOS	VALOR	OBSERVAÇÕES
<b>VELOCIDADE OPERACIONAL MÁXIMA</b>		
- TIC	160 km/h	
- CPTM	90 km/h	
- Expresso Carga - EC	120 km/h	
- Trem de carga MRS	80 km/h	
- Plataformas logísticas	25 km/h	
<b>TEMPO DE ESPERA</b>		
- Tempo de permanência da CPTM estações intermediárias	30 s	Tempo desembarque e embarque de passageiros, procedimento técnico das portas e expedição do trem. Varia conforme a demanda da estação.
estação terminal	60 s	
- Tempo de permanência TIC	60 ou 120 s	
<b>ACRÉSCIMO DE TEMPO DE VIAGEM</b>		
- Trens de passageiros - TIC	5%	A folga de tempo de viagem é incluída no tempo de viagem para o caso de atraso no processo.
- Trens de passageiros - CPTM	3%	
- Expresso Carga - EC	5%	
<b>TEMPO DE SEGURANÇA ENTRE TRENS</b>	60 s	
<b>HORÁRIO DE FUNCIONAMENTO DIÁRIO</b>		
- TIC	05:00 – 24:00 h	A partida do último trem deverá ser de modo que a viagem termine antes do início do período de manutenção. No caso de compartilhamento de via, o horário de funcionamento da MRS poderá ser alterado. Não funcionando durante o pico do TIC e CPTM.
- CPTM	04:00 – 24:00 h	
- Expresso Carga – EC	04:00 – 01:00 h	
- MRS	04:00 – 01:00 h	
<b>HORÁRIO DE PICO - TIC</b>		
- Pico da manhã	7:00 – 9:00 h	Período de maior demanda ao longo do dia.
- Pico da tarde	16:00 – 19:00 h	
<b>HORÁRIO DE PICO - CPTM</b>		
- Pico da manhã	5:00 – 9:00 h	Período de maior demanda ao longo do dia.
- Pico da tarde	17:00 – 20:00 h	
<b>HORÁRIO DE MANUTENÇÃO</b>		
	01:00 – 04:00 h	Todos os serviços.
<b>TEMPO MÍNIMO DE REVERSÃO</b>		
- TIC		Depende do vetor, será detalhado por estação.
Plataforma	7 min	
Via de reversão - sidings	10 min	
- CPTM		
Plataforma	3 min	
Via de reversão - sidings	5 min	
<b>TAXA DE OCUPAÇÃO TIC</b>	0%	A ocupação real poderá ser inferior ou superior, ou seja, é tolerado um número de passageiros em pé.

Fonte: Consórcio Pró-TL, 2019

Tabela 11 – Tempos de viagem por tipo de trem TIC e EC – Vetor 4

RESULTADO DO TEMPO DE VIAGEM	DISTÂNCIA	SENTIDO INTERIOR BRÁS - SJC	SENTIDO CAPITAL SJC - BRÁS
SERVIÇO	KM	HH:MM	HH:MM
TIC BRÁS - SÃO JOSÉ DOS CAMPOS	104,3	0:53	0:53
CPTM LINHA 12 SAFIRA BRÁS - ENG. MANOEL FEIO	30,7	0:34	0:33
CPTM LINHA 13 JADE BRÁS - ENG. GOULART	13,7	0:11	0:11
EC PLU LESTE - PLR SÃO JOSÉ DOS CAMPOS	92,2	0:55	0:54

Fonte: Consórcio Pró-TL, 2019

Com esses dados, é possível considerar viagens a cada 1 hora, com 2 trens por hora nos horários de pico para passageiros, totalizando assim até 24 viagens e 20 viagens, para os serviços TIC e EC respectivamente, em cada sentido. Somando

ainda a frota da MRS, contabilizando com cerca de 20 trens nessa rota, seria necessária uma capacidade de pelo menos 65 trens/dia. De modo a não ter um nível de saturação da via elevado, quando a capacidade teórica é muito próxima ou igual a passagem de trens ao dia, foi decidido por uma capacidade de 80 trens/dia, com a possibilidade de expansões da demanda.

Fazendo o cálculo inverso, dada a capacidade é possível encontrar o bloco operacional, no qual só um trem por vez pode se encontrar no trajeto durante a viagem:

$$C=1440/(T+t)*E$$

Onde:

- *C: Capacidade da via, em trens/dia*
- *T: Tempo do trem mais lento para passar por cada seção, em min*
- *t: tempo de operação, estipulado em 5 min*
- *E: Eficiência do sistema de sinalização, estipulado em 0.9*

Portanto,

$$80 = 1440 / (T + 5)*0.9$$

$$T = 11,2\text{min}$$

Com o valor de T, é possível definir a distância do Bloco Operacional:

$$T = B / V$$

Onde:

- *T: Tempo do trem mais lento para passar por cada seção, em min*
- *B: Comprimento do bloco operacional, em km*
- *V: Velocidade operacional, em km/h*

$$11,2 / 60 = B / 80$$

$$B = 14,933 \text{ km} \rightarrow 15\text{km}$$



Vetor 4, em estudo, a via ainda assim têm capacidade para absorver essa demanda com a possibilidade de adotar blocos de operação menores.

#### **4.3.7. Captação de Passageiros e Intermodalidade**

Dado objetivo da opção ferroviária de transporte de passageiros, que é aliviar as rotas rodoviárias. É importante garantir a captação da demanda existente dentro da área de influência, que é estimada em 50% conforme citado anteriormente. Para isso, a intermodalidade deve-se ser observada também para o transporte de passageiros, devendo ser considerada a demanda dos usuários, visto que o transporte de passageiros deve ser porta a porta.

No eixo da capital, essa intermodalidade já é garantida considerando o ponto inicial na Estação do Brás, levando em conta a grande malha metroviária que cobre a cidade. Já no eixo do interior, em São José dos Campos, com a ausência do metrô, é interessante adotar medidas para facilitar a chegada na estação ferroviária partindo de diversos pontos da cidade.

Uma alternativa viável e economicamente interessante é o uso de Veículos Leves sobre Pneus, VLPs, que são ônibus elétricos articulados, com corredores exclusivos, garantindo assim a rapidez e dinamicidade para chegada e partida da estação, atraindo assim mais usuários. Essa solução foi considerada ao invés do clássico VLT, com trilhos, visto que a cidade já conta com um sistema de VLP em funcionamento, inaugurado recentemente, em 2021. Portanto a expansão desse serviço para ligar o terminal ferroviário com outros terminais da cidade seria interessante para integrar a cidade dentro de uma malha unificada.

#### **4.3.8. Locação do Centro de Logística (EC)**

É necessário um estudo complexo para definição das plataformas de logística necessárias para o Modelo Integrado proposto pelo PAM-TL, havendo necessidade de analisar processos eficientes e seguros e a uma alta taxa de utilização do espaço disponível. Para a identificação e seleção das áreas potenciais, foi avaliado o atendimento a uma série de critérios selecionados para garantir a eficácia e a eficiência esperadas, sendo esses critérios:

-Espaço disponível:

É evidente que a disponibilidade de terrenos viáveis, que atendam a todas as condições necessárias, em uma área densa como a MMP é baixa. Foram avaliados

vários terrenos possíveis para serem utilizados como locais para a implantação das plataformas propostas na rede concebida. A seleção das áreas incluiu sua viabilidade financeira, optando-se preferencialmente por áreas desocupadas ou ocupadas com edifícios de menor valor, como armazéns e casas antigas, em áreas legalmente liberadas para a renovação;

- Análise Sócio Ambiental:

No caso específico para São José dos Campos, alguns fatores identificados que contribuíram para a diminuição do uso de ferrovias, foram segurança e aspectos socioeconômicos, com mudança local do centro cidade associada a protestos. No aspecto socioeconômico, ressalta-se evolução do meio de transporte, muda a visão que o homem tem do mundo, distâncias que antes eram consideradas muito distante, hoje é possível de ser realizadas diariamente. E nesse sentido, analisando a evolução desse último século, o transporte evoluiu em muito, o automóvel se tornou comum e com isso, as distâncias foram se estreitando. Desse modo, com a retomada do polo ferroviário em SJC, numa região hoje não muito movimentada na cidade, gera um aquecimento de mais uma parte da cidade, de modo que não prejudica o centro atual, visto que com os automóveis e transporte público, a conexão se torna mais viável, de modo que não há mais o aspecto negativo tão considerável de “desaquecer” uma parte da cidade em detrimento de impulsionar outra, mitigando assim o impacto socioeconômico negativo com as conexões e potencializando a parte positiva.

No aspecto de segurança vale lembrar que na época, no início do século XX, as técnicas e normativas relacionadas a ferrovias ainda eram bem recentes. Hoje, com o avanço da tecnologia e implementações normativas, o aspecto de segurança aumentou muito, sendo o modal ferroviário sendo considerado o mais seguro, em comparação com rodovias;

- Análise dos acessos rodoviários às plataformas:

O principal objetivo das plataformas logísticas é atingir os benefícios da intermodalidade, com os VUCs realizando o trajeto de última milha, finalizando o transporte porta a porta num sistema aproveitando o melhor da ferrovia e rodovia. Para isso, é necessário garantir o acesso à essas plataformas pelas principais rodovias que os caminhões irão percorrer para pegar o menor caminho possível até chegar ao destino final.

No pólo de São Paulo, as principais rodovias a serem consideradas no trecho de interesse são:

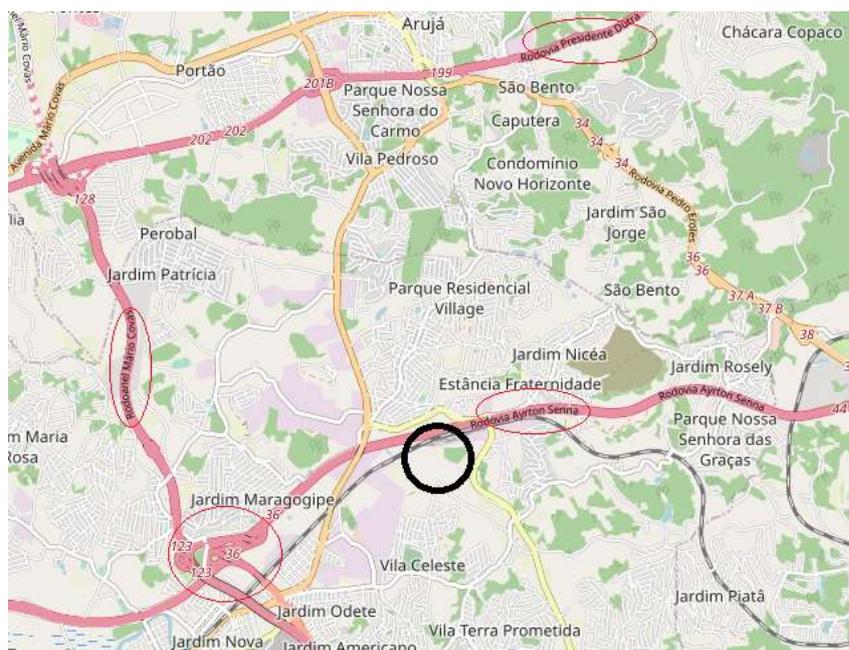
- Rodovia Ayrton Senna, SP-70;
- Rodoanel Mário Covas, SP-21;
- Rodovia Presidente Dutra, SP-60.

No pólo de São José dos Campos, as rodovias são:

- Rodovia Presidente Dutra, SP-60;
- Rodovia dos Tamoios, SP-099;
- Rodovia Carvalho Pinto (Ayrton Senna), SP-70.

Próximo a São Paulo, a análise foi simplificada, por conta da presença de Terminais Intermodais já existente na região, com uma infraestrutura pronta, cabendo claro, se adequar a nova demanda, com possíveis expansões e compatibilização de triagem e ao mecanismo de VUCBoxes que será implementado. A figura 40 representa a locação do terminal com as principais rodovias de interesse destacadas próximas, tendo seu acesso facilitado.

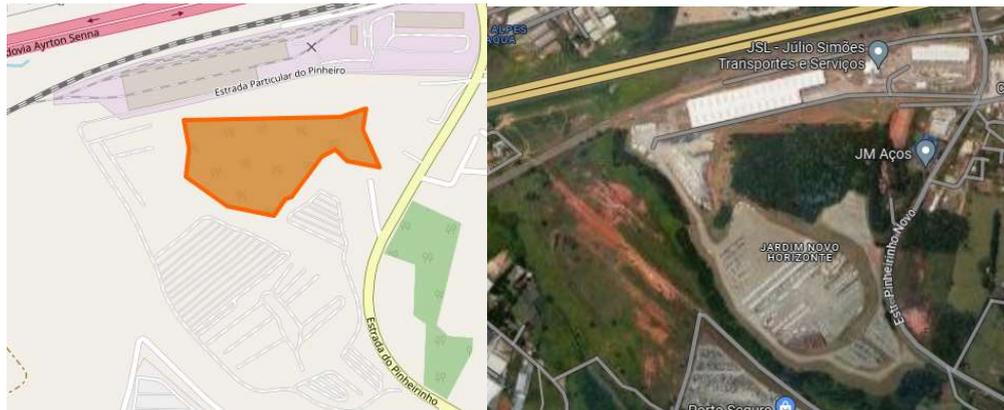
Figura 40. Locação do Terminal Logístico de Cargas e Rodovias de interesse próximas - SP



Fonte: Elaborado pelo Autor com uso do OpenStreetMap

Com a imagem do *Open Street Map* e consultando os elementos próximos, nota-se a presença de um bosque nativo próximo, destacado na figura 41, que com o layout atual, o terminal continua o contornando-o, conforme a imagem de satélite ao lado, contudo no caso da necessidade de expansão, é necessário avaliar o impacto ambiental causado e as medidas necessárias compensatórias.

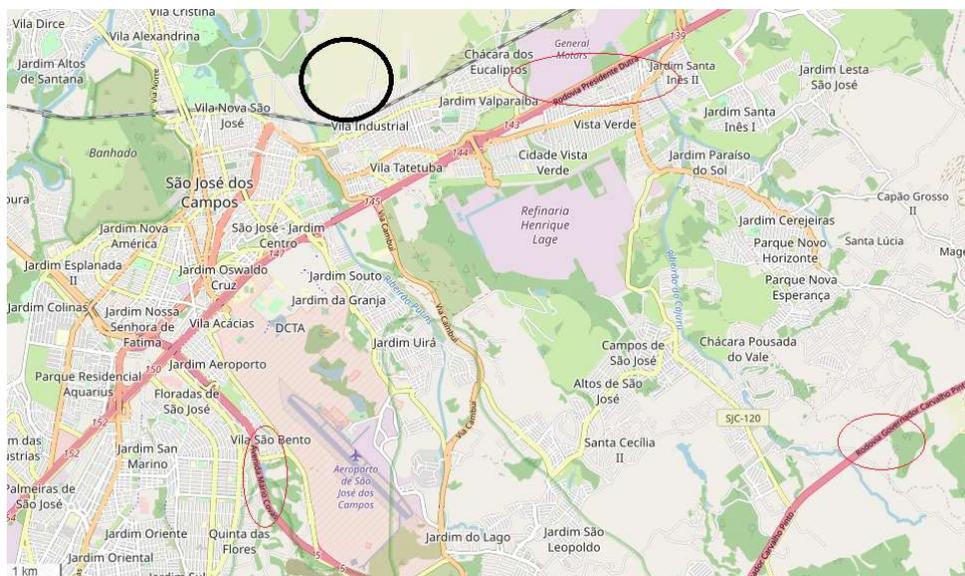
Figura 41. Terminal Logístico existente e imagem de satélite - SP



Fonte: Elaborado pelo Autor com uso do OpenStreetMap e *Google Maps*

Em São José dos Campos, não há a presença de um terminal intermodal já existente, desse modo a ordem de análise seguiu de forma a encontrar terrenos disponíveis e a análise posterior com os outros critérios citados. Sendo o local definido, ilustrado na figura 42 a seguir:

Figura 42. Localização do Terminal Logístico de Cargas e Rodovias de interesse próximas - SJC



Fonte: Elaborado pelo Autor com uso do OpenStreetMap

Ao norte da ferrovia que passa margeando a cidade, há uma grande área de lavoura, com parte estacada na figura 43:

Figura 43. Localização do Terminal Logístico e Imagem de satélite



Fonte: Elaborado pelo Autor com uso do OpenStreetMap e Google Maps

Por ser uma área vasta, há a possibilidade de implantação da Central Logística nesta parte, optando pelas áreas onde não passam Linhas de Transmissão, que ocorrem por perto, e onde ocorrerá menor impacto ambiental, considerando ainda as medidas compensatórias necessárias. Em relação aos acessos rodoviários, a locação fica à margem da rodovia Presidente Dutra, ao sul, com essa estando conectada em trechos próximos com as outras rodovias de interesse, cumprindo os critérios de interesse.

#### 4.3.9. Trecho Brás-Itaquaquecetuba

A seção entre a Estação do Brás e a Estação Eng. Manoel Feio requer atenção especial, pois além do serviço proposto de Trem-Intercidades, há também os trens da CPTM que atendem aos passageiros, incluindo pelo menos 9 estações intermediárias com pontos de parada. Inicialmente, considerou-se a possibilidade do serviço de TIC absorver essa demanda. No entanto, devido à incompatibilidade dos intervalos das linhas, com um intervalo proposto de 1 hora para o TIC e intervalos que variam de 5 a 10 minutos para a linha 12-Sáfira e 20 minutos para a linha 13-Jade, ambas da CPTM, essa ideia foi descartada.

Diante dessa situação, a solução ideal seria adotar um trilho exclusivo para o TIC nesse trecho, a fim de reduzir a complexidade das operações na via e manter a dinâmica da viagem entre São José dos Campos e São Paulo, atendendo assim às necessidades dos usuários que buscam uma viagem rápida.

#### 4.3.10. Resultados

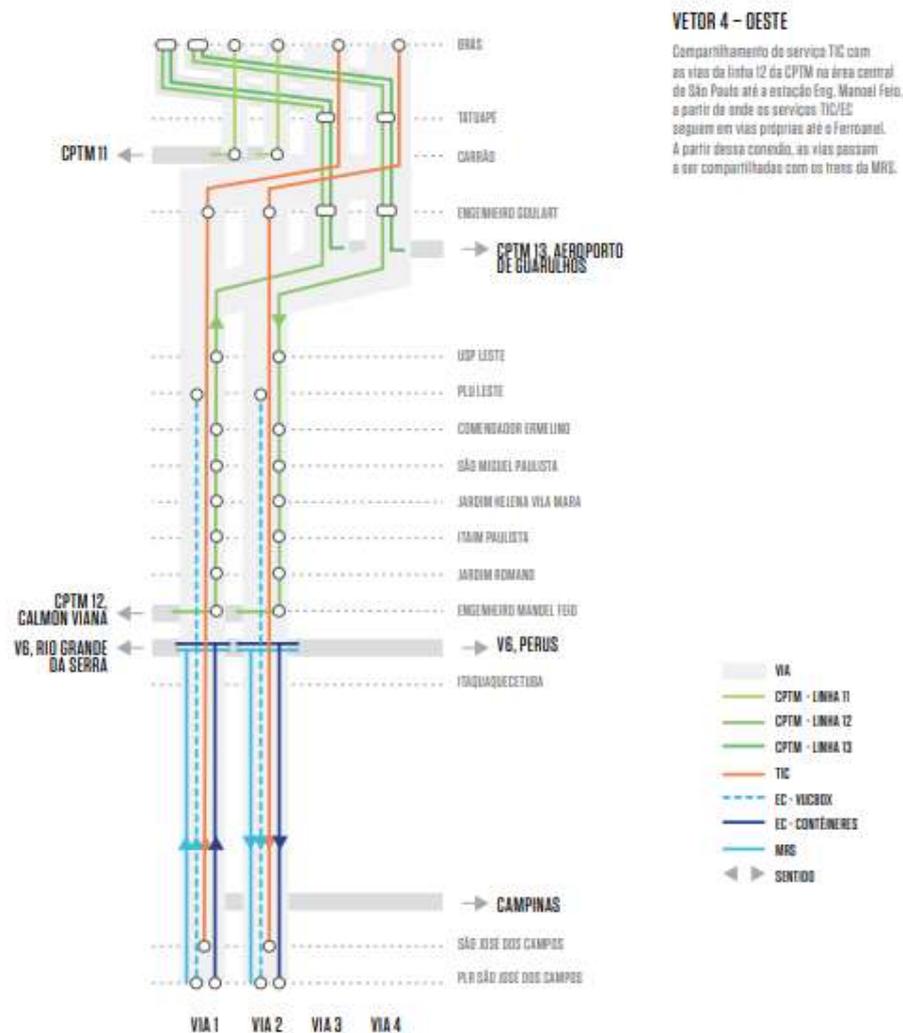
Seguindo o descrito no fluxograma, seguindo passo a passo em descrevendo sobre as limitações de extremidades do trecho, restrições de raio e rampa, travessia de rios e cidades, minimização de interferências, integrações, além de discutir sobre OAEs e aspectos necessários da operação, conforme descritas nos subcapítulos do estudo, foi possível chegar num esquema compatível com o Esquema de Ferrovia adotado após os estudos do PAM-TL, figura 44, com o esquema de vias disposto na figura 45.

Figura 44. Esquema de Manutenção para o cenário de vetores operando isoladamente



Fonte: Elaborado pelo autor, adaptado de Consórcio Pró-TL, 2020

Figura 45. Esquema de Vias PAM-TL



Fonte: Relatório Síntese PAM-TL, 2020

Nota-se que mesmo a necessidade de duplicação da via é conferida com base no resultado, com diferenças grande apenas na locação do centro de logística de cargas no eixo de SP e a falta de um trilho exclusivo entre as estações do Brás e Eng. Manoel Feio.

Em relação a locação do centro logístico, no eixo de SP houve uma dificuldade de encontrar um terreno específico mais próximo a capital, como no proposto pelo PAM-TL, por conta da grande densidade urbana e uma das premissas do presente estudo era a minimização de interferências, de forma até mesmo a simplificar a análise.

Com essas diferenças mínimas, considerou-se que o estudo feito foi adequado, de forma a concluir um dos principais objetivos deste trabalho, que era entender e exemplificar o estudo realizado de uma adaptação de ferrovia para uso combinado de transporte de cargas e passageiro.

## **5. Considerações finais e recomendações para trabalhos futuros**

O último capítulo do trabalho aborda as conclusões finais deste estudo após as análises do traçado e compatibilizações para nova demanda num contexto de projeto brownfield e comentando como a intermodalidade é primordial para o sucesso do transporte e logística bem planejados, aproveitando as vantagens de cada modal.

### **5.1 Considerações finais**

O trabalho contemplou todos os objetivos gerais e específicos mencionados no Capítulo 1 ao abordar o contexto geral da malha ferroviária brasileira, passando pela história das ferrovias no estado de São Paulo até o panorama atual, com enfoque na cidade de São José dos Campos, região do projeto em estudo e destacando a importância das ferrovias para o transporte de passageiros e de carga geral entre polos, realizado e descrevendo o estudo em seguida, no Capítulo 4.

Ressalta-se que o estudo se focou nas questões de compatibilidade de infraestrutura da via, com resultados práticos principalmente para a questão de transporte de cargas, não se dispondo de informações pertinentes ao estudo do tráfego de passageiros, que é mais complexo, com questões referentes a matriz de origem e destino, volume, etc. Desse modo, para um estudo futuro, recomenda-se a utilização de pesquisas-guias para definições de aspectos técnicos mais precisos em relação a demanda de transporte de passageiros. Outras recomendações de pesquisas estão descritas no subcapítulo final deste estudo.

Com os resultados da adaptação, nota-se que o uso da metodologia de projeto brownfield é eficaz na área de infraestrutura, sendo possível adequar a infraestrutura e operação, principalmente no escopo de ferrovias. Num contexto em que quase metade da malha ferroviária do Estado de SP está em desuso, a adoção dessa metodologia visa facilitar a exequibilidade de projetos propostos, sendo assim um fator importante para a retomada desse modal no Estado de São Paulo, sendo válida também em outros estados brasileiros com ferrovias subutilizadas.

Ao analisar o retrospecto histórico, fica evidente que, mesmo no passado, havia uma visão de complementaridade entre rodovias e ferrovias, buscando a intermodalidade. No entanto, ao longo do tempo, essa perspectiva de complementação foi substituída, principalmente devido à falta de manutenção adequada do modal ferroviário. Portanto, é importante ressaltar que, mesmo com a retomada das ferrovias em um futuro próximo, considerando que é o modal mais adequado para atender às demandas de um país com as dimensões do Brasil, é essencial manter um equilíbrio saudável entre os diferentes modais de transporte pois mesmo com uma infraestrutura de um modo geral satisfatória, como é o caso das rodovias brasileiras, é possível identificar diversos gargalos quando ocorre um uso excessivo de um único modal. Desse modo, projetos que abordam a intermodalidade da logística de transportes, como este, têm grande importância para levar o Brasil a um caminho de equilíbrio da matriz de transportes.

## **5.2 Recomendações de Trabalhos Futuros**

A seguir estão listadas algumas recomendações para trabalhos futuros, identificados pelo autor como pesquisas pertinentes, num mesmo contexto em que este trabalho foi realizado.

- Análise de outros vetores isolados do PAM-TL, documento muito rico em detalhes de um plano logístico ou da rede como um todo;
- Análise de Projetos Brownfield x Greenfield completa em um estudo de caso;
- Revisão Bibliográfica de Capítulos de Estudo de Caso do Railway Reform Toolkit, documento-guia internacional com grande relevância.

## 6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANTT – Agência Nacional de Transportes Terrestres. **Declaração de Rede 2015**, 2018. Disponível em: < <https://www.gov.br/antt/pt-br/assuntos/ferrovias/declaracao-de-rede/declaracao-de-rede-2018> > acesso em 14 de maio de 2023

ANTT – Agência Nacional de Transportes Terrestres. **Declaração de Rede EFPO 2018**, 2018. Disponível em: acesso em 14 de maio de 2023

ANTT – Agência Nacional de Transportes Terrestres. Superintendência de Infraestrutura e Serviços de Transporte Ferroviário de Cargas. **Evolução do Transporte Ferroviário de Cargas**, 2016, 16 p.

BRINA, Helvécio. Lapertosa. **Estradas de Ferro Volume 1: Via Permanente. 2ed.** Rio de Janeiro: Editora Livros Técnicos e Científicos S.A, 1983. 258p

CNT – Confederação Nacional do Transporte. **Transporte e Economia: O Sistema Ferroviário Brasileiro.** Estudo Técnico - Brasília, 2013, 58 p

DORNELES, Sutter Diogo. **Análise do Tempo de retorno de investimento na construção de pátios para aumento de capacidade na Ferrovia Tereza Cristina (FTC), 2017.** Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) – Departamento de Engenharia Civil, UFSC

DNIT – Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes. **Instrução de Serviço Ferroviário 205: Estudo de Traçado.** Nota Técnica, Brasília, 2015, 17 p. Disponível em: < <http://www.dnit.gov.br/ferrovias/instrucoes-e-procedimentos/instrucoes-de-servicosferroviarios> > acesso em 14 de abril de 2023.

DNIT – Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes. **Instrução de Serviço Ferroviário 209: Projeto Geométrico.** Nota Técnica, Brasília, 2015, 17 p. Disponível em: < <http://www.dnit.gov.br/ferrovias/instrucoes-e-procedimentos/instrucoes-de-servicosferroviarios> > acesso em 14 de abril de 2023.

FALCÃO, Viviane. **A Importância do Transporte Ferroviário de Carga para a Economia Brasileira e suas Reais Perspectivas de Crescimento.** Revista de Engenharia Civil. Ed. 45, 2013, 51-63 p

FERRARI, Onevair. **Greenfield, Brownfield ou Greyfield?** Disponível em: < <https://www.nexor.com.br/artigos/greenfield.html> > acesso em 14 de maio de 2023

GIESBRECHT, Ralph Mennucci. **Estações Ferroviárias do Brasil – São José dos Campos**, disponível em URL:

<<http://www.estacoesferroviarias.com.br/s/sjcampos.htm>> acesso em 20 de maio de 2023

NABAIS, José da Silva. **Manual básico de engenharia ferroviária**. São Paulo: Oficina de Textos, 2014.

PAZ, Izakiel; OLIVEIRA, Francisco. **Critérios de verificação de cálculo da superelevação ferroviária em transporte de cargas em vias lastreadas**. Disponível em:

<  
[https://www.researchgate.net/publication/298194350\\_CRITERIOS\\_DE\\_VERIFICACAO\\_DE\\_CALCULO\\_DA\\_SUPERELEVACAO\\_FERRÓVIARIA\\_EM\\_TRANSPORTE\\_DE\\_CARGAS\\_EM\\_VIAS\\_LASTREADAS](https://www.researchgate.net/publication/298194350_CRITERIOS_DE_VERIFICACAO_DE_CALCULO_DA_SUPERELEVACAO_FERRÓVIARIA_EM_TRANSPORTE_DE_CARGAS_EM_VIAS_LASTREADAS)> Acesso em 14 de junho de 2023.

REGO, Gabriel Fonseca Bordeaux. **Concepção e análise de novos traçados frente ao contexto atual da malha ferroviária brasileira: Estudo de caso da nova Ferroeste entre Curitiba (PR) e Paranaguá (PR), 2019**. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) – Departamento de Engenharia Civil, UFSC

ROSA, Beatriz. Site da Prefeitura de São José dos Campos. **Linha Verde amplia sua operação até a região central**. Notícia, 2022. Disponível em: <  
<https://www.sjc.sp.gov.br/noticias/2022/dezembro/02/linha-verde-amplia-sua-operacao-ate-a-regiao-central/#:~:text=O%20embarque%20na%20Linha%20Verde,opera%C3%A7%C3%A3o%20desde%2031%20de%20julho.&text=O%20novo%20sistema%20n%C3%A3o%20possui%20catracas%20ou%20cobradores.>> acesso em 30 de maio de 2023

ROSA, Rodrigo de Alvarenga. **Operação Ferroviária: Planejamento, Dimensionamento e Acompanhamento**. 180 p

SANGPHONG, Onanong; SIRIDHARA, Siradol; RATANAVAHARA, Vatanavongs. **Determining Critical Rail Line Blocks and Minimum Train Headways for Equal and Unequal Block Lengths and Various Train Speed Scenarios**. Disponível em:

<  
[https://www.researchgate.net/publication/318292669\\_Determining\\_Critical\\_Rail\\_Line\\_Blocks\\_and\\_Minimum\\_Train\\_Headways\\_for\\_Equal\\_and\\_Unequal\\_Block\\_Lengths\\_and\\_Various\\_Train\\_Speed\\_Scenarios](https://www.researchgate.net/publication/318292669_Determining_Critical_Rail_Line_Blocks_and_Minimum_Train_Headways_for_Equal_and_Unequal_Block_Lengths_and_Various_Train_Speed_Scenarios)> acesso em 14 de junho de 2023

STECH, Pedro Henrique. **Parâmetros do projeto geométrico para trens de passageiros de alta velocidade e longo percurso, 2012**. 103 p

SCHIAVON, Taís. **A conformação dos caminhos do Estado de São Paulo: breves correlações com seu desenvolvimento urbano e econômico**, disponível em: < <http://journals.openedition.org/confins/25959> > acesso em 19 junho 2023.

TAMAGUSKO, Tiago Barreto. **Custo Da Falta De Padronização Das Bitolas Ferroviárias No Brasil, 2013**, Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) – Departamento de Engenharia Civil, UFSC.

*Transport and ICT. 2017. **Railway Reform: A Toolkit for Improving Rail Sector Performance**. Washington, DC: World Bank, License: Creative Commons Attribution CC by 3.0.*

*Disclaimers:*

*Translations:*

*If you create a translation of this work, please add the following disclaimer along with the attribution: This translation was not created by the Transport and ICT unit or the World Bank and should not be considered an official World Bank translation. Transport and ICT and the World Bank shall not be liable for any content or error in this translation.*

*Adaptations:*

*If you create an adaptation of this work, please add the following disclaimer along with the attribution: This is an adaptation of an original work by The World Bank. Views and opinions expressed in the adaptation are the sole responsibility of the author or authors of the adaptation and are not endorsed by The World Bank.*

UNESP – Universidade Estadual Paulista. **Aula de Capacidade de Ferrovias**. Disponível em: < [https://pessoas.feb.unesp.br/barbara/files/2011/02/Aula\\_Capacidade2016.pdf](https://pessoas.feb.unesp.br/barbara/files/2011/02/Aula_Capacidade2016.pdf) > acesso em 12 de junho de 2023.

UNESP – Universidade Estadual Paulista. **Aula de Projeto Geométrico em Ferrovias**. Disponível em: < [https://pessoas.feb.unesp.br/barbara/files/2011/02/Aula\\_projeto-geo-ferrovia.pdf](https://pessoas.feb.unesp.br/barbara/files/2011/02/Aula_projeto-geo-ferrovia.pdf) > acesso em 12 de junho de 2023.

WALTER, Paulo. **Projetos Greenfield e Brownfield: entenda as diferenças**. Disponível em: < <https://blog.infraspeak.com/pt-br/diferenca-entre-projetos-greenfield-e-brownfield/> > acesso em 14 de maio de 2023