



**UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA
CENTRO TECNOLÓGICO
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL**

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

**ESTUDO COMPARATIVO ENTRE TECNOLOGIAS INOVADORAS
EM SUPERESTRUTURAS FERROVIÁRIAS**

Augusto Boshammer Piazero

Florianópolis, junho/2017

Universidade Federal de Santa Catarina

Centro Tecnológico

Departamento de Engenharia Civil

**ESTUDO COMPARATIVO ENTRE TECNOLOGIAS
INOVADORAS EM SUPERESTRUTURAS FERROVIÁRIAS**

Augusto Boshammer Piazero

Trabalho apresentado à Universidade Federal de Santa Catarina para Conclusão do Curso de Graduação em Engenharia Civil.

Orientador: Prof. Dr. Marcos Aurélio Marques Noronha

FLORIANÓPOLIS

2017

AUGUSTO BOSHAMMER PIAZERA

**ESTUDO COMPARATIVO ENTRE TECNOLOGIAS INOVADORAS
EM SUPERESTRUTURAS FERROVIÁRIAS**

Esse trabalho de Conclusão de Curso foi julgado adequado para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Civil, e aprovado em sua forma final pelo Curso de Engenharia Civil da Universidade Federal de Santa Catarina – UFSC.

Florianópolis, 30 de junho de 2017

Banca Examinadora:



Presidente Prof. Marcos Aurélio Marques Noronha, PhD

Orientador

Universidade Federal de Santa Catarina

Prof. Luciana Rohde, PhD

Universidade Federal de Santa Catarina

Eng. Ricardo Ribeiro Pitta

Engenheiro Civil

RESUMO

Com o passar dos anos, novas técnicas vem sendo desenvolvidas com relação à construção de ferrovias. Desde malhas ferroviárias que fazem uso de material de plástico, aço, madeira, ferro e até mesmo borrachas especiais como dormente até as mais avançadas, como as ferrovias construídas sobre lajes. Essas técnicas visam um melhoramento no desempenho e vida útil da estrutura; além de, claro, uma possível diminuição de custos de implantação e manutenção. Todavia, vários são os fatores que devem ser analisados quando do momento de escolha de uma dessas tecnologias em detrimento de outra.

Durabilidade, custos iniciais, segurança, facilidade de manutenção, emissão de ruído e impacto ambiental são alguns desses fatores que devem ser levados em conta. No presente trabalho, buscou-se realizar uma comparação objetiva a respeito das técnicas mais recentes e adotadas no mercado mundial atual. Essa comparação tem como objetivo indicar qual técnica seria a melhor para determinada situação.

Além disso, uma breve explicação a respeito de cada uma das tecnologias é apresentada e rapidamente discutida, levantando-se seus pontos fortes e fracos, bem como suas principais características.

ABSTRACT

Over the years, new techniques were developed concerning the construction of railroads. Since railway nets that make use of plastic materials, steel, wood, iron or even special rubbers as sleepers until one of the most advanced nowadays, such as the railways built on slabs. These techniques aim to achieve an improvement in performance and service life of the structure; besides, of course, of a possible reduction on implementation and maintenance costs. However, there are several factors that should be considered when it comes to the moment of choosing one of these technologies over another.

Durability, initial costs, safety, ease of maintenance and noise are some of the factors that must be taken into consideration. In this study, it's sought to make an objective comparison about the latest adopted techniques in the current world market. This comparison aims to indicate which technique would be more suitable for each specific situation.

In addition, a brief explanation about each of the technologies is presented and briefly discussed, lifting up their strengths and weaknesses as well as its main features.

AGRADECIMENTOS

Agradeço, primeiramente, a meus pais, por me terem dado a vida e as condições emocionais e financeiras para ter chegado até aqui. Ao meu irmão e avó, também meus enormes agradecimentos. Nada é tão importante quanto a família. Nada.

Aos professores do curso de Engenharia Civil da Universidade Federal de Santa Catarina, em especial ao meu orientador, o Prof. Marcos Noronha, por todo o apoio, incentivo e compreensão, desde o início do projeto.

A todos os funcionários da Universidade que, de certa forma ou de outra, permitiram que todos esses anos de aprendizado pudessem ser concluídos no presente trabalho. Sem vocês, não existiria Universidade.

Aos meus amigos que me motivaram, desde o início da graduação, a estudar para cada prova, trabalho e seminário. Certamente, a jornada (árdua por natureza!) foi aliviada pela presença de vocês.

À minha amiga Gabrielle (*in memoriam*). Muito mais do que apenas minha, essa conquista é nossa. Obrigado pela amizade, pelos momentos, pelo amor e pelas palavras. O brilho do teu olhar e sorriso iluminam-me até hoje.

A Deus, por fim, pela saúde, paciência, persistência e encorajamento dados a mim, em todos os momentos. Sem Ele, nada seria possível.

ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 1 – Bitolas ao redor do mundo.....	40
Tabela 2 – Resumo (dormente de madeira).....	47
Tabela 3 – Resumo (dormente de aço).....	50
Tabela 4 – Comparativo entre quantidade de dormentes (SALES) 2009.....	56
Tabela 5 – Resumo (dormente de concreto).....	56
Tabela 6 – Resumo (dormente de plástico).....	59
Tabela 7 – Resumo (dormente de laje).....	63
Tabela 8 – Esquema de comparações I.....	64
Tabela 9 – Esquema de comparações II.....	65
Tabela 10 – Comparação 01.....	66
Tabela 11 – Comparação 02.....	68
Tabela 12 – Comparação 03.....	70
Tabela 13 – Comparação 04.....	72
Tabela 14 – Comparação 05.....	74
Tabela 15 – Comparação 06.....	75
Tabela 16 – Comparação 07.....	77
Tabela 17 – Comparação 08.....	78
Tabela 18 – Comparação 09.....	79
Tabela 19 – Comparação 10.....	80
Tabela 20 – Comparação 11.....	82
Tabela 21 – Comparação 12.....	83
Tabela 22 – Comparação 13.....	84
Tabela 23 – Comparação 14.....	85

ÍNDICE DE GRÁFICOS

<u>Gráfico 1 – Comparação entre madeira e aço.....</u>	<u>66</u>
<u>Gráfico 2 – Comparação entre madeira e concreto.....</u>	<u>68</u>
<u>Gráfico 3 – Comparação entre madeira e plástico.....</u>	<u>70</u>
<u>Gráfico 4 – Comparação entre madeira e laje.....</u>	<u>72</u>
<u>Gráfico 5 – Comparação entre aço e concreto.....</u>	<u>74</u>
<u>Gráfico 6 – Comparação entre aço e plástico.....</u>	<u>75</u>
<u>Gráfico 7 – Comparação entre aço e laje.....</u>	<u>77</u>
<u>Gráfico 8 – Comparação entre concreto e plástico.....</u>	<u>78</u>
<u>Gráfico 9 – Comparação entre concreto e laje.....</u>	<u>79</u>
<u>Gráfico 10 – Comparação entre plástico e laje.....</u>	<u>80</u>
<u>Gráfico 11 – Comparação dos materiais quanto a vida útil.....</u>	<u>82</u>
<u>Gráfico 12 – Comparação dos materiais quanto ao custo.....</u>	<u>83</u>
<u>Gráfico 13 – Comparação dos materiais quanto ao ruído.....</u>	<u>84</u>
<u>Gráfico 14 – Comparação dos materiais quanto ao impacto ambiental.....</u>	<u>85</u>

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 – Porto de Itajaí, SC.....	12
Figura 2 – Parcela de modais de transporte.....	13
Figura 3 – Comparativo entre as malhas ferroviárias do Brasil X EUA.....	14
Figura 4 – Richard Trevithick.....	16
Figura 5 – Modelo de Stephenson.....	17
Figura 6 – Sketch de Stephenson.....	17
Figura 7 – Modelo montado de Stephenson.....	18
Figura 8 – Inauguração da ferrovia Stockton e Darlington (Inglaterra).....	19
Figura 9 – Vista da entrada da estação ferroviária central da Bélgica.....	19
Figura 10 – Ano de inauguração da primeira ferrovia em cada país europeu.....	20
Figura 11 – Crescimento do número de passageiros transportados pelo modal ferroviário na Inglaterra.....	20
Figura 12 – Diferença da malha ferroviária norte-americana no pré e pós Guerra Civil.....	22
Figura 13 – Principais trechos ferroviários de escoamento da produção cafeeira.....	23
Figura 14 – Oscilação da participação do café no âmbito de mercadorias exportadas.....	24
Figura 15 – Trecho ferroviário patrocinado pela VALE.....	25
Figura 16 – Logomarca da VALE.....	25
Figura 17 – O presidente JK na inauguração de Brasília (DF).....	26
Figura 18 – Juscelino Kubitschek dentro de um carro (símbolo de seu governo).....	27
Figura 19 – Avião da empresa alemã Lufthansa, para transporte de passageiros.....	29
Figura 20 – Avião de transporte de carga da empresa alemã DHL (Deutsche Post).....	30
Figura 21 – Trem da empresa ALL, para transporte de carga.....	31
Figura 22 – Trem da empresa alemã DB (Deutsche Bahn), para transporte de passageiros.....	31
Figura 23 – Hidrovia Tietê-Paraná.....	32
Figura 24 – Eclusa Bariri.....	33
Figura 25 – Transporte marítimo de carga.....	34
Figura 26 – Transporte rodoviário.....	35
Figura 27 – Comparativo entre modais ferroviários.....	36
Figura 28 – Esquema de plataforma ferroviária.....	37
Figura 29 – Comparativo entre bitolas (distância em metros).....	39
Figura 30 – Exemplo de ensaio de cisalhamento.....	43

<u>Figura 31 – Madeira parcialmente deteriorada por mecanismo fúngico.....</u>	<u>44</u>
<u>Figura 32 – Dormente em madeira.....</u>	<u>45</u>
<u>Figura 33 – Peças de dormente e madeira – Eucalipto - estocadas.....</u>	<u>47</u>
<u>Figura 34 – Fixação tipo GEO, com chapa soldada.....</u>	<u>48</u>
<u>Figura 35 – Dormente em aço.....</u>	<u>49</u>
<u>Figura 36 - Dormente em concreto.....</u>	<u>51</u>
<u>Figura 37 - Dormente em concreto protendido, modelo DYWIDAG (Alemanha).....</u>	<u>52</u>
<u>Figura 38 – Dormente RS (projetado por Roger Soneville, França).....</u>	<u>53</u>
<u>Figura 39 – Seção longitudinal do bloco (com barra de aço intermediária em evidência).....</u>	<u>53</u>
<u>Figura 40 – Dormente poli-bloco.....</u>	<u>54</u>
<u>Figura 41 - Dormente poli-bloco com detalhe da fixação dos trilhos à peça.....</u>	<u>54</u>
<u>Figura 42 – Dormente em plástico em Uberaba.....</u>	<u>57</u>
<u>Figura 43 – Material de polipropileno reciclado.....</u>	<u>58</u>
<u>Figura 44 – Dormente de plástico estocado em Belo Horizonte (MG).....</u>	<u>59</u>
<u>Figura 45 – Exemplo de <i>slab-track</i>.....</u>	<u>60</u>
<u>Figura 46 – Ferrovia em laje de concreto armado.....</u>	<u>61</u>
<u>Figura 47 – Nivelamento Gantry.....</u>	<u>62</u>
<u>Figura 48 - Dormente de concreto bi-bloco sobre superestrutura em laje.....</u>	<u>62</u>

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	12
1.1 OBJETIVOS.....	14
1.2 METODOLOGIA	14
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	16
2.1 Breve histórico mundial e brasileiro	16
2.2 Comentários pertinentes a respeito dos principais modais de transporte.....	28
3. CARACTERÍSTICAS GERAIS DOS ELEMENTOS FERROVIÁRIOS.....	37
3.1 Bitola	39
3.2 Gabarito.....	40
3.3 Dormentes	40
3.3.1 Dormente em madeira	41
3.3.2 Dormente em aço	48
3.3.3 Dormente em concreto	51
3.3.4 Dormente em plástico.....	57
3.3.5 Superestrutura em laje armada	60
3.2 Gráficos polares e comentários	64
COMPARAÇÃO 01 – MADEIRA x AÇO	66
COMPARAÇÃO 02 – MADEIRA x CONCRETO	68
COMPARAÇÃO 03 – MADEIRA x PLÁSTICO.....	70
COMPARAÇÃO 04 – MADEIRA x LAJE.....	72
COMPARAÇÃO 05 – AÇO x CONCRETO.....	74
COMPARAÇÃO 06 – AÇO x PLÁSTICO	75
COMPARAÇÃO 07 – AÇO x LAJE.....	77
COMPARAÇÃO 08 – CONCRETO x PLÁSTICO.....	78
COMPARAÇÃO 09 – CONCRETO x LAJE.....	79

COMPARAÇÃO 10 – PLÁSTICO x LAJE	80
COMPARAÇÃO 11 – VIDA ÚTIL (ANOS)	82
COMPARAÇÃO 12 – CUSTO (R\$)*KM/ANO	83
COMPARAÇÃO 13 – RUÍDO	84
COMPARAÇÃO 14 – IMPACTO AMBIENTAL	85
4. CONCLUSÕES	86
5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	88

1. INTRODUÇÃO

É crescente a demanda por meios alternativos de transporte – tanto de carga quanto de passageiros. Os diferentes tipos de modais com os quais lidamos hoje rotineiramente (dentre eles rodoviário, aeroviário, hidroviário e ferroviário ocupando os principais postos) comprovam a importância de termos uma malha de serviços ampla e diversificada, visto que cada um deles apresenta elementos que os tornam mais adequados para certas finalidades do que outros. Na figura 01, vê-se diversos modais de transporte atuando simultaneamente, como o hidroviário e o rodoviário.



Figura 1 - Porto de Itajaí, SC

(Fonte: http://www.dcllogisticsbrasil.com/wp-content/uploads/2015/03/noticia_13972408425348340a1db801.jpg)

No entanto é também sabido que enfrentamos diversos problemas de logística e transporte Brasil afora – e no mundo também. Muitos desses problemas tem sua origem no mesmo momento de construção das estruturas e suas respectivas implantações; no caso das estradas, o equivocado (sub)dimensionamento da camada de revestimento asfáltico; no aeroviário, a falta de estudos para

uma viabilização efetiva de um aeroporto; no transporte hidroviário, a escassez de portos que atendam igualmente várias regiões.

Contudo, no nosso país, um dos modais menos valorizados tem sido (já por muito tempo) o ferroviário (RODRIGUES, 2000). As estradas de ferro sempre desempenharam papéis fundamentais no desenvolvimento de grandes potências mundiais, como é o caso dos EUA (figura 03) e da Alemanha, por exemplo. No que concerne ao Brasil, todavia, temos clara a subutilização da malha ferroviária (figura 02).

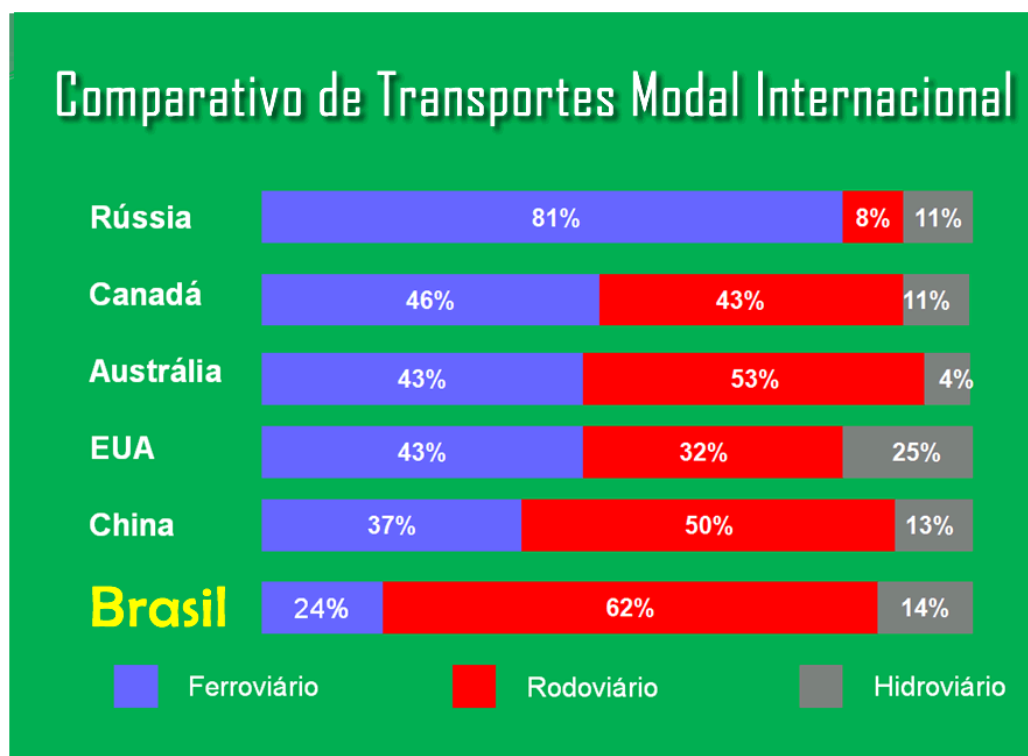


Figura 2 - Parcela de modais de transporte

(Fonte: <http://4.bp.blogspot.com/-uA6j8fI-gnE/T7wSIKK28II/AAAAAAAAAEk/74xQmsEbH3A/s1600/mapamodal2.gif>)

Naturalmente, alguns problemas podem ser facilmente identificados, como a não padronização de bitolas (TAMAGUSKO, 2013). Além disso, o alto investimento inicial decorrente da construção de uma ferrovia muitas vezes acaba por inviabilizar sua execução.

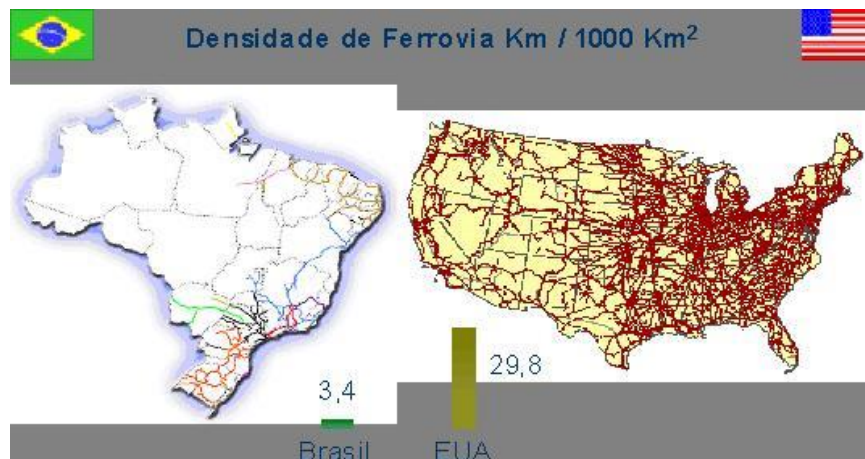


Figura 3 – Comparativo entre as malhas ferroviárias do Brasil X EUA

(Fonte: <https://www.sdr.com.br/dicas/transportes/Transp224e.jpg>)

1.1 OBJETIVOS

Como já mencionado anteriormente, o principal objetivo do referente trabalho é realizar uma comparação prática e objetiva a respeito dos diferentes tipos de tecnologias existentes para construção de dormentes.

Serão comparados materiais como madeira, aço, concreto, plástico e superestrutura em laje (*slab-track*), e os fatores analisados para a comparação compor-se-ão de preço (custo inicial para execução), durabilidade (vida útil), custo e facilidade de manutenção, análise de ruído e impacto ambiental previsto.

Ao fim, busca-se a elaboração de um modelo comparativo que evidencie as vantagens e desvantagens de cada uma das tecnologias, auxiliando, dessa forma, na escolha de qual material possui maior eficácia em determinados cenários.

1.2 METODOLOGIA

A elaboração do seguinte trabalho/relatório será feita com base em pesquisas em fontes diversas (TCC's, artigos, livros e teses, por exemplo), afim de se alcançar os objetivos propostos acima.

Dada a pertinência do assunto nos dias atuais, julgou-se prudente uma introdução histórica a respeito do surgimento e desenvolvimento das ferrovias, tanto no âmbito mundial quanto nacional – ao fim, parte das conclusões serão baseadas tanto nas análises dos resultados obtidos quanto das informações apresentadas no início do trabalho.

Para a análise quantitativa/qualitativa, serão usadas tabelas do EXCEL e, de forma bastante simplificada, elaborar-se-ão gráficos e tabelas para melhor apresentação e explanação dos resultados, afim de tornar a comparação proposta mais visual.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 Breve histórico mundial e brasileiro

A Inglaterra foi o país natal da locomotiva a vapor, que é essencialmente uma máquina a vapor usada para impulsionar um veículo sobre os trilhos. A primeira locomotiva a vapor foi construída em 1804 por Richard Trevithick (1771-1833 – figura 04) no século XIX, desenvolvida para a Penyardrem Iron Works em Wales (A INVENÇÃO DA LOCOMOTIVA – DNIT). Ela pesava 10 toneladas, puxava cinco vagões e carregava até 70 passageiros (note-se aqui, então, o interesse também pelo transporte de passageiros, e não somente de mercadorias). Foi capaz de transportar uma boa carga (25 toneladas aproximadamente) com um grande trilho e uma grande máquina estacionária a vapor; isto fez, contudo, que outros se animassem a construir locomotivas semelhantes. George Stephenson construiu uma máquina chamada *Locomotion* (figuras 05, 06 e 07) para a Stockton & Darlington Railway, em 1825 (A INVENÇÃO DA LOCOMOTIVA – DNIT). Esta máquina, com uma simples chaminé e um engate externo, tinha uma capacidade na caldeira mais adequada para transporte de carga do que de passageiros.



Figura 4 - Richard Trevithick

(Fonte: http://www.historytoday.com/sites/default/files/Trevithick_Richard_Linnell.jpg)



Figura 5 - Modelo de Stephenson

(Fonte: <https://museumvictoria.com.au/Global/MelbourneStory/Steam-Locomotive-Model/ST038379b-co.jpg>)

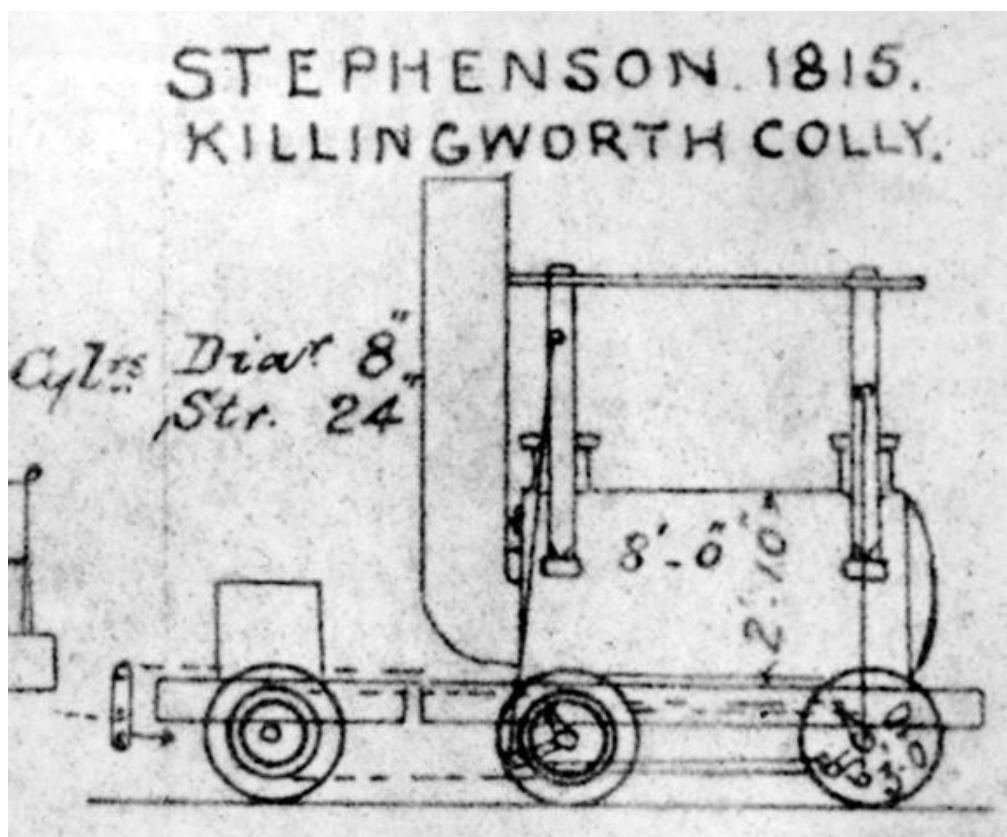


Figura 6 - Sketch de Stephenson

(Fonte: http://www.bbc.co.uk/schools/primaryhistory/famouspeople/george_stephenson/images/stephenson_rocket_sketch.jpg)

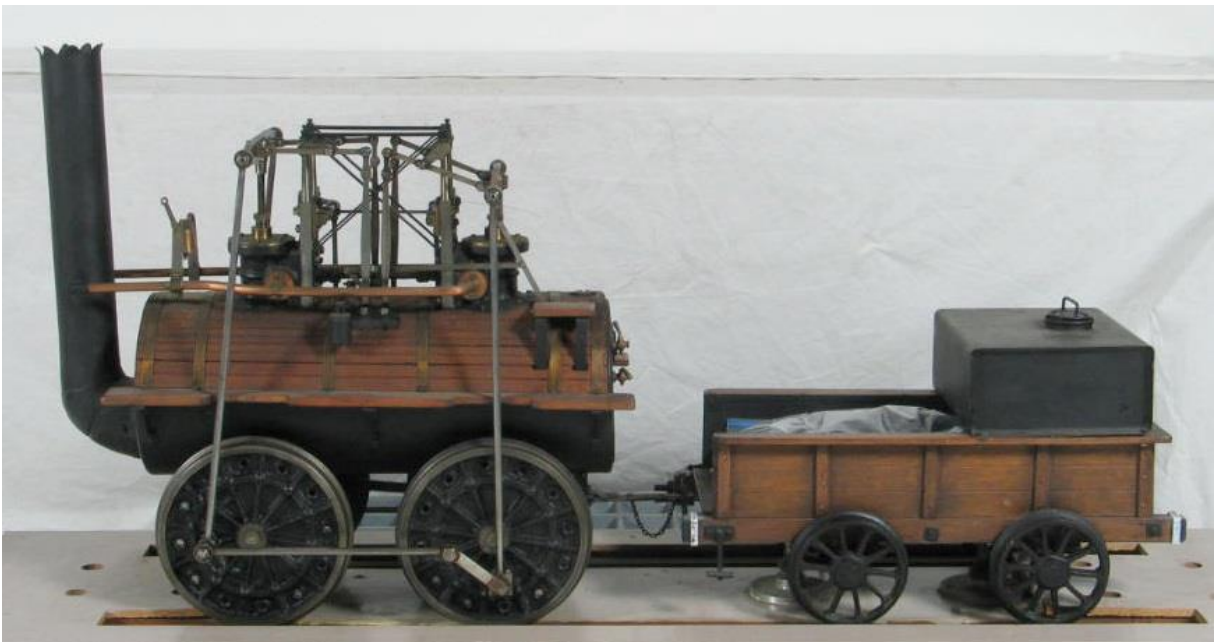


Figura 7 - Modelo montado de Stephenson

(Fonte: <https://maas.museum/app/uploads/sites/7/2014/12/B630.jpg>)

A partir do desenvolvimento de tais maquinários, contudo, tornou-se também crescente a demanda de produtos. No auge da I Revolução Industrial, os centros de consumo, motivados principalmente pela emergente burguesia, foram aos poucos se espalhando para locais mais afastados das grandes capitais (ao contrário do que acontecia com as fábricas, que conglomeravam-se cada vez mais nos perímetros urbanos).

O transporte dessa mercadoria tornou-se, portanto, tão importante quanto a sua fabricação e posterior venda (nessa época ainda não existia o sistema de produção JIT ou qualquer outra forma mais prática de estocagem como as propostas pelos modelos Fordistas e Tayloristas). A solução encontrada para isso foi a ferrovia.

Ferrovia, também chamada de via-férrea ou estrada-de-ferro, é o meio de transporte baseado na locomoção de trens ou comboios sobre carris (Infomex). A primeira ferrovia do mundo foi construída entre Stockton e Darlington (figura 08), na Inglaterra, assim como a primeira locomotiva circular criada por George Stephenson (Infomex). A criação (*Locomotion*) entrou em operação no dia 27 de setembro de 1825, transportando na sua “estrela” 21 vagões de carga, contendo 450 passageiros a uma velocidade de 20Km/h (compunham parte dessa viagem outros 12 vagões com carvão e farinha). Posteriormente, George se uniu a seu filho Robert e, juntos, deram início a primeira fábrica de locomotivas.



Figura 8 - Inauguração da ferrovia Stockton e Darlington (Inglaterra)

(Fonte: <http://www.thisisstockton.co.uk/wp-content/uploads/Stockton-Railway-e1341929460243-660x330.jpg>)

A Bélgica assumiu a liderança na Revolução Industrial no continente a partir da década de 1820 (vale lembrar que a I Revolução Industrial já estava em curso na Inglaterra há anos). Após a divisão dos Países Baixos em 1830, o novo país decidiu estimular a indústria. Planejava e financiava um sistema simples em forma de cruz que ligava as principais cidades, portos e áreas de mineração a países vizinhos. Excepcionalmente, o Estado belga tornou-se um importante contribuinte para o desenvolvimento ferroviário inicial. A Bélgica tornou-se assim o centro ferroviário da região. O sistema foi construído ao longo das linhas britânicas, muitas vezes com engenheiros britânicos fazendo o planejamento. Os lucros foram baixos, mas a infra-estrutura necessária para o rápido crescimento industrial foi posta em prática. A primeira estrada de ferro na Bélgica, que vai do norte de Bruxelas (figura 09) a Mechelen, foi concluída em maio de 1835 (FERREOCLUBE).

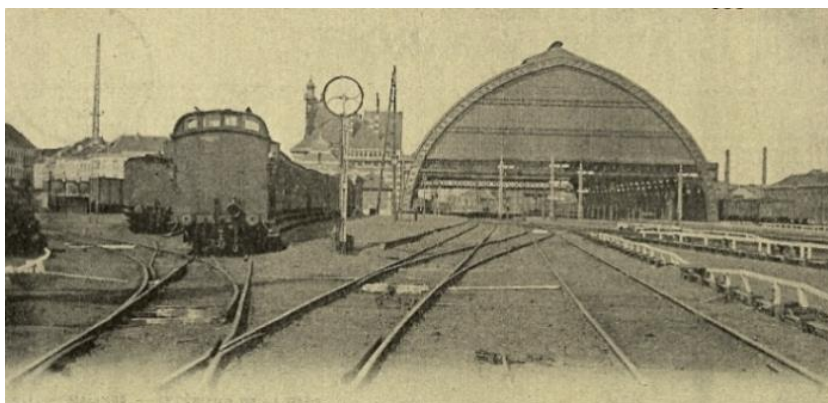


Figura 9 - Vista da entrada da estação ferroviária central da Bélgica

(Fonte: <http://blogimages.seniorennet.be/trekhaak73/185-43221f27381d0946eb7075ea1c8f9055.jpg>)

A partir desse momento, o número crescente de ferrovias denunciava o também exponencial aumento de passageiros que passaram a utilizar o referido meio de transporte (ELLIS, 1968). Nas imagens seguintes (figura 10), identificamos o ano de inauguração das primeiras linhas férreas na maioria dos países do antigo continente e também o aumento de passageiros nas ferrovias britânicas do decorrer dos anos (figura 11).

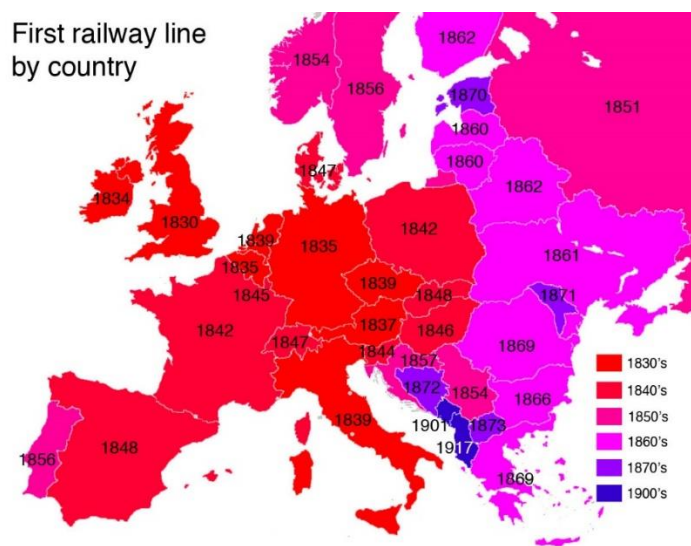


Figura 10 - Ano de inauguração da primeira ferrovia em cada país europeu

(Fonte: <http://europeanrailroads.blogspot.com/2015/03/First-Railway-by-Country.jpg>)

É interessante notar que a maioria dos países da Europa Ocidental/Central tiveram sua primeira ferrovia construída, geralmente, anteriormente àqueles do Leste Europeu. Os primeiros, ao adentrarem no período conhecido como *Belle Époque*, já dispunham de certo grau elevado de linhas férreas (ELLIS, 1968).

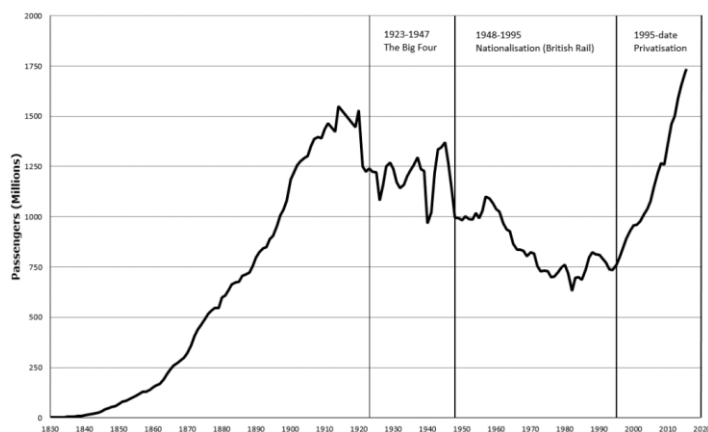


Figura 11 - Crescimento do número de passageiros transportados pelo modal ferroviário na Inglaterra

(Fonte: https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/1/15/GBR_rail_passengers_by_year_1830-2015.png)

Na imagem anterior fica evidenciado o crescimento praticamente exponencial do número de passageiros (em milhões) transportados anualmente por ferrovias britânicas. Nota-se também certo abalo na taxa de crescimento, principalmente influenciado pelas 2 Grandes Guerras e pela Crise de 29.

Na Europa a aplicação em larga escala do dormente de concreto ocorreu logo depois da II Guerra Mundial, isso devido à devastação das florestas nativas pelas guerras e a dificuldade da importação da madeira de países asiáticos e africanos. Atualmente a malha ferroviária europeia tem 60% de dormentes de concreto e fabricação em torno de 15 milhões / ano (DOS SANTOS, 2015).

No entanto, talvez o país que mais exemplifique o entrelaçamento e relação direta de causa-consequência entre desenvolvimento de linhas ferroviárias e crescimento econômico, seja os Estados Unidos da América. Neste país, durante a 2ª metade do século XIX, o território estava literalmente dividido entre os Confederados do sul e os membros da União, no norte. Notadamente, desde a época do envio das primeiras naus ao continente, formou-se na região das 13 Colônias uma nova colônia de colonização (e não de exploração) inglesa, que rapidamente se desenvolveu e tomou as rédeas da economia local. Um problema era que, contudo, o sul possuía as terras mais agricultáveis (região entendida como cinturão do sol – *sun-belt*), e o modo de produção baseada no cultivo de monoculturas com trabalho escravo (*plantations*) (FLING, 1868).

Com o passar dos anos, a produção do norte tornou-se maior do que a demanda, o que levou aquela população a buscar maior contingente consumidor. A solução encontrada seria a libertação dos escravos sulistas e posterior inserção dos mesmos na economia de mercado remunerada. Indo diretamente de encontro ao interesse dos grandes proprietários de terra, armou-se o cenário da Guerra Civil Americana (ou Guerra da Secessão) (FLING, 1868).

Durante esse conflito, para transportar os mais de 1,12 milhões de soldados do norte para o sul do país (onde os entraves acontecia fervorosamente), bem como todo o armamento que seria usado, o aumento da extensão de linhas férreas foi assombroso (figura 12).

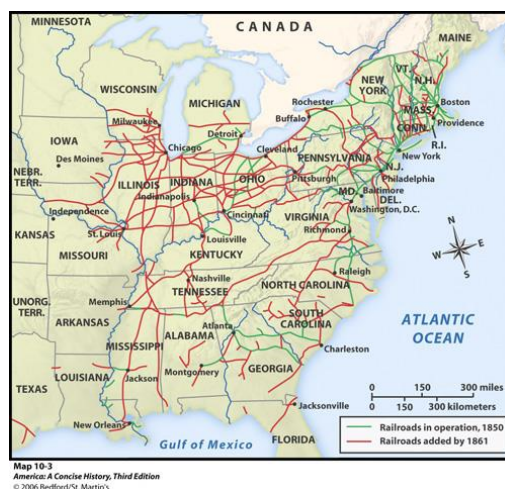


Figura 12 - Diferença da malha ferroviária norte-americana no pré e pós Guerra Civil

(Fonte: <http://flashmedia.glynn.k12.ga.us/webpages/kadams/photos/20126/2map-10-05.jpg>)

Com o fim da guerra e vitória da União (norte), o modo de produção nos territórios do sul mudou bruscamente. Várias foram as fazendas que foram tomadas e nelas instaladas fábricas aos moldes do norte. Assim moldou-se, gradualmente, o terreno para que os Estados Unidos pudessem se tornar a maior economia do mundo (ELLIS, 1968).

No Brasil, todavia, a história foi um pouco diferente. Desde o início da colonização, a metrópole (notadamente Portugal) enxergou as terras da colônia apenas como berço de exploração. Dessa forma, não foi oferecido qualquer tipo de planejamento, fosse de assentamento, transporte ou até mesmo de saúde, aos habitantes da nova colônia (RODRIGUES, 2000).

Séculos mais tarde, quando já éramos Brasil, ainda vivíamos sob enorme influência da mentalidade da coroa outrora portuguesa. Com o advento da Proclamação da República houve um segundo impulso para a construção de linhas férreas, especialmente na primeira metade do século XX (IPEA, 2010). Visto que o café (principal produto brasileiro produzido na época) era majoritariamente produzido no interior de São Paulo (figura 13), tornou-se viável a construção de ferrovias que ligassem as fazendas produtoras aos principais portos do país.

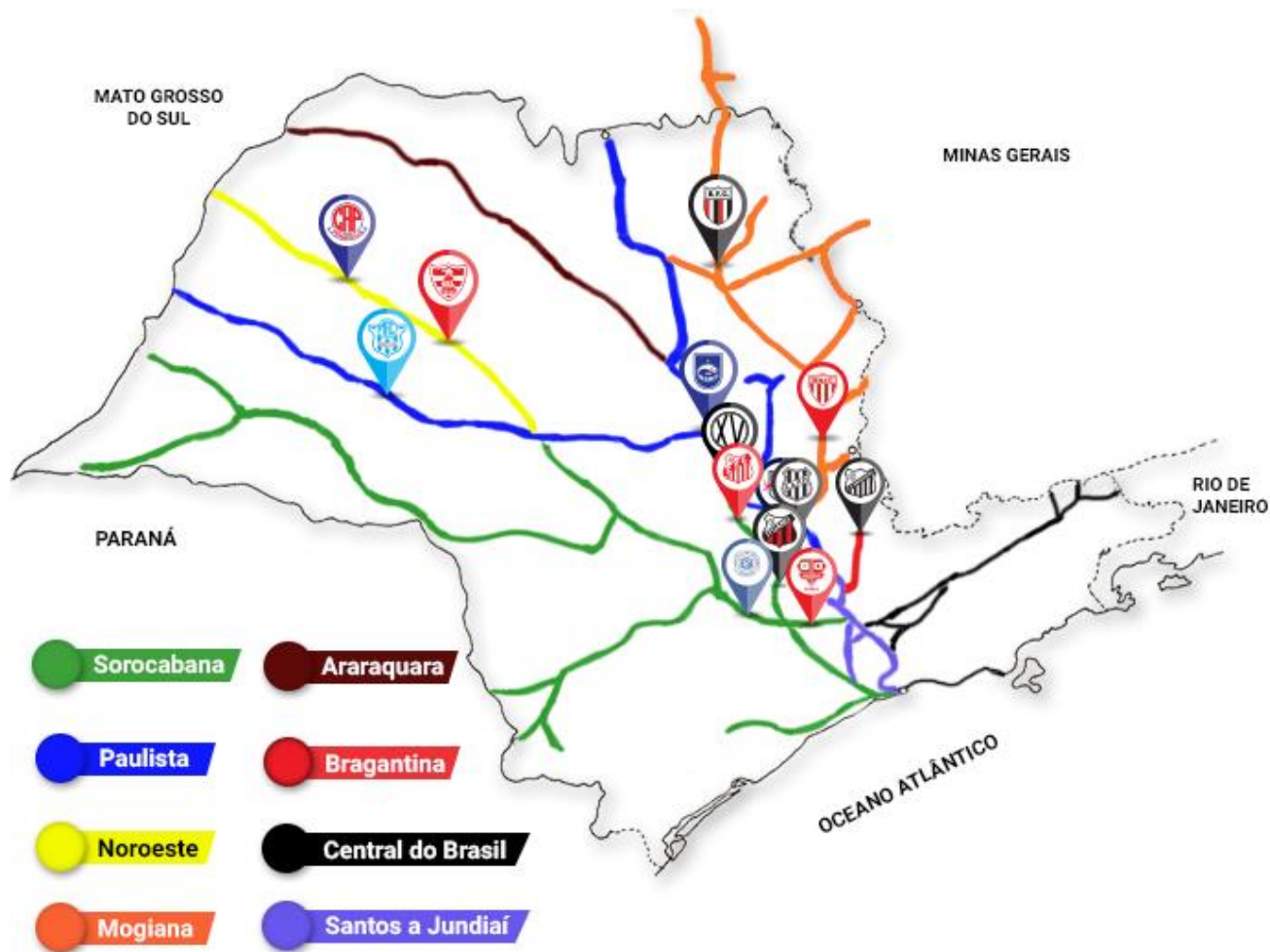


Figura 13 - Principais trechos ferroviários de escoamento da produção cafeeira

(Fonte:

http://s2.glbimg.com/773P_wbkevJaNwyHqzGbBiEAgyO=/0x0:690x534/690x534/s.glbimg.com/es/ge/f/original/2015/01/29/ma_pa_ferrovia_1.png)

Após a República da Espada e os vários governantes que integraram a política do café-com-leite, fomos atingidos, assim como o resto do mundo, pelo *crack* da Bolsa de Valores de NY (1929) (TOPIK, 1987). Somando-se esse acontecido à I Guerra Mundial (1914-1918), torna-se simples de entender por que a quantidade de exportação de café durante esse período caiu drasticamente. A figura 14 evidencia o fato.

Café em Grão – Exportação: Participação nas Exportações Totais - Brasil: 1821-1930

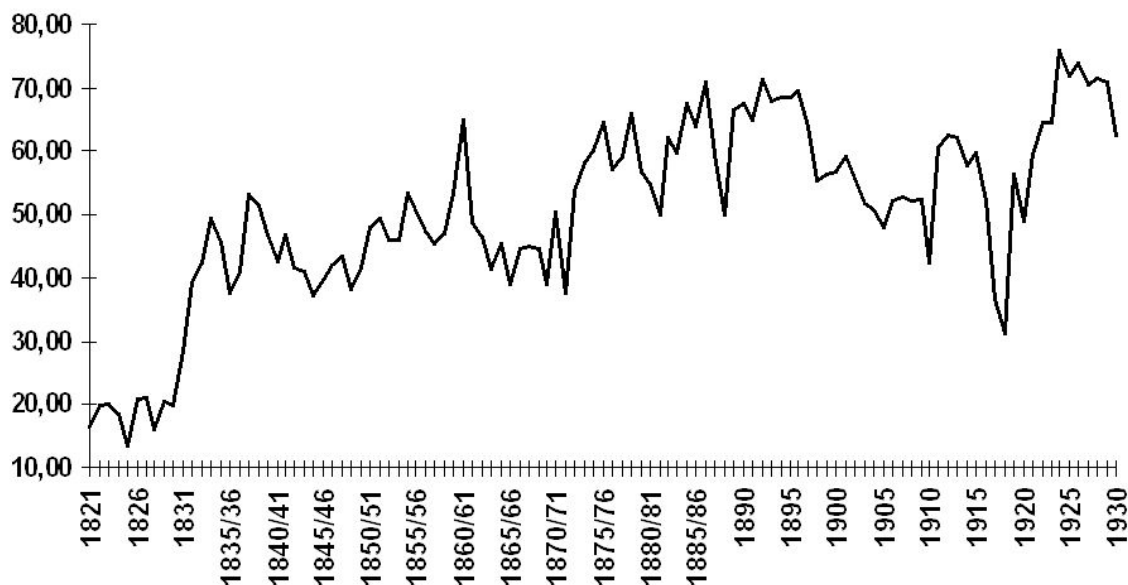


Figura 14 - Oscilação da participação do café no âmbito de mercadorias exportadas

(Fonte: http://images.slideplayer.com.br/35/10635018/slides/slide_4.jpg)

Com o Golpe de 30, Getúlio assumiu o poder e mudou relevantemente as diretrizes da economia nacional. O novo presidente assumiu uma postura mais tradicionalista, fechando as portas para o mercado internacional e optando por focar numa maior industrialização nacional, com abertura de empresas nacionais, por exemplo (RODRIGUES, 2000).

Até o Estado-Novo (período compreendido entre 1937-1945), o mundo passou por mais um momento delicado: a II Guerra Mundial. O governo ditatorial de Vargas (de cunho evidentemente fascista) foi obrigado, em 1942, a escolher pelo lado dos Aliados (capitaneados, nesse momento, pelos EUA), cedendo à pressão econômica imposta pelos norte-americanos (TOPIK, 1987). Em apoio ao presidente Vargas, que havia permitido a instalação de uma base norte-americana em território brasileiro, o governo daquele país auxiliou na criação da Companhia Vale do Rio Doce (figuras 15 e 16).



Figura 15 - Trecho ferroviário patrocinado pela VALE

(Fonte: http://www.vale.com/brasil/PT/business/logistics/railways/PublishingImages/ferrovia_vitoria_minas.jpg)



Figura 16 - Logomarca da VALE

(Fonte: <http://www.talentoincluir.com.br/images/clientes/d01d0b82807efcffe8984d1aca78400c.jpg>)

Com o fim da II Grande Guerra, o mundo viu-se dividido entre as forças políticas do capitalismo e comunismo, ambas fortemente apoiadas por segmentos variados do globo, lutando pela hegemonia de poder. O capitalismo, representado principalmente pelos EUA e países aliados (vencedores das 2 guerras mundiais e outros) tentava, a todo custo, combater a disseminação do comunismo, representado pela URSS e países do Leste Europeu (aqueles chegaram, inclusive, a lançar o Plano Marshall de “ajuda” ao desenvolvimento dos países destruídos nos anos anteriores).

Durante esse período de dicotomia, conhecido como Guerra Fria, vários foram os conflitos armados travados ao redor do globo (guerras da Coreia e do Vietnã, por exemplo) que simbolizavam a batalha principal (capitalismo norte-americano vs. comunismo russo), contudo, um conflito direto entre as grandes potências nunca ocorreu (por mais que tenha ficado na eminência de ocorrer – basta lembrarmos da Crise dos Mísseis em 1962, envolvendo Cuba, o único país comunista da América).

Com esse cenário mundial, o Brasil viu-se preterido pelas grandes e mais desenvolvidas nações mundiais, e recorreu, portanto, ao sistema de implantação maciça de indústrias em território nacional. Além disso, durante o mandato do Presidente Juscelino Kubitschek (figuras 17 e 18), elaborou-se e colocou-se em prática o plano de desenvolvimento conhecido como “50 anos em 5”, que continha, dentro de seus objetivos principais, a construção de uma nova capital nacional, localizada mais interiormente no território brasileiro. Após alguns anos de intenso desenvolvimento industrial e gigantescos investimentos externos (principalmente de empresas norte-americanas), Brasília foi fundada no dia 21 de abril de 1960.



Figura 17 - O presidente JK na inauguração de Brasília (DF)

(Fonte: <http://cntil.org.br/imagens/noticias/jk.jpg>)

Paralelamente ao sistema de acelerada industrialização, como já dito anteriormente, houve nesse período a instalação de diversas indústrias automobilísticas no país. Segundo Bernardo, “Desde o Governo JK (1956 - 1961), e fortemente no mesmo, podemos perceber o abandono ao transporte ferroviário. O Governo JK na área de transporte foi basicamente voltado para os investimentos em rodovias. JK abriu a economia brasileira para o Capital Internacional, promovendo a implantação da indústria automobilística, com a vinda de fábricas estrangeiras de automóveis de marcas como Volkswagen (Alemanha), Simca (França), Ford e General Motors (Estados Unidos) para as cidades de São Paulo, Santo André, São Caetano, São Bernardo e Rio de Janeiro. Assim o Brasil começou a mover-se sobre quatro rodas. O carro passou a ser um desejo comum por parte dos brasileiros que não precisavam mais importá-lo. Isso fez com que se necessitasse de mais e mais rodovias. (...) JK fez questão de criar um grande número de rodovias, pois seu intuito maior era trazer muitas indústrias automobilísticas para o Brasil. Seu investimento no transporte ferroviário foi quase nada. A malha viária do país ainda é muito pequena e concentra sua maior parte no Sul e Sudeste. A falta de investimentos nos transportes coletivos ferroviários que ajudariam a ligar grandes centros e cidades ao longo do país, tornando a viagem do brasileiro mais acessível em custos e benefícios, que se destacou no Governo JK e prevalece até hoje desde a implantação da indústria automobilística no Brasil trazida pelo mesmo, mostram-nos claramente a “cultura do carro”, que faz com que brasileiros priorizem a compra de automóveis, recusando o uso dos transportes públicos coletivos pela ineficiência dos mesmos, que desde os anos de 1950 ficaram em segundo plano.”



Figura 18 - Juscelino Kubitschek dentro de um carro (símbolo de seu governo)

(Fonte: http://3.bp.blogspot.com/-QkOvYO1AtsM/U2Pwx9W-2ZI/AAAAAAAAABtA/zjz3M_6T2NQ/s1600/Juscelino_Kubitschek.jpg)

O transporte ferroviário, no Brasil, teve um considerável crescimento desde que se iniciou o processo de concessão das malhas federais à iniciativa privada (PESQUISA CNT DE FERROVIAS, 2015). No Brasil, o transporte ferroviário ainda apresenta várias deficiências que impedem sua competitividade; as fronteiras administrativas criadas pela divisão geográfica do mercado entre as várias operadoras e a quase inexistência de ferrovias extensas no sentido norte-sul limitam o transporte ferroviário (DAVID, 1998).

2.2 Comentários pertinentes a respeito dos principais modais de transporte

Segundo a Federação das Indústrias do Estado de São Paulo (FIESP), “Os transportes de cargas possuem cinco tipos de modais, cada um com custos e características operacionais próprias, que os tornam mais adequados para certos tipos de operações e produtos. Todas as modalidades têm suas vantagens e desvantagens.”

A infraestrutura de transporte no Brasil necessita de melhorias para conseguir atender de maneira adequada à crescente demanda gerada pelo aumento da produção nacional e também pelas perspectivas de crescimento da participação no mercado internacional. A melhoria da qualidade do sistema logístico do país exige que os diversos modais cresçam de forma simultânea e integrada, sendo essenciais vultosos investimentos públicos e privados (ALBUQUERQUE, 2011).

Abaixo, um breve resumo (disponibilizado no site da FIESP) a respeito dos principais modais, bem como suas vantagens e desvantagens elencadas. Nota-se que, pelos dados terem sido retirados do site da FIESP, concernem ao estado de São Paulo (o que, nesse caso, exemplifica bem a abrangência dos modais no país).

Aéreo

É o transporte adequado para mercadorias de alto valor agregado, pequenos volumes ou com urgência na entrega. O Estado de São Paulo tem hoje 32 aeroportos sob sua administração e 5 aeroportos com a INFRAERO administrando (Guarulhos, Congonhas, Viracopos, São José dos Campos e Campo de Marte).

O transporte aéreo possui algumas vantagens sobre os demais modais, pois é mais rápido e seguro e são menores os custos com seguro, estocagem e embalagem, além de ser

mais viável para remessa de amostras, brindes, bagagem desacompanhada, partes e peças de reposição, mercadoria perecível, animais etc. (FIESP). As figuras 19 e 20 evidenciam o transporte aéreo de passageiros e cargas, respectivamente.

Vantagens

- .: É o transporte mais rápido
- .: Não necessita embalagem mais reforçada (manuseio mais cuidadoso).

Desvantagens

- .: Menor capacidade de carga;
- .: Valor do frete mais elevado em relação aos outros modais.



Figura 19 - Avião da empresa alemã Lufthansa, para transporte de passageiros

(Fonte: http://airway.uol.com.br/wp-content/uploads/2015/05/boeing747-8lufthansa_02.jpg)



Figura 20 - Avião de transporte de carga da empresa alemã DHL (Deutsche Post)

(Fonte: http://www.dpdhl.com/de/presse/pressemitteilungen/2015/dhl_und_aerologic_liefere_historische_flugzeugteile.html)

Ferrovário

A malha ferroviária brasileira possui aproximadamente 29.000 km e no Estado de São Paulo cerca de 5.400 km. Os processos de privatização do sistema iniciaram-se em 1996, e as empresas que adquiriram as concessões de operação desta malha, assumiram com grandes problemas estruturais. A transferência da operação das ferrovias para o setor privado foi fundamental para que esse setor voltasse a operar (FIESP). As figuras 21 e 22 trazem exemplos de transporte ferroviário de carga e passageiros, respectivamente.



Figura 21 - Trem da empresa ALL, para transporte de carga

(Fonte: <http://static.panoramio.com/photos/large/47639273.jpg>)

Vantagens:

- .: Adequado para longas distâncias e grandes quantidades;
- .: Menor custo de seguro;
- .: Menor custo de frete.

Desvantagens:

- .: Diferença na largura de bitolas;
- .: Menor flexibilidade no trajeto;
- .: Necessidade maior de transporte.



Figura 22 - Trem da empresa alemã DB (Deutsche Bahn), para transporte de passageiros

(Fonte:

https://www.bahn.de/p/view/mdb/bahmintern/startseite/startseite2015/mdb_246523_bahn_db_regio_zug_02_03_chu_e138_08_01_4zu2_727x364_hq.jpg)

Hidroviário

A Hidrovia Tietê-Paraná têm papel importante na logística das matérias primas produzidas no Estado de São Paulo, particularmente no caso da movimentação de graneis e seus insumos (FIESP).



Figura 23 - Hidrovia Tietê-Paraná

(Fonte: https://www.portalmaritimo.com/wp-content/uploads/2016/12/csm_hidrovia_tiete-parana.jpg)

Com a interligação entre os rios Tietê e o Paraná (figura 23), concluída 1999 em direção ao sul e vice-versa através da Eclusa de Jupuíá, a Hidrovia ampliou seu raio de ação em mais de 700 km, totalizando 2.400 km entre rotas principais e secundárias. Além disso, obras de sinalização, recuperação e proteção de pontes, retiradas de pedras e controle eletrônico, realizadas nos últimos anos, têm possibilitado ampliar o volume transportado (FIESP).

Embora o transporte na Hidrovia Tietê-Paraná apresente grandes taxas de crescimento, da ordem de 15% ao ano, com algumas iniciativas se poderá crescer a taxas ainda maiores, aumentando sua contribuição para o equilíbrio da matriz de transporte (FIESP).



Figura 24 - Eclusa Bariri (SP)

(Fonte: <http://www.dh.sp.gov.br/wp-content/themes/DH/img/ImagensEclusas/Bariri%201968>)

Os principais produtos transportados nacionalmente são: soja, óleo vegetal, trigo, milho, açúcar, cana de açúcar, sorgo, madeira e outros (FIESP). A figura 24 mostra uma eclusa.

Vantagens:

- ∴ Adequado para longas distâncias e grandes quantidades;
- ∴ Maior flexibilidade no trajeto.

Desvantagens:

- ∴ Alto custo de pedágio (Canal do Panamá, por exemplo);
- ∴ Menor flexibilidade no trajeto.

Marítimo

O transporte marítimo é o modal mais utilizado no comércio internacional. Inclui tanto os navios que realizam tráfego regular, pertencentes a Conferências de Frete, Acordos Bilaterais e os outsiders, como aqueles de rota irregular, os “tramps” (FIESP). A figura 25 evidencia o transporte marítimo (de cargas).



Figura 25 - Transporte marítimo de carga

(Fonte: <http://turismo.culturamix.com/blog/wp-content/gallery/navio-cargueiro/navio-cargueiro10.jpg>)

Vantagens:

- .: Maior capacidade de carga;
- .: Carrega qualquer tipo de carga;
- .: Menor custo de transporte.

Desvantagens:

- .: Necessidade de transbordo nos portos;
- .: Distâncias dos centros de produção;
- .: Maior exigência de embalagens;
- .: Menor flexibilidade nos serviços aliado a frequentes congestionamentos nos portos.

Rodoviário

No Brasil algumas rodovias ainda apresentam estado de conservação ruim, o que

aumenta os custos com manutenção dos veículos. Além disso, a frota é antiga (aproximadamente 18 anos) e sujeita a roubo de cargas (FIESP). A figura 26 mostra a BR-101, que cruza o país no sentido Norte-Sul.

O transporte rodoviário caracteriza-se pela simplicidade de funcionamento.

Vantagens:

- .: Adequado para curtas e médias distâncias;
- .: Simplicidade no atendimento das demandas e agilidade no acesso às cargas;
- .: Menor manuseio da carga e menor exigência de embalagem;
- .: Serviço porta-a-porta.

Desvantagens:

- .: Fretes mais altos em alguns casos;
- .: Menor capacidade de carga entre todos os outros modais.



Figura 26 - Transporte rodoviário

(Fonte: <https://static.todamateria.com.br/upload/55/5b/555bb22278151-transporte-rodoviario-incluir-imagem.jpg>)

No entanto, é importante lembrar a menor capacidade de carga e maior custo operacional, comparado ao ferroviário ou hidroviário e a diminuição da eficiência das estradas em épocas de grandes congestionamentos.

Ademais, a imagem 27 seguinte ilustra bem o apresentado acima, com classificação de desempenho para cada modal em respectiva função (1 sendo a melhor classificação possível e 5, a pior).

Comparação entre modais e multimodalidade

↳ Características de desempenho

Características de desempenho					
	Custo 1 = maior	Tempo médio de entrega 1 = mais rápido	Variabilidade do tempo de entrega		Perdas e danos 1 = menor
			Absoluta 1 = menor	Porcentagem 1 = menor	
Ferrovário	3	3	4	3	5
Rodoviário	2	2	3	2	4
Aquaviário	5	5	5	4	2
Dutoviário	4	4	2	1	1
Aeroviário	1	1	1	5	3



Figura 27 - Comparativo entre modais ferroviários

(Fonte: http://images.slideplayer.com.br/3/1230611/slides/slide_2.jpg)

3. CARACTERÍSTICAS GERAIS DOS ELEMENTOS FERROVIÁRIOS

A Superestrutura das Vias Férreas é constituída pela Plataforma Ferroviária e pela Via Permanente, as quais estão sujeitas à ação de desgaste do meio ambiente (intempéries) e das rodas dos veículos (BORGES, 2012).

A Superestrutura é construída de modo a poder ser restaurada sempre que seu desgaste atingir o limite de tolerância definido pelas normas de segurança e de comodidade de circulação dos veículos ferroviários, podendo mesmo vir a ser substituída em seus principais componentes, quando assim o exigir a intensidade do tráfego ou o aumento de peso do material rodante (BORGES, 2012).

Os três elementos principais da Superestrutura e que compõe a Via Permanente são: o Lastro, os Dormentes e os Trilhos. Os trilhos constituem o apoio e ao mesmo tempo a superfície de rolamento para os veículos ferroviários. O trilho é, sem margem de dúvidas, o componente mais importante da superestrutura ferroviária. É tecnicamente considerado o principal elemento de suporte e guia dos veículos ferroviários, e economicamente detém o maior custo dentre os elementos estruturais de via (BORGES, 2012). Assim sendo, torna-se imprescindível o uso adequado e racional desse material (MACÊDO, 2009). Estes três elementos, citados acima, apoiam-se sobre a Plataforma Ferroviária.

Plataforma Ferroviária (figura 28) ou Coroa do Leito Ferroviário é, em princípio, a superfície final resultante da terraplenagem que limita a Infraestrutura (BORGES, 2012). É considerada como suporte da estrutura da via, da qual recebe, através do lastro, as tensões devidas ao tráfego e também às cargas das demais instalações necessárias à operação ferroviária (condutores, cabos, sinalização, etc.) (BORGES, 2012).

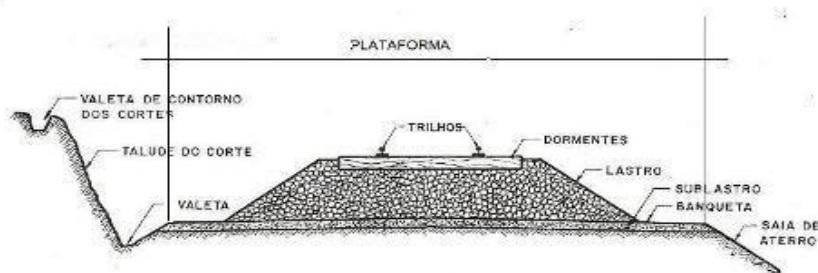


Figura 28 – Esquema de plataforma ferroviária

(Fonte: BRINA, 1983)

Basicamente, a plataforma ferroviária é constituída por solos naturais ou tratados (sublastro), no caso de cortes ou aterros, ou então, por estruturas especiais, no caso de obras de arte (BORGES, 2012).

3.1 Bitola

É a distância entre as faces internas das duas filas de trilhos (figura 29), medida a 16 mm, abaixo do plano de rodagem (plano constituído pela face superior dos trilhos) (BORGES, 2012). Stephenson identificou a importância de padronizar as bitolas ferroviárias em um país e adotou o comprimento de 1,435 m, nas primeiras ferrovias que construiu (Stockton a Darligton e Liverpool a Manchester). Esta bitola correspondia ao comprimento dos eixos das diligências inglesas, construídas na época (1825). Outras ferrovias, construídas posteriormente, também adotaram a mesma bitola (BORGES, 2012).

Em 1907, a Conferência Internacional de Berna (Suíça) consagrou esta bitola (1,435 m) como “Bitola Internacional”, sendo, na atualidade, a mesma utilizada pela grande maioria dos países, apesar de serem empregadas, também, outras medidas (tabela 01) (BORGES, 2012).

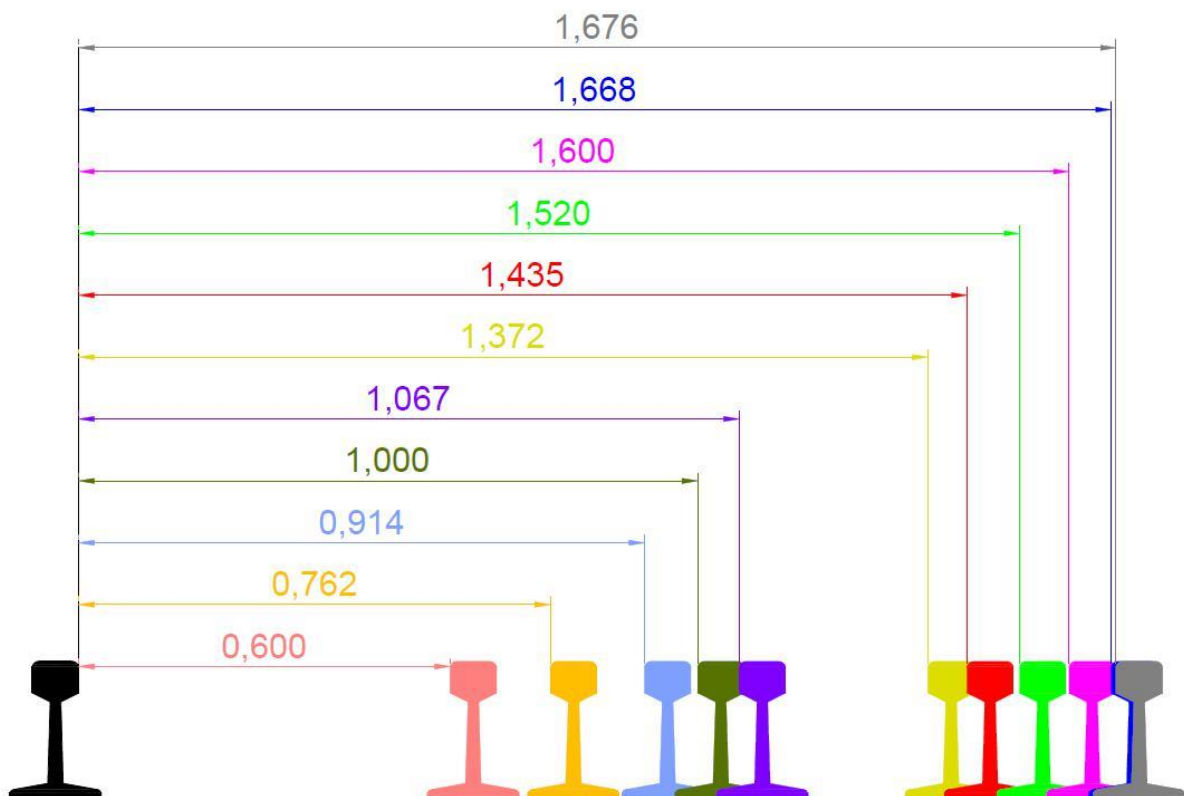


Figura 29 - Comparativo entre bitolas (distância em metros)

(Fonte: Tamagusko, 2013)

PAÍS	BITOLA
Itália	1,445 m
França	1,440 m
Espanha	1,674 m
Portugal	1,665 m
Argentina	1,676 m
Chile	1,676 m
Rússia	1,523 m

Tabela 1 - Bitolas ao redor do mundo

(Fonte: dados adaptados de TELLES, 2011)

3.2 Gabarito

O gabarito da via férrea é um modelo geométrico que fixa as dimensões máximas com que o veículo ferroviário pode ser construído, bem como as dimensões máximas da carga (BORGES, 2012). Ele fornece, em função das bitolas adotadas, a área da seção transversal mínima necessária para a livre circulação na via. O Gabarito da Via é padronizado pelos órgãos reguladores de cada país. No Brasil, as “Normas Técnicas para Estradas de Ferro” (Publicação nº 1 do DNEF – Departamento Nacional de Estradas de Ferro) que fazem parte do Plano Nacional de Viação, fixam as dimensões mínimas da seção transversal da via (BORGES, 2012).

3.3 Dormentes

Os dormentes são elementos estruturais ferroviários que dão suporte aos trilhos e fixam a distância entre eles (BORGES, 2012). Um dormente deve ter boa resistência, durabilidade e alguma elasticidade. O principal tipo de dormente é o de madeira, pois apresenta muitas características propícias, mas devido à falta de madeira e as questões ambientais, o seu uso está diminuindo. Buscaram-se outros materiais para essa função, como aço, concreto e alguns polímeros, cada um possuindo vantagens e desvantagens. Conciliar o uso desses materiais pode melhorar o desempenho de uma via ferroviária (Observatório Metro-Ferrovário/UFSC).

Segundo Brina (1979), o dormente é o elemento da superestrutura ferroviária que tem por função receber e transmitir ao lastro os esforços produzidos pelas cargas dos veículos, servindo de suporte dos trilhos, permitindo sua fixação e mantendo invariável a distância entre eles (bitola).

Para cumprir essa finalidade, será necessário ao dormente que (BRINA, 1979):

- (1) suas dimensões, no comprimento e na largura, forneçam uma superfície de apoio suficiente para que a taxa de trabalho no lastro não ultrapasse os limites relativos a este material;
- (2) sua espessura lhe dê a necessária rigidez, permitindo, entretanto, alguma elasticidade;
- (3) tenha suficiente resistência aos esforços solicitantes;
- (4) tenha durabilidade;
- (5) permita, com relativa facilidade, o nivelamento do lastro (socaria), na sua base;
- (6) oponha-se, eficazmente, aos deslocamentos longitudinais e transversais da via;
- (7) permita uma boa fixação do trilho, isto é, uma fixação firme, sem ser excessivamente rígida.

3.3.1 Dormente em madeira

Carente de investimento e com tecnologia de dezenas de anos atrás, as vias férreas possuem, ainda hoje, majoritariamente trilhos apoiados sobre dormentes de madeira (BRINA, 1979). Constituídas de aproximadamente dois mil dormentes por quilometro, para a manutenção e implantação destas vias, é necessário extrair milhares de árvores por ano. Em função desta quantidade de madeira, há décadas existe a preocupação com o esgotamento das fontes de matéria prima, fazendo-se necessário a sua substituição (MARZOLA, 2004). A madeira apresenta propriedades mecânicas adequadas, como: resistência às tensões atuantes, elevado módulo de elasticidade e grande flexibilidade. No Brasil a madeira mais utilizada é a sucupira (um tipo de eucalipto) (BRINA, 1979), por possuir melhor fixação ao trilho (DNIT). Uma vantagem desse material é que ele pode ser feito a partir de reflorestamento, como o de eucalipto (ALVEZ, 2005). Além disso, ao ser substituído pode ser utilizado, ainda, como mourões, lenha ou outra forma de reciclagem. Isso ajuda a diminuir o impacto ambiental das ferrovias (BORGES, 2012).

As especificações para dormentes de madeira são encontradas em relatório, como os listados abaixo:

- NBR 6966:1994 - Dormentes (Terminologia) – ABNT;
- NBR 7511:2013 – Dormentes de Madeira – ABNT;
- IVR-11 - Nomenclatura da Via Permanente – RFFSA (DNIT);
- IVR-12 - Emprego de Dormentes Roliços - RFFSA (DNIT);
- EVR-8 - Substituição de Dormentes – RFFSA (DNIT);
- NV-3-250 - Especificações Técnicas para Fornecimento de Dormentes de Madeira – RFFSA (DNIT);
- NBR 7190:1997- Ensaio de Resistência - ABNT.

Vários são os fatores que devem ser analisados quando do momento de se estabelecer o melhor dormente para cada caso. A respeito dos dormentes de madeira, além da qualidade intrínseca e experimental do material (tipo de madeira usada), a durabilidade deve ser atentada. Nesse âmbito, vários são os fatores que influenciam nesse quesito de qualidade, tais como (BRINA, 1979): clima, drenagem da via, velocidade dos trens, época do ano do corte da madeira, tempo e grau de secagem, tipo de fixação do trilho, tipo de lastro e tipo de placa de apoio do trilho. Por fim, a vida útil do dormente de madeira é dependente, também, da resistência ao apodrecimento e desgaste mecânico da peça (BRINA, 1979).

Os dormentes de madeira apresentam vantagens sobre aqueles produzidos com aço e concreto, por possuírem altos valores de resistência específica, necessitar-se de baixo consumo de energia na sua produção, pelo baixo custo inicial e pela possibilidade de uso da matéria-prima de forma sustentada e ambientalmente correta. No entanto, devido a fatores como a suscetibilidade e a deterioração da madeira por bactérias, insetos e fungos, é necessário um controle das espécies de madeira a serem empregadas para estes fins (Ferrovia Verde).

Quando se fala em “madeira verde”, geralmente o seu teor de umidade está acima de 35 a 40%. Assim, a resistência da madeira é condicionada pela substância lenhosa que a compõe e aumenta quase sempre exponencialmente com sua densidade e varia inversamente com o seu teor de umidade (BRINA, 1979). No caso da utilização da madeira, para fabricação de dormentes, têm fundamental importância, as propriedades de compressão paralela e perpendicular (figura 30) às fibras e de dureza de topo (BRINA, 1979).

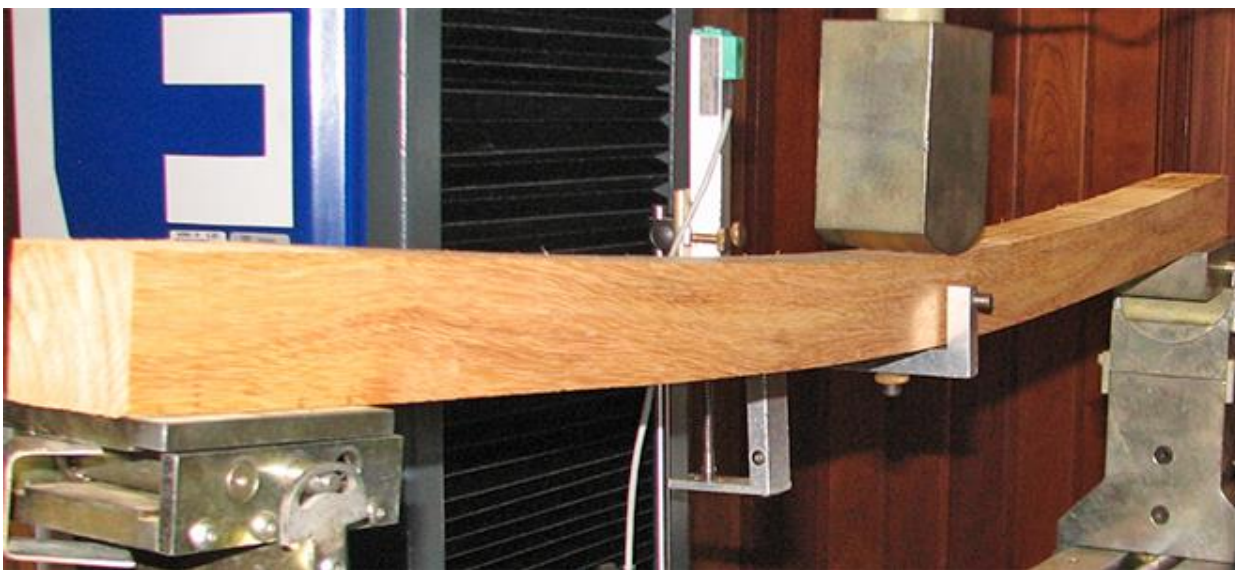


Figura 30 - Exemplo de ensaio de cisalhamento

(Fonte: http://www.esalq.usp.br/boletim/sites/default/files/imagem_noticia/b6_001398-madeira.jpg)

Por ser um material de origem natural (e, dessa forma, de forte parcela orgânica), está fortemente suscetível à ação de agentes degradantes que, em condições extremas, podem levar ao apodrecimento precoce da madeira (ALVES, 2005). Os principais agentes de risco referem-se aos fungos (seres vivos uni ou pluricelulares que, por não serem capazes de sintetizar seu próprio alimento, buscam-no em elementos externos – nesse caso, a madeira do dormente), como demonstrado pela figura 31. Em condições ideais de umidade, temperatura, aeração e disponibilidade de nutrientes, esses seres vivos, por absorção, roubam da madeira vários dos elementos químicos que dão suas principais características (como a celulose, presente nas paredes celulares).

Dessa forma, é fortemente aconselhado que seja feito o tratamento devido à cada peça, antes da mesma ser colocada em uso. Esse preparo nada mais é do que tornar tóxico o elemento que seria consumido pelo fungo como alimento. Então, através de antissépticos de caráter lipossolúvel (creosoto e pentaclorofenol) ou hidrossolúvel, pode-se inviabilizar a proliferação de agentes indesejados (BORGES, 2012).



Figura 31 - Madeira parcialmente deteriorada por mecanismo fúngico

(Fonte: <http://photos1.blogger.com/blogger/4036/2915/1600/DSC01313.jpg>)

Algumas observações (BRINA, 1979) são feitas quanto ao procedimento logístico a ser executado caso o dormente de madeira (figuras 32 e 33) seja o material escolhido para servir de dormente:

Observações:

- as árvores devem ser abatidas no inverno, para que estejam armazenando a menor quantidade de seiva, possível;
- o descascamento e corte devem ser feitos imediatamente após o corte para evitar a “coagulação” da seiva (que dificultaria a absorção do preservativo);
- o processo deve ser aplicado quando o teor de umidade da madeira for menor que 30% (seca ao ar ou em estufa);
- a secagem ao ar exige cerca de 4 a 6 meses de espera;

- devem ser tomadas providências para evitarem-se as rachaduras (instalação de abraçadeiras, grampos, etc.);
- a contaminação por fungos, deve ser evitada com aplicação de conservantes apropriados (pulverizações);



Figura 32 - Dormente de madeira

(Fonte: http://www.prema.com.br/wp-content/uploads/2016/04/Crossties1_848.jpg)

Por fim, podemos elencar algumas das vantagens e desvantagens dos dormentes de madeira (BORGES, 2012), e a tabela 02 traz apresenta um resumo acerca do material:

Vantagens:

- menor custo inicial;
- resistem a grandes cargas por eixo;
- grande flexibilidade;
- rolamento suave;
- elasticidade;

- fácil manuseio;
- bom isolamento elétrico;
- permite instalação nas juntas;
- absorve melhor as consequências de um descarrilamento;
- aceita reutilização em outras bitolas diferentes;
- permite o uso da maioria dos tipos de fixação;
- possibilita a mudança do perfil do trilho sem troca do dormente.

Desvantagens:

- necessita de tratamento;
- é inflamável;
- necessita de grandes áreas e de mobilização de razoável capital, para secagem e tratamento;
- necessita de um política de reflorestamento consistente e constante;
- perda gradativa de resistência ao deslocamento das fixações rígidas;
- maior interferência com manutenção de via;
- vida útil decrescente;
- crescente escassez da matéria prima.



Figura 33 - Peças de dormente de madeira – Eucalipto – estocadas

(Fonte: <http://www.dormentes.biz/Imagens/images/Dormentes%20de%20Eucalipto.jpg>)

DORMENTE DE MADEIRA	
Custo (R\$)/km	1500*
Vida útil (anos)	15*
Custo (R\$)*km/ano	100
Ruído	Baixo (1)
Impacto ambiental	Alto (3)

Tabela 2 - Resumo (dormente de madeira)

(Fonte: Autor - * PINTO, 2012)

Os valores acima foram encontrados em bibliografias citadas nas Referências Bibliográficas. Quanto as características “Ruído” e “Impacto Ambiental”, foi estabelecido um padrão de comparação em 3 níveis: 1 sendo nível baixo, 2 - médio e, por fim, 3 – alto; dessa forma, simplifica-se a comparação final (nos gráficos em “Radar”). Tal medida de análise foi adotada devido à falta de dados experimentais para tais aspectos do material. Supõe-se que, portanto, por tratar-se de um material não metálico, o contato do mesmo com um outro feito de metal (como as rodas e trilhos, por exemplo) não causará ruídos expressivos.

3.3.2 Dormente em aço

Reduz em 20% a demanda de peças por quilômetro e permite a reciclagem, porém, por ser um material leve, prejudica a estabilidade da via (PACHA, 2013). O perfil metálico necessita de um investimento maior, no entanto por distribuir melhor as tensões, pode-se diminuir a altura do lastro (BRINA, 1979). Um limitante da sua utilização é a elevada emissão de poluição sonora (ruído), quando da passagem de veículos.

Os dormentes de aço (figura 35) consistem, basicamente, em uma chapa laminada em formato de “U” invertido (como se fosse uma capa), ligeiramente curvada nas extremidades. O dormente feito com esse material metálico é mais leve do que o de madeira e concreto, por exemplo, o que lhe garante maior facilidade no manuseio e assentamento. Não é, contudo, aconselhável quando da passagem (já prevista em projeto) de cargas extremamente pesadas (BRINA, 1979). A tabela 03 apresenta um resumo acerca do material.

Segundo Brina (1979), “o dormente de aço apresenta maior rigidez e fixação do trilho mais difícil. Esta fixação, feita geralmente por intermédio de parafusos e castanhas, tende ao afrouxamento, necessitando constante manutenção. Os furos, para passagem dos parafusos, tendem a enfraquecer o dormente, originando fissuras que, ao se estenderem, inutilizam a peça. Esse inconveniente pode ser contornado adotando-se um tipo de dormente que tenha a chapa de nervuras soldada na posição de apoio do patim do trilho e fixação do tipo GEO (figura 34). É um dormente mais caro e apresenta o inconveniente de ser específico para um determinado perfil de trilho, não podendo ser aproveitado, no caso de sua substituição por outro perfil.”

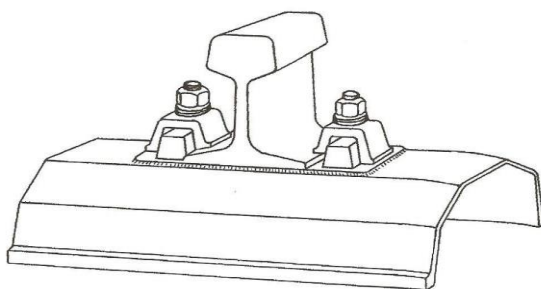


Figura 34 – Fixação tipo GEO, com chapa soldada

(Fonte: BRINA, 1983)



Figura 35 - Dormente em aço

(Fonte: <http://observatoriometroferro.ufsc.br/files/2014/10/dormvale.jpg>)

Ainda segundo Borges (2012), as principais vantagens e desvantagens do referido material para esse fim, são:

Vantagens:

- vida útil elevada;
- maior estabilidade lateral da via;
- possibilidade de emprego de diversos tipos de fixação;
- manutenção rígida da bitola, mesmo em curvas com raios apertados;
- permite utilização em qualquer traçado;
- facilidade de manuseio devido ao pequeno peso;
- permite reutilização, após acidente na linha.

Desvantagens:

- grande propagador de ruídos;
- dificuldade de isolamento elétrico (entre as filas de trilhos);
- alto custo inicial;
- possibilidade de corrosão química e galvânica (oxidação);
- pouca tradição de uso acarreta possível desconhecimento prático.

DORMENTE DE AÇO	
Custo (R\$)/km	2300*
Vida útil (anos)	50*
Custo (R\$)*km/ano	46
Ruído	Médio (2)
Impacto ambiental	Médio (2)

Tabela 3- Resumo (dormente de aço)

*(Fonte: Autor - * PINTO, 2012)*

3.3.3 Dormente em concreto

Material excelente em locais que apresentam escassez de madeira, possui dimensões regulares e seção mais homogênea, comparada a madeira (SEMPREBONE, 2005). Os pontos negativos, por ser um material rígido, são relacionados à fadiga e absorção de vibrações, logo esses itens devem ser levados em conta quando do dimensionamento dos mesmos (BRINA, 1979).



Figura 36 - Dormente em concreto

(Fonte: <http://s288.photobucket.com/user/leolis/media/Linha%204%20Amarela/DSC00296.jpg.html>)

A princípio, os dormentes de concreto (figura 36) foram projetados com o mesmo formato daqueles já criados com a madeira ou seja, com aspecto de bloco monolítico (como o da figura 36, acima). Contudo, verificou-se que, com o passar do tempo e aumento da carga atuante e, conseqüente, do esforço solicitante, várias fissuras apareceram na parte central da peça. Deve-se esse fato, principalmente, ao apoio do concreto nessa região diretamente sobre o lastro (o que não acontece nas laterais, visto que os trilhos impedem uma maior movimentação da peça) (BORGES, 2012).

Então, com o pressuposto de se aprimorar a técnica e qualidades do material e atender sua principal função, desenvolveu-se 3 tipos principais de dormentes de concreto: [1] monobloco protendido (figura 37), [2] misto ou bi-bloco (figuras 38 e 39) e [3] poli-bloco (figuras 40 e 41) (BORGES, 2012).

O primeiro modelo assemelha-se muito ao já citado. Sua principal diferença, contudo, reside no aspecto de ter a característica de ser uma peça protendida (o que garantiu maior resistência aos momentos fletores atuantes na região central do dormente) (BORGES, 2012).

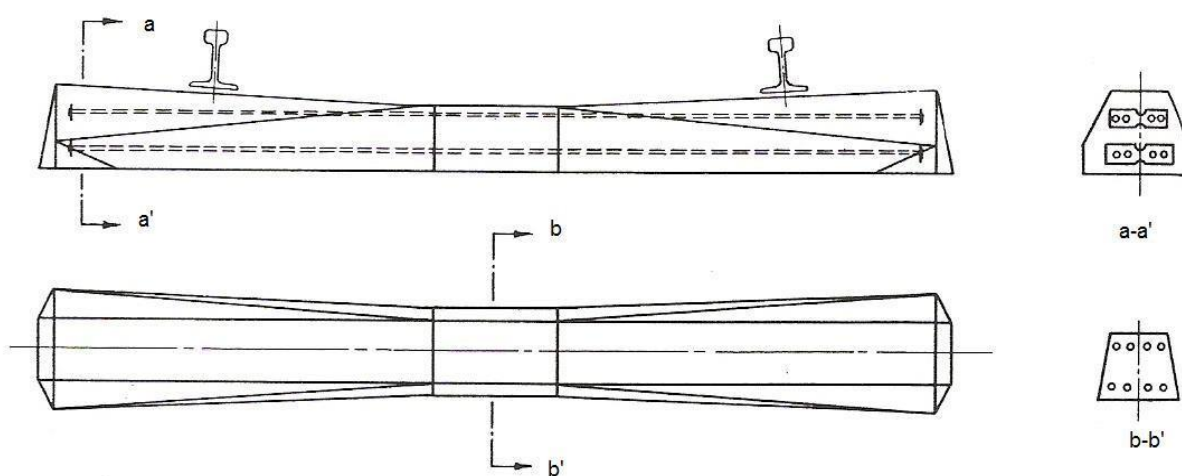


Figura 37 - Dormente em concreto protendido, modelo DYWIDAG (Alemanha)

(Fonte: BRINA, 1983)

Já o segundo modelo mencionado – misto ou bi-bloco – recebe esse nome por ter, aliado as características de resistência à compressão do concreto, também uma parcela dos esforços de tensão resistidas por uma barra de aço (com comprimento semelhante ao do dormente, é ela que capacita a peça a resistir os esforços de tração – dessa forma, não há o surgimento das indesejadas fissuras na região central do elemento, como ocorre quando a peça é composta simplesmente de um bloco de concreto) (BORGES, 2012).

Segundo o projetista do modelo, Roger Soneville, esse tipo de dormente foi o único a suportar tráfego de mais de 100 milhões de toneladas, sem apresentarem qualquer fissura ou sinal de fadiga.

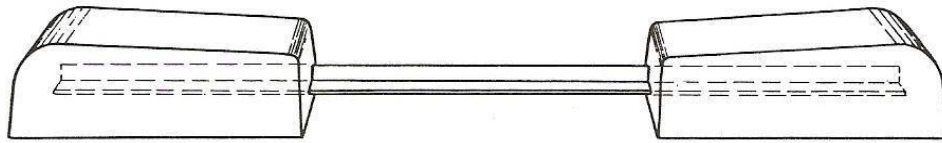


Figura 38 - Dormente RS (projetado por Roger Soneville, França)

(Fonte: BRINA, 1983)

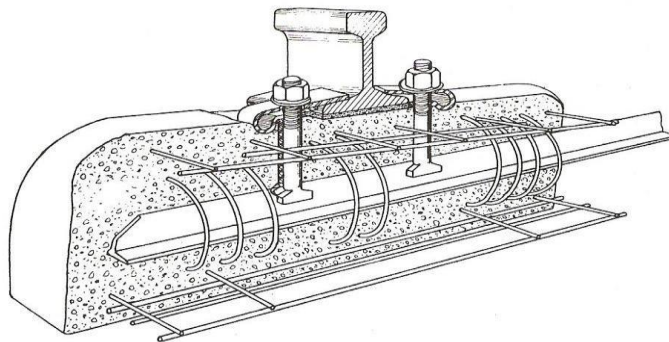


Figura 39 – Seção longitudinal do bloco (com barra de aço mediana em evidência)

(Fonte: BRINA, 1983)

Por fim, outra alternativa criada foi o modelo poli-bloco. Nesse modelo, os dois blocos de concreto armado das extremidades são interligados elasticamente por um terceiro (que atua como se fosse uma viga de concreto). Segundo o inventor, o engenheiro belga Franki-Bagon, esse dormente foi projetado para possuir as mesmas características de resistência e deformabilidade da madeira, aliado à durabilidade do concreto (BORGES, 2012).

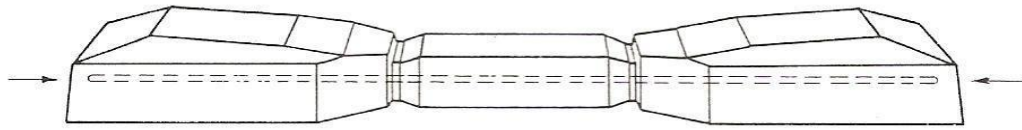


Figura 40 - Dormente poli-bloco

(Fonte: BRINA, 1983)

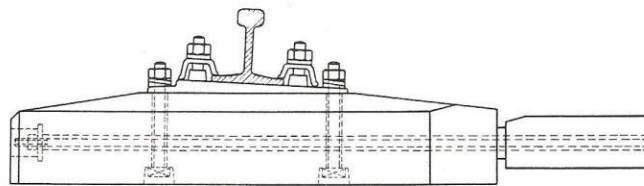


Figura 41 - Dormente poli-bloco com detalhe da fixação dos trilhos à peça

(Fonte: BRINA, 1983)

Com as características principais tendo sido explanadas acima, podemos elencar as principais vantagens e desvantagens do referido material quanto a sua utilização como dormentes (BORGES, 2012). Ao passo em que a tabela 04 faz uma comparação entre os dormentes de madeira e concreto, a tabela 05 mostra as características do último material.

- Concreto Monobloco

Vantagens:

- vida útil prevista é elevada;
- confere grande estabilidade à via;
- invulnerabilidade ao fogo;
- invulnerabilidade a insetos e fungos;
- possibilidade de fabricação próximo ao local de uso;
- possibilidade de produção ilimitada;
- manutenção rígida da bitola;
- facilidade de controle de qualidade de fabricação;

- facilidade de inspeção;
- menor taxa de aplicação, por km (menor quantidade por km);
- admite diversas opções de fixações elásticas de trilhos.

Desvantagens:

- alto custo do investimento inicial;
- dificuldade de manuseio devido ao peso;
- maior destruição, em caso de descarrilamento;
- insuficiência de dados sobre vida útil;
- não pode ser aplicado em juntas de trilhos;
- exige maior cuidado na distribuição do lastro, para evitar apoio na parte central;
- exige maior cuidado na socaria , para não danificar bordas;
- exige boa infra-estrutura;
- não permite aproveitamento com cargas acima das projetadas;
- necessita maior volume de lastro.

- Concreto Bi-bloco

Vantagens:

- vida útil prevista é elevada;
- confere grande estabilidade à via;
- invulnerabilidade ao fogo;
- invulnerabilidade a insetos e fungos;
- possibilidade de fabricação próximo ao local de uso;
- facilidade de controle de qualidade de fabricação;
- facilidade de inspeção;
- relativa facilidade de manuseio, por ter menor peso;
- maior possibilidade de reaproveitamento após acidentes na via.

Desvantagens:

- alto custo do investimento inicial;
- fixações RN e S-75 não resistem bem a esforços laterais elevados;
- não suporta impacto nas juntas;
- insuficiência de dados sobre vida útil;
- não pode ser aplicado em juntas de trilhos;
- não permite utilização em AMVs, cruzamentos e pontes;
- exige maior cuidado na socaria , para não danificar bordas;
- exige boa infra-estrutura;
- maior vulnerabilidade em caso de acidentes;
- necessita maior volume de lastro;
- não permite aproveitamento com cargas acima das projetadas.

Conforme tabela abaixo, nota-se também que há certa diferença entre a quantidade de dormentes necessários (comparativo entre madeira e concreto).

Uso de dormentes por km de ferrovia (bitola de 1,60m).

Tipo de dormente	Madeira	Concreto
Dormentes por quilômetro	1.852	1.667

Tabela 4 – Comparativo entre quantidade de dormentes

(Fonte: SALES, 2009)

Credita-se essa diferença principalmente à maior resistência do concreto quanto aos esforços solicitantes.

DORMENTE DE CONCRETO	
Custo (R\$)/km	2480*
Vida útil (anos)	50*
Custo (R\$)*km/ano	49,6
Ruído	Baixo (1)
Impacto ambiental	Médio (2)

Tabela 5 - Resumo (dormente de concreto)

(Fonte: Autor - * PINTO, 2012)

3.3.4 Dormente em plástico

Possui a durabilidade de um dormente de aço e a leveza de um de madeira, porém seu custo é elevado quando comparado ao de outros materiais (PACHA, 2013). Esse material possui um elevado potencial, principalmente por suas questões ambientais. O maior desafio é como tornar economicamente viável essa alternativa. Atualmente, em países do hemisfério norte, o dormente de plástico (figura 42) tem alcançado grande uso na construção de pontes (Lankhorst Mouldings).



Figura 42 - Dormente em plástico em Uberaba

(Fonte: http://www.jmonline.com.br/uploads/noticia/98873_1.jpg)

A grande vantagem dos dormentes de plástico está no material utilizado para sua fabricação (figuras 43 e 44): 85% é material reciclado e os outros 15% são resinas que proporcionam as características mecânicas ao dormente (PINTO, 2012).

De acordo com Faria (2006), seriam necessárias 800 árvores para fabricar o número de dormentes de madeira para uma extensão de 1.600m em comparação a dois milhões de embalagens plásticas e oito milhões de sacolas plásticas. A tabela 06 explicita as características do plástico.

Como principais características, temos (BORGES, 2012):

Vantagens:

- resistência à umidade, apodrecimento, ataque de insetos e fungos;
- feito em sua maioria com material reciclável;
- vida útil de aproximadamente 40 anos.

Desvantagens:

- alto custo inicial (apesar de ser fabricado com plástico de reciclagem, o valor agregado ao material continua sendo elevado no Brasil);
- trincas e fraturas na zona de pregação;
- excessiva variação de bitolas quando da elevada amplitude térmica à qual o material é exposto;
- fraturas na região central.



Figura 43 - Material de polipropileno reciclado

(Fonte: <http://meioambiente.culturamix.com/blog/wp-content/uploads/2010/08/211.jpg>)



Figura 44 - Dormente de plástico estocado em Belo Horizonte (MG)

(Fonte: <http://infraestruturaurbana.pini.com.br/solucoes-tecnicas/Transporte/imagens/i442684.jpg>)

DORMENTE DE PLÁSTICO	
Custo (R\$)/km	3000*
Vida útil (anos)	40*
Custo (R\$)*km/ano	75
Ruído	Baixo (1)
Impacto ambiental	Baixo (1)

Tabela 6 - Resumo (dormente de plástico)

(Fonte: Autor - * PINTO, 2012)

3.3.5 Superestrutura em laje armada

O “Embedded Rail System” (ERS), mostrado nas figuras 45 e 46, é usado desde 1976 na Holanda, onde um projeto piloto foi construído em uma linha de tráfego pesado, com velocidades até 160km/h (OLINGER, 2014). O sistema chamado de Edilon usa “Corkelast” (mistura de cortiça com poliuretano aliado ao concreto armado), que oferece suporte contínuo para os trilhos instalados em valas no concreto. A experiência com o ERS foi positiva e, em 1999 outro teste foi executado em um trecho de 3km, também na Holanda (OLINGER, 2014).

Outro sistema de ERS é o “Balfour Beatty Embedded Rail System” (BBERS), desenvolvido no fim dos anos 90 com o objetivo de criar um sistema de trilho embutido de longa durabilidade e baixa manutenção. Essa versão do sistema foi desenvolvida no início dos anos 2000, instalada na Espanha em 2002 e no Reino Unido em 2003 (OLINGER, 2014).

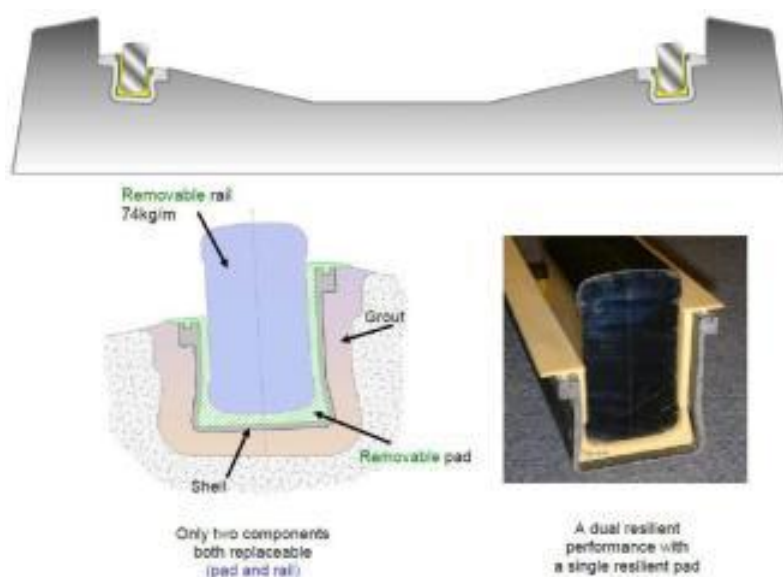


Figura 45 – Exemplo de slab-track

(Fonte: OLINGER, 2014)



Figura 46 – Ferrovia em laje de concreto armado

(Fonte: OLINGER, 2014)

A pista laje de montagem não é possível em grandes aterros, uma vez que o assentamento do mesmo provoca a ruptura de placas (OLINGER, 2014).

Assim, com o uso da laje para controlar velocidades mais elevadas, pressões menores transmitidos à plataforma, maiores cargas por eixo, peso mais leve da superestrutura e custos de manutenção menores são alcançados. Uma das desvantagens, contudo, é que a superestrutura em *slab-track* é consideravelmente mais ruidosa do que outras (VÍA EM PLACA). Enquanto o custo de construção de pista de laje é muito alta, menores custos de manutenção são alcançados (ESVELD, 1999).

Quanto a execução, um exemplo prático é o do sistema Rheda 2000 (sistema no qual travessas bi-bloco são concretados dentro de uma laje armada e apoiado em uma massa de concreto). Este sistema tem sido melhorado por outros, tais como GETRAC. O sistema Rheda 2000 foi implantado pela primeira vez em 1972, na Alemanha (RAIL ONE, 2011).

A quantidade de reforço na laje de concreto é longitudinal e transversal (VÍA EM PLACA). As figuras 47 e 48 mostram parte do equipamento e processo, respectivamente, requeridos para a execução do *slab-track*.



Figura 47 – Nivelamento Gantry

(Fonte: <https://construblogspain.wordpress.com/2014/02/11/via-en-placa/>)



Figura 48 – Dormente de concreto bi-bloco sobre superestrutura em laje

(Fonte: <https://construblogspain.wordpress.com/2014/02/11/via-en-placa/>)

Quanto as características principais (tabela 07), temos:

Vantagens:

- alta resistência e durabilidade;
- pode ser usado em parceria com dormente bi-bloco de concreto;
- a laje pode conter outros materiais, como borracha.

Desvantagens:

- alto custo inicial;

- mão de obra especializada (difícil execução);
- tempo relativamente alto de execução.

LAJE	
Custo (R\$)/km	3500*
Vida útil (anos)	60*
Custo (R\$)*km/ano	59
Ruído	Baixo (1)
Impacto ambiental	Médio (2)

Tabela 7 - Resumo (dormente em laje)

*(Fonte: Autor - * OLINGER, 2014)*

3.2 Gráficos polares e comentários

Como método comparativo simples entre os tipos de materiais discutidos acima, elaborar-se-á uma análise da seguinte maneira:

Material 1	Material 2
Madeira	Aço
	Concreto
	Plástico
	Laje
Aço	Concreto
	Plástico
	Laje
Concreto	Plástico
	Laje
Plástico	Laje

Tabela 8 – Esquema de comparações 1

(Fonte: Autor)

Logo, 10 comparações ($C_{5,2}$) serão feitas (tabela 08), com os materiais sendo analisados 2 a 2 (madeira/aço, madeira/concreto, madeira/plástico, madeira/laje, aço/concreto, aço/plástico, aço/laje, concreto/plástico, concreto/laje e plástico/laje). Dessa forma, tem-se a capacidade de visualizar as características dos referidos materiais mais minuciosamente.

Além das comparações supracitadas, uma última análise será feita (afim de comparar todos os materiais supracitados), tendo-se como base uma das características apenas (tabela 09). Dessa forma, 5 são os gráficos elaborados, conforme tabela explicativa abaixo:

Característica analisada	Materiais
Custo (R\$)/km	Todos
Vida útil (anos)	Todos
Custo (R\$)*km/ano	Todos
Ruído	Todos
Impacto ambiental	Todos

Tabela 9 – Esquema de comparações II

(Fonte: Autor)

Dessa forma, torna-se mais rápido comparar cada um dos materiais quanto as características já citadas e tem-se, portanto, uma visão mais holística a respeito da pesquisa realizada.

Vale ressaltar que, quanto aos parâmetros “Ruído” e “Impacto Ambiental”, a análise foi mais subjetiva (leia-se: após leitura de vários textos que trouxeram questões a respeito do assunto, o autor do presente trabalho optou por uma categorização entre 3 níveis – como já explanado acima, no final da seção “Dormentes de madeira”). Pela dificuldade de se encontrar na literatura valores confiáveis que abrangessem todos os materiais analisados (como a escala dB para ruído e emissão de CO₂ para impacto ambiental), convencionou-se classificar tais quesitos como já especificado.

Quando da montagem dos gráficos, percebeu-se melhora visual e maior facilidade de compreensão dos resultados se adotada outra escala para os índices “Ruído” e “Impacto Ambiental”. Dessa forma, tem-se: baixo/1 sendo substituído por 25, médio/2 por 50 e, finalmente, alto/3 por 75.

As comparações e seus comentários pertinentes são as seguintes:

COMPARAÇÃO 01 – MADEIRA x AÇO

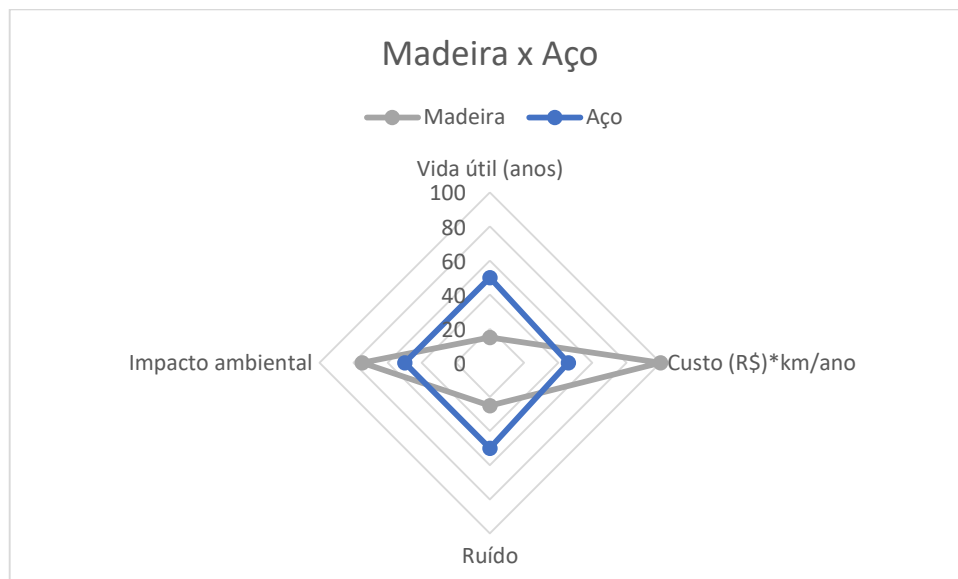


Gráfico 1 - Comparação entre madeira e aço

(Fonte: Autor)

Característica	Material	
	Madeira	Aço
Vida útil (anos)	15	50
Custo (R\$)*km/ano	100	46
Ruído	25	50
Impacto ambiental	75	50

Tabela 10 – Comparação 01

(Fonte: Autor)

Comentários: nota-se como os dois materiais possuem vantagens/desvantagens antagônicas (fortemente evidenciadas pelo gráfico acima). Ao passo em que a madeira produz maior impacto ambiental e possui custo*km/ano mais elevado, ela gera substancialmente menos ruído (sendo, dessa forma, possivelmente mais aconselhável para locais mais próximos de centros urbanos). Ressalta-se que a vida útil da madeira é menor, principalmente pelos fatores já citados anteriormente, como ataque de fungos e outros parasitas. Além disso, a sugestão da escolha da madeira cabe se, e somente se, a

ela forem aplicadas as devidas formas de melhoramento do material (principalmente se próximo de centros urbanos – locais onde a poluição aérea tende a ser mais elevada).

COMPARAÇÃO 02 – MADEIRA x CONCRETO

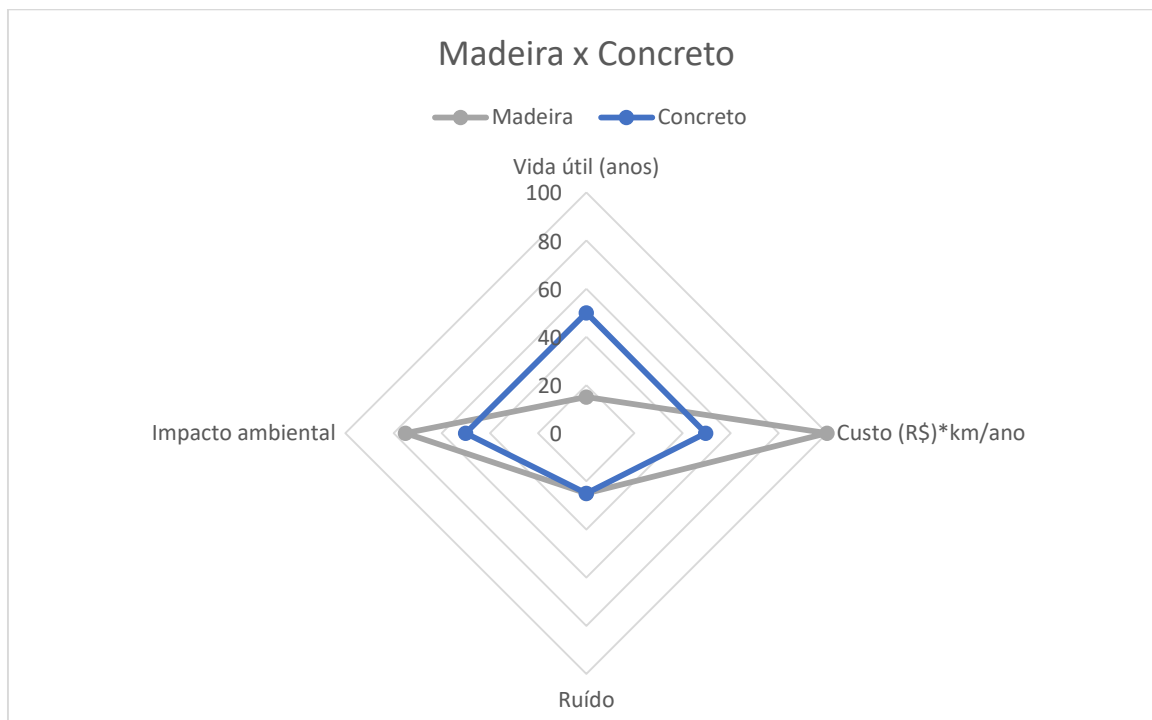


Gráfico 2 - Comparação entre madeira e concreto

(Fonte: Autor)

Característica	Material	
	Madeira	Concreto
Vida útil (anos)	15	50
Custo (R\$)*km/ano	100	49,6
Ruído	25	25
Impacto ambiental	75	50

Tabela 11 – Comparação 02

(Fonte: Autor)

Comentários: enquanto havia a problemática do ruído na comparação 01 (madeira x aço), percebe-se que, agora, os dois materiais analisados estão na mesma faixa de emissão sonora. Uma das problemáticas apresentadas pelo concreto refere-se ao descarte de material fragmentado/danificado: sendo de difícil biodegradação, aconselha-se um

acompanhamento constante a respeito da integridade das peças em uso. Nessa comparação, percebe-se ligeira vantagem do concreto quando comparado com a madeira.

COMPARAÇÃO 03 – MADEIRA x PLÁSTICO

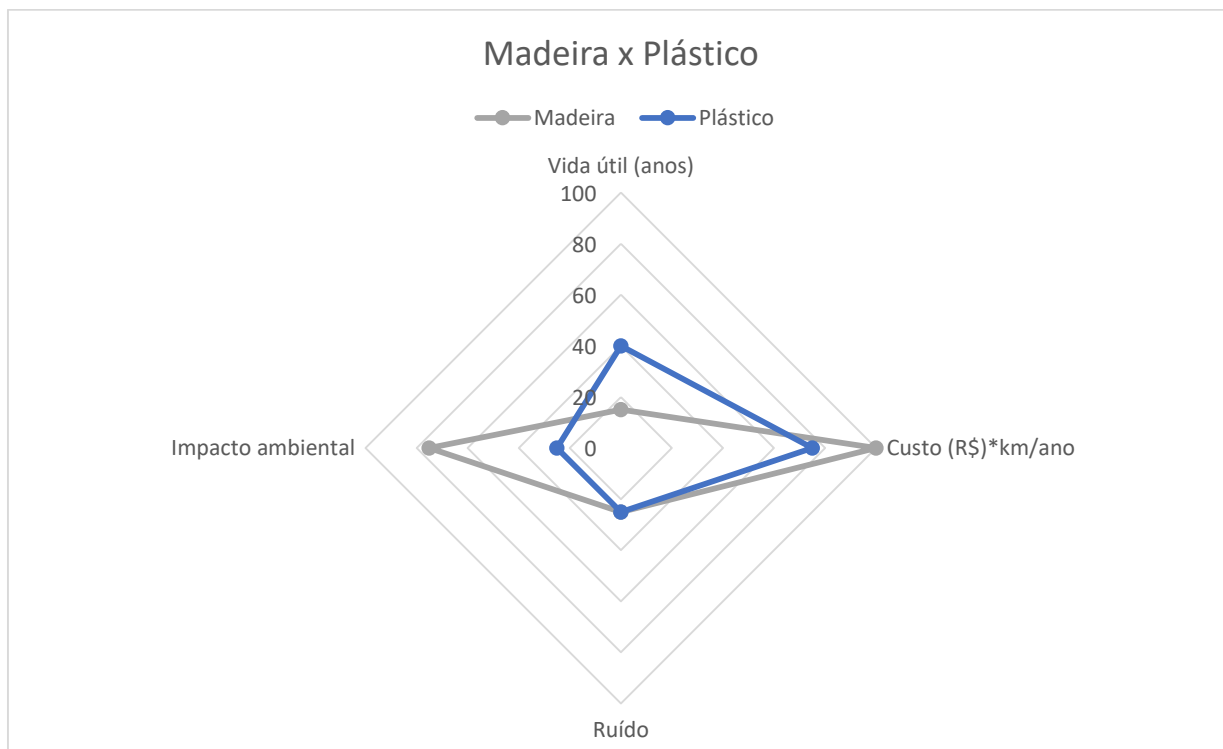


Gráfico 3 - Comparação entre madeira e plástico

(Fonte: Autor)

Característica	Material	
	Madeira	Plástico
Vida útil (anos)	15	40
Custo (R\$)*km/ano	100	75
Ruído	25	25
Impacto ambiental	75	25

Tabela 12 – Comparação 03

(Fonte: Autor)

Comentários: a análise aqui torna-se mais interessante. Ao passo em que o ruído não apresenta diferenças consideráveis entre os dois materiais (vale lembrar que ambos, quando em contato com materiais ruidosos, tendem a absorver maior quantidade de ondas sonoras do que de refleti-las), é prudente ressaltar que o custo do plástico é quase tão

elevado quanto ao da madeira. Contudo, isso deve-se principalmente por 2 fatores: a baixa vida-útil da madeira e o elevado preço de materiais plásticos, acarretados principalmente pela tecnologia necessária (para essa análise, utilizou-se o Thermoplastic). Quanto ao impacto ambiental gerado, é claro que o segundo material analisado é mais “eco-friendly” do que o primeiro.

COMPARAÇÃO 04 – MADEIRA x LAJE

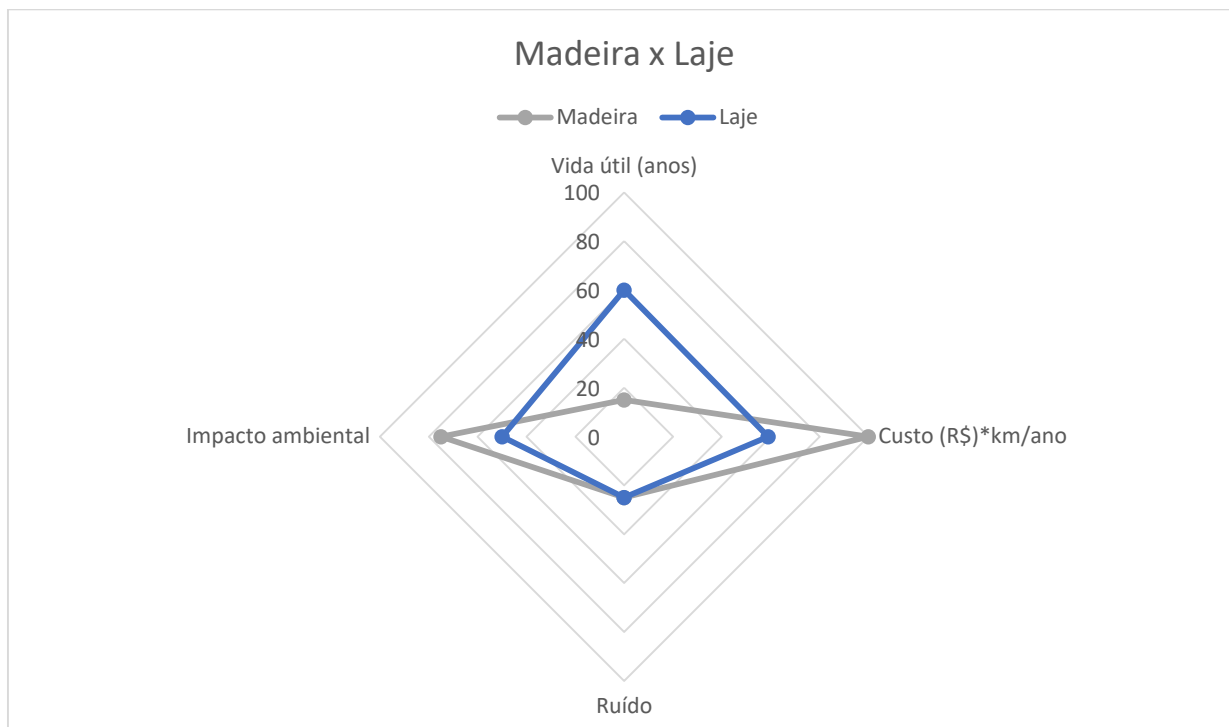


Gráfico 4 - Comparação entre madeira e laje

(Fonte: Autor)

Característica	Material	
	Madeira	Laje
Vida útil (anos)	15	60
Custo (R\$)*km/ano	100	59
Ruído	25	25
Impacto ambiental	75	50

Tabela 13 – Comparação 04

(Fonte: Autor)

Comentários: novamente, torna-se claro que, dada a vida útil do superestrutura executada em laje ser muito maior do que quando do uso de dormentes de madeira, o alto custo inicial daquela dilui-se no decorrer dos anos. Faz-se importante também salientar o motivo da escolha do valor médio/2-50 para a classificação do quesito “Impacto

Ambiental” do material que faz uso de concreto: várias são as pesquisas que demonstram que materiais recicláveis, como a borracha de pneus, por exemplo, podem ser usados juntamente com o concreto. Caso contrário, mais prudente seria classificar esse quesito com alto/3-75 (principalmente devido aos problemas de descarte).

COMPARAÇÃO 05 – AÇO x CONCRETO

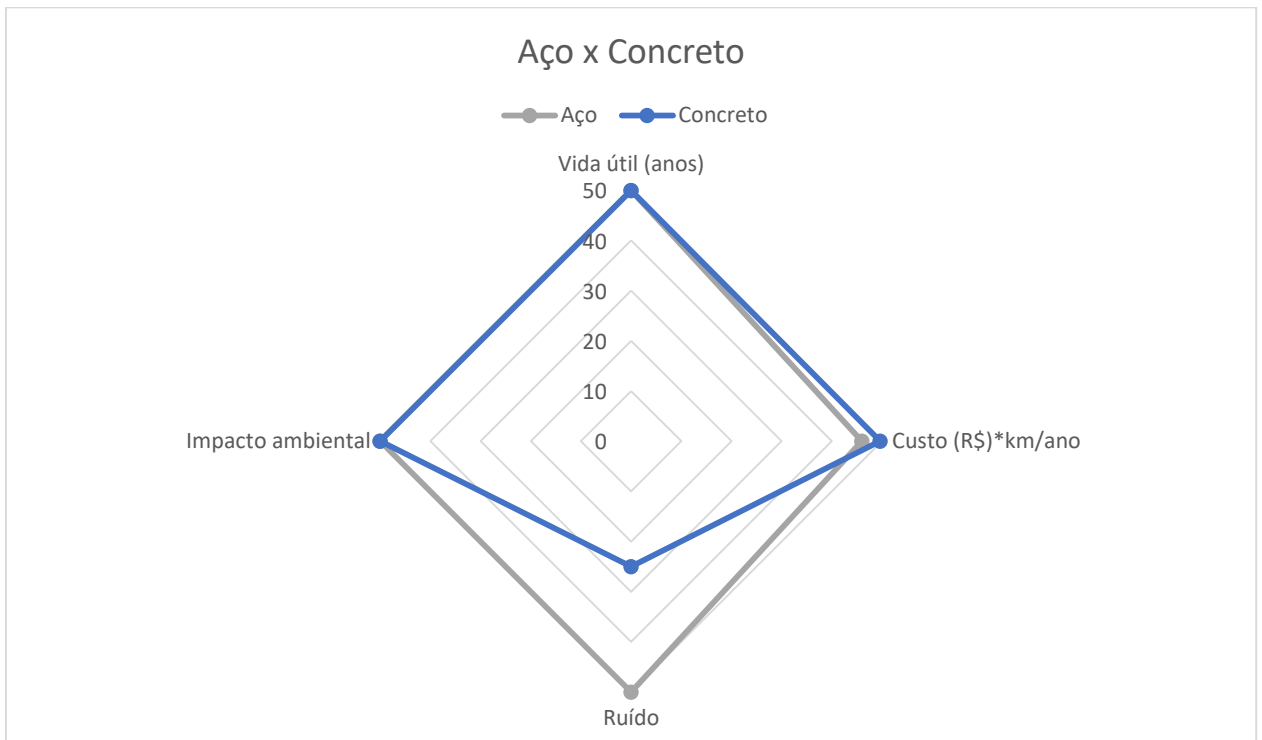


Gráfico 5 - Comparação entre aço e concreto

(Fonte: Autor)

Característica	Material	
	Aço	Concreto
Vida útil (anos)	50	50
Custo (R\$)*km/ano	46	49,6
Ruído	50	25
Impacto ambiental	50	50

Tabela 14 – Comparação 05

(Fonte: Autor)

Comentários: há quase uma sobreposição entre os valores dos materiais analisados, contudo, nota-se uma ligeira vantagem do concreto quanto a emissão de ruídos.

COMPARAÇÃO 06 – AÇO x PLÁSTICO



Gráfico 6 - Comparação entre aço e plástico

(Fonte: Autor)

Característica	Material	
	Aço	Plástico
Vida útil (anos)	50	40
Custo (R\$)*km/ano	46	75
Ruído	50	25
Impacto ambiental	50	25

Tabela 15 – Comparação 06

(Fonte: Autor)

Comentários: entre o aço e o plástico (nesse caso específico, o Thermoplastic), constata-se certa desvantagem deste em relação àquele quanto ao custo. Vários são os fatores que

explicam tal fenômeno, como: a vida útil do aço é 20% superior a do plástico (o que “dilui” o alto investimento inicial num maior período de tempo de atividade) e, novamente, o preço a se pagar pela alta tecnologia na obtenção de peças fabricadas com polímeros. O impacto ambiental causado é evidentemente menor quando da utilização de materiais plásticos, majoritariamente devido ao fato de poder ser usado materiais recicláveis de diferentes compostos.

COMPARAÇÃO 07 – AÇO x LAJE

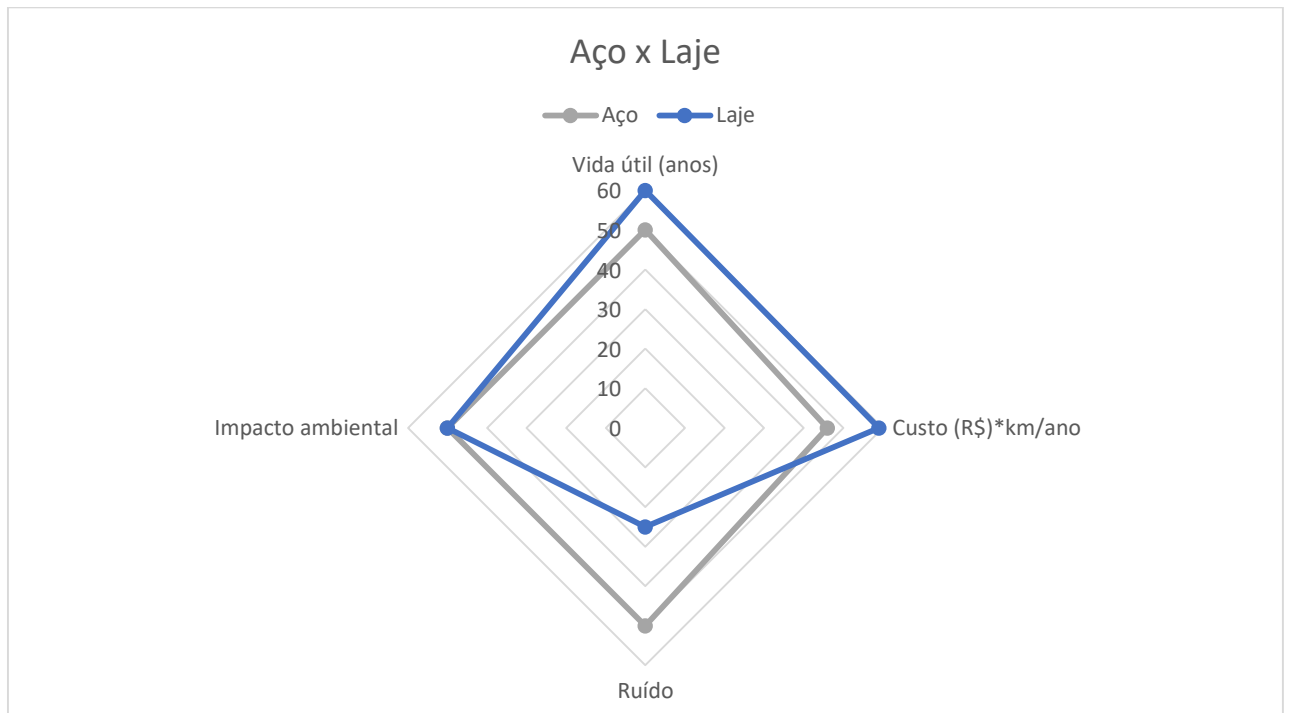


Gráfico 7 - Comparação entre aço e laje

(Fonte: Autor)

Característica	Material	
	Aço	Laje
Vida útil (anos)	50	60
Custo (R\$)*km/ano	46	59
Ruído	50	25
Impacto ambiental	50	50

Tabela 16 – Comparação 07

(Fonte: Autor)

Comentários: dessa vez há certa “equivalência” entre os materiais aço e laje. Percebe-se certa vantagem da laje quanto a vida útil e emissão sonora. Em contrapartida, o aço sobressai-se satisfatoriamente quando analisada a característica custo*km/ano. Quanto ao impacto ambiental, não há muita variação (mais uma vez devido ao fato de poder ser empregado materiais recicláveis quando da montagem das superestruturas em laje).

COMPARAÇÃO 08 – CONCRETO x PLÁSTICO

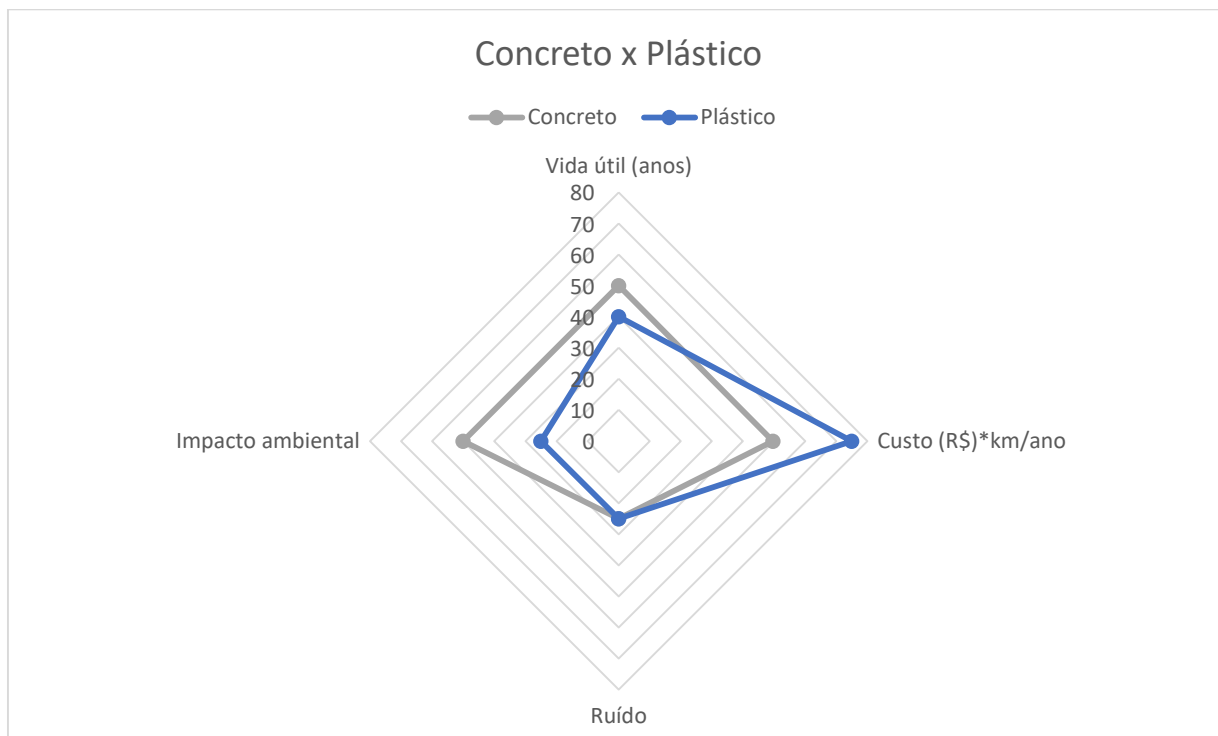


Gráfico 8 - Comparação entre concreto e plástico

(Fonte: Autor)

Característica	Material	
	Concreto	Plástico
Vida útil (anos)	50	40
Custo (R\$)*km/ano	49,6	75
Ruído	25	25
Impacto ambiental	50	25

Tabela 17 – Comparação 08

(Fonte: Autor)

Comentários: as anotações pertinentes são semelhantes aquelas da comparação n. 06, entre os materiais aço e plástico.

COMPARAÇÃO 09 – CONCRETO x LAJE

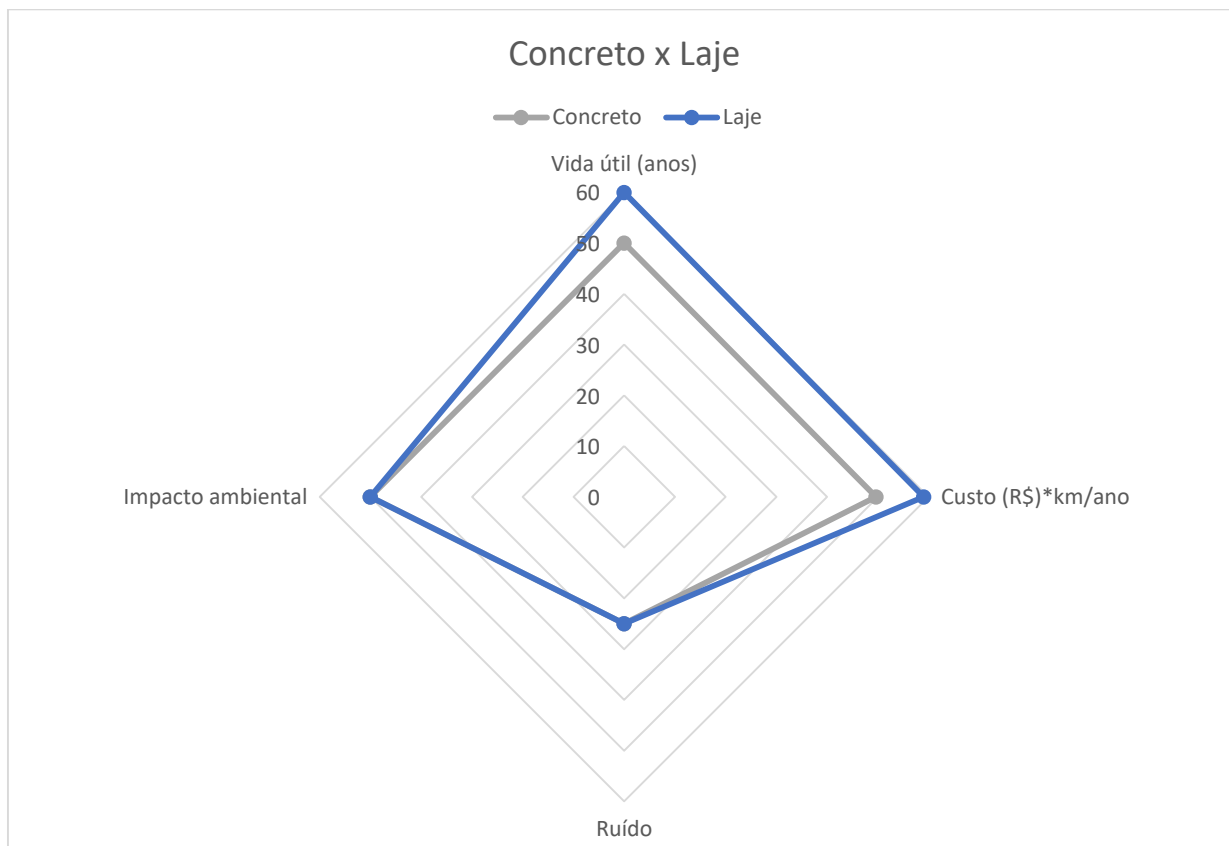


Gráfico 9 - Comparação entre concreto e laje

(Fonte: Autor)

Característica	Material	
	Concreto	Laje
Vida útil (anos)	50	60
Custo (R\$)*km/ano	49,6	59
Ruído	25	25
Impacto ambiental	50	50

Tabela 18 – Comparação 09

(Fonte: Autor)

Comentários: novamente, há quase uma sobreposição entre os gráficos figurados acima (com tímida vantagem da superestrutura em laje, quanto ao tempo de vida útil).

COMPARAÇÃO 10 – PLÁSTICO x LAJE

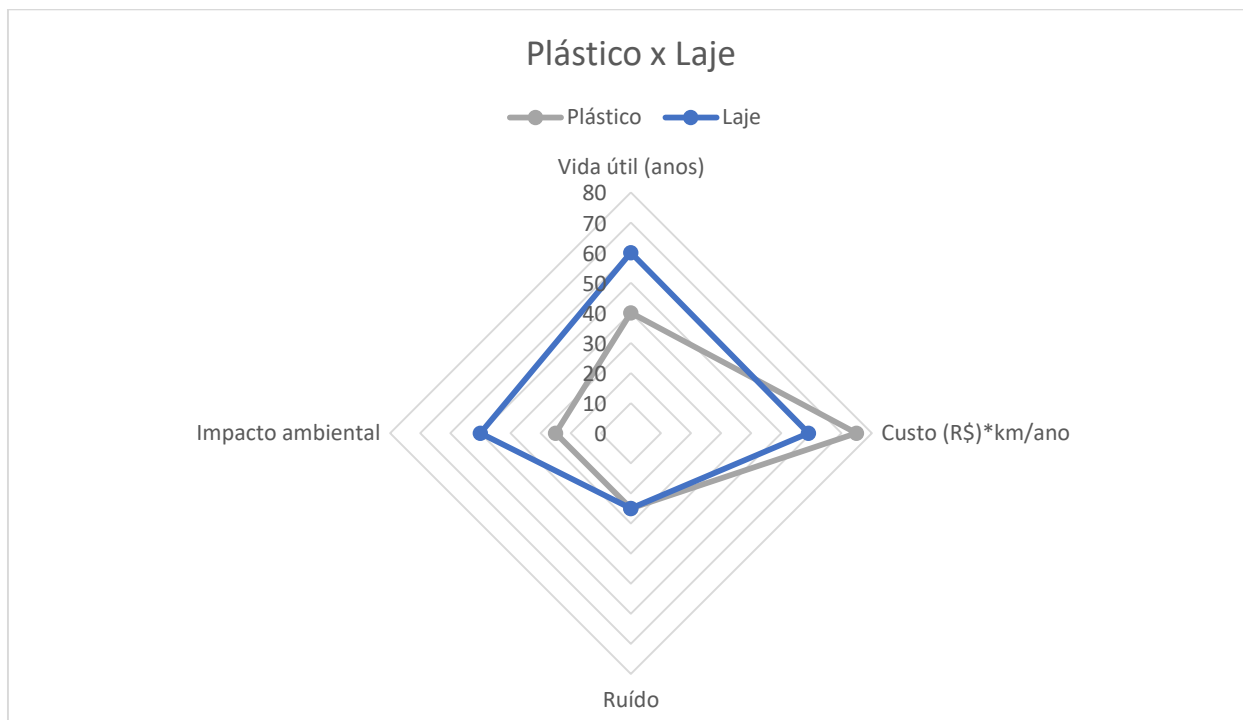


Gráfico 10 - Comparação entre plástico e laje

(Fonte: Autor)

Característica	Material	
	Plástico	Laje
Vida útil (anos)	40	60
Custo (R\$)*km/ano	75	59
Ruído	25	25
Impacto ambiental	25	50

Tabela 19 – Comparação 10

(Fonte: Autor)

Comentários: ao passo em que o plástico gera menos impacto ambiental, a superestrutura construída em laje (*slab-track*) oferece maior tempo de vida-útil e, dessa forma, diminuto custo.

Os próximos 4 gráficos analisam cada característica separadamente, comparando ela aos 5 elementos simultaneamente.

COMPARAÇÃO 11 – VIDA ÚTIL (ANOS)

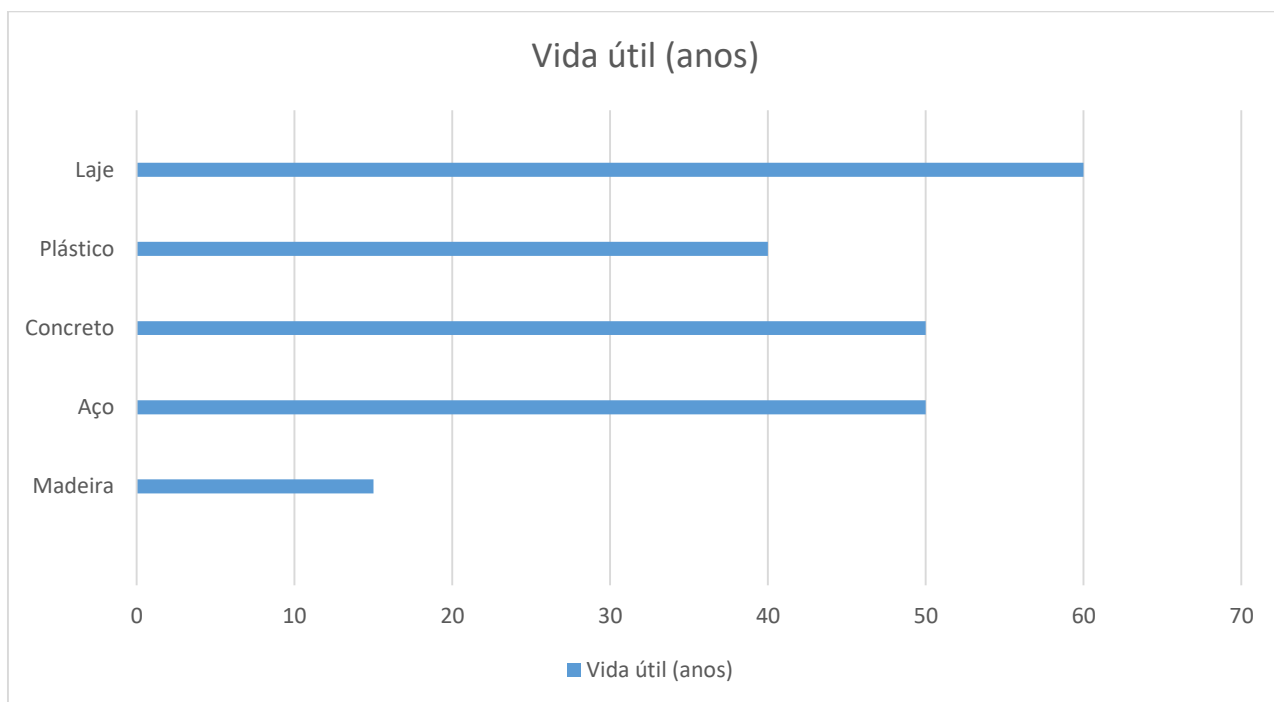


Gráfico 11 - Comparação dos materiais quanto a vida útil

(Fonte: Autor)

Característica	Material				
	Madeira	Aço	Concreto	Plástico	Laje
Vida útil (anos)	15	50	50	40	60

Tabela 20 – Comparação 11

(Fonte: Autor)

Comentários: a madeira apresenta vida útil muito inferior aos demais materiais.

COMPARAÇÃO 12 – CUSTO (R\$)*KM/ANO

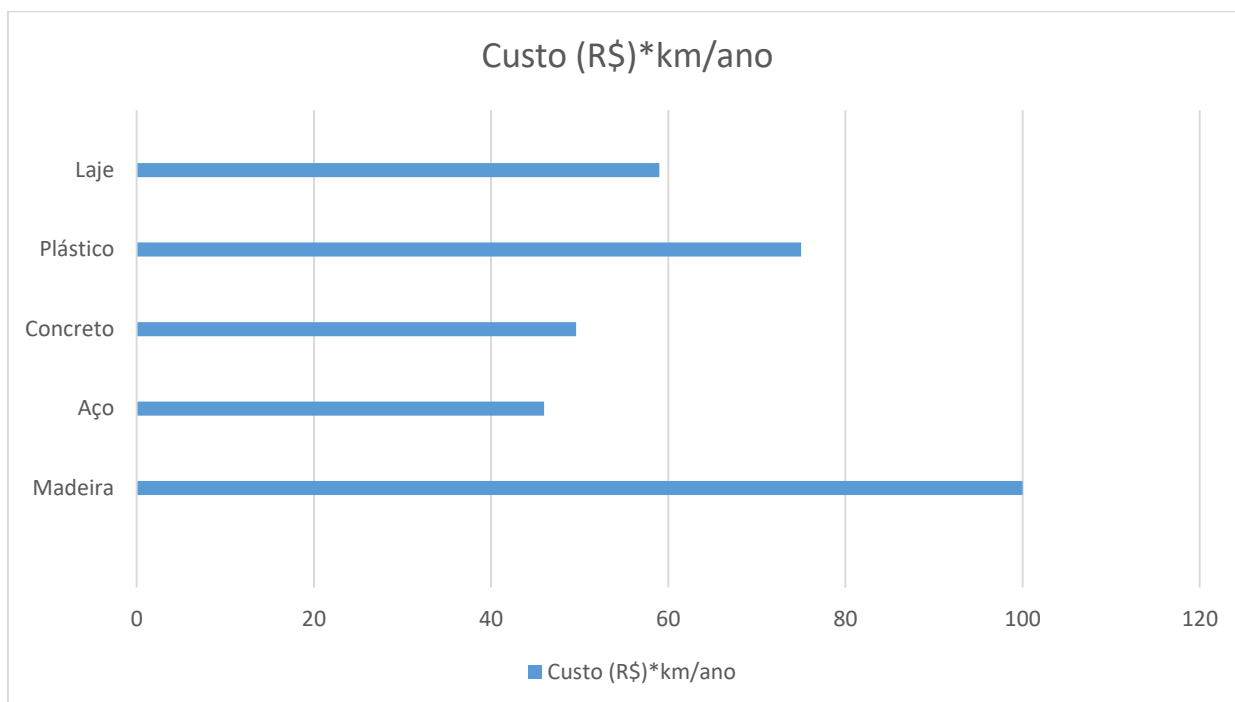


Gráfico 12 - Comparação dos materiais quanto ao custo

(Fonte: Autor)

Característica	Material				
	Madeira	Aço	Concreto	Plástico	Laje
Custo (R\$)*km/ano	100	46	49,6	75	59

Tabela 21 – Comparação 12

(Fonte: Autor)

Comentários: novamente, a madeira sobressai-se como sendo o material inferior dentre todos os comparados (por apresentar curto período de vida útil, o elevado custo*km/ano faz-se presente).

COMPARAÇÃO 13 – RUÍDO

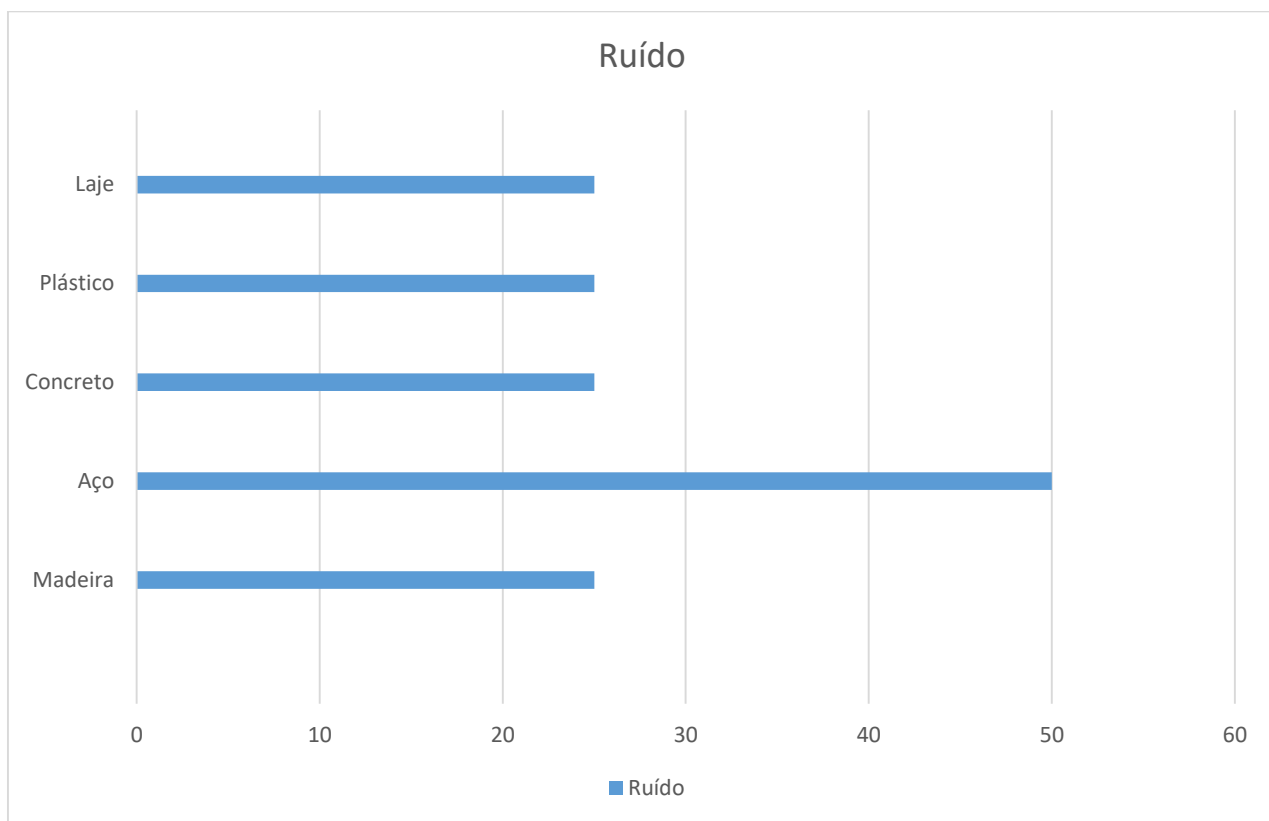


Gráfico 13 - Comparação dos materiais quanto ao ruído

(Fonte: Autor)

Característica	Material				
	Madeira	Aço	Concreto	Plástico	Laje
Ruído	25	50	25	25	25

Tabela 22 – Comparação 13

(Fonte: Autor)

Comentários: não há grande variação quanto a emissão de ruído. Ressalta-se que o estudo aqui realizado não objetivou analisar a real emissão de ruído (em dB, por exemplo) de cada tipo de dormente nos materiais discutidos, e a categorização foi completamente subjetiva e baseada apenas em leituras e análises das fontes.

COMPARAÇÃO 14 – IMPACTO AMBIENTAL

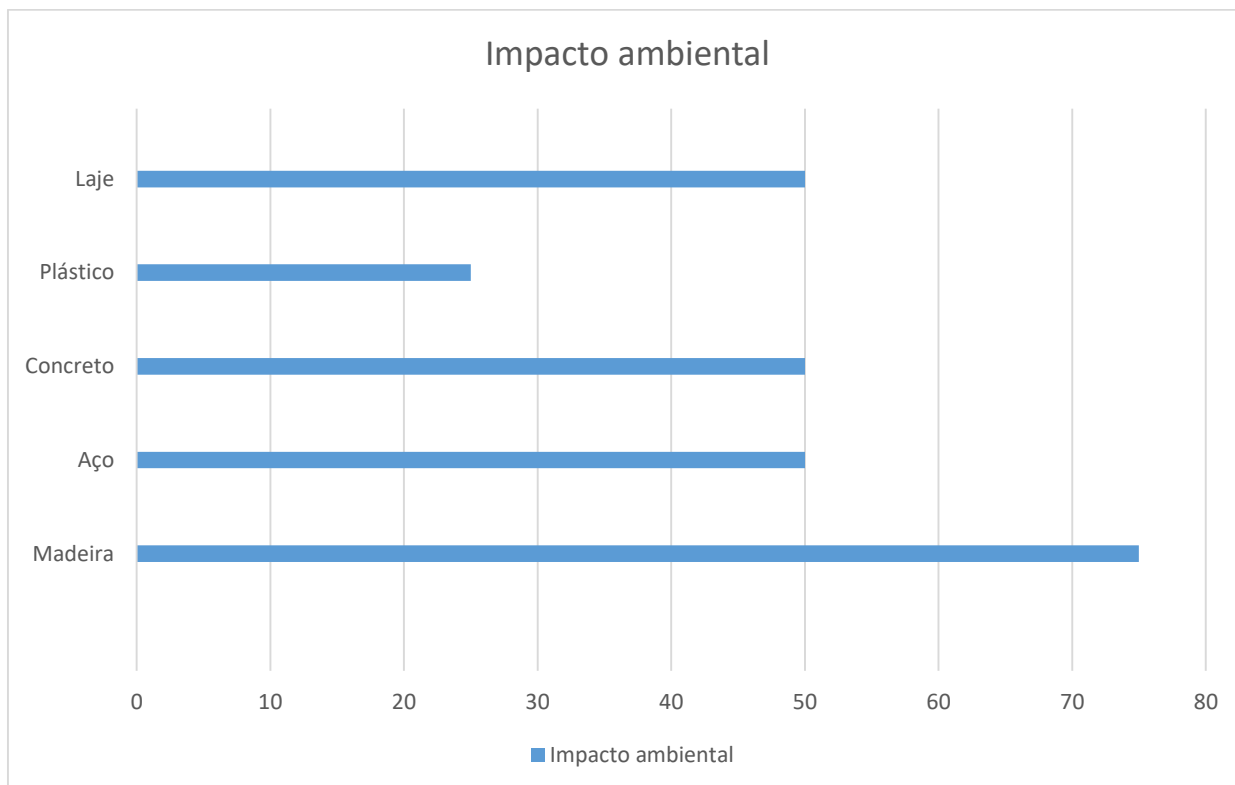


Gráfico 14 - Comparação dos materiais quanto ao impacto ambiental

(Fonte: Autor)

	Material				
Característica	Madeira	Aço	Concreto	Plástico	Laje
Impacto ambiental	75	50	50	25	50

Tabela 23 – Comparação 14

(Fonte: Autor)

Comentários: vantagem evidente do plástico (principalmente por poder ser produzido com material 100% reciclado) e desvantagem da madeira (lembra-se que a plantação de espécies de árvores como eucalipto exigem certo tratamento do solo e, não raro, desmatamento da mata original). Ressalta-se que o estudo aqui realizado não objetivou analisar a real emissão de CO₂ para a fabricação de cada unidade de dormente (tal análise demandaria muitos outros fatores de comparação), e a categorização foi completamente subjetiva e baseada apenas em leituras e análises das fontes.

4. CONCLUSÕES

O trabalho acima estabeleceu-se como uma teia repleta de conexões, na qual a extremidade de um ramo (aqui, de informação) serviu para dar sequência ao início de outro – como numa tecido. No caso específico, o início repleto de informações históricas e geopolíticas serviu como um informe superficial e, ao mesmo tempo, abrangente, a respeito da trajetória dos trilhos ferroviários ao redor do mundo.

Notadamente, vários problemas do Brasil atual tiveram origem quando do momento de priorização de algo (desde qual dívida pagar primeiro até, evidentemente, em qual forma de transporte deve-se investir mais). E, como é normal na história do nosso país, várias dessas decisões foram meros reflexos de interesses externos – interesses esses que, infelizmente, pertenciam a pessoas que de nada entendiam ou se importavam com a dinâmica interna do país.

Aliando-se essas informações às já apresentadas, percebe-se como várias problemáticas que tangem a questão do transporte público nacional são oriundas dessas más e equivocadas escolhas tomadas há décadas. O investimento no setor rodoviário não só gera hoje a necessidade de várias concessões como também serviu como inibidor do modal ferroviário.

Talvez seja devido a esses fatores já apresentados que se torna, para nós brasileiros, difícil imaginar uma ferrovia operando majestosamente sobre *slab-track* ou dormentes feitos a partir de materiais 100% reciclados. Ademais, a interrupção na expansão da malha Brasil afora demonstra, sem sombra de dúvida, que perdemos uma enorme oportunidade de desenvolvimento.

Evidentemente, a maioria dos países desenvolvidos faz enorme uso do sistema ferroviário de transporte, tanto para mercadorias quanto para passageiros (a exemplo dos EUA e, claro, da maioria dos países Europeus). Ficamos, novamente, na retaguarda. No entanto, notícias de anos recentes jogam uma luz sobre o assunto: retornou-se, por mais que timidamente, a expandir a malha ferroviária nacional.

Feitas as devidas análises acima (como proposto nos objetivos do trabalho), várias são as informações possíveis de serem inferidas:

- Cada material admite suas vantagens/desvantagens específicas;

- A escolha de um material em detrimento do outro deve levar em conta várias características, e não somente custo e/ou vida útil (por exemplo);
- Não há um material “superior” (ou “inferior”) aos outros, ou seja, em nenhum dos casos de comparação um material apresentou vantagem/desvantagem completa em relação ao outro analisado;

Isso exposto, após análise dos gráficos obtidos, bem como de leituras realizadas acerca do assunto, o autor concluiu também que:

- As características analisadas no presente trabalho não devem ser as únicas a serem levadas em consideração no momento de escolha de um material para dormente ferroviário. Várias outras, como tempo de execução e disponibilidade de materiais próximos ao local da construção deve ser analisados. A logística não foi um quesito abordado nesse relatório, contudo, ressalta-se que é de primordial importância em qualquer projeto de engenharia;
- Devido ao índice de execução de dormentes com alguns materiais (como de materiais plásticos recicláveis e em *slab-track*) ainda ser baixo no Brasil, aponta-se que tais tecnologias apresentam preço inicial mais elevado. Espera-se, todavia, que o tempo traga maiores experiências e descobertas sobre o assunto e permita, conseqüentemente, que tais métodos tornem-se cada vez mais acessíveis financeiramente.

Por fim, vê-se o presente trabalho e tudo que nele foi exposto como tendo sido de enorme enriquecimento, tanto cultural quanto técnico-científico. Durante a graduação do curso de Engenharia Civil da presente Universidade, muitas vezes não somos confrontados com disciplinas específicas (por mais que a cadeira “Ferrovias” seja ofertada como matéria opcional na grade curricular, o autor, por motivos maiores, infelizmente não pôde assistir às aulas); portanto, a chance de elaboração de um Trabalho de Conclusão de Curso com temas semelhantes a esse possibilitam, por mais que superficialmente, que o aluno tenha contato com mais uma área de conhecimento.

Essas são, portanto, as conclusões pertinentes encontradas pelo autor.

5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BORGES NETO, Carlos. **Manual Didático de Ferrovias**. Universidade Federal do Paraná, 2012.

BRINA, Helvécio Lapertosa. **Estradas de Ferro I**. Editora LTC – Rio de Janeiro, 1979.

CNT. **Pesquisa CNT de Ferrovias 2015**. Brasília, 2015. Acesso em abril de 2017.

DAVID, E. G. **Transporte Intermodal Rodoferroviário: o Estado da Arte**. Rio de Janeiro, 1998.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE
INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES -
DNIT. **Histórico das ferrovias brasileiras**. Disponível em: <
www.dnit.gov.br/menu/ferrovias/historico>. Acesso em abril de 2017.

IPEA. Comunicados do IPEA n° 50: **Transporte Ferroviário de Cargas no Brasil: Gargalos e Perspectivas para o Desenvolvimento Econômico e Regional – Série Eixos do Desenvolvimento Brasileiro**. Brasília, 2010.

RAIL ONE, **Rheda 2000 Ballastless Track System**. Neumarkt, Alemanha, 2011

ALVES, Gleicy Karen Abdon. **Os Dormentes Ferroviários, Seu Tratamento e o Meio Ambiente**. 2015. Trabalho de Conclusão de Curso. Universidade Federal do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro.

SEMPREBONE, Paula da Silva. **Desgastes em trilhos ferroviários – Um estudo teórico.** São Paulo, 2006. Janeiro, 2005.

MARZOLA, Gleyson. **Alternativas Viáveis para Substituição da Madeira como Dormente Ferroviário.** São Paulo, 2004.

MACÊDO, Fernanda Bittencourt. **Estudo do Desgaste de Trilhos Ferroviários.** 2009. Trabalho de Conclusão de Curso. Universidade de Juiz de Fora. Minas Gerais.

Infomex. **Modal ferroviário e sua história.** Disponível em: <<http://infomexexterior.blogspot.com.br/2014/03/modal-ferroviario-e-sua-historia-como.html>>. Acesso em abril de 2017.

FIESP. **Federação das Indústrias do Estado de São Paulo.** Disponível em: <<http://www.fiesp.com.br/>>. Acesso em maio de 2017.

PINTO, Priscilla Meritello. **Modelo Técnico-Econômico para escolha de Dormente.** 2012. Trabalho de Conclusão de curso de Pós-Graduação. Instituto Militar de Engenharia. Rio de Janeiro.

Blog **Via en Placa.** Disponível em: <<https://construblogspain.wordpress.com/2014/02/11/via-en-placa/>>. Acesso em maio de 2017.

DOS SANTOS, Luan Pereira. **Comparativo de qualidade, custo-benefício para construção de uma linha ferroviária entre dormentes de eucalipto e concreto em relação a sua vida útil.** 2015. Trabalho de Conclusão de curso de Pós-Graduação. Universidade Tecnológica do Paraná. Ponta Grossa.

ALBUQUERQUE, Samuel Menezes. **Ferrovias: aspectos técnicos de projetos**. São José dos Campos, 2011.

Blog **Ferrovia Verde**. Disponível em:
<<http://ferroviaverde.blogspot.com.br/2012/09/dormentes-de-madeira-e-seus-impactos.html>>. Acesso em maio de 2017.

DNIT. **Especificação técnica de material ETM – 003: DORMENTES**.

UFSC. **Dormentes de aço: uma meta para 2016 na EFVM. Quais são as vantagens?**
Disponível em:
<<http://observatoriometroferro.ufsc.br/2014/10/27/dormentes-de-aco-uma-meta-para-2016-na-efvm-quais-sao-as-vantagens/>>. Acesso em maio de 2017.

ESVELD, Coenraad. **SLAB TRACK: A Competitive Solution**. Holanda, 1999

Lankhorst Mouldings. Disponível em: <<http://www.lankhorstrail.com/en>>. Acesso em maio de 2017.

OLINGER, Marcelo Salle. **Ferrovias em Laje: O Estado da Arte**. 2014. Trabalho de Conclusão de Curso. Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis.

TAMAGUSKO, Tiago Barreto. **Custo da Falta de Padronização das Bitolas Ferroviárias no Brasil**. 2013. Trabalho de Conclusão de Curso. Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis.

Site **FERREOCLUBE**. Disponível em: <<http://www.ferreoclube.com.br/>>. Acesso em maio de 2017.

BERNARDO, Ana Claudia. **Governo de JK e a cultura do carro**. Disponível em: <<http://meuartigo.brasilecola.uol.com.br/historia/uma-pequena-pauta-sobre-cultura-carro-desde-governo-.htm>>. Acesso em maio de 2017.

PACHA. **Dormente de Madeira de Eucalipto Tratado em Autoclave**. Rio de Janeiro, 2013.

RODRIGUES, Paulo Roberto Ambrosio. **Introdução aos Sistemas de Transporte no Brasil e à Logística Internacional** - Edições Aduaneiras Ltda. 2000. São Paulo.

TOPIK, Steven. **A presença do estado na economia política do Brasil de 1889 a 1930**. 1987. Rio de Janeiro: Ed. Record

FLING, Harry M. **Railroads of the United States, Their History and Statistics**. 1868. Philadelphia: John. E. Potter and Co.

ELLIS, Hamilton. **The Pictorial Encyclopedia of Railways**. 1698. The Hamlyn Publishing Group. Londres.