

**CENTRO UNIVERSITÁRIO DO CERRADO
PATROCÍNIO
Graduação em Engenharia Civil**

MÁRIO CAIXETA BORGES

**ESTUDO DA CAPACIDADE DE CARGA POR TRILHO NA FCA – VLI
– TRECHO PATROCÍNIO / ARAXÁ**

**PATROCÍNIO – MG
2018
MÁRIO CAIXETA**

ESTUDO DA CAPACIDADE DE CARGA PRO TRILHO NA FCA – VLI – TRECHO PATROCÍNIO / ARAXÁ

Trabalho de conclusão de curso apresentado como exigência parcial para obtenção do grau de Bacharelado em Engenharia Civil, pelo Centro Universitário do Cerrado Patrocínio.

Orientador: Prof. Dr. Gilberto Fernandes.

**PATROCÍNIO
2018**



Centro Universitário do Cerrado Patrocínio
Curso de Graduação em Engenharia Civil

Trabalho de conclusão de curso intitulado “**Estudo da capacidade de carga por trilho na FCA – VLi – Trecho Patrocínio Araxá**”, de autoria do graduando Mário Caixeta, aprovado pela banca examinadora constituída pelos seguintes professores:

Prof. Dr. Gilberto Fernandes - Orientador

Instituição: UNICERP

Profª.

Instituição: UNICERP

Prof. Dr.

Instituição: UNICERP

Data de aprovação:

Patrocínio, de Julho de 2018

AGRADECIMENTOS

Antes de mais nada, agradeço a Deus, pela oportunidade de ampliar meus conhecimentos acadêmicos, por me dar forças para continuar, e me iluminar nas horas difíceis. Meu guia para vida.

Agradeço aos meus pais, minha base e principais referências. Agradeço a paciência, a luta, os ensinamentos e lições ao longo dos anos. Aos meus irmãos por estarem sempre presentes e me apoiando.

Aos meus professores, que forneceram todo conhecimento necessário à essa formação. Aos meus colegas de classe, que caminharam ao meu lado por toda a trajetória e compartilharam bons momentos e momentos de dificuldade. Em especial ao Professor Doutor Gilberto Fernandes, pelo tempo dedicado.

Aos meus amigos, que estiveram comigo por todos esses anos, sempre me apoiando e dando forças.

RESUMO

Introdução: O Brasil tem uma densidade ferroviária menor que 1%. A Ferrovia Centro Atlântica S.A., concessão da VLi – Valor Logística Integrada, faz parte da malha ferroviária brasileira, escoando cargas do interior do país aos portos. No estudo da via ferroviária em sua composição de infraestrutura e superestrutura, um dos componentes principais é o trilho. É por ele que tem o contato Roda-Trilho e é responsável pela superfície de rolamento para as rodas dos veículos ferroviários, servindo como apoio e guia. Ele recebe todo o impacto e transfere para os dormentes e conseqüentemente para as camadas mais baixas. Dentro os perfis de trilho, o TR 57, componente da Ferrovia Centro Atlântica – FCA, foi o foco dos estudos, juntamente com um estudo bibliográfico da importância e características do trilho, em geral. **Objetivo:** Diante do exposto, essa revisão bibliográfica, juntamente com o estudo de caso da Ferrovia Centro Atlântica, com foco no perfil de trilhos, vem discorrer sobre sua importância na malha ferroviária, suas características, contato roda-trilho e sobre o trilho TR 57, utilizado na via estudada. **Materiais e Métodos:** Para isso foi utilizado de uma revisão bibliográfica em livros e teses publicadas, na área ferroviária, bem como um estudo de caso sobre o trilho TR 57. **Resultados:** Em resenha dos resultados obtidos através dos estudos bibliográficos e da análise do trilho TR 57, constata a importância e seu desgaste em uma via ferroviária, bem como o cuidado com manutenções preventivas. O trilho estudado atende às especificações da via ferroviária FCA de concessão a VLi. **Conclusão:** Neste sentido o trabalho mostra ao final que, o trilho TR 57 cumpre com o papel necessário no tráfego pela FCA e ainda no geral, o trilho exerce um papel fundamental na composição da via férrea, por ser um tráfego pesado, o desgaste e a fadiga dos trilhos ocorrem com frequência, sendo assim, estudos para uma melhor utilização de seu potencial são necessários. Esses estudos são importantes para garantir um tráfego seguro e um custo menor em manutenções da via.

Palavras-chave: Ferrovia, Trilho, Roda-Trilho, TR 57, FCA.

"Ninguém baterá tão forte quanto a vida. Porém, não se trata de quão forte pode bater, se trata de quão forte pode ser atingido e continuar seguindo em frente. É assim que a vitória é conquistada."

Rock Balboa

LISTA DE TABELAS

Figura 1 - Ferrovias atuais e Planejadas pelo PAC..... 12

LISTA DE FIGURAS

Tabela 1 - Comparação entre extinção da malha ferroviária com área territorial entre Países..... 13

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO.....	11
2 OBJETIVOS.....	14
2.1 Objetivo geral	14
2.2 Objetivos específicos	14
3 DESENVOLVIMENTO.....	15
3.1. INTRODUÇÃO	16
3.2. REVISÃO DA LITERATURA	17
3.2.1. Sistema Ferroviário Brasileiro	17
3.2.2. Ferrovia Centro-Atlântica S.A (FCA - VLi).....	19
3.2.3. Superestruturas ferroviárias	19
3.2.4. Sublastro.....	20
3.2.5. Lastro.....	20
3.2.6. Dormentes	21
3.2.7. Trilhos	22
3.2.7.1 Características Geométricas	24
3.2.7.2 Composição e Fabricação	24
3.2.8 Contato Roda-Trilho	25
3.2.9 Coeficiente de Utilidade.....	28
3.2.10 Cisalhamento Máximo Superficial.....	28
3.2.11 ABNT NBR 7590: Trilho Vignole.....	29
3.3 MATERIAIS E MÉTODOS	30
3.4 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	34
3.5 CONCLUSÕES	36
3.6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	37
4. CONSIDERAÇÕES FINAIS E CONCLUSÃO	39
5. REFERÊNCIAS	40
6. ANEXOS.....	42
ANEXO I – MALHAS REGIONAIS E AS CONCESSIONÁRIAS ADQUIRENTES	42
ANEXO II – EVOLUÇÃO INDICADORES DAS FERROVIAS ENTRE 1997 E 2001 ...	42
ANEXO III – EVOLUÇÃO DO TRANSPORTE FERROVIÁRIO DE CARGA.....	43
ANEXO IV – SUPERESTRUTURA DA VIA FÉRREA	43
ANEXO V – IDENTIFICAÇÃO DO TRILHO	43
ANEXO VI – COMPOSIÇÃO QUÍMICA EM PORCENTAGEM PARA AÇO COMUM	44
ANEXO VII – COMPOSIÇÃO QUÍMICA EM PORCENTAGEM PARA O AÇO PREMIUM.....	44
ANEXO VIII – COMPOSIÇÃO QUÍMICA EM PORCENTAGEM PARA O AÇO SUPER PREMIUM.....	44
ANEXO IX – ESPECIFICAÇÕES E CARACTERÍSTICAS DO TRILHO TR 57	45
ANEXO X – RODEIRO (RODAS E EIXO) SOBRE OS TRILHOS.....	46
ANEXO XI – CONTATO ENTRE SÓLIDOS ELÁSTICOS.....	46
ANEXO XII – RELAÇÃO L/V.....	47
ANEXO XIII – GRÁFICO DA RELAÇÃO ENTRE ÂNGULO E ATRITO.....	47
ANEXO XIV – PROPRIEDADES MECÂNICAS DO AÇO.....	48

ANEXO XV – COMPONENTES QUÍMICOS DO AÇO	48
ANEXO XVI – VARIAÇÃO DOS COMPONENTES QUÍMICOS DO AÇO.....	49
ANEXO XVII – TEORES MÁXIMOS DOS ELEMENTOS COMPOSTOS NO AÇO.....	49

1 INTRODUÇÃO

Com uma área de 8,4 milhões de quilômetros quadrados e aproximadamente 29 mil quilômetros de ferrovias, o Brasil tem, em média, densidade de 3,46 quilômetros de trilhos para cada mil quilômetros quadrados. Países de menor área, como Índia, Alemanha e Argentina, possuem relativamente mais trilhos; respectivamente, 63.221, 48.215 e 31.409 km, e também possuem maiores densidades, sendo respectivamente 1,88; 11,49; 1,23 quilômetros de trilhos para cada mil quilômetros quadrados, onde a Alemanha é detentora da maior densidade ferroviária do mundo.

Uma das commodities mais importantes da carteira de exportações do Brasil, o minério de ferro foi um dos produtos que mais aumentaram sua movimentação por trens. Em 2003, os trilhos brasileiros transportaram 203,7 milhões de toneladas de minério, número que subiu para quase 307 milhões em 2007, uma alta de 51%.

No total, as ferrovias brasileiras aumentaram em 20% o transporte de cargas nesse período. Ou seja, as principais ferrovias movimentavam 345 milhões de toneladas em 2003 e por consequência do aumento, o volume transportado foi de 415 milhões já em 2007.

Um dos fatores que podem estar contribuindo ou, no mínimo, inibindo investimentos em extensão ou retificação das linhas é a forma como foi desenhado o atual modelo de concessão. As regras em vigor estabelecem que ao término do prazo do contrato os investimentos realizados pelas concessionárias nas vias retornem à União. De acordo com as regras de concessão, as concessionárias detentoras das malhas, investem em melhorias da malha ferroviária, e também são responsáveis por projetos para sua ampliação. O governo também disponibiliza investimentos para ampliações e novas ferrovias para ligação entre as existentes.

O Programa de Investimento Logístico (PIL), de agosto de 2012, do Governo Federal, inclui vários modais de transporte, inclusive o modal ferroviário. Sendo que para esse setor está previsto um investimento de R\$ 86,4 bilhões, para construção e melhorando de 7,5 mil quilômetros de linhas férreas. O objetivo gira em torno de ampliar a utilização do modal, criando uma malha ferroviária moderna e integrada, buscando acabar com os gargalos logísticos existentes pela falta de integração entre as linhas. O programa contempla um novo modelo de

concessões, pelo prazo de 35 anos, onde os concessionários são gestores e responsáveis pela infraestrutura ferroviárias, sinalização, e controle do tráfego de trens.

Existem porém maneiras para se obter a diminuir de custos no setor, tanto nas áreas ambientais quanto de implantação do projeto em si, é a construção de trechos experimentais instrumentados com o uso de materiais alternativos e desenvolver métodos de dimensionamento modernos calcados na mecânica dos pavimentos. Na mecânica do pavimento ferroviário, estuda-se o desempenho estrutural do sistema em camadas submetidas aos efeitos das cargas de tráfego, analisando-se as tensões, deformações e deslocamentos induzidos nos materiais de construção, conhecidos os seus parâmetros constitutivos (Medina, 1997).

Aliás, há décadas a malha ferroviária brasileira permanece praticamente a mesma. No entanto, através do Plano de Aceleração do Crescimento (PAC), o Governo brasileiro vem trabalhando para ampliar em quase oito mil km as ferrovias nacionais. No total, serão 37 mil km de trilhos até 2020, gerando um aumento de 27% da malha. A previsão é de que serão investidos pelo PAC cerca de R\$ 20,3 bilhões, excluindo o Trem de Alta Velocidade (TAV) que, sozinho, seria responsável por aproximadamente R\$ 34,6 bilhões. A Fig. 01 ilustra os momentos atuais e o futuro após o investimentos previsto pelo PAC.

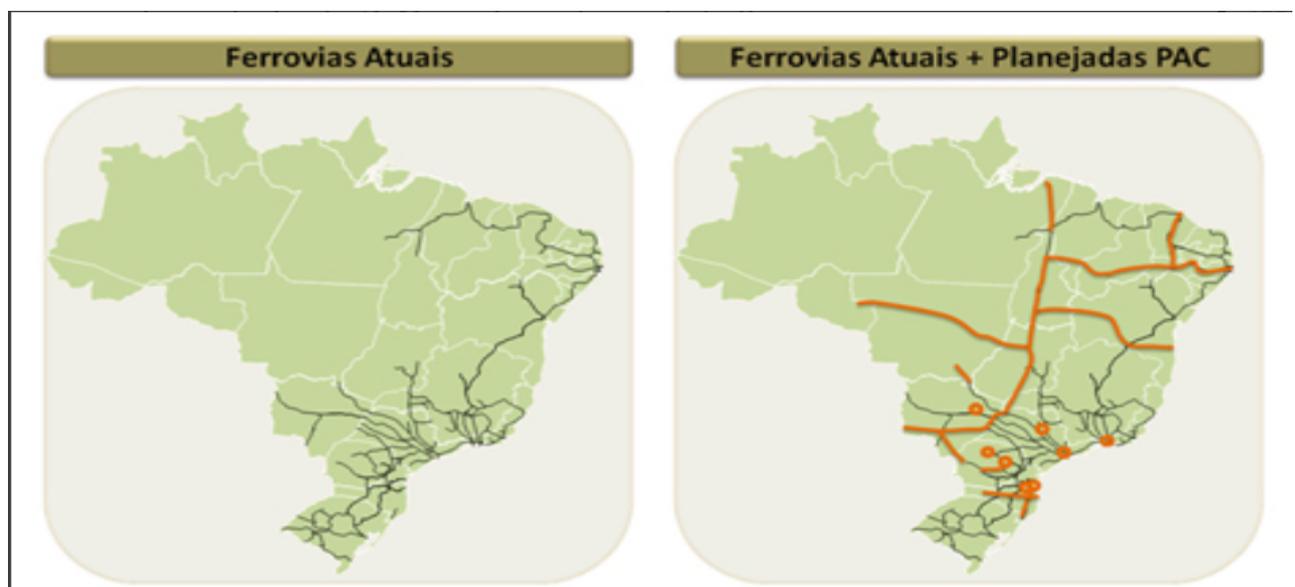


Figura 1 - Ferrovias atuais e Planejadas pelo PAC

Fonte: ANTT e Ministério do Planejamento

Entre os fatores determinantes para a não movimentação da carga por trem, o principal deles, segundo os profissionais de logística brasileiros, é a pouca disponibilidade de rotas. Afinal, a densidade da malha férrea do país é de 3,4 quilômetros de trilho para cada mil quilômetros quadrados de área territorial, muito abaixo da Alemanha, que tem índice de 135,0 por exemplo. Assim pelo fato de o Brasil ter baixa disponibilidade de rotas faz com que poucas empresas utilizem mais de uma ferrovia para o transporte de suas mercadorias. Alguns dos setores mais prejudicados com essa inexistência de malha ferroviária são o Automotivo, Energia, Material de Construção e Telecomunicações. Apesar dos problemas existentes, o crescimento da movimentação mostra que as ferrovias têm um potencial muito grande a ser explorado. Pois, assim como pode ser verificado na Tabela 01, o Brasil tem uma baixa densidade ferroviária, por isso pode receber bastante investimento no setor, a medida que o transporte ferroviário vem sendo cada vez mais utilizado e difundido.

Tabela 1 - Comparação entre extinção da malha ferroviária com área territorial entre Países

País	Sup. Territorial (km ²)	Malha Ferroviária	Densidade Ferroviária (km/1000 km ²)
Brasil	8.511.965	30.550	3,59
Estados Unidos	9.363.123	330.000	35,24
Rússia	22.402.200	148.000	6,61
Canadá	9.976.139	102.700	10,29
Índia	3.287.590	62.000	18,86
China	9.596.961	52.800	5,50
Alemanha	356.755	41.000	114,92
Austrália	7.686.848	40.000	5,20
França	547.026	34.600	63,25
Argentina	2.766.889	34.100	12,32

Fonte : Leeves,1992.

Através da comparação internacional, com 29 mil quilômetros e uma densidade média de 3,5 km de trilhos por mil quilômetros quadrados de área territorial, a malha ferroviária do Brasil não atende a um significativo número de Estados, sendo que cerca de 50% das linhas férreas estão concentradas em São Paulo, Minas Gerais, Rio de Janeiro e Rio Grande do Sul (ILOS, 2012b). Em comparação, a malha dos Estados Unidos é sete vezes mais densa que a brasileira, registrando 24,7 km de via por mil quilômetros quadrados de área territorial e cobrindo praticamente todo o território norte-americano (CIA, 2011). Na China, a situação é parecida com a dos Estados Unidos, e os 8,3 km de via por quilômetro quadrado de área territorial cobrem grande parte do país (NBSC, 2011).

2 OBJETIVOS

2.1 Objetivo geral

O objetivo geral deste trabalho é estudar sobre a importância dos trilhos na malha ferroviária, suas características, e como acontece o contato roda-trilho. Também será analisado as solicitações de cargas de roda do trem tipo, sobre o trilho, TR 57 Premium, da linha FCA – Vli Trecho Patrocínio/Araxá, sabendo o material transportado atualmente e se os trilhos resistiram as cargas das solicitações futuras, com uma possível troca de material transportado, baseado na NBR 7590 – Trilho Vignole, 2012.

2.2 Objetivos específicos

- Apresentar as características dos trilhos em uma linha férrea;
- Contato roda-trilho e desgaste do boleto;
- Apresentar a capacidade de carga atual do trilho, TR 57 Premium, no trecho especificado;
- Apresentar características da via, como os vagões e cargas transportadas pela linha;

3 DESENVOLVIMENTO

ESTUDO DA CAPACIDADE DE CARGA POR TRILHO NA FCA – VLI – TRECHO PATROCÍNIO / ARAXÁ

MÁRIO CAIXETA BORGES¹
DR. GILBERTO FERNANDES²

RESUMO

Introdução: O Brasil tem uma densidade ferroviária menor que 1%. A Ferrovia Centro Atlântica S.A. - FCA, concessão da VLi – Valor Logística Integrada, faz parte da malha ferroviária brasileira, escoando cargas do interior do país aos portos. No estudo da via ferroviária em sua composição de infraestrutura e superestrutura, um dos componentes principais é o trilho. É por ele que tem o contato Roda-Trilho e é responsável pela superfície de rolamento para as rodas dos veículos ferroviários, servindo como apoio e guia. Ele recebe todo o impacto e transfere para os dormentes e conseqüentemente para as camadas inferiores. Dentro os perfis de trilho, o TR 57, componente da FCA, foi o foco dos estudos, juntamente com um estudo bibliográfico da importância e características do trilho, em geral. **Objetivo:** Diante do exposto, essa revisão bibliográfica, juntamente com o estudo de caso da Ferrovia Centro Atlântica, com foco no perfil de trilhos, vem discorrer sobre sua importância na malha ferroviária, suas características, contato roda-trilho e sobre o trilho TR 57, utilizado na via estudada. **Materiais e Métodos:** Para isso foi utilizado de uma revisão bibliográfica em livros e teses publicadas, na área ferroviária, bem como um estudo de caso sobre o trilho TR 57. **Resultados:** Em resenha dos resultados obtidos através dos estudos bibliográficos e da análise do trilho TR 57, constata a importância e seu desgaste em uma via ferroviária, bem como o cuidado com manutenções preventivas. O trilho estudado atende às especificações da via ferroviária FCA de concessão a VLi. **Conclusão:** Neste sentido o trabalho mostra ao final que, o trilho TR 57 cumpre com o papel necessário no tráfego pela FCA e ainda no geral, o trilho exerce um papel fundamental na composição da via férrea, por ser um tráfego pesado, o desgaste e a fadiga dos trilhos ocorrem com frequência, sendo assim, estudos para uma melhor utilização de seu potencial são necessários. Esses estudos são importantes para garantir um tráfego seguro e um custo menor em manutenções da via.

Palavras-chave: Ferrovia, Trilho, Roda-Trilho, TR 57, FCA.

¹ Autor, Graduando em Engenharia Civil UNICERP;

² Orientador, Professor Doutor Gilberto Fernandes;

ABSTRACT

Introduction: Brazil has a density railway less than 1%. The Railroad Centro-Atlântica S. A., the concession of the VLi – Value Logistics Integrated part of the railway network of the Brazilian, making loads of the interior of the country to the ports. In the study of rail in composition of infrastructure and superstructure, one of the main components is the rail. It is by him that has the contact Wheel-Rail and is responsible for the bearing surface for the wheels of railway vehicles, serving as support and guide. It gets all the impact and transfers it to the sleepers and consequently to the lower layers. Within the rail These studies are important to ensure a secure traffic and a lower cost in maintenance of the road. profiles, the all-wheel 57, a component of the Centro-Atlântica Railroad – FCA, has been the focus of studies, along with a literature study of the importance and characteristics of the rail, in general. **Objective:** In view of the above, this literature review, along with the case study of the Centro-Atlântica Railroad, with focus on the rails profile, comes to talk about its importance in the railway network, its characteristics, contact wheel-rail and on the rail TR-57, used in the via studied. **Materials and Methods:** For this it was used a bibliographic review on books and theses published in the railway area, as well as a case study on the rail TR-57. **Results:** In the review of the results obtained through the studies in bibliographic and review of the rail TR-57, notes the importance and your wear and tear on a railroad, as well as the care with preventative maintenance. The rail studied meets the requirements of railway FCA of concession the VLi. **Conclusion:** In this sense the work shows in the end that the rail TR-57 complies with the required paper in traffic by FCA, and in general, the rail exerts a fundamental role in the composition of the railroad, being a heavy traffic, the wear and fatigue of rails occur with frequency, and thus, studies to make better use of their potential are needed. These studies are important to ensure a secure traffic and a lower cost in maintenance of the road.

Keywords: Railroad, Rail, Wheel-Rail, TR 57, FCA.

3.1. INTRODUÇÃO

O módulo ferroviário como meio de escoamento de cargas é bastante difundido em todo o globo, mas mesmo assim, o Brasil não tem esse costume, pois os investimentos em rodovias foram maiores que os investimentos nas ferrovias. Mesmo assim, o país ainda conta com o transporte ferroviário para transporte de carga até os portos.

A densidade ferroviária brasileira não chega a 1%, e não consegue cobrir todos os estados brasileiros, além de possuir bitolas entre diferentes vias, o que dificulta a conexão entre as vias existente. Por não possuir um padrão, os investimentos no setor sempre foram precários. Mas com a necessidade de aumentar cada vez mais o transporte de cargas no país, vários incentivos e projetos governamentais foram desenvolvidos, como o PAC – Programa de Aceleração do Crescimento.

Como um dos principais componentes da superestrutura ferroviária, o trilho desempenha o papel de guiar e apoiar o veículo locomotor na via ferroviária. Por ter o papel de contato direto com a roda do trem – tipo que está passando, sendo o responsável por receber e transmitir as cargas e tensões aos demais componentes da estrutura, é de suma importância os estudos relativos as suas características e sobre o papel o qual desempenha.

Com isso em pensamento o presente estudo veio para mostrar as principais características do perfil de um trilho, quais os modelos, suas composições, as tensões que atuam diretamente e indiretamente nele.

Levando-se em consideração tais aspectos este trabalho teve como objetivo avaliar a capacidade de uso do trilho na composição da via férrea, bem como suas principais características e sua grande importância pra o deslocamento de cargas, sendo o mesmo o responsável direto pelo contato da roda com a linha ferroviária, recebendo e distribuindo toda a carga para os demais componentes. Ainda, o presente trabalho estuda a viabilidade do uso do trilho TR 57, na FCA – VLi, se a escolha do perfil do trilho foi correta no dimensionamento da via.

3.2. REVISÃO DA LITERATURA

3.2.1. Sistema Ferroviário Brasileiro

Após 14 anos do início do processo de privatização, o setor ferroviário brasileiro encontra-se em mais um momento de transformação. Insatisfeitos com as dificuldades enfrentadas no transporte ferroviário de carga, as grandes empresas concessionárias estão articulando entre si, e com a Agência Nacional de Transportes Terrestres (ANTT), para discutir o marco regulatório dos atuais contratos de concessão ferroviária. A baixa densidade das linhas férreas, a falta de integração intra e intermodal, a enorme carência de investimento, o elevado índice de acidentes e a baixa velocidade média impactavam negativamente o desempenho financeiro e operacional das novas concessionárias. Uma das alternativas encontradas para solucionar estes problemas devido ao longo período de sucateamento do setor ferroviário no Brasil, foi a privatização da malha. Conforme pode – se observar no ANEXO I, representando as malhas por regiões e suas referentes adquirentes.

A privatização das ferrovias brasileiras no final do século XX contribuiu significativamente para a melhoria do setor de transportes no Brasil. O expressivo aumento do volume transportado, a redução dos acidentes e as distâncias médias percorridas permitiram um

aumento importante do faturamento das empresas, o que resultou em um volume de investimentos elevado.

Mas antes da privatização, a malha ferroviária brasileira estava estagnada, sem investimentos por parte do governo, pois os custos são altos, pouco utilizada, com baixa densidade de linhas férreas, pois a falta de integração intra e intermodal dificulta o transporte das cargas do interior do país para o escoamento nos portos. Todos esses pontos negativos impactavam de forma a prejudicar o desempenho operacional e financeiro do modal. A medida que o projeto de concessão das ferrovias à iniciativa privada foi ocorrendo, houve um processo de recuperação tecnológica, operacional, organizacional e comercial, levando a uma rápida e significativa melhoria nos indicadores de desempenho da malha brasileira. Em um primeiro momento com exceção da velocidade média comercial e da distância média, que foram muito pouco alteradas entre 1997 e 2001 (de 21,1 km/h para 22 km/h e de 518 km para 531 km, respectivamente). Mas notou-se que os investimentos mais que dobraram nesse período, representando o maior crescimento de todos, saltando de R\$ 350 milhões em 1997 para R\$ 810 milhões em 2001, correspondendo a uma evolução de 131% em quatro anos (AET/GEIPOT, 2000 em CASTRO, 2002; ANTT, 2006; FLEURY, 2007). Como mostra o ANEXO II da evolução dos indicadores das ferrovias entre 1997 e 2001, o resultado da adoção deste modelo, aplicado ao sistema ferroviário brasileiro

Devido ao aumento de capital injetado no setor, ocorreu um ganho operacional significativo. Nos quatro primeiros anos após a privatização, houve um aumento de 17% no volume médio transportado, saindo de 138 bilhões de TKU em 1997 para 162 bilhões de TKU em 2001, onde TKU significa toneladas por quilômetro útil, ou seja representa o somatório do produto das toneladas transportadas pela malha pela distância de transporte da própria malha. O número de acidentes também foi reduzido, indo dos 80 acidentes por milhão de trem/km (1997) para 49,1 acidentes/milhão de trem/km em 2001 (ANTT, 2006; FLEURY, 2007). Além da melhoria operacional, houve também um aumento significativo no produto médio do transporte ferroviário.

A evolução da malha ferroviária brasileira foi ainda mais intensa a partir de 2001. Praticamente todos os indicadores apresentaram melhoria substancial no período entre 2001 e 2010, principalmente aqueles que dizem respeito aos resultados das concessionárias. Por outro lado, os índices que avaliam a atratividade e qualidade das ferrovias – como o produto médio, a velocidade média comercial e o número de acidentes, evoluíram a um ritmo menor. Assim

como ilustra o gráfico representado no ANEXO III, onde percebe-se um aumento no transporte de cargas no geral.

Apesar dos problemas atuais, a privatização da malha ferroviária brasileira trouxe melhorias para o transporte de cargas. Os investimentos cresceram de forma substancial, impulsionando a produção do modal e o faturamento das concessionárias. Entretanto, na hora de investir, as concessionárias deram prioridade em buscar economias de escala e deixaram em segundo plano a busca pela qualidade do serviço ofertado ao cliente.

Assim percebemos que a um longo caminho no que se trata da malha Ferroviária Brasileira, porém é um caminho que ó traz benefícios, onde se permitir redução de custos para as empresas e beneficiar a movimentação de cargas no Brasil. Um trem com 77 vagões substitui aproximadamente 216 carretas na movimentação de cargas, desafogando as já conturbadas rodovias que cruzam as grandes cidades.

3.2.2. Ferrovia Centro-Atlântica S.A (FCA - VLi)

Após o processo de privatização da Rede Ferroviária Federal S.A (RFFSA), a Ferrovia Centro-Atlântica S.A efetuou a capitalização da malha Centro-Leste, em 14 de junho de 1996. Em 2011 a Diretoria de Logística de Cargas Gerais da Vale, criou a Vli (Valor da Logística Integrada), incorporando a FCA.

O corredor Centro-Leste de ferrovias, abrange os estados de Minas Gerais e Espírito Santo, sendo o complexo portuário de Tubarão (ES), seu ponto de escoamento final. Tem como principal foco nos cargamentos siderúrgicos e de grãos. Onde o trecho Patrocínio / Araxá tem um alto escoamento de cargas agrícolas.

A bitola predominante na via é a bitola métrica, de 1,00 m de largura, com extensão de 7.897 km, mas ainda tem uma parte da via com bitola de 1,60 m e 1,00 m, com 169 km de extensão apenas. Totalizando 8.066 km de malha ferroviária, de acordo com a ANTT – Agência Nacional de Transportes Terrestres.

3.2.3. Superestruturas ferroviárias

A via férrea é composta por trilhos, dormentes e fixações, que ficam dispostos na via permanente, esta mesmo que é dividida entre infra e superestrutura. As duas principais solicitações que o material rodante provoca na via, é uma força vertical, que corresponde ao peso do veículo repassado a via pelas suas rodas através do contato roda-trilho e uma força longitudinal aos trilhos, que corresponde ao esforço de tração das rodas motrizes que mantém o veículo em movimento e o esforço de frenagem.

De acordo com Fernandes (2005, p 36) infraestrutura de uma ferrovia é “conjunto de obras destinadas a formar a plataforma da estrada, que consiste de todas as obras civis situadas abaixo do greide de terraplenagem.”, e ainda como Fernandes (2005, p 36) superestrutura de uma ferrovia é “conjunto de elementos que formam a via permanente e que constitui a superfície de apoio e ao mesmo tempo de rolamento para os veículos ferroviários. A estrutura recebe os impactos diretos das cargas rodantes e compreende: lastro, dormentes, trilhos, bitola, acessórios de trilhos (de ligação e de fixação, que pode ser rígida ou elástica), talas de junção, parafusos, giradores, pêras, aparelhos de mudança de via, sinais e marcos quilométricos.”

A superestrutura é composta por quatro elementos heterogêneos que se completam e suprem as condições básicas para suporte e guia para o material rodante. Os componentes são: trilho, dormente, fixação e lastro. Além desses quatro elementos alguns autores ainda incluem o sublastro como um quinto componente. Como observado no ANEXO IV, que ilustra cada um dos componentes da superestrutura, sua posição e quem está diretamente ligado a sua fixação, ou seja, a quem serão transmitidos os seus esforços solicitantes.

3.2.4. Sublastro

O sublastro é a camada superior da infraestrutura e segundo Nabais (2015) tem como funções, aumentar a capacidade de suporte da plataforma, permitindo elevar a taxa de trabalho no terreno ao serem transmitidas as cargas através do lastro, reduzindo, dessa forma, sua superfícies de apoio e sua altura, gerando assim uma economia de material. Ele ainda complementa que o sublastro evita a penetração do lastro na plataforma, melhora a drenagem da via, pois aumenta a resistência da mesma à erosão e à penetração da água.

Como o lastro é um material especial na montagem da superestrutura, de grande consumo, custo elevado e por vezes de difícil aquisição, a utilização do sublastro, que é um material barato e de fácil acesso nas proximidades dos locais de obra, empregá-lo gera uma certa economia, sem abaixar o padrão técnico da via permanente.

3.2.5. Lastro

O elemento que fica situado entre o sublastro e os dormentes, de material nobre, é o lastro e tem, como funções de acordo com Nabais (2015) distribuir convenientemente sobre a plataforma, ou sublastro, os esforços provenientes das cargas dos veículos, produzindo uma taxa de trabalho compatível com sua capacidade de carga. Complementa ainda dizendo que o lastro por ser um suporte elástico, ameniza as trepidações resultantes da passagem dos veículos,

impede os deslocamentos dos dormentes nos sentidos longitudinais e transversais além de facilitar a drenagem da superestrutura.

As principais características dos materiais utilizados como lastro devem ser de um material não absorvente, de grãos impermeáveis e não porosos, uma elasticidade limitada para amenizar os choques, resistência suficiente para suportar os esforços transmitidos pelos dormentes, resistentes aos agentes naturais da atmosfera. Sendo assim um dos melhores materiais para lastro, são as pedras. Sendo as mais apropriadas o granito, a gnaiss e o quartzito, o micaxisto.

O lastro é normatizado pelas especificações da ABNT 5564, 2014, e tem que seguir certos parâmetros de peso específico, resistência à ruptura, absorção e granulometria, como principais requisitos analisados.

3.2.6. Dormentes

Dormente é um componente da superestrutura ferroviária, cuja maior finalidade é basicamente receber as cargas provenientes dos trilhos e transmiti-las ao lastro os esforços produzidos pelo material rodante, sendo assim o dormente é necessário também como suporte aos trilhos, permitindo que estes se fixem e mantendo entre eles uma distância fixa, distância essa chamada de bitola.

Segundo Nabais (2015), o dormente tem que fornecer resistência suficiente aos esforços solicitantes, apresentar boa durabilidade, permitir uma boa fixação do trilho, com firmeza, mas sem ser excessivamente rígida. Ainda diz que as suas dimensões, tanto no comprimento quanto na largura, forneçam superfície de apoio suficiente para que a taxa de trabalho no lastro não ultrapasse os limites que o material utilizado suporta e sua espessura tenha rigidez necessária sem que o material usado não perca sua elasticidade.

A madeira ainda é o material mais usado para a fabricação de dormentes, pois reúne todas as qualidades exigidas para um bom e durável dormente. Mas como as madeiras nobres estão em falta, o seu preço no mercado continua elevado, o que inviabiliza sua aplicação ferroviária. Sendo assim, madeiras não tão nobres estão sendo utilizadas, apesar de terem um preço mais acessível, essas madeiras necessitam de um tratamento químico extra e passam por procedimentos de manutenções por mais vezes. A norma técnica da ABNT a qual especifica dormentes de madeira é a NBR 7511, 2013.

Os dormentes de aço são compostos por uma chapa laminada em forma de “u” invertido, onde suas extremidades são curvadas, de certo modo a criar garras por onde se interram no lastro, de modo a fortalecer a fixação do mesmo, evitando assim um deslocamento transversal

dos dormentes. Apesar de serem relativamente leves, com 70 kgf, e de assentamento e manuseio fáceis, o aço é um bom condutor de eletricidade, o que dificulta o isolamento entre os trilhos. Outro ponto desfavorável é a propagação de ruídos gerado pelos veículos férreos e acentuados pelo aço. A norma técnica da ABNT a qual especifica dormentes de aço é a NBR 11824 de 04/1991.

Os dormentes atuais de concreto só são seguros e confiáveis pois inúmeras vezes foram testados e usados modelos onde o resultado não foi o esperado. Através dessas falhas, foi possível otimizar e chegar a um padrão, com resultados mais satisfatórios de sua utilização. Os dormentes de concreto só conseguiram ser otimizados após a criação do concreto protendido e o surgimento das fixações elásticas. A norma técnica da ABNT a qual especifica dormentes de concreto é a NBR 11709 de 12/2015.

Outro modelo de dormente de concreto, é o dormente misto, onde é utilizado dois blocos de concreto protendido, interligados por uma barra de aço, onde a viga metálica desempenha um papel fundamental constituindo de uma armadura robusta entre os dois blocos de concreto.

3.2.7. Trilhos

O conceito de trilho de acordo com Nabais (2015), trilho é o elemento componente da superestrutura da via permanente que constitui a superfície de rolamento para as rodas dos veículos ferroviários, servindo-lhes, ao mesmo tempo, de apoio e guia. Funciona como viga contínua e transfere as solicitações das rodas para os dormentes.

Os trilhos de uma via férrea, são considerados os componentes mais importantes da superestrutura, pois é tecnicamente, o principal elemento de suporte para os veículos motrizes, sendo o guia e a ligação dos veículos ferroviários com os demais elementos estruturais da via.

Portanto os trilhos são a parte de rolamento pela qual trafegam os veículos ferroviários, são dois perfis metálicos paralelos, que são fixados aos dormentes. Como principais funções, os trilhos constituem uma superfícies de rolamento dura, lisa e resistente por onde os veículos deslizam. Tendem a apresentar menor resistência possível para o rolamento dos mesmos pois convertem a energia do tráfego em deformação elástica. São eles responsáveis por direcionar os veículos por todo percurso pela condução da sua roda com friso. Através dos trilhos são transmitidas as cargas para os dormentes, e estas dispersão as cargas para o lastro e para a plataforma, sendo que cada vez é reduzido as tensões vindas dos vagões pelas rodas. E são os trilhos que suportam os esforços provenientes do tráfego, tensões das cargas por eixos, os

esforços do trem tipo de aceleração e frenagem, força tangencial e por fim a dilatação proveniente da variação da temperatura.

Atualmente o perfil de trilho utilizado foi desenvolvido pro Charles Vignole, em meados de 1836 e recebe o nome de seu idealizador, chamado de Perfil Vignole, que é composto por três partes distintas: boleto, alma e patim, ilustrado no ANEXO V.

Portanto pode-se concluir ainda a respeito dos requisitos do perfil Vignole, que o Boleto deve ser o mais robusto dos três, com uma massa concentrada, para que o desgaste que ele sofre não afete o momento de inércia da seção. Em relação à alma do trilho, é requerido que possua uma altura suficiente para resistir à flexão, ou seja, ao aumentar a sua altura, maior será a distância do boleto e do patim em relação à linha neutra, o que por resultante aumenta o momento de inércia da peça. Portanto, quanto maior for a concentração da massa do trilho no boleto e no patim, maior será a resistência do perfil a flexão. Mas deve-se garantir uma espessura mínima na alma que seja suficiente para garantir resistência e rigidez transversal.

O Patim por sua vez é a parte a qual entra em contato com o dormente ou placa de apoio, sendo o responsável por fixar o conjunto na estrutura, portanto sua largura dita o quanto o dormente ou placa será solicitado. A sua espessura deve ser suficiente para não acumular tensões residuais resultantes do processo de resfriamento diferenciado durante a produção da peça. E não pode ser fino em demasia, pois há de garantir que a alma continue perpendicular ao dormente ou placa de apoio, durante solicitações transversais, solicitações proveniente de curvas. A falta da espessura adequada, resulta em uma solicitação transversal resultante diferente da qual os dormentes estão projetados a resistir, podendo assim causar acidentes ou deformações permanentes na via.

Os trilhos Vignole são normatizados pela NBR 7590, 2012, e são classificados de acordo com a unidade métrica do seu peso em quilogramas e por unidade métrica para o seu comprimento, ou seja kg/m. E são denominados de acordo com a seguinte lista:

- TR 25 – 25 kg/m;
- TR 37 – 37 kg/m;
- TR 45 – 45 kg/m;
- TR 50 – 50 kg/m;
- TR 57 – 57 kg/m;
- TR 68 – 68 kg/m;
- TR 72 – 72 kg/m;

Portanto os trilhos são classificados e separados de acordo com sua capacidade de carga, variando conforme com o peso do material que será transportado na via férrea. No começo do funcionamento das ferrovias, a demanda de transporte era basicamente passageiros, sendo assim uma carga leve para a via, portanto os perfis mais comuns utilizados possuíam pesos baixos, por volta de 20kg/m. Com o avanço da tecnologia e a necessidade de outras cargas para transporte, como o minério de ferro, com alto peso específico, foi surgindo perfis maiores até um certo limite na sua produção em função do limite da resistência de escoamento do aço. Com isso o foco não está mais em desenvolver perfis maiores e robustos e sim em técnicas para aumentar as propriedades de resistência do aço.

3.2.7.1 Características Geométricas

As principais características geométricas dos perfis de trilhos Vignole mais utilizados no Brasil, são apresentadas Tabela 04.

Tabela 2 - Características geométricas dos perfis de trilhos Vignole

Tipo nominal de trilho TR	TRILHOS					
	37	45	50	57	68	UIC 60
Tipo correspondente americano	ASCE 75	ASCE 90	ASCE 100	ASCE 115	ASCE 136	-
Peso calculado (kg/m)	37,1	44,6	50,35	56,90	67,6	60,3
Altura do perfil (mm)	122	142,9	152,4	168,3	185,7	172
Largura do patim (mm)	122	130,2	136,5	139,7	152,4	150
Largura da alma (mm)	13,5	14,3	14,3	15,9	17,5	16,5
Largura do boleto (mm)	72,2	65,1	68,3	69,1	74,6	74,3
Área total (mm ²) -At	4.727	5.686	6.414	7.236	8.606	7.687
Momento de inércia (cm ⁴)	952	1.610	2.040	2.730	3.949	3.055
Módulo de resistência (cm ³) – Boleto	149	205,5	247,4	295	391,5	335,5
Módulo de resistência (cm ³) – Patim	163	249,7	291,7	360,7	463,8	377,4

Fonte: PAIVA, C. E. L de., 2016, pg. 70

3.2.7.2 Composição e Fabricação

Com o foco no aumento das propriedades de resistência do aço, o desempenho dos trilhos tem evoluído sensivelmente a medida que a tecnologia do aço vem avançando, por isso hoje há inúmeros tipos de composições metalográficas, com variadas composições para criação do aço, sendo que os principais componentes e sua influência nas características fundamentais são:

Ferro: responsável por aumentar a resistência mecânica, em contrapartida, diminui a resistência ao choque, a ductibilidade e sua soldabilidade.

Carbono: proporciona um aumento da dureza do aço, mas pode torná-lo quebradiço se for utilizado em excesso. Portanto, segundo Duval e Magalhães (2006), de acordo com o aumento no teor de carbono no aço do trilho, sua resistência à tração, ao desgaste e dureza, mas irá potencializar a fragilidade e reduzir o seu alongamento.

Manganês: metal que encarece bastante o preço do aço, sendo empregado em peças importantes, como os aparelhos de mudança de vias. O manganês aumenta a forjabilidade do aço, a temperabilidade, sua resistência ao choque e seu limite elástico.

Silício: principal agente desoxidante, evita a formação de bolhas, minimiza o desgaste, e de forma indireta beneficia outras propriedades mecânicas.

Fósforo: aumenta a fragilidade do aço, o torna quebradiço, portanto é um elemento nocivo as propriedades mecânicas desejadas aos trilhos.

Enxofre: outro elemento nocivo e indesejável, pois em contato com o ferro ocorre um efeito de segregação, retirando assim suas principais qualidades.

Como o ferro é o composto básico da formação da liga metálica do aço, responsável por 98% de sua composição, os outros elementos ficam responsáveis por influenciarem nas demais características fundamentais do aço, como dureza, resistência, elasticidade e resistência à corrosão.

Portanto os trilhos são submetidos a ensaios de resistência à tração e são classificados de acordo com a dureza Brinell dentro das faixas:

Trilhos comuns de aço carbono: Faixa de 1.100 a 1.190 N/mm² e dureza Brinell entre 260 e 320. Composição química em porcentagem (%), de acordo com o ANEXO VI.

Trilhos Premium tratados termicamente: Faixa de 800 a 900 N/mm² e dureza Brinell entre 310 e 370. Composição química em porcentagem (%), como mostra o ANEXO VII.

Trilhos Super Premium com ligas especiais: Faixa de 1200 N/mm² e dureza Brinell superior 370. Composição química em porcentagem (%), de acordo com o ANEXO VIII.

No ANEXO IX, estão as especificações e características do TR 57 de acordo com a ABNT NBR 7590, 2012.

3.2.8 Contato Roda-Trilho

O contato roda-trilho é, nada mais nada menos, que o contato direto entre as rodas do Material Rodante, com o trilho da Via Permanente, são responsáveis pela interação entre as partes e os itens de manutenção ferroviária com o maior custo.

O contato entre duas ligas metálicas, diretamente, e com uma magnitude de cargas proveniente das rodas, provoca um constante desgaste à partes, podendo resultar em imperfeições em ambos, afetando direta ou indiretamente os outros elementos da infra e superestrutura, aumentando os riscos de ocorrerem acidentes, sem contar o aumento com os custos da manutenção.

Por essas razões, o contato roda-trilho voltou a ser foco de estudo e investimento já que aceleram o desgaste da via e elevam as despesas, afetando o próprio desempenho econômico do sistema.

Por ser de uma mobilidade exclusivamente linear, gerando uma falta de liberdade de direção, mas em contrapartida aumentando a segurança e a confiabilidade da ferrovia, isso acarreta a necessidade de uma normalização de alto nível, garantindo o funcionamento e a conectividade entre os elementos do sistema.

Por essa imobilização, suas rodas são conectadas a um eixo, o qual não permite movimentos relativos, acarretando em um deslizamento lateral das rodas sobre os trilhos, sempre que o veículo descreve uma trajetória curvilínea. Mas o deslocamento lateral é contido pelo friso presente nas rodas, o qual é responsável por manter o trem sobre o trilho.

O conjunto ainda tem características únicas, como a superfície cônica de rolamento das rodas, que por sua vez, estão assentadas na superfície do trilho que está inclinada ao centro da via permanente, ajudando assim a centralizar o veículo na via, sempre que seu centro de gravidade for deslocado para os lados, evitando o desgaste lateral dos trilhos e dos frisos das rodas. Ainda consegue atenuar o efeito do escorregamento nas curvas, pois a força centrífuga, juntamente com a folga entre a bitola na via, aumenta o contato da roda externa e diminui o contato da roda interna, mudando a configuração das cargas transmitidas da roda ao boleto do trilho. O ANEXO X, representa a disposição do rodeiro na via férrea.

Uma das principais características dos rodeiros é a bitola, definida pela distância entre as rodas, sendo as mais usadas no Brasil a bitola métrica de 1,00 m e a bitola larga com 1,60 m (NABAIS, 2015).

A zona de contato roda-trilho, resulta em uma complexa inter-relação envolvendo muitas variáveis. Como trata-se de dois Sólidos Elásticos, é utilizado a Equação de Hertz, para o cálculo das tensões de contato, sendo a máxima tensão na parte central de uma elipse. Essa elipse é formatada pelo contato dos sólidos esféricos, como explica (Ernani, Mário e Paulo - 2015), se dois sólidos esféricos, elásticos e ideais, não exercem qualquer pressão entre si, então o contato entre eles se resume a um único ponto. Quando pressionados, um contra o outro,

produz-se, na região de contato, uma pequena deformação, de configuração elíptica como ilustra a ANEXO XI.

De acordo com Stefler, (2013) o francês M.J. Nadal, contribuiu de forma significativa para as solicitações resultantes do contato roda-trilho, ao estudar os esforços provenientes de forças laterais e forças verticais. Após seu estudo, sua interação foi amplamente utilizada, resultando na razão entre esforços Laterais e esforços Verticais (L/V), onde variavam em uma relação angular, envolvendo o coeficiente de atrito entre o trilho e a roda.

Do qual a força vertical (V), é a resultante do peso próprio do veículo, sendo transmitida para via através da roda. E a força lateral (L), é resultantes do comportamento do veículo em curvas e do seu próprio movimento.

Ou seja, quanto maior a relação direta L/V , as forças laterais serão maiores em relação aos esforços verticais do peso do material rodante. Por isso, o rodeiro consegue superar o esforço que o mantém preso verticalmente, e perde seu caminho no trilho, podendo vir a subir no mesmo, ou descarrilhar. Portanto a relação é um indicador de segurança da via. A atuação das forças L e V pode ser observada no ANEXO XII.

Como exemplos que podem vir a acontecer, como a redução repentina do esforço na componente Vertical devido a defeitos no nivelamento da linha férrea ou problemas nas suspensões do vagão. Outros defeitos no alinhamento da via e torção do truque, aumentam repentinamente o esforço da lateral, prejudicando a relação direta entre L/V .

Segundo Stefler, (2015), trilhos sem desgastes, em condições normais de funcionamento tem seus valores para a relação L/V entre 0,2 e 0,3. Mas se os valores ultrapassarem a faixa de 0,8 as chances de um descarrilhamento tornam-se críticas. A situação é severa, pois em uma fração de segundo, 0,3 segundos no mínimo, a roda consegue escalar a altura de segurança do friso e em consequente, descarrilhar o veículo.

A relação de equilíbrio começa a se perder a medida que o perfil do trilho sofre desgaste natural no seu boleto, mediante a utilização e do contato aço-aço, por atrito. O limite de área desgastada do boleto em norma, é próximo aos 25%, o que leva o índice de tombamento a valores de L/V a partir de 0,44.

Dependendo da combinação de desgastes sofrido entre roda e boleto, pode-se comportar de quatro maneiras distintas:

- $L/V = 0,64$: trilho com má fixação é forçado para fora;
- $L/V = 0,75$: a roda consegue subir sob o trilho desgastado;
- $L/V = 0,82$: roda consegue se elevar do topo do boleto;

- $L/V = 1,29$: roda consegue subir sobre um trilho novo;

Portanto, segundo Macêdo, (2009), após o desgaste do boleto do trilho, o ângulo de inclinação da face ativa do mesmo é substituído pelo ângulo formado no desgaste. O que resulta em um ângulo menor que o inicial.

Ainda pode ser observado pelo ANEXO XIII, o gráfico ilustrando que conforme os ângulos das faces de contato aumentam, o limite da relação L/V diminui, pois é mais fácil da roda subir no boleto do trilho.

3.2.9 Coeficiente de Utilidade

O coeficiente de utilidade “ c ”, é utilizado como meio de comparação entre dois perfis diferentes de trilhos. Sendo a fórmula:

$$c = w \div p$$

Onde, “ W ” equivale ao módulo resistente à flexão;

E “ p ” corresponde ao peso do trilho em quilogramas por metro linear.

Após realizar a razão entre as duas grandezas, obtém – se o valor para “ c ”, onde o perfil de trilho que apresentar o maior valor será aquela considerado mais econômico, pois apresenta um menor custo, pois este tem um menor valor “ p ”, para um mesmo valor “ W ”, pois o módulo de resistência à flexão não varia. Nos casos onde o módulo de resistência à flexão varia, são nos momentos onde dois perfis de trilhos separados estão sendo estudados para um via em fase de funcionamento, não de dimensionamento.

3.2.10 Cisalhamento Máximo Superficial

O cisalhamento transversal, que ocorre em elementos retos, como as vigas. Devido as forças atuantes nela, ela desenvolve uma força cortante, ou seja, força de cisalhamento interno, gerando assim um momento fletor, os quais variam ao longo de toda a extensão da viga. Portanto o cisalhamento máximo em uma viga, pode ser entendido como todas as forças que atuam sobre a viga, e deformam sua estrutura, levando até o seu limite para a falha. Sendo a fórmula a ser trabalhada:

$$\tau = 413\sqrt{Q} \div r$$

Onde, “ Q ” equivale ao peso de cada roda da composição, em Kn (Kilo Newton);

E “ r ” equivale ao valor do raio da roda da composição, em mm (milímetros).

3.2.11 ABNT NBR 7590: Trilho Vignole

Norma responsável pelo controle de produção e utilização dos trilhos. Sendo ela que normatiza os testes executados para verificação dos perfis do trilho, impondo os limites que não podem ser ultrapassados, classificando assim cada trilho de acordo com sua massa nominal por metro de trilho. É através dela que são especificados métodos de armazenagem e transporte.

Os trilhos que apresentam defeitos são descartados, pois de acordo com a norma, não é permitido a correção de defeitos. Para essa verificação, deve ser realizado um exame visual, a olho nu ou com o uso de lentes, em mesa nivelada, com espaçamento entre os trilhos para análise de toda a parte externa do trilho.

Portanto o trilho não deve apresentar:

- Torções;
- Ondulações;
- Protuberâncias no boleto ou no patim;
- Quaisquer protuberâncias na alma do trilho, devido a excesso de metal, maior que 1,50 mm e com área maior que 12,50 mm²;
- Arranhões ou fissuras a frio, ultrapassando 900 mm de comprimento ou 0,20 mm de profundidade;
- Marcas a quente, maiores que 0,50 mm de profundidade ou maiores que 1,50 mm de largura, tais como corte (cisalhamento), buracos ou arranhões, dobras e trincas, marcas de desbaste.

As propriedades mecânicas dos trilhos Vignole devem estar de acordo como mostra o ANEXO XIV e os ensaios de resistência à tração, de escoamento e de alongamento, devem estar de acordo com a Norma ABNT NBR ISO 6892 – Materiais Metálicos.

Já o ensaio de dureza Brinell, deve ser realizado de acordo com a ABNT NBR NM 6506-1. Deve ser realizado no topo do boleto do trilho, removendo a capa de carbonatação e utilizando de esferas de carbeto de tungstênio. Sendo que a diferença na dureza entre dois pontos, não deve ultrapassar 30 HB (Dureza Brinell).

Caso os resultados após o ensaio de tração não corresponda aos dados estipulados pela pelo ANEXO XV, todas as barras de trilho devem ser descartadas.

Sobre a composição química dos trilhos, pode-se relatar que são uma liga metálica de aço, e para tanto esta composição química está especificada de acordo como visto no ANEXO XV, mas podendo variar de acordo com as limitações representadas no ANEXO XVI.

Os trilhos tratados recebem uma dosagem de material diferenciado, o qual modifica sua resistência à tração, elasticidade, dureza para serem utilizados de forma a suprir um problema específico. De acordo com o ANEXO XVII, onde mostra a delimitação dos teores máximos dos elementos.

3.3 MATERIAIS E MÉTODOS

Este trabalho está fundamentado nos estudos de uma via permanente de uma ferrovia, com ênfase no estudo dos trilhos, sua aplicação, modelos, solicitações e esforços suportados pelos vários modelos de trilhos, normas e o desgaste sofrido pelo contato roda-trilho.

O presente trabalho foi pautado por pesquisas e revisões bibliográficas em toda a formação de uma via permanente, os componentes da infra e superestrutura, lastro, sublastro, dormentes e principalmente trilhos, o foco dos estudos. Além de um estudo de caso direcionado à ferrovia FCA, de concessão da VLi, onde foram feitos cálculos comprovando a escolha do trilho utilizado na via, e comparando com outro perfil.

Foi utilizado de teses e dissertações voltadas ao campo de estudos das ferrovias e seus componentes, abrangendo ela como um todo, mas sempre focando em trabalhos desenvolvidos para estudos dos trilhos, sua importância, modo de operação, detalhamentos e defeitos.

A partir da revisão bibliográfica feita, foi possível ainda analisar através de cálculos e conceitos existentes, a escolha do trilho TR 57 para a via.

A norma regente da ABNT, a NBR 7590, 2012, que contém as especificações para Trilho Vignole, foi utilizada para embasamento das classificações, esforços e dimensionamento dos trilhos, e a melhor forma de utilizá-los, dependendo da carga com a qual será trabalhada e transportada pela via férrea.

Foi realizado um estudo de caso, juntamente com a Valor Logística Integrado – Vli, a respeito do uso e funcionamento da ferrovia FCA, principalmente a parte que integra de Patrocínio até Araxá.

A pressão máxima que se forma na elipse de contato quando se tem o contato roda-trilho, é dada pela iteração da fórmula:

$$p_{máx} = \frac{3}{2} \times \frac{P}{\pi \times a \times b}$$

Onde: P , para carga de roda;

a , área de roda que entra em contato com o boleto do trilho;

b : área de boleto que entra em contato com a roda;

Portanto, de acordo com os dados da via estudada, tem – se que:

$$2a = 10 \text{ cm}, \therefore a = 5 \text{ cm};$$

$$2b = 6,9 \text{ cm}, \therefore b = 4,45 \text{ cm};$$

Para termos de cálculos, é utilizado a Locomotiva GE Dash 9-40BBW, com seus 182.800 kg, composta por 16 rodas. Ao dividir seu peso pelo número de rodas, chega – se ao valor de P , convertido em Kilonewtons.

$$P = 11425 \text{ Kg}$$

Portanto:

$$p_{\text{máx}} = \frac{3}{2} \times \frac{11425}{\pi \times 5 \times 4,45}$$

$$p_{\text{máx}} = 245,17 \text{ HB}$$

Comparando o resultado obtido, com os parâmetros exigidos por norma e que a dureza entre os dois pontos não deve ultrapassar 30 HB, tem – se que: $245,17 \text{ HB} < 260,00 \text{ HB}$; Portanto as especificações do trilho TR 57 está de acordo com as normas.

Para uma verificação se o tipo de trilho escolhido para a via, se o peso em Kg/m de aço de trilho é suficiente para o tráfego na via, executa – se a seguinte operação:

$$Cd = 1 + \left(\frac{V^2}{3000} \right)$$

$$P_{\text{cálculo}} = P \times Cd$$

$$q = 2 \times P_{\text{cálculo}}$$

Onde:

Cd = coeficiente dinâmico ou coeficiente de impacto;

V = velocidade de tráfego na via, em km/h, utilizando uma velocidade média do tráfego anual na via, de acordo com a ANTT, tem – se 22 km/h;

P = carga por eixo, utilizando 182.800 kg, dividido por 8 eixos, tem – se 22.850 kg;

q = peso suportado pelo aço do trilho, em kg/m;

Portanto:

$$Cd = 1 + \left(\frac{22^2}{3000} \right) = 1,1613$$

$$P_{\text{cálculo}} = 22.850 \times 1,1613 = 26.535,70 \text{ kg}$$

$$q = 2 \times 26.535,70 = 53.071,41 \text{ kg ou } 53,07 \text{ t}$$

Portanto, de acordo com o que foi calculado, o trilho que melhor se encaixa para suportar uma pressão de 53 t, em cima do aço do trilho, é o perfil escolhido para a via, o TR 57.

Utilizando do conceito estudado sobre o coeficiente de utilidade, e empregando sua fórmula, tem – se o seguinte resultado:

Trilho TR 57:

$$W = 295 \text{ cm}^3$$

$$p = 56,90 \text{ kg/m}$$

Portanto o valor para $c = 5,184$

Trilho TR 68:

$$W = 391,50 \text{ cm}^3$$

$$p = 67,60 \text{ kg/m}$$

Portanto o valor para $c = 5,791$

De acordo com o que foi estudado sobre o coeficiente de utilidade, pode – se concluir que o trilho TR 57, será mais econômico ao ser aplicado, pois apresenta um menor valor para o coeficiente.

Para o dimensionamento de qualquer trilho ideal para ser instalado em determinada via, uma série de considerações são feitas devido a variada quantidade de parâmetros envolvidos nos cálculos das tensões e da deformação que a linha sofre ao ser utilizada, onde conclui – se que não pode ser considerada uma ciência exata.

Analisando a estrutura da via, em limites aceitáveis para aproximação, pode – se considerar como o trilho na forma de uma viga contínua, apoiada em um suporte elástico, uniforme, teoria desenvolvida por Zimmermann e posteriormente aprimorada por Talbot, (Stopatto, S., 1987).

Para o cálculo do dimensionamento dos trilhos a serem usados em uma via, deve ser levado em consideração alguns fatores prévios para os cálculos. A influência do carregamento é estudada sobre uma linha de influência separada para cada parâmetro de estudo, reação, reação e momento fletor.

Para verificação quanto a flexão do aço do trilho em seu apoio elástico, utiliza – se:

$$\sigma_{adm} = \frac{M_0}{W}$$

Onde:

σ_{adm} , é a tensão admissível de escoamento do aço;

M_0 , é o máximo momento fletor, o qual sofre a tensão;

W , o módulo de resistência do trilho, TR 57 tabelado pela ABNT.

Para o cálculo do máximo momento fletor, precisa – se de utilizar a seguinte formulação:

$$M_0 = P_d \times C \times \sqrt[4]{\frac{E \times I}{64 \times \mu}}$$

Onde:

P_d = carga de roda para cálculo, 112,04 kn;

C = coeficiente de lastro normalizado pela AREMA, tendo seu valor 0,05kn/cm³;

E = módulo de elasticidade do aço do trilho, com valor de 21.000 kn/cm²;

I = momento de inércia do trilho TR 57, de acordo com a ABNT, com valor de 2730,48 cm⁴;

μ = módulo de classificação da via, para vias com dormentes de madeira, de acordo com STOPATTO (1987), com valor de 1,40 kn/cm².

Portanto:

$$M_0 = 112,04 \times 0,05 \times \sqrt[4]{\frac{21000 \times 2730,48}{64 \times 1,40}}$$

$$M_0 = 158,445 \text{ kn/cm}$$

Então, para concluir o cálculo da tensão admissível de escoamento do aço utilizado na via, tem – se que:

$$\sigma_{adm} = \frac{157,445}{295}$$

$$\sigma_{adm} = 0,537 \text{ kn/cm}^2$$

Após a resolução dos cálculos, constata – se que a tensão de escoamento do aço é valido para o perfil utilizado na via o TR 57.

No dimensionamento de uma via é necessário verificar ainda se a tensão do contato roda-trilho não ultrapassa um limite tolerável, através da equação de Hertz do cisalhamento máximo superficial, para a execução desse cálculo (Stopatto, 1987):

$$\tau = 413\sqrt{Q} \div r$$

Ao converter a carga por roda de Kg para KN, tem – se que:

$$\text{Onde: } Q = 112,04 \text{ KN}$$

$$r = 914 \text{ mm}$$

Portanto temos que:

$$\tau = 413\sqrt{112,04} \div 914$$

$$\tau = 144,598 \text{ N/mm}^2$$

3.4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Portanto a respeito da carga e dos tipos de materiais transportados, pode-se observar que a empresa trabalha de com transporte de carga no geral. Sendo os produtos transportados os grãos, minérios, material siderúrgico, toretes de madeira, containers com materias. Em relação a grãos, tem-se milho, soja e farelo de soja, são os de maior volume. Mas em relação ao trecho da FCA que corresponde de Patrocínio a Araxá, pode-se coletar que os materiais que mais trafegam na via, são os grãos e o minério de fosfato, materia prima para fertilizantes.

Todo esse material é transportado através de vagões que são tracionados por locomotivas. Atualmente a Vli utiliza dos vagões :

Vagão Hopper fechado HPD: com peso bruto máximo de 80.000 kg. Tara de 21.000 kg. Capacidade de carga de 59.000 kg. Capacidade volumétrica de 75 m³. Vagão usado para transporte de fertilizantes, contém pintura interna resistente a corrosão. Bitola métrica, ou seja de 1,00 m.

Vagão Hopper fechado HFE em aço: com peso bruto máximo de 100.000 kg. Tara de 23.000 kg. Capacidade de carga de 77.000 kg. Capacidade volumétrica de 100 m³. Vagão usado para o transporte de grãos e farelos. Bitola métrica, ou seja de 1,00 m.

Vagão Gôndola GFE: com peso bruto máximo de 100.000 kg. Tara de 23.500 kg. Capacidade de carga de 76.500 kg. Capacidade volumétrica de 55,6 m³. Bitola métrica, ou seja de 1,00 m.

Em relação as locomotivas, atualmente a Vli utiliza-se:

Locomotiva GE Dash 9-40BBW, fabricadas pela General Electric (GE), são locomotivas Diesel-Elétricas, de bitola métrica, ou seja 1,00 m. A classificação em relação aos eixos, de padrão de classificação AAR – Association of American Railroads, são de quatro truques de dois eixos motorizados, articulados em pares, portanto ganha a classificação B + B - B + B. Tem um peso de 182.800 kg.

No estudo de caso realizado, foi apresentada a rotina de manutenções pelas quais a empresa adota, no sentido de evitar gastos desnecessários com a via férrea. Como foi mostrado anteriormente, o trilho é a parte mais cara da estrutura ferroviária, sendo assim, verificações de rotina, e agendamento de manutenções, são essenciais para evitar o desgaste excessivo do boleto do trilho, acarretando em vários outros problemas, como acidentes e descarrilhamentos.

Foi passado que nas manutenções rotineiras da empresa, é verificado se há o desgaste prematuro do trilho, se o limite do boleto é seguro para o tráfego, sendo que este limite é o que garante que o contato roda-trilho não está prejudicado. De toda forma, a VLi utiliza de uma

política de esmerilhamento, visando estender a vida útil dos trilhos. São feitos estudos sobre a atual condição dos trilhos, trecho a trecho e programado o esmerilhamento onde é necessário, onde há os casos mais críticos. No entanto a empresa adota uma rotina de esmerilhamentos de seis em seis meses por trecho, podendo ainda ser adiado para um ano, dependendo da avaliação dos trilhos. A máquina responsável, fica fixada em cima dos trilhos e se locomove por eles, portanto passou a serem feitos esmerilhamentos no próprio deslocamento do veículo de um trecho a outro, de forma a economizar com seu deslocamento, podendo assim encaixar manutenções, a medida que ela se desloca na via.

Após os estudos realizados em várias fontes de livros, teses e dissertações, a perspectiva de funcionamento de uma via férrea foi ampliada, e destacando o elemento trilho da superestrutura, pode-se aprofundar em suas características, a forma como é utilizado, os desgastes sofrido por uso e os possíveis problemas que podem acarretar com este desgaste.

De acordo com Macêdo, (2009) e sua tese do Estudo do Desgaste de Trilhos Ferroviários, pode-se pautar que o desgaste de um boleto e os problemas acarretados por ele, não existe um valor estipulado como certo, ou valor supremo. De um modo geral, diversos autores e pesquisas apontam que 25% da área do boleto desgastado já é sinal suficiente para manutenção da via permanente.

Segundo Brina (1979), a área limite de desgaste do boleto é uma perda de 25% de massa.

A Rede Ferroviária Federal S.A. (RFFSA), estabelece que o desgaste da área de boleto não deve ultrapassar os 25% e o desgaste lateral não deverá atingir a superfície superior da tala de junção, ou seja a parte inferior do boleto.

Macêdo (2009), ainda diz que é proposto o valor de 25% de perda do boleto para o perfil de trilho TR 57.

Mas mesmo com vários autores utilizando-se do valor de 25%, os estudos para constatação deste desgaste ainda estão em aberto, pois as variáveis do contato roda-trilho são muitas e podem variar muito de uma situação a outra.

Em relação ao estudo de caso feito junto a VLi, pode-se verificar as rotinas de manutenções e como são feitas, em relação aos trilhos. Ainda foi apresentado os tipos de vagões utilizados, sua capacidade de carga e de utilização, quais as locomotivas usadas para o transporte dos mesmo. A aquisição da máquina de esmerilhamento, investimento alto para o prolongamento do uso dos trilhos, visto que estes são responsáveis por maiores custos em relação aos outros componentes da via permanente.

Em relação aos trilhos, existe certo paradoxo quanto à influência do modelo de trilho a ser utilizado visto que, o peso do trilho, na solicitação transversal da linha por um lado, o maior peso é desfavorável devido à variação de temperatura, por outro esse maior peso aumenta a reação longitudinal “ p ” e transversal “ w ”. Para fluxos prováveis não justifica mais que o TR 57, por ser um trilho com menor custo de implantação ao TR 68.

De acordo com os resultados obtidos nos cálculos para o dimensionamento, pode – se observar que o trilho TR 57 consegue suprir as necessidades apresentadas pela via, sendo que utilizar o trilho TR 68 em sua fabricação resultaria em gastos desnecessários, pois o trilho atual corresponde com tráfego atual.

Em um futuro posterior, ao qual pode vir a ocorrer do uso da malha ferroviária por parte da VLi, para transporte de grande volume de uma carga de maior peso, como de minérios, para escoamento nos portos, recomenda – se uma análise mais aprofundada de toda via, para identificar quais os pontos necessitaram de uma total reformulação ou apenas reparos, e se toda a composição da super e infra estrutura da via, é robusta suficiente para conseguir aguentar o novo tráfego da via.

3.5 CONCLUSÕES

A ideia de elaboração deste presente trabalho constituiu em estudar e analisar a funcionalidade dos trilhos em uma via férrea, bem como seus modelos e classificações e o desgaste ocorrido devido o contato roda-trilho devido ao intenso volume de tráfego e as elevadas cargas solicitantes provenientes do mesmo.

Foram estudados os principais componentes da via permanente, seu modo de funcionamento, características técnicas do material, como é o funcionamento do contato roda-trilho e o modo de como o trilho é desgastado por este processo. Objetivando assim servir de base para futuros estudos para principiantes na área ferroviária, servindo de embasamento teórico para os mesmo.

Este trabalho teve como contribuição academia, apresentar que mesmo com vários estudos em relação ao efeito roda-trilho e o desgaste do boleto, ainda não há um valor limite que possa ser aplicado com total segurança, pois são vários os fatores que causam a estabilidade e a instabilidade da roda no trilho.

Ainda foi realizado um estudo de caso junto a VLi, utilizado assim para ilustrar e exemplificar o estudo dos trilhos feito anteriormente. Pode confirmar a importância dos mesmos na composição da superestrutura da via, onde além de serem elemento principal para

a rodagem dos veículos, são responsáveis por serem o item de maior custo para aquisição. Com isso confirma que a manutenção da via sai a preços elevados e portanto recomenda-se um ciclo preventivo para prolongamento da vida útil dos trilhos.

Com os trilhos em bom estado para funcionamento da via, percebe-se que os outros elementos componentes da ferrovia conseguem por sua vez aumentarem sua vida útil por conseguinte. Uma vez que serão menos danificados, pois a composição a qual trafega pela via, terá um tráfego suave, sem trepidações.

3.6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABNT. **Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 7590, Trilho Vignole – Requisitos.** Rio de Janeiro. 2012.

ANTT – **AGÊNCIA NACIONAL DE TRANSPORTES TERRESTRES. ANUÁRIO ESTATÍSTICO.** Disponível em: <http://www.antt.gov.br/ferrovias/arquivos/Anuario_Estatistico.html> Acesso em: 05 jul. 2018.

ANTT – **AGÊNCIA NACIONAL DE TRANSPORTES TERRESTRES. EXTENSÃO DA MALHA FERROVIÁRIA BRASILEIRA 2015.** Disponível em: <<http://portal.antt.gov.br/index.php/content/view/4751/Ferroviaria.html>> Acesso em: 23 ago. 2017.

ANTT – **AGÊNCIA NACIONAL DE TRANSPORTES TERRESTRES. CONCESSÕES FERROVIÁRIAS.** Disponível em: <http://www.antt.gov.br/ferrovias/arquivos/Concessoes_Ferroviarias.html> Acesso em: 23 ago. 2017.

BRINA, H.L. **ESTRADAS DE FERRO 1 – VIA PERMANENTE.** Rio de Janeiro, Livro Técnicos e Científicos S.A, 1979.

CENTRO OESTE BRASIL - LOCOMOTIVAS. Disponível em: <http://www.amstedmaxion.com.br/negocios_ferroviario_vagoes_hopper.php> 10 nov. 2017.

Concessões Ferroviárias – Programa de Investimento em Logística. Ministério dos Transportes, Portos e Aviação. Disponível em: <<http://www.transportes.gov.br/conteudo/52-sistema-de-transportes/2842-concessoes-ferroviarias-programa-de-investimento-em-logistica.html>>. Acesso em: 20 nov. 2017.

DUVAL, Ernani; MAGALHÃES, Paulo C. Barroso, 2006. **Programa para capacitação em superestrutura ferroviária,** Apostila, Belo Horizonte.

FERNANDES, Gilberto. **COMPORTAMENTO DE ESTRUTURAS DE PAVIMENTOS FERROVIÁRIOS COM UTILIZAÇÃO DE SOLOS FINOS E/OU RESÍDUOS DE MINERAÇÃO DE FERRO ASSOCIADOS A GEOSSINTÉTICOS.** – Tese de Doutorado em Geotecnia - Brasília – UnB Faculdade de Tecnologia – FT Departamento de Engenharia Civil e Ambiental – Pós-Graduação, 2005

FLEURY, P. **Ferrovias brasileiras – dez anos de privatização**. Disponível em: www.ilos.com.br. Data de acesso: 21/11/17

LEEVES, G. G. (1992). **Standards for Track Components**. In: **Proceedings of the Conference Cost-Effective Maintenance of Railway Track**. Institution of Civil Engineering, Thomas Telford, London, GB, pp27-36.

MACÊDO, FERNANDA BITTENCOURT. **ESTUDO DO DESGASTE DE TRILHOS FERROVIÁRIOS**. 2009, Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia de Produção) – Universidade Federal de Juiz de Fora, Juiz de Fora

MAGALHÃES, P. **PROGRAMA DE ESPECIALIZAÇÃO EM ENGENHARIA FERROVIÁRIA – CURSO DE ESPECIALIZAÇÃO EM ENGENHARIA FERROVIÁRIA - VIA PERMANENTE**. Belo Horizonte, Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais e IEC – Instituto de Educação Continuada, 2015

MUNIZ DA SILVA, L.F. **FUNDAMENTOS TEÓRICO-EXPERIMENTAIS DA MECÂNICA DOS PAVIMENTOS FERROVIÁRIOS E ESBOÇO DE UM SISTEMA DE GERÊNCIA APLICADO À MANUTENÇÃO DA VIA PERMANENTE**. 2002, Tese (Doutorado em Ciências em Engenharia Civil), COPPER, UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO DE JANEIRO, RIO DE JANEIRO.

NABAIS, R. J. da Silva. **Manual Básico de Engenharia Ferroviária**. Oficina de Textos. São Paulo, 2015.

PAIVA, C. E. L de. **Super e Infraestruturas de Ferrovias**. Elsevier. Rio de Janeiro, 2016.

PROGRAMA DE INVESTIMENTOS EM LOGÍSTICA – MINISTÉRIO DO PLANEJAMENTO. Disponível em: <http://www.epl.gov.br/ferrovias2> Acesso em: 10 novo. 2017.

SPADA, J.L.G. **UMA ABORDAGEM DE MECÂNICA DOS PAVIMENTOS APLICADA AO ENTENDIMENTO DO MECANISMO DE COMPORTAMENTO TENSÃO-DEFORMAÇÃO DA VIA FÉRREA**. 2003, Dissertação (Doutorado em Ciências em Engenharia Civil), COPPER, UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO DE JANEIRO, RIO DE JANEIRO.

STEFFLER, F. **VIA PERMANENTE APLICA – GUIA TEÓRICO PRÁTICO**. Rio de Janeiro: LTC, 2013.

STOPATTO, S. **VIA PERMANENTE FERROVIÁRIA – CONCEITOS E APLICAÇÕES**. São Paulo, T.A. Queiroz, Editor, LTDA., 1987.

4. CONSIDERAÇÕES FINAIS E CONCLUSÃO

A ideia de elaboração deste presente trabalho constituiu em estudar e analisar a funcionalidade dos trilhos em uma via férrea, bem como seus modelos e classificações e o desgaste ocorrido devido o contato roda-trilho devido ao intenso volume de tráfego e as elevadas cargas solicitantes provenientes do mesmo.

Foram estudados os principais componentes da via permanente, seu modo de funcionamento, características técnicas do material, como é o funcionamento do contato roda-trilho e o modo de como o trilho é desgastado por este processo. Objetivando assim servir de base para futuros estudos para principiantes na área ferroviária, servindo de embasamento teórico para os mesmo.

Este trabalho teve como contribuição academia, apresentar que mesmo com vários estudos em relação ao efeito roda-trilho e o desgaste do boleto, ainda não há um valor limite que possa ser aplicado com total segurança, pois são vários os fatores que causam a estabilidade e a instabilidade da roda no trilho.

Ainda foi realizado um estudo de caso junto a VLi, utilizado assim para ilustrar e exemplificar o estudo dos trilhos feito anteriormente. Pode confirmar a importância dos mesmos na composição da superestrutura da via, onde além de serem elemento principal para a rodagem dos veículos, são responsáveis por serem o item de maior custo para aquisição. Com isso confirma que a manutenção da via sai a preços elevados e portanto recomenda-se um ciclo preventivo para prolongamento da vida útil dos trilhos.

Com os trilhos em bom estado para funcionamento da via, percebe-se que os outros elementos componentes da ferrovia conseguem por sua vez aumentarem sua vida útil por conseguinte. Uma vez que serão menos danificados, pois a composição a qual trafega pela via, terá um tráfego menos forçado, sem trepidações.

Como recomendações para futuras pesquisas e estudos, pode-se sugerir uma abordagem mais ampla sobre os efeitos do desgaste do contato roda-trilho e as consequências de um monitoramento falho para manutenções. Tendo em consideração que são os principais causadores de prejuízos ao sistema econômico ferroviário. Estudos relacionados ao desgaste lateral dos boletos e o aumento da folga da bitola do rodeiro, quais os impactos na via, ao tentar aumentar a velocidade de tráfego na via.

5. REFERÊNCIAS

ABNT. **Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 7590, Trilho Vignole – Requisitos.** Rio de Janeiro. 2012.

ANTT – **AGÊNCIA NACIONAL DE TRANSPORTES TERRESTRES. ANUÁRIO ESTATÍSTICO.** Disponível em: <http://www.antt.gov.br/ferrovias/arquivos/Anuario_Estatistico.html> Acesso em: 05 jul. 2018.

ANTT – **AGÊNCIA NACIONAL DE TRANSPORTES TERRESTRES. EXTENSÃO DA MALHA FERROVIÁRIA BRASILEIRA 2015.** Disponível em: <<http://portal.antt.gov.br/index.php/content/view/4751/Ferrovias.html>> Acesso em: 23 ago. 2017.

ANTT – **AGÊNCIA NACIONAL DE TRANSPORTES TERRESTRES. CONCESSÕES FERROVIÁRIAS.** Disponível em: <http://www.antt.gov.br/ferrovias/arquivos/Concessoes_Ferrovias.html> Acesso em: 23 ago. 2017.

BRINA, H.L. **ESTRADAS DE FERRO 1 – VIA PERMANENTE.** Rio de Janeiro, Livro Técnicos e Científicos S.A, 1979.

CENTRO OESTE BRASIL - LOCOMOTIVAS. Disponível em: <http://www.amstedmaxion.com.br/negocios_ferrovioario_vagoes_hopper.php> 10 nov. 2017.

Concessões Ferroviárias – Programa de Investimento em Logística. Ministério dos Transportes, Portos e Aviação. Disponível em: <<http://www.transportes.gov.br/conteudo/52-sistema-de-transportes/2842-concessoes-ferrovias-programa-de-investimento-em-logistica.html>>. Acesso em: 20 nov. 2017.

DUVAL, Ernani; MAGALHÃES, Paulo C. Barroso, 2006. **Programa para capacitação em superestrutura ferroviária,** Apostila, Belo Horizonte.

FERNANDES, Gilberto. **COMPORTAMENTO DE ESTRUTURAS DE PAVIMENTOS FERROVIÁRIOS COM UTILIZAÇÃO DE SOLOS FINOS E/OU RESÍDUOS DE MINERAÇÃO DE FERRO ASSOCIADOS A GEOSSINTÉTICOS.** – Tese de Doutorado em Geotecnia - Brasília – UnB Faculdade de Tecnologia – FT Departamento de Engenharia Civil e Ambiental – Pós-Graduação, 2005

FLEURY, P. **Ferrovias brasileiras – dez anos de privatização.** Disponível em: www.ilos.com.br. Data de acesso: 21/11/17

LEEVES, G. G. (1992). **Standards for Track Components. In: Proceedings of the Conference Cost-Effective Maintenance of Railway Track.** Institution of Civil Engineering, Thomas Telford, London, GB, pp27-36.

MACÊDO, FERNANDA BITTENCOURT. **ESTUDO DO DESGASTE DE TRILHOS FERROVIÁRIOS**. 2009, Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia de Produção) – Universidade Federal de Juiz de Fora, Juiz de Fora

MAGALHÃES, P. **PROGRAMA DE ESPECIALIZAÇÃO EM ENGENHARIA FERROVIÁRIA – CURSO DE ESPECIALIZAÇÃO EM ENGENHARIA FERROVIÁRIA - VIA PERMANENTE**. Belo Horizonte, Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais e IEC – Instituto de Educação Continuada, 2015

MUNIZ DA SILVA, L.F. **FUNDAMENTOS TEÓRICO-EXPERIMENTAIS DA MECÂNICA DOS PAVIMENTOS FERROVIÁRIOS E ESBOÇO DE UM SISTEMA DE GERÊNCIA APLICADO À MANUTENÇÃO DA VIA PERMANENTE**. 2002, Tese (Doutorado em Ciências em Engenharia Civil), COPPER, UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO DE JANEIRO, RIO DE JANEIRO.

NABAIS, R. J. da Silva. **Manual Básico de Engenharia Ferroviária**. Oficina de Textos. São Paulo, 2015.

PAIVA, C. E. L de. **Super e Infraestruturas de Ferrovias**. Elsevier. Rio de Janeiro, 2016.

PROGRAMA DE INVESTIMENTOS EM LOGÍSTICA – MINISTÉRIO DO PLANEJAMENTO. Disponível em: <<http://www.epl.gov.br/ferrovias2>> Acesso em: 10 novo. 2017.

SPADA, J.L.G. **UMA ABORDAGEM DE MECÂNICA DOS PAVIMENTOS APLICADA AO ENTENDIMENTO DO MECANISMO DE COMPORTAMENTO TENSÃO-DEFORMAÇÃO DA VIA FÉRREA**. 2003, Dissertação (Doutorado em Ciências em Engenharia Civil), COPPER, UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO DE JANEIRO, RIO DE JANEIRO.

STEFFLER, F. **VIA PERMANENTE APLICA – GUIA TEÓRICO PRÁTICO**. Rio de Janeiro: LTC, 2013.

STOPATTO, S. **VIA PERMANENTE FERROVIÁRIA – CONCEITOS E APLICAÇÕES**. São Paulo, T.A. Queiroz, Editor, LTDA., 1987.

6. ANEXOS

ANEXO I – MALHAS REGIONAIS E AS CONCESSIONÁRIAS ADQUIRENTES

Malhas Regionais	Ferrovia	Bitola			Total
		Larga	Métrica	Mista	
MA/PA	Estrada de Ferro Carajás	978			978
PR	Estrada de Ferro Paraná Oeste		248		248
ES/MG	Estrada de Ferro Vitória Minas		873	22	895
Centro Leste	Ferrovia Centro Atlântica	3	7.089	131	7.223
Norte Sul	Ferrovia Norte Sul - Tramo Central	856			856
Norte Sul	Ferrovia Norte Sul - Tramo Norte	745			745
Tereza Cristina	Ferrovia Tereza Cristina		163		163
Nordeste	Ferrovia Transnordestina - FTL		4.275	20	4.295
Sudeste	MRS	1.613		73	1.686
MS/MT	Rumo Malha Norte	735			735
OESTE	Rumo Malha Oeste		1.973		1.973
Paulista	Rumo Malha Paulista	1.544	242	269	2.055
Sul	Rumo Malha Sul		7.223		7.223
Total		6.474	22.086	515	29.075

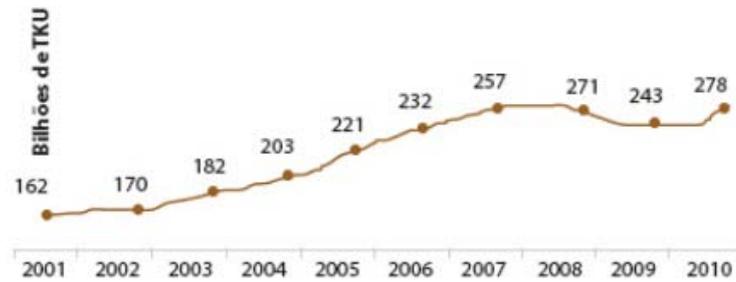
Fonte: ANTT – Agencia Nacional de Transportes Terrestres, 2017

ANEXO II – EVOLUÇÃO INDICADORES DAS FERROVIAS ENTRE 1997 E 2001

Indicadores de desempenho	1997	2001	Evolução
Volume transportado (bilhões de TKU)	138	162	17%
Distância média (km)	518*	531	3%
Receita líquida (R\$ bilhões)	2,4	3,5	45%
Velocidade média comercial (km/h)	21	22	5%
Produto médio (R\$/mil TKU)	17,56	22,54	28%
Acidentes (números/milhão de trem.km)	80	49,1	-39%
Investimentos (R\$ bilhões)	0,35	0,81	131%

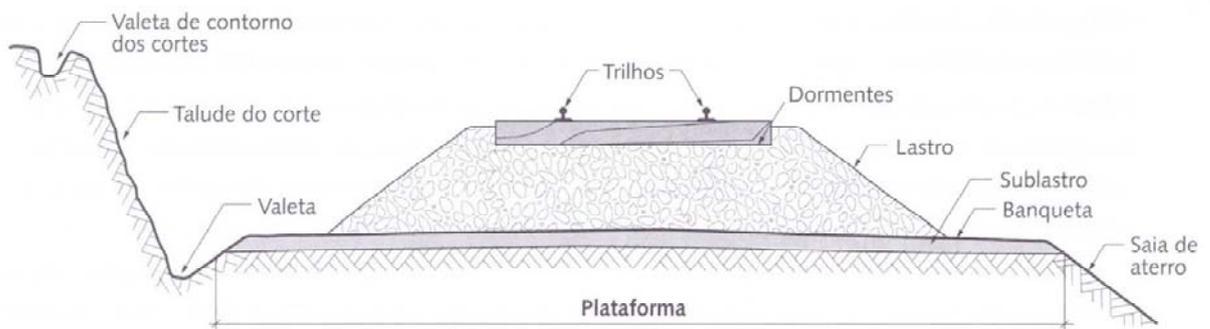
Fonte: (AET/GEIPOT, 2000 em CASTRO, 2002; ANTT, 2006; FLEURY, 2007)

ANEXO III – EVOLUÇÃO DO TRANSPORTE FERROVIÁRIO DE CARGA



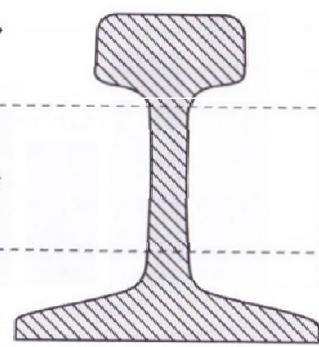
Fonte: ANNT, Análise: Instituto ILOS.

ANEXO IV – SUPERESTRUTURA DA VIA FÉRREA



Fonte: NABAIS, 2015, p 19.

ANEXO V – IDENTIFICAÇÃO DO TRILHO

Região	Característica	Perfil
Boleto	Recebe a carga das rodas. Deve ter uma área de contato adequada para reduzir a pressão e permitir o desgaste.	
Alma	Liga o boleto ao patim e sua altura determina a inércia e, conseqüentemente, grande parte da resistência do perfil à carga máxima por eixo.	
Patim	Transfere as cargas para os dormentes. É achatada para reduzir a pressão de contato e facilitar o acesso às fixações.	

Fonte: STEFFLER, F., 2013, pg. 40

ANEXO VI – COMPOSIÇÃO QUÍMICA EM PORCENTAGEM PARA AÇO COMUM

	Mínimo	Máximo
Carbono	0,72	0,82
Manganês	0,80	1,10
Silício	0,10	0,50
Fósforo		0,02
Enxofre		0,02

Fonte: Via Permanente e Aplciada, 2013, p. 43.

ANEXO VII – COMPOSIÇÃO QUÍMICA EM PORCENTAGEM PARA O AÇO PREMIUM

	Mínimo	Máximo
Carbono	0,72	0,82
Manganês	0,70	1,25
Silício	0,10	1,00
Fósforo		0,02
Enxofre		0,02

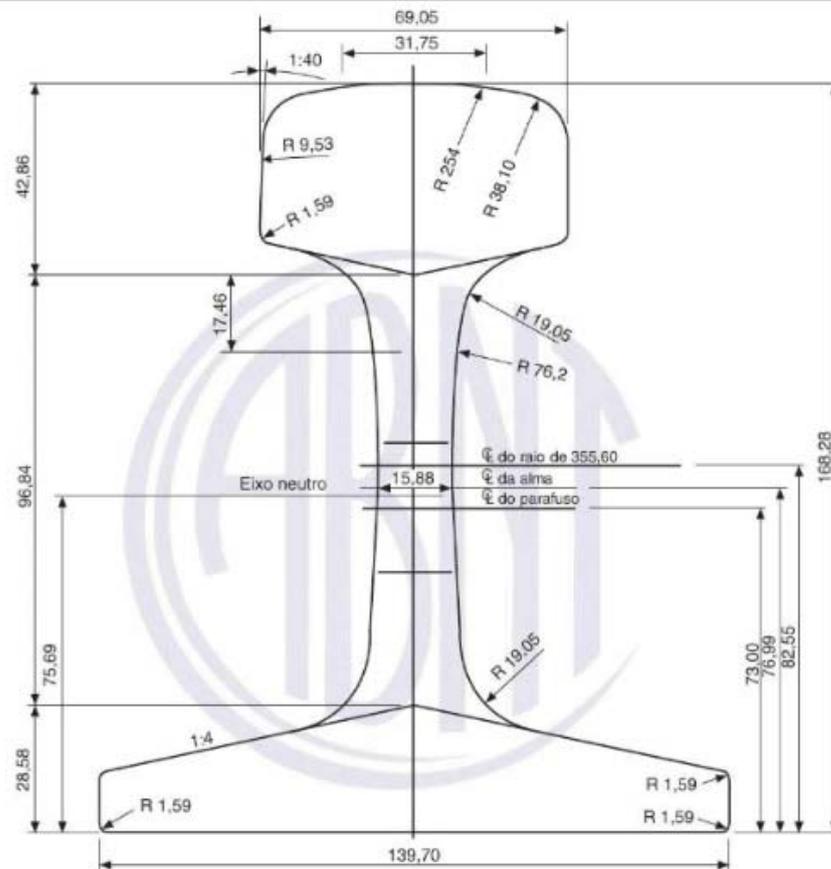
Fonte: Via Permanente e Aplciada, 2013, p. 43.

ANEXO VIII – COMPOSIÇÃO QUÍMICA EM PORCENTAGEM PARA O AÇO SUPER PREMIUM

	Mínimo	Máximo
Carbono	0,84	1,00
Manganês	0,70	1,25
Silício	0,10	0,60
Fósforo		0,02
Enxofre		0,02

Fonte: Via Permanente e Aplciada, 2013, p. 43.

ANEXO IX – ESPECIFICAÇÕES E CARACTERÍSTICAS DO TRILHO TR 57

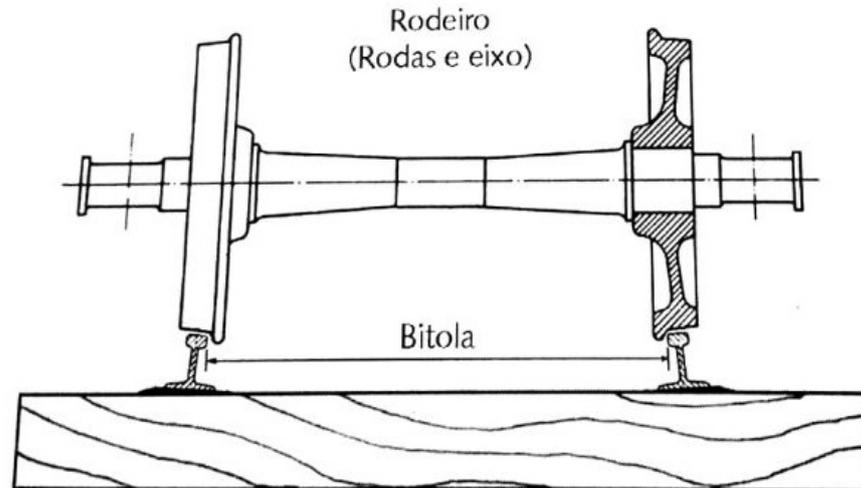


Fonte: NBR 7590, 2012

Peso Teórico	56.89 kg/m (114.68 lb/yda)
Área (A)	72.65 cm ² (11.26 pol. ²)
Momento de Inércia (Ix)	2730.48 cm ⁴ (65.5 pol. ⁴)
Módulo de Resistência (W): Boleto	303.65 cm ³ (18.53 pol. ³)
Módulo de Resistência (W): Patim	360.52 cm ³ (22.00 pol. ³)

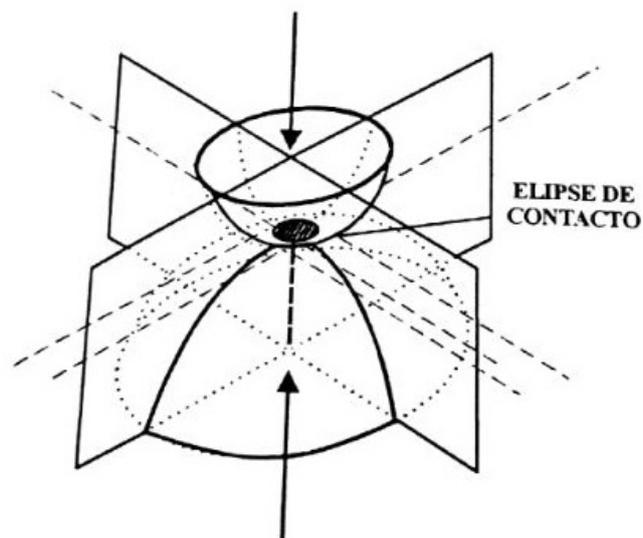
Fonte: NBR 7590,2012

ANEXO X – RODEIRO (RODAS E EIXO) SOBRE OS TRILHOS



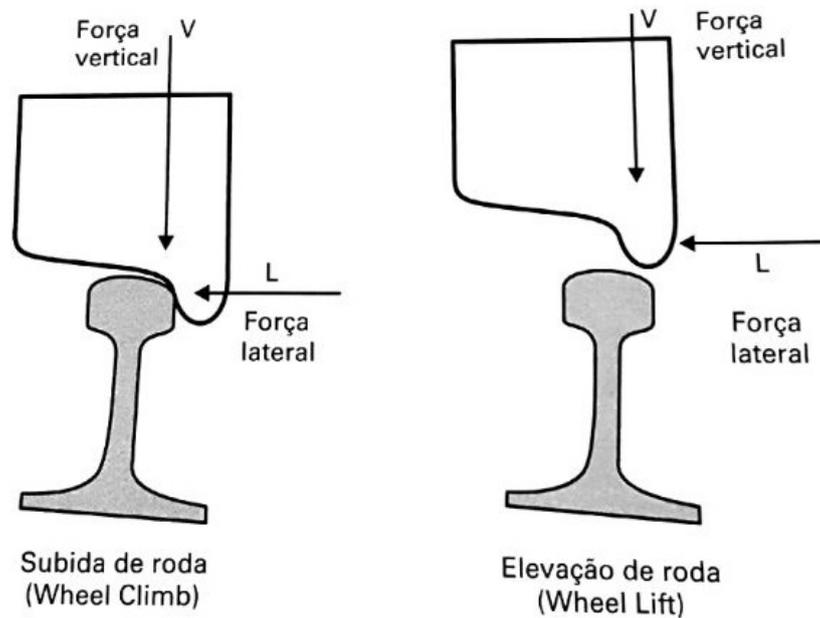
Fonte: Manual Básico de Engenharia Ferroviária, 2015, p. 272.

ANEXO XI – CONTATO ENTRE SÓLIDOS ELÁSTICOS



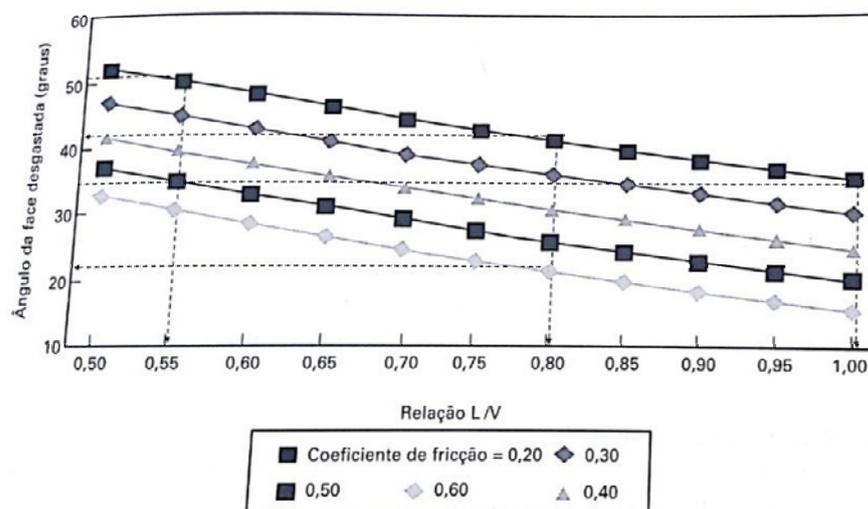
Fonte: Curso de Especialização em Engenharia Civil, 2015, p. 124.

ANEXO XII – RELAÇÃO L/V



Fonte: Via Permanente Aplicada, 2013, p. 260.

ANEXO XIII – GRÁFICO DA RELAÇÃO ENTRE ÂNGULO E ATRITO



Fonte: Via Permanente Aplicada, 2013, p. 263

ANEXO XIV – PROPRIEDADES MECÂNICAS DO AÇO

Tipo de aço		Resistência à tração mínima Mpa	Alongamento mínimo %	Escoamento mínimo Mpa	Dureza Brinell HB
Aço-carbono (resistência mínima)	3	880	10	420	260 a 310
	4	980	10	510	280 a 320
Aço-liga (média resistência)	7	1 000	8	580	310 a 340
	8	1 190	10	770	340 a 370
Aço tratado (alta resistência)	10	1 200	10	840	370 a 420

Fonte: ABNT NBR 7590, 2012

ANEXO XV – COMPONENTES QUÍMICOS DO AÇO

Composição química %		Aço-carbono		Aço-liga		
		3	4	7	8	10
Carbono	Máxima	0,80	0,82	0,80	0,92	0,92
	Mínima	0,60	0,72	0,70	0,72	0,72
Manganês	Máxima	1,30	1,10	1,40	0,79	1,25
	Mínima	0,80	0,80	1,00	0,60	1,11
Silício	Máxima	0,50	0,60	1,00	0,60	0,60
	Mínima	0,10	0,10	0,60	0,10	0,10
Fósforo	Máxima	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02
Enxofre	Máxima	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02
Níquel	Máxima	–	–	–	0,15	0,15
Cromo	Máxima	0,15	0,15	0,40	0,70	0,70
	Mínima	–	–	0,15	0,15	0,15
Molibdênio	Máxima	–	–	–	0,05	0,05
Vanádio	Máxima	–	–	–	0,01	0,01
Nióbio	Máxima	–	–	0,05	–	–
	Mínima	–	–	0,02	–	–

Fonte: ABNT NBR 7590, 2012

ANEXO XVI – VARIAÇÃO DOS COMPONENTES QUÍMICOS DO AÇO

Elemento	Abaixo da mínima %	Acima da máxima %
Carbono	0,04	0,04
Manganês	0,06	0,06
Fósforo	–	0,008
Enxofre	–	0,008
Silício	0,02	0,05

NOTA A variação da Tabela 5 só é considerada para análise química de amostra retirada do boleto de peça acabada.

Fonte: ABNT NBR 7590, 2012

ANEXO XVII – TEORES MÁXIMOS DOS ELEMENTOS COMPOSTOS NO AÇO

Valores em porcentagem em massa

Classe	Individualizados % em massa										Combinados % em massa	
	Cromo (Cr)	Molibdênio (Mo)	Níquel (Ni)	Cobre (Cu)	Estanho (Sn)	Antimônio (Sb)	Titânio (Ti)	Nióbio (Nb)	Vanádio (V)	Alumínio (Al)		Nitrogênio (N)
A	–	0,02	0,10	0,15	0,04	0,02	0,025	0,01	0,03	0,004	0,009	Mo + Ni + V < 0,20
B	0,10	0,02	0,10	0,15	0,04	0,02	0,025	0,01	0,03	0,004	0,009	Cr + Mo + Ni < 0,25

Fonte: ABNT NBR 7590, 2012