

INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE MINAS
GERAIS - *CAMPUS* BETIM
BACHARELADO EM ENGENHARIA MECÂNICA

Adenilson Gualberto de Azevedo

**ESTUDO DE GABARITO PARA TRANSPORTE FERROVIÁRIO URBANO: Linha 2
do Metrô de Belo Horizonte**

Betim

2025

ADENILSON GUALBERTO DE AZEVEDO

**Estudo de gabarito para transporte ferroviário urbano: Linha 2 do Metrô de
Belo Horizonte**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à banca examinadora do curso de Engenharia Mecânica do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Minas Gerais *Campus* Betim, como parte dos requisitos para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Mecânica.

Orientador: Prof. Me. Rogério Eustáquio de Souza

Betim

2025

FICHA CATALOGRÁFICA

A994e Azevedo, Adenilson Gualberto de

Estudo de gabarito para transporte ferroviário urbano: linha 2 do metrô de Belo Horizonte / Adenilson Gualberto de Azevedo. – 2025.

50 f. : il.

Trabalho de conclusão de curso (Bacharelado em Engenharia Mecânica) - Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Minas Gerais, Câmpus Betim, 2025.

Orientação: Prof. Me. Rogério Eustáquio de Souza

1. Metrô. 2. Mobilidade urbana. 3. Transporte urbano. 4. Plataforma de locomotiva. 5. Engenharia Mecânica. I. Azevedo, Adenilson Gualberto de. II. Título.


CDU: 629.04

Adenilson Gualberto de Azevedo


ESTUDO DE GABARITO PARA TRANSPORTE FERROVIÁRIO URBANO: Linha 2 Metrô de Belo Horizonte

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao curso de Engenharia Mecânica do Instituto Federal de Minas Gerais Campus Betim como requisito parcial à obtenção do grau de Bacharel em Engenharia Mecânica.


Aprovado em 09 de setembro de 2025, pela banca examinadora:

Documento assinado digitalmente
 **ROGERIO EUSTAQUIO DE SOUZA**
Data: 17/09/2025 18:52:39-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Prof. Msc. Rogério Eustáquio de Souza (Orientador) - IFMG Campus Betim

Documento assinado digitalmente
 **FELIPE AUGUSTO ROCHA DA SILVA**
Data: 17/09/2025 15:31:33-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Prof. Dr. Felipe Augusto Rocha da Silva (Avaliador) - IFMG Campus Ibirité

Documento assinado digitalmente
 **RICARDO DE LIMA SILVA**
Data: 17/09/2025 11:31:46-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Prof. Dr. Ricardo de Lima Silva (Avaliador) – IFMG Campus Betim

Dedico este trabalho a Aurora, raio de sol
do papai.

AGRADECIMENTOS

À Deus, por Sua infinita graça e misericórdia, que me sustentaram em cada etapa desta jornada. Sem Sua presença, nada disso seria possível.

À minha companheira de vida e de sala de aula, Ana. Obrigado por ser esta esposa incrível, acreditar que venceríamos juntos tornou esta jornada muito mais leve, e sem você, nada disso faria sentido.

À Aurora, minha princesa, sou eternamente grato pela bênção de ser seu pai.

A minha mãe, por todo o amor, apoio e ensinamentos ao longo da minha vida. Sou profundamente grato por tudo que fez e faz por mim.

Ao meu orientador Rogério pelo apoio durante a realização deste TCC. Aos meus colegas de trabalho da Wabtec, sendo representados aqui por Francisco e Breno.

Provai, e vede que o Senhor é bom; bem-aventurado o homem que nele confia.

Salmos 34:8

RESUMO

A implantação da Linha 2 do metrô de Belo Horizonte exige cuidados técnicos para garantir a compatibilidade entre o material rodante e a infraestrutura da via. Nesse contexto, o gabarito ferroviário desempenha papel crucial, pois permite antecipar possíveis interferências entre trens, plataformas, túneis, pontes e demais estruturas do trajeto. Este trabalho analisa a locomotiva CNR CKD8 e os parâmetros da via permanente, como raio de curvas, estações e obras previstas, demonstrando a aplicação prática dos gabaritos no processo de implantação. A metodologia adotada envolveu a aplicação da norma técnica da ABNT, NBR 12915:2020 e o desenvolvimento de modelos geométricos por meio do software NX 12. Foram realizados cálculos de deslocamento lateral da plataforma em relação aos truques, considerando efeitos de balanço em curvas. A etapa final do trabalho consistiu na validação prática do gabarito, por meio de simulações e testes em campo, destacando a importância de antecipar interferências estruturais antes do início da operação. Os resultados demonstram que, mesmo com planejamento e cálculos detalhados, o ensaio em campo permanece essencial para ajustes e validações. O estudo evidencia a relevância da engenharia aplicada à mobilidade urbana, oferecendo uma contribuição direta para a segurança, eficiência e longevidade do sistema metroferroviário da capital de Minas Gerais.

Palavras-chave: mobilidade urbana; transporte público; metrô; plataforma de locomotiva; truque de locomotiva.

ABSTRACT

The implementation of Line 2 of the Belo Horizonte metro requires technical measures to ensure compatibility between rolling stock and track infrastructure. In this context, the railway clearance gauge plays a crucial role, as it allows the anticipation of potential interferences between trains, platforms, tunnels, bridges, and other structures along the route. This study analyzes the CNR CKD8 locomotive and the parameters of the permanent way, such as curve radius, stations, and planned civil works, demonstrating the practical application of clearance gauges in the implementation process. The methodology involved the application of the ABNT technical standard NBR 12915:2020 and the development of geometric models using NX 12 software. Calculations of the lateral displacement of the platform in relation to the bogies were performed, taking into account the effects of sway on curves. The final stage of the study consisted of the practical validation of the clearance gauge through simulations and field tests, highlighting the importance of anticipating structural interferences before the start of operation. The results demonstrate that, even with detailed planning and calculations, field testing remains essential for adjustments and validations. The study emphasizes the relevance of engineering applied to urban mobility, offering a direct contribution to the safety, efficiency, and longevity of the metro system in the capital of Minas Gerais.

Keywords: urban mobility; public transportation; subway; locomotive platform; locomotive truck.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Mapa do metrô de Belo Horizonte Linha 1 e Linha 2	15
Figura 2 - London Underground em operação	20
Figura 3 - Gabarito acoplado em plataforma convencional	21
Figura 4 - Teste de gabarito em locomotiva operacional da frota.....	22
Figura 5 - Isométrico transporte ferroviário urbano CNR CKD8	24
Figura 6 - Dimensões laterais transporte ferroviário urbano CNR CKD8	24
Figura 7 - Dimensões frontais transporte ferroviário urbano CNR CKD8	25
Figura 8 - Posicionamento estrutural do truque e da plataforma.....	26
Figura 9 - Truque fundido ride control com amortecimento.....	27
Figura 10 - Simulação da articulação dos truques	28
Figura 11 - Trajeto Linha 2 metrô de Belo Horizonte.....	29
Figura 12 - Embarque e desembarque Estação Vilarinho.....	30
Figura 13 - Curva após a futura Estação Nova Gameleira.....	31
Figura 14 - Curva anterior a futura Estação Nova Cintra	31
Figura 15 - Curva anterior a futura Estação Ferrugem.....	32
Figura 16 - Gabarito estático para veículos de bitola larga (1,60 m)	34
Figura 17 - Oscilações na curva do truque e plataforma	35
Figura 18 - Comparativo do comportamento da plataforma em curvas.....	35
Figura 19 - Diagrama de oscilação geométrica	36
Figura 20 - Curva após a futura Estação Nova Gameleira.....	38
Figura 21 - Curva anterior a futura Estação Nova Cintra	39
Figura 22 - Curva anterior a futura Estação Ferrugem.....	40
Figura 23 - Projeção gabarito estático transporte ferroviário urbano.....	41
Figura 24 - Projeção gabarito dinâmico transporte ferroviário urbano.....	45
Figura 25 - Análise de gabarito ferroviário em campo.....	46

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Conversão Curva 1	38
Quadro 2 - Conversão Curva 2	39
Quadro 3 - Conversão Curva 3	40

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT: Associação Brasileira de Normas Técnicas

CBTU-MG: Companhia Brasileira de Trens Urbanos em Minas Gerais

CEPA: Centro de Ensino e Pesquisa Aplicada da Universidade de São Paulo

IBGE: Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística

IFMG: Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Minas Gerais

NBR: Normas Técnicas Brasileiras

TCC: Trabalho de Conclusão de Curso

VDMG: Veículo de Desestatização MG Investimentos

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	14
1.1	Justificativa.....	16
1.2	Objetivos.....	16
1.2.1	Objetivos Específicos	17
1.3	Organização do Trabalho	17
2	FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	18
2.1	Gabaritos Ferroviários	19
2.2	Especificações da máquina.....	23
2.3	Elementos estruturais relevantes ao estudo	25
2.3.1	Truque	26
2.3.2	Plataforma	28
2.4	Infraestrutura do trajeto.....	28
3	METODOLOGIA	33
3.1	Gabarito Estático.....	33
3.2	Estudo Clearance Development.....	34
3.3	Raio da Curva – Medições	38
4	RESULTADOS E DISCURSÕES.....	41
4.1	Resultado Gabarito Estático	41
4.2	Resultados do cálculo de deslocamento da plataforma em relação aos truques	42
4.2.1	Curva 1 - Curva Após a Futura Estação Nova Gameleira	42
4.2.2	Curva 2 - Curva Anterior a Futura Estação Nova Cintra.....	43
4.2.3	Curva 3 - Curva Anterior a Futura Estação Ferrugem.....	43
4.3	Validação prática do gabarito ferroviário	45
5	CONCLUSÃO	47
	REFERÊNCIAS.....	48

1 INTRODUÇÃO

O sistema de transporte público no Brasil enfrenta desafios estruturais cada vez mais complexos, intensificados pelo crescimento demográfico, resultante tanto do aumento da taxa de natalidade quanto da elevação da expectativa de vida dos brasileiros, e pela expansão desordenada dos centros urbanos (BASE DOS DADOS IBGE, 2022). Diante disso, o transporte metroviário configura-se como uma solução estratégica para a mobilidade urbana, por sua capacidade de atender grandes fluxos populacionais com eficiência, regularidade e menor impacto ambiental. (SILVA, 2021). Essa modalidade de transporte é largamente utilizada em países desenvolvidos e em metrópoles brasileiras, como São Paulo.

Como garantir que o metrô opere dentro dos limites estáticos e dinâmicos definidos para o trecho, conforme estabelecido em projeto? Como assegurar que, no início da operação, não ocorram interferências ou incompatibilidades que impeçam a população de usufruir desta utilidade pública?

Essa é precisamente a função do gabarito ferroviário explorado neste TCC. Este elemento avalia os limites máximos, em medidas matemáticas, das condições mais adversas para o material rodante em trânsito pela via permanente, a fim de aumentar a vida útil da máquina, e por consequência da via permanente. Acrescido ao estudo serão abordadas funcionalidade, necessidade e construção de gabarito ferroviário, onde a geometria do transporte ferroviário urbano irá ser testado para a linha 2 do metrô da cidade de Belo Horizonte/Minas Gerais.

A Linha 2 terá início na Estação Nova Suíça, passando por locais estratégicos como a Avenida Amazonas e os bairros Nova Gameleira, Nova Cintra, Vista Alegre e Ferrugem (METRÔ BH, 2025). Trata-se de uma linha complementar à Linha 1, já em operação, que se estende da Estação Vilarinho, em Belo Horizonte, até a Estação Eldorado, em Contagem, conforme ilustrado na Figura 1. A confecção do gabarito de teste irá seguir as recomendações da ABNT (Associação Brasileira de Normas Técnicas) por meio da NBR (Norma Regulamentadora Brasileira) 12915 - Via férrea — Gabarito ferroviário e entrevia — Especificações.

Figura 1 - Mapa do metrô de Belo Horizonte Linha 1 e Linha 2



Fonte: Adaptado de METRÔ BH (2023).

1.1 Justificativa

A obrigatoriedade do gabarito ferroviário constitui etapa essencial no processo de implantação de sistemas metroviários, uma vez que garante a conformidade do metrô na via permanente e, conseqüentemente, a segurança e confiabilidade da operação. No caso específico da Linha 2 do metrô de Belo Horizonte, a aplicação deste torna-se ainda mais relevante diante da complexidade da infraestrutura, das interferências construtivas e da necessidade de assegurar a plena integração com a linha já existente.

Este Trabalho de Conclusão de Curso, na modalidade estudo de caso, justifica-se pela contribuição prática que oferece ao demonstrar não apenas a necessidade do gabarito como ferramenta de controle técnico, mas também a estrutura para sua concepção, os critérios de projeto e os testes de validação aplicados em campo. Dessa forma, busca-se evidenciar que a correta elaboração e aplicação dos gabaritos ferroviários representam condição indispensável para o funcionamento adequado e seguro da Linha 2 no momento de sua inauguração, garantindo à população um serviço de transporte eficiente, confiável e duradouro.

1.2 Objetivos

Este Trabalho de Conclusão de Curso tem como objetivo geral o estudo e aplicação de gabarito ferroviários no contexto da implantação da Linha 2 do metrô de Belo Horizonte. Partindo da necessidade de garantir a compatibilidade entre o material rodante e a infraestrutura da via permanente, o estudo apresenta uma análise das especificações técnicas da locomotiva CNR CKD8, sendo este o modelo referência para cálculos e análises, os parâmetros estruturais do trajeto, como raio de curvas, pontes e estações.

1.2.1 Objetivos Específicos

A fim de cumprir o objetivo geral, abaixo listam-se os objetivos específicos:

- a) Realizar uma compilação e interpretação acerca das normas e bibliografia que regulamentam o gabarito ferroviário;
- b) Explanar acerca da infraestrutura, relevo e via permanente já existente a ser adequada para a nova linha do metrô;
- c) Apresentar exemplo e aplicação prática de gabarito ferroviário com uso do software NX Siemens.

1.3 Organização do Trabalho

Este Trabalho de Conclusão de Curso na modalidade estudo de caso, está estruturado em cinco seções, cada uma abordando aspectos fundamentais para o entendimento do estudo. Na primeira seção, é apresentada a introdução, onde são expostos o contexto do tema, sua relevância e as motivações que levaram à escolha deste. A segunda seção é dedicada à fundamentação teórica, fornecendo os conceitos e considerações necessárias para embasar e facilitar a compreensão do tema abordado. A terceira seção é dedicada à aplicação prática dos conceitos abordados em modelo real de máquina e via permanente. A quarta seção é dedicada à apresentação dos resultados. Por fim, a quinta seção apresenta as conclusões, destacando os principais tópicos e contribuições do estudo.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Segundo o CEPA – Centro de Ensino e Pesquisa Aplicada da Universidade de São Paulo, o metrô é um sistema de trens elétricos de alta capacidade, destinado ao transporte urbano de passageiros, com notável desempenho energético e operacional (CEPA, 1999). Essa característica o torna um componente essencial na estrutura de mobilidade das metrópoles, contribuindo para a redução do tráfego de veículos individuais e, conseqüentemente, para a diminuição da emissão de poluentes atmosféricos.

O metrô se destaca por operar em vias subterrâneas ou, quando em nível térreo, segregadas do sistema viário convencional, o que minimiza interferências com o tráfego de superfície. Essa característica, somada à elevada capacidade de transporte, torna-o uma solução altamente eficiente para atender à demanda da mobilidade urbana.

No estado de Minas Gerais, segundo a Invest Minas, agência de promoção de investimento criada pelo Governo de Minas Gerais, o estado concentra aproximadamente 5 mil km de extensão em malha ferroviária, o que corresponde a 17% da malha ferroviária nacional. Além disso, Minas Gerais é o único estado brasileiro produtor de locomotivas, maior indústria metalúrgica do país e segundo maior fabricante de produtos de metal, também as mais relevantes concessionárias de ferrovias operam em Minas Gerais. (Invest Minas, 2025)

Sendo Minas Gerais o estado referência no transporte de cargas via ferroviária, o mesmo acabou não sendo realidade para o transporte de pessoas, antes operada pelas empresas CBTU-MG (Companhia Brasileira de Trens Urbanos em Minas Gerais) e da VDMG (Veículo de Desestatização MG Investimentos) e atualmente pelo Grupo Comporte (LOBO, 2023), a operação comercial do sistema metroviário em Belo Horizonte iniciou em agosto de 1986, a partir de um projeto que previa a ligação, via trem metropolitano, entre os municípios de Belo Horizonte, Contagem e Betim, ao longo de dois ramais, Betim – Matadouro e Barreiro – Calafate.

Inicialmente, apenas o trecho Eldorado – Lagoinha foi implantado. Posteriormente, mais trechos foram entregues, porém fora do cronograma previsto. Somente em 2002 as atuais 19 estações do sistema foram concluídas e apenas em 2005 a operação entre Eldorado e Vilarinho passou a ocorrer em caráter pleno. As obras da Linha 2, Barreiro – Calafate, chegaram a ser iniciadas em 1998, tendo sido paralisadas em 2004 e retomada em 2025. (METRÔ BH, s.d)

A Linha 2 iniciará na Estação Nova Suíça, passando por locais estratégicos como Avenida Amazonas e bairros Nova Gameleira, Nova Cintra, Vista Alegre e Ferrugem (METRÔ BH, 2025). Considerando que a via por onde o transporte ferroviário urbano irá trafegar já possui sua infraestrutura definida, assim como o modelo de transporte a ser utilizado, este TCC exemplifica a aplicação prática do gabarito ferroviário, etapa fundamental para assegurar a correta operação da Linha 2 do metrô.

2.1 Gabaritos Ferroviários

Considerando que as condições topográficas e a infraestrutura física do trajeto da Linha 2 do Metrô de Belo Horizonte já estão previamente definidas e não se espera que sofram alterações significativas, torna-se necessário adaptar o trem a ser fabricado às especificações desse percurso. Nesse contexto, insere-se o conceito de gabarito ferroviário, foco deste Trabalho de Conclusão de Curso, cuja função é propor a compatibilidade entre o material rodante e os elementos fixos da infraestrutura, assegurando que o veículo possa circular livremente pela via, dentro dos limites físicos e operacionais estabelecidos.

O gabarito da via férrea é um modelo geométrico que fixa as dimensões máximas com que o veículo ferroviário pode ser construído, as dimensões máximas da carga e fornece em função das bitolas dos trilhos adotadas e a área da seção transversal, mínima necessária, para a livre circulação na via. Os gabaritos ferroviários e as entrevias são estabelecidos para assegurar que a construção ou manutenção da via permanente e das estruturas limitrófes não permitam que as composições ou veículos ferroviários, ao trafegarem pela via causem impactos com as instalações fixas ou veículos em linhas adjacentes (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2020).

Para garantir a confiabilidade dos resultados, é necessário aplicar testes sucessivos, contemplando diferentes condições operacionais da máquina e do trajeto. Devem ser considerados, por exemplo, testes com o trem parado e em movimento, além da passagem em trechos específicos como túneis e curvas acentuadas. Esse conjunto de parâmetros de controle são essenciais para assegurar que o trem possa operar em todo o trajeto previsto, sem intercorrências, sabendo que milímetros de interferência pode comprometer significativamente o desempenho e a segurança de todo o sistema. Um exemplo clássico dessa necessidade de controle rigoroso sobre o comportamento do material rodante em relação à via é o projeto do London Underground, o sistema de metrô mais antigo do mundo, ilustrado na Figura 2, que se tornou referência histórica nesse aspecto.

Figura 2 - London Underground em operação



Fonte: LINDAU (2011).

O gabarito ferroviário deve ser verificado previamente à construção e operação da locomotiva, a fim de assegurar a compatibilidade com os limites físicos da via. Para esse fim, pode-se utilizar um vagão especial, acoplado a uma locomotiva, geralmente do tipo plataforma convencional, equipado com uma estrutura metálica que simula o gabarito máximo projetado, incluindo as devidas folgas, para a locomotiva em construção (MRS LOGÍSTICA, 2022). A Figura 3 apresenta um exemplo real da aplicação deste método de verificação por gabarito ferroviário.

Figura 3 - Gabarito acoplado em plataforma convencional



Fonte: MRS LOGÍSTICA (2022).

Outra abordagem possível é a utilização de uma locomotiva com características semelhantes àquela em desenvolvimento, acoplando-se a ela estruturas metálicas que representem os gabaritos ferroviários. Essa prática permite validar, na prática, a compatibilidade da nova composição com o trecho ferroviário, assegurando que as folgas previstas em projeto sejam suficientes para a operação segura da locomotiva ao longo do trajeto. A Figura 4 apresenta um exemplo real da aplicação deste método de verificação por gabarito ferroviário.

Figura 4 - Teste de gabarito em locomotiva operacional da frota



Fonte: MORAIS (2015).

Quanto ao comportamento da máquina, de acordo com o portal Brasil Ferroviário (2025), os gabaritos podem ser classificados em dois tipos: Dinâmico, utilizado para avaliar os limites máximos, em termos dimensionais, considerando as condições mais adversas enfrentadas pelo material rodante em movimento ao longo da via permanente. Estático, aplicado para verificar os limites máximos, também em medidas, nas condições mais desfavoráveis com o material rodante parado em linha reta.

Assim, o metrô poderá ser testado em diferentes condições operacionais, possibilitando a realização de um estudo abrangente e preventivo, que considere as mais diversas variáveis e cenários, tendo como objetivo validar os projetos dimensionais dos equipamentos, evitando riscos e interferências físicas na malha para uma circulação segura dos novos equipamentos e dos equipamentos em operação (MRS LOGÍSTICA, 2022).

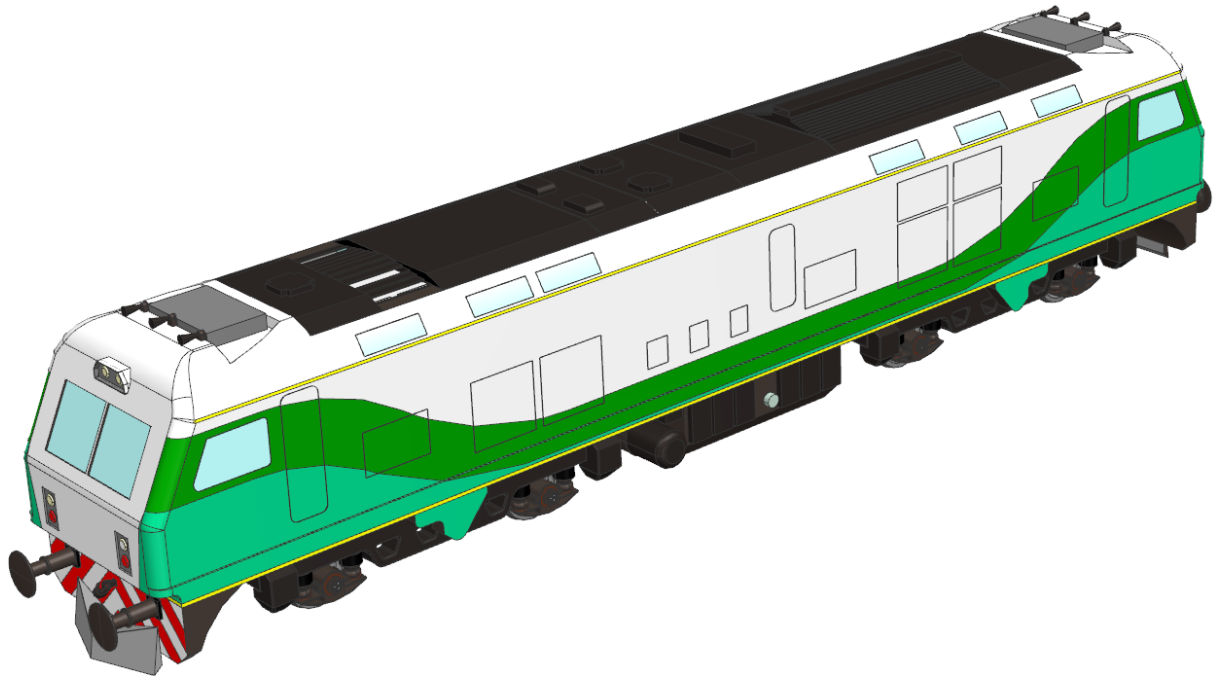
2.2 Especificações da máquina

Para início dos estudos é necessário identificar e especificar os dados da máquina que será utilizada no trajeto, como dimensional, carga máxima e demais dados necessários para cálculos. Considerando-se os modelos com projetos abertos ao público e que mais se identificam o modelo utilizado na Linha 1 do Metrô de Belo Horizonte, uma vez que se espera que se mantenha uma proximidade dos projetos, o modelo da locomotiva CNR CKD8 foi modificado no software NX Siemens, afim de atender as especificações do projeto.

Quanto às variáveis relacionadas à máquina a serem consideradas no dimensionamento dos gabaritos ferroviários, é fundamental identificar e especificar os dados técnicos da máquina utilizada no trajeto, incluindo dimensões máximas, carga máxima e demais informações necessárias para os cálculos envolvidos. Considerando os modelos de projetos de domínio público que mais se assemelham ao utilizado na Linha 1 do Metrô de Belo Horizonte, dado que se espera a manutenção de similaridade entre os projetos, adaptou-se o modelo CNR CKD8, transporte ferroviário urbano diesel-elétrica de 2.949 hp fabricada na China pela CNR Corporation e utilizada no país Argentina pela estatal Trenes Argentinos (Argentina, 2025).

Para aplicação no projeto da Linha 2, o modelo CNR CKD8 foi modificado no software NX Siemens, com ajustes nas dimensões externas, de modo a se aproximar do modelo empregado na Linha 1 do metrô de Belo Horizonte. Também foi redefinida a bitola de trilho, adotando-se a distância de 1.600 mm, correspondente ao traçado previsto. Na Figura 5 foi representada a projeção isométrica do transporte ferroviário urbano CNR CKD8 adaptado, na qual é possível observar os detalhes do projeto da máquina.

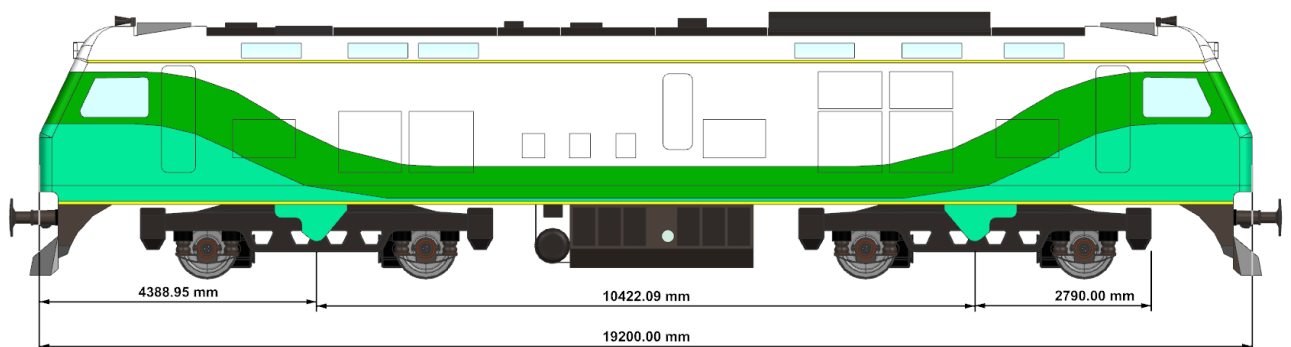
Figura 5 - Isométrico transporte ferroviário urbano CNR CKD8



Fonte: Adaptado de Alan Kranz (2020).

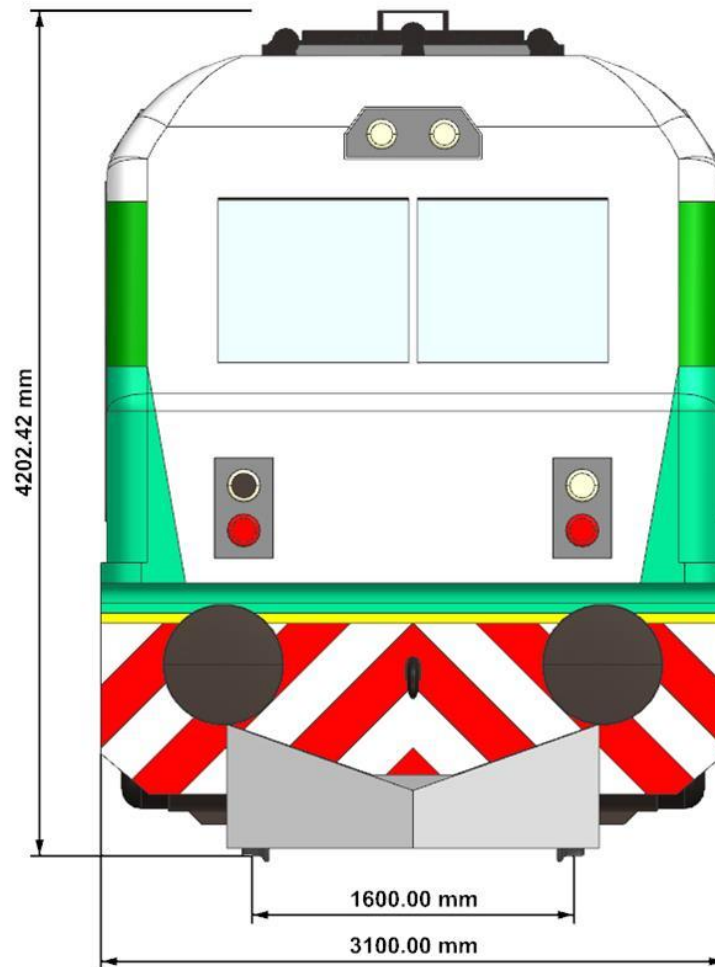
Nas Figura 6 e Figura 7 está representado os detalhamentos macro da máquina, sendo consecutivamente o detalhamento da vista lateral e frontal do transporte ferroviário urbano.

Figura 6 - Dimensões laterais transporte ferroviário urbano CNR CKD8



Fonte: Adaptado de Alan Kranz (2020).

Figura 7 - Dimensões frontais transporte ferroviário urbano CNR CKD8



Fonte: Adaptado de Alan Kranz (2020).

2.3 Elementos estruturais relevantes ao estudo

Conforme Borba (2011) a locomotiva diesel-elétrica se compõe basicamente de uma plataforma, sobre a qual se situam todos os equipamentos, que são protegidos por suas respectivas cabines. Todo o conjunto descrito se apoia sobre os truques, que possuem rodeiros com os motores de tração e os equipamentos de freio.

Considerando que o metrô e a locomotiva são máquinas semelhantes em sua base construtiva, diferenciando-se principalmente quanto à finalidade — sendo o metrô voltado ao transporte de passageiros e a locomotiva, ao transporte de cargas — observa-se que seus principais componentes estruturais são bastante próximos. Neste contexto, o foco recai sobre dois elementos específicos: o truque e a plataforma, que são fundamentais para a análise do comportamento do metrô, principalmente em

curvas e, portanto, constituem o objeto deste estudo. A Figura 8 ilustra o posicionamento desses elementos.

Figura 8 - Posicionamento estrutural do truque e da plataforma



Fonte: Adaptado de SOUSA (2025).

2.3.1 Truque

O truque, componente fundamental das locomotivas e demais veículos ferroviários, é uma nacionalização do termo inglês *truck*, ainda amplamente utilizado na nomenclatura nacional do setor. Trata-se de uma estrutura mecânica que abriga diversos elementos essenciais ao funcionamento do material rodante, como rodas, eixos, rolamentos, molas, sapatas e cilindros de freio, mancais e barras estabilizadoras, entre outros, sendo afixado à plataforma, base estrutural das máquinas. Cada conjunto formado por duas rodas, um eixo e dois rolamentos é denominado rodeiro ferroviário. Sempre que um veículo ferroviário possui dois ou mais rodeiros, esses são organizados em truques, que oferecem maior estabilidade, conforto e eficiência operacional, especialmente em curvas e terrenos irregulares. (COPAMATE, 2017). Na Figura 9, apresenta-se a imagem de um truque ferroviário, permitindo a visualização prática de seus principais componentes estruturais.

Figura 9 - Truque fundido ride control com amortecimento

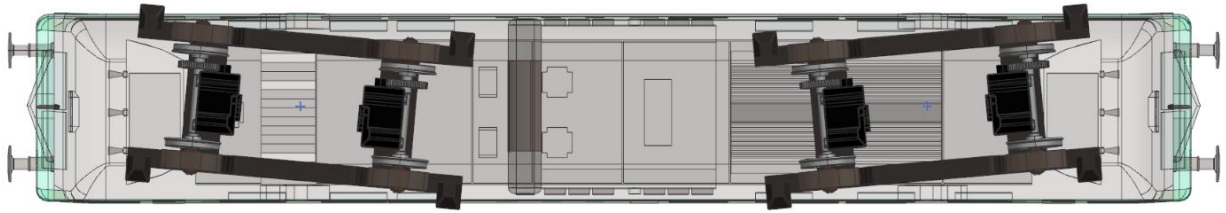


Fonte: PAULO MAURÍCIO FERROVIA (2017).

Os truques do trem funcionam permitindo que os rodeiros se movimentem e girem de forma independente dentro da estrutura do próprio truque. Essa mobilidade estrutural calculada possibilita que o veículo ferroviário execute curvas, absorva irregularidades dos trilhos e reduza o desgaste tanto do material rodante quanto da via permanente. Além disso, o mecanismo de articulação presente no truque permite que ele gire em relação à estrutura principal do veículo, o que melhora significativamente sua capacidade de transpor curvas e desníveis do trajeto. (COPAMATE, 2024)

É justamente por meio da utilização do truque que o metrô, apesar de sua robustez, consegue se deslocar de maneira eficiente, adaptando-se ao trajeto estabelecido. Essa dinâmica pode ser visualizada na Figura 10, que ilustra o comportamento dos truques durante a movimentação do metrô. Neste trabalho, os truques também assumem papel central, uma vez que a partir de suas dimensões e articulações são realizados os cálculos de deslocamento estrutural, incluindo as folgas necessárias.

Figura 10 - Simulação da articulação dos truques



Fonte: Adaptado de Alan Kranz (2020).

2.3.2 Plataforma

Conforme Borba (2011) a plataforma, de uma maneira simplificada, seria como os chassis de caminhões. Além de constituir o principal elemento estrutural, ela suporta o peso e os esforços mecânicos de todos os componentes montados na locomotiva, transmite o peso de todo conjunto aos truques, recebe as forças de tração dos truques e transmite aos vagões e recebe os esforços de impacto.

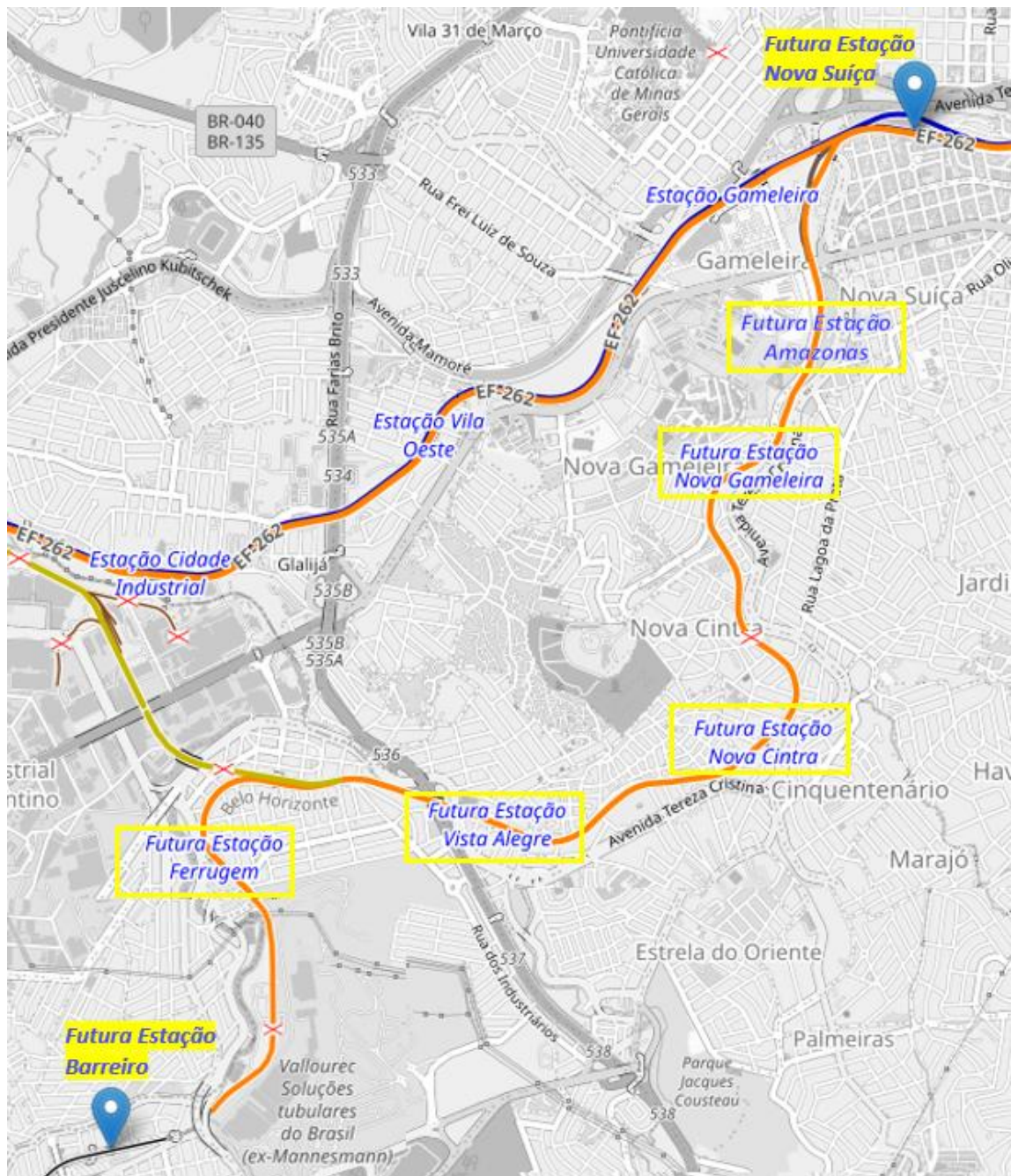
2.4 Infraestrutura do trajeto

Para estudo do gabarito em relação aos limites físicos de infraestrutura do trajeto, devem ser considerados pontos de atenção como o raio de curva, a existência e dimensões de túneis, existência e dimensões de pontes, dimensões de área crítica, como, viradores de carros ferroviários, área de preservação do trajeto e locais de embarque e desembarque de passageiros.

As obras de infraestrutura e adequação da Linha 2 do Metrô de Belo Horizonte ainda se encontram em fase de execução. No entanto, dados preliminares sobre o traçado e a infraestrutura já existente e podem ser consultados por meio da plataforma OpenRailwayMap (2025). Essa plataforma consiste em um mapa online detalhado da infraestrutura ferroviária mundial, desenvolvido a partir de dados colaborativos do OpenStreetMap. O projeto tem como finalidade disponibilizar uma representação global, aberta, atualizada e tecnicamente precisa da rede ferroviária mundial, abrangendo diferentes modais sobre trilhos, como ferrovias convencionais, metrôs, bondes, ferrovias em miniatura e funiculares (OpenRailwayMap, 2025).

A partir do mapa online OpenRailwayMap os dados do trajeto foram extraídos e utilizados para os cálculos e desenvolvimento do gabarito ferroviário. Conforme divulgado a Linha 2 contemplará as estações Nova Suíça, Amazonas, Nova Gameleira, Nova Cintra, Vista Alegre, Ferrugem e Barreiro, conforme ilustrado na Figura 11.

Figura 11 - Trajeto Linha 2 metrô de Belo Horizonte



Fonte: Adaptado de OpenRailwayMap (2025).

A partir do trajeto foram determinados os seguintes pontos de atenção:

- 1 ponte sobre a avenida Teresa Cristina entre a futura estação Nova Suíça e futura estação Amazonas;
- 1 ponte sobre a Avenida Amazonas na chegada da futura Estação Amazonas;
- 1 ponte na saída da futura estação Vista Alegre.

Quanto à área de embarque e desembarque, projeta-se que a infraestrutura siga o padrão da Linha 1, com coberturas que se estendem acima da Rede Aérea de Contato, conforme ilustrado na Figura 12, oferecendo abrigo e proteção aos passageiros durante o acesso ao metrô, mas sem comprometer a estrutura.

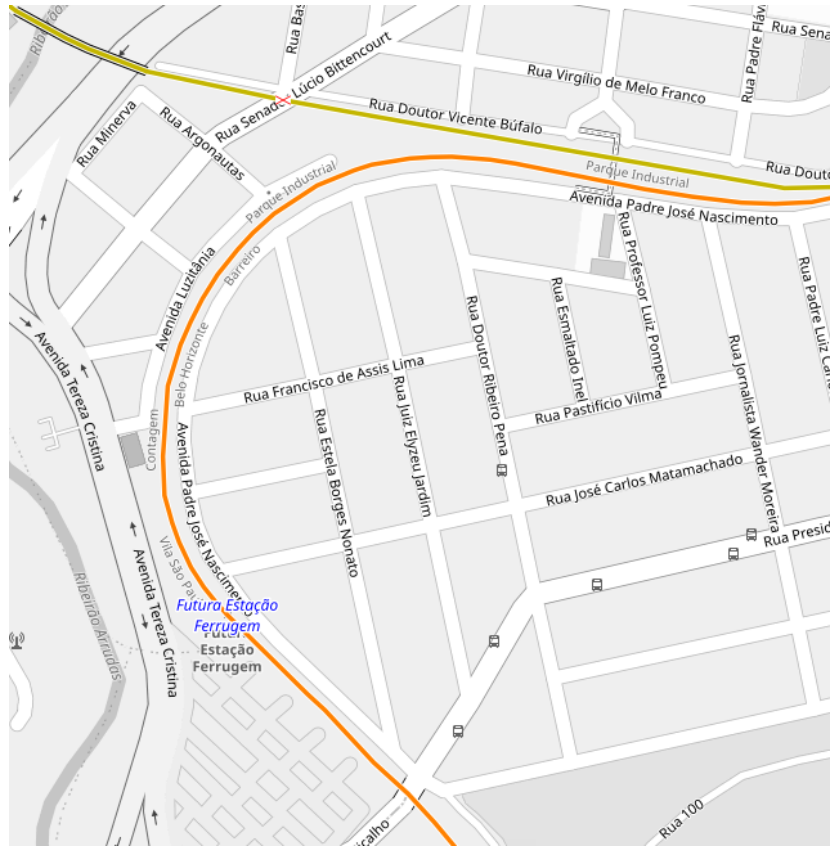
Figura 12 - Embarque e desembarque Estação Vilarinho



Fonte: Amanda Serrano (2025).

Quanto ao raio das curvas, as curvas com maior expressividade estão demonstradas nas Figuras 13 a Figura 15.

Figura 15 - Curva anterior a futura Estação Ferrugem



Fonte: OpenRailwayMap (2025).

Quanto a bitola de trilho do trem, que é a distância entre os trilhos que compõem uma via férrea, o modelo considerado foi o de 1600 mm, modelo já utilizado na Linha 1 do Metrô de Belo Horizonte. Somado as especificações da máquina, velocidade do trecho e raio da curva, os estudos de comportamento estático e dinâmico podem ser desenvolvidos.

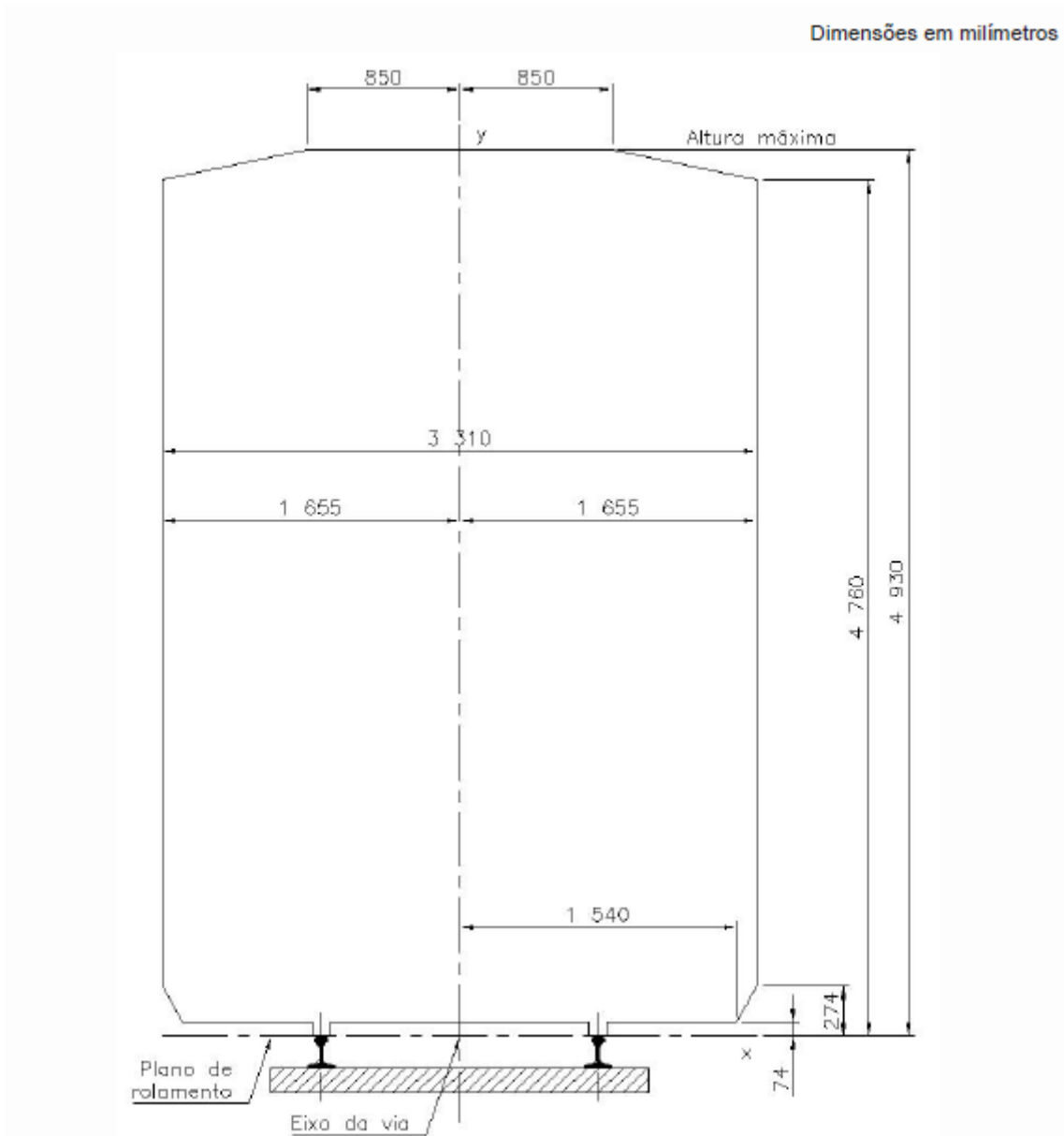
3 METODOLOGIA

Considerando que a estrutura do metrô não apresenta geometrias complexas que demandem pontos críticos de atenção, e que o percurso previsto para a Linha 2 também não impõe exigências excessivas quanto a essas condições, opta-se por uma abordagem baseada no gabarito estático para validação preliminar da compatibilidade do veículo com a via. Para a análise do comportamento dinâmico da locomotiva, será utilizado o Estudo *Clearance Development*, em português Desenvolvimento de Liberação, o qual avalia a interação do material rodante com os limites da infraestrutura durante a operação.

3.1 Gabarito Estático

Para o projeto do veículo ferroviário, deve ser considerado o seu gabarito estático e não o gabarito dinâmico (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2020). A partir da padronização das vias férreas, a norma ABNT NBR 12915:2020 — Via férrea — Gabarito ferroviário e entrevia — Especificações estabelece os limites e diretrizes para a construção do gabarito estático. O modelo gerado deve, obrigatoriamente, atender o gabarito estático máximo definido pela norma, conforme ilustrado na Figura 16.

Figura 16 - Gabarito estático para veículos de bitola larga (1,60 m)

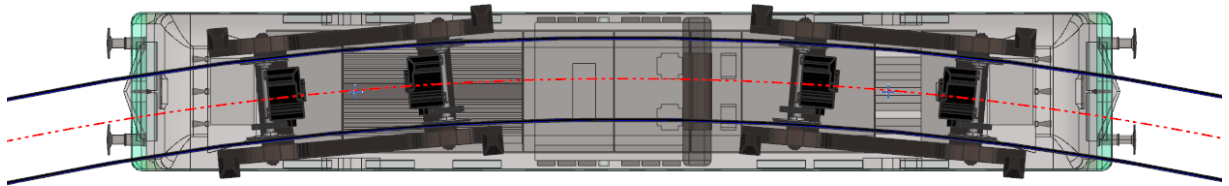


Fonte: ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (2020).

3.2 Estudo Clearance Development

Para determinar numericamente o deslocamento da plataforma do metrô em movimento, é necessário calcular sua variação de posição em relação ao truque. A Figura 17 ilustra esse comportamento em curvas, evidenciando como a estrutura da composição oscila lateralmente em relação aos trilhos durante a trajetória.

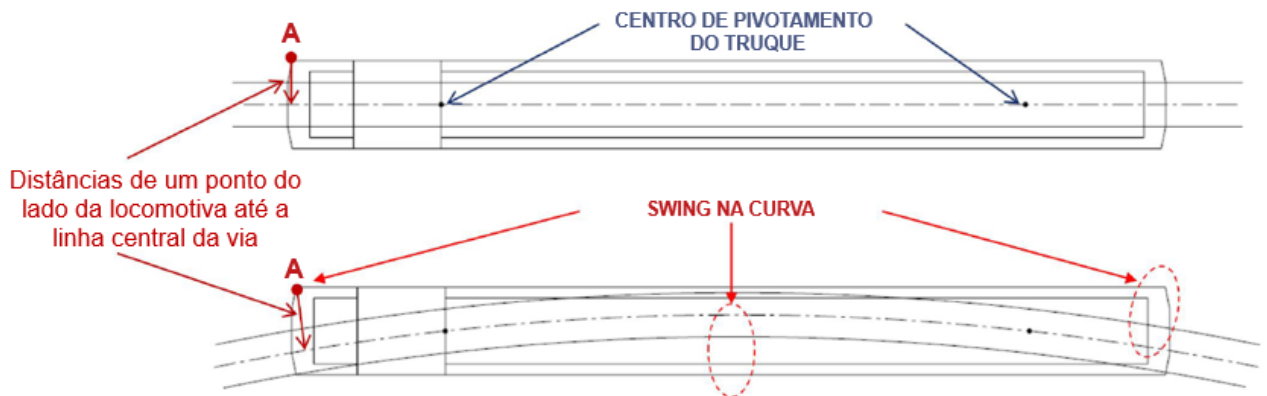
Figura 17 - Oscilações na curva do truque e plataforma



Fonte: Elaborado pelo autor (2025).

Para facilitar a compreensão do comportamento dinâmico do metrô, a Figura 18 apresenta uma comparação entre a posição da plataforma em repouso e durante a execução de uma curva, utilizando como base as linhas de referência da Figura 17, que foram transpostas para o contexto dinâmico da composição, sendo o centro do trajeto, representado pela linha de centro da representação.

Figura 18 - Comparativo do comportamento da plataforma em curvas



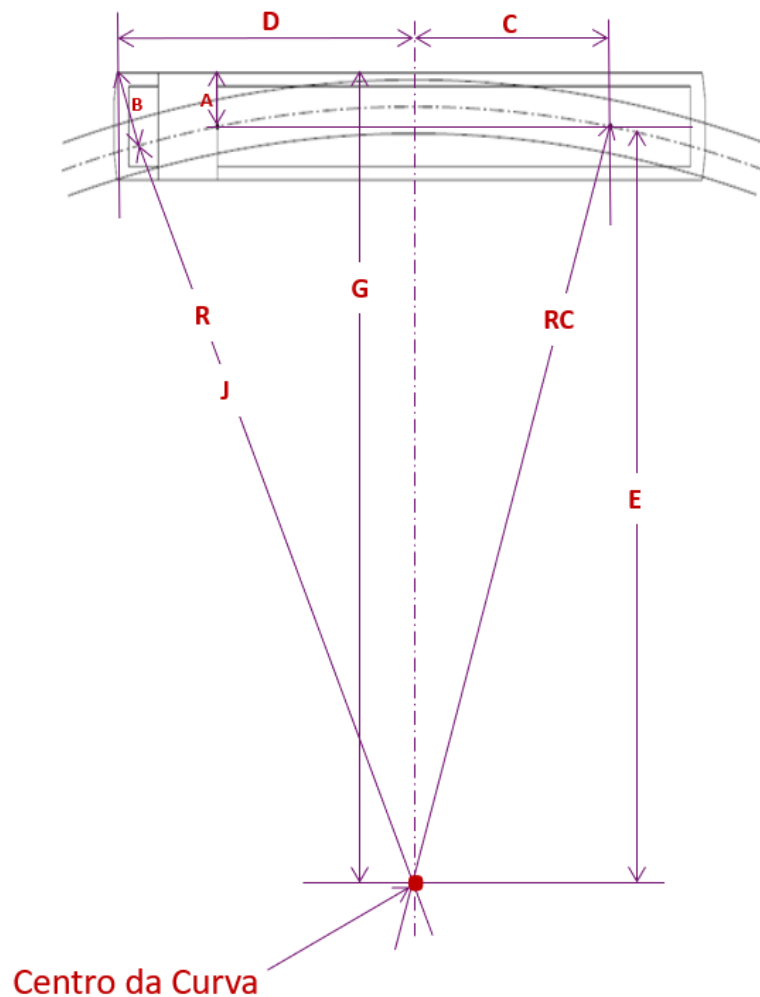
Fonte: WABTEC CORPORATION (2016).

Conforme ilustrado na Figura 18, o ponto focal do comparativo é representado pela letra A, posicionada na parte superior da plataforma. Na condição de repouso, observa-se a linearidade dessa referência em relação ao eixo central da via. No entanto, ao analisar o comportamento em curva, a referência A assume uma orientação perpendicular ao centro da via, demonstrando o deslocamento da plataforma em relação aos trilhos.

Esse comportamento é caracterizado pelo fenômeno denominado *swing*, termo técnico que, em tradução livre, significa balanço. “*Swing*: melhor diferença entre a distância horizontal de um ponto da locomotiva até a linha central da via em uma via curva” (WABTEC CORPORATION, 2016). Essa variação subdivide-se em dois componentes: *swing-in*, quando o deslocamento ocorre para o interior da curva, e *swing-out*, quando ocorre para o exterior da curva.

Esses deslocamentos são fatores críticos na definição do gabarito dinâmico, uma vez que influenciam diretamente a compatibilidade geométrica entre o material rodante e os limites físicos da via permanente, sendo essenciais para garantir a operação segura e eficiente do sistema ferroviário. As componentes desse comportamento são ilustradas no diagrama apresentado na Figura 19.

Figura 19 - Diagrama de oscilação geométrica



A partir do diagrama apresentado, é possível aplicar as equações a seguir com o objetivo de determinar numericamente o comportamento do metrô em curvas.

$$G = E + A \quad (\text{Equação 1})$$

Sendo:

- G = Distância do centro do raio da curva até a lateral da máquina projetada para a borda externa da curva;
- E = Distância entre o centro do raio da curva e a linha projetado dos pinos de tração;
- A = Distância entre o centro a lateral da máquina (Largura/2).

$$E = (RC^2 - C^2)^{0,5} \quad (\text{Equação 2})$$

Sendo:

- E = Distância entre o centro do raio da curva e a linha projetado dos pinos de tração;
- RC = Posição do Eixo Axial da locomotiva;
- C = Distância do centro da máquina até o centro o pino de tração.

$$B = J - R \quad (\text{Equação 3})$$

Sendo:

- B = Projeção do swing-out das extremidades da máquina em uma curva;
- J = Distância do centro do raio da curva até as quinas externas da máquina em relação à curva;
- R = Raio da curva.

$$\text{Swing} = B - A \quad (\text{Equação 4})$$

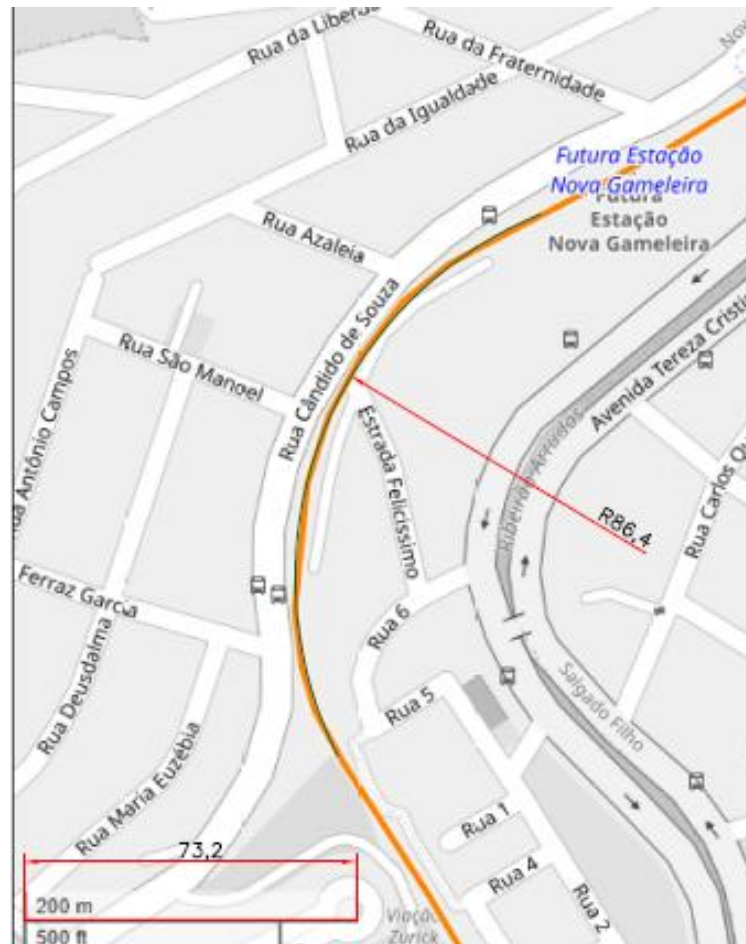
Sendo:

- Swing = Folga;
- B = Projeção do swing-out das extremidades da máquina em uma curva;
- A = Distância entre o centro a lateral da máquina (Largura/2).

3.3 Raio da Curva – Medições

Através do método de traçagem por pontos no software Autodesk AutoCAD (2023) foi possível definir os raios das curvas mais críticas no percurso da Linha 2. Conforme Figura 20, Figura 21 e Figura 22. Para conversão dos valores apresentados, foi utilizado o método de regra de três simples, a partir da escala apresentada no software OpenRailwayMap, estando representadas consecutivamente no Quadro 1, Quadro 2 e Quadro 3.

Figura 20 - Curva após a futura Estação Nova Gameleira



Fonte: Adaptado de AUTODESK (2023).

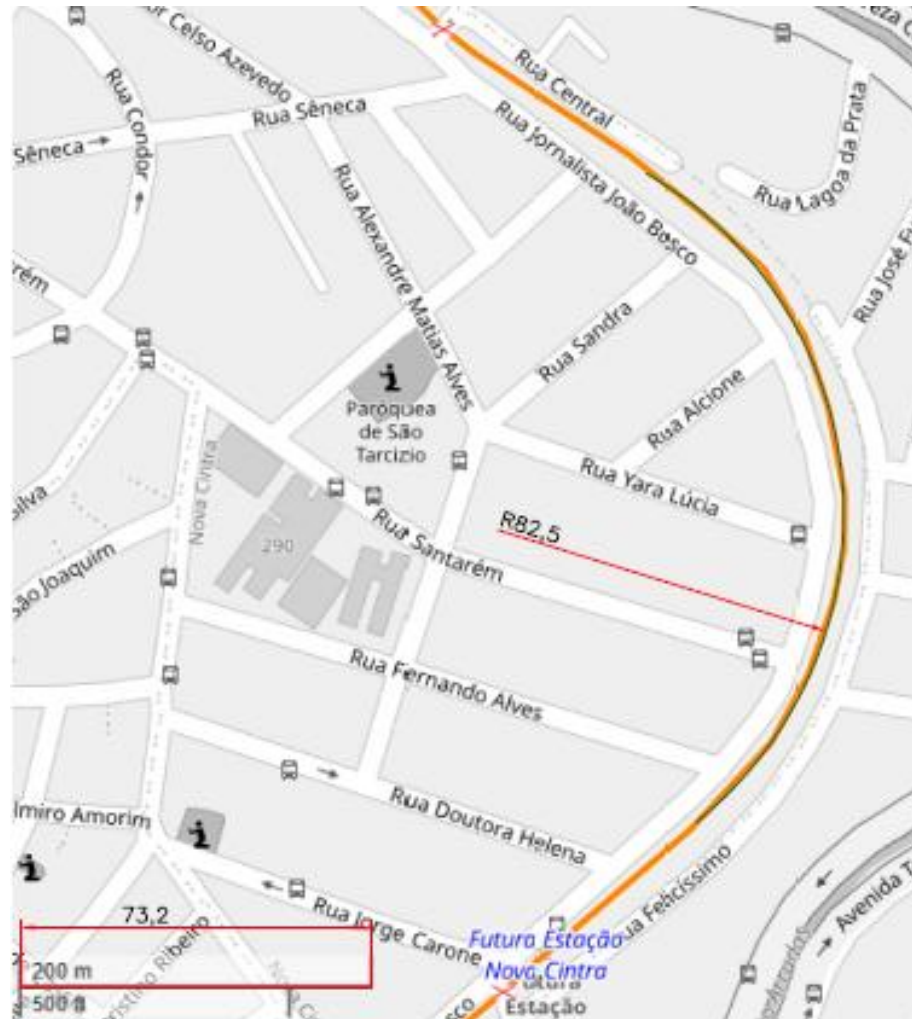
Quadro 1 - Conversão Curva 1

73,2	200
86,4	R

R (m) =	236
----------------	------------

Fonte: Elaborado pelo autor (2025).

Figura 21 - Curva anterior a futura Estação Nova Cintra



Fonte: Adaptado de AUTODESK (2023).

Quadro 2 - Conversão Curva 2

73,2	200
82,5	R

R (m) =	225
----------------	------------

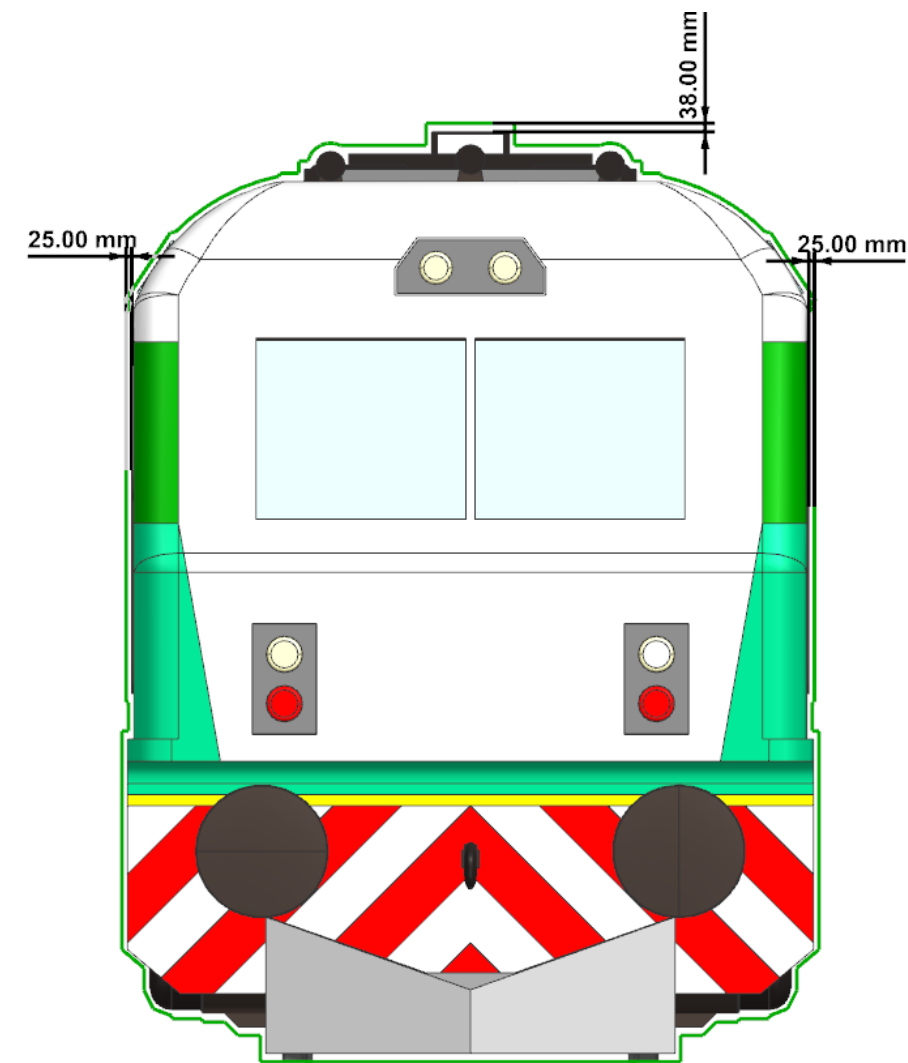
Fonte: Elaborado pelo autor (2025).

4 RESULTADOS E DISCURSÕES

4.1 Resultado Gabarito Estático

No desenvolvimento do gabarito estático, as folgas laterais são determinadas a partir das tolerâncias dimensionais de manufatura. Para a determinação das folgas superiores, além das tolerâncias de manufatura são acrescentadas de parâmetros adicionais, como o desgaste das rodas e as constantes elásticas das molas do sistema de suspensão. Após a coleta dos dados e a definição dos pontos críticos da máquina, o gabarito foi modelado no software NX 12, conforme ilustrado na Figura 23, apresentando suas dimensões macro.

Figura 23 - Projeção gabarito estático transporte ferroviário urbano



Fonte: Elaborado pelo autor (2025).

4.2 Resultados do cálculo de deslocamento da plataforma em relação aos truques

Quanto ao comportamento dinâmico da máquina, os valores de deslocamentos da plataforma em relação aos truques foram determinados conforme seguem.

4.2.1 Curva 1 - Curva Após a Futura Estação Nova Gameleira

$$E = \sqrt{(RC^2 - C^2)}$$

$$E = \sqrt{(236000^2 - 5211,05^2)}$$

$$E = 235942,50 \text{ mm}$$

$$G = E + A$$

$$G = 235942,5 + 1550$$

$$G = 237492,50 \text{ mm}$$

$$J = \sqrt{G^2 + D^2}$$

$$J = \sqrt{237492,5^2 + 9600^2}$$

$$J = 237686,40 \text{ mm}$$

$$B = J - R$$

$$B = 237686,4 - 23600$$

$$B = 1686,40 \text{ mm}$$

$$\text{Swing} = B - A$$

$$\text{Swing} = 1686,4 - 1550$$

$$\text{Swing} = 136,40 \text{ mm}$$

4.2.2 Curva 2 - Curva Anterior a Futura Estação Nova Cintra

$$E = \sqrt{(RC^2 - C^2)}$$

$$E = \sqrt{(225000^2 - 5211,05^2)}$$

$$E = 224939,60 \text{ mm}$$

$$G = E + A$$

$$G = 235942,5 + 1550$$

$$G = 226489,60 \text{ mm}$$

$$J = \sqrt{G^2 + D^2}$$

$$J = \sqrt{226489,6^2 + 9600^2}$$

$$J = 226693,00 \text{ mm}$$

$$B = J - R$$

$$B = 237686,4 - 23600$$

$$B = 1693,00 \text{ mm}$$

$$\text{Swing} = B - A$$

$$\text{Swing} = 1693 - 1550$$

$$\text{Swing} = 143,00 \text{ mm}$$

4.2.3 Curva 3 - Curva Anterior a Futura Estação Ferrugem

$$E = \sqrt{(RC^2 - C^2)}$$

$$E = \sqrt{(245000^2 - 5211,05^2)}$$

$$E = 244944,60 \text{ mm}$$

$$G = E + A$$

$$G = 244944,6 + 1550$$

$$G = 246494,60 \text{ mm}$$

$$J = \sqrt{G^2 + D^2}$$

$$J = \sqrt{246494,6 + 9600^2}$$

$$J = 246681,50 \text{ mm}$$

$$B = J - R$$

$$B = 246681,5 - 245000$$

$$B = 1681,50 \text{ mm}$$

$$\textit{Swing} = B - A$$

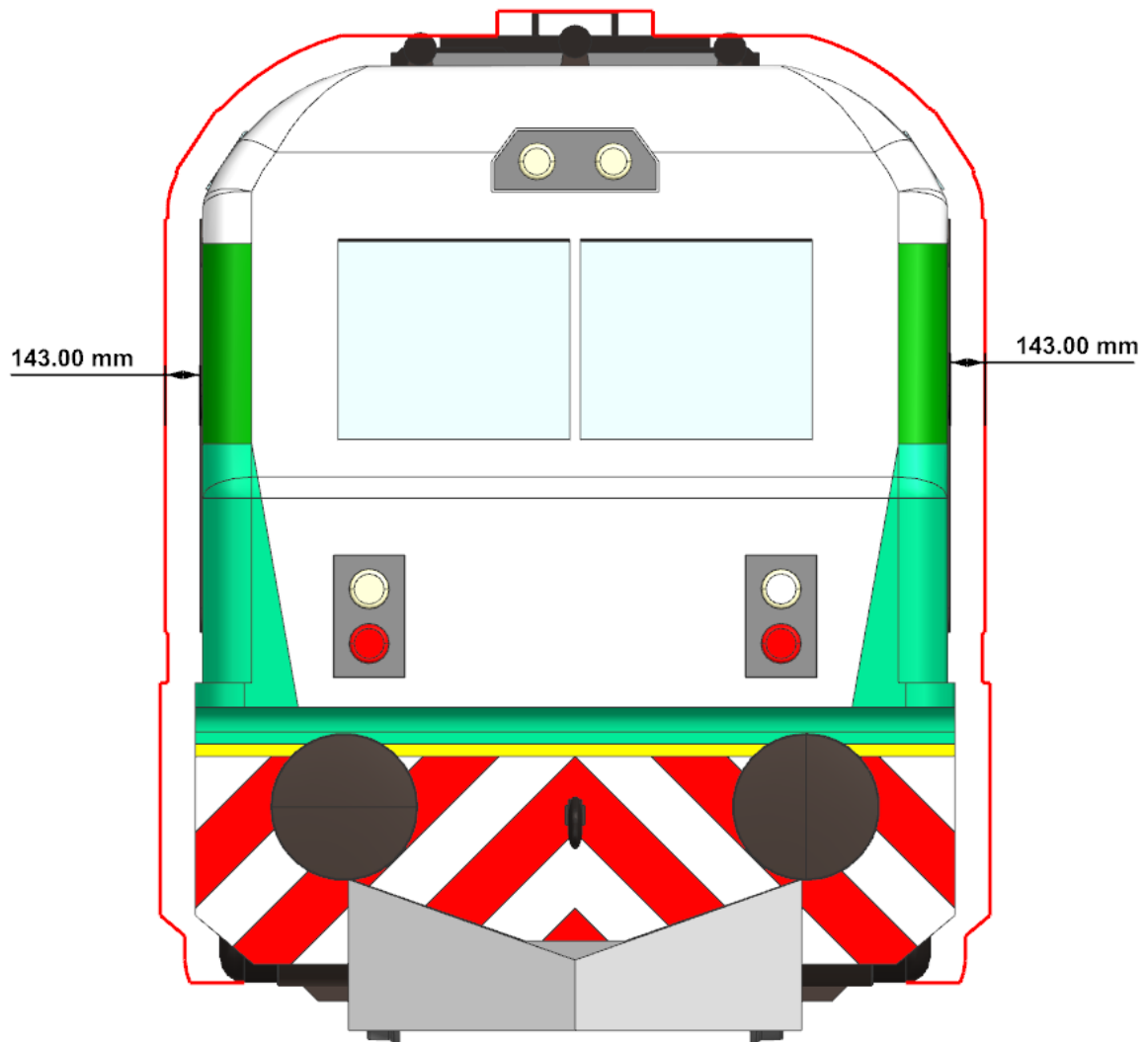
$$\textit{Swing} = 1681,5 - 1550$$

$$\textit{Swing} = 131,50 \text{ mm}$$

A análise dos resultados indica que o maior valor de *swing*, equivalente a 143 mm, ocorreu na curva de raio 225000 mm, o menor raio dentre os medidos. Tal comportamento confirma a relação inversamente proporcional entre o raio de curvatura e a intensidade do *swing*, evidenciando que curvas mais fechadas impõem maiores deslocamentos laterais à máquina.

De acordo com os cálculos, a curva de maior relevância é a Curva 2, portanto, o gabarito dinâmico será dimensionado conforme as exigências específicas dessa curva. A Figura 24 apresenta a projeção do gabarito dinâmico.

Figura 24 - Projeção gabarito dinâmico transporte ferroviário urbano



Fonte: Elaborado pelo autor (2025).

4.3 Validação prática do gabarito ferroviário

A validação do gabarito e cálculos Clearance Development são realizados em campo, para isso são montadas chapas na locomotiva a ser testada, ou em caso de impossibilidade, em um vagão prancha, essas chapas representam as folgas calculadas e conforme determinadas pela norma ABNT NBR 12915:2020 — Via férrea — Gabarito ferroviário e entrevia — Especificações, aplicando as velocidades permitidas na via em determinados trechos.

Um frame capturado do vídeo *Locomotiva 1280 com gabarito p/ teste da locomotiva vale modelo provável ES44BBI*, do canal Waldemar Ogando Trens (2024),

ilustra o gabarito ao final dos testes, destacando a relevância da análise dimensional para assegurar a compatibilidade entre o material rodante e a infraestrutura da via.

Como apresentado na Figura 25, observam-se deformações no gabarito, indicando que, apesar dos cálculos prévios, ocorreram interferências em pontos específicos do trajeto. Tais ocorrências devem ser reavaliadas pelos responsáveis técnicos, a fim de mitigar possíveis impactos operacionais. Quando de interferências significativas, o dimensional da máquina a ser fabricada, pontos de contato extremo e demais situações críticas, devem ser revistas no projeto da máquina em desenvolvimento.

Figura 25 - Análise de gabarito ferroviário em campo



Fonte: WALDEMAR OGANDO TRENS (2024).

5 CONCLUSÃO

Este trabalho teve como propósito demonstrar, de forma prática e fundamentada, a importância da aplicação correta dos gabaritos ferroviários na fase de implantação de um sistema metroviário urbano. Por meio da análise da futura Linha 2 do metrô de Belo Horizonte, foi possível compreender como a relação entre a geometria do trem e a infraestrutura do trajeto deve ser cuidadosamente planejada e validada.

O estudo do comportamento da locomotiva CNR CKD8 frente aos limites físicos do percurso revelou que deslocamentos milimétricos, como os causados pelo swing em curvas, são capazes de comprometer a operação segura do sistema. Isso reforça a importância de seguir rigorosamente as normas técnicas, realizar modelagens em software e, principalmente, efetuar testes práticos em campo.

O desenvolvimento do gabarito estático, sua simulação e posterior validação prática mostraram que a engenharia mecânica é peça-chave para garantir a integridade e a eficiência do transporte urbano sobre trilhos. A contribuição deste estudo reside na valorização da etapa de validação dimensional como instrumento preventivo, capaz de antecipar e mitigar riscos de interferência estrutural, evitando retrabalhos, prejuízos e, acima de tudo, garantindo a segurança dos usuários.

REFERÊNCIAS

ARGENTINA. Ministério do Transporte. **Trenes Argentinos – Data room.**

Disponível em: <https://www.argentina.gob.ar/transporte/trenes-argentinos/data-room>.

Acesso em: 19 jul. 2025.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 12915:2020 –**

Via férrea — Gabarito ferroviário e entrevia — Especificações. Rio de Janeiro:

ABNT, 2020. 22 p. ISBN 978-65-5659-524-5.

AUTODESK. **AutoCAD 2023 [software].** San Rafael, CA: Autodesk Inc., 2023.

BASE DOS DADOS IBGE. **Censo Demográfico 2022 – Microdados.** São Paulo:

Base dos Dados IBGE, 2022. Disponível em:

[https://basedosdados.org/dataset/08a1546e-251f-4546-9fe0-](https://basedosdados.org/dataset/08a1546e-251f-4546-9fe0-b1e6ab2b203d?table=ebd0f0fd-73f1-4295-848a-52666ad31757)

[b1e6ab2b203d?table=ebd0f0fd-73f1-4295-848a-52666ad31757](https://basedosdados.org/dataset/08a1546e-251f-4546-9fe0-b1e6ab2b203d?table=ebd0f0fd-73f1-4295-848a-52666ad31757). Acesso em: 21 jul.

2025.

BORBA, José Luiz. **Mecânica de Locomotivas.** Belo Horizonte: Pontifícia

Universidade Católica de Minas Gerais, IEC — Instituto de Educação Continuada,

2011. Apostila de Pós-Graduação em Engenharia Ferroviária.

BRASIL FERROVIÁRIO. **Gabarito Ferroviário.** Disponível em:

BrasilFerroviario.com.br. Acesso em: 19 jul. 2025.

COPAMATE. **What are Train Bogies and How Do They Work?** Disponível em:

<https://copamate.com/rail/train-bogie/> . Acesso em: 24 jul. 2025.

INVEST MINAS. **Ferrovias.** Belo Horizonte: Invest Minas – Agência de Promoção de

Investimentos de Minas Gerais, s.d. Disponível em:

https://investminas.mg.gov.br/setores_estrategicos/ferrovias/ . Acesso em: 15 jul.

2025.

KRANZ, Alan. **Locomotora CKD8 [modelo 3D].** GrabCAD Library, 2020. Disponível

em: <https://grabcad.com/library/locomotora-ckd8-1>. Acesso em: 19 jul. 2025.

LOBO, Caio. **Grupo Comporte assume oficialmente o Metrô de Belo Horizonte.** MetrôCPTM, 24 mar. 2023. Disponível em: <https://www.metrocptm.com.br/grupo-comporte-assume-oficialmente-o-metro-de-belo-horizonte/> . Acesso em: 21 jul. 2025.

LINDAU, Luis Antonio. **Operação de sistemas urbanos sobre trilhos.** Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2011. Disponível em: http://www.producao.ufrgs.br/arquivos/disciplinas/412_operacao_de_sistemas_urbanos_sobre_trilhos_2011.pdf. Acesso em: 27 jul. 2025.

METRÔ BH. **Metrô BH completa dois anos com 10 estações modernizadas.** 2025. Disponível em: <https://www.metrobh.com.br/metro-bh-completa-dois-anos-com-10-estacoes-modernizadas/> . Acesso em: 15 jul. 2025.

METRÔ BH. **Saiba mais sobre o sistema de transporte metroferroviário de Belo Horizonte.** Belo Horizonte: Metrô BH, s.d. Disponível em: <https://metrobh.com/metro-bh-saiba-mais-sobre-o-sistema-de-transporte-metroferroviario-de-belo-horizonte/>. Acesso em: 15 jul. 2025.

METRÔ BH. **Mapa MetroBH.** Belo Horizonte: Metropolitano de Belo Horizonte S.A., 2023. Disponível em: https://www.metrobh.com.br/wp-content/uploads/2023/08/Mapa_MetroBH.pdf. Acesso em: 12 jun. 2025.

MORAIS, Juliano. **Locomotiva para teste de gabarito para as ES43BBi.** Facebook, 26 nov. 2015. Disponível em: <https://www.facebook.com/paparazziferroviario/posts/locomotiva-para-teste-de-gabarito-para-as-es43bbi-e-talvez-sd70bb-para-a-m%C3%A9trica/965194126884219/>. Acesso em: 27 jul. 2025.

MRS LOGÍSTICA. **Comboio verificador de gabarito em circulação na MRS.** MRS, 23 mar. 2022. Disponível em: <https://www.mrs.com.br/post-newsletter/comboio-verificador-de-gabarito-em-circulacao-na-mrs/>. Acesso em: 27 jul. 2025.

OPENRAILWAYMAP. **OpenRailwayMap – Detailed railway infrastructure map.** Disponível em: <https://www.openrailwaymap.org/>. Acesso em: 19 jul. 2025.

PAULO MAURÍCIO FERROVIA. **Truque RC-6**. Disponível em:
<https://paulomauricioferrovia.com.br/wp-content/uploads/2017/02/TRUQUE-RC-6.jpg>.
Acesso em: 21 jul. 2025.

SERRANO, Amanda. **Metrô de BH altera circulação de trens na próxima semana; veja o que muda**. *BHAZ*, 10 jul. 2025. Disponível em:
<<https://bhaz.com.br/noticias/bh/metro-bh-altera-circulacao/>>. Acesso em: 19 jul. 2025.

SIEMENS. **NX 12 [software]**. Munique: Siemens PLM Software, 2018.

SOUSA, Lucas. **Frame extraído do vídeo “Metrô de Belo Horizonte/Minas Gerais (2025)**. YouTube. 2025. Disponível em:
<https://www.youtube.com/watch?v=mycJ5Ntc-oo>. Acesso em: 8 jul. 2025.

WABTEC CORPORATION. **The clearance challenge**. Rev. C. Wabtec, 2016. 57 slides. Documento técnico interno. Não disponível ao público.

Waldemar Ogando Trens. **Frame extraído do vídeo “Locomotiva 1280 com gabarito p/ teste da locomotiva vale modelo provável es44bbi”**. YouTube. 2024. Disponível em: <https://www.youtube.com/watch?v=nM0docbJUhs&t=156s>. Acesso em: 21 jul. 2025.