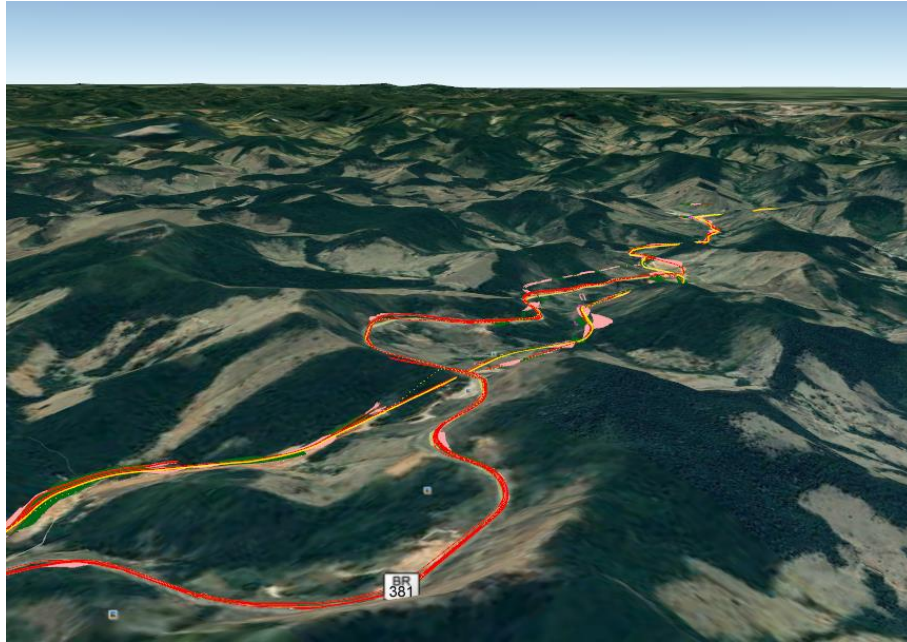


INSTITUTO SUPERIOR DE ENGENHARIA DE LISBOA
Área Departamental de Engenharia Civil



Geometria de Traçado
Análise Comparativa das Normas Portuguesas e Brasileiras
Caso de Estudo: Rodovia BR-381 / Minas Gerais

ANA SOFIA GONÇALVES ALEXANDRE
(Licenciada em Engenharia Civil)

Trabalho Final de Mestrado para obtenção do grau de Mestre em Engenharia Civil na Área de
Especialização em Vias de Comunicação e Transportes

Orientadores:

Eng.^a Luísa Ferreira Cardoso Teles Fortes, Especialista (IPL)

Eng.^a Maria Luísa dos Remédios Canhão Pereira, Diretora de Projeto, SENER-ENGIVIA, S.A.

Júri:

Presidente: Eng.^o Paulo José de Matos Martins, Doutor

Vogais:

Eng.^o Armando do Carmo Martins, Especialista (IPL)

Eng.^a Luísa Ferreira Cardoso Teles Fortes, Especialista (IPL)

Dezembro de 2018

*"Scientists study the world as it is;
engineers create the world that has never been"*

Theodore von Kármán

AGRADECIMENTOS

Embora um trabalho final de mestrado seja um trabalho individual, há contributos de natureza diversa que não podem e nem devem deixar de ser realçados.

O meu maior agradecimento é para a minha família por todo o apoio, pela força e pelo carinho que sempre me prestaram ao longo de toda a minha vida académica, bem como, na elaboração do presente relatório, o qual sem o seu apoio teria sido impossível.

Às minhas orientadoras, Eng.^a Luísa Teles Fortes e Eng.^a Luísa Canhão, o meu muito obrigada, pela orientação prestada, pelo seu incentivo, disponibilidade e apoio que sempre demonstraram, durante o estágio e na produção deste relatório.

Ao Tiago, por ser aquela pessoa especial, namorado, amigo e companheiro, por ter caminhado sempre ao meu lado, pela sua paciência, compreensão e ajuda prestada nas alturas mais críticas desta fase, e no final apresentar sempre um sorriso.

Aos meus colegas e amigos Bruno, Tiago e Nuno que serão sempre os meus companheiros nesta aventura que foi o mestrado, não esquecerei os momentos de apoio e amizade durante esta longa caminhada.

À Maria Inês por estar sempre comigo e nunca me deixar baixar os braços, pela compreensão e ajuda. Do fundo do coração, obrigada.

A todos os amigos e colegas que de uma forma direta ou indireta, contribuíram, ou auxiliaram na elaboração do presente estudo, pela paciência, atenção e força que prestaram em momentos menos fáceis.

Aos restantes familiares, que mesmo não estando presentes, acompanham-me sempre em pensamento todos os dias e me fazem sentir orgulhosa por tudo aquilo que conquistei.

Ao Eng.^o Armando Martins por me ter despertado o gosto pela área de Vias de Comunicação e Transportes, através da partilha do seu conhecimento e experiência, e por toda a disponibilidade e interesse durante o meu percurso académico.

A toda a equipa da SENER pela integração, ajuda, disponibilidade e aprendizagem, um muito obrigada.

RESUMO

O presente Trabalho Final de Mestrado refere-se à realização de um estágio curricular, com uma duração de 4 meses, no Departamento de Infraestruturas e Transportes da empresa SENER-ENGIVIA - Consultores de Engenharia, S.A., no âmbito do Mestrado em Engenharia Civil, área de especialização de Vias de Comunicação e Transportes, do Instituto Superior de Engenharia de Lisboa.

No Estágio foi possível colaborar em diferentes tipos de projetos de infraestruturas rodoviárias e aeroportuárias, assim como na participação de um concurso público internacional para a construção de uma empreitada rodoviária.

Das várias atividades desenvolvidas durante o período de Estágio, destaca-se o acompanhamento de um projeto internacional de uma infraestrutura rodoviária “Duplicação, melhoria e ampliação da capacidade e segurança da Rodovia BR - 381 / MG” de um troço de 29 km, em Minas Gerais, no Brasil. Este projeto suscitou bastante interesse, não só por ser um projeto a nível internacional, mas também pelo facto de serem tratados diferentes tipos de intervenção associados a uma estrada existente. Através desta colaboração surgiu o Caso de Estudo, que suporta o tema do Trabalho Final de Mestrado, proporcionando a análise da geometria de traçado e a comparação entre as Normas Portuguesas e Brasileiras.

Esta análise comparativa entre as Normas é realizada no Caso de Estudo através de 2 trechos da referida Rodovia BR - 381, de modo a possibilitar uma aplicação efetiva dos respetivos documentos Normativos. O primeiro trecho refere-se a uma zona onde irá ocorrer a duplicação da estrada existente e o segundo trecho corresponde à construção de uma nova faixa de rodagem.

Com este estudo, pretende-se otimizar as soluções de traçado, dando a conhecer não só as diferenças resultantes da aplicação de cada uma das Normas, mas também o que poderia ser melhorado em termos de conceção de traçado, e em particular no que se refere à segurança rodoviária, caso fosse possível a conjugação dos critérios das Normas de cada um dos países.

Palavras-chave: Infraestrutura, Traçado, Normas, Parâmetros Geométricos e Segurança

ABSTRACT

The current Master's Final Project refers to the realization of a curricular internship, with a duration of 4 months in the Department of Infrastructures and Transports, in the company SENER-ENGIVIA, Consultores de Engenharia, S.A., as part of the Master's degree in Civil Engineering, specialized in the area of Communication Routes and Transports, of the Instituto Superior de Engenharia de Lisboa.

In the Internship, I was able to collaborate in different kinds of infrastructure projects: in roads; airport construction field; participate in a public tender for the contract construction of a road.

Of all the various conducted activities during the Internship, the monitoring of an international project of a road infrastructure "Duplication, improvement and expansion of the capacity and security of the Highway BR-381 / MG "of a 29 km section's, in Minas Gerais, Brazil. This fact has raised quite an interest, not only for being an international project, but also for the fact that various kinds of interventions were being arranged, associated to an already existing road. Through this collaboration, a case study emerged which will be used as support to the Master's Final Project, in other words, it will be the comparison basis for the analysis of the laid out geometry of the Portuguese and Brazilian Regulations.

This comparative analyses between Regulations is accompanied by the case study of 2 segments of the previous referred Road BR-381 in order to allow an effective application of the respective regulation documents. The first segment will represent one zone where the duplication of the existent road will occur and the second segment corresponds to a new traffic lane that will be constructed.

With this study, the purpose is to conduct an optimization of the layout solutions, setting out not only the resulting layout differences of the application of each Regulation, but also what could be improved in terms of layout design and in particular road safety, if it was possible the combination of each country's Regulation criterias.

Keywords: Infrastructure, Design, Regulations, Geometric Parameters and Safety

ÍNDICE

1	INTRODUÇÃO -----	1
1.1	Enquadramento Geral -----	1
1.2	Objetivo e Metodologia -----	2
1.3	Estrutura -----	3
2	A EMPRESA E PRINCIPAIS ATIVIDADES REALIZADAS NO ESTÁGIO -----	5
2.1	História da Empresa -----	5
2.2	Divisão de Infraestruturas e Transportes -----	6
2.3	Sistema de Gestão da Qualidade -----	8
2.4	Principais Atividades Realizadas no Estágio -----	8
3	COMPARAÇÃO DAS NORMAS DE TRAÇADO PORTUGUESAS E BRASILEIRAS -----	13
3.1	Rede Rodoviária -----	13
3.2	Velocidade -----	15
3.2.1	Velocidade Base -----	16
3.2.2	Velocidade de Tráfego -----	17
3.3	Traçado em Planta -----	19
3.3.1	Alinhamentos Retos -----	20
3.3.2	Curvas Circulares -----	22
3.3.3	Curvas de Transição -----	27
3.3.4	Síntese do Traçado em Planta -----	35
3.4	Traçado em Perfil Longitudinal -----	37
3.4.1	Trainéis -----	38
3.4.2	Curvas Verticais -----	40
3.4.3	Síntese do Traçado em Perfil Longitudinal -----	46
3.5	Perfil Transversal Tipo -----	47
3.5.1	Faixa de Rodagem -----	48
3.5.2	Bermas -----	53
3.5.3	Síntese do Perfil Transversal Tipo -----	55
4	O CASO DE ESTUDO: RODOVIA BR-381 / MINAS GERAIS -----	57
4.1	Enquadramento Geográfico e Histórico -----	57
4.2	Principais Condicionantes -----	60
4.3	Caracterização do Projeto -----	61
4.3.1	Traçado em Planta -----	61
4.3.2	Traçado em Perfil Longitudinal -----	68
4.3.3	Perfil Transversal Tipo -----	71
4.4	Solução Alternativa -----	74

4.4.1	Entre o km 6+000 e o km 9+000-----	76
4.4.2	Entre o km 19+500 e o km 22+500 -----	81
5	CONCLUSÕES-----	89
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS-----	93

ÍNDICE DE ANEXOS

- Anexo A** – Geometria de Traçado do Projeto de Execução e das Soluções Alternativas –
Peças Desenhadas
- Anexo B** – Tabelas de Cálculo das Curvas de Transição em Clotóide
- Anexo C** – Interseções do Tipo Retorno em “U”

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 2.1 Presença global do Grupo SENER (adaptado SENER, 2018)	6
Figura 2.2 Ciclo de um Empreendimento (SENER, 2018).....	7
Figura 2.3 Vista sobre o Traçado da A4 (IP4) e Ponte sobre o Rio Corvo (SENER, 2018)	7
Figura 3.1 Rede Rodoviária Portuguesa (adaptado INIR, 2010)	14
Figura 3.2 Rede Rodoviária Brasileira (adaptado DNER,1999).....	15
Figura 3.3 Curvas de distribuição comutativa de velocidades (INIR,2010).....	18
Figura 3.4 Equilíbrio de forças a atuar no veículo numa curva sobrelevada.....	23
Figura 3.5 Elementos geométricos da rasante	38
Figura 4.1 Localização e Rede de Estradas - Estado MG (Estado de Minas Gerais, 2014) .	58
Figura 4.2 Rodovia BR-381 Lote 3 (SkyscraperCity, 2018).....	59
Figura 4.3 Cronologia da Rodovia BR-381 (Sul de Minas, 2018)	60
Figura 4.4 Extrato da planta do Troço I (SENER-ENGIVIA, 2018)	62
Figura 4.5 Extrato da planta do Troço II (SENER-ENGIVIA, 2018)	63
Figura 4.6 Extrato da planta do Troço III (SENER-ENGIVIA, 2018)	64
Figura 4.7 Extrato da planta do Troço IV (SENER-ENGIVIA, 2018).....	65
Figura 4.8 Planta do troço V (SENER-ENGIVIA, 2018).....	66
Figura 4.9 Troço VI – Binário Prainha/Estrada Existente (SENER-ENGIVIA, 2018).....	67
Figura 4.10 Troço VI – Binário Prainha/Estrada Nova (SENER-ENGIVIA, 2018).....	68
Figura 4.11 Alargamento e Beneficiação (SENER-ENGIVIA, 2018).....	72
Figura 4.12 Melhoramento e Beneficiação (SENER-ENGIVIA, 2018)	73
Figura 4.13 Construção de Estrada Nova (SENER-ENGIVIA, 2018)	74
Figura 4.14 Lote 3 da Rodovia BR-381 (adaptado SENER-ENGIVIA, 2018)	75
Figura 4.15 Perfil Transversal Tipo na Zona de Duplicação em Reta e em Curva	81
Figura 4.16 Perfil Transversal Tipo na Zona de Construção Nova em Reta e em Curva.....	87

ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 3-1 Velocidades Base – Portugal (INIR, 2010)	16
Tabela 3-2 Velocidade Base – Brasil (DNER,1999)	17
Tabela 3-3 Velocidade de Tráfego (INIR,2010).....	18
Tabela 3-4 Velocidade a considerar nos elementos do traçado geométrico (INIR, 2010)	19
Tabela 3-5 Extensão máxima e mínima dos alinhamentos retos (INIR,2010 e DNER,1999)	21
Tabela 3-6 Coeficiente de atrito transversal (adaptado INIR, 2010 e DNER, 1999)	25
Tabela 3-7 Raios mínimos absolutos curvas circulares (INIR, 2010 e DNER, 1999).....	27
Tabela 3-8 Dispensa das curvas de transição (adaptado INIR, 2010 e DNER, 1999)	28
Tabela 3-9 Parâmetros mínimos das curvas em planta (adaptado INIR, 2010).....	31
Tabela 3-10 Extensões mínimas absolutas da sobrelevação (DNER, 1999).....	33
Tabela 3-11 Rampas de sobrelevação admissíveis (DNER, 1999)	34
Tabela 3-12 Fatores de majoração (DNER, 1999)	34
Tabela 3-13 Síntese dos parâmetros do Traçado em Planta	36
Tabela 3-14 Inclinação máxima dos trainéis - Norma Portuguesa (adaptado INIR,2010).....	39
Tabela 3-15 Inclinação máxima dos trainéis - Norma Brasileira (DNER, 1999).....	39
Tabela 3-16 Extensão crítica dos trainéis (INIR, 2010)	40
Tabela 3-17 Desenvolvimento e raios mínimos das curvas convexas (adaptado de INIR, 2010 e DNER, 1999)	43
Tabela 3-18 Desenvolvimento e raios mínimos das curvas côncavas (adaptado de INIR, 2010 e DNER, 1999)	45
Tabela 3-19 Síntese dos parâmetros do Traçado em Perfil Longitudinal	46
Tabela 3-20 Largura da via, em metros (DNER, 1999)	48
Tabela 3-21 Sobrelevação em curva - Norma Portuguesa (INIR, 2010)	49
Tabela 3-22 Sobrelevação em curva - Norma Brasileira (adaptado DNER, 1999)	50
Tabela 3-23 Valores de raios para dispensa da sobrelevação (DNER, 1999)	50
Tabela 3-24 Valor de GL em função da largura da faixa de rodagem (DNER, 1999)	53
Tabela 3-25 Largura das bermas pavimentadas (INIR, 2010).....	54
Tabela 3-26 Largura da berma direita (DNER, 1999).....	54
Tabela 3-27 Largura da berma esquerda (DNER, 1999).....	54
Tabela 4-1 Traçado em Planta – Duplicação na Solução Alternativa	76
Tabela 4-2 Traçado em Planta – Duplicação no Projeto de Execução	76
Tabela 4-3 Soluções em Planta - Duplicação no Projeto de Execução	78
Tabela 4-4 Traçado em Perfil Longitudinal – Duplicação na Solução Alternativa	79
Tabela 4-5 Traçado em Perfil Longitudinal – Duplicação no Projeto de Execução.....	79
Tabela 4-6 Soluções em Perfil Longitudinal - Duplicação no Projeto de Execução	80

Tabela 4-7 Traçado em Planta – Construção Nova na Solução Alternativa.....	82
Tabela 4-8 Traçado em Planta – Construção Nova no Projeto de Execução.....	82
Tabela 4-9 Soluções em Planta – Construção Nova no Projeto de Execução	84
Tabela 4-10 Traçado em Perfil Longitudinal – Construção Nova na Solução Alternativa	85
Tabela 4-11 Traçado em Perfil Longitudinal – Construção Nova no Projeto de Execução....	85
Tabela 4-12 Soluções em Perfil Longitudinal – Construção Nova no Projeto de Execução ..	86

LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS

AE – Autoestrada

BR – Rodovia da Capital Federal Brasileira

BRT – Bus Rapid Transit

CEN – Comité Europeu de Normalização

DNER – Departamento Nacional de Estradas de Rodagem

DNIT – Departamento Nacional de Infraestruturas de Transportes

ER – Estrada Regional

IC – Itinerário Complementar

INIR – Instituto de Infraestruturas Rodoviárias

IP – Itinerário Principal

ISTRAM ISPOL – Software para Engenharia Civil

MG – Minas Gerais

PI – Passagem Inferior

PPP – Participação Público-Privada

PRN – Plano Rodoviário Nacional

PS – Passagem Superior

RRN – Rede Rodoviária Nacional

SGQ – Sistema de Gestão da Qualidade

TFM – Trabalho Final de Mestrado

TMDA – Tráfego Médio Diário Anual

UIC – União Internacional de Caminhos de Ferro e dos Normativos

VB – Velocidade Base

VT – Velocidade de Tráfego

1 INTRODUÇÃO

1.1 ENQUADRAMENTO GERAL

O presente Trabalho Final de Mestrado (TFM) do curso de Engenharia Civil, na área de especialização de Vias de Comunicação e Transportes, do Instituto Superior de Engenharia de Lisboa, tem por base um estágio curricular, com uma duração de 4 meses, realizado no Departamento de Infraestruturas e Transportes da empresa SENER-ENGIVIA – Consultores de Engenharia, S.A..

O Estágio teve início a 18 de dezembro de 2017 e término a 20 de abril de 2018 e constituiu uma experiência muito enriquecedora, possibilitando o acompanhamento de diferentes projetos na área das vias de comunicação, proporcionando, também, uma ligação à atividade profissional.

A preferência por um estágio deve-se ao facto de ser possível consolidar os conhecimentos académicos através de uma experiência profissional e prática na área de especialização do Curso de Mestrado. Esta opção permitiu desenvolver diferentes aspetos no âmbito dos projetos de vias de comunicação, em diferentes fases do seu desenvolvimento, nomeadamente na interação com as várias especialidades que integram o projeto global, na aprendizagem através da partilha de conhecimentos e na realização propriamente dita de projetos rodoviários.

Através da oportunidade de colaboração no projeto “Duplicação, melhoria e ampliação da capacidade e segurança da Rodovia BR - 381 / Minas Gerais”, originou o interesse de aprofundar o tema da geometria do traçado, numa área que é tão sensível como a da segurança rodoviária, no âmbito das Normas de Traçado Portuguesas e Brasileiras.

Surgiu assim o tema principal do Trabalho Final de Mestrado, onde é apresentada uma análise comparativa entre as Normas de Traçado dos dois países, através do desenvolvimento do Caso de Estudo da Rodovia BR - 381 / Minas Gerais, com base no projeto realizado durante o período de estágio.

1.2 OBJETIVO E METODOLOGIA

O presente relatório de estágio curricular tem, entre outros aspetos, a finalidade de apresentar as atividades realizadas durante o período de estágio, interligando os conhecimentos adquiridos durante a formação académica com os conhecimentos apreendidos em ambiente empresarial.

Por outro lado, a realização do Estágio teve também como objetivo aprofundar o conhecimento das diferentes Normas de Traçado existentes, mais especificamente as Normas de Traçado aplicadas no Brasil, através do estudo de uma rodovia existente em Minas Gerais e que será objeto de intervenção.

Tomando como base o projeto “Duplicação, melhoramento e ampliação da capacidade e segurança da Rodovia BR - 381 / Minas Gerais, Brasil” pretendeu-se aplicar os conceitos que já foram estudados durante a formação académica, de forma a realizar uma comparação entre as Normas Portuguesas e Brasileiras, não só em termos do traçado, mas também no que se refere aos aspetos relacionados com a segurança rodoviária.

A realização do estágio curricular na SENER-ENGIVIA teve os seguintes objetivos específicos a reter:

- Conhecimento real dos diferentes tipos de projetos específicos que constituem o projeto global de uma infraestrutura rodoviária;
- Intervir nas diferentes especialidades que envolvem um projeto rodoviário;
- Conhecer o funcionamento, as peças patenteadas a concurso e a elaboração da proposta associada um concurso público de uma empreitada de construção;
- No âmbito do Caso de Estudo, realizar uma análise comparativa das Normas Portuguesas e Brasileiras, tendo por base uma aplicação num projeto internacional de traçado, realizado ao longo do estágio. Com esta comparação, pretende-se apresentar alternativas de traçado, baseado nas melhores práticas, tendo em conta as diferenças encontradas e as soluções propostas.

A metodologia utilizada para atingir os objetivos propostos resume-se principalmente ao desenvolvimento dos seguintes aspetos:

- Acompanhamento e elaboração de projetos;
- Realização de medições associadas aos diferentes projetos rodoviários que contribuem para a estimativa orçamental;

- Análise de propostas em fase de concurso;
- Pesquisa e análise de Normas e regulamentos associadas ao traçado geométrico;
- Análise do estudo prévio da Rodovia BR - 381, com a finalidade de desenvolver o projeto de execução;
- Estudo das Normas de Traçado Brasileiras;
- Aplicação das Normas no projeto de execução da Rodovia BR - 381 / Minas Gerais;
- Análise das Normas de Traçado Portuguesas;
- Seleção dos parâmetros geométricos a utilizar na comparação entre as Normas Portuguesas e Brasileiras;
- Comparação planimétrica e altimétrica das Normas Portuguesas e Brasileiras;
- Estudo de traçados alternativos para os troços selecionados no projeto da BR - 381 / Minas Gerais aplicando as Normas Portuguesas;
- Comparação de resultados.

Ao aplicar esta metodologia, pretende-se atingir todos os objetivos propostos e consolidar conhecimentos na área do projeto de vias de comunicação.

1.3 ESTRUTURA

O relatório de estágio curricular está estruturado em 5 capítulos que se interligam e que procuram espelhar o trabalho desenvolvido e as conclusões obtidas. Apresenta-se em seguida, para cada um dos referidos capítulos a síntese do seu contexto.

- **Capítulo 1 - Introdução**

Neste capítulo pretende-se fazer o enquadramento geral do tema do Trabalho Final de Mestrado, dando a conhecer o motivo da sua escolha, os objetivos propostos e a metodologia utilizada.

- **Capítulo 2 - A Empresa e Principais Atividades Realizadas no Estágio**

No que se refere ao segundo capítulo, é realizada uma breve apresentação da história e estrutura da empresa onde se realizou o estágio curricular, bem como as principais atividades desenvolvidas durante o estágio, e em particular as que contribuíram para o desenvolvido do Caso de Estudo.

▪ **Capítulo 3 - Comparação das Normas de Traçado Portuguesas e Brasileiras**

No terceiro capítulo é feita uma breve introdução da Norma Portuguesa e da Norma Brasileira, por forma a referenciar as principais diferenças e semelhanças identificadas entre ambas, numa abordagem mais teórica. É realizada uma comparação em termos de traçado em planta, dando ênfase aos parâmetros que identificam os alinhamentos retos, curvas circulares e curvas de transição. No que se refere ao traçado em perfil longitudinal, o foco principal incide nos parâmetros relativos aos trainéis e às curvas verticais. Por fim, são também apresentados alguns elementos correspondentes ao perfil transversal tipo, tais como larguras das faixas de rodagem e bermas. Os parâmetros selecionados serão alvo de comparação e aplicação no capítulo seguinte.

▪ **Capítulo 4 - Caso de Estudo: Rodovia BR-381 / Minas Gerais**

Este capítulo refere-se ao Caso de Estudo e apresenta o projeto desenvolvido ao longo do período de estágio, realizando uma caracterização da zona de intervenção, na qual, para além da localização e das características da mesma, são evidenciados os diferentes tipos de condicionantes. Posteriormente, são apresentados os resultados da aplicação da Norma Brasileira ao traçado da rodovia, assim como as soluções alternativas preconizadas, relativas a 2 trechos previamente selecionados, com a aplicação da Norma Portuguesa. Por fim, comparam-se as geometrias de traçado da zona em estudo, resultantes da aplicação de ambas as Normas.

Através desta comparação será possível otimizar o traçado e alcançar os objetivos propostos para este Caso de Estudo.

▪ **Capítulo 5 - Conclusão**

O último capítulo pretende fazer uma síntese do trabalho e em particular no que se refere ao Caso de Estudo, interligando-o com todos os capítulos do relatório. Serão ainda apresentadas as principais conclusões retiradas da análise efetuada e indicações para futuros trabalhos a desenvolver.

2 A EMPRESA E PRINCIPAIS ATIVIDADES REALIZADAS NO ESTÁGIO

O estágio curricular na SENER-ENGIVIA teve como grande objetivo realizar uma breve experiência de integração no mercado de trabalho na área das Infraestruturas das Vias de Comunicação e nos Transportes.

Inserindo-se este estágio no âmbito do Trabalho Final de Mestrado, segue-se uma breve apresentação da empresa, contando a sua história desde que foi fundada até à atualidade, assim como uma breve descrição das atividades desenvolvidas ao longo dos quatro meses de estágio, incluindo a indicação de todos os projetos em que houve oportunidade de colaborar e acompanhar.

2.1 HISTÓRIA DA EMPRESA

A SENER foi fundada em 1956, em Bilbao (Espanha) e na altura executava, em exclusivo, projetos de engenharia naval.

Para alargar os seus horizontes, a empresa expandiu-se na década de 60 para as áreas de engenharia civil e industrial, obras marítimas e setor petroquímico. Através deste crescimento, a SENER conseguiu alcançar o seu primeiro contrato internacional: o projeto e construção de uma torre de lançamento de foguetões na cidade de Kiruna, na Suécia. Com este projeto, a empresa obteve uma excelente oportunidade para abrir portas ao setor aeroespacial (SENER, 2018).

O setor energético (centrais de refinaria de gás natural e geração de energia térmica e elétrica) e o setor da engenharia de telecomunicações ganharam um lugar na empresa nos anos 70 e 80.

Nos anos de 1991, 1993 e 1998, a SENER expandiu a sua empresa para Lisboa, Barcelona e Valência, respetivamente.

A partir do ano 2000, a empresa continuou a sua internacionalização com a abertura de escritórios no Japão, Argélia, Argentina e Estados Unidos reforçando a sua presença na Europa, com novos escritórios em Espanha e na Polónia.

Em Portugal (2009), a SENER adquiriu uma percentagem da ENGIVIA - Consultores de Engenharia, S.A. – empresa Portuguesa com referência nas áreas de vias de comunicação, obras públicas e planeamento. O interesse por esta empresa teve por base o seu sucesso e participação nos projetos de quase todas as autoestradas construídas em Portugal. No ano de 2011 a SENER comprou 100 % do capital da ENGIVIA, tendo-se formado, através da conjugação de ambos os conhecimentos das empresas, em 2013, a SENER-ENGIVIA.

Atualmente, a SENER é uma multinacional integrada em 20 países, com mais de 6 000 funcionários e projetos nos 4 continentes – Europa, América, África e Ásia. Na Figura 2.1 é representada a localização dos escritórios / instalações do grupo SENER.



Figura 2.1 Presença global do Grupo SENER (adaptado SENER, 2018)

2.2 DIVISÃO DE INFRAESTRUTURAS E TRANSPORTES

A SENER-ENGIVIA dispõe de um grande conhecimento na engenharia de infraestruturas e transportes através da colaboração de profissionais especializados nas diferentes vertentes e da aplicação das tecnologias mais avançadas existentes no mercado.

É através desta interligação de recursos que em 2012 a SENER foi destacada como a quinta maior empresa de Engenharia do mundo na área dos projetos de transportes, publicado pela “*World Architecture*” (SENER, 2018).

Quanto á sua organização, a divisão de Infraestruturas e Transportes divide-se em 4 grandes áreas. A primeira e principal área são as Infraestruturas de Transportes, onde são realizados os mais diversos trabalhos nas estradas e autoestradas, ferrovias, linhas de alta velocidade, sistemas de transportes urbano e aeroportos. A segunda área diz respeito á arquitetura, em que, para além de edifícios singulares, são também desenvolvidos projetos de desenvolvimento urbano e planeamento e gestão de projetos direcionados a edifícios. Os portos e obras marítimas inserem-se nesta divisão, dado que aqui são desenvolvidos todos os seus planeamentos e posteriores gestões costeiras. Por último, integra também a área da hidráulica, onde são projetados sistemas de distribuição de redes de águas e esgotos, regulação de recursos hídricos e o planeamento dos ciclos de água.

Tendo em consideração as várias valências técnicas existentes na SENER-ENGIVIA é possível desenvolver um projeto, desde a sua fase inicial de planeamento até à fase de operação, passando pelo projeto e pela construção criando um ciclo como ilustra a Figura 2.2.



Figura 2.2 Ciclo de um Empreendimento (SENER, 2018)

Na área das estradas e autoestradas destaca-se o projeto (incluindo assistência técnica em obra) da A4 (IP4) - Autoestrada Transmontana (Estrada Europeia N.º 82), que liga a cidade do Porto (Matosinhos) à fronteira espanhola em Quintanilha, cujo traçado foi realizado pela SENER-ENGIVIA.

O projeto compreende 132 km de construção nova, com 24 ligações, 78 Passagens Superiores e 137 Passagens Inferiores, um túnel com uma extensão de 5,6 km – Túnel do Marão e 17 Viadutos, dos quais se destaca a ponte suspensa sobre o rio Corgo (Figura 2.3).

É de salientar a coordenação entre o projeto e a assistência técnica durante a construção da infraestrutura, o que exige um acompanhamento constante e soluções imediatas para a resolução de problemas que ocorrem durante a construção deste tipo de infraestruturas.



Figura 2.3 Vista sobre o Traçado da A4 (IP4) e Ponte sobre o Rio Corvo (SENER, 2018)

2.3 SISTEMA DE GESTÃO DA QUALIDADE

A SENER-ENGIVIA apresenta um Sistema de Gestão Integrado da Qualidade, Segurança e Ambiente certificado pelas Normas internacionais ISSO 9011/2008; ISSO 14001/2008 e OHSAS/2007.

Neste contexto a empresa pretende garantir que todos os estudos e projetos sejam elaborados com qualidade, assegurando sempre as condições de segurança no trabalho por forma a respeitar o meio ambiente. Assim, o Sistema de Gestão da Qualidade (SGQ) torna-se essencial para o bom desenvolvimento de um projeto.

Para que o projeto em elaboração cumpra todos os requisitos impostos pelo SGQ, o Coordenador de Projeto juntamente com o Responsável da Qualidade terão que verificar e certificar que o projeto está de acordo com os procedimentos do sistema ou completá-lo caso isso não se verifique.

Assim sendo, existem 2 equipas, a que elabora o estudo / projeto e a equipa de controlo de qualidade. À primeira equipa compete apresentar os seguintes pontos:

- Análise da documentação contratual, garantindo possíveis modificações de acordo com os requisitos da qualidade;
- Elaboração de um programa de trabalhos, estabelecendo prazos, identificando as atividades críticas, tempos de revisão e verificação do projeto;
- Verificação das peças desenhadas de acordo com os requisitos do caderno de encargos e especificações;
- Revisão do projeto que contará com a presença dos técnicos e especialistas.

Já à equipa de controlo da qualidade compete avaliar todos os requisitos, métodos e procedimentos estabelecidos, bem como a qualidade dos trabalhos executados, através do nível de qualidade.

Todas as auditorias são entregues à Direção da empresa.

2.4 PRINCIPAIS ATIVIDADES REALIZADAS NO ESTÁGIO

No decorrer do Estágio curricular foi possível adquirir conhecimentos nas diferentes áreas especializadas das infraestruturas e transportes, através do contacto direto com vários projetos nacionais e internacionais, dos quais se destacam:

- Duplicação, melhoramento e ampliação da capacidade e segurança da Rodovia BR - 381 / Minas Gerais, Brasil;
- Reformulação do projeto de ampliação do caminho de circulação “F” - alteração de *code F* para *code E*, no Aeroporto Francisco Sá Carneiro;
- Alargamento e beneficiação da A4 (IP4) – Autoestrada Porto / Amarante, Sublanço Águas Santas / Ermesinde, Nó e Portagens de Ermesinde;
- Rede de Autoestradas e Estradas Seguras PPP – Corredor Vial B, C e SUR, Argentina.

As principais atividades desenvolvidas ao longo do estágio curricular decorreram em plena integração na equipa de trabalho da empresa, e são apresentadas seguidamente.

No início do estágio foi realizada uma ação de formação sobre procedimentos de qualidade e segurança no trabalho, onde foi possível obter informações sobre as Normas e procedimentos implementados na SENER-ENGIVIA. Deste modo, foram adquiridos novos conhecimentos, tanto a nível individual como coletivo, com a necessária adaptação ao mundo empresarial e ao funcionamento da empresa.

Uma outra ação de formação realizada, diz respeito ao *software* de cálculo automático, para aplicação no traçado de vias de comunicação – o *INSTRAMISPOL* – utilizado na empresa. Este *software* tem como função apoiar os projetos de infraestruturas rodoviárias e ferroviárias, aeroportos e sistemas de saneamento, no âmbito da geometria do traçado.

No que se refere aos diferentes projetos onde houve participação durante o período de estágio, destacam-se de seguida as principais atividades realizadas em cada um:

- **Duplicação, melhoramento e ampliação da capacidade e segurança da Rodovia BR - 381 / Minas Gerais, Brasil**

Este projeto rodoviário em fase de projeto de execução contempla obras de duplicação e melhoramento da estrada existente e cálculo de um novo traçado rodoviário.

A colaboração neste projeto insere-se no âmbito da análise da terraplenagem, drenagem e traçado, com a consequente verificação das Normas aplicáveis. Foram realizadas medições de movimentação de terras e da drenagem, aplicando os critérios constantes nos cadernos de encargos respetivos, para posterior obtenção das estimativas orçamentais.

Da análise das Normas de Traçado Brasileiras - Manual de Projeto Geométrico de Rodovias Rurais (DNER) - surgiu o interesse pelo tema principal deste relatório de estágio.

Assim, no desenvolvimento deste projeto, houve uma maior participação no que se refere ao traçado rodoviário, através do acompanhamento e colaboração com a equipa responsável.

Na elaboração deste projeto houve a oportunidade de utilizar o programa “*INSTRAM ISPOL*” no estabelecimento da diretriz e da rasante, o que obrigou à predefinição de parâmetros geométricos, para o correto funcionamento deste *software*.

- **Reformulação do projeto de ampliação do caminho de circulação “F” - alteração de *code F* para *code E*, no Aeroporto Francisco Sá Carneiro**

Este projeto de execução aeroportuário refere-se à ampliação do caminho de circulação das aeronaves do Aeroporto Francisco Sá Carneiro, que foi reformulado no sentido de alterar o código de letra F para E ou seja, inicialmente o avião de referência era Airbus 380 e passou para o avião Boeing 777, o que conduziu a uma alteração na largura do caminho de circulação.

Numa primeira fase, foi possível colaborar na análise e consulta de todo o projeto de base, ou seja, anterior à reformulação, e na análise dos novos projetos de traçado, pavimentação, drenagem e sinalização.

Posteriormente, foram realizadas as medições dos projetos de drenagem, sinalização e demolições, tendo sempre por base o caderno de encargos elaborado pela SENER-ENGIVIA, para lançamento da obra a concurso.

- **Alargamento e beneficiação da A4 (IP4) – Autoestrada Porto / Amarante, Sublanço Águas Santas / Ermesinde, Nó e Portagens de Ermesinde**

O projeto rodoviário de alargamento e beneficiação, na fase de projeto de execução, é um projeto que contempla obras na zona do nó rodoviário de Ermesinde na A4, envolvendo a praça de portagem associada. A colaboração com a respetiva equipa de projeto possibilitou a oportunidade de aprofundar conhecimentos nas áreas afetas às guardas de segurança, delineadores e expropriações.

Numa primeira fase, e como a SENER-ENGIVIA realizou os projetos de outros sublanços da A4 (IP4), procedeu-se à análise e estudo dos mesmos com a finalidade de conhecer melhor todo o projeto rodoviário que envolve esta autoestrada.

Após esta análise, e no âmbito do projeto de guardas de segurança e delineadores, foram definidos vários trechos de implantação destes equipamentos nos vários ramos de ligação, de acordo com os critérios previamente estabelecidos.

Por último, a participação neste projeto terminou com o apoio na realização das medições de terraplenagem e pavimentação, através da organização de dados provenientes do programa *ISTRAM ISPOL*, e posterior colocação dos resultados obtidos em folhas de medição.

- **Rede de Autoestradas e Estradas Seguras PPP – Corredor Vial B, C e SUR, Argentina**

Este projeto divide-se em dois Corredores, B e SUR, compreendendo uma extensão de 247 km. Numa primeira fase procedeu-se à análise do anteprojecto apresentado a concurso (através das peças desenhadas e peças escritas) tendo sido possível, desta forma obter um maior conhecimento da zona a intervencionar.

Posteriormente, com o objetivo de estudar configurações geométricas alternativas e de implantação dos mesmos, em ambos os corredores, foi realizada uma análise crítica a todos os nós rodoviários existentes na zona a intervencionar.

Tendo por base o número total de nós rodoviários, foram também estimadas as quantidades relativas à sinalização rodoviária, a qual foi acompanhada de comentários explicativos das alterações preconizadas.

Em síntese, é de salientar que todas as atividades realizadas no âmbito dos projetos contribuíram para uma melhor compreensão e desenvolvimento do caso de estudo, assim como aprofundar os conhecimentos noutras áreas da engenharia de infraestruturas e transportes.

A análise e estudo de outros projetos semelhantes realizados pela empresa, constituiu uma mais-valia que permitiu adquirir novos conhecimentos e metodologias de elaboração deste tipo de projetos de infraestruturas.

O objetivo de estudar a legislação e Normas em vigor, aplicáveis não só a projetos rodoviários, mas também aeroportuários, obrigou a uma pesquisa e análise de informação em portais eletrónicos, independentemente da documentação enviada pelas entidades competentes. Esta atividade foi fundamental para o desenvolvimento do presente trabalho, visto que os projetos envolvidos diferiam em termos das Normas aplicáveis, não só porque se situavam em diferentes países ou porque tinham outro tipo de natureza, como é o caso da reformulação do projeto do Aeroporto Francisco Sá Carneiro. No que se refere ao projeto “Duplicação, melhoramento e ampliação da capacidade e segurança da Rodovia BR - 381 / Minas Gerais, Brasil”, houve mesmo necessidade de o Departamento Nacional de Estradas de Rodagem (DNER) fornecer toda a legislação.

Em todos os projetos existiu sempre a necessidade de produzir estimativas orçamentais, pelo que as medições realizadas a todas as peças desenhadas, constituíram sempre elementos de base. Para esta atividade existiu a necessidade de estudar cuidadosamente os cadernos de encargos correspondentes a cada projeto, incluindo os critérios de medição, o que se veio a mostrar como uma nova vertente do projeto.

Durante o decorrer do estágio observou-se a interação entre as várias especialidades envolvidas nos projetos, pois tratando-se de um projeto global resultante de várias áreas, é indispensável uma coordenação eficaz. Através desta ligação e da partilha de conhecimentos obteve-se uma melhor visão da área das vias de comunicação.

A colaboração em diferentes projetos da área das vias de comunicação, no âmbito, rodoviário e aeroportuário, assim como a participação num concurso público de construção, foi uma experiência muito enriquecedora, visto que se cumpriu os objetivos propostos ao escolher um estágio curricular como TFM.

3 COMPARAÇÃO DAS NORMAS DE TRAÇADO PORTUGUESAS E BRASILEIRAS

Para fazer uma análise comparativa no âmbito da geometria do traçado entre as Normas Portuguesas e Brasileiras, foi necessário avaliar os parâmetros geométricos relativos ao traçado em planta, ao traçado perfil longitudinal e ao perfil transversal tipo da estrada. As Disposições Normativas - Revisão da Norma de Traçado do Instituto de Infraestruturas Rodoviárias (INIR), de 2010 e o Manual de Projeto Geométrico de Rodovias Rurais do Departamento Nacional de Estradas de Rodagem (DNER), de 1999, foram os documentos de base considerados na realização desta comparação.

Na elaboração destas Normas são tidos em consideração, de uma forma explícita, vários fatores como o comportamento dos condutores e as características dos veículos. O primeiro fator interfere de forma significativa com a velocidade adotada pelo condutor, e que é um elemento relevante na geometria do traçado. A velocidade é alterada em função do grau de conhecimento da estrada pelo condutor, pela distância de visibilidade, tráfego existente, topografia, largura da via de circulação, inclinações transversais e longitudinais, entre outros fatores que serão abordados mais à frente.

No desenvolvimento de um projeto rodoviário dever-se-á ter em atenção não só os parâmetros geométricos, mas também os vários aspetos de índole bem diferenciada, que vão desde a economia da construção e da operação da estrada, até ao conforto e à segurança da mesma. De salientar, que estes últimos aspetos têm tido uma crescente evolução nas últimas décadas, dada a sua importância na conceção do traçado.

No decorrer deste capítulo, serão apresentadas as Normas anteriormente mencionadas (em primeiro lugar a Norma Portuguesa, seguida da Norma Brasileira), que possibilitam a caracterização de um projeto rodoviário, e que sempre que possível, devem ser aplicadas. Como em qualquer projeto, é necessário possuir algum espírito crítico e saber adaptar o traçado ao meio ambiente onde este se insere. Se a aplicação total das disposições Normativas não for possível, deve ser convenientemente justificado o resultado escolhido.

3.1 REDE RODOVIÁRIA

Em Portugal, a Rede Rodoviária Nacional (RRN) (Figura 3.1) é definida pelo Plano Rodoviário Nacional (PRN 2000), através do Decreto-lei n.º 222/98 de 17 de Julho, que é constituído por duas redes, a Rede Nacional Fundamental e a Rede Nacional Complementar.

A Rede Nacional Fundamental engloba os Itinerários Principais (IP), que asseguram a ligação entre os principais centros urbanos com influência supra-districtal, e os principais portos aeroportos e fronteiras. Por sua vez, esta rede está integrada na Rede Internacional, o que

permite uma ligação a toda a Europa. Esta rede pretende garantir correntes de tráfego estáveis, para que o condutor circule com segurança e comodidade quando praticadas velocidades mais elevadas.

A Rede Nacional Complementar é composta pelos Itinerários Complementares (IC) e Estradas Nacionais (EN). Estas estradas estabelecem ligações de grande importância regional, bem como a todas as vias de acesso às Áreas Metropolitanas de Lisboa e Porto. As estradas que constituem esta rede devem assegurar condições de circulação estáveis, embora tenham restrições a nível de velocidades e ultrapassagens.

O PRN 2000 integra ainda a Rede de Autoestradas (que na sua maioria são IP e IC) e as Estradas Regionais (ER), visto que representam um interesse supramunicipal e complementar à RRN.

Todas as estradas que constituem as redes municipais não estão incluídas no PRN 2000.

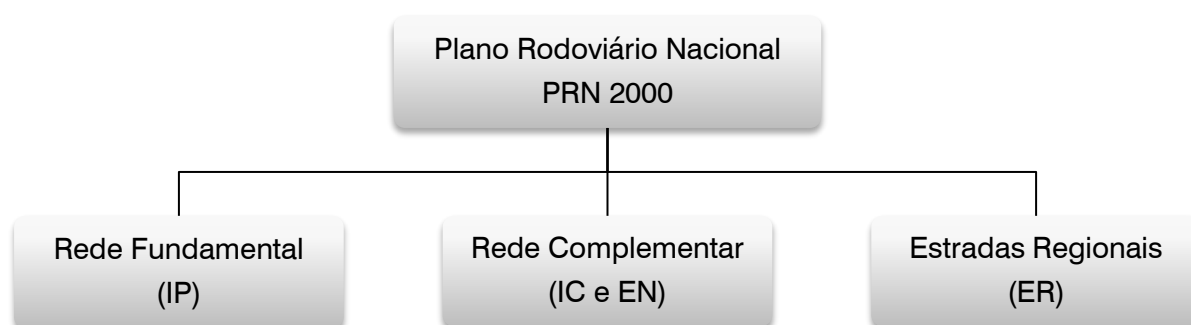


Figura 3.1 Rede Rodoviária Portuguesa (adaptado INIR, 2010)

No Brasil a Rede Rodoviária é caracterizada através do Sistema Arterial e das Classes de Projeto, tendo por base a função destinada à estrada, os volumes de tráfego e a topografia da região.

O Sistema Arterial subdivide-se em Sistemas Arterial Principal, Secundário e Local.

O Sistema Arterial Principal assegura a ligação inter-regional e internacional, sendo o Sistema Arterial Secundário o que permite a circulação entre estados através de uma rede contínua, e por último, o Sistema Arterial Local engloba as estradas com extensões reduzidas, destinadas ao tráfego intermunicipal.

No que se refere às Classes de Projeto, a Classe 0 abrange as Vias Expresso, que são definidas pelo elevado padrão técnico, dupla faixa de rodagem e controlo dos acessos. Estas vias podem ser comparadas às Autoestradas (AE) existentes em Portugal.

A Classe I é dividida em vias da Classe I-A e Classe I-B. As estradas da Classe I-A são constituídas por dupla faixa de rodagem e as da Classe I-B incluem apenas uma faixa única com dois sentidos.

As classes inferiores à Classe I são constituídas por uma faixa única com dois sentidos de circulação e diferenciadas apenas pelo volume de tráfego que nelas circulam, que se discriminam seguidamente:

- A Classe II apresenta um Volume Médio Diário entre os 1400 e 700 veículos;
- A Classe III compreende um Volume Médio Diário de 700 a 300 veículos;
- A Classe IV subdivide-se em duas, a Classe IV-A com um Tráfego Médio Diário de 50 a 200 veículos no ano de abertura, e a Classe IV-B com um Tráfego Médio Diário inferior a 50 veículos no ano de abertura.

A Figura 3.2, apresentada na Norma do DNER, refere a relação geral entre as classes funcionais e as classes de projeto.

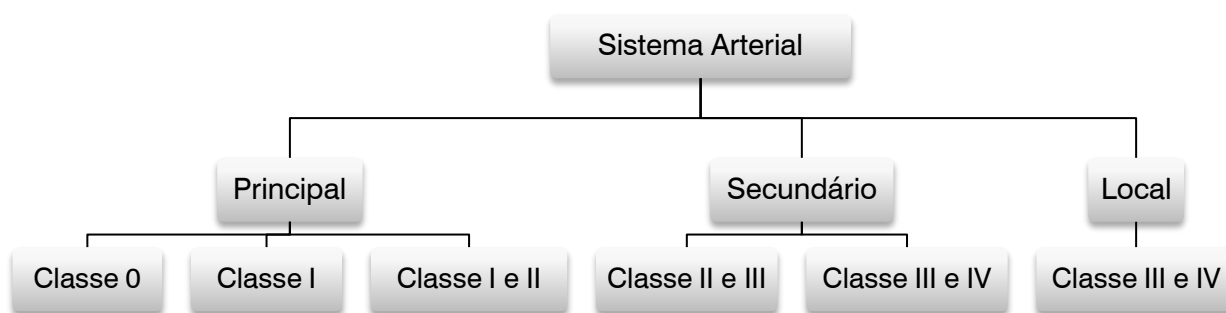


Figura 3.2 Rede Rodoviária Brasileira (adaptado DNER, 1999)

3.2 VELOCIDADE

O comportamento realizado pelos condutores interfere em grande parte na velocidade adotada, o que a torna num elemento relevante para a geometria de traçado. Assim sendo, o INIR e o DNER atribuem à velocidade o parâmetro fundamental para a escolha dos elementos

geométricos do traçado de uma rodovia, refletindo os critérios de segurança, comodidade e economia.

Com o intuito de se obter um traçado homogéneo, a Norma do INIR apresenta 2 conceitos de velocidade – a velocidade base a e velocidade de tráfego.

3.2.1 VELOCIDADE BASE

A velocidade base é definida como o critério de segurança, ou seja, é a velocidade arbitrada para o projeto de uma rodovia.

Em Portugal, o valor da velocidade base está ligado ao tipo de estrada que compõe a RRN – Itinerários Principais (IP), Itinerários Complementares (IC), Estradas Nacionais (EN) e Estradas Regionais (ER), tendo em consideração as condicionantes ambientais, económicas, topográficas, nível de serviço e tráfego.

A Tabela 3-1, apresentada na Norma do INIR, indica as velocidades base a considerar na RRN.

Tabela 3-1 Velocidades Base – Portugal (INIR, 2010)

Tipo de Estrada		Velocidade Base (km/h)				
		140	120	100	80	60
Dupla faixa de rodagem	IP	X (a)	X (a)	X	-	-
	IC	X (a)	X (a)	X	X (b)	-
Faixa única, com dois sentidos	IC	-	-	(c)	X	-
	EN	-	-	-	X	X
	ER	-	-	-	X	X

(a) Só em Autoestrada

(b) Neste caso deve ser devidamente justificado o recurso a esta velocidade

(c) Apenas nos casos em que se preveja a futura duplicação

Segundo a Norma do INIR, a velocidade base é determinante para definir a maioria das características geométricas de traçado, tais como o raio mínimo em planta, a inclinação máxima dos trainéis e o perfil transversal tipo dos IP e dos IC. Nas EN e nas ER, a velocidade base condiciona todos os parâmetros geométricos do traçado rodoviário.

Para que o projeto rodoviário se torne uniforme e homogéneo, a velocidade base deverá manter-se constante ao longo da rodovia. Quando não for possível, ou haja a necessidade de

alterar a velocidade base, a Norma refere uma variação gradual da velocidade base entre secções sucessivas de estrada de 10 km/h.

No Brasil, a Norma do DNER impõe valores para a velocidade base de acordo com a Classe de Projeto e do tipo de relevo. Estes valores são apresentados na Tabela 3-2.

Tabela 3-2 Velocidade Base – Brasil (DNER,1999)

Classe de Projeto	Velocidade base (km/h)		
	Relevo		
	Plano	Ondulado	Montanhoso
Classe 0	120	100	80
Classe I	100	80	60
Classe II	100	70	50
Classe III	80	60	40
Classe IV	80-60	60-40	40-30

De acordo com a Norma do DNER, a velocidade base é determinante para definir todas as características geométricas de traçado. É através desta velocidade que se define o traçado em planta, o traçado em perfil longitudinal e o perfil transversal tipo. A Norma não impõe, nem distingue, outro tipo de velocidade.

3.2.2 VELOCIDADE DE TRÁFEGO

A velocidade de tráfego é a velocidade que 85 % dos condutores utilizam de acordo com o meio envolvente e o traçado da estrada, por outro lado, é a velocidade que é excedida em 15 % dos veículos que circulam na rodovia.

Segundo a Norma do INIR, tendo por base uma curva de distribuição de velocidades numa secção de uma rodovia (Figura 3.3), é possível obter para cada velocidade, a percentagem de veículos que circulam a velocidades igual ou inferior à mesma.

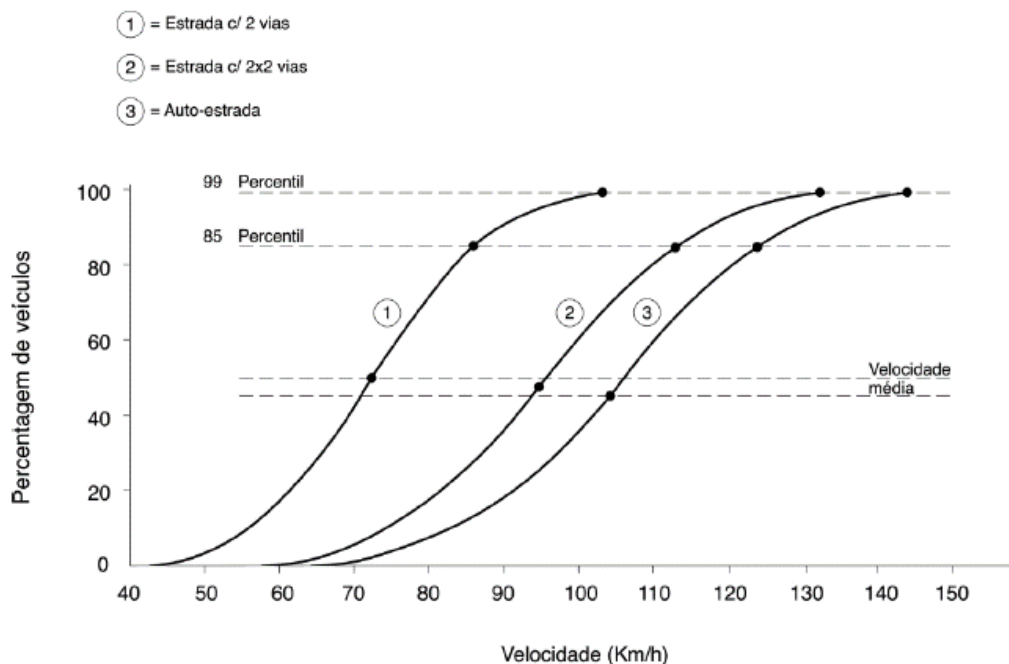


Figura 3.3 Curvas de distribuição comutativa de velocidades (INIR,2010)

Quando a velocidade ultrapassa o percentil 85, esta situação corresponde a uma velocidade crítica, ou seja, a estrada torna-se perigosa, visto que, as condições de segurança ficam comprometidas.

Assim, a Norma Portuguesa estabeleceu uma velocidade de tráfego para cada velocidade base. Estes valores estão representados na Tabela 3-3.

Tabela 3-3 Velocidade de Tráfego (INIR,2010)

Velocidade Base - VB (km/h)	Velocidade de Tráfego - VT (km/h)
40	50
50	60
60	80
70	90
80	100
90	110
100	120
110	125
120	130
130	135
140	140

A Norma do INIR conclui que, para definir as características geométricas de um projeto rodoviário terá que se considerar não só a velocidade base, mas também a velocidade de tráfego, isto porque a velocidade praticada pelos utentes ao longo do seu trajeto varia em função das características do traçado. Assim sendo, a Tabela 3-4 refere a velocidade a considerar na definição das características geométricas do traçado.

Tabela 3-4 Velocidade a considerar nos elementos do traçado geométrico (INIR, 2010)

Elementos do Traçado	Velocidade	
	Velocidade Base	Velocidade de Tráfego
Raio mínimo em planta	X	--
Inclinação máxima do trainel	X	--
Perfil Transversal Tipo	X	--
Distâncias de visibilidade	--	X
Raio mínimo das concordâncias verticais	--	X

Analisando a Tabela 3-4, verifica-se que para definir as características geométricas do traçado, a velocidade base é indispensável no cálculo do raio mínimo em planta e, de um modo geral, em todas as características geométricas. No caso dos IP e dos IC usar-se-á, por segurança, a velocidade de tráfego, visto que a velocidade irá depender da distância de visibilidade de paragem.

3.3 TRAÇADO EM PLANTA

O estudo do traçado em planta, no seguimento do estabelecido nas Normas Portuguesas e Brasileiras em vigor, deverá ter por base uma solução equilibrada e sustentada, com curvas circulares de raio constante, curvas de transição de raio variável e alinhamentos retos de raio infinito, sendo de evitar a existência de elementos de reduzida dimensão.

As curvas são introduzidas no traçado para realizar a concordância entre alinhamentos retos consecutivos e abrangem dois tipos de curvas, as circulares e as de transição em clotóide. Estas últimas possibilitam a ligação entre os alinhamentos retos e as curvas circulares, garantindo uma variação gradual do raio de valor infinito, até ao valor do raio da curva circular ou vice-versa.

O princípio base referido anteriormente terá, como é usual, que ser devidamente ajustado ao local em estudo, tendo em conta as diversas variáveis envolvidas, designadamente a orografia da zona e a rede viária existente, bem como as restantes condicionantes existentes.

Os principais parâmetros a serem analisados serão:

- Comprimentos máximo e mínimo dos alinhamentos retos;
- Raios mínimos das curvas circulares e respetivos desenvolvimentos;
- Parâmetros mínimos das curvas de transição.

A importância do estudo destes parâmetros deve-se ao facto de dependerem das velocidades praticadas na estrada a construir e da necessidade de garantir a homogeneidade do traçado e a coordenação entre a planta e o perfil longitudinal do mesmo.

3.3.1 ALINHAMENTOS RETOS

Os alinhamentos retos são elementos de cálculo com raio infinito, que permitem movimentos uniformes e facilitam as ultrapassagens entre veículos, em estradas com uma faixa de rodagem e duas vias de circulação. Contudo, provocam o aumento da duração do encadeamento na condução noturna, podem tornar a condução monótona, dificultam a análise sobre as velocidades e distâncias em relação a outros veículos e, geralmente não se integram bem na morfologia do terreno natural. De acordo com as Normas, de maneira a minimizar os aspetos negativos mencionados, é aconselhável que os alinhamentos retos extensos não tenham inclinações longitudinais constantes.

Deste modo, torna-se importante definir valores limites, máximos e mínimos, para os alinhamentos retos com inclinação longitudinal constante.

A Norma Portuguesa estabelece como limite máximo e mínimo para a extensão dos alinhamentos retos os valores que resultam das equações 3.1 e 3.2:

$$L_{\min} = 6 \times V_b \quad (3.1)$$

$$L_{\max} = 20 \times V_b \quad (3.2)$$

Onde,

L_{\min} - Extensão mínima do alinhamento reto (m);

L_{\max} - Extensão máxima do alinhamento reto (m);

V_b - Velocidade base (km/h).

No que se refere a este parâmetro a Norma Brasileira difere da Norma Portuguesa, apresentando apenas o limite mínimo obtido através da equação 3.3:

$$L_{\min} = 4 \times V_b \quad (3.3)$$

Onde,

L_{\min} – Extensão mínima do alinhamento reto (m);

V_b – Velocidade base (km/h).

Analisando as equações 3.1 e 3.3 verifica-se que o valor mínimo estabelecido na Norma Brasileira representa 2 / 3 do valor mínimo apresentado na Norma Portuguesa.

A análise comparativa das duas Normas, no que se refere à extensão dos alinhamentos retos, em função da velocidade base são indicadas na Tabela 3-5.

Tabela 3-5 Extensão máxima e mínima dos alinhamentos retos (INIR,2010 e DNER,1999)

Velocidade base (km/h)	Norma Portuguesa		Norma Brasileira	
	L_{\min} (m)	L_{\max} (m)	L_{\min} (m)	L_{\max} (m)
40	240	800	160	Valor não definido
50	300	1 000	200	
60	360	1 200	240	
70	420	1 400	280	
80	480	1 600	320	
90	540	1 800	360	
100	600	2 000	400	
110	660	2 200	440	
120	720	2 400	480	

Quanto ao limite mínimo da extensão do alinhamento reto é de referenciar que a Norma Brasileira estabelece um valor inferior em cerca de 1 / 3 quando comparada com a Norma Portuguesa, ou seja, é possível utilizar alinhamentos retos de menor extensão no traçado geométrico, para a mesma velocidade de projeto.

Por exemplo, para uma velocidade base de 100 km/h a Norma Portuguesa apresenta um valor de extensão mínima de 600 m, já a Norma Brasileira estabelece 400 m, o que perfaz uma diferença de 200 m.

No que diz respeito ao limite máximo da extensão do alinhamento reto a Norma Portuguesa estabelece um limite definido, ao passo que a Norma Brasileira não define qualquer limite.

3.3.2 CURVAS CIRCULARES

As curvas circulares são os elementos de cálculo que permitem efetuar a concordância entre alinhamentos retos consecutivos.

Segundo as Normas Portuguesas e Brasileiras, sempre que a morfologia do terreno natural o permita, as curvas circulares devem apresentar os maiores valores de raio possíveis, com o intuito de facilitar a visibilidade e a perceção do traçado ao condutor.

Por vezes é necessário minimizar os custos, coordenar a planta com o perfil longitudinal ou até mesmo realizar uma integração da curva na paisagem. Nestes casos, devem adotar-se valores de raios mais baixos. No entanto, existem valores mínimos a ter em conta nas curvas circulares.

Os veículos ao percorrerem uma curva estão sujeitos a uma aceleração centrífuga, com direção horizontal, o que gera uma força centrífuga no sentido do extradorso da curva. A equação 3.4 expressa o cálculo da força centrífuga:

$$F_c = \frac{P}{g} \times \frac{V^2}{R} \quad (3.4)$$

Onde,

F_c – Força centrífuga (N);

P – Peso do veículo (N);

g – Aceleração da gravidade (m/s^2);

$\frac{V^2}{R}$ – Aceleração centrífuga (m/s^2).

Na Figura 3.4 representa as forças que atuam num veículo quando este circula numa curva à esquerda. Existe uma força centrífuga que desvia o veículo para o extradorso da curva, colocando-o numa situação de deslizamento. Para contrariar esta força, o atrito entre os pneus e o pavimento e uma componente de peso, originam uma força tangencial.

Com o intuito de diminuir o risco de deslizamento, as curvas apresentam uma sobrelevação, ou seja, a plataforma da estrada encontra-se inclinada no sentido do centro da curva com um ângulo α .

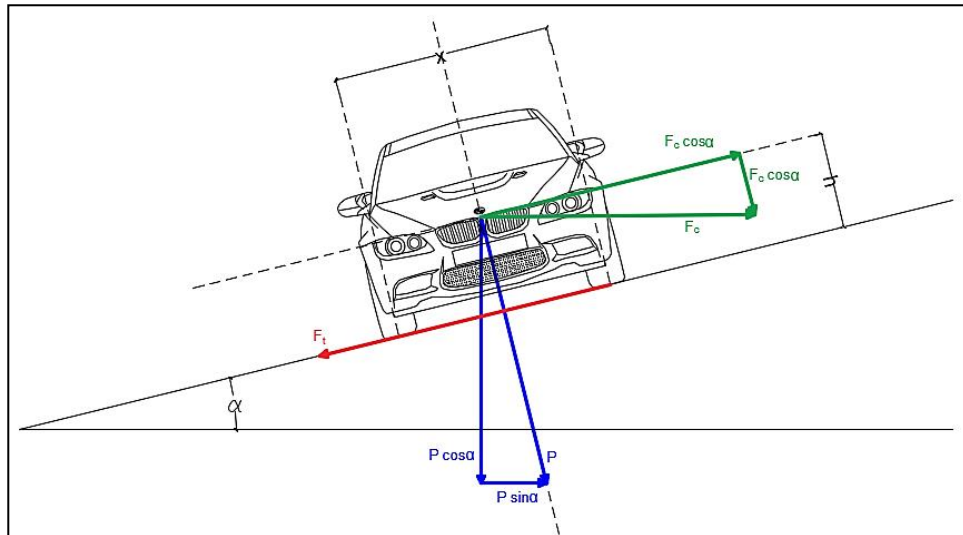


Figura 3.4 Equilíbrio de forças a atuar no veículo numa curva sobrelevada

Para o equilíbrio das forças a atuar num veículo que percorra uma curva, as forças e distâncias a ter em conta são:

- P – Peso do veículo (N);
- F_c – Força centrífuga correspondente ao peso do veículo (N);
- F_t – Força tangencial resistente (atrito) entre o pneu e o pavimento (N);
- X – Distância entre rodados no mesmo eixo (m);
- h – Altura do centro da gravidade em relação ao pavimento (m).

Para impedir o deslizamento é necessário que a soma vetorial das forças paralelas à plataforma da estrada induzidas no veículo, seja inferior ou igual à aderência máxima que é possível mobilizar no contacto entre o pneu e o pavimento, sendo a força tangencial o valor limite do atrito disponível no sentido transversal (equação 3.5). Esta força é dada pela diferença vetorial entre o atrito total e aquela que é utilizada na direção longitudinal.

Torna-se assim necessário estudar o equilíbrio transversal, paralelamente à plataforma e Normal ao eixo da estrada.

$$F_t = F_r \times f_t \quad (3.5)$$

Onde,

F_t – Força tangencial (N);

F_r – Resultante das forças que atuam na direção Normal à plataforma da estrada (N);

f_t – Coeficiente de atrito transversal.

A equação 3.6 estabelece a condição para impedir o deslizamento, sendo apresentada de seguida:

$$F_c \cos \alpha \leq P \sin \alpha + f_t (P \cos \alpha + F_c \sin \alpha) \quad (3.6)$$

Em que,

F_c – Força centrífuga (N);

P – Peso do veículo (N);

f_t – Coeficiente de atrito transversal.

Ao substituir o valor da força centrífuga pela equação 3.4 e dividir as parcelas pelo co-seno do ângulo α que a plataforma se encontra inclinada, obtém-se a seguinte equação 3.7:

$$\frac{V^2}{g \times R} \leq \tan \alpha + f_t + \left(\frac{V^2}{g \times R} \times \tan \alpha \times f_t \right) \quad (3.7)$$

Sabendo que $\tan \alpha$ corresponde à sobrelevação da curva e que a parcela $(\tan \alpha \times f_t)$ tende para valores muito baixos, conclui-se a equação 3.8:

$$\frac{V^2}{R} \leq g \times (Se + f_t) \quad (3.8)$$

Onde,

Se – Sobrelevação (%);

g – Aceleração da gravidade (m/s^2);

$\frac{V^2}{R}$ – Aceleração centrífuga (m/s^2);

f_t – Coeficiente de atrito transversal.

Substituindo o valor de g por $9.8 m/s^2$, obtém-se a equação 3.9 que indica o valor do raio mínimo de uma curva circular para que um veículo que circule num pavimento com sobrelevação a uma determinada velocidade não sofra deslizamento.

$$R \geq \frac{V_b^2}{127 \times (Se + f_t)} \quad (3.9)$$

Onde,

R – Raio mínimo (m);

V_b – Velocidade base (km/h);

Se – Sobrelevação (%);

f_t – Coeficiente de atrito transversal.

Os valores do coeficiente de atrito transversal, que são variáveis consoante a velocidade base, não são coincidentes na Norma Portuguesa e na Norma Brasileira. Na Tabela 3-6 são indicados os valores adotados para este coeficiente para cada uma das Normas.

Tabela 3-6 Coeficiente de atrito transversal (adaptado INIR, 2010 e DNER, 1999)

Velocidade base (km/h)	f_t – Norma Portuguesa	f_t – Norma Brasileira
40	0,16	0,18
50	0,16	0,16
60	0,15	0,15
70	0,14	0,15
80	0,14	0,14
90	0,13	0,14
100	0,12	0,13
110	0,10	0,12
120	0,09	0,11

Quanto maior for o valor do coeficiente de atrito transversal, menor será o raio mínimo. Da análise à Tabela 3-6 é de salientar que para certas velocidades base o INIR apresenta valores inferiores aos do DNER. Esta diferença de valores pode residir no facto que a Norma Portuguesa impõe como condicionante as condições atmosféricas desfavoráveis, já a Norma Brasileira estabelece os tipos de pavimentos como condicionante.

▪ **Raios Mínimos Absolutos**

Os raios mínimos absolutos são expressos em função da velocidade base e da sobrelevação, devendo ser aplicados somente em situações excepcionais, garantindo os níveis de conforto e segurança.

Segundo a Norma Portuguesa, o coeficiente de atrito entre os pneus e um pavimento com gelo é cerca de 0,1, o que significa que nestas condições, um veículo parado ou que se desloque lentamente, tem tendência a deslizar para o centro da curva quando a sobrelevação for na ordem dos 10 %.

Já a Norma Brasileira, considera que o valor do coeficiente de atrito varia em intervalos de 0,50 para 30 km/h a 0,35 para 95 km/h, no caso da presença de um pavimento rígido. Para pavimentos flexíveis e semi-rígidos estes valores são inferiores.

▪ **Raios Mínimos Normais**

Os raios mínimos normais têm como objetivo assegurar uma circulação em melhores condições de segurança e conforto, do que os proporcionados pelos raios mínimos absolutos.

Segundo a Norma do INIR, o raio mínimo Normal é expresso pela seguinte equação 3.10:

$$R_N \geq \frac{V_b^2}{3,6^2 \times (0,11 \times g)} \tag{3.10}$$

Em que,

R_N – Raio mínimo Normal (m);

V_b – Velocidade base (km/h);

g – Aceleração da gravidade (m/s^2).

A Norma do DNER não contempla estes raios mínimos, pelo que serão comparados apenas os valores dos raios mínimo absolutos de ambas as Normas.

Ao aplicar a equação 3.9, com os determinados valores de sobrelevação (ver 3.5.1) e o coeficiente de atrito transversal, obtêm-se os valores mínimos para o raio das curvas circulares (Tabela 3-7).

Tabela 3-7 Raios mínimos absolutos curvas circulares (INIR, 2010 e DNER, 1999)

Velocidade base (km/h)	R_{min} – Norma Portuguesa (m)	R_{min} – Norma Brasileira (m)
40	55	50
50	85	90
60	130	130
70	180	175
80	240	240
90	320	305
100	420	395
110	560	500
120	700	630

Observando a Tabela 3-7, pode concluir-se que na Norma Brasileira os valores mínimos do raio das curvas em planta são inferiores quando comparados com os valores definidos na Norma Portuguesa. Isto deve-se ao facto de que em Portugal e em vários países europeus o valor de sobrelevação é limitado a 7 %, já no Brasil este valor pode atingir os 12 %.

Verifica-se que a diferença entre os valores dos raios mínimos das curvas circulares é cerca de 10 %. Este facto deve-se às diferentes percentagens máximas de sobrelevação em ambos os países, o que também tem como consequência o valor do coeficiente de atrito lateral. Como a Norma Portuguesa limita mais a sobrelevação do que a Norma Brasileira, irá exigir naturalmente valores de raios mínimos mais elevados.

3.3.3 CURVAS DE TRANSIÇÃO

A curva de transição proporciona a variação gradual do raio de curvatura entre o alinhamento reto e a curva circular. A sua implementação na diretriz do traçado permite uma variação uniforme da aceleração centrífuga, assegura um maior nível de segurança e comodidade permitindo, ainda, os disfarces adequados da sobrelevação e sobrelargura, de maneira a fornecer aos condutores uma comodidade ótica que torna possível a percepção antecipada do traçado.

Existem diferentes tipos de curvas de transição, sendo que aquela que é utilizada nas Normas do INIR e DNER é a clotóide. Este tipo de curva de transição permite um acréscimo linear da curvatura ao longo do seu desenvolvimento, assegurando uma variação gradual da aceleração centrífuga.

O INIR permite a dispensa destas curvas quando o raio da curva circular é superior ou igual a 2 500 m em estradas de 1 x 2 vias, ou raio igual ou superior a 5 000 m em estradas de 2 x 2 vias.

O DNER não faz distinção quanto ao número de vias contempladas na plataforma, mas sim ao valor da velocidade base considerada. O valor do raio mínimo é expresso pela seguinte equação 3.11:

$$R \geq 0,193 \times V_b^2 \quad (3.11)$$

Onde,

R – Raio mínimo (m);

V_b – Velocidade base (km/h).

Com o intuito de se poder fazer uma comparação quanto à dispensa das curvas de transição em Portugal e no Brasil, considerou-se que em Portugal para estradas de 1 x 2 vias a velocidade não excede os 90 km/h, já as estradas com 2 x 2 vias as velocidades praticadas são superiores a 90 km/h.

A Tabela 3-8 relaciona a dispensa das curvas de transição com a velocidade base, para a Norma Portuguesa e para a Norma Brasileira.

Tabela 3-8 Dispensa das curvas de transição (adaptado INIR, 2010 e DNER, 1999)

Velocidade base (km/h)	R_{min} sem sobrelevação – Norma Portuguesa (m)	R_{min} sem sobrelevação – Norma Brasileira (m)
40	≥ 2 500	300
50		500
60		700
70		950
80		1 200
90		1 550
100	≥ 5 000	1 900
110		2 300
120		2 800

A Norma Brasileira apresenta valores inferiores aos da Norma Portuguesa, sendo que os limites máximos, tanto para os 90 km/h como para valores superiores, variam cerca de 40 %.

O dimensionamento das clotóides tem de obedecer a algumas condições e critérios impostos para que os seus objetivos sejam cumpridos com sucesso. Estas implicações variam consoante o país em questão, Portugal ou Brasil.

Seguidamente irá distinguir-se as condições aplicadas nos dois países.

▪ Portugal

A equação que define a clotóide (equação 3.12), pelo INIR, tem como elementos o raio da curva circular, a extensão da clotóide e o parâmetro da clotóide.

$$A^2 = R \times L \quad (3.12)$$

Onde,

A – Parâmetro da clotóide (m);

R – Raio da curva circular (m);

L – Extensão da clotóide (m).

A Norma Portuguesa apresenta 5 condições para a aplicação das curvas de transição em clotóide, que serão enumerados de seguida.

A primeira condição refere-se à comodidade da variação da aceleração centrífuga, e é apresentada pela seguinte equação 3.13:

$$A \geq 0,1464 \times \sqrt{\frac{V_b^3}{a_c}} \quad (3.13)$$

Onde:

A – Parâmetro da clotóide (m);

V_b – Velocidade base (km/h);

a_c – Variação da aceleração centrífuga (m/s^3). Este valor não deverá exceder os $0,5 m/s^3$, por motivos de segurança e comodidade.

A segunda condição remete para o disfarce da sobrelevação. Neste ponto existem 2 condicionantes, uma relacionada com a extensão da clotóide (equação 3.14) e outra com o parâmetro da clotóide (equação 3.15). É de salientar que a equação 3.15 resultada da aplicação da equação geral da clotóide (equação 3.12).

$$L \geq L_{fr} \times \frac{Se}{2\Delta i} \quad (3.14)$$

$$A \geq \sqrt{R \times L_{fr} \times \frac{Se}{2\Delta i}} \quad (3.15)$$

Em que:

L – Extensão da clotóide (m);

L_{fr} – Largura da faixa de rodagem (m);

Se – Sobrelevação na curva circular (%);

Δi – Variação da inclinação longitudinal do bordo exterior da faixa de rodagem, relativamente ao eixo (%);

A – Parâmetro da clotóide;

R – Raio da curva circular (m).

A terceira condição estabelece condições para a perceção estética (equação 3.16). Este critério é bastante relevante, devido ao facto das curvas de transição de pequena extensão serem esteticamente desagradáveis, assim sendo impõe-se Normativamente que esta tenha uma extensão tal, que seja percorrida em pelo menos 2 segundos à velocidade base.

$$A = \sqrt{\frac{V_b}{1,8} \times R} \quad (3.16)$$

Onde,

A – Parâmetro da clotóide (m);

R – Raio da curva circular (m);

V – Velocidade base (km/h).

A quarta condição refere-se à para a percepção ótica (equação 5.17). O INIR impõe um ângulo mínimo de deflexão de 3,5 grados, com o intuito de garantir uma boa percepção ótica nas zonas onde o traçado se encontra em curva. Assim, tem-se que:

$$R \geq A \geq \frac{R}{3} \quad (5.17)$$

Onde,

A – Parâmetro da clotóide (m);

R – Raio da curva circular (m).

A última condição refere-se a uma recomendação da Norma quanto à condição desejável. A extensão das duas curvas de transição associadas a uma curva circular deve estar compreendida entre 1 / 2 e 2 / 3 do desenvolvimento total da curva circular. A Tabela 3-9 indica os valores mínimos dos parâmetros das curvas em planta em função da velocidade, para a condição desejável.

Tabela 3-9 Parâmetros mínimos das curvas em planta (adaptado INIR, 2010)

Parâmetro	Velocidade base (km/h)								
	40	50	60	70	80	90	100	110	120
Extensão mínima das curvas de transição (m)	120	150	180	210	240	270	300	330	360
Parâmetro mínimo da clotóide (m)	52	73	96	121	150	183	233	283	333

▪ Brasil

Segundo a Norma do DNER, a equação que define a clotóide (equação 3.18) tem como elementos o raio da curva circular, a extensão da clotóide e uma constante que varia em função da velocidade, da extensão da clotóide ou da sobrelevação máxima atingida na curva circular.

$$B = R \times L \quad (3.18)$$

Onde,

B – Parâmetro da clotóide (m);

R – Raio da curva circular (m);

L – Extensão da clotóide (m).

A Norma Brasileira apresenta 6 condições para a aplicação das curvas de transição em clotóide, que serão enumerados de seguida.

A primeira condição diz respeito à taxa máxima de variação da aceleração centrífuga expressa pela equação 3.19. Este critério não só estabelece a taxa máxima, mas também a extensão mínima (equação 3.20) que a clotóide terá que ter para realizar a transição da sobrelevação.

$$\Delta a_c = -0,009 \times V + 1,5 \quad (3.19)$$

$$L_{min} = \frac{V_b^3}{46,656 \times Se \times R} - \frac{Se \times V_b}{0,367 \times Se} \quad (3.20)$$

Em que:

Δa_c – Taxa de variação da aceleração centrífuga (m/s^3);

V_b – Velocidade base (km/h);

L_{min} – Extensão de transição da sobrelevação (m);

Se – Sobrelevação na curva circular (m/m);

R – Raio da curva circular (m).

A segunda condição estabelece a extensão mínima absoluta de transição da sobrelevação. A Tabela 3-10 indica os valores mínimos que a Norma admite.

Tabela 3-10 Extensões mínimas absolutas da sobrelevação (DNER, 1999)

Velocidade base (km/h)	Extensão mínima para transição da sobrelevação (m)
40	30
50	30
60	30
70	40
80	40
90	50
100	60
110	60
120	70

A terceira condição refere-se à percepção ótica, e impõe que haja um valor mínimo para a extensão da curva de transição (equação 3.21), na zona onde irá ocorrer a variação da sobrelevação. Este valor é condicionado pelo raio da curva circular, sendo que:

$$L_{min} \geq \frac{R}{9} \quad (3.21)$$

Onde,

L_{min} – Extensão mínima de transição (m);

R – Raio da curva circular (m).

A quarta condição destaca os valores máximos admissíveis da rampa de sobrelevação, ou seja, da inclinação longitudinal do bordo exterior da faixa de rodagem em relação ao eixo da estrada. A diferença de inclinações entre o eixo da estrada e a rampa de sobrelevação não deve ultrapassar os valores da Tabela 3-11. Esta limitação garante o conforto e segurança do veículo em torno do eixo de rotação.

Tabela 3-11 Rampas de sobrelevação admissíveis (DNER, 1999)

Velocidade base (km/h)	Rampa de Sobrelevação (%)
40	0,73
50	0,65
60	0,59
70	0,54
80	0,50
90	0,47
≥ 100	0,43

Quando a distância à rampa mais desfavorável e o eixo de rotação for superior à largura da faixa de rodagem, será necessário majorar os valores da Tabela 3-11. Estes valores de majoração são indicados na seguinte Tabela 3-12.

Tabela 3-12 Fatores de majoração (DNER, 1999)

Distância entre o bordo da rodovia e o eixo de rotação	Fator de Majoração	
	Extensão de transição	Rampas de sobrelevação
2 x faixa de rodagem	1,50	1,33
3 x faixa de rodagem	2,00	1,50
4 x faixa de rodagem	2,50	1,60

Para calcular a extensão mínima de transição da sobrelevação através da majoração é necessário aplicar a seguinte equação 3.22:

$$L_{min} = \frac{d + L_{fr}}{2 \times r} \times Se \tag{3.22}$$

Onde:

d – Distância do eixo de rotação ao bordo mais afastado da faixa de rodagem (m);

L_{fr} – Largura da faixa de rodagem (m);

r – Rampa de sobrelevação admissível nas faixas de rodagem simples e eixo de rotação no eixo da rodovia (%);

Se – Sobrelevação na curva circular (%).

O quinto critério estabelece o ângulo central máximo da clotóide (equação 3.23), ou seja, a Norma recomenda a limitação da extensão da clotóide ao valor do raio da curva de concordância.

$$L_{min} = R \quad (3.23)$$

Onde,

L_{min} – Extensão mínima de transição da sobrelevação (m);

R – Raio da curva circular (m).

Por último, a condição do tempo de percurso. O DNER recomenda que o tempo de percurso numa zona de transição seja limitado a 8 segundos. Tendo por base esta condição é estabelecida a equação 3.24 que relaciona a extensão máxima de transição em função da velocidade base.

$$L_{máx} = 2,2 \times V_b \quad (3.24)$$

Onde,

$L_{máx}$ – Extensão máxima de transição da sobrelevação (m);

V_b – Velocidade base (km/h).

Para rodovias da Classe 0, a Norma permite não considerar este último critério.

3.3.4 SÍNTESE DO TRAÇADO EM PLANTA

Após a análise dos parâmetros envolvidos na diretriz de uma infraestrutura rodoviária, ou seja, do Traçado em Planta, a Tabela 3-13 apresenta de uma forma sintetizada o resultado da comparação entre a Norma Portuguesa e a Norma Brasileira.

Tabela 3-13 Síntese dos parâmetros do Traçado em Planta

Velocidade base (km/h)	Alinhamentos Retos				Curvas Circulares		Curvas de Transição	
	INIR		DNER		INIR	DNER	INIR	DNER
	L_{min} (m)	$L_{máx}$ (m)	L_{min} (m)	$L_{máx}$ (m)	R_{min}		R_{min} para dispensa de clotóides	
40	240	800	160	Valor não definido	55	50	≥ 2500	300
50	300	1 000	200		85	90		500
60	360	1 200	240		130	130		700
70	420	1 400	280		180	175		950
80	480	1 600	320		240	240		1 200
90	540	1 800	360		320	305	1 550	
100	600	2 000	400		420	395	≥ 5000	1 900
110	660	2 200	440		560	500		2 300
120	720	2 400	480		700	630		2 800

No que diz respeito aos alinhamentos retos, a Norma Portuguesa apresenta valores para a extensão mínima destes elementos cerca de 2 / 3 superiores aos propostos pela Norma Brasileira. Para a extensão máxima, o DNER não impõe um limite.

Visto que, os alinhamentos com pequenas extensões dificultam as ultrapassagens e os movimentos uniformes, e que alinhamentos extensos provocam a monotonia, o encadeamento noturno e a difícil análise de distâncias e velocidades de outros veículos que circulam na estrada, pode-se concluir que a Norma do INIR estabelece limites mais seguros e cómodos para os utilizadores que circulam na estrada.

Quanto às curvas circulares, a Norma Portuguesa contempla os 2 tipos de raios, mínimo absoluto e mínimo Normal, já a Norma Brasileira estabelece apenas limite para os raios mínimos absolutos.

Comparando os raios mínimos absolutos de ambas as Normas, verifica-se que estes diferem em cerca de 10 %, ou seja, a Norma Portuguesa apresenta maiores valores do que a Norma Brasileira, para a mesma velocidade. Esta diferença deve-se ao facto dos coeficientes de atrito e do valor máximo de sobrelevação, ou seja, o INIR impõe limites mais conservativos do que o DNER.

Para ser possível realizar uma comparação, no que se refere à dispensa de curvas de transição, para estradas de 1 x 2 vias, atribuiu-se uma velocidade inferior a 90 km/h, já para as estradas com 2 x 2 vias a velocidade foi considerada superior a 90 km/h, no caso da Norma Portuguesa. Deste modo, pode verificar-se que a Norma do INIR apresenta valores superiores para os raios das curvas onde é possível a dispensa das curvas de transição, o que torna esta Norma mais conservativa do que a Norma do DNER.

No que diz respeito às condições que as clotóides têm que cumprir, a Norma Portuguesa apresenta 5 condições – variação da aceleração centrífuga, disfarce de sobrelevação, percepção estética, percepção óptica e condição desejável, e a Norma Brasileira define 6 condições - variação da aceleração centrífuga, extensão mínima para a sobrelevação, percepção óptica, rampa de sobrelevação, extensão mínima da clotóide e extensão máxima da clotóide devido ao tempo de percurso.

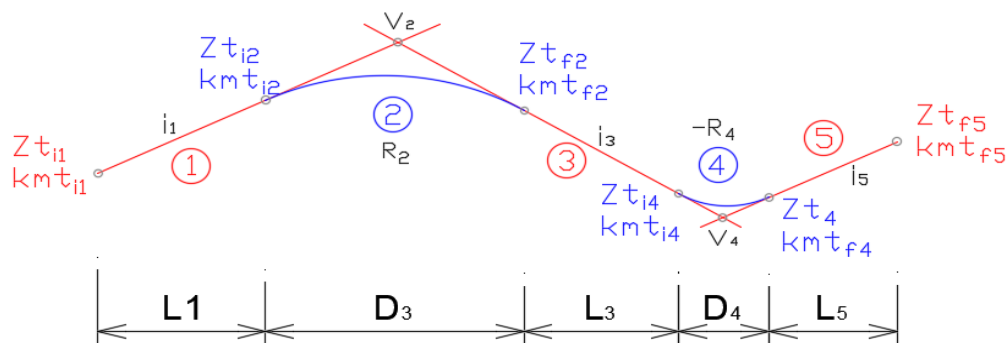
Conclui-se, assim, que ambas as Normas estabelecem limites e condições que melhor se adequam às características do seu país.

3.4 TRAÇADO EM PERFIL LONGITUDINAL

A definição altimétrica de uma infraestrutura rodoviária é concretizada a partir de uma linha contínua localizada ao longo da respetiva plataforma, a qual se designa por rasante e corresponde ao perfil longitudinal de cálculo da via.

O perfil longitudinal é constituído por trainéis, que são elementos retos ascendentes (quando apresentam uma inclinação positiva) ou descendentes (quando apresentam uma inclinação negativa), e por concordâncias verticais, que se subdividem em curvas côncavas (de raio negativo) ou convexas (de raio positivo).

A Figura 3.5 representa, de uma forma esquemática, os diferentes elementos geométricos existentes na rasante.



Zt_i – Cota de início do trainel ou curva vertical	V – Vértice (ponto de interseção dos trainéis)
Zt_f – Cota de fim do trainel ou curva vertical	D – Desenvolvimento da concordância vertical
$km\ t_i$ – Quilómetro de início do trainel ou curva vertical	R – Raio da curva vertical
$km\ t_f$ – Quilómetro de fim do trainel ou curva vertical	L – Extensão do trainel
i – Inclinação do trainel	

Figura 3.5 Elementos geométricos da rasante

Na definição da rasante devem ser tidos em conta vários aspetos, designadamente: orografia da região, traçado em planta, assegurando a sua compatibilidade com o perfil longitudinal, distâncias de visibilidade, drenagem (pontos baixos da rasante), integração no meio ambiente, entre outros.

No traçado em perfil longitudinal os parâmetros a seguir discriminados são os que serão abordados neste subcapítulo:

- Inclinações máximas e mínimas dos trainéis;
- Extensão crítica dos trainéis;
- Raios mínimos das curvas verticais e respetivos desenvolvimentos.

3.4.1 TRAINÉIS

Os trainéis são os elementos mais simples da rasante, onde a inclinação longitudinal é constante. No caso de ser positiva, é designada por *rampa*, e, caso seja negativa, é designada por *declive*.

No que diz respeito a este elemento, ambas as Normas, Portuguesa e Brasileira, estabelecem uma inclinação mínima, com o intuito de assegurar uma drenagem satisfatória das águas pluviais. Em Portugal esse valor é de 0,5 %, já no Brasil este valor decresce para os 0,3 %.

A inclinação máxima estabelecida pela Norma Portuguesa varia consoante a velocidade de projeto, sendo os valores definidos apresentados na Tabela 3-14.

Tabela 3-14 Inclinação máxima dos trainéis - Norma Portuguesa (adaptado INIR,2010)

Velocidade de Tráfego (km/h)	$i_{máxima\ desejável}$ (%) – Norma Portuguesa
40	8
60	7
80	6
100	5
120	4 *

*em autoestradas a inclinação máxima deverá ser 3%

Os trainéis com inclinação máxima referida na Tabela 3-14 não devem ter uma extensão superior a 3 000 m, devido à redução da velocidade dos veículos, sobretudo dos veículos pesados, o que resulta numa diminuição do nível de serviço e aumento dos custos de operação da via.

A Norma Brasileira estabelece limites máximos para a inclinação dos trainéis em função da classe de projeto e do relevo do terreno.

Na Tabela 3-15 pode observar-se os diferentes valores considerados.

Tabela 3-15 Inclinação máxima dos trainéis - Norma Brasileira (DNER, 1999)

Classe de Projeto	Relevo		
	Plano (%)	Ondulado (%)	Montanhoso (%)
0	3	4	5
I	3	4,5	6
II	3	5	7
III	4	6	8

Na Classe de projeto 0 as velocidades praticadas na via são mais elevadas do que para a Classe IV, o que reflete valores mais baixos de inclinação para velocidades superiores.

Em ambas as Normas, as inclinações máximas admissíveis são mais baixas quando a velocidade é mais elevada, e aumentam quando as velocidades praticadas diminuem. Pode-se verificar através das Tabela 3-14 e Tabela 3-15 que a diferença mais notável encontra-se para valores de velocidade de 120 km/h, visto que a Norma Portuguesa condiciona a inclinação a

4 % e a Norma Brasileira estabelece 5 % na presença de um relevo montanhoso. Para relevos planos e ondulados, a Norma do DNER é mais conservativa do que a Norma do INIR.

A extensão máxima delimitada pela Norma Portuguesa é de 3 000m, ao passo que a extensão crítica dos trainéis está limitada em função da respetiva inclinação, sendo os valores apresentados na Tabela 3-16.

Tabela 3-16 Extensão crítica dos trainéis (INIR, 2010)

$i_{do\ trainel}$ (%)	Extensão Crítica (m)
3	420
4	300
5	230
6	180
7	150
8	120

Segundo a Norma Portuguesa, quando a extensão crítica dos trainéis é excedida, em princípio, deverá ser considerada uma via adicional para veículos lentos, porque estes veículos têm uma redução significativa da velocidade de circulação.

A Norma Brasileira não define qualquer limitação para estas inclinações.

3.4.2 CURVAS VERTICAIS

As curvas verticais são elementos da rasante, que permitem realizar a concordância entre dois trainéis de diferentes inclinações (i_1 e i_2). Estas curvas são parábolas de 2.º grau, cuja tangente inicial e final são trainéis com uma determinada inclinação.

Para conhecer a equação que permite o cálculo do desenvolvimento da curva vertical (equação 3.25), tem-se que:

$$Z_x = Z_{t_{i1}} + i_1 \times x - \frac{x^2}{2 \times R} \quad (3.25)$$

Onde,

Z_x – Cota da rasante (m);

$Z_{t_{i1}}$ – Cota de início do trainel (m);

i_1 – Inclinação no ponto de tangencia inicial (%);

x – Distância medida ao longo do eixo entre o ponto de tangência inicial e a cota da rasante (m);

R – Raio mínimo da concordância vertical (m).

Quando x toma o valor do desenvolvimento da concordância, a inclinação utilizada na equação anterior passa a ser i_2 , ou seja, a inclinação do ponto de tangencia final. Derivando a equação da parábola de 2º grau em ordem a x , obtêm-se a seguinte equação 3.26:

$$\frac{dy}{dx} = i_1 - \frac{x}{R} \Leftrightarrow i_2 = i_1 - \frac{D}{R} \Leftrightarrow D = R \times (i_1 - i_2) \quad (3.26)$$

Desta equação 3.26, resulta a fórmula de cálculo do desenvolvimento de uma curva vertical, onde ambas as Normas apresentam semelhanças quanto à equação utilizada (equação 3.27 e equação 3.28).

$$\text{Norma Portuguesa: } D = R (i_1 - i_2) \quad (3.27)$$

$$\text{Norma Brasileira: } D = (k \times 100) \times (i_1 - i_2) \quad (3.28)$$

Onde,

D – Desenvolvimento da curva vertical (m);

R – Raio da curva vertical (m);

i_1 e i_2 – Inclinação das tangentes inicial e final (%);

k – Comprimento da curva no plano horizontal (m).

Os valores mínimos do desenvolvimento de uma concordância vertical no caso de Portugal (equação 3.29) e no caso do Brasil (equação 3.30) obtêm-se através das seguintes equações:

$$\text{Norma Portuguesa: } D_{min} \geq R_{min} (i_1 - i_2) \quad (3.29)$$

$$\text{Norma Brasileira: } D_{min} \geq \frac{v^2}{1296 \times a_c} \quad (3.30)$$

▪ **Curvas Convexas**

As curvas convexas apresentam um critério de dimensionamento que limita o seu raio e o respetivo desenvolvimento devido à necessidade de assegurar uma distância de visibilidade adequada, de forma a garantir a segurança na circulação da estrada.

Segundo as Normas, deverá considerar-se 2 hipóteses quanto à distância de visibilidade, pois pode ser menor ou maior do que a extensão da concordância. Se a distância de visibilidade de paragem for superior à extensão da concordância, só terá interesse a verificação da distância de visibilidade de ultrapassagem.

Através das distâncias de visibilidade de paragem a Norma Portuguesa e a Norma Brasileira asseguram valores mínimos para o raio das curvas convexas.

A Norma Portuguesa estabelece apenas uma equação 3.31 para o valor mínimo do raio das curvas convexas. Ao aplicar a distância de visibilidade de ultrapassagem na equação, isto irá fazer com que se gerem valores mínimos significativamente superiores para os raios. Assim, só serão considerados estes raios em casos muito particulares onde se pretenda possibilitar a ultrapassagem.

$$R_{min} = \frac{Dp^2}{2 \times (\sqrt{h_1} + \sqrt{h_2})^2} \tag{3.31}$$

Onde,

Dp – Distância de visibilidade de paragem (m);

h_1 – Altura a que os olhos do condutor se encontram relativamente ao plano da estrada. (A Norma considera-se 1,05 m);

h_2 – Altura a que um obstáculo se encontra relativamente ao plano da estrada. O INIR considera 0,15 m para os raios mínimos Normais, ou 0,60 m para os raios mínimos absolutos.

Aplicando o valor obtido da equação 3.31 à equação 3.27, determina-se o valor mínimo para o desenvolvimento da concordância vertical.

No Brasil, os valores mínimos dos raios são condicionados pelo comprimento mínimo da concordância vertical e a distância de visibilidade. Quando o comprimento mínimo da curva é igual ou superior à distância de visibilidade a equação a ser aplicada é a equação 3.32, caso contrário utiliza-se a equação 3.33.

$$R_{min} = \frac{Dp^2}{412} \times 100 \quad D_{min} \geq Dp \quad (3.32)$$

$$R_{min} = \left(\frac{2 \times Dp}{(i_1 - i_2)} - \frac{412}{(i_1 - i_2)^2} \right) \times 100 \quad D_{min} < Dp \quad (3.33)$$

Onde,

Dp – Distância de visibilidade de paragem (m);

$i_1 - i_2$ – Diferença algébrica das inclinações dos trainéis (%);

D_{min} – Desenvolvimento mínimo da concordância vertical (m).

Em síntese, a Tabela 3-17 apresenta os esses valores dos raios mínimos absolutos e desenvolvimentos mínimos das curvas convexas em função da velocidade, tanto para a Norma Portuguesa como para a Norma Brasileira.

Tabela 3-17 Desenvolvimento e raios mínimos das curvas convexas (adaptado de INIR, 2010 e DNER, 1999)

Velocidade (km/h)	Norma Portuguesa		Norma Brasileira	
	Raio mínimo absoluto (m)	Desenvolvimento Mínimo (m)	Raio mínimo absoluto (m)	Desenvolvimento Mínimo (m)
40	1 500	40	500	24
50	1 500	50	900	30
60	2 000	60	1 400	36
70	3 000	70	2 000	42
80	5 000	80	2 900	48
90	7 500	90	4 100	54
100	9 000	100	5 800	60
110	12 000	110	7 900	66
120	14 000	120	10 200	72

A Norma Portuguesa apresenta valores mais elevados de raios mínimos, uma vez que estes raios têm a finalidade de assegurar o conforto óptico dos condutores. Já a Norma Brasileira opta por valores que cumpram as visibilidades mínimas de paragem, o que não implica restrições tão elevados para as curvas verticais.

▪ **Curvas Côncavas**

As curvas côncavas são introduzidas no traçado com o intuito de assegurar a visibilidade noturna e a comodidade na circulação da via.

Para assegurar a segurança na circulação numa concordância deste tipo há que estabelecer limites mínimos para o raio e para o desenvolvimento destas concordâncias. Relativamente a estes critérios as Normas Portuguesa e Brasileira destacam duas equações, que em comum envolvem a distância de visibilidade de paragem e o desenvolvimento da concordância.

Para velocidade de tráfego mais elevadas (superiores ou iguais a 80 km/h), o INIR coloca como condicionante a comodidade na circulação, impondo que a aceleração vertical não ultrapasse os $0,25 \text{ m/s}^2$ (equação 3.34). Para velocidades de tráfego inferiores a 80 km/h, a condicionante será a visibilidade noturna, tendo em consideração o desenvolvimento da concordância vertical e a distância de visibilidade noturna (equação 3.35).

Os valores mínimos para o raio das curvas côncavas podem ser calculados através das seguintes equações:

$$R_{min} = \frac{V_t^2}{3,6^2 \times a_v} \qquad V_t \geq 80 \text{ km/h} \qquad (3.34)$$

$$R_{min} = \frac{Dp^2}{1,5 + (0,035 \times Dn)} \qquad V_t < 80 \text{ km/h} \qquad (3.35)$$

Onde,

V_t – Velocidade de tráfego (km/h);

a_v – Aceleração vertical (m/s^2);

Dp – Distância de visibilidade de paragem (m);

Dn – Distância de visibilidade noturna (m).

Aplicando o valor obtido da equação 3.34 ou 3.35, dependendo da velocidade de tráfego, à equação 3.27, obtém-se o valor mínimo para o desenvolvimento da concordância vertical.

A Norma Brasileira difere da Portuguesa em termos de limitações. Enquanto que o INIR estabelece o critério em função da velocidade, o DNER define como uma limitação na segurança o desenvolvimento da curva côncava.

Consoante o desenvolvimento mínimo da concordância vertical seja maior ou menor que a distância de visibilidade, a equação para obter o valor mínimo do raio da curva difere (equações 3.34 e 3.35), sendo que:

$$R_{min} = \frac{Dp^2}{122 + (3,5 \times Dp)} \times 100 \quad D_{min} \geq Dp \quad (3.34)$$

$$R_{min} = \left[\frac{2 \times Dp}{(i_1 - i_2)} - \frac{(200 \times 0,61) + (0,0175 \times Dp)}{(i_1 - i_2)^2} \right] \times 100 \quad D_{min} < Dp \quad (3.35)$$

Onde,

Dp – Distância de visibilidade de paragem (m);

$(i_1 - i_2)$ – Diferença algébrica das inclinações dos trainéis (%);

D_{min} – Desenvolvimento mínimo da concordância (m).

Para comparar os valores mínimos dos raios e respetivos desenvolvimentos das curvas côncavas, é apresentada a Tabela 3-18.

Tabela 3-18 Desenvolvimento e raios mínimos das curvas côncavas (adaptado de INIR, 2010 e DNER, 1999)

Velocidade (km/h)	Norma Portuguesa		Norma Brasileira	
	Raio mínimo absoluto (m)	Desenvolvimento Mínimo (m)	Raio mínimo absoluto (m)	Desenvolvimento Mínimo (m)
40	800	60	700	24
50	1 200	60	1 100	30
60	1 600	120	1 500	36
70	2 500	120	1 900	42
80	3 500	120	2 400	48
90	4 500	120	2 900	54
100	5 500	120	3 600	60
110	6 000	120	4 300	66
120	7 000	120	5 000	72

Para assegurar que os faróis do veículo iluminam a uma distância superior à distância de visibilidade de paragem, a Norma Portuguesa opta por raios mínimos mais extensos. No caso da Norma Brasileira o conceito de comparação dos valores mínimos dos raios das curvas côncavas é idêntico ao das curvas convexas, pelo que apresenta valores inferiores.

3.4.3 SÍNTESE DO TRAÇADO EM PERFIL LONGITUDINAL

A Tabela 3-19 pretende fazer uma síntese da comparação dos parâmetros que envolvem o traçado em perfil longitudinal.

Tabela 3-19 Síntese dos parâmetros do Traçado em Perfil Longitudinal

	INIR			DNER	
Trainéis	<i>Inclinação Máxima Desejável</i>				
	Em função da velocidade				
	<i>Extensão crítica</i>				
	Varia consoante a inclinação do trainel			Não é definida	
Curvas Verticais	Curvas Convexas				
	Velocidade (km/h)	Raio Mínimo Absoluto (m)	Desenvolvimento Mínimo (m)	Raio Mínimo Absoluto (m)	Desenvolvimento Mínimo (m)
	40	1 500	40	500	24
	50	1 500	50	900	30
	60	2 000	60	1 400	36
	70	3 000	70	2 000	42
	80	5 000	80	2 900	48
	90	7 500	90	4 100	54
	100	9 000	100	5 800	60
	110	12 000	110	7 900	66
	120	14 000	120	10 200	72
	Curvas Côncavas				
	Velocidade (km/h)	Raio Mínimo Absoluto (m)	Desenvolvimento Mínimo (m)	Raio Mínimo Absoluto (m)	Desenvolvimento Mínimo (m)
	40	800	60	700	24
	50	1 200	60	1 100	30
	60	1 600	120	1 500	36
	70	2 500	120	1 900	42
	80	3 500	120	2 400	48
	90	4 500	120	2 900	54
100	5 500	120	3 600	60	
110	6 000	120	4 300	66	
120	7 000	120	5 000	72	

No que diz respeito aos trainéis, a inclinação máxima desejável, em ambas as Normas, depende da velocidade. O INIR apresenta valores em função da velocidade de tráfego, enquanto que o DNER apresenta valores em função das classes de projeto, onde estão implícitas as velocidades base que as limitam.

Por outro lado, a Norma Portuguesa define uma extensão crítica em função da inclinação do próprio trainel, já a Norma Brasileira não faz qualquer referência a este valor.

A Norma do INIR apresenta valores de raios mínimos absolutos e desenvolvimentos mínimos das curvas convexas na ordem dos 50 % superiores aos da Norma do DNER. Esta diferença tão grande advém do facto de que em Portugal os raios das curvas convexas têm a finalidade de assegurar o conforto óptico dos condutores, enquanto que a Norma Brasileira dá preferência às visibilidades mínimas de paragem, o que implica menos restrições para as concordâncias.

Para as curvas côncavas, a diferença entre os valores mínimos dos raios absolutos e desenvolvimentos das concordâncias não é tão elevada como nas curvas convexas, cerca de 10 %. A Norma Portuguesa opta por raios mínimos mais extensos, já a Norma Brasileira apresenta valores inferiores devido mais uma vez à preferência das visibilidades mínimas de paragem.

3.5 PERFIL TRANSVERSAL TIPO

Independentemente da definição do traçado em planta, e do perfil longitudinal torna-se necessário caracterizar o perfil transversal tipo da estrada, quanto à faixa de rodagem com 2 ou mais vias de circulação, separador e bermas.

Neste sentido, devem ser considerados os seguintes parâmetros:

- Valores dos raios associados à sobrelargura e dispensa da mesma;
- Valores máximos e mínimos da inclinação transversal e dispensa de sobrelevação;
- Largura e número das vias de circulação;
- Largura máxima e mínima das bermas esquerda e direita;
- Sobrelevação;
- Sobrelargura.

Por questões económicas deve-se estudar a necessidade de utilização de sobrelargura e de bermas pavimentadas.

Em seguida, dar-se-á ênfase a 2 grandes constituintes de um perfil transversal tipo, a faixa de rodagem e as bermas.

3.5.1 FAIXA DE RODAGEM

A faixa de rodagem é a zona da plataforma, destinada à circulação de veículos. É aqui que se define a expressão do pavimento, a inclinação transversal mínima e a aplicação da sobrelargura e sobrelevação.

- **Larguras das Vias**

Segundo a Norma Portuguesa, em estradas nacionais de 2 vias, estas deverão ter largura mínima de 3,5 m mesmo para volumes de tráfego moderados. Nestas mesmas estradas, quando a velocidade base é inferior a 80 km/h e o volume horário de projeto é inferior a 300 veículos pode adotar-se vias com largura de 3,0 m. Em estradas classificadas como Itinerários Principais e Itinerários Complementares e com características de via expresso, para assegurar que o cruzamento de veículos pesados seja efetuado adequadamente, as vias devem ter 3,75 m. Em estradas com dupla faixa de rodagem a largura das vias deve ser de 3,75 m para velocidade base igual ou superior a 100 km/h e de 3,50 m para velocidade base inferior a 100 km/h.

A Norma Brasileira impõe que a largura das vias seja em função da classe de projeto e relevo do terreno (Tabela 3-20). Como explicado anteriormente, a classe de projeto é limitada por um patamar que começa em 0, onde se encontram as estradas equivalentes às autoestradas, e vai até à Classe IV, que são as vias municipais.

Tabela 3-20 Largura da via, em metros (DNER, 1999)

Classe de Projeto	Relevo		
	Plano	Ondulado	Montanhoso
0	3,60	3,60	3,60
I	3,60	3,60	3,50
II	3,60	3,50	3,30
III	3,50	3,30	3,30

Embora o critério de implementação da largura da via não seja o mesmo para os dois países, os valores não são muito díspares, sendo que variam entre os 2,50 m e os 3,75 m.

▪ Sobrelevação

A sobrelevação, como já foi referido anteriormente, contribui para a comodidade e segurança da circulação na curva circular, pois contraria parte da aceleração centrífuga a que um veículo está sujeito e auxilia na perceção das curvas.

A Norma Portuguesa considera que a sobrelevação é dada em função da velocidade compatível com o raio da curva. No entanto, é necessário garantir que a inclinação máxima da plataforma não seja superior a 10 %, devido ao deslizamento que ocorre na presença de gelo no pavimento. Nestes casos, torna-se necessário diminuir a inclinação do tranel, ou modificar o traçado em planta.

Na Tabela 3-21 são apresentados os valores a adotar para a sobrelevação em função do raio da curva.

Tabela 3-21 Sobrelevação em curva - Norma Portuguesa (INIR, 2010)

Estradas de faixa única, com dois sentidos		Estradas com dupla faixa de rodagem	
Raio (m)	Sobrelevação (%)	Raio (m)	Sobrelevação (%)
<500	7,0	<1 100	7,0
525	6,5	1 100	6,5
600	6,0	1 300	6,0
700	5,5	1 500	5,5
850	5,0	1 750	5,0
1 000	4,5	2 000	4,5
1 200	4,0	2 250	4,0
1 400	3,5	2 600	3,5
1 600	3,0	3 000	3,0
$1\ 900 \leq R \leq 2\ 500$	2,5	$3\ 500 \leq R \leq 5\ 000$	2,5
$\geq 2\ 500$	-	$\geq 5\ 000$	-

Segundo a Norma, as curvas em que a incomodidade, devida à aceleração centrífuga, não corresponda a níveis que obriguem o condutor a reduzir instintivamente a velocidade, não necessitam de sobrelevação.

A Norma Brasileira define valores de sobrelevação que são condicionados pelos seguintes fatores:

- Grande possibilidade de fluxo de tráfego a operar na via, a velocidade abaixo da velocidade do traçado em planta, devido à passagem de veículos pesados em condições de grandes inclinações ascendentes, interseções e congestionamento;
- Velocidade e classe de projeto;
- Comprimento de transição da sobrelevação;
- Razões económicas.

A consideração conjunta das condicionantes acima referidas, leva aos seguintes valores recomendados para a sobrelevação (Tabela 3-22).

Tabela 3-22 Sobrelevação em curva - Norma Brasileira (adaptado DNER, 1999)

Sobrelevação (%)	Zonas de aplicação
12,0	Melhoria e correção de situações perigosas existentes sem alteração dos raios em planta.
10,0	Estradas de elevado padrão, onde as condições topográficas geométricas e de atrito lateral, e os volumes de tráfego favoreçam elevadas velocidades e fluxo de tráfego interrompido.
8,0	Estradas de padrão intermédio ou de elevado padrão sujeitas a fatores que reduzam a velocidade média.
6,0	Em projetos condicionados por urbanização adjacente e interseções.
4,0	Em situações extremas, com intensa ocupação do solo adjacente e reduzida flexibilidade para variar os declives transversais da via.

Segundo a Norma Brasileira, para uma dada velocidade base, existe um valor de raio para o qual a aceleração centrífuga é tão pequena que pode ser desprezada. A Tabela 3-23 indica para que valores de raios é dispensada a sobrelevação, em função da velocidade base.

Tabela 3-23 Valores de raios para dispensa da sobrelevação (DNER, 1999)

Velocidade base (km/h)	Raio (m)
30	450
40	800
50	1 250
60	1 800

Velocidade base <i>(km/h)</i>	Raio <i>(m)</i>
70	2 450
80	3 200
90	4 050
≥100	5 000

▪ **Sobrelargura**

A sobrelargura é adoptada em curvas em planta de pequeno raio, de forma a possibilitar a inscrição do veículo na trajetória, cuja rigidez torna necessária uma largura adicional na via de circulação. Na via de circulação, este aumento de largura depende não só do raio da curva, mas também da distância entre eixos e do comprimento do veículo, tornando-se mais significativo em veículos longos, principalmente quando articulados ou com reboque.

A sobrelargura introduz-se no intradorso da curva e considera-se que, em estradas com 2 vias, cujo raio é igual ou inferior a 200 m, é dada pela seguinte equação 3.37:

$$SL = \frac{80}{R} \quad (3.37)$$

Onde,

SL – Sobrelargura (*m*);

R – Raio da curva circular (*m*).

Pela Norma Brasileira, para estradas com 2 vias cujo raio é igual ou inferior a 450 m, é dada pela equação 3.38:

$$SL = L_T - L_B \quad (3.38)$$

Onde,

SL – Sobrelargura (*m*);

L_T – Largura total em curva da via (*m*);

L_B – Largura da faixa de rodagem (estabelecida a partir de conceitos de segurança e conforto) (*m*).

A largura total em curva é obtida através da largura estática do veículo em curva (equação 3.39), da largura requerido pelo percurso da parte dianteira do veículo em curva

(equação 3.40), da folga dinâmica (equação 3.41) e pela largura lateral do veículo em movimento (Tabela 3-24).

$$G_c = L_V + \frac{X^2}{2 \times R} \quad (3.39)$$

Em que,

G_c – Largura estática do veículo em curva (m);

L_V – Largura do veículo (m);

X – Distância entre eixos do veículo (m);

R – Raio da curva circular (m).

$$G_{BD} = \sqrt{R^2 + BD + (2 \times X + BD)} - R \quad (3.40)$$

Em que,

D_{BD} – Largura requerido pelo percurso da parte dianteira do veículo em curva (m);

BD – Largura da dianteira do veículo (m);

X – Distância entre eixos do veículo (m);

R – Raio da curva circular (m).

$$FD = \frac{V_b}{10 \times \sqrt{R}} \quad (3.41)$$

Em que,

FD – Folga dinâmica (m);

V_b – Velocidade base (km/h);

R – Raio da curva circular (m).

A Tabela 3-24 indica os valores da largura lateral do veículo em movimento, em função da largura da faixa de rodagem.

Tabela 3-24 Valor de G_L em função da largura da faixa de rodagem (DNER, 1999)

L_B (m)	G_L (m)
6,00 / 6,40	0,60
6,60 / 6,80	0,75
7,00 / 7,20	0,90

Assim, a largura total em curva da via é obtida através da seguinte equação 3.42:

$$L_T = [2 \times (G_C + G_L) + G_{BD}] + FD \quad (3.42)$$

Onde,

L_T – Largura total em curva da via (m);

G_C – Largura lateral do veículo em movimento (m);

G_L – Largura estática do veículo em curva (m);

D_{BD} – Largura requerido pelo percurso da parte dianteira do veículo em curva (m);

FD – Folga dinâmica (m).

3.5.2 BERMAS

As bermas permitem a circulação de veículos de socorro, servem de refúgio para os veículos avariados e asseguram o suporte lateral do pavimento da faixa de rodagem. Permitem o aumento da capacidade de tráfego da estrada e podem evitar acidentes ou atenuar a sua gravidade. Com o intuito da segurança na circulação é necessária a distinção das bermas da faixa de rodagem, de forma aos veículos não circularem nas bermas como se de vias de tráfego se tratassem.

Na Tabela 3-25 são indicados os valores da largura das bermas pavimentadas em função do tipo de estrada e velocidade implementadas em Portugal.

Tabela 3-25 Largura das bermas pavimentadas (INIR, 2010)

Tipo de Estrada	Velocidade de Tráfego (km/h)	Largura das Vias (m)	Bermas Pavimentadas	
			Esquerda (m)	Direita (m)
Dupla Faixa de Rodagem	≥ 100	3,75	1,00	3,00
	< 100	3,50	1,00	3,00
Faixa Única	Via Expresso	≥ 80		2,50
	EN	≥ 80		2,50
	ER	< 80		1,50

A Norma Brasileira diferencia a largura da berma direita em função da classe de projeto e tipo de relevo onde será implementada a infraestrutura, enquanto que a largura da berma esquerda é dada em função do número de vias. Nas Tabela 3-26 e

Tabela 3-27 é possível observar essas diferenças.

Tabela 3-26 Largura da berma direita (DNER, 1999)

Classe de Projeto	Relevo		
	Plano	Ondulado	Montanhoso
0	3,50	3,00	3,00
I	3,00	2,50	2,50
II	2,50	2,50	2,00
III	2,50	2,00	1,50

Tabela 3-27 Largura da berma esquerda (DNER, 1999)

Número de Vias	Relevo		
	Plano	Ondulado	Montanhoso
2	1,20 – 0,60	1,00 – 0,60	0,60 – 0,50
3	3,00 – 2,50	2,50 – 2,00	2,50 – 2,00
≥4	3,00	3,00 – 2,50	3,00 – 2,50

3.5.3 SÍNTESE DO PERFIL TRANSVERSAL TIPO

No que diz respeito à largura da faixa de rodagem, a Norma portuguesa atribui valores em função da velocidade de tráfego, volume horário de projeto e tipo de via, já a Norma Brasileira caracteriza esta largura em função das classes de projeto e da topografia do terreno natural.

A sobrelevação, pela Norma do INIR é estabelecida em função do raio das curvas circulares e do tipo de via – 1 x 2 vias ou 2 x 2 vias. A Norma do DNER atribui valores à sobrelevação através do tipo de zonas de aplicação. O que torna muito difícil obter um termo de comparação entre Normas.

Para estabelecer uma comparação em termos de dispensa da sobrelevação, tal como se referiu na dispensa de curvas de transição, o critério utilizado foi o mesmo.

As Normas do INIR e do DNER apresentam valores muito diferentes para velocidades até aos 90 km/h, ou seja, o DNER apresenta para cada velocidade um valor de raio onde é permitido a dispensa de sobrelevação, o INIR apresenta um único valor – 2 500 m. Para velocidades superiores a 90 km/h ambas as Normas estabelecem um patamar de 5 000 m, para o valor do raio que dispensa a sobrelevação.

A sobrelargura é um parâmetro que difere muito da Norma Portuguesa para a Norma Brasileira. O INIR condiciona o valor da sobrelargura através do raio da curva circular, já o DNER caracteriza-a através da largura total em curva da via e a largura da faixa de rodagem. Não existe um termo de comparação entre as duas Normas no que diz respeito às sobrelarguras.

As bermas também são elementos onde as Normas não se conseguem relacionar. Em Portugal são estabelecidos valores de acordo com o tipo de via, velocidade de tráfego, largura das vias e se as bermas são pavimentadas ou não. Já no Brasil isto não acontece, a caracterização da largura das bermas está afeta apenas à classe de projeto (velocidade base) e ao tipo de topografia do terreno natural.

No que diz respeito ao perfil transversal tipo, pode concluir-se que existem muitas diferenças entre as Normas Portuguesas e as Normas Brasileiras. Verificando-se, mesmo que há situações em que é de todo impossível obter um termo de comparação.

4 O CASO DE ESTUDO: RODOVIA BR-381 / MINAS GERAIS

O estudo e análise elaborados no capítulo anterior do presente documento, foram fundamentais para a aplicação e desenvolvimento do caso de estudo, realizado ao longo do período de estágio na empresa SENER-ENGIVIA.

O projeto intitulado de “Duplicação, melhoramento e ampliação da capacidade e segurança da Rodovia BR-381 / Minas Gerais”, no Brasil, refere-se ao projeto de execução, promovido pelo Departamento Nacional de Infraestruturas de Transportes – DNIT, e é a base do Caso de Estudo apresentado. Embora este projeto possa ser considerado bastante complexo e com diferentes áreas de intervenção, o estudo incidirá apenas na geometria de traçado.

A Rodovia BR-381 / MG é uma das principais obras de infraestruturas rodoviárias do Brasil e a sua conclusão afeta diretamente mais de 20 municípios a nível económico, social e ambiental. Para a economia de Minas Gerais e do Brasil, a duplicação desta estrada é uma obra indispensável, pois irá contribuir para as produções locais e para o estabelecimento de novas indústrias, impulsionando o desenvolvimento da região. Para além destes aspetos, é ainda uma estrada que garante a ligação entre as rodovias do Sudeste e do Nordeste do país, sendo um eixo de união com outros parques industriais.

O presente capítulo divide-se em 4 itens principais, que pretendem dar a conhecer a infraestrutura em estudo e a sua importância para a região, o projeto desenvolvido, bem como apresentar uma solução alternativa de traçado, influenciada pela Norma de Traçado Portuguesa, em 2 trechos selecionados.

4.1 ENQUADRAMENTO GEOGRÁFICO E HISTÓRICO

O Estado de Minas Gerais localiza-se no Sudeste do Brasil (Figura 4.1), e corresponde à quarta maior área territorial do país e à segunda com maior número de habitantes. Atualmente, este estado apresenta a maior rede rodoviária do Brasil, o equivalente a 16 % de toda a infraestrutura existente no país, perfazendo um total de 269 546 km de estradas. É uma região montanhosa, onde se localizam as cotas mais elevadas do país, fazendo com que o traçado das suas estradas contemple curvas bastante sinuosas.

Este lote está dividido em 2 segmentos principais, no que se refere às seções transversais tipo:

- Faixas de rodagem contíguas;
- Faixas de rodagem separadas.

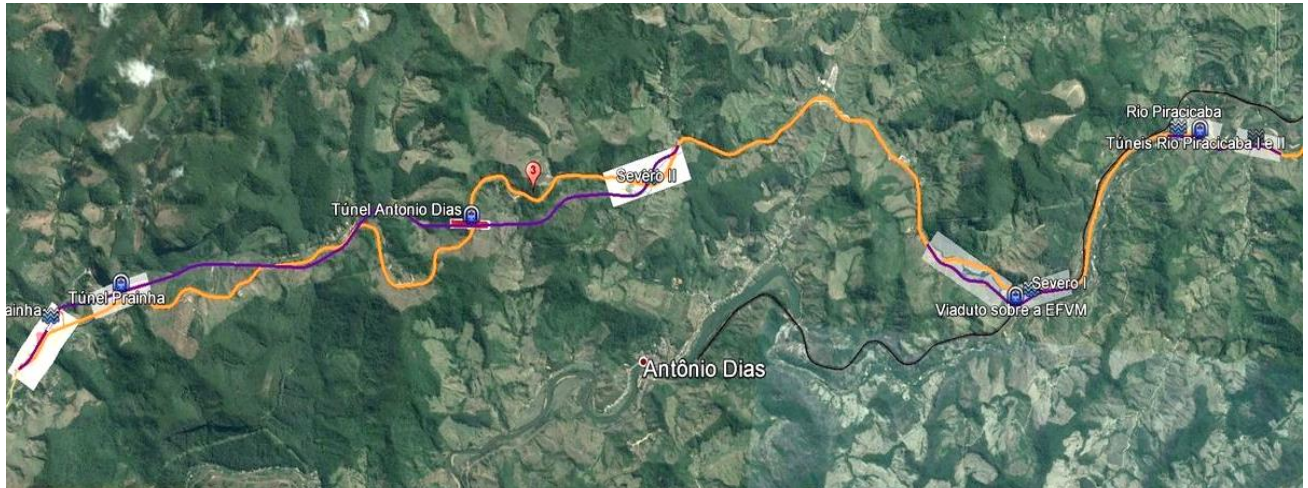


Figura 4.2 Rodovia BR-381 Lote 3 (SkyscraperCity, 2018)

A história desta rodovia remota aos tempos em que os grupos de conquistadores procuravam as riquezas que o Brasil tinha para oferecer. Foi nesta época que se sentiu a necessidade de construir caminhos que facilitassem o transporte das mercadorias exploradas, bem como assegurassem a ligação entre os estados brasileiros.

Em 1654, Fernão Dias Paes Leme foi o responsável pelo projeto e abertura do troço da estrada que liga Minas Gerais a Espírito Santo, que atualmente tem o nome popular de Rodovia Fernão Dias. (Sul de Minas, 2018)

Passados três séculos, em 1959, o presidente Juscelino Kubitschek inaugurou o troço que liga Belo Horizonte a Pouso Alegre.

Por volta da década de 1990, o pavimento da Rodovia Fernão Dias, era alvo de reclamações constantes por parte dos condutores devido à enorme quantidade de fissuras, falta de bermas, e apresentava um alto índice de acidentes rodoviários. Naquela época, a rodovia chegou a ser considerada a segunda mais perigosa do Brasil. O troço mais degradado situava-se nos 100 km entre Três Corações e Perdões, com faltava sinalização, bermas e mau estado do pavimento.

Com a assinatura, em 1993, de um convénio entre os governadores de Minas Gerais, Hélio Garcia, e de São Paulo, Luiz Antônio Fleury, junto ao presidente Itamar Franco, esta

situação alterou-se, pois estava prevista a duplicação de 564 km da Rodovia, entre Belo Horizonte e São Paulo.

No entanto, a obra foi interrompida por várias vezes durante a década de 1990. Embora inúmeros troços foram inaugurados entre 2002 e 2003, a obra só ficou completamente terminada em 2005. (Sul de Minas, 2018)

A Figura 4.3 apresenta um resumo dos principais marcos históricos da BR - 381 / MG, desde o início da sua construção até à atualidade.



Figura 4.3 Cronologia da Rodovia BR-381 (Sul de Minas, 2018)

4.2 PRINCIPAIS CONDICIONANTES

O Lote 3 da Rodovia BR - 381 desenvolve-se em meio rural, onde são identificadas diversas condicionantes, nomeadamente a acidentada orografia da região e algumas infraestruturas já construídas no local. Alguns troços rodoviários acresce ainda o facto de estarem inseridos em meios urbanos, o que pode comprometer suas funções e características da rodovia. Deste modo, cada troço rodoviário tem as suas peculiaridades em relação às características operacionais, geométricas, socioeconómicas, ambiente atravessado, entre outras.

No que se refere à orografia do terreno, esta caracteriza-se por vertentes muito acentuadas e vales profundos, contando com o atravessamento de 5 rios – Ribeirão Oncinha, Piracicaba, Ribeirão Severo I, Ribeirão Severo II e Ribeirão Prainha. A definição de um

traçado homogéneo e seguro, só foi possível com a implementação 4 túneis, de modo a vencer as diferenças de cotas da região.

As ligações à rede viária existente constituem também uma forte condicionante, procurando manter-se o acesso às cidades de António Dias e Jaguaráçu, através de variantes. Por outro lado, também, entre o km 7+246,000 e o km 7+302,600, a existência de uma linha de caminho de ferro, condicionou as cotas do viaduto previsto.

Dado se tratar de um projeto, onde alguns troços coincidem com a estrada existente, fazendo apenas melhoramentos, este facto constituiu um outro tipo de condicionamento, o que implicou em alguns casos o não cumprimento das Normas de Traçado do DNER. Verifica-se, assim, a existência de parâmetros geométricos com valores inferiores aos mínimos e superiores aos máximos podendo comprometer o conforto e a economia da infraestrutura rodoviária. No próximo subcapítulo serão abordadas estas situações.

4.3 CARACTERIZAÇÃO DO PROJETO

A BR-381 é uma das estradas mais perigosas do Brasil, com níveis de sinistralidade elevados, facto esse que motivou à necessidade de melhorar as suas características, de modo a torná-la numa estrada mais segura e cómoda para os seus utilizadores. Por outro lado, os crescentes valores de tráfego fazem com que a estrada esteja a ficar sem capacidade.

O projeto geométrico contemplou o alargamento e duplicação da estrada existente, incluindo correções na planimetria e na altimetria, melhorias e a conceção de uma nova faixa de rodagem independente, para uma velocidade base de 80 km/h.

Nos próximos subcapítulos irá ser apresentado o projeto de traçado geométrico, nomeadamente a planta, o perfil longitudinal e o perfil transversal tipo.

4.3.1 TRAÇADO EM PLANTA

O novo projeto da Rodovia BR - 381 / MG foi desenvolvido tendo em conta o Manual de Projeto Geométrico de Rodovias Rurais, do DNER datado de 1999 embora, em face das várias condicionantes referidas anteriormente, nem sempre foi possível cumprir todos os requisitos impostos.

Apresenta-se seguidamente a caracterização dos vários troços do projeto de execução de geometria de traçado, que constituem o Lote 3 da BR-381, desenvolvidos para uma velocidade base de 80 km/h, com exceção das variações nas seções transversais em função da inserção de retornos, paragem de autocarros, zonas de refúgios e das vias de aceleração e desaceleração.

▪ Troço I - km 0+000 a km 2+400

Neste troço as faixas de rodagem apresentam-se contíguas (2 x 2 vias), separadas por 2 barreiras rígidas do tipo *New Jersey* centrais com 0,40 m de largura cada. Os trabalhos previstos para além do melhoramento geral da via são as correções dos raios das curvas circulares, implantação de um retorno operacional duplo em “U”, do tipo “A” (ver Anexo C) entre o km 0+240 e o km 0+820, e a implantação de uma primeira variante entre os km 1+500 e o km 2+240. Na Figura 4.4 representa um extrato da planta do troço em referência, onde se pode observar o retorno operacional e a variante mencionada.

Esta alteração no traçado teve como objetivo melhorar a geometria no segmento crítico, indutor de acidentes, e também à necessidade da implantação de uma interseção de acesso à localidade de Brejaúba.

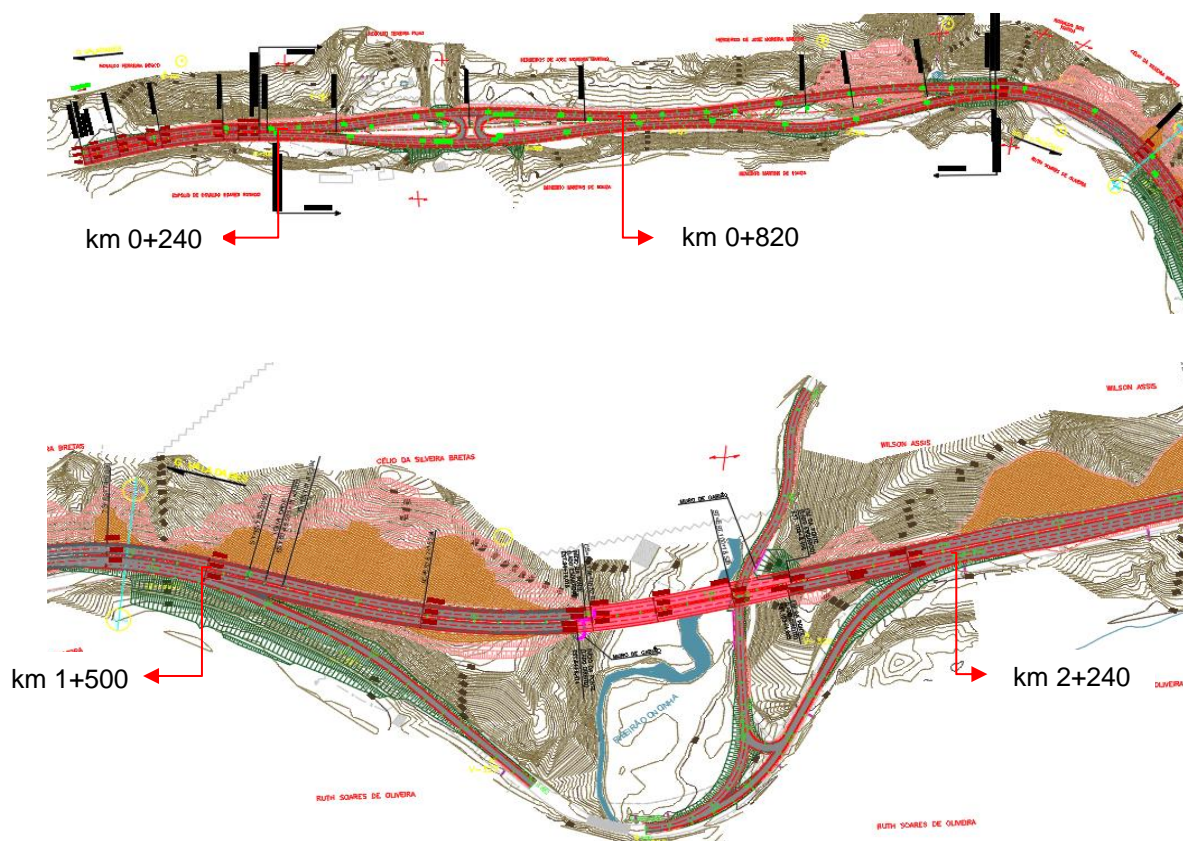


Figura 4.4 Extrato da planta do Troço I (SENER-ENGIVIA, 2018)

Este troço é constituído por 6 alinhamentos retos, onde 4 deles não respeitam a extensão mínima imposta pela Norma do DNER. O facto de a duplicação acompanhar o traçado da estrada existente, limita os cumprimentos dos alinhamentos retos.

Quanto ao número de curvas, o traçado é composto por 2 curvas circulares, acompanhadas por curvas de transição, e por 3 curvas circulares simples. Embora estas últimas curvas apresentem raios que deveriam estar associadas a curvas de transição, não foram projetadas devido às velocidades praticadas serem menores, pois localizam-se na zona de retorno e da divergência de uma variante.

No Anexo A, nos desenhos BR381_PE_PPL_001 e BR381_PE_PPL_002 é possível observar com maior detalhe este troço situado entre o km 0+000 e o km 2+400 da Rodovia BR - 381 / MG.

▪ **Troço II – km 2+400 ao km 3+680**

Entre o km 2+400 e o km 3+680, as faixas de rodagem encontram-se separadas fisicamente, contemplando a implantação de uma segunda variante na totalidade da extensão do troço. Esta variante incluiu a implementação de 2 túneis e 2 pontes sobre o rio Piracicaba. A alteração de traçado teve como objetivo eliminar a forte sinuosidade da estrada existente, com curvas de raios muito pequenos. A Figura 4.5 representa um extrato da planta do troço em referência.

Salienta-se que a partir do km 2+662 até ao km 8+522 (faixa de rodagem esquerda) e do km 2+590 até ao km 8+840 (faixa de rodagem direita), foi projetada uma seção restrita em que as bermas direitas de 2,50 m foram substituídos por bermas mais pequenas com uma largura de 0,60 m.

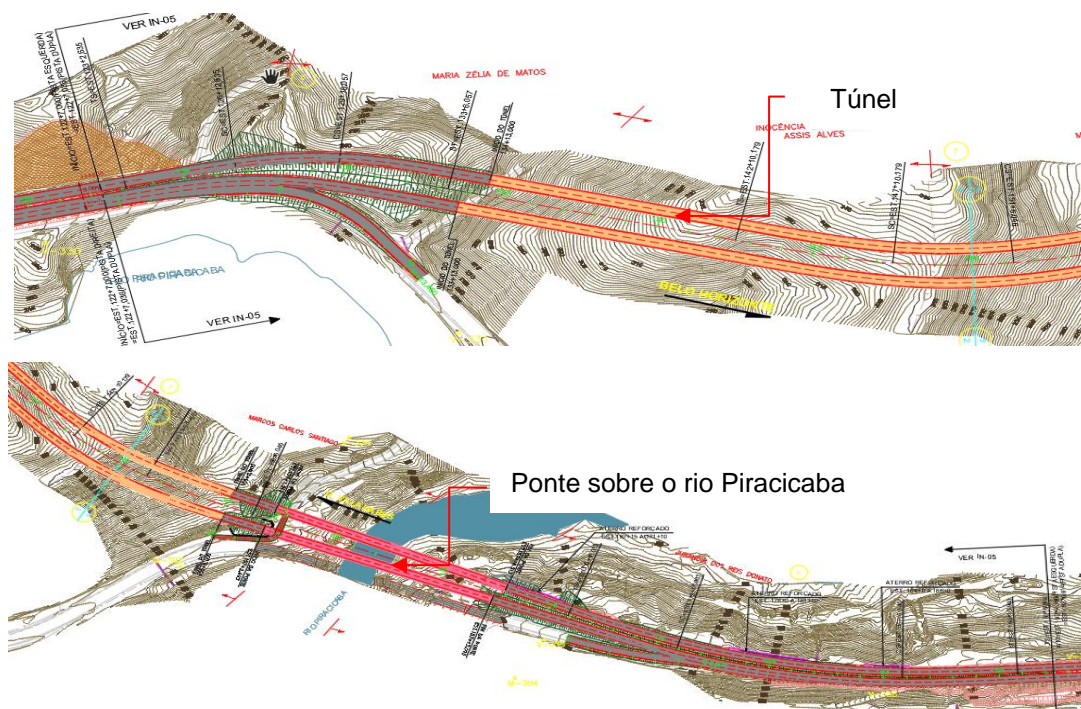


Figura 4.5 Extrato da planta do Troço II (SENER-ENGIVIA, 2018)

Com o intuito de corrigir as curvas existentes, foram introduzidas 9 curvas circulares que cumprem os parâmetros mínimos da Norma, o que obrigou a que os alinhamentos retos diminuíssem a sua extensão para valores inferiores aos mínimos. Quanto às clotóides implementadas, estas cumprem as extensões mínimas exigidas.

No Anexo A, nos desenhos BR381_PE_PPL_003 a BR381_PE_PPL_005 é possível observar com maior detalhe o troço situado entre o km 3+680 e o km 6+360 da Rodovia BR - 381 / MG.

▪ **Troço IV – km 6+360 ao km 8+840**

Neste troço as faixas de rodagem apresentam-se contíguas, separadas por 2 barreiras rígidas do tipo *New Jersey* centrais com 0,40 m de largura cada. A seção é caracterizada na sua totalidade pela terceira variante, localizada à esquerda da estrada existente, de um caminho ferroviário (cruzamento ao km 7+280) e de uma ponte sobre o rio Ribeirão Severo I. Esta variante teve por objetivo a eliminação das curvas horizontais e verticais acentuadas presentes na estrada existente (Figura 4.7).

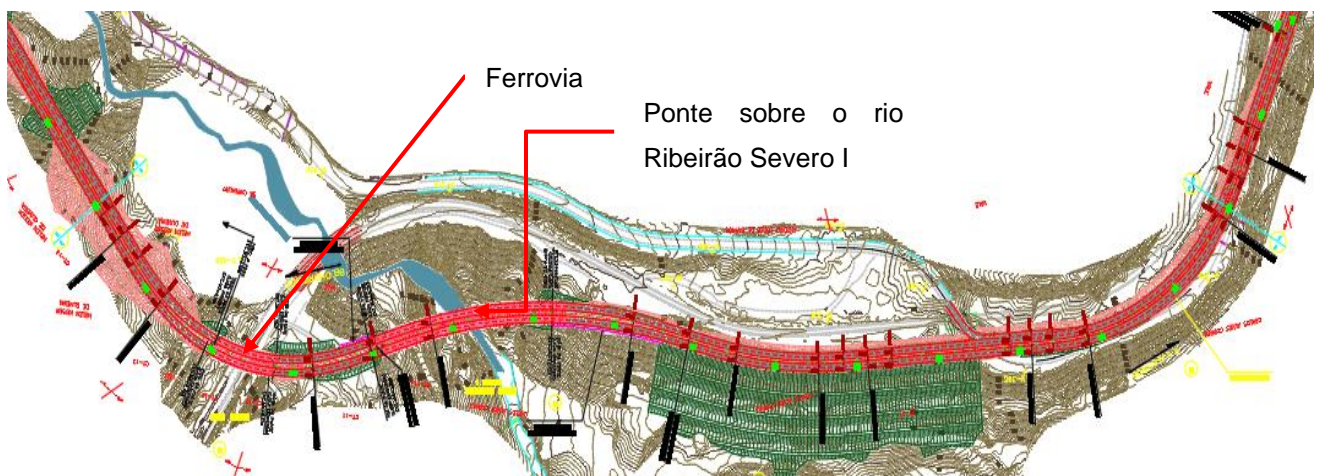


Figura 4.7 Extrato da planta do Troço IV (SENER-ENGIVIA, 2018)

Neste troço existem 6 alinhamentos retos e 7 curvas circulares, com curvas de transição em clotóide. Nem todos os elementos cumprem as extensões exigidas pela Norma, neste âmbito, refere-se também a aproximação a uma povoação, onde as velocidades praticadas diminuem.

No Anexo A, nos desenhos BR381_PE_PPL_005 e BR381_PE_PPL_006, é possível observar com maior detalhe o troço localizado entre o km 6+360 e o km 8+840 da Rodovia BR - 381 / MG.

- **Troço V – km 8+840 ao km 14+541,561**

Os Este troço é o último relativo à duplicação da BR - 381, como ilustra a Figura 4.8. As faixas de rodagem apresentam-se contíguas (2 x 2 vias), separadas por 2 barreiras rígidas do tipo *New Jersey* centrais com 0,40 m de largura cada. As alterações a realizar neste troço contemplam obras de melhoramento e correções dos raios das curvas circulares.



Figura 4.8 Planta do troço V (SENER-ENGIVIA, 2018)

Neste troço 50 % dos elementos geométricos são alinhamentos retos e os outros 50 % são curvas circulares. Verifica-se que existem alinhamentos retos com extensões muito reduzidas, o que se deve ao facto de que as principais alterações se limitarem à correção das curvas circulares, deixando pouco espaço para a implantação dos alinhamentos retos.

O troço final da zona de duplicação da Rodovia BR - 381 / MG encontra-se representado no Anexo A, nos desenhos BR381_PE_PPL_006 a BR381_PE_PPL_010.

A partir do km 14+560 até praticamente ao final da zona de duplicação, será implantado o Binário Prainha, designação dada a 2 faixas de rodagem com traçados independentes.

O tráfego no sentido de Belo Horizonte para Governador Valadares utilizará a rodovia atual (Binário Prainha / Estrada Existente) e o fluxo de Governador Valadares para Belo Horizonte será alocado para a nova pista (Binário Prainha / Estrada Nova).

- **Troço VI – km 14+561,380 ao km 27+831,794 (Binário Prainha / Estrada Existente)**

As faixas de rodagem apresentam-se separadas, com bermas direitas de 2,50 m e bermas esquerdas de 0,60 m de largura. As obras, neste troço de estrada existente,

contemplam melhoramentos e correções dos raios das curvas circulares, considerando-se o raio mínimo de 200 m (melhorias de estradas existentes) de acordo com a Norma do DNER, de modo a maximizar o aproveitamento da estrada atual, incluindo o viaduto e a ponte existentes. O esboço do traçado da estrada existente é apresentado na Figura 4.9.

Salienta-se que entre o km 19+000 e o km 22+480 e entre o km 25+242 e o km 26+760, foram implantadas vias adicionais com 3,00 m de largura e bermas direitas de 0,60 m (substituindo as bermas existentes de 2,50 m), evitando assim a restrição das características operacionais dos veículos.

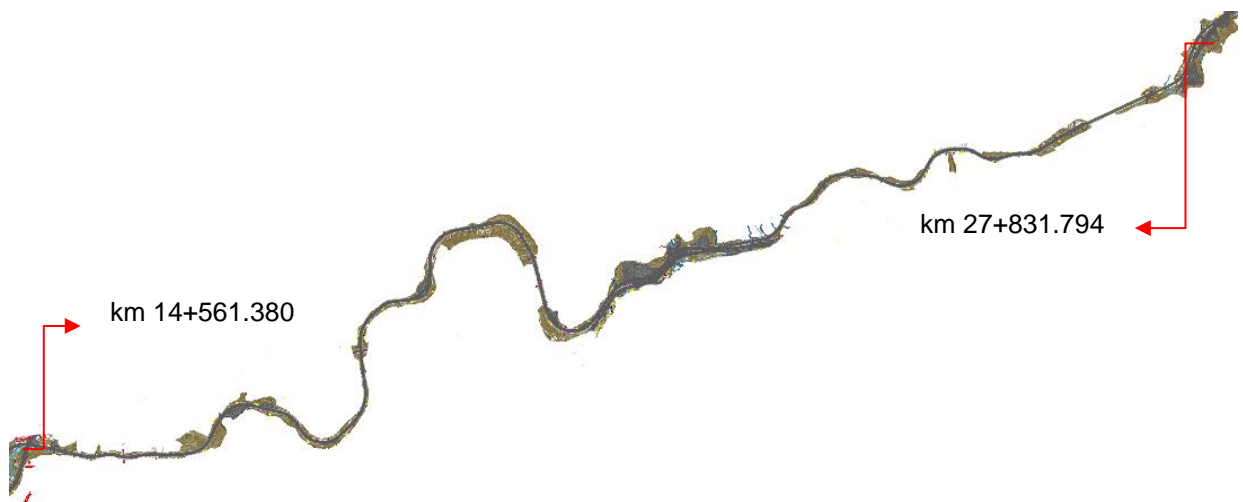


Figura 4.9 Troço VI – Binário Prainha/Estrada Existente (SENER-ENGIVIA, 2018)

No Anexo A, nos desenhos BR381_PE_PPL_020 a BR381_PE_PPL_029, é possível observar com maior detalhe o troço da estrada existente que se irá manter na Rodovia BR - 381 / MG.

- **Troço VI - km 14+561,284 ao km 26+203,829 (Binário Prainha / Estrada Nova)**

As faixas de rodagem apresentam-se separadas, com bermas direitas de 2,50 m e bermas esquerdas de 0,60 m de largura. Neste troço a intervenção corresponde à implantação de raios das curvas circulares adequadas à Classe I da Norma do DNER, considerando o raio mínimo de 240 m. É possível observar o esboço do novo traçado na Figura 4.9.

Quanto à constituição dos elementos geométricos, este troço compreende 49 % de alinhamentos retos e 51 % de curvas circulares. Destes elementos 63 % e 36 %, respetivamente, não cumprem as extensões mínimas impostas pela Norma. Embora seja um traçado novo, estará sempre condicionado pelo traçado da estrada existentes, ou seja, pelas obras de arte e interseções existentes que se pretendem manter.

Cabe destacar que a nova estrada terá a implantação de 2 túneis: o primeiro túnel (António Dias) que passa sobre a estrada existente, localizado entre o km 17+980 e o km 18+503 com 535 m de extensão, e o segundo túnel (Prainha) entre o km 23+663,698 e o km 24+363,471, com 716 m de extensão. A incorporação desses túneis permitiu um ganho significativo nas condições geométricas do traçado, tanto em planimetria como em altimetria, o que resultou numa redução de comprimento da estrada de aproximadamente 1,6 km.

Neste troço foram ainda projetadas 3 interseções localizadas ao km 14+940, km 20+920 e km 25+450.



Figura 4.10 Troço VI – Binário Prainha/Estrada Nova (SENER-ENGIVIA, 2018)

No Anexo A, nos desenhos BR381_PE_PPL_011 a BR381_PE_PPL_019 é possível observar com maior detalhe o troço correspondente à estrada nova da Rodovia BR - 381 / MG.

4.3.2 TRAÇADO EM PERFIL LONGITUDINAL

Analisando as condicionantes e tratando-se de um projeto de melhoramento de uma estrada existente, a inclinação longitudinal constitui sempre um fator preponderante na rasante da rodovia, pelo que se apresenta seguidamente as inclinações utilizadas nos vários troços:

- Troços de duplicação - Inclinações compreendidas entre 6,704 % e 0,350 %;
- Binário Prainha / Estrada Existente - Inclinações compreendidas entre 6,902 % e 0,499 %;

- Binário Prainha / Estrada Nova - Inclinações compreendidas entre 5,156 % e 0,799 %.

Para uma estrada de Classe 0, a inclinação máxima dos trainéis é de 4 %, pelo que se verifica que existem vários troços que não cumprem a Norma.

Para melhor compreender a rasante elaborada no projeto de execução, irá apresentar-se os parâmetros existentes em cada troço.

- **Troço I – km 0+000 e o km 2+400**

No troço compreendido entre o km 0+000 e o km 2+400 a rasante é composta por 8 trainéis, com inclinação mínima de 0,718 % e inclinação máxima de 4,165 %, e 6 curvas verticais.

O traçado teve que ser adaptado à obra de arte existente sobre o rio Ribeirão Oncinha, que se encontra entre o km 1+882.804 e o km 2+078.992.

No Anexo A são apresentadas as peças desenhadas correspondentes a este troço - BR381_PE_PPL_001 e BR381_PE_PPL_002.

- **Troço II - km 2+400 ao km 3+680**

A rasante elaborada entre o km 2+400 e o km 3+680 é composta por 3 trainéis, com inclinação mínima de 2,088 % e inclinação máxima de 5,618 %, e 2 curvas verticais.

No Anexo A é possível observar as peças desenhadas correspondentes a este troço - BR381_PE_PPL_002 e BR381_PE_PPL_003.

- **Troço III – km 3+680 ao km 6+360**

Este troço é composto por 8 trainéis, com inclinação mínima de 0,350 % e inclinação máxima de 4,436 %, e 6 curvas verticais. Embora a extensão e inclinação dos trainéis não corresponda aos mínimos exigidos pela Norma, estes valores são impostos com o intuito de vencer a orografia do terreno natural.

No Anexo A é possível verificar as peças desenhadas correspondentes a este troço - BR381_PE_PPL_003 a BR381_PE_PPL_005.

- **Troço IV – km 6+360 ao km 8+840**

A rasante projetada entre o km 6+360 e o km 8+840 é composta por 4 trainéis, com inclinação mínima de 0,350 % e inclinação máxima de 6,704 %, e 3 curvas verticais. Verifica-

se que a inclinação máxima do trainel existente neste troço ultrapassa o valor limite de 4 % estabelecido pela Norma, devido ao facto de existir uma ponte sobre o rio Ribeirão Severo I a manter, o que obrigou à adoção deste valor.

No Anexo A é possível verificar as peças desenhadas correspondentes a este troço - BR381_PE_PPL_005 e BR381_PE_PPL_006.

- **Troço V – km 8+840 ao km 14+541,561**

No troço compreendido entre o km 8+840 e o km 14+541,561 a rasante projetada apresenta 15 trainéis, com inclinação mínima de 0,800 % e inclinação máxima de 6,024 %, e 17 curvas verticais. Verifica-se que mais uma vez, as inclinações máximas dos trainéis não cumprem a Norma, devido neste caso à orografia do terreno natural, à compatibilização de cotas, nomeadamente na intersecção com o Binário Prainha da Estrada Existente e da Estrada Nova, pela variante para a cidade de António Dias, o que torna necessário conjugar as cotas altimétricas destas 3 condicionantes.

No Anexo A são apresentadas as peças desenhadas correspondentes a este troço - BR381_PE_PPL_006 a BR381_PE_PPL_010.

- **Troço VI - km 14+561.380 ao km 27+831,794 (Binário Prainha / Estrada Existente)**

Este troço corresponde à zona da estrada existente onde as faixas de rodagem são separadas, e é composto por 33 trainéis, com inclinação mínima de 0,500 % e máxima de 6,902 %, e 30 curvas verticais. Em termos de características geométricas, foram mantidas as da estrada existente, pois não irá sofrer correções em termos de inclinações dos trainéis e raios das curvas verticais.

No Anexo A é possível verificar as peças desenhadas correspondentes a este troço - BR381_PE_PPL_020 a BR381_PE_PPL_029.

- **Troço VI - 14+561.284 ao km 26+203,829 (Binário Prainha / Estrada Nova)**

Este último o troço corresponde à construção de uma nova faixa de rodagem independente da faixa de rodagem da estrada existente. A rasante elaborada contempla 16 trainéis, com inclinações mínimas de 0,799 % e máximas de 5,156 %, e 10 curvas verticais. Para vencer a orografia do terreno natural foram implementados 2 túneis e 1 ponte sobre o rio Ribeirão Prainha.

No Anexo A é possível verificar as peças desenhadas correspondentes a este troço - BR381_PE_PPL_011 a BR381_PE_PPL_019.

4.3.3 PERFIL TRANSVERSAL TIPO

Face às características topográficas da região – região ondulada –, foram adotados os parâmetros mais adequados na elaboração do projeto geométrico, no âmbito da largura da faixa de rodagem, inclinação transversal, largura das bermas esquerda e direita e inclinação dos taludes, tendo em conta uma velocidade base de 80 km/h.

Na zona onde serão realizados os trabalhos de alargamento e beneficiação, o perfil transversal tipo (Figura 4.11) a aplicar na estrada, é caracterizado por:

- As faixas de rodagem apresentam 2 vias cada uma, tendo cada via a largura de 3,60 m;
- Inclinação transversal de 3,00 % para o exterior da faixa de rodagem nas zonas em alinhamento reto e sobrelevação máxima de 8,00 % nas zonas em curva;
- Cada faixa de rodagem apresenta berma esquerda com 0,60 m de largura e berma direita com 2,50 m de largura, podendo, em alguns casos, ser reduzida para 0,60 m;
- Valetas no limite da plataforma com largura de 1,00 m;
- O separador central é ladeado por guardas de segurança rígidas, do tipo New Jersey, com 0,40 m de largura.

As zonas que apresentam no seu perfil transversal tipo barreiras rígidas tipo *New Jersey* e bermas direitas de 2,50 m são as seguintes:

- Faixa de rodagem esquerda – km 0+000 a 2+481 e km 8+582 a 14+541,561;
- Faixa de rodagem direita - km 0+000 a 2+163 e km 8+902 a 14+541,561.

Já as zonas que apresentam barreiras rígidas *New Jersey* e bermas direitas de 0,60 m são as seguintes:

- Faixa de rodagem esquerda - km 2+662 a 8+552;
- Faixa de rodagem direita - km 2+590 a 8+840.

Foi projetado um refúgio para veículos, adjacente à via, no km 4+660, tendo sido inserida uma via adicional na faixa de rodagem direita entre os km 7+382 e 8+660. Ocorre ainda uma separação das faixas de rodagem entre os km 2+400 e 3+680.

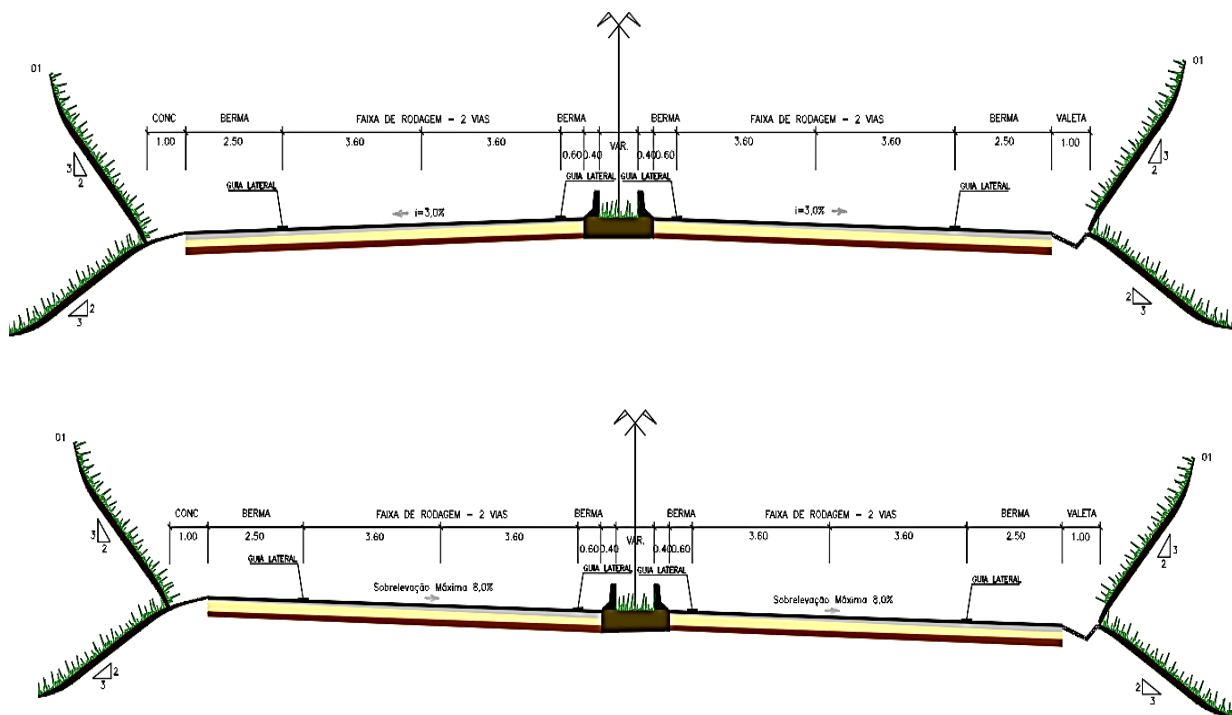


Figura 4.11 Alargamento e Beneficiação (SENER-ENGIVIA, 2018)

No troço correspondente ao Binário Prainha / Estrada Existente serão realizados trabalhos de melhoramento e beneficiação, sendo o perfil transversal tipo (Figura 4.12) caracterizado por:

- Uma faixa de rodagem com 2 vias, cada uma das quais com 3,60 m de largura;
- Sobrelevação máxima de 8,00 %;
- Berma esquerda com 2,50 m e berma direita com 0,60 m de largura;
- Valetas com largura de 1,00 m;
- Inclinação do talude de aterro na razão de 3(H) : 2(V);
- Inclinação do talude de escavação na razão de 2(H) : 3(V);
- Banquetas nas escavações e aterros a cada 10,00 m de altura, com largura de 3,00 m.

Este troço está compreendido entre o km 14+561,380 e o km 27+821,179, apresentando uma extensão total de 13 259,799 m.

Para além do perfil transversal tipo apresentado foram ainda projetadas vias adicionais nos km 19+000 ao km 22+480 e km 25+242 ao km 26+760.

Excecionalmente, no troço da estrada existente do Binário Prainha, entre o km 26+840 e o km 27+100, correspondente à transposição do ribeirão Prainha (ponte atual), a berma direita será reduzida de 2,50 m para 1,40 m, tendo em vista o projeto de adequação da obra de arte.

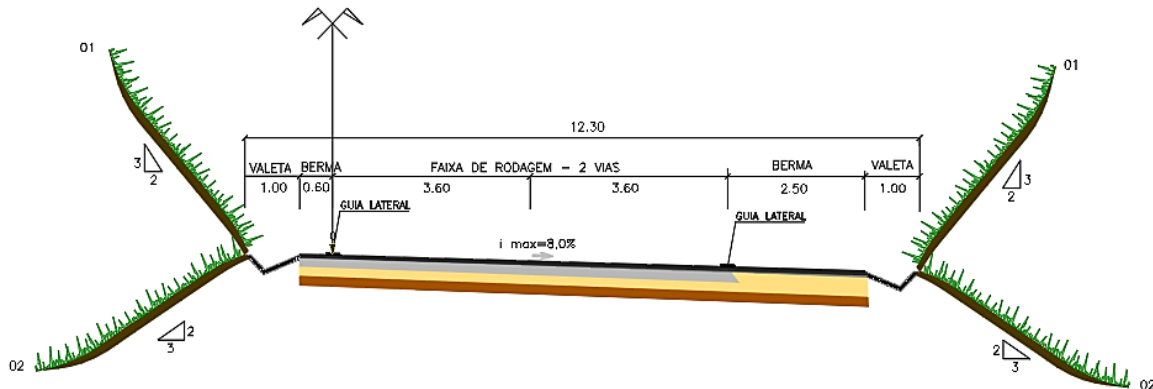


Figura 4.12 Melhoramento e Beneficiação (SENER-ENGIVIA, 2018)

Nos trabalhos de construção da nova faixa de rodagem do Binário Prainha / Estrada Nova, o perfil transversal tipo (Figura 4.13) é caracterizado por:

- Uma faixa de rodagem com 2 vias, cada uma das quais com 3,60 m de largura;
- Sobrelevação máxima de 8,00 %;
- Berma esquerda com 0,60 m e berma direita com 2,50 m de largura;
- Valetas com largura de 1,00 m;
- Inclinação do talude de aterro na razão de 3(H) : 2(V);
- Inclinação do talude de escavação na razão de 2(H) : 3(V);
- Banquetas nas escavações e aterros a cada 10,00 m de altura, com largura de 3,00 m.

Este troço Binário Prainha/Estrada Nova está compreendido entre o km 14+561.284 e o km 26+203.829, numa extensão total de 11 642,545 m.

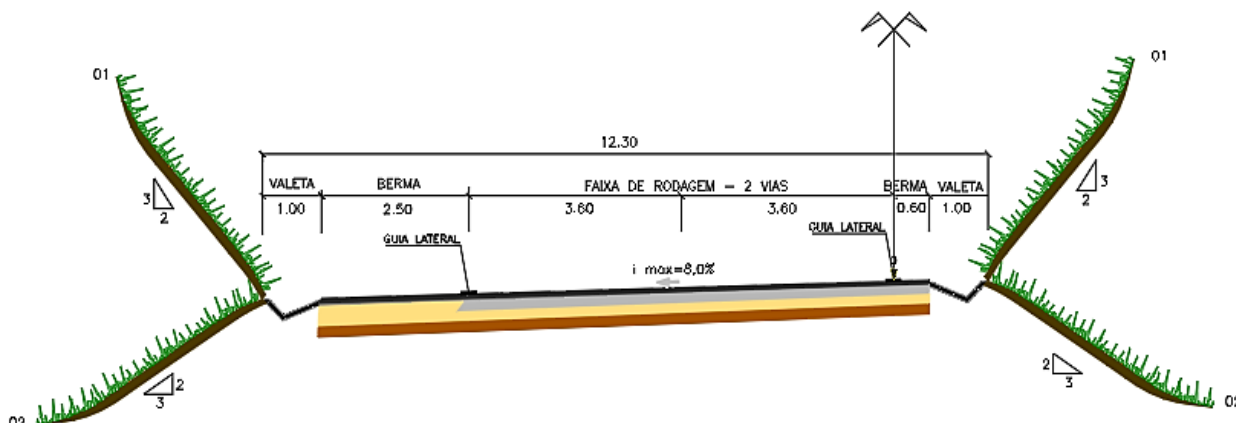


Figura 4.13 Construção de Estrada Nova (SENER-ENGIVIA, 2018)

Ao longo de todo projeto foram detetados problemas de declividades transversais, os quais foram solucionados com a correção das sobrelevações.

Os desenhos dos Perfis Transversais Tipo encontram-se no Anexo A, nas peças desenhadas BR381_PE_PTT_001 a BR381_PE_PTT_007.

4.4 SOLUÇÃO ALTERNATIVA

O presente subcapítulo remete para o estudo da geometria de traçado através da Norma de Traçado Portuguesa, do Projeto de Execução de Duplicação, Melhoramento e Ampliação da capacidade e segurança da Rodovia BR - 381 / Minas Gerais, no Brasil.

No Capítulo 3 foi possível observar que a velocidade a que circulam os veículos, em condições de segurança e comodidade, influencia diretamente os elementos geométricos do traçado. É com base neste parâmetro que se irá proceder à caracterização do traçado, tendo como suporte a Norma Portuguesa.

Para o desenvolvimento do projeto com o intuito de realizar a comparação de Normas de Traçado, apresentam-se como elementos de base o Traçado em Planta, o Traçado em Perfil Longitudinal e os Perfis Transversais Tipo.

Nesse sentido, o projeto desenvolvido incide na adaptação de uma nova diretriz, rasante e perfis transversais tipo. Desta forma, pretende-se estudar a solução mais adequada em termos comparativos, tendo em consideração as condicionantes verificadas no local.

Como foi referido anteriormente, o projeto correspondente ao Lote 3 da BR - 381 (Figura 4.14) é dividido em 3 tipos de obras: obra de duplicação da estrada existente, obra de

melhoramento da estrada existente e construção de uma nova estrada, o que significa, respetivamente, obras em estradas onde irão ocorrer trabalhos de duplicação, obras em que irá ocorrer o alargamento e beneficiação e, por último, obras de construção para uma nova faixa de rodagem.

Para o caso de estudo, será analisado um troço para os seguintes tipos de intervenção:

- Zona de duplicação – entre o km 6+000 e o km 9+000;
- Zona de construção de uma nova faixa de rodagem – entre o km 19+500 e o km 22+500.

Não será realizado o estudo na zona onde se manteve a estrada existente, visto que os trabalhos nela efetuados serão de alargamento e beneficiação. Não serão alteradas as características geométricas do traçado em planta e perfil longitudinal.

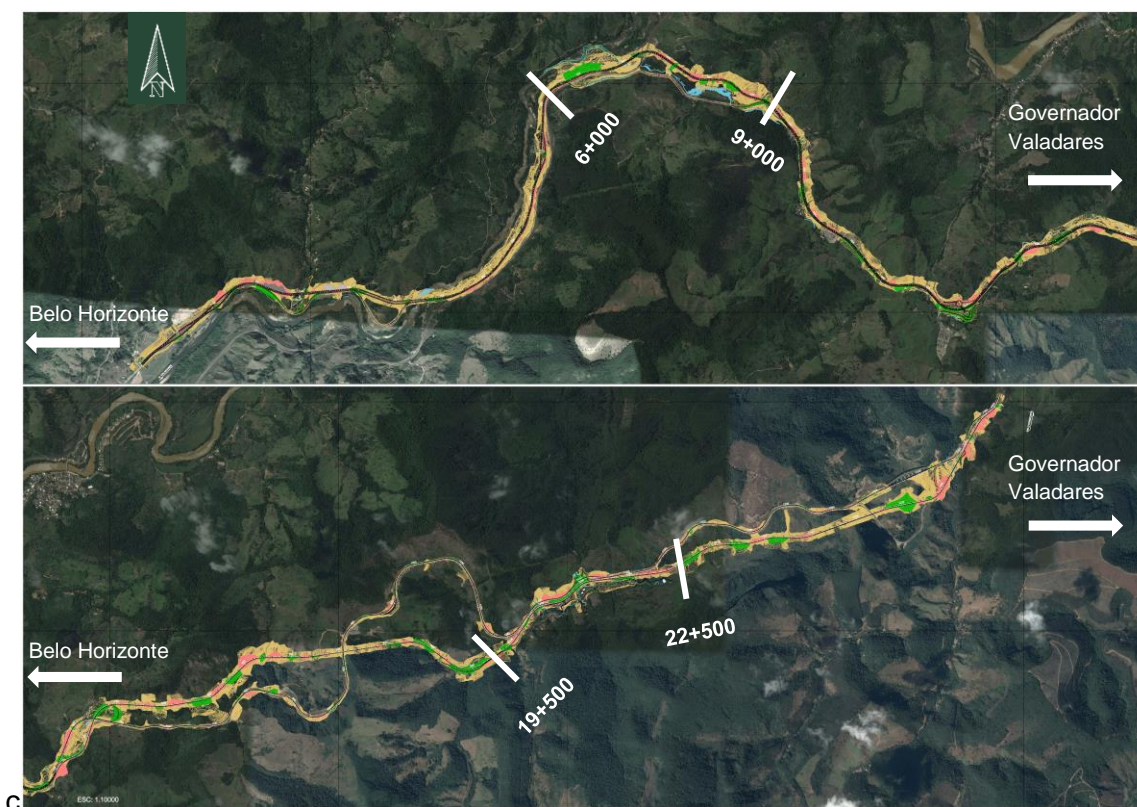


Figura 4.14 Lote 3 da Rodovia BR-381 (adaptado SENER-ENGIVIA, 2018)

4.4.1 ENTRE O KM 6+000 E O KM 9+000

A solução alternativa para a geometria de traçado não acompanha a geometria do projeto de execução, pelo que a quilometragem modificou-se ligeiramente, ou seja, o km 6+000 do projeto de execução corresponderá ao km 5+718,853 e o km 9+000 ao km 8+487,352.

▪ Traçado em Planta

Como referido anteriormente no subcapítulo 3.3.4 existe uma diferença significativa entre a Norma Portuguesa e a Norma Brasileira no âmbito do traçado em planta.

A intervenção realizada envolveu a alteração do número de elementos geométricos no troço em estudo, bem como a sua extensão e zona de aplicação. Na zona de duplicação foram implantadas 2 curvas circulares, com clotóides para uma variação da sobrelevação, e 1 alinhamento reto, que cumprem os parâmetros definidos pela Norma do INIR.

Para uma noção exata dos valores e características dos parâmetros geométricos, é apresentada a Tabela 4-1.

Tabela 4-1 Traçado em Planta – Duplicação na Solução Alternativa

Elemento	Quilómetro		Desenvolvimento (m)	A (m)	Raio (m)
	Início	Fim			
Clotóide	5+186	5+603	416,667	500	-
Curva	5+603	6+080	477,610	-	600,000
Clotóide	6+080	6+497	416,667	500	-
Reta	6+497	7+451	953,935	-	-
Clotóide	7+451	7+789	337,500	450	-
Curva	7+789	8+150	361,000	-	600,000
Clotóide	8+150	8+487	337,500	450	-

Na Tabela 4-2 é possível observar o valor dos parâmetros que envolvem o traçado em planta na zona de duplicação do projeto de execução.

Tabela 4-2 Traçado em Planta – Duplicação no Projeto de Execução

Elemento	Quilómetro		Desenvolvimento (m)	A (m)	Raio (m)
	Início	Fim			
Reta	6+285,918	6+486,819	200,901	-	-
Clotóide	6+486,819	6+546,819	60,000	173,205	-
Curva	6+546,819	6+647,552	100,733	-	500,000

Elemento	Quilómetro		Desenvolvimento (m)	A (m)	Raio (m)
	Início	Fim			
Clotóide	6+647,552	6+707,552	60,000	173,205	-
Clotóide	6+707,552	6+777,552	70,000	204,939	-
Curva	6+777,552	7+026,020	248,468	-	600,000
Clotóide	7+026,020	7+096,020	70,000	204,939	-
Clotóide	7+096,020	7+176,020	80,000	135,647	-
Curva	7+176,020	7+377,713	201,693	-	230,000
Clotóide	7+377,713	7+457,713	80,000	135,647	-
Reta	7+457,713	7+765,941	308,228	-	-
Clotóide	7+765,941	7+835,941	70,000	126,886	-
Curva	7+835,941	7+904,393	68,452	-	230,000
Clotóide	7+904,393	7+974,393	70,000	126,886	-
Reta	7+974,393	8+052,542	78,149	-	-
Clotóide	8+052,542	8+132,542	80,000	141,421	-
Curva	8+132,542	8+238,811	106,269	-	250,000
Clotóide	8+238,811	8+318,811	80,000	141,421	-
Reta	8+318,811	8+330,977	12,166	-	-
Clotóide	8+330,977	8+400,977	70,000	132,288	-
Curva	8+400,977	8+446,727	45,750	-	250,000
Clotóide	8+446,727	8+516,727	70,000	132,288	-
Reta	8+516,727	8+567,590	50,863	-	-
Clotóide	8+567,590	8+637,590	70,000	126,886	-
Curva	8+637,590	8+704,347	66,757	-	230,000
Clotóide	8+704,347	8+774,347	70,000	126,886	-
Reta	8+774,347	9+034,471	260,124	-	-

No que se refere ao projeto de execução, é de notar que existem mais 75 % de alinhamentos retos, 78 % de curvas circulares e 78 % curvas de transição em clotóide do que na solução alternativa, como se pode observar na Tabela 4-3. Esta diferença pode ser explicada pelo facto de a Norma Portuguesa ser mais conservadora nos limites dos seus parâmetros.

Salienta-se também que existem parâmetros no projeto de execução que não cumprem os limites estabelecidos pela Norma do DNER. O não cumprimento deve-se à existência de uma topografia com um relevo acentuado, ao facto de que as interseções que ligam as

povoações não podem ser modificadas e, por último, ao aproveitamento das obras de arte existentes.

Tabela 4-3 Soluções em Planta - Duplicação no Projeto de Execução

		Solução Alternativa	Projeto de Execução
Alinhamentos Retos	Nº Elementos	1	6
	Extensão Máxima	✓ 954,000 m	308,000 m
	Extensão Mínima	-	✗ 12,000 m
Curvas Circulares	Nº Elementos	2	7
	Raio Mínimo	✓ 600,000 m	✗ 230,000 m
	Desenvolvimento Mínimo	361,000 m	46,000 m
Curvas de Transição	Nº Elementos	4	14
	Parâmetro mínimo da Clotóide	✓ 450,000 m	✓ 127,000 m

✓ - Cumpre as Normas

✗ - Não cumpre as Normas

Na definição das diretrizes, para além do cumprimento do estipulado nas Normas, houve a preocupação de definir soluções práticas e objetivas, designadamente a redução ou eliminação de pontos de conflito, o melhoramento da segurança rodoviária e ainda o aumento da capacidade da estrada.

A maior dificuldade encontrada na realização do novo traçado relacionou-se com o enquadramento da Norma Portuguesa no atual traçado. Não tendo sido possível intersectar exatamente a nova diretriz com a diretriz existente, procedeu-se à optimização do traçado, respeitando sempre as condicionantes do local.

▪ Traçado em Perfil Longitudinal

Na definição da nova rasante foram tidos em consideração vários aspetos, designadamente:

- Morfologia do terreno;
- Traçado em planta assegurando a sua compatibilidade com a rasante;
- Integração no meio ambiente;
- Inclinações máximas e mínimas (0,50 %, por questões de drenagem), bem como raios mínimos verticais e correspondentes desenvolvimentos.

A rasante na zona de duplicação é composta por 3 trainéis e 2 curvas de concordância, conforme se pode observar na Tabela 4-4.

Tabela 4-4 Traçado em Perfil Longitudinal – Duplicação na Solução Alternativa

Elemento	Quilómetro		Desenvolvimento (m)	i (%)	Raio (m)
	Início	Fim			
Trainel	5+400,885	5+818,392	418,000	1,6	-
Curva Côncava	5+818,392	6+542,411	724,000	-	18 000,000
Trainel	6+542,411	7+433,657	891,246	5,6	-
Curva Convexa	7+433,657	8+271,424	837,767	-	10 700,000
Trainel	8+271,424	8+727,692	456,268	-2,2	-

Na zona de duplicação do projeto de execução, é possível observar através da Tabela 4-5 que a rasante é composta por 6 trainéis e 6 curvas de concordância.

Tabela 4-5 Traçado em Perfil Longitudinal – Duplicação no Projeto de Execução

Elemento	Quilómetro		Desenvolvimento (m)	i (%)	Raio (m)
	Início	Fim			
Curva Convexa	5+941,198	6+281,198	340,000	-	8 321,700
Trainel	6+281,198	6+500,377	219,000	0,350	-
Curva Côncava	6+500,377	6+750,000	250,000	-	9 434,000
Trainel	6+750,000	6+876,161	126,161	3,000	-
Curva Côncava	6+876,161	7+306,161	430,000	-	11 108,500
Trainel	7+306,161	7+810,190	504,029	6,704	-
Curva Convexa	7+810,190	8+110,190	300,000	-	8 264,100
Trainel	8+110,190	8+365,190	255,000	3,074	-
Curva Convexa	8+365,190	8+565,190	200,000	-	3 629,200
Trainel	8+565,190	8+586,016	20,826	-2,437	-
Curva Côncava	8+586,016	8+765,190	179,174	-	4 075,100
Trainel	8+765,190	8+985,190	220,000	1,980	-

Ao comparar os valores da Tabela 4-5 com a Tabela 4-4, verifica-se que na zona de duplicação do projeto de execução existem mais cerca de 50 % de trainéis e 70 % de curvas verticais do que na solução alternativa (Tabela 4-6). Este valor pode ser explicado através da topografia existente e pelo facto de o traçado em planta da solução alternativa não passar exatamente nos mesmo sítios do projeto de execução. Torna-se difícil fazer uma comparação em termos de traçado em perfil longitudinal, visto as diretrizes não serem coincidentes.

Tabela 4-6 Soluções em Perfil Longitudinal - Duplicação no Projeto de Execução

		Solução Alternativa	Projeto de Execução
Trainéis	Nº Elementos	3	6
	Extensão Máxima	891,000 m	504,000 m
	Inclinação Máxima	✓ 5,60 %	✗ 6,70 %
Curvas Convexas	Nº Elementos	1	3
	Raio Mínimo	✓ 10 700,000 m	✓ 3 629,000 m
	Desenvolvimento Mínimo	✓ 838,000 m	✓ 200,000 m
Curvas Côncavas	Nº Elementos	1	3
	Raio Mínimo	✓ 18 000,000 m	✓ 4 075,000 m
	Desenvolvimento Mínimo	✓ 724,000 m	✓ 179,000 m

✓ - Cumpre as Normas

✗ - Não cumpre as Normas

Quanto aos parâmetros geométricos, a solução alternativa procurou cumprir as Normas Portuguesas, já o projeto de execução não pôde cumprir as Normas Brasileiras devido às condicionantes impostas e referidas no subcapítulo 4.3.2.

Para melhor compreensão da planta e do perfil longitudinal da zona em estudo, encontram-se no Anexo A os desenhos correspondentes à zona de duplicação do projeto de execução - BR381_PE_PPL_005 e BR381_PE_PPL_006, e da solução alternativa - BR381_PE_PPL_043 e BR381_PE_PPL_044.

▪ Perfil Transversal Tipo

Na zona onde serão realizados os trabalhos de alargamento e beneficiação, o perfil transversal tipo (Figura 4.15) a aplicar na estrada, é caracterizado por:

- Faixa de Rodagem com 2 vias, cada uma das quias com 3,60 m de largura;
- Inclinação transversal de 2,50 % nas zonas em alinhamento reto e sobrelevação máxima de 7,00 % nas zonas em curva;
- Berma esquerda com 1,00 m e berma direita com 3,00 m de largura;

Foi inserida uma via adicional na faixa de rodagem entre os km 6+785,348 e o km 8+121,652.

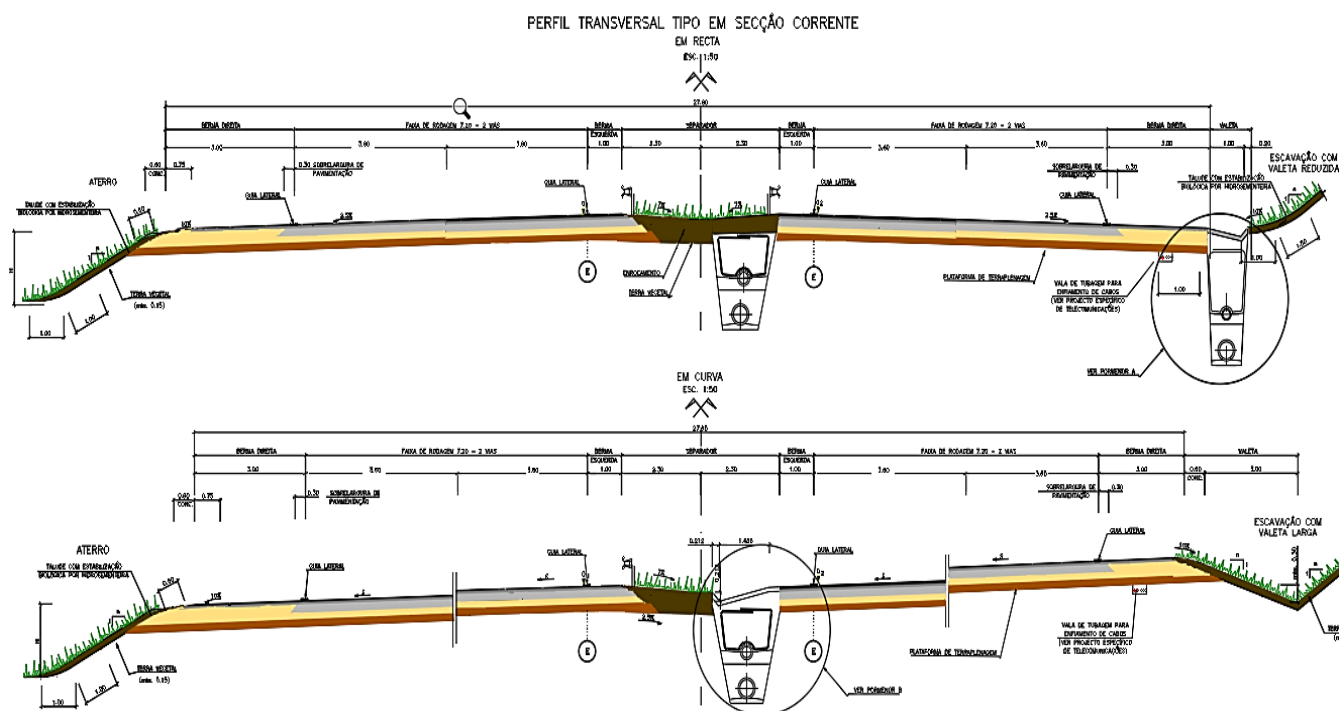


Figura 4.15 Perfil Transversal Tipo na Zona de Duplicação em Reta e em Curva

No subcapítulo 3.4 verificou-se que as Normas Portuguesas diferem bastante das Normas Brasileiras, o que impossibilita a comparação dos parâmetros que envolvem o perfil transversal tipo.

No Anexo A encontram-se as peças desenhadas correspondentes ao perfil transversal tipo da zona de duplicação da solução alternativa – folhas BR381_PE_PTT_008 e BR381_PE_PTT_010.

4.4.2 ENTRE O KM 19+500 E O KM 22+500

A solução alternativa para a geometria de traçado não coincide com a geometria do projeto de execução, pelo que a quilometragem modificou-se ligeiramente, ou seja, o km 19+500 do projeto de execução corresponderá ao km 18+538,993 e o km 22+500 ao km 21+400.

Na zona onde será implementada a construção de uma nova estrada, face às presentes condicionantes – relevo natural do terreno e proximidade de habitações, houve a necessidade de implementar 3 curvas circulares com curvas de transição em clotóide, para variação da sobrelevação, e 3 alinhamentos retos.

Na Tabela 4-7 é possível observar o valor dos parâmetros que envolvem o traçado em planta na zona de construção nova da solução alternativa.

Tabela 4-7 Traçado em Planta – Construção Nova na Solução Alternativa

Elemento	Quilómetro		Desenvolvimento (m)	A	Raio (m)
	Início	Fim			
Clotóide	18+236	18+526	289,286	450	-
Curva	18+526	18+865	339,701	-	700,000
Clotóide	18+865	19+155	289,286	450	-
Reta	19+155	20+052	897,599	-	-
Clotóide	20+052	20+141	88,889	200	-
Curva	20+141	20+267	125,447	-	450,000
Clotóide	20+267	20+356	88,889	200	-
Reta	20+356	20+850	494,864	-	-
Clotóide	20+850	20+900	50,000	150	-
Curva	20+900	20+966	65,259	-	450,000
Clotóide	20+966	21+016	50,000	150	-
Reta	21+016	21+543	527,242	-	-

Na Tabela 4-8 é possível observar o valor dos parâmetros que envolvem o traçado em planta na zona de construção nova do projeto de execução.

Tabela 4-8 Traçado em Planta – Construção Nova no Projeto de Execução

Elemento	Quilómetro		Desenvolvimento (m)	A (m)	Raio (m)
	Início	Fim			
Curva	19+434,638	19+639,967	205,329	-	250,000
Clotóide	19+639,967	19+739,967	100,000	158,114	-
Reta	19+739,967	19+989,050	249,083	-	-
Clotóide	19+989,050	20+049,050	60,000	139,642	-
Curva	20+049,050	20+120,622	71,572	-	325,000
Clotóide	20+120,622	20+180,622	60,000	139,642	-
Reta	20+180,622	20+406,271	225,649	-	-
Clotóide	20+406,271	20+486,271	80,000	135,647	-
Curva	20+486,271	20+591,524	105,253	-	230,000
Clotóide	20+591,524	20+671,524	80,000	135,647	-
Reta	20+671,524	20+727,221	55,697	-	-
Clotóide	20+727,221	20+797,221	70,000	126,886	-
Curva	20+797,221	20+864,866	67,645	-	230,000
Clotóide	20+864,866	20+934,866	70,000	126,886	-
Reta	20+934,866	20+994,956	60,090	-	-

Elemento	Quilómetro		Desenvolvimento (m)	A (m)	Raio (m)
	Início	Fim			
Clotóide	20+994,956	21+074,956	80,000	135,647	-
Curva	21+074,956	21+149,712	74,756	-	230,000
Clotóide	21+149,712	21+229,712	80,000	135,647	-
Reta	21+229,712	21+851,037	621,325	-	-
Clotóide	21+851,037	21+951,037	100,000	223,607	-
Curva	21+951,037	22+067,217	116,180	-	500,000
Clotóide	22+067,217	22+167,217	100,000	223,607	-
Reta	22+167,217	22+381,045	213,828	-	-
Clotóide	22+381,045	22+481,045	100,000	200,000	-
Curva	22+481,045	22+584,089	103,044	-	400,000
Clotóide	22+584,089	22+684,089	100,000	200,000	-

Comparando os valores dos parâmetros da Tabela 4-7 com a Tabela 4-8, verifica-se que na zona de construção nova do projeto de execução existem a mais cerca de 50 % de alinhamentos retos e 43 % de curvas circulares com curvas de transição em clotóide, do que na solução alternativa (Tabela 4-9). Este valor pode ser explicado através da topografia existente e do traçado em planta da solução alternativa não passar exactamente nos mesmo sítios do projeto de execução. Torna-se difícil fazer uma comparação em termos de traçado em perfil longitudinal, visto as diretrizes não serem coincidentes.

Quanto aos parâmetros geométricos, a solução alternativa procurou cumprir as Normas Portuguesas, já o projeto de execução não pôde cumprir as Normas Brasileiras devido às condicionantes impostas e referidas na apresentação do projeto de execução (subcapítulo 4.3.1).

Tabela 4-9 Soluções em Planta – Construção Nova no Projeto de Execução

		Solução Alternativa	Projeto de Execução
Alinhamentos Retos	Nº Elementos	3	6
	Extensão Máxima	✓ 898,000 m	621,000 m
	Extensão Mínima	-	✓ 56,000 m
Curvas Circulares	Nº Elementos	3	7
	Raio Mínimo	✓ 450,000 m	✗ 230,000 m
	Desenvolvimento Mínimo	125,000 m	46,000 m
Curvas de Transição	Nº Elementos	6	13
	Parâmetro mínimo da Clotóide	✓ 150,000 m	✓ 127,000 m

✓ - Cumpre as Normas

✗ - Não cumpre as Normas

Na definição da diretriz da zona de construção nova, para além do cumprimento do estipulado nas Normas, procurou-se reduzir ou eliminar pontos de conflito, melhorar a segurança rodoviária e aumentar a capacidade da estrada.

A maior dificuldade encontrada na realização deste novo traçado relacionou-se com o enquadramento da Norma Portuguesa No atual traçado. Não tendo sido possível intersectar exatamente a nova diretriz com a diretriz existente, procedeu-se à optimização do traçado, respeitando sempre as condicionantes do local verificadas no subcapítulo 4.2.

▪ Traçado em Perfil Longitudinal

Na definição da nova rasante foram tidos em conta vários aspetos, designadamente:

- Morfologia do terreno;
- Traçado em planta assegurado a sua compatibilidade com a rasante;
- Drenagem (pontos baixos);
- Integração no meio ambiente;
- Inclinações máximas e mínimas (0.5 %, por questões de drenagem), bem como raios mínimos verticais e correspondentes desenvolvimentos.

Com o intuito de contornar o relevo do terreno natural, conjugando as escavações com os aterros, a rasante da zona de construção nova apresenta 6 zonas em trainél e 5 curvas de concordância.

Na Tabela 4-10 apresenta-se com maior detalhe as características geométricas da rasante.

Tabela 4-10 Traçado em Perfil Longitudinal – Construção Nova na Solução Alternativa

Elemento	Quilómetro		Desenvolvimento (m)	i (%)	Raio (m)
	Início	Fim			
Trainel	18+528,466	18+727,203	198,737	4,0	-
Curva Convexa	18+727,203	19+120,086	392,883	-	5 000,000
Trainel	19+120,086	19+442,384	322,298	-3,8	-
Curva Côncava	19+442,384	19+623,195	180,811	-	15 000,000
Trainel	19+623,195	19+864,267	241,072	-2,5	-
Curva Côncava	19+864,267	20+343,609	479,342	-	6 000,000
Trainel	20+343,609	20+696,190	352,581	5,5	-
Curva Convexa	20+696,190	20+913,754	217,564	-	6 800,000
Trainel	20+913,754	21+038,125	124,371	2,3	-
Curva Côncava	21+038,125	21+312,865	274,740	-	7 800,000
Trainel	21+312,865	21+762,867	450,002	5,8	-

Na Tabela 4-11 é possível observar o valor dos parâmetros que envolvem o traçado em perfil longitudinal na zona de construção nova do projeto de execução.

Tabela 4-11 Traçado em Perfil Longitudinal – Construção Nova no Projeto de Execução

Elemento	Quilómetro		Desenvolvimento (m)	i (%)	Raio (m)
	Início	Fim			
Trainel	18+955,000	20+400,000	1 445,000	-2,3	-
Curva Convexa	20+400,000	20+680,000	280,000	-	9 434.000
Trainel	20+680,000	20+930,000	250,000	-3,4	-
Curva Côncava	20+930,000	21+270,000	340,000	-	11 106.500
Trainel	21+270,000	23+330,000	2 060,000	3,5	-

No que se refere ao projeto de execução, é de notar que existem menos 50 % de trainéis e 40 % de curvas verticais, do que na solução alternativa, como se pode observar na Tabela 4-12. Esta diferença pode ser explicada pelo facto de a solução alternativa não contemplar a construção de túneis, pois existiu a preocupação de minimizar os custos e acompanhar a elevação do terreno natural.

Salienta-se que na solução alternativa, para cumprir as Normas do INIR, modificaram-se as interseções que ligam as povoações e, com a modificação da diretriz neste troço, não foram intersectadas obras de arte.

Tabela 4-12 Soluções em Perfil Longitudinal – Construção Nova no Projeto de Execução

		Solução Alternativa	Projeto de Execução
Trainéis	Nº Elementos	6	3
	Extensão Máxima	450,000 m	2 060,000 m
	Inclinação Máxima	✓ 5,80 %	✓ 3,50 %
Curvas Convexas	Nº Elementos	2	1
	Raio Mínimo	✓ 5 000,000 m	✓ 9 434,000 m
	Desenvolvimento Mínimo	✓ 218,000 m	✓ 280,000 m
Curvas Côncavas	Nº Elementos	3	1
	Raio Mínimo	✓ 6 000,000 m	✓ 11 107,000 m
	Desenvolvimento Mínimo	✓ 181,000 m	✓ 340,000 m

✓ - Cumpre as Normas

✗ - Não cumpre as Normas

Para melhor compreensão da planta e do perfil longitudinal da zona em estudo, encontram-se no Anexo A os desenhos correspondentes à zona de duplicação do projeto de execução - BR381_PE_PPL_015 e BR381_PE_PPL_016, e da solução alternativa - BR381_PE_PPL_045 e BR381_PE_PPL_046.

▪ Perfil Transversal Tipo

Nos trabalhos de construção da nova faixa de rodagem do Binário Prainha – Estrada Nova, o perfil transversal tipo (Figura 4.16) é caracterizado por:

- Faixa de Rodagem com 2 vias, cada uma das quais com 3,60 m de largura;
- Inclinação transversal de 2,50 % nas zonas em alinhamento reto e sobrelevação máxima de 7,00 % nas zonas em curva;

- Berma esquerda com 1,00 m e berma direita com 2,50 m de largura;
- Inclinação do talude de aterro na razão de 3(H) : 2(V);
- Inclinação do talude de escavação na razão de 2(H) : 3(V);
- Banquetas nas escavações e aterros a cada 10,00 m de altura, com largura de 3,00 m.

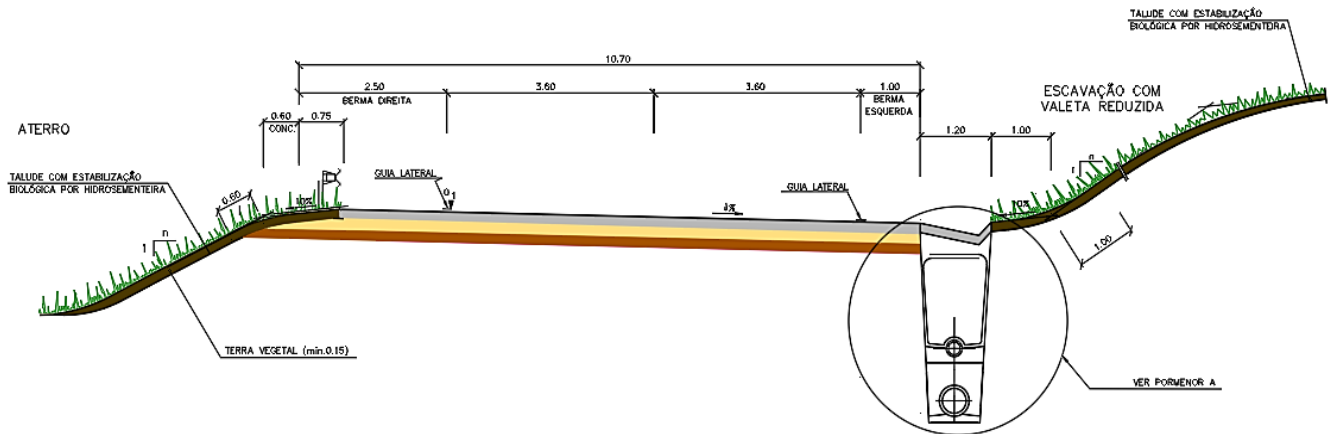


Figura 4.16 Perfil Transversal Tipo na Zona de Construção Nova em Reta e em Curva

No subcapítulo 3.4 verificou-se que as Normas Portuguesas diferem bastante das Normas Brasileiras, o impossibilita a comparação dos parâmetros que envolvem o perfil transversal tipo.

No Anexo A encontram-se as peças desenhadas correspondentes ao perfil transversal tipo da zona de duplicação da solução alternativa – folhas BR381_PE_PTT_009 e BR381_PE_PTT_010.

5 CONCLUSÕES

Apresentam-se em seguida, de forma resumida as conclusões decorrentes do trabalho realizado durante o período de estágio na empresa SENER-ENGIVIA, o qual proporcionou a oportunidade de aplicação dos conhecimentos adquiridos ao longo do percurso académico, bem como a aprendizagem, em ambiente empresarial, das atividades associadas a um projeto da área das vias de comunicação.

Embora Portugal e Brasil estejam em continentes distintos, ambos têm sofrido profundas alterações na construção e reformulação da sua rede viária possibilitando a melhoria das acessibilidades bem como as condições de conforto e segurança para os seus utilizadores.

O desenvolvimento do projeto internacional “Duplicação, melhoramento e ampliação da capacidade e segurança da Rodovia BR - 381 / Minas Gerais, Brasil”, deu origem ao Caso de Estudo que integra o presente Trabalho Final de Mestrado, sendo também efetuada a comparação entre as Normas Portuguesas e Brasileiras, apresentando-se as principais conclusões.

A BR - 381 é uma das estradas mais perigosas do Brasil, com níveis de sinistralidade elevados, o que obrigou, após um período longo de indecisões, à necessidade de intervenção de que resultou a elaboração de um projeto para melhorar as condições de circulação ao longo da via com reflexos esperados ao nível da segurança rodoviária.

Sendo esta uma estrada tão importante para o Brasil, com uma extensão aproximada de 305 km, atravessando vários municípios (Lavras, Varginha, Três Corações, Santa Rita do Sapucaí, Pouso Alegre e Extrema) inserida numa zona de elevada complexidade, não só em termos de orografia mas igualmente decorrente da necessidade de assegurar a ligação a um número elevado de núcleos urbanos considerou-se de todo o interesse que a mesma desse origem ao caso prático, permitindo uma análise comparativa dos documentos normativos, nomeadamente da implementação na mesma dos normativos portugueses.

O principal desafio na elaboração deste estudo foi a complexidade da análise do local, realizada através da informação disponível, nomeadamente da aplicação *Google Earth Pro*, para possibilitar a análise comparativa das soluções decorrentes dos diferentes normativos aplicáveis.

Da análise efetuada aos troços em estudo, conclui-se que a grande diferença incide no traçado em planta uma vez que a Norma Brasileira (DNER) permite raios das curvas e alinhamentos retos menores para facilitar o contorno das regiões montanhosas de elevado relevo, sendo que Norma Portuguesa (INIR) é mais conservadora, visto que impõe extensões

e desenvolvimentos maiores, o que dificulta a comparação exata das geometrias de traçado como consequência das diretrizes não passarem exatamente nos mesmo pontos.

Relativamente ao perfil longitudinal, a Norma INIR impõe raios e desenvolvimentos significativamente maiores o que favorece uma circulação mais suave em regiões com relevos bastante acentuados, como é o caso da zona de implantação da BR - 381.

No que se refere ao perfil transversal tipo, as Normas estabelecem os seus parâmetros de maneiras muito díspares, sendo que o normativo do INIR estabelece os seus parâmetros através dos raios das curvas, volumes de tráfego e velocidades, enquanto que o documento do DNER opta por critérios de acordo com a classe.

A diferença entre normativos traduz uma realidade que certamente se poderá observar quando comparada com outros países e que perante a utilização pela rodovia de veículos com características similares se traduzirá inevitavelmente em comportamentos diferentes, nomeadamente em termos de segurança.

Como solução desejável para a resolução ou no mínimo a redução destas diferenças a situação ideal deveria passar pela uniformização, a nível mundial, das normas de traçado rodoviária, à semelhança do que em parte já existe para a ferrovia através da UIC - União Internacional de Caminhos de Ferro e dos normativos CEN para a europa.

Sendo essa tarefa uma tarefa que terá que envolver um grande número de entidades de diversos países e não sendo compatível apenas com futuros trabalhos de natureza semelhante ao realizado no presente TFM, apresentam-se de seguida algumas propostas de linhas de pesquisa que, no decorrer deste trabalho de análise e comparação de Normas de Geometria de Traçado, não foram totalmente abordadas ou resolvidas, e que poderão potenciar trabalhos adicionais de investigação:

- Na elaboração da solução alternativa apenas foram tidas em conta as limitações impostas pela Norma Portuguesa. Verificou-se, assim, que, através destas limitações, não foi possível contemplar a topografia acentuada da zona em estudo, o traçado da estrada existente e as interseções rodoviárias existentes. Seria relevante estudar um traçado que contemplasse em parte as imposições da Norma Portuguesa e, nas zonas onde não fosse possível, aplicar a Norma Brasileira;
- O conceito de velocidade para a Norma Portuguesa é diferente do presente na Norma Brasileira, pelo que constitui uma diferença significativa quando comparadas as duas Normas. Neste sentido, torna-se importante estabelecer

um critério para o estabelecimento da velocidade que permita uma melhor comparação entre as Normas;

- As mudanças de sentido de circulação no Brasil são realizadas através de Retornos (ver Anexo C), o que origina a diminuição de velocidade nas zonas onde são implementados. Neste caso, como a velocidade é menor, poderão ser aplicados valores mínimos mais baixos do que em Portugal, onde as mudanças de sentido de circulação são independentes da plena via, o que não obriga a tão significativas diminuições de velocidade. Seria relevante que fosse estudada uma solução para as mudanças de sentido de circulação que contemplasse o que é praticado no Brasil e em Portugal;

Decorrente do exposto, admite-se como viável a elaboração de um documento onde se procure a integração dos atuais documentos de suporte aos projetos rodoviários a executar em ambos os países, eventualmente extensível a outros, envolvendo os aspetos geométricos bem como os que lhe estão diretamente associados ao nível da economia, conforto e segurança.

Trata-se de uma tarefa de alguma dimensão, pelo que se considera igualmente desejável que a mesma possa ser feita por etapas, envolvendo de forma integrada as questões associadas ao traçado em planta, perfil longitudinal e perfis transversais tipo.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Decreto-lei n.º 222/98 de 17 de Julho. Diário da República nº 163/1998 – Série I-A. Lisboa: Ministério do Equipamento, do Planeamento e da Administração do Território.

Departamento Nacional de Estradas de Rodagem – DNER (1999). Manual de Projeto Geométrico de Rodovias Rurais. Ministério dos Transportes. Rio de Janeiro, Brasil.

Departamento Nacional de Infra-estruturas de Transportes – DNIT (2005). Manual de Projeto de Interseções. Ministério dos Transportes. 2ª Edição. Rio de Janeiro, Brasil.

Estado de Minas Gerais (2014). Rodovias. Acedido em 11/08, 2018, <http://mg.gov.br/conheca-minas/rodovias>.

Gestão Ambiental BR-381 (2018). Mapa da duplicação da BR-381/MG. Acedido em 16/03, 2018, <https://www.br381mg.com.br/>.

INIR - Instituto de Infraestruturas Rodoviárias IP (2010). Norma de Traçado Revisão – Documento Base. Lisboa, Portugal.

SENER (2018a). Corporate presentation. Acedido em 02/2018.

SENER (2018b). História da SENER. Acedido em 20/01, 2018, <http://www.ingenieriaconstruccion.sener/historia>.

SENER (2018c). Projetos - Autoestrada Transmontana. Acedido em 15/06, 2018, <http://www.infraestructurasytransporte.sener/proyecto/concesion-autopista-transmontana-a4ip4>.

SENER-ENGIVIA (2018a). «Duplicação, melhoramento e ampliação da capacidade e segurança da Rodovia BR-381 / Minas Gerais, Brasil.pdf». Lisboa, Portugal.

SENER-ENGIVIA (2018b). «Reformulação do projeto de ampliação do caminho de circulação “F” – alteração de *code F* para *code E*, no Aeroporto Francisco Sá Carneiro.pdf». Lisboa, Portugal.

SENER-ENGIVIA (2018c). «Alargamento e beneficiação da A4 – Autoestrada Porto / Amarante, sublanço Águas Santas / Ermesinde, Nó e Portagens de Ermesinde.pdf». Lisboa, Portugal.

SENER-ENGIVIA (2018d). «Rede de Autoestradas e Estradas Seguras PPP – Corredor Vial B, C e SUR, Argentina.pdf». Lisboa, Portugal.

SkyscraperCity (2018). MG | BR-381 | Governador Valadares - Belo Horizonte. Acedido em 20/09, 2018, <https://www.skyscrapercity.com/showthread.php?t=1783755>

Sul de Minas (2018). Bandeirantes, JK e a duplicação que demorou mais de uma década: conheça a história da Fernão Dias. Acedido em 13/08, 2018, <https://g1.globo.com/mg/sul-de-minas/noticia/bandeirantes-jk-e-a-duplicacao-que-demorou-mais-de-uma-decada-conheca-a-historia-da-fernao-dias.ghtml>

