M 2014

U.PORTO
FEUP FACULDADE DE ENGENHARIA
UNIVERSIDADE DO PORTO

PROJETO DE AUTOESTRADAS DO MÉXICO: COMPARAÇÃO COM O CASO PORTUGUÊS

LÍGIA CONCEIÇÃO PEREIRA

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO APRESENTADA
À FACULDADE DE ENGENHARIA DA UNIVERSIDADE DO PORTO EM
ENGENHARIA CIVIL – ESPECIALIZAÇÃO EM VIAS DE COMUNICAÇÃO

U.PORTO

FEUP FACULDADE DE ENGENHARIA UNIVERSIDADE DO PORTO

PROJETO DE AUTOESTRADAS DO MÉXICO: COMPARAÇÃO COM O CASO PORTUGUÊS

LÍGIA CONCEIÇÃO PEREIRA

Dissertação submetida para satisfação parcial dos requisitos do grau de

MESTRE EM ENGENHARIA CIVIL — ESPECIALIZAÇÃO EM VIAS DE COMUNICAÇÃO

Orientador: Professor Doutor Carlos Manuel Rodrigues

Coorientador: Engenheiro Rui Mário de Oliveira Correia

JUNHO DE 2014

MESTRADO INTEGRADO EM ENGENHARIA CIVIL 2013/2014

DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL

Tel. +351-22-508 1901

Fax +351-22-508 1446

✉ miec@fe.up.pt

Editado por

FACULDADE DE ENGENHARIA DA UNIVERSIDADE DO PORTO

Rua Dr. Roberto Frias

4200-465 PORTO

Portugal

Tel. +351-22-508 1400

Fax +351-22-508 1440

✉ feup@fe.up.pt

http://www.fe.up.pt

Reproduções parciais deste documento serão autorizadas na condição que seja mencionado o Autor e feita referência a *Mestrado Integrado em Engenharia Civil - 2013/2014 - Departamento de Engenharia Civil, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Porto, Portugal, 2014*.

As opiniões e informações incluídas neste documento representam unicamente o ponto de vista do respetivo Autor, não podendo o Editor aceitar qualquer responsabilidade legal ou outra em relação a erros ou omissões que possam existir.

Este documento foi produzido a partir de versão eletrónica fornecida pelo respetivo Autor.

À Melhor Mãe do Mundo,

O princípio da Sabedoria é o desejo autêntico de instruir,
e desejar instruir-se é já amá-la.
Sb 6,17

AGRADECIMENTOS

A todos aqueles que me apoiaram, direta ou indiretamente, na realização deste trabalho:

A Deus, meu Pai, pela orientação e misericórdia ao longo da minha vida.

À minha Mãe, Irene Conceição, pela inteligência, educação e capacidade de me tranquilizar.

À FEUP, onde foi desenvolvida e apresentada esta dissertação.

Ao orientador desta dissertação, o Professor Carlos Rodrigues, pela capacidade inovação que lhe está intrínseca, e por todo interesse e orientação no desenvolvimento deste trabalho.

Ao co-orientador, Eng. Rui Correia, pelo interesse depositado em mim, e a todo pessoal do GEG pela boa disposição e acolhimento, nomeadamente a Ana Carolina Fonseca, pela experiência em projetos em *AutoCAD Civil 3D*, o Ivo Gonçalves, pelo apoio incansável em relação ao *software*, o Luís Gonçalves, pela disponibilidade técnica, e o Jorge Correia, que me ajudou nos desenhos.

Ao Professor Adalberto França, que despertou o meu interesse pelas Vias de Comunicação e pela positividade e motivação que transmite aos alunos diariamente.

A toda a secção de Vias de Comunicação: o Prof. António Couto, a Prof.ª Cecília Vale, o Prof. José Pedro Tavares, a Prof.ª Sara Ferreira, o Prof. Américo Pires e o Prof. Jaime Ribeiro. À D. Guilhermina Castro e todo o grupo de investigação.

Aos Professores da FEUP que me formaram, nomeadamente a Prof.ª Maria do Carmo Coimbra, a Prof.ª Isabel Ribeiro, a Prof.ª Cecília Silva, o Prof, João Pedro Pêgo, o Prof. Francisco Piqueiro, o Prof. Manuel Matos Fernandes, a Prof.ª Ana Sofia Guimarães, o Prof. Vítor Abrantes, o Prof. Jorge Fernandes, o Prof. José Miguel Castro, o Prof. Arlindo Begonha, e muitos mais professores que foram indispensáveis na minha formação.

Aos excelentes professores do ensino público português que me marcaram, nomeadamente a Prof.ª Cristina Farroco, pelo conhecimento de física e química; a Prof.ª Ângela Coelho, pela motivação na matemática; a Prof.ª Elisabete Soares, pela capacidade de síntese e pelos conhecimentos de geologia e biologia; e a Dr.ª Ana Montenegro, pela filosofia e psicologia.

Ao Eng. Bruno Catarino e ao Eng. João Flores, pela amizade e disponibilidade.

Ao Diogo Catarino, que sempre me acompanhou com paciência, compreensão e afeto.

Aos meus amigos e colegas de curso, nomeadamente a Carla Rodrigues, o André Vinhas, o André Lopes e o Daniel Andrês; e aos meus colegas de secção nomeadamente a Sara Esteves, o Fábio Silva e o João Matoso.

E ao meu país, Portugal, cuja sociedade dispôs de meios para a minha formação.

RESUMO

O projeto de vias rodoviárias, nomeadamente de autoestradas, tem várias similitudes nos diferentes países, embora também tenha diferenças significativas consoante os normativos que se aplicam, sendo o principal objetivo desta dissertação realizar uma análise comparativa entre o projeto de autoestradas do México e de Portugal.

Os dois temas principais desta tese são o estudo comparativo dos normativos e a sua aplicação a casos práticos. Deste modo, cada um destes temas está associado a dois objetivos principais desta dissertação, conduzindo a quatro objetivos específicos: 1) estudar e comparar diferentes normas geométricas rodoviárias; 2) identificar as principais diferenças dos parâmetros geométricos que suportam as normas; 3) analisar o enquadramento internacional do projeto; 4) aplicar a casos de estudo.

Para elaborar este estudo são realizadas diversas tarefas: revisão do estado da arte relacionado com os normativos vigentes; análise detalhada dos normativos, nomeadamente dos parâmetros que suportam os valores normativos, em cada país; projeto de seis casos de estudo, através do *software AutoCAD Civil 3D*, na região de Xalapa (México); análise comparativa dos diversos casos de estudo, associada à influência do normativo no projeto rodoviário; pesquisa bibliográfica de modelos de otimização; e finalmente, proposta de análise multicritério adaptada de Kalamaras, G.S. [et al.] (2000).

A estratégia seguida para o desenvolvimento deste trabalho consistiu em analisar o normativo dos dois países (Portugal e México), incluindo-se o normativo dos USA elaborado pela AASHTO, devido às semelhanças com o México. Para estabelecer uma relação entre o normativo europeu e americano, incluiu-se alguns valores normativos de referência de países europeus como a Alemanha, Itália, Finlândia, entre outros. A análise normativa detalhada compreende o estudo das autoestradas de cada país e as suas normas de traçado.

Em relação aos casos de estudo, cujo objetivo principal é evidenciar diferenças significativas que a imposição dos valores normativos aporta ao projeto, a estratégia adotada inclui o projeto rodoviário dimensionado segundo as Normas Portuguesas e as Normas Mexicanas, em duas abordagens: a segurança e a comodidade, para a velocidade base de 80 km/h e 110 km/h, totalizando seis casos de estudo. Assim, esta análise comparativa inclui o estudo dos parâmetros geométricos, a análise das acelerações radiais não compensadas e das curvas de Brückner dos movimentos de terras, e por fim, a aplicação de uma análise multicritério. A proposta de análise multicritério consiste numa ponderação de vários critérios relacionados com: as características dos alinhamentos, a segurança, e a perspetiva do utilizador.

Em síntese, a análise dos normativos e a comparação entre os casos de estudo revela que o normativo português conduz a traçados mais seguros e cómodos, quando comparados com o normativo mexicano. Por outro lado, a menor restrição dos valores normativos mexicanos revela que o este consegue alcançar mais facilmente economia do traçado.

Uma semelhança intrínseca evidenciada nos casos de estudo indica que uma autoestrada portuguesa dimensionada segundo o critério da comodidade para 80 km/h, assemelha-se a uma autoestrada mexicana dimensionada segundo o critério da segurança para 110 km/h.

PALAVRAS-CHAVE: engenharia rodoviária, projeto geométrico, normas de traçado, comparação de autoestradas, Portugal, México

ABSTRACT

The highway design, in particular the freeway design, has several similarities around the world, but has also significant differences depending on the regulations applied. The goal of this dissertation is to analyze comparatively the freeway project in Mexico and Portugal.

The two main themes of this dissertation are a comparative study of standards and an application to practical cases. Thus, each of these subjects is associated to two objectives, leading to four specific objectives: 1) to study and compare different highway geometric standards; 2) identify the main differences in geometric parameters which support the minimum norm values; 3) analyze the international framework of freeway projects; 4) apply to case studies.

To elaborate this research, various tasks are performed: review the state of art about the current regulations; carefully analyze the standards, specially the parameters that support the minimum project values in each country; project six case studies, by the *AutoCAD Civil 3D* software, in a region called Xalapa (Mexico); comparative analysis the case studies, linked to the influence of the design standards; literature survey about optimization models; and finally, a proposed adapted multi-criteria analysis, initially developed by Kalamaras, GS [Et al.] (2000).

The strategy of this work is performed by the standards analysis of two countries (Portugal and Mexico), embracing the policy developed by AASHTO (USA), due to many similarities with Mexico norm. To establish a relationship between the European and American value norms, it is referred some European values of countries like Germany, Italy, Finland, among others. The full normative analysis requires a study about the current freeways in each country and their standards.

About the case studies, whose main objective is to identify the main differences that the imposition of normative values reflects in project, the strategy included the freeway geometric design according to the Portuguese and Mexican standards in two different approaches: safety and comfort, and in two project speeds: 80 km/h and 110 km/h (50 and 70 mph), resulting in six case studies. Furthermore, the comparative analysis includes the study of the geometrical parameters; the radial accelerations not compensated analysis; the Brückner curve analysis of earthworks; and at last, an application of a multi-criteria analysis. The proposed multi-criteria analysis consists in a weighting of various criteria about the: characteristics of the alignments, security, and user perspective.

In summary, the analysis of the normative and the comparison between the case studies reveals that the Portuguese standards lead to safer and more comfortable projects, when compared with the Mexican design. On the other hand, the lower restriction of the Mexican standard values reveals that their projects can easily be more economic.

An intrinsic similarity evidenced in the case studies indicates that a Portuguese freeway, designed by the approach of comfort and project speed of 80 km/h, resembles to a Mexican freeway project, designed by the approach of security and project speed of 110 km/h.

KEYWORDS: highway engineering, geometric design, design standards, freeways comparison, Portugal, Mexico

ÍNDICE GERAL

AGRADECIMENTOS i
RESUMO iii
ABSTRACT v

1. INTRODUÇÃO 1
1.1. FUNDAMENTOS E ENQUADRAMENTO DO TEMA 1
1.2. PROBLEMÁTICA, ESTRATÉGIAS E OBJETIVOS 3
1.3. ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO 3
2. NORMATIVO: PORTUGAL, MÉXICO E USA 5
2.1. INTRODUÇÃO 5
2.2. ELEMENTOS BÁSICOS DE PROJETO 6
2.2.1. VELOCIDADE 7
2.2.1.1. Considerações normativas 7
2.2.1.2. Velocidade Base 9
2.2.1.3. Velocidade de Tráfego 10
2.2.1.4. Velocidade de Marcha 11
2.2.2. TRÁFEGO 11
2.2.2.1. Níveis de serviço 12
2.2.2.2. Volume horário de projeto 12
2.2.3. VISIBILIDADE 12
2.2.3.1. Considerações normativas 12
2.2.3.2. Distância de visibilidade de paragem 13
2.2.3.3. Distância de visibilidade de decisão 15
2.2.3.4. Critério de medida da distância de visibilidade 16
2.3. TRAÇADO EM PLANTA 18
2.3.1. ALINHAMENTOS RETOS 18
2.3.2. CURVAS CIRCULARES 18
2.3.2.1. Raio mínimo em planta 18
2.3.2.2. Sobrelargura 21
2.3.2.3. Velocidade não impedida em curva 22
2.3.2.4. Extensão mínima e máxima da curva circular 22

2.3.2.5. Visibilidade em curvas horizontais 23
2.3.2.6. Homogeneidade aquando a existência de curvas circulares sucessivas 23
2.3.3. CURVAS DE TRANSIÇÃO 24
2.3.3.1. Dispensabilidade 24
2.3.3.2. Parâmetro da Clotóide 25
2.4. PERFIL LONGITUDINAL 28
2.4.1. TRAINÉIS 28
2.4.1.1. Inclinação mínima 28
2.4.1.2. Inclinação máxima 28
2.4.1.3. Extensão crítica 29
2.4.1.4. Escapatórias 29
2.4.2. CONCORDÂNCIAS VERTICAIS 29
2.4.2.1. Concordâncias convexas 29
2.4.2.2. Concordâncias côncavas 30
2.4.3. RESUMO NORMATIVO DO PERFIL LONGITUDINAL CONSOANTE TIPO DE AUTOESTRADAS 31
2.5. PERFIL TRANSVERSAL 32
2.5.1. FAIXA DE RODAGEM 32
2.5.1.1. Número de vias 32
2.5.1.2. Largura das vias 32
2.5.1.3. Inclinação transversal 33
2.5.2. SOBRE-ELEVAÇÃO 33
2.5.2.1. Tabelas normativas de sobre-elevação 33
2.5.2.2. Disfarce da sobre-elevação 35
2.5.3. LARGURA DAS BERMAS 39
2.5.4. VALETAS 40
2.5.5. SEPARADORES CENTRAIS 40
2.6. ESPECIFICIDADES EM AUTOESTRADAS 40
2.6.1. "ALTURA LIVRE MÍNIMA" VERTICAL 40
2.6.2. TÚNEIS 41
2.6.3. INVERSÃO DE MARCHA 41
2.7. REFLEXÃO CRÍTICA DOS NORMATIVOS APRESENTADOS 42
3. CASOS DE ESTUDO 43
3.1. INTRODUÇÃO 43

3.2. CÁLCULO AUTOMÁTICO DE PROJETO DE ESTRADAS 43
3.3. O IMPACTO DO NORMATIVO NO PROJETO RODOVIÁRIO 45
3.3.1. PARÂMETROS DE PROJETO 46
3.3.2. ANÁLISE DOS CASOS DE ESTUDO 47
3.3.2.1. Traçado em planta 47
3.3.2.2. Perfil Longitudinal 51
3.3.2.3. Aceleração radial não compensada 52
3.3.2.4. Grau de incomodidade 54
3.3.2.5. Movimentos de Terras 55
3.4. REFLEXÃO CRÍTICA DA INFLUÊNCIA DO NORMATIVO NO PROJETO 59
4. ANÁLISE COMPARATIVA DE PROJETOS RODOVIÁRIOS 61
4.1. INTRODUÇÃO 61
4.2. MODELOS DE OTIMIZAÇÃO - ESTADO DE ARTE 62
4.3. ADAPTAÇÃO SIMPLIFICADA DE UMA ANÁLISE MULTICRITÉRIO 63
4.3.1. "APLICAÇÃO DE UMA ANÁLISE MULTICRITÉRIO PARA SELECIONAR O MELHOR ALINHAMENTO RODOVIÁRIO" DE KALAMARAS, G.S. [ET AL.] (2000) 63
4.3.2. DESENVOLVIMENTO DA ANÁLISE MULTICRITÉRIO RELATIVAMENTE À "FUNCIONALIDADE" 66
4.3.2.1. Critérios propostos 66
4.3.2.2. Pontuação 68
4.3.3. APLICAÇÃO NOS CASOS DE ESTUDO 71
4.4. REFLEXÃO CRÍTICA 73
5. CONCLUSÕES FINAIS E PERSPETIVAS FUTURAS 75
5.1. CONCLUSÕES FINAIS 75
5.2. PERSPETIVAS DE DESENVOLVIMENTO PARA INVESTIGAÇÃO FUTURA 78
6. APÊNDICES 79
APÊNDICE A CASO DE ESTUDO: 110 KM/H, COMODIDADE, NP 79
A.1. GEOMETRIA DA DIRETRIZ 79
A.2. GEOMETRIA DA RASANTE 80
A.3. TABELA DE MOVIMENTOS DE TERRA 81
A.4. TRAÇADO EM PLANTA 89
A.5. PERFIL LONGITUDINAL 97
APÊNDICE B CASO DE ESTUDO: 110 KM/H, SEGURANÇA, NP 117

B.1. GEOMETRIA DA DIRETRIZ 117
B.2. GEOMETRIA DA RASANTE 118
B.3. TABELA DE MOVIMENTOS DE TERRA 118
B.4. TRAÇADO EM PLANTA ..... **ERRO! MARCADOR NÃO DEFINIDO.**
B.5. PERFIL LONGITUDINAL ..... **ERRO! MARCADOR NÃO DEFINIDO.**
APÊNDICE C CASO DE ESTUDO: 110 KM/H, SEGURANÇA, NM 155
C.1. GEOMETRIA DA DIRETRIZ 155
C.2. GEOMETRIA DA RASANTE 156
C.3. TABELA DE MOVIMENTOS DE TERRA 156
C.4. TRAÇADO EM PLANTA ..... **ERRO! MARCADOR NÃO DEFINIDO.**
C.5. PERFIL LONGITUDINAL ..... **ERRO! MARCADOR NÃO DEFINIDO.**
APÊNDICE D CASO DE ESTUDO: 80 KM/H, COMODIDADE, NP 191
D.1. GEOMETRIA DA DIRETRIZ 191
D.2. GEOMETRIA DA RASANTE 192
D.3. TABELA DE MOVIMENTOS DE TERRA 192
D.4. TRAÇADO EM PLANTA ..... **ERRO! MARCADOR NÃO DEFINIDO.**
D.5. PERFIL LONGITUDINAL ..... **ERRO! MARCADOR NÃO DEFINIDO.**
APÊNDICE E CASO DE ESTUDO: 80 KM/H, SEGURANÇA, NP 227
E.1. GEOMETRIA DA DIRETRIZ 227
E.2. GEOMETRIA DA RASANTE 228
E.3. TABELA DE MOVIMENTOS DE TERRA 228
E.4. TRAÇADO EM PLANTA ..... **ERRO! MARCADOR NÃO DEFINIDO.**
E.5. PERFIL LONGITUDINAL ..... **ERRO! MARCADOR NÃO DEFINIDO.**
APÊNDICE F CASO DE ESTUDO: 80 KM/H, SEGURANÇA, NM 235
F.1. GEOMETRIA DA DIRETRIZ 263
F.2. GEOMETRIA DA RASANTE 264
F.3. TABELA DE MOVIMENTOS DE TERRA 264
F.4. TRAÇADO EM PLANTA ..... **ERRO! MARCADOR NÃO DEFINIDO.**
F.5. PERFIL LONGITUDINAL ..... **ERRO! MARCADOR NÃO DEFINIDO.**
APÊNDICE G PERFIS TRANSVERSAIS TIPO DOS CASOS DE ESTUDO 299
G.1. PERFIL TRANSVERSAL TIPO, SEGUNDO AS NM 299
G.2. PERFIL TRANSVERSAL TIPO, SEGUNDO AS NP 299
G.3. PERFIL TRANSVERSAL TIPO EM ZONA DE VIA ADICIONAL PARA PESADOS, SEGUNDO AS NORMAS MEXICANAS 301

G.4. PERFIL TRANSVERSAL TIPO EM ZONA DE VIA ADICIONAL PARA PESADOS, SEGUNDO AS NORMAS PORTUGUESAS 301

ÍNDICE DE FIGURAS

2. Normativo: Portugal, México e USA.....5

Figura 2.1 - Método de medida da distância de visibilidade (AASHTO, 2011, 3.17)..... 17

Figura 2.2 - Alinhamento Curvo 19

Figura 2.3 – Traçado em planta de curvas circulares, combinação de raios desejável (JAE, 1994, 34) 24

Figura 2.4 – Perfil Transversal tipo de autoestrada interurbana (INIR, 2008) 36

Figura 2.5 – Modelo linear do disfarce da sobre-elevação, Faixa de Rodagem Direita..... 36

Figura 2.6 – Disfarce linear da sobre-elevação para estradas de duas vias, segundo as NP 37

Figura 2.7 – Modelo linear do disfarce da sobre-elevação, na faixa de rodagem esquerda, segundo as NP..... 37

Figura 2.8 – Modelo linear do disfarce da sobre-elevação, adaptado de SCT (1984) 38

Figura 2.9 – Modelo parabólico comum do disfarce da sobre-elevação, Faixa de Rodagem Esquerda 38

Figura 2.10 – Modelo parabólico sofisticado do disfarce da sobre-elevação, Faixa de Rodagem Esquerda 39

Figura 2.11 – Exemplo da inversão de marcha numa autoestrada mexicana (Google, 2014) 41

3. Casos de Estudo.....43

Figura 3.1 - Comparação gráfica das diretrizes em alinhamentos curvos, nos diferentes casos de estudos..... 48

Figura 3.2 - Aceleração radial não compensada dos casos de estudo, para a velocidade base de 80 km/h..... 53

Figura 3.3 – Aceleração radial não compensada dos casos de estudo, para a velocidade base de 110 km/h..... 53

Figura 3.4 – Comparação das curvas de Brückner dos seis casos de estudo..... 56

ÍNDICE DE QUADROS

2. Normativo: Portugal, México e USA.....5

Quadro 2.1 - Velocidade normativa no projeto rodoviário 9

Quadro 2.2 – Limites da velocidade base [km/h] 9

Quadro 2.3 - Velocidade base [km/h] conforme a classificação das auto-estradas 10

Quadro 2.4 – Relação entre Velocidade Base e Velocidade de Tráfego [km/h] (INIR, 2010) - NP 11

Quadro 2.5 – Relação entre Velocidade Base e Velocidade de Marcha [km/h] (SCT, 1991) - NM 11

Quadro 2.6 - Considerações normativas de níveis de serviço mínimos 12

Quadro 2.7 – Parâmetros que suportam o cálculo da distância de visibilidade de paragem - NP e NM 14

Quadro 2.8 – Valores normativos da distância de visibilidade de paragem 14

Quadro 2.9 – Valores normativos da distância de visibilidade de decisão 16

Quadro 2.10 – Parâmetros do critério de medida das distâncias de visibilidade 17

Quadro 2.11 – Consideração dos normativos em curvas circulares 18

Quadro 2.12 – Parâmetros que suportam os raios mínimos das curvas circulares 20

Quadro 2.13 – Raios mínimos normativos 20

Quadro 2.14 – Recomendações dos raios mínimos, consoante a classificação das autoestradas 21

Quadro 2.15 – Sobrelargura, adaptado de AASHTO (2011) - NA 22

Quadro 2.16 – Limites de sobrelargura [cm], adaptado de SCT (1984) - NM 22

Quadro 2.17 – Extensão mínima da curva circular, sem sobre-elevação e clotóides [m] (INIR, 2010, 31) 23

Quadro 2.18 – Distância mínima de obstrução para raios mínimos [m], adaptado de INIR (2008) e de SCT (1984) 23

Quadro 2.19 – Raio máximo para o uso das curvas de transição em clotóide [m] 24

Quadro 2.20 – Critérios de dimensionamento do parâmetro da clotóide 25

Quadro 2.21 – Parâmetro mínimo normativo da clotóide [m] (INIR, 2010, 25) 27

Quadro 2.22 – Extensão mínima da clotóide para raios mínimos [m] (AASHTO, 2011, 3.73, SCT, 1984, 40) 27

Quadro 2.23 – Inclinação máxima admitida no perfil longitudinal, para topografia plana [%] (AASHTO, 2005, INIR, 2008, SCT, 1991) 28

Quadro 2.24 – Extensão crítica de trainéis [m] 29

Quadro 2.25 – Raios mínimos das concordâncias convexas [m] (AASHTO, 2011, JAE, 1994, SCT, 1984) 30

Quadro 2.26 – Raios mínimos das concordâncias côncavas [m] (AASHTO, 2011, JAE, 1994, SCT, 1984) 31

Quadro 2.27 – Recomendações do perfil longitudinal, consoante a classificação das autoestradas (INIR, 2008, SCT, 2004) 32

Quadro 2.28 – Largura das vias [m] (AASHTO, 2005, INIR, 2008, SCT, 1984) 32

Quadro 2.29 – Inclinação transversal [%] (AASHTO, 2011, INIR, 2010, SCT, 1991) 33

Quadro 2.30 – Tabela normativa de sobre-elevação de Portugal 34

Quadro 2.31 – Tabela normativa de sobre-elevação e raios mínimos [m] dos USA (AASHTO, 2011, 3.46) 34

Quadro 2.32 – Tabela normativa de sobre-elevação [%] do México (SCT, 1984, 40) 34

Quadro 2.33 – Aceleração radial não compensada [m/s^2] 35

Quadro 2.34 – Raio mínimo para o qual não é necessário sobre-elevação [m] 35

Quadro 2.35 – Largura das Bermas [m] (AASHTO, 2005, INIR, 2008, SCT, 1984) 39

Quadro 2.36 – Largura dos separadores centrais [m] (AASHTO, 2005, INIR, 2008, SCT, 1984) 40

3. Casos de Estudo 43

Quadro 3.1 – Casos de estudo 45

Quadro 3.2 – Parâmetros geométricos da diretriz e do perfil longitudinal, utilizados nos casos de estudo 46

Quadro 3.3 – Parâmetros geométricos do perfil transversal, utilizados nos casos de estudo 47

Quadro 3.4 – Análise geométrica da diretriz dos casos de estudo 50

Quadro 3.5 – Análise geométrica do perfil longitudinal dos casos de estudo 52

Quadro 3.6 – Grau de incomodidade máximo nos seis casos de estudo 54

Quadro 3.7 – Análise dos movimentos de terra dos casos de estudo 58

4. Análise Comparativa de Projetos Rodoviários 61

Quadro 4.1 – Lista de objetivos de primeiro e segundo nível e pesos para o cenário base (Kalamaras, G.S. [et al.], 2000, 4) 64

Quadro 4.2 – Ponderações aos objetivos de primeiro nível de acordo com a “visão” de cada interveniente (Kalamaras, G.S. [et al.], 2000, 4) 65

Quadro 4.3 – Proposta de critérios relacionados a funcionalidade 67

Quadro 4.4 – Fórmulas de pontuação aos critérios relacionados a funcionalidade 68

Quadro 4.5 – Resultados da adaptação da análise multicritério proposta 72

Quadro 4.6 – Peso parcial médio por rubrica, em relação ao custo total da obra [%] 74

SÍMBOLOS, ACRÓNIMOS, SIGLAS E ABREVIATURAS

a – Largura da faixa de rodagem [m]

A – Parâmetro da clotóide [m]

a_{nc} – Aceleração não compensada [m/s^2]

D – Desenvolvimento da concordância [m]

$D_{decisão}$ – Distância de visibilidade de decisão [m]

$D_{min}^{obstrução}$ – Distância mínima de obstrução [m]

$D_{paragem}$ – Distância de visibilidade de paragem [m]

$E_{máx}^{ccircular}$ – Extensão máxima da curva circular [m]

$E_{min}^{ccircular}$ – Extensão mínima da curva circular [m]

$E_{min}^{ctransição}$ – Extensão mínima da curva transição [m]

f_l - Coeficiente de aderência longitudinal [adm]

f_t – Coeficiente de aderência transversal [adm]

$G_{curvatura}$ – Grau de curvatura [º]

i – Inclinação transversal [%]

$i_{long}^{máx}$ – Inclinação longitudinal máxima [%]

l – Comprimento da clotóide [m]

L – Comprimento total da curva de transição [m]

Ld – Comprimento do disfarce da sobre-elevação em alinhamento reto [m]

$L_{separador\ central}$ – Largura do separador central [m]

l^{via} – Largura de uma via [m]

L' – Comprimento total do disfarce da sobre-elevação [m]

$p_{máx}$ – Distância máxima vertical entre a reta e a curva circular [m]

p_{min} – Distância mínima vertical entre a reta e a curva circular [m]

r – Raio da clotóide [m]

R – Raio [m]

$R_{min}^{côncava}$ – Raio mínimo da concordância côncava

$R_{min}^{convexa}$ – Raio mínimo da concordância convexa

S_{an} – Sobreaceleração centrifuga [m/s^3]

Se – Sobre-elevação [%]

$Se^{máx}$ – Sobre-elevação máxima [%]

$t_{decisão}$ – Tempo de decisão [s]

$t_{reação}$ – Tempo de reação [s]

V – Velocidade [km/h]

V_{base} – Velocidade Base [km/h]

$V_{inicial}$ – Velocidade da circulação inicial [km/h]

V_{limite} – Velocidade Limite [km/h]

$V_{limite\ legal}$ – Velocidade Limite Legal [km/h]

V_{marcha} – Velocidade de marcha [km/h]

$V_{tráfego}$ – Velocidade de trafego [km/h]

V_{85} – Velocidade não impedida [Km/h]

α – Ângulo de deflexão [Grados]

δ – Amplitude da derivada do disfarce da sobre-elevação, no ponto inicial da clotóide [%]

$\Delta i_{máx}$ – Inclinação máxima no disfarce da sobre-elevação linear [%]

Δi_{min} – Inclinação máxima no disfarce da sobre-elevação linear [%]

Ω – Ângulo de desvio do alinhamento curvo [rad]

AASHTO – American Association of State Highway and Transportation Officials

FEUP – Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto

GEG – Gabinete de Estruturas e Geotecnia

INIR – Instituto de Infraestruturas Rodoviárias

JAE – Junta Autónoma de Estradas

SCT – Secretaría de Comunicaciones y Transportes

USA – United States of America

NA – Normas Americanas

NM – Normas Mexicanas

NP – Normas Portuguesas

adm – Adimensional

n.a. – Não aplicável

1
INTRODUÇÃO

1.1. FUNDAMENTOS E ENQUADRAMENTO DO TEMA

A rede viária é consequência da necessidade intrínseca do crescimento da civilização humana, que por sua vez, é fomentada pela pressão económica e social. Ao longo dos tempos, uma série de factos importantes incorporam a história da engenharia civil, nomeadamente a engenharia rodoviária.

Cerca de 10 000 a.C., os humanos traçavam "caminhos" em terra-batida. Em 4000 a.C., impulsionados pelo aparecimento da roda, surgem as primeiras estradas em pedra no Médio Oriente e as primeiras estradas de troncos em Glastonbury, em Inglaterra. Por volta de 2000 a.C., em Creta, a Civilização Minoica constrói uma extensa estrada em pedra de 50 km, com drenos longitudinais, de vinte centímetros de espessura, constituídos por seixos rodeados numa argamassa argilosa. Esta estrada consistia numa superfície de 4 metros de camadas basálticas e pedaços de argamassa de calcário, simulando uma berma (Lay, M.G., 1992).

No Império Romano, 27 a.C. - 476 d.C., as calçadas romanas eram cruciais para o rápido movimento das tropas romanas e para o desenvolvimento económico e social. Contudo, a engenharia rodoviária estagnou após o declínio de Roma. Por volta do século VIII, em Bagdad surgiram as primeiras estradas constituídas por alcatrão (Ajram, K., 1992), mas só após a Idade Média, já no século XVII, as estradas começaram a evoluir a partir do conhecimento romano. Em Portugal, a rede viária tomou particular interesse com D. Maria I no século XVIII, mas a grande intervenção nas atuais estradas nacionais só foi realizada no século XIX, por intercessão de Fontes Pereira de Melo. Neste período temporal, abarcado pela Revolução Industrial, surgiram novas técnicas de construção de estradas como o macadame hidráulico, do Eng. John McAdam (Lay, M.G., 1992). Todavia, logo antes do século XX, surge o macadame betuminoso que é determinante para as "estradas modernas", fomentado pela crescente utilização do veículo rodoviário.

No século XX, o sistema construtivo mudou drasticamente devido à crescente inovação tecnológica, que associado às guerras mundiais, despoletou a necessidade de movimentar as tropas o mais rápido possível, dando origem ao desenvolvimento de "autoestradas", por volta de 1920. As primeiras autoestradas americanas foram inauguradas em Nova Iorque em 1920, no entanto a primeira autoestrada do mundo já tinha sido construída em pavimento rígido nos USA, *A Long Island Motor Parkway*, em 1908, por um empresário amante de corridas (Patton, P., 2008). Na Itália, a primeira autoestrada foi aberta em 1925, posteriormente, a Alemanha construiu a *autobahn*, em 1932, mas no Reino Unido só surgiu em 1950, devido à hegemonia da ferrovia.

O ano de 1926 ditou o início da Ditadura em Portugal e a criação da Junta Autónoma das Estradas, reconduzindo a uma reclassificação da rede viária das estradas. No entanto, a grande evolução das

estradas portuguesas modernas só tomou rumo após a morte de Duarte Pacheco, em 1943, "o ponto de chegada de um ciclo emblemático para a Engenharia portuguesa no domínio das Obras Públicas, nomeadamente no caso das estradas"(Andrade, A.A., 2002, 15). É através da sua ideologia inspiradora que a primeira autoestrada portuguesa surgiu em 1944, entre Lisboa e o Estádio Nacional. Os investimentos no setor rodoviário ficaram estagnados desde a década 60 até ao fim da década de 70, que foi pautada pela guerra colonial, pela guerra no Médio Oriente e o fim da ditadura. Após a instalação do regime democrático, a autoestrada aí existente ficou a ligar Lisboa ao Porto em 1982. Todavia, esta só ficou totalmente concluída em 1991, tendo sido promovida por fundos europeus relativos à integração de Portugal na União Europeia. Desde 1991, a rede nacional de autoestradas intensificou-se de tal ordem, que Portugal é o país da União Europeia com maior número de quilómetros por habitante e área. Veja-se, na década de 60 existiam 40 km, em 1988 existiam 235 km, em 1992 existiam 1408 km, e em 2001, cerca de 2875 km de autoestradas (Pacheco, E., 2001). Hoje em dia, estima-se cerca de 3029 km de autoestradas (Wikipédia, 2014). Tal facto, ocorrido num curto espaço de tempo, associado à atual severa crise económica, leva a crer que possa estar a alimentar a dívida pública de Portugal, através das parcerias público privadas, que revela má gestão dos dinheiros públicos.

Tendo como argumento a pesquisa histórica realizada, é possível obter três conclusões quanto ao potencial de desenvolvimento da engenharia rodoviária. Primeiro, refira-se que a rede de estradas de um país está intrinsecamente ligado ao seu desenvolvimento. Segundo, as técnicas usadas nas estradas existentes correspondem a conhecimentos acumulados em milhares de anos, que devido a crises politicas, económicas ou sociais, esteve estagnado no tempo e possui um grande potencial de evolução, incitado pela tecnologia atual e a "paz mundial" existente. Terceiro, a globalização do mundo atual forja uma expansão dos atuais países em desenvolvimento, os quais precisam desesperadamente de vias que suportem os meios de transporte que permitam o crescimento económico dessas regiões.

É nesta linha de pensamento que esta dissertação se enquadra. Pode-se afirmar que a globalização é uma realidade do século XXI, e que em Portugal existe um excelente conhecimento rodoviário desenvolvido nas últimas décadas. O contexto económico português, que atualmente é adverso, aporta uma necessidade de internacionalização, o que implica estudar normativos estrangeiros de forma a projetar estradas nesses países. Estes factos originaram esta dissertação, em parceria com o GEG, que visa a comparação do projeto rodoviário de autoestradas do México com o caso português. Na análise comparativa dos dois normativos (Portugal e México) e a respetiva reflexão crítica dos mesmos, utiliza-se o normativo dos Estados Unidos da América, pela influência que têm no normativo mexicano, e alguns valores europeus, como ponto de comparação entre a Europa e a América.

Em síntese, apresentam-se como temas abordados neste trabalho:

1. Normativo existente nos três países (Portugal, USA e México) e sua reflexão crítica;
2. Estudo do impacto das diferenças normativas evidenciadas entre Portugal e México no projeto rodoviário – casos práticos;
3. Adaptação de uma análise multicritério nos casos práticos, com o objetivo de comparar e selecionar o melhor projeto (normativo).

1.2. PROBLEMÁTICA, ESTRATÉGIAS E OBJETIVOS

O trabalho desta dissertação pretende esclarecer e dar resposta a três questões:

- As normas de traçado são muito diferentes entre Portugal e México? Quais as principais diferenças?
- Qual o melhor normativo em termos de segurança e de comodidade?
- O investimento económico pode estar relacionado com normativo adotado?

As hipóteses, que se querem desenvolver e mostrar nesta dissertação, em resposta a cada questão mencionada, são:

- As Normas Mexicanas têm princípios-base comuns às Normas Portuguesas. O que diferencia os dois normativos são os valores dos parâmetros que asseguram os valores normativos.
- As Normas de Portugal são as mais conservativas. Estas garantem facilmente o critério da comodidade e por isso asseguram com mais facilidade o critério da segurança.
- A economia de uma infraestrutura rodoviária é influenciada pelo normativo utilizado. A adoção de um determinado normativo aporta consigo diferenças em valores de parâmetros normativos que comprometem a geometria da estrada (como seja a diretriz, a rasante e o perfil transversal). Estes parâmetros influenciam, por exemplo, o volume de terras, as áreas de expropriação, o volume de betume necessário, entre outros.

As estratégias adotadas nesta dissertação consistem em revisão bibliográfica e comparação das normas de traçado (capítulo 2), projetos rodoviários em casos de estudo (capítulo 3), adaptação de uma análise multicritério (capítulo 4) e reflexões/conclusões dos normativos e da economia que lhe possam estar associados (capitulo 5).

O trabalho desta dissertação insere-se no âmbito da engenharia rodoviária de projeto e contém dois temas principais, cada um associado a dois objetivos gerais:

- Normativo

- Comparação entre diferentes normas geométricas rodoviárias

- Identificação das principais diferenças dos parâmetros geométricos que suportam as normas

- Caso Prático

- Análise do enquadramento internacional do projeto rodoviário

- Aplicação a caso de estudo internacional

1.3. ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO

Esta dissertação está estruturada em cinco capítulos.

No presente Capítulo «Introdução», a Engenharia rodoviária é enquadrada a nível internacional, fundamentada por factos históricos a partir dos quais esta se desenvolveu ao longo da História, e é avaliado e justificado o seu potencial de desenvolvimento. Referem-se as problemáticas e as estratégias adotadas, bem como as temáticas abordadas e os objetivos do trabalho. Por último, apresenta-se a estruturação da dissertação.

No Capítulo 2 «Normativo: Portugal, México e USA» estão apresentadas as diferenças entre os normativos de Portugal, México e também o normativo dos Estados Unidos da América, confrontando-se alguns valores europeus. Por fim, é apresentada a reflexão crítica da análise realizada.

No Capítulo 3 «Casos de Estudo», são realizados projetos rodoviários de seis casos de estudo, dimensionados segundo um dos normativos: Portugal ou México. É apresentada uma análise comparativa dos resultados genéricos dos projetos, tanto geometricamente como a nível de movimentos de terras e de acelerações. No fim apresenta-se uma reflexão geral dos resultados obtidos.

No Capítulo 4 «Análise Comparativa de Projetos Rodoviário», apresenta-se uma breve descrição do estado de arte, referenciando alguns modelos de otimização existentes. É apresentado um artigo científico que propõe uma análise multicritério para projetos rodoviários, e de seguida, é realizado um desenvolvimento dessa análise relacionado com a "funcionalidade", ou seja, relacionado com o desempenho geométrico do projeto rodoviário em termos de segurança e comodidade. Posteriormente, a análise desenvolvida é aplicada aos casos de estudo do capítulo anterior. Por fim, é apresentada uma breve reflexão crítica da análise multicritério proposta.

No Capítulo 5 são apresentadas as «Conclusões finais e perspetivas futuras» desta dissertação.

2
NORMATIVO: PORTUGAL, MÉXICO E USA

2.1. INTRODUÇÃO

Neste capítulo caracteriza-se o normativo existente em Portugal e no estrangeiro, nomeadamente no México e nos USA, relativamente ao projeto geométrico de autoestradas. Com base nos parâmetros exigidos em cada norma, são expostos e comparados, os valores de cálculo e de projeto, referenciando em paralelo alguns valores europeus.

Do ponto de vista do planeamento, a acessibilidade e a mobilidade são duas funções preponderantes que as infraestruturas de transportes devem assegurar. A rede viária é constituída por vias arteriais, vias coletoras e vias locais. Deste modo, as vias arteriais (autoestradas) garantem a mobilidade e as vias locais (estradas municipais) permitem a acessibilidade. As vias coletoras (estradas nacionais) tentam garantir um equilíbrio entre as duas funções referidas anteriormente. Uma "autoestrada" pode ser definida como uma rodovia para veículos motorizados, circulando em dois fluxos opostos, com faixas de rodagem separadas e a velocidades relativamente elevadas, não existindo qualquer intersecção de nível. As autoestradas permitem a mobilidade de 50000 habitantes (zonas urbanas) ou 25000 habitantes (restantes zonas), devendo respeitar níveis de serviço mínimos (AASHTO, 2011).

Atualmente em Portugal, as autoestradas estão classificadas em quatro tipos (INIR, 2008):

- **autoestrada interurbana**, destinada a tráfego de médio e longo curso (nós de acesso espaçados de 8 km);
- **autoestrada interurbana em topografia difícil**, semelhante ao conceito anterior, desenvolvida em condições topográficas adversas, de extensões superiores a 10 km e com menor homogeneidade geométrica (nós de acesso 8 km);
- **autoestrada suburbana**, incluída no PRN (2000), ao longo da periferia urbana, que assegura os movimentos pendulares da área metropolitana e o tráfego interurbano (nós de acesso 2 km);
- **autoestrada urbana**, incluída no PRN (2000), em "zona urbana ou periurbana, que assegura a difusão do tráfego metropolitano e interurbano" (INIR, 2008, 2) (nós de acesso 1,5 km).

No México, as vias arteriais ou primárias estão divididas em dois tipos, correspondendo segundo a classificação do tipo de estrada mexicana em A_4 ou A_{4S} (SCT, 2004):

- **autopistas**, definidas com pelo menos duas vias por sentido e com TDMA superior a 5000 veículos;
- **vías rápidas**, menos restritas quando ao número de vias, acessos, e com TDMA entre 3000 a 5000 veículos.

É de referir que, apesar do função primordial de uma autoestrada ser a mobilidade e a circulação rodoviária em fluxo de tráfego praticamente livre, no México, é comum, em autoestradas existentes, haver caminhos particulares que ligam a quintas ou a casas, por exemplo, pelo que não se pode afirmar que existam ou não intersecções de nível.

Nos USA, as vias arteriais, que se assemelham ao conceito de "autoestrada", estão divididas em três grupos (FHT, 2013):

- **interstates**, ocupam o maior nível na classificação funcional de mobilidade, com duas faixas de rodagem separadas;
- **freeways and expressways**, com vias direcionais que garantem elevada mobilidade separadas por barreiras físicas;
- **urban and rural arterials**, normalmente servem os centros metropolitanos, com elevada mobilidade, garantindo os movimentos pendurares ou então servem diretamente alguns centros em zonas rurais.

É pertinente salientar que a distância entre os nós de acesso nas autoestradas americanas é cerca de 1,5 km para áreas urbanas e 5 km para áreas rurais. Em áreas urbanas é possível que haja acessos inferiores a 1,5 km, que ligam a vias coletoras de distribuição de tráfego (AASHTO, 2005).

No projeto rodoviário, o "estudo do traçado é um problema complexo, fundamentalmente pela subjetividade e indeterminação que, à partida, se apresentam como características dominantes" (França, A., n.d.-b). O projetista é confrontado com inúmeros fatores que merecem ponderação no momento da escolha do traçado, cujas condicionantes incluem: o programa preliminar fornecido pelo dono da obra, as características técnico-geométricas, topografia, a hidrologia, a geotecnia, a urbanização e ocupação do solo, o impacte ambiental, o investimento económico e alguns fatores sociais.

No programa preliminar fornecido pelo dono de obra são definidas as características gerais do empreendimento, os pontos fixos e os elementos básicos que permitem a definição das características geométricas mínimas e máximas, ou seja, a velocidade de projeto pretendida e o nível de serviço desejado. O primeiro parâmetro compromete as características geométricas em planta e em perfil longitudinal. O segundo tem impacto sobretudo no perfil transversal.

As características técnico-geométricas correspondem ao normativo de cada país, ou seja, são valores normativos indiretamente impostos como mínimos e que o projetista tem obrigatoriamente que cumprir. Estas definem os alinhamentos retos e curvos, de forma a integrar as características geométricas e funcionais da estrada com as restantes condicionantes do projeto.

Convém ainda salientar que, na secção 2.2 deste capítulo definem-se os elementos básicos do projeto e expõem-se os valores normativos de cada um. De seguida, aborda-se as características técnico-geométricas, começando pela secção 2.3, o traçado em planta, a secção 2.4, correspondente à geometria do perfil longitudinal. No que diz respeito à secção 2.5, esta aborda a questão do perfil transversal. Na secção 0, explanam-se algumas particularidades das autoestradas. Finalmente, na secção 2.7, há uma reflexão crítica da comparação entre os normativos expostos.

2.2. ELEMENTOS BÁSICOS DE PROJETO

É de referir que este assunto já foi iniciado na secção anterior, pois alguns dos elementos básicos chegam ao projetista através do programa preliminar, fornecido pelo dono de obra. A categoria da

estrada, o tráfego, os acessos (nomeadamente os nós de ligação), a velocidade de projeto e a visibilidade são elementos fulcrais para a concretização do projeto.

De todos os elementos básicos estabelecidos em cada normativo, para este trabalho em concreto, referir-se-ão os mais relevantes, ou seja, a velocidade, o tráfego e a visibilidade.

2.2.1. VELOCIDADE

Do ponto de vista do utilizador, a velocidade caracteriza diretamente a mobilidade, tendo, regra geral, um papel determinante na escolha da melhor rota ou do melhor meio de transporte. Segundo o *Green Book* da AASHTO (2011), a velocidade dos veículos na via rodoviária depende genericamente de quatro fatores: das características geométricas da autoestrada e sua envolvente; da concentração de veículos, ou seja do número de veículos por km; das condições meteorológicas e do limite máximo de velocidade.

A via rodoviária deve ser projetada com uma velocidade que satisfaça todos os utilizadores de forma segura, cómoda e económica. Esta velocidade não deve ser definida para a velocidade máxima, uma vez que só uma pequena percentagem de utilizadores a pratica (não é económico), nem para uma velocidade baixa, com base em condições desfavoráveis como o mau tempo meteorológico, porque para além da infraestrutura se tornar ineficiente e possivelmente insegura, não iria corresponder à expectativa do utilizador.

2.2.1.1. Considerações normativas

As Normas Portuguesas (NP), nomeadamente as elaboradas pelo INIR (2010) (realizadas com base nas normas anteriores das JAE (1994)), fazem referência a 3 conceitos de velocidade: velocidade base, velocidade de circulação não impedida e velocidade de tráfego.

A **velocidade base** corresponde à velocidade mínima fixada no projeto que deverá ser garantida em todo o traçado, uma vez que define os parâmetros geométricos da via rodoviária.

A **velocidade de circulação não impedida** corresponde à velocidade livre a que circula um veículo ligeiro num troço da estrada sem condicionantes provenientes de outros condutores e outros fatores, admitindo que o escoamento apenas é condicionado pelas características geométricas da estrada. O tratamento estatístico deste conceito acrescenta dois conceitos: *velocidade média de circulação não impedida* e *velocidade não impedida*, correspondendo respetivamente à média aritmética e ao "percentil 85" da distribuição estatística da velocidade de circulação não impedida, ou seja, a velocidade é excedida por 15% dos veículos.

A velocidade não impedida corresponde a uma velocidade de tráfego que reflete a dinâmica de traçado, caracterizando a homogeneidade geométrica do traçado. Como o estudo estatístico da velocidade não impedida requer o tratamento de um volume de dados numeroso e de difícil recolha, a **velocidade de tráfego** é indexada à velocidade base.

Para o projeto rodoviário, as NP consideram a velocidade base e a velocidade de tráfego.

As Normas Americanas (NA), nomeadamente as elaboradas pela AASHTO (2011), distinguem 3 conceitos de velocidade:

- **Velocidade de operação**, equivalente à velocidade não impedida (INIR, 2010), designada no *Highway Capacity Manual* (HCM) como *free flow speed (TRB, 2010)*;
- **Velocidade de marcha**, que corresponde à velocidade que um veículo circula num determinado troço, correspondendo à divisão do comprimento do troço pelo tempo necessário para o atravessar, que não inclui as paragens decorrentes dos sistemas de regulação de tráfego. A velocidade de marcha caracteriza a qualidade de serviço da estrada. O valor da média das velocidades de marcha é utilizado para a análise económica;
- **Velocidade de projeto**, equivalente à velocidade base das Normas Portuguesas.

No projeto rodoviário, as NA consideram apenas a velocidade de projeto.

As Normas Mexicanas (NM), nomeadamente as elaboradas pela SCT (1991), definem 6 conceitos de velocidade:

- **Velocidade de secção** corresponde à velocidade média no tempo dos veículos que passam numa secção durante um certo intervalo de tempo;
- **Velocidade de marcha**, cujo conceito é similar à velocidade de marcha das NA;
- **Velocidade de operação** que corresponde à máxima velocidade que um veículo pode circular num determinado troço da via, com baixo tráfego automóvel e com baixas condições atmosféricas, nunca ultrapassando a velocidade de projeto;
- **Velocidade global**, semelhante ao conceito da velocidade de marcha, mas o tempo considerado inclui o atraso médio desse troço, resultante dos sistemas de regulação de tráfego;
- **Velocidade de projeto**, equivalente à velocidade base/projeto das NP e NA;
- **Velocidade de projeto ponderada** que constitui uma velocidade representativa de um troço de estrada. Esta corresponde à média ponderada das diferentes velocidades de projeto, sendo o peso correspondente às extensões dos elementos constituintes desse troço.

No projeto rodoviário mexicano, apenas é considerado a velocidade de projeto e a velocidade de marcha.

No Quadro 2.1 estão apresentadas as principais diferenças na consideração da velocidade do projeto rodoviário. A velocidade base/projeto é comum nas três normas, porém Portugal e México utilizam outro conceito de velocidade para a visibilidade e as concordâncias verticais. As NP utilizam a velocidade de tráfego representada através do "percentil 85" que é superior à velocidade base. As NM utilizam a velocidade de marcha, que é inferior à velocidade base.

Quadro 2.1 - Velocidade normativa no projeto rodoviário

		Portugal		USA	México	
		Velocidade Base	Velocidade de Tráfego	Velocidade Base/Projeto	Velocidade Base/Projeto	Velocidade de Marcha
Planta	Distâncias de visibilidade		**X**	**X**		**X**
	Raio mínimo em planta	**X**		**X**	**X**	
Perfil Longitudinal	Inclinação máxima do trainel	**X**		**X**	**X**	
	Raio mínimo das concordâncias verticais		**X**	**X**	**X**	
Perfil Trans.	Perfil Transversal Tipo	**X**		**X**	**X**	

2.2.1.2. Velocidade Base

A escolha da velocidade base ou velocidade de projeto deverá ter em conta a topografia, o uso de solo envolvente e a categoria/função da estrada projetada, correspondendo à expectativa do utilizador. Regra geral, quanto maior for o valor da velocidade base adotada, maior será a segurança, mobilidade e eficiência, de acordo com o impacto de qualidade ambiental, económico, social e político. Esta velocidade, bem como a categoria funcional da estrada poderá ser utilizada para o estabelecimento da velocidade limite legal. Esta última poderá, no futuro, ser aumentada desde que a estrada tenha características geométricas compatíveis com a velocidade base.

A velocidade base determina as características geométricas da autoestrada, por exemplo, o raio mínimo em planta, a inclinação máxima dos trainéis e o perfil transversal tipo, sobre-elevação e as distâncias de visibilidade. A largura das vias e bermas não são diretamente afetados pela escolha da velocidade, mas estudos (Melo, P. [et al.], 2012) mostram que estas influenciam a velocidade livre impedida, ou seja, a velocidade de tráfego.

Em Portugal, a velocidade base possui incrementos de 20 km/h. Nos USA e no México, os incrementos são de 10 km/h, que equivale a incrementos de 5 mph. Esta abordagem pode tornar-se vantajosa por utilizar valores intermédios, existindo diferenças geométricas menos significativas caso a velocidade base varie ligeiramente ao longo do traçado (SCT, 1991). Veja-se o Quadro 2.2, no qual se apresentam as velocidades base praticadas nos três países.

Quadro 2.2 – Limites da velocidade base [km/h]

	Portugal	USA	México
Limite Mínimo	80	80	80
Limite Máximo	**140**	**130**	**110**

Dependendo da categoria de uma estrada portuguesa, para zonas mais rurais adotar-se-á 100 km/h, particularmente em ambientes topográficos mais difíceis, e 120 km/h para autoestradas cujo objetivo é a mobilidade, ou seja, elevada velocidade de tráfego.

O *Green Book* toma algumas considerações da escolha da velocidade base. Para autoestradas americanas em zonas rurais, o valor normal a adotar será 100 km/h, com valor máximo de 110 km/h. Para autoestradas com elevada velocidade de operação, o valor desejável será 110 km/h (AASHTO, 2011).

As Normas Mexicanas têm uma visão peculiar quanto à escolha da velocidade base. Esta limita os valores máximos da velocidade base para a ordem dos 110 km/h, porque defende que aumento da velocidade base não tem influência significativa na velocidade de marcha, e como tal, não se torna económico utilizar maiores valores de parâmetros geométricos, indicando uma visão de custo-benefício muito vincada (SCT, 1991, 108).

A classificação apresentada na secção 2.1 e a relação com a máxima velocidade base apresentam-se no Quadro 2.3, elaborado com base em dados do INIR (2008), da AASHTO (2005) e da SCT (2004).

Quadro 2.3 - Velocidade base [km/h] conforme a classificação das auto-estradas

			Velocidade Base	Limite de Velocidade
Portugal	Autoestradas interurbanas		140	120
			120	120
	Autoestradas interurbanas em topografia difícil		80	100 (80, se R_{planta} <450 m)
	Autoestradas suburbanas		100	100
	Autoestradas urbanas		80	80
USA	Interstates		120	110
	Freeways & Expressways		110	100
	Other Principal Arterials	Urban Arterials	80	80
		Rural Arterials	110	110
México	Autopistas		110	110
	Vías rápidas		110	110

2.2.1.3. Velocidade de Tráfego

A velocidade de tráfego é um parâmetro considerado apenas nas Normas Portuguesas e esta é calculada a partir da velocidade base escolhida, admitindo apenas que 15% dos veículos a excedem.

A velocidade de tráfego é superior à velocidade base e pode ser vista como um valor crítico de velocidade de circulação quando as condições atmosféricas e de tráfego são favoráveis, «já que se verificou que velocidades superiores são normalmente perigosas para as condições existentes» (JAE, 1994, 24).

Quadro 2.4 – Relação entre Velocidade Base e Velocidade de Tráfego [km/h] (INIR, 2010) - NP

Velocidade Base	Velocidade de Tráfego
80	100
90	110
100	120
110	125
120	130
130	135
140	140

O Quadro 2.4 estabelece a relação entre os dois conceitos base de velocidade considerados no projeto rodoviário português.

No caso do México e de alguns Estados Norte-Americanos, há que referir que estes limitam o valor máximo de velocidade base para 110 km/h, correspondendo a uma velocidade de tráfego de 125 km/h. De alguma forma, estes valores parecem bem razoáveis em termos de velocidade de tráfego, mas as NP são mais rigorosas em termos de segurança.

2.2.1.4. Velocidade de Marcha

A velocidade de marcha é um parâmetro apenas considerado para o projeto nas Normas Mexicanas, que é calculada a partir de um estudo de tráfego que relaciona a velocidade base de projeto com a velocidade de marcha (Quadro 2.5).

Quadro 2.5 – Relação entre Velocidade Base e Velocidade de Marcha [km/h] (SCT, 1991) - NM

Velocidade Base	Velocidade de Marcha		
	Tráfego Baixo	Tráfego Médio	Tráfego Elevado
80	**71**	66	57
90	**79**	73	59
100	**86**	79	60
110	**92**	85	61

Para os parâmetros geométricos do projeto rodoviário calculados com base nesta velocidade, as Normas Mexicanas admitem o tráfego mais baixo, ou seja, a velocidade de marcha mais elevada (a negrito).

2.2.2. TRÁFEGO

Para o projeto rodoviário, o tráfego possui um carácter fulcral na determinação das características geométricas do perfil transversal. O nível de serviço e o volume horário de projeto são dois parâmetros fundamentais, definidos à priori da geometria do projeto rodoviário.

2.2.2.1. Níveis de serviço

De acordo como referido na secção 2.1, e apenas em carácter informativo, apresentam-se no Quadro 2.6 os níveis de serviço especificados no HCM (2010), que devem ser garantidos pelos diferentes tipos de autoestradas.

O Quadro 2.6 foi elaborado com base em dados fornecidos pelo INIR (2008), pela SCT (1991) e pela FHT (2013).

Quadro 2.6 - Considerações normativas de níveis de serviço mínimos

				Nível de Serviço mínimo a garantir					
				A	B	C	D	E	F
Portugal	Autoestradas interurbanas		V_{base}≈140 km/h		X				
			V_{base}≈120 km/h			X			
	Autoestradas interurbanas em topografia difícil		V_{base}≈80 km/h			X	X		
	Autoestradas suburbanas		V_{base}≈100 km/h			X			
	Autoestradas urbanas		V_{base}≈80 km/h			X	X		
USA	Interstates		V_{base}≈120 km/h		X				
	Freeways & Expressways		V_{base}≈110 km/h			X			
	Other Principal Arterials	Urban Arterials	V_{base}≈80 km/h				X		
		Rural Arterials	V_{base}≈110 km/h		X	X			
México	Autopistas e vías rápidas		V_{base}≥ 95 km/h	X					
			90 ≤V_{base}< 95 km/h		X				
			80 ≤V_{base}< 90 km/h			X			

2.2.2.2. Volume horário de projeto

Nos três normativos existe consenso, sendo que "o volume horário de projeto deve ser definido para o ano horizonte, o qual deve corresponder ao múltiplo de cinco mais próximo que se obtém adicionando vinte anos à data prevista para a abertura ao tráfego da estrada" (INIR, 2010, 4).

2.2.3. VISIBILIDADE

A visibilidade é importante porque tem consequências na segurança e eficiência da circulação rodoviária, coexistindo em planta e no perfil longitudinal. Em excesso, poderia proporcionar aos condutores a prática de velocidades excessivas, e em defeito não permitira, a título de exemplo, realizar manobras de ultrapassagem de forma segura e eficiente.

2.2.3.1. Considerações normativas

Todas as normas de traçado apresentam conceitos de distâncias de visibilidade semelhantes.

As Normas Portuguesas e as Normas Americanas apresentam três distâncias de visibilidade:

- **Distância de visibilidade de paragem**;
- **Distância de visibilidade de decisão**;
- Distância de visibilidade de ultrapassagem.

As Normas Mexicanas não abordam a distância de visibilidade de decisão.

As Normas Americanas da AASHTO (2011) apresentam um critério de medida das distâncias de visibilidade para ser usado no projeto, que as NM também fazem referência.

Como a presente dissertação incide no projeto rodoviário de autoestradas, não tem sentido abordar a distância de visibilidade de ultrapassagem, uma vez que, a distância necessária para um veículo realizar a ultrapassagem em estradas de duas vias não é necessária em autoestradas, com uma faixa de rodagem por sentido.

Para o cálculo das distâncias de visibilidade é considerado a velocidade de tráfego nas NP, a velocidade base nas NA e a velocidade de marcha nas NM.

2.2.3.2. Distância de visibilidade de paragem

A distância de visibilidade de paragem corresponde à distância mínima que um condutor, circulando a uma determinada velocidade, após ter reconhecido um obstáculo na via, necessita para realizar a paragem do veículo em segurança. Esta distância deve estar assegurada em qualquer ponto do traçado.

A determinação da distância de visibilidade de paragem considera dois termos. O primeiro termo refere-se à distância percorrida durante tempo de reação do condutor, desde o instante que vê o obstáculo até que carrega no pedal do travão. O segundo termo refere-se à distância de frenagem que é função da velocidade. A distância de visibilidade de paragem resulta da expressão (2.1) (SCT, 1991, 113).

$$D_{paragem} = \frac{V}{3.6} t_{reacção} + \frac{V^2}{254(f_l \pm i_{long})} \quad (2.1)$$

No Quadro 2.7 apresentam-se, de acordo com o normativo de Portugal e do México, os valores que suportam o cálculo das distâncias de visibilidade de paragem, de acordo com o INIR (2010) e a SCT (1991).

Quadro 2.7 – Parâmetros que suportam o cálculo da distância de visibilidade de paragem - NP e NM

Velocidade Base [km/h]	Portugal			México		
	$V_{tráfego}$ [km/h]	$t_{reação}$ [s]	f_l	V_{marcha} [km/h]	$t_{reação}$ [s]	f_l
80	100	2,0	0,32	71	2,5	0,310
90	110		0,32	79		0,305
100	120		0,32	86		0,300
110	125		0,31	92		0,295
120	130		0,31			
130	135		0,27			
140	140		0,25			

As NP admitem como tempo de reação 2 segundos, tal como a maioria dos países europeus, à exceção da Itália, que considera 1,2 segundos (O'Cinnéide, D. [et al.], 1993). Estes valores contrastam com os 2,5 segundos admitidos pelo México, como é possível verificar no Quadro 2.7.

Em relação aos coeficientes de aderência longitudinais admitidos por Portugal, encontram-se na média europeia, contrastando com a Suécia que admite valores mais elevados como 0,37 e 0,34, para 100 km/h e 120 km/h (O'Cinnéide, D. [et al.], 1993).

As Normas Americanas apresentam outra abordagem para determinar a distância de frenagem, com base na desaceleração necessária para parar o veículo, cerca de 3,4 m/s^2 (AASHTO, 2011). Esta desaceleração, constante para qualquer velocidade, equivale a um coeficiente de aderência longitudinal de 0,35, sendo este menos conservativo.

A combinação destes parâmetros implica uma distância mínima, admitindo que a estrada se encontra em patamar (i_{long}=0%). O Quadro 2.8 apresenta os valores que resultam da aplicação da expressão (2.1), bem como os valores normativos (a negrito).

Quadro 2.8 – Valores normativos da distância de visibilidade de paragem

Velocidade Base [km/h]	Portugal			USA		México			
	$V_{tráfego}$ [km/h]	$D_{paragem}$ [m]		$D_{paragem}$ [m]		V_{marcha} [km/h]	$D_{paragem}$ [m]		
		Cálculo	Norma	Cálculo	Norma		Cálculo	Norma	Recomendado
80	100	178,6	**180**	129,0	**130**	71	113,3	**115**	140
90	110	210,0	**220**	155,4	**160**	79	135,4	**135**	170
100	120	243,8	**250**	184,2	**185**	86	156,8	**155**	205
110	125	267,9	**280**	215,2	**220**	92	176,8	**175**	204
120	130	286,9	**320**	248,5	**250**				
130	135	340,7	**330**	284,1	**285**				
140	140	386,4	**390**						

Em relação aos valores portugueses é possível inferir duas situações. A primeira diz respeito ao facto de se considerar a velocidade de tráfego, que implica valores mínimos superiores em relação às outras normas, mesmo considerando parâmetros menos conservativos (um tempo de reação do condutor inferior e coeficientes de aderência longitudinal superiores). A segunda reflexão consiste na pouca correlação entre o valor de cálculo e o valor normativo de projeto das NP. Utilizando os valores dos parâmetros da velocidade de tráfego fornecidos pelo INIR, obtém-se um valor de cálculo com arredondamento para valores superiores, com a exceção dos referentes a velocidades elevadas.

As Normas Americanas consideram a velocidade base e uma desaceleração constante, à qual está inerente uma distância menos exigente em relação à portuguesa.

As NM arredondam o valor da distância de paragem para valores mais próximos de 5, por defeito, que corrobora com a teoria económica.

Quanto ao contexto europeu, a normativa atual portuguesa é bastante semelhante à normativa alemã, que para a velocidade base de 100 km/h considera 230 m e para 120 km/h considera 330 m. A Alemanha é o país europeu que possui valores normativos mais elevados, ao contrário da Espanha que para as mesmas velocidades considera 171 m e 221 m, respetivamente. (O'Cinnéide, D. [et al.], 1993)

Antes da revisão das normas do traçado pelo INIR, em 2010, os valores das distâncias de visibilidade de paragem eram medianos em relação aos dois países referidos. Por isso, a maior parte das estradas portuguesas existentes segue a normativa da JAE, com valores menos restritivos de visibilidade.

2.2.3.3. Distância de visibilidade de decisão

A distância de visibilidade de decisão surge porque a distância de visibilidade de paragem revela-se insuficiente quando o condutor necessita tomar uma decisão, mais ou menos complexa. Por exemplo, em situações cuja sinalização não é de compreensão imediata ou quando é necessário realizar manobras inesperadas (AASHTO, 2011). Em autoestradas, esta tem particular importância em zonas de entrecruzamentos ou de diminuição do número de vias, e em zonas de aproximação a portagens, áreas de serviço ou nós de ligação.

O cálculo infra apresentado considera o tempo necessário para que o condutor se aperceba de uma determinada situação, decida e adote uma velocidade mais conveniente para realizar uma determinada manobra, em vez de considerar uma paragem repentina. A expressão matemática encontra-se em (2.2).

$$D_{decisão} = \frac{V}{3.6} * t_{decisão} \tag{2.2}$$

As NP consideram 12 segundos para o tempo de decisão, independentemente da categoria da estrada.

As Normas Americanas consideram que o tempo de decisão difere em cinco classes, função da categoria da estrada, sendo que o valor normativo da distância de visibilidade de decisão apresentado está arredondado em função do valor de cálculo, utilizando a média do intervalo de tempo de reação considerado. Parte-se do princípio que uma autoestrada americana pode ser da categoria D ou E apresentadas pela AASHTO, respetivamente a ambientes urbanos e suburbanos, cujos intervalos de tempo são respetivamente [14; 14,5] e [12,1; 12,9] segundos (AASHTO, 2011).

A distância de visibilidade de decisão não está incluída no Manual da SCT (1991), no entanto, o documento técnico nº 244 da SCT (2004) sugere a inclusão desta nos projetos mexicanos, da mesma forma que é utilizado nos USA.

O Quadro 2.9 compara os valores normativos das distâncias de decisão. A maioria dos valores está arredondada por defeito em relação ao valor de cálculo, uma vez que o tempo de decisão já é arbitrado por excesso. O incremento desta distância não seria benéfico, nem para o projeto nem para a utilização da estrada.

Quadro 2.9 – Valores normativos da distância de visibilidade de decisão

Velocidade Base [km/h]	$V_{tráfego}$ [km/h]	Portugal $D_{decisão}$ [m] ($t_{decisão}$ =12,00s)		USA $D_{decisão}$ [m] Categoria D ($t_{decisão}^{médio}$=12,50s)		Categoria E ($t_{decisão}^{médio}$ =14,25s)	
		Cálculo	Norma	Cálculo	Norma	Cálculo	Norma
80	100	333,3	**330**	277,8	**270**	322,2	**315**
90	110	366,7	**370**	312,5	**315**	362,5	**360**
100	120	400,0	**400**	347,2	**355**	402,8	**400**
110	125	416,7	**410**	381,9	**380**	443,1	**430**
120	130	433,3	**430**	416,7	**415**	483,3	**470**
130	135	450,0	**450**	451,4	**450**	523,6	**510**
140	140	466,7	**470**				

Para as velocidades mais baixas, os valores normativos portugueses são muito semelhantes aos valores americanos da categoria E, que considera um tempo médio de 14,25 segundos e utiliza a velocidade base ou de projeto. Para velocidades base iguais ou superiores a 110 km/h, as NP acabam por tornar-se mais conservativas.

Analisando a categoria D, os valores normativos de Portugal são semelhantes aos dos USA, quando se considera a velocidade base igual à velocidade de tráfego. Por exemplo, para a velocidade base de 100 km/h, ou seja, 120 km/h de velocidade de tráfego, a distância de visibilidade de decisão das NP (400 m) é semelhante à distância proposta nas NA (415 m) com velocidade base de 120 km/h.

Segundo a SCT (2004), os valores recomendados mexicanos são calculados da mesma forma que os USA, no entanto é arredondado à unidade, e não aos múltiplos de 5 mais próximos como os USA admitem.

2.2.3.4. Critério de medida da distância de visibilidade

As NP não fazem referência a este método de medida das distâncias de visibilidade apresentado pela AASHTO, no entanto indicam valores para estes parâmetros, que foram estudados tendo em conta "as características antropométricas da população portuguesa e o parque automóvel do País" (Macedo, A.L.d. [et al.], 2013, 6). Este critério de medida, proveniente dos USA, faz parte integrante do Manual Mexicano (1991).

Este método mede a distância real de visibilidade e pode ser aplicado em zonas mais desfavoráveis, a fim de garantir uma determinada distância mínima de visibilidade. Segundo este critério, a distância de visibilidade é determinada em função das características do traçado em planta e em perfil longitudinal, pelo que é através deste último que o projetista pode ter maiores condicionalismos. Em autoestradas

serve para garantir apenas a distância de visibilidade de paragem, uma vez que a de ultrapassagem não existe.

Para aplicação do método, em primeiro lugar, é fixado a altura dos olhos do condutor e a altura do objeto, conforme o Quadro 2.10.

Quadro 2.10 – Parâmetros do critério de medida das distâncias de visibilidade

	Portugal	USA	México
Altura dos olhos do condutor em relação ao pavimento [m]	1,05	1,08	1,14
Altura do objeto que deve ser visto pelo condutor [m]	0,15	0,60	0,15

É de notar, que apesar da maioria dos carros americanos terem uma altura superior aos carros europeus, a AASHTO (2011) reduziu o valor da altura dos olhos do condutor de 1,30 para 1,08, de acordo com estudos recentes. Não obstante, toma valores menos restritivos para a altura do objeto visto pelo condutor, que é quatro vezes superior à dos restantes normativos.

Segundo dados de O'Cinnéide, D. [et al.] (1993), o valor médio europeu da altura dos olhos do condutor é 1,07 metros e 0,23 metros para a altura do objeto. Para a altura dos olhos do condutor, o máximo de 1,20 metros pertence a Espanha, e o mínimo de 1,05 ao Reino Unido. Para a altura do objeto, o valor máximo é de 0,45 metros adotado na Alemanha, e o valor mínimo é adotado na Áustria e na Finlândia, que admitem valor nulo.

O valor da distância real de visibilidade é medido em perfil longitudinal, conforme se esquematiza na Figura 2.1.

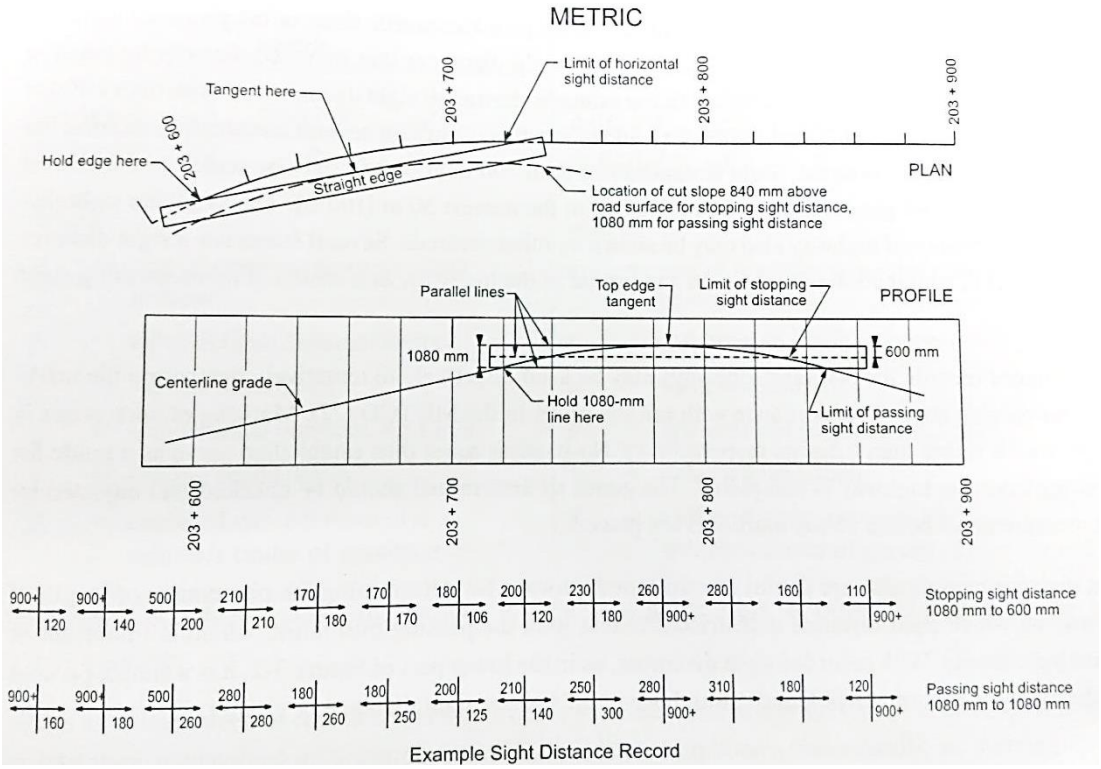


Figura 2.1 - Método de medida da distância de visibilidade (AASHTO, 2011, 3.17)

2.3. TRAÇADO EM PLANTA

O traçado em planta deve ser assegurado através da conjugação de todos os parâmetros geométricos, com base em dois critérios essenciais, a segurança e a economia (custos de construção, conservação e operação), tendo como condicionantes principais a topografia, a comodidade e o impacte ambiental.

Os elementos geométricos que constituem o traçado em planta são os alinhamentos retos e os alinhamentos curvos, dos quais fazem parte as curvas circulares e as curvas de transição. Em autoestradas, os alinhamentos curvos são constituídos por curvas de transição e curva circular simples.

2.3.1. ALINHAMENTOS RETOS

Os alinhamentos retos têm importância significativa em estradas de duas vias para permitir movimentos de ultrapassagem. No caso de autoestradas, a segurança pode ficar comprometida quando se adotam alinhamentos retos extensos, devido à monotonia do traçado, dificultando a concentração, a visão e perceção da velocidade e das distâncias.

Aplicável em autoestradas, as NP definem que a extensão dos alinhamentos retos com inclinação constante deve estar limitada a um tempo máximo de 72 segundos, a fim de reduzir a monotonia do traçado, conforme (2.3).

$$E_{alinhamento\ reto} \leq 20.V_{base} \tag{2.3}$$

Segundo a última revisão, as NP exigem um mínimo de 22 segundos de circulação em alinhamento reto ($6.V_{base}$) (Roque, C.d.A., 2013), no entanto como existe ambiguidade na descrição do tipo de estradas a que se aplica esta exigência (INIR, 2010), considerou-se que tal não se aplicava a autoestradas.

Entre alinhamentos curvos sucessivos, com o mesmo sentido, as NP indicam que a extensão mínima do alinhamento reto seja igual à distância percorrida durante 5 segundos à velocidade específica correspondente ao maior dos raios, caso contrário dever-se-ão substituir por uma só curva.

Os restantes normativos não incluem implicações numéricas, mas apontam algumas recomendações para o projetista tomar, como por exemplo, entre duas curvas circulares inversas com curvas de transição em clotóide, a extensão do alinhamento reto poderá ser nula.

2.3.2. CURVAS CIRCULARES

2.3.2.1. Raio mínimo em planta

O principal parâmetro geométrico do traçado em planta, em alinhamentos curvos, é o raio da curva circular, considerado no normativo de Portugal e dos USA. As Normas Mexicanas usam o conceito *grau de curvatura*; para facilitar a exposição e comparação dos valores normativos, utiliza-se um novo conceito, o *raio mínimo equivalente*. O Quadro 2.11 explicita o parâmetro geométrico considerado em cada normativo.

Quadro 2.11 – Consideração dos normativos em curvas circulares

	NP	NA	NM
Segurança	Raio Mínimo Absoluto	Raio Mínimo	Grau de curvatura
Segurança + Conforto	Raio Mínimo Normal		

O normativo português possui dois conceitos: o raio mínimo absoluto e raio mínimo normal, associado à segurança e ao conforto, respetivamente. Segundo estas, o raio mínimo de uma curva circular deverá ser sempre superior ao raio mínimo normal, quando justificável poderá estar entre ambos, mas nunca inferior ao raio mínimo absoluto.

O raio mínimo (absoluto) calcula-se de acordo com a expressão (2.4)

$$R_{\min} = \frac{V_{base}^{\ 2}}{127(Se + f_t)} \tag{2.4}$$

O conceito *grau de curvatura*, considerado nas NM, corresponde valor do ângulo ao centro, correspondente a um desenvolvimento da curva circular de 20 metros, conforme se explicita na Figura 2.2.

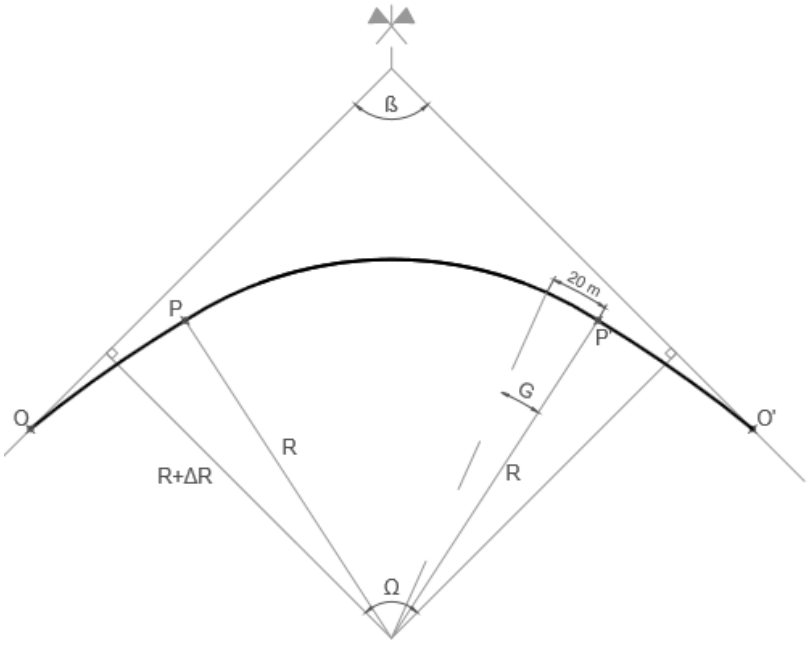


Figura 2.2 - Alinhamento Curvo

Deste modo, a relação entre raio e grau de curvatura encontra-se na expressão (2.5).

$$\frac{G_{curvatura}}{20} = \frac{360º}{2\pi.R} \Leftrightarrow R = \frac{1145{,}92}{G_{curvaatura}} \tag{2.5}$$

O raio mínimo da curva circular é calculado com base na limitação da aceleração não compensada provocada pela curvatura. A velocidade considerada corresponde à velocidade de base ou de projeto. A sobre-elevação considerada corresponde à máxima admitida em cada norma, conforme se analisará na secção 2.5.2. O coeficiente de aderência transversal varia conforme cada normativo.

No Quadro 2.12 estão apresentados os parâmetros normativos dos raios mínimos das curvas circulares.

Quadro 2.12 – Parâmetros que suportam os raios mínimos das curvas circulares

Velocidade Base [km/h]	NP			NA		NM	
	Raio Mínimo Absoluto	Raio Mínimo Normal	$Se_{máx}$	f_t	$Se_{máx}$	f_t	$Se_{máx}$
	f_t	f_t					
80	0.14			0.14		0.140	
90	0,13			0,13		0,135	10%
100	0,12			0,12	8%	0,130	
110	0,10	0,04	7%	0,11		0,125	
120	0,09			0,09			
130	0,08			0,08			
140	0,06						

O raio mínimo normal é uma condição adicional nas NP, relacionado com o conforto e comodidade sentidos pelos passageiros, limitando a aceleração centrífuga (V^2/R) a cerca de 0,11g (≈1,08m/s^2). Esta condição equivale a um coeficiente de aderência transversal de 0,04, para a sobre-elevação máxima admitida de 7%. Isto significa que, a 140 km/h, praticamente não é preciso aderência transversal para circular com comodidade e segurança.

O Quadro 2.13 apresenta os raios mínimos calculados e fixados (a negrito), respeitantes aos três normativos e dispostos por ordem decrescente (Portugal, USA e México).

Quadro 2.13 – Raios mínimos normativos

Velocidade Base [km/h]	Portugal				USA		México		
	Raio Mínimo Absoluto [m]		Raio Mínimo Normal [m]		Raio Mínimo [m]		Grau de Curvatura Máximo [º]		Raio Mínimo Equivalente [m]
	Cálculo	Projeto	Cálculo	Projeto	Cálculo	Projeto	Cálculo	Projeto	
80	239,7	**240**	457,6	450	228,8	**230**	5,46	5,50	**208,35**
90	318,6	**320**	579,2	550	303,4	**305**	4,23	4,25	**269,63**
100	414,0	**420**	715,0	700	393,3	**395**	3,35	3,25	**352,59**
110	559,8	**560**	865,2	850	500,9	**500**	2,71	2,75	**416,70**
120	707,9	**700**	1029,7	1000	666,3	**665**			
130	886,2	**900**	1208,4	1200	830,8	**830**			
140	1185,9	**1200**	1401,5	1400					

O único parâmetro que difere entre os USA e Portugal é a sobre-elevação admitida. A sobre-elevação tem uma forte implicação no raio mínimo admitido em curva circular: quando menor for o limite da sobre-elevação, maior será o raio mínimo necessário para circular em curva com segurança. Sem nenhuma sobre-elevação, o raio mínimo seria da ordem dos 1300-4000 m, para 100 km/h, e 3000-7500 m, para 120 km/h (O'Cinnéide, D. [et al.], 1993).

Quanto ao contexto europeu, o raio mínimo da curva circular encontra-se no intervalo 400-650 m para 100 km/h, e entre 600-1100 m para 120 km/h de velocidade base (O'Cinnéide, D. [et al.], 1993).

Tendo em conta o panorama internacional, a condição excecional considerada nas NP é singular. Apesar de garantir comodidade e uma margem de segurança alargada, autores como a SCT (1991) afirmam que não é economicamente rentável a curto e a longo prazo, utilizar velocidades de projeto elevadas e consequentemente raios grandes, porque, para além de implicar grandes custos de construção (implementação de túneis e viadutos), implicaria maiores custos de exploração (consumo de energia associado a maiores trajetos rodoviários), não tendo grande impacto positivo na segurança rodoviária.

Segundo a classificação das autoestradas apresentada na secção 2.1, o raio mínimo das curvas circulares em planta encontra-se no Quadro 2.14.

Quadro 2.14 – Recomendações dos raios mínimos, consoante a classificação das autoestradas

			V_{limite} [km/h]	V_{base} [km/h]	Raio mínimo em planta [m]
Portugal	Autoestradas interurbanas		120	140	**1200**
				120	**700**
	Autoestradas interurbanas em topografia difícil		100	80	**450**, quando i_{long}≤5%
			80		**240**, quando i_{long}≤5%
	Autoestradas suburbanas		100	100	**450**, quando i_{long}≤5%
	Autoestradas urbanas		80	80	**240**, quando i_{long}≤5%
USA	Interstates		110/120	120	**665**
	Freeways & Expressways		100/110	110	**500**
	Other Principal Arterials	Urban Arterials	80	80	**230**
		Rural Arterials	110	110	**500**
México	Autopistas e vías rápidas		110	V_{base}≥ 95 km/h	**417**
			90	90 ≤V_{base}< 95	**270**
			80	80 ≤V_{base}< 90	**208**

2.3.2.2. Sobrelargura

As Normas Portuguesas admitem a adoção de sobrelargura para alinhamentos curvos com raios inferiores a 200 metros, com valor máximo igual a 145 centímetros (R=55 m, para 40 km/h). Em autoestradas este incremento não se aplica, já que os raios mínimos, compatíveis com as velocidades base aplicadas, são superiores a 200 metros.

As Normas Americanas admitem que, para velocidades elevadas, a sobrelargura seja dispensada. Para velocidades iguais ou inferiores a 100 km/h, a AASHTO (2011) dispõe de tabelas técnicas de sobrelargura que dependem do raio utilizado, da velocidade base, da largura das vias. Estas ainda apresentam um fator de ajustamento relacionado com a categoria do veículo pesado em consideração no projeto.

No Quadro 2.15 apresenta-se os limites de sobrelargura utilizados bem como o raio mínimo para o qual não é necessário adotar sobrelargura nas curvas circulares em planta (sobrelarguras inferiores a

60 cm). Os valores apresentados no Quadro 2.15 estão dimensionados para uma autoestrada de duas vias (2*3,6 m) e um veículo pesado de categoria americana WB-19.

Quadro 2.15 – Sobrelargura, adaptado de AASHTO (2011) - NA

	Velocidade base [km/h]		
	80	90	100
Valor máximo [cm]	180	110	100
Raio mínimo para o qual a consideração da sobrelargura não é obrigatória [m]	500	600	600

O México não atribui um raio máximo para o qual não é preciso acrescentar uma sobrelargura. Na prática, quase todas as curvas circulares têm sobrelargura. Esta sobrelargura está disposta em tabelas técnicas e varia com a velocidade, o raio, a categoria da estrada e o tipo de separador central (com ou sem guardas, ou seja, inferiores ou iguais e superiores a 8 metros respetivamente), conforme o Quadro 2.16 que representa a categoria das autoestradas (categoria A).

Quadro 2.16 – Limites de sobrelargura [cm], adaptado de SCT (1984) - NM

		Velocidade base [km/h]			
		80	90	100	110
Com guardas $L_{\text{separador central}} < 8$ m	Valor Máximo	150	140	130	120
	Valor Mínimo	20	30	30	30
Sem guardas $L_{\text{separador central}} \geq 8$ m	Valor Máximo	80	70	60	60
	Valor Mínimo	0	0	0	0

2.3.2.3. Velocidade não impedida em curva

Em Portugal, a velocidade não impedida em curva pode ser determinada, para autoestradas, pela expressão (2.6). Esta expressão foi formulada recentemente, em coordenação com o LNEC, e constitui uma "proposta (...) para a estimativa da velocidade do tráfego em curva" (Roque, C.d.A., 2013, 3).

Neste caso concreto, esta expressão parte do princípio que a velocidade máxima praticada sem restrições, em autoestradas, é de 146 km/h (INIR, 2010, 17). Alguns estudos italianos sugerem que a *free flow speed* praticada em autoestradas ronda os 131 km/h (De Luca, M. [et al.], 2012).

$$V_{85} = 146 - \frac{201{,}6}{\sqrt{R}}, R \geq 650 \quad (2.6)$$

Os restantes normativos não fazem referência a este parâmetro.

2.3.2.4. Extensão mínima e máxima da curva circular

As Normas Portuguesas indicam que as curvas circulares devem ter uma extensão mínima de forma a serem percorridas durante 2 segundos à velocidade base, expressão (2.7) (INIR, 2010).

$$E_{\min}{}^{ccircular} = \frac{V}{1{,}8} \quad (2.7)$$

Para os casos em que não seja preciso sobre-elevação, e consequentemente sem curvas de transição, a extensão mínima da curva circular depende do ângulo de deflexão (α), expressão (2.8) e Quadro 2.17 (INIR, 2010, 31). Para ângulos superiores a 5 grados, a extensão mínima é sempre 150 metros.

$$E_{\min}^{\ ccircular} = 33{,}33 * (9{,}5 - \alpha) \tag{2.8}$$

Quadro 2.17 – Extensão mínima da curva circular, sem sobre-elevação e clotóides [m] (INIR, 2010, 31)

Ângulo de deflexão [Grados]	5	4	3	2	1
Desenvolvimento mínimo [m]	150	180	215	250	280
Raio correspondente [m]	1900	2900	4600	8000	18000

As Normas Mexicanas preconizam que, entre duas curvas de transição, a extensão da curva circular pode ser nula, não havendo limite mínimo definido.

A extensão máxima de uma curva circular, segundo as Normas Mexicanas, será a correspondente a 20 segundos de circulação, expressão (2.9) (SCT, 1991).

$$E_{máx}^{\ ccircular} = 20\frac{V_{base}}{3{,}6} = 5{,}56 * V_{base} \tag{2.9}$$

2.3.2.5. Visibilidade em curvas horizontais

Em alinhamentos curvos, a distância de visibilidade em curvas horizontais deve ser assegurada, determinando o afastamento mínimo do obstáculo lateral à via. A distância do obstáculo à linha lateral da via calcula-se a partir da distância de paragem, do raio da curva e da largura da via (a), conforme a expressão (2.10) (INIR, 2010, SCT, 1991). A AASHTO (2011) considera uma expressão semelhante.

$$D_{\min}^{\ obstrução} = \frac{D_{paragem}}{8 * R} - \frac{l^{via}}{2} \tag{2.10}$$

Quadro 2.18 – Distância mínima de obstrução para raios mínimos [m], adaptado de INIR (2008) e de SCT (1984)

Velocidade base	Portugal	México
80	9,0	7,6
90	10,2	8,7
100	10,8	8,7
110	10,0	9,3
120	9,4	-
130	8,8	-
140	8,0	-

2.3.2.6. Homogeneidade aquando a existência de curvas circulares sucessivas

Segundo as Normas Portuguesas, para estradas com dupla faixa de rodagem (autoestradas), a homogeneidade do traçado pode ser garantida através duma relação equilibrada dos raios das curvas sucessivas, conforme o diagrama da Figura 2.3, realizado com base na "análise de acidentes e comportamento dos condutores" (INIR, 2010, 19). Esta consideração é apenas tomada por Portugal, não sendo referida nos outros dois normativos estudados.

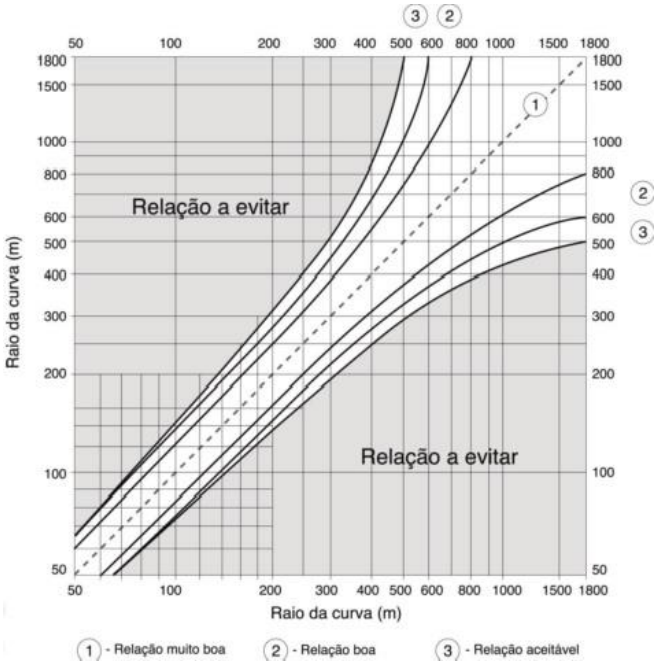


Figura 2.3 – Traçado em planta de curvas circulares, combinação de raios desejável (JAE, 1994, 34)

2.3.3. CURVAS DE TRANSIÇÃO

As curvas de transição mais comuns no traçado de autoestradas são as espirais de Euler, conhecidas por clotóides, que adaptam a transição da sobre-elevação à transição do traçado em planta, entre o alinhamento reto e a curva circular.

2.3.3.1. Dispensabilidade

As curvas de transição são dispensáveis no traçado, quando não é necessária sobre-elevação, conforme referido anteriormente. No Quadro 2.19 apresentam-se os valores dos raios para os países analisados que dispensam o uso de curvas de transição (AASHTO, 2011, 3.71, JAE, 1994, 42, SCT, 1984, 40).

Quadro 2.19 – Raio máximo para o uso das curvas de transição em clotóide [m]

V_{base} [km/h]	80	90	100	110	120	130	140
Portugal	≥2500			≥5000			
USA	379	480	592	716	852	1000	-
México	458,38	572,96	763,94	916,74	-	-	-

Através do Quadro 2.19, é possível verificar alguma discrepância entre os normativos. Portugal utiliza as curvas de transição até raios bastante elevados, enquanto os restantes normativos possuem valores muito restritos e conservativos. A AASHTO (2011) justifica esta discrepância através da imposição de uma mínima aceleração lateral, que pode variar entre 0,4 e 1,3 m/s^2. As NA aplicam 1,3 m/s^2 e determina o máximo raio onde existe um potencial de redução dos acidentes rodoviários.

As Normas Mexicanas consideram aceitável a dispensa de curvas de transição se a sobre-elevação for inferior a 7%, recomendando que o disfarce da sobre-elevação seja 70% em reta e 30% em curva circular (na prática, muitas vezes adota-se 50% e 50%, respetivamente).

2.3.3.2. Parâmetro da Clotóide

O parâmetro geométrico da clotóide segue a expressão (2.11) e possui valor constante. Dependendo do comprimento da clotóide, o raio é diferente de ponto para ponto, variando deste infinito até ao raio na curva circular. Como é expectável, a curvatura varia inversamente ao raio.

$$A^2 = l * r \tag{2.11}$$

A escolha deste parâmetro no âmbito das normas dos diversos países pode ser feita de duas formas: dimensionando tendo em conta o parâmetro A, ou o comprimento da curva de transição L. Neste trabalho, ter-se-á em consideração as NP, ou seja, o dimensionamento da curva de transição é realizado a partir do parâmetro da clotóide. A imposição de valores máximos e mínimos neste parâmetro irá condicionar a extensão da curva de transição.

Os critérios gerais de dimensionamento destas curvas de transição têm em conta vários aspetos, como a comodidade e segurança, a questão do disfarce de sobre-elevação, a estética e a comodidade ótica. O 3º critério, relacionado com a estética, é particularmente determinante para velocidades base superiores a 70 km/h, da qual as autoestradas fazem parte. O Quadro 2.20 expõe as fórmulas e a forma de dimensionamento no âmbito das três normas abordadas no presente trabalho.

Quadro 2.20 – Critérios de dimensionamento do parâmetro da clotóide

		Dimensionamento nos três normativos		
		Portugal	USA	México
1º Critério – Comodidade e Segurança/Sobre aceleração		$A \geq 0{,}1463\sqrt{\frac{V^3}{S_{an}}}$		$A \geq 0{,}1463\sqrt{\frac{V^3}{S_{an}} - 127R.Se}$
2º Critério – Disfarce da Sobre-elevação	Limite Inferior	$A \geq \sqrt{\frac{R.a(Se-i)}{\Delta i_{máx}}}$	$A \geq 2{,}2134.p_{min}{}^{\frac{1}{4}}.R^{\frac{3}{4}}$	$A \geq \sqrt{8V.Se.R}$
	Limite Superior	$A \leq \sqrt{\frac{R.a(Se-i)}{\Delta i_{min}}}$	$A \leq 2{,}2134.p_{máx}{}^{\frac{1}{4}}.R^{\frac{3}{4}}$	—
3º Critério - Estética		$A \geq \sqrt{\frac{V.R}{1{,}8}}$		
4º Critério – Comodidade ótica		$A \geq \frac{1}{3}R$	—	—
Condição de Implantação *		$A \leq R\sqrt{\Omega}$		
Condição desejável *		$R\sqrt{\frac{\Omega}{3}} \leq A \leq R\sqrt{\frac{\Omega}{2}}$		
Recomendação extraordinária * ($E_{mín}{}^{ctransição} \geq 6V_{base}$)		$A \geq \sqrt{6V_{base}R - R^2\Omega}$		

*Consideram um alinhamento curvo simétrico, ou seja, igual parâmetro para a clotóide de entrada e de saída.

Apesar da nova normativa portuguesa elaborada pelo INIR, ainda não houve atualização do primeiro critério, elaborado por W. H. Shortt (1909), que deveria considerar o efeito atenuador da incomodidade que a sobre-elevação proporciona, elaborado por M. V. Smirnoff (1949), que FEUP e o México consideram. O valor S_{an} corresponde a um valor empírico relacionado com a comodidade e a

segurança e representa a sobreaceleração lateral máxima admitida. Em Portugal toma valores de 0,5 m/s^3, nos USA toma valores entre 1,2 m/s^3 e no México consideram-se valores entre 0,305 e 0,610 m/s^3. De uma forma geral, quanto maior for a sobreaceleração sentida admitida, menos conservativo é o parâmetro da clotóide, e naturalmente menos cómoda é a circulação.

No segundo critério, os três normativos diferem entre eles. O limite inferior está relacionado com a geometria da sobre-elevação, enquanto o limite superior tem em conta a questão da aquaplanagem. Nos Estados Unidos, o cálculo define um parâmetro *p* que corresponde à distância vertical entre a reta e a curva circular (S_e-i). Para p_{min} admite-se 0,20 metros, para $p_{máx}$ admite-se 1,0 metros. O limite inferior foi desenvolvido pela Secretaria de Obras Públicas do México que tem em consideração o desnível entre os dois alinhamentos circulado sempre a uma velocidade constante. Para velocidades até 110 km/h, o critério de Portugal e dos USA é numericamente semelhante, mas para velocidades elevadas os USA são mais conservativos, com parâmetros superiores a Portugal. Dos três normativos, o México é o mais conservativo, em relação a este critério.

O terceiro critério é comum em todos os normativos, no qual consideram 2 segundos de circulação mínima durante a curva de transição.

O quarto critério apenas é considerado pelas NP, não fazendo parte dos restantes normativos.

A condição de implantação tem de ser obrigatoriamente cumprida, para que haja um alinhamento curvo com duas curvas de transição iguais.

A condição desejável está relacionada com a recomendação da extensão das curvas de transição estar compreendida entre ½ e ⅔ do desenvolvimento total de alinhamento curvo simétrico (INIR, 2010).

As Normas Portuguesas e as Normas Americanas fazem ainda uma recomendação extraordinária para autoestradas, nomeadamente que a extensão mínima de um alinhamento curvo deverá ser superior a seis vezes a velocidade base ($6.V_{base}$) (AASHTO, 2011), equivalente a uma circulação mínima no alinhamento curvo de 22 segundos.

A diferença entre os parâmetros da clotóide nos três normativos está exposta no Quadro 2.21, com base nos valores do INIR (2010), e adaptado da AASHTO (2011) e da SCT (1984).

Claramente nas NP o 4º critério é preponderante e o limite superior do 2º critério não será cumprido porque tem em conta a variação linear da sobre-elevação (na secção 2.5.2 abordar-se-á com maior profundidade). Nos USA o parâmetro da clotóide é influenciado pelo 3º critério, enquanto no México, o 1º critério é o mais condicionante.

O México apresenta tabelas técnicas dos parâmetros mínimos a adotar no projeto rodoviário em função do raio, da categoria da estrada e da velocidade. O *valor mínimo teórico* representa o valor de cálculo, conforme os critérios anteriores apresentados. A única exceção ao cumprimento deste valor ocorre para uma autoestrada sem guardas, ou seja com separador central de largura superior a 8 metros.

Quadro 2.21 – Parâmetro mínimo normativo da clotóide [m] (INIR, 2010, 25)

	Tipo de Autoestrada	Velocidade Base [km/h]						
		80	90	100	110	120	130	140
Portugal *	Todas	150	183	233	283	333	400	466
USA	Todas	101	123	146	175	211	244	-
México	*Valor Mínimo Teórico*	131	156	185	208	-	-	-
	A4 – com guardas ($L_{separador\ central} < 8$ m)	150	181	219	250	-	-	-
	A4S – sem guardas ($L_{separador\ central} \geq 8$ m)	115	139	168	191	-	-	-

* Valores de cálculo para o raio mínimo normal (comodidade)

Deste modo conclui-se que Portugal e México tomam parâmetros similares para a categoria de estrada mexicana A4. De uma forma geral, os valores normativos em Portugal são superiores aos valores dos restantes países, enquanto os valores adotados nos USA são os mais inferiores.

No Quadro 2.22 apresenta-se o comprimento mínimo da curva de transição para os raios mínimos das curvas circulares (Quadro 2.13). É de realçar que as tabelas técnicas das Normas Mexicanas consideram variações do grau de curvatura de 15 minutos, e admitem que até ao raio mínimo para o qual não é necessário implantar curva de transição, um aumento do parâmetro de clotóide A, que repercute numa extensão da curva de transição cada vez menor. Mais uma vez, a única exceção ao *valor mínimo teórico* é o caso de autoestradas com faixas de rodagem em corpos separados.

Quadro 2.22 – Extensão mínima da clotóide para raios mínimos [m] (AASHTO, 2011, 3.73, SCT, 1984, 40)

	Tipo de Autoestrada	Velocidade Base [km/h]						
		80	90	100	110	120	130	140
Portugal *	Todas	50	61	78	94	111	133	156
USA	Todas	44	50	56	61	67	72	-
México	*Valor Mínimo Teórico*	82	90	97	104	-	-	-
	A4 – com guardas ($L_{separador\ central} < 8$ m)	109	122	136	150	-	-	-
	A4S – sem guardas ($L_{separador\ central} \geq 8$ m)	64	72	80	88	-	-	-

* Valores de cálculo para o raio mínimo normal (comodidade)

Através da análise dos dados das curvas de transição, conclui-se que as curvas de transição do México são mais extensas e a ripagem da curva circular à tangente do alinhamento reto (ΔR) é superior no México em comparação com os restantes normativos.

2.4. PERFIL LONGITUDINAL

2.4.1. TRAINÉIS

2.4.1.1. Inclinação mínima

Nos três normativos, a inclinação mínima normalmente admitida é 0,5%. A AASHTO (2011) indica que pode ser utilizado 0,3% caso a superfície seja pavimentada com extrema precisão e a camada de fundação seja bastante firme e resistente. Em curva circular, à inclinação mínima dever-se-á adicionar 1% a 2% (AASHTO, 2011).

2.4.1.2. Inclinação máxima

A inclinação máxima varia naturalmente consoante o tipo de terreno (plano, acidentado ou montanhoso).

No Quadro 2.23 estão apresentados os valores para a generalidade das situações, em terreno plano, respeitante às classificações: autoestradas interurbanas (Portugal), interstates (USA) e autopistas (México).

Para terreno acidentado, a AASHTO (2005) admite utilizar 5 % para velocidades de 80 e 90 km/h e 4% em diante.

Para terreno montanhoso, os normativos dos três países analisados admitem utilizar 6% para velocidades iguais ou inferiores a 100 km/h.

Quadro 2.23 – Inclinação máxima admitida no perfil longitudinal, para topografia plana [%] (AASHTO, 2005, INIR, 2008, SCT, 1991)

		Portugal	USA	México
Velocidade Base [km/h]	80	6		4
	90	6,5	4	
	100	5		3
	110	4		
	120		3	
	130	3		
	140			

Tendo em conta o panorama destes três países, o México utiliza valores máximos de inclinações reduzidos, enquanto Portugal admite valores máximos mais elevados para autoestradas a menores velocidade, que facilita a drenagem.

Em contraste, o panorama europeu, para 140 km/h, a Itália utiliza valores máximos de inclinações longitudinais de 5%, enquanto a Áustria e a Espanha utilizam 4%. Para 120 km/h, a média europeia do limite da inclinação longitudinal é cerca de 4%. Para 100 km/h, a média europeia é cerca de 5%, apenas a Dinamarca considera limite de 3,5% para esta velocidade. (O'Cinnéide, D. [et al.], 1993).

2.4.1.3. Extensão crítica

A extensão crítica de um trainel em perfil longitudinal está relacionada com a diminuição de velocidade dos veículos pesados nesse mesmo trainel, admitida cerca de 15 km/h (NP e NA) e de 25 km/h (NA, NM). Esta diminuição de velocidade deve ser considerada como valor de referencia pelo projetista, sendo indicado a título exemplificativo alguns valores no Quadro 2.24, elaborado com base na JAE (1994) e adaptado da AASHTO (2011) e da SCT (1984). Quando esta extensão crítica é excedida, deve-se considerar uma via adicional para pesados, principalmente quando existe grandes volumes de trafego destes veículos.

Quadro 2.24 – Extensão crítica de trainéis [m]

	Redução admitida [km/h]	$V_{inicial}$ [km/h]	Inclinação crítica do trainel				
			2%	3%	4%	5%	6%
Portugal	15	90	∞	420	300	230	180
USA	15	90	∞	∞	800	500	-
	15	110	1000	525	375	275	-
	25	90	∞	∞	∞	1250	-
	25	110	∞	900	600	460	-
México	25	92	1853	627	400	300	-

Relativamente ao contexto analisado, Portugal é o país que tem valores mais restritivos, e portanto facilmente é condicionado a projetar vias adicionais para pesados.

2.4.1.4. Escapatórias

As Normas Portuguesas exigem escapatórias em declives superiores a 3%, sempre que a extensão seja considerável e o desnível seja superior a 130 metros de altura. As antigas NP da JAE (1994) consideravam a criação de escapatórias de 2-2 km, sempre que o trainel fosse superior a 2 km e o declive superior a 6%.

2.4.2. CONCORDÂNCIAS VERTICAIS

2.4.2.1. Concordâncias convexas

As concordâncias convexas, conhecidas no México por *curvas verticales en cresta*, e nos USA por *crest vertical curves*, são dimensionadas com base na distância de visibilidade de paragem, mais concretamente, na altura ocular do condutor e do objeto, conforme o conteúdo apresentado no Quadro 2.10 da secção 2.2.3.4.

O parâmetro normativo destas concordâncias é o raio mínimo R [m], que nos normativos dos USA e do México é expresso por um coeficiente K [m/%], calculado como o cociente entre o desenvolvimento, expresso em metros, e a diferença das inclinações dos trainéis, expressa em %. O método de cálculo deste parâmetro é semelhante nos três normativos.

Quadro 2.25 – Raios mínimos das concordâncias convexas [m] (AASHTO, 2011, JAE, 1994, SCT, 1984)

Velocidade Base [km/h]	Portugal			USA	México
	$V_{tráfego}$ [km/h]	R_{min} Absoluto [m]	R_{min} Normal [m]	R_{min} de Projeto [m]	R_{min} de Projeto [m]
80	100	5000	6000	2600	3100
90	110	7500	8500	3900	4300
100	120	9000	12500	5200	5700
110	125	12000	13000	7400	7200
120	130	14000	16000	9500	
130	135	n.a.	n.a.	12400	
140	140	20000	20000		

Fazendo uma análise mais atenta do Quadro 2.25 é possível constatar que Portugal utiliza valores muito maiores nos raios de concordância, o que significa que este valoriza a segurança. Este raio está associado à visibilidade, nomeadamente à distância de paragem, calculada a partir da velocidade de tráfego. Se compararmos, o valor do raio mínimo absoluto, para a velocidade de tráfego de 100 km/h, o raio mínimo absoluto é 5000 metros, semelhante a 5200 e 5700 metros dos restantes normativos, para a velocidade base de 100km/h.

No quadro europeu, os valores são um pouco díspares, ora valores de raios mínimos, de concordâncias verticais convexas, muito elevados, ora valores baixos, que se assemelham ao normativo americano e mexicano. Por exemplo, para a velocidade base de 140 km/h, a Áustria considera cerca de 35 000 metros para raio mínimo da concordância vertical, enquanto a Itália considera 26 289 metros e a Espanha 13 000 metros. Para uma velocidade base de 120 km/h, a Áustria e a Alemanha consideram 20 000 metros, enquanto a Itália considera 14 072 metros, semelhante aos valores mínimos absolutos portugueses; no mínimo, a França considera 10 000 metros. Para 100 km/h, a Islândia considera 13 000 metros, e no mínimo a França e a Dinamarca consideram 6 000 metros (O'Cinnéide, D. [et al.], 1993).

As NP indicam que as concordâncias convexas deverão ter um desenvolvimento mínimo absoluto, em metros, de valor igual à velocidade base pretendida. No entanto, recomendam para desenvolvimento mínimo normal de 120 metros, para velocidades base entre 80 a 120 km/h, e 140 metros para 120 a 140 km/h (JAE, 1994).

As Normas Mexicanas consideram aceitável um desenvolvimento mínimo de 50 metros para velocidades base de 80 e 90 km/h, e 60 metros para 100 e 110 km/h, independentemente do tipo de concordância (SCT, 1984).

2.4.2.2. Concordâncias côncavas

Segundo a AASHTO (2011), os critérios de dimensionamento das concordâncias concavas, conhecidas no México por *curvas verticales en Columpio*, e nos USA *sag vertical curves*, têm em conta a altura dos faróis, o conforto, a drenagem e a estética. O critério predominante é relativo à visibilidade noturna propiciada pelos faróis dos veículos. Mais uma vez, o parâmetro normativo utilizado é o raio mínimo R [m], que nos normativos dos USA e do México é expresso por um

coeficiente *K* [m/%]. O método de cálculo deste parâmetro é semelhante nos três normativos. No Quadro 2.26 apresentam-se os valores do raio mínimo de cada normativo.

Quadro 2.26 – Raios mínimos das concordâncias côncavas [m] (AASHTO, 2011, JAE, 1994, SCT, 1984)

Velocidade Base [km/h]	Portugal		USA	México
	$V_{tráfego}$ [km/h]	R_{min} [m]	R_{min} [m]	R_{min} [m]
80	100	3500	2940	2500
90	110	4500	3760	3100
100	120	5500	4460	3700
110	125	6000	5440	4300
120	130	7000	6280	
130	135	8000	7270	
140	140	8000		

Mais uma vez, Portugal é o país com maior valor mínimo de raio das concordâncias, no entanto, os valores assemelham-se com os dos Estados Unidos. O México possui valores mais baixos, que mesmo assegurando a distância de visibilidade de paragem, a visibilidade noturna pode ficar comprometida.

No resto da Europa, os valores dos raios mínimos das concordâncias côncavas continuam um pouco díspares. Por exemplo, para 140 km/h, a Áustria assume 12 000 metros e a Espanha 7 500 metros, enquanto a Itália 4 285 metros. Para 120 km/h, a Dinamarca considera 15 000 metros, a Alemanha 10 000 metros, a Áustria e a Suíça consideram 8 000 metros (como Portugal), enquanto o Reino Unido 3 701 metros, a Itália considera 3 086 metros e a Holanda 1 200 metros. Para velocidade base de 100 km/h, a Suíça considera 6 000 metros, a Alemanha 5 000 metros, enquanto a Itália assume 2 103 metros e a Holanda 1 500 metros (O'Cinnéide, D. [et al.], 1993).

As NP aconselham para velocidades base entre 80 a 120 km/h, as concordâncias côncavas deverão ter um desenvolvimento mínimo de 120 metros, enquanto de 120 a 140 km/h deverão ter um desenvolvimento mínimo de 140 metros (JAE, 1994).

As Normas Mexicanas consideram aceitável um desenvolvimento mínimo de 50 ou 60 metros para velocidades base de 80 a 90 km/h ou de 100 a 110 km/h, respetivamente (SCT, 1984).

2.4.3. RESUMO NORMATIVO DO PERFIL LONGITUDINAL CONSOANTE TIPO DE AUTOESTRADAS

Algumas das recomendações são feitas nos diversos normativos relativamente à especificidade das autoestradas. As Normas Portuguesas e Mexicanas apresentam algumas recomendações, enquanto os USA apenas indicam valores mínimos comuns a qualquer tipo de estrada, tendo por base apenas a velocidade base ou de projeto. No Quadro 2.27 está exposto um resumo do perfil longitudinal, consoante a classificação das autoestradas já descrita anteriormente.

Quadro 2.27 – Recomendações do perfil longitudinal, consoante a classificação das autoestradas (INIR, 2008, SCT, 2004)

			$V_{limite\ legal}$ [km/h]	V_{base} [km/h]	$i_{long}^{máxima}$ [%]	$R_{min}^{convexo}$ [m]	$R_{min}^{côncavo}$ [m]
Portugal	Autoestradas interurbanas		*120*	140	**3**	**20 000**	**8 000**
				120	**4**	**17 000**	**7 500**
	Autoestradas interurbanas em topografia difícil		*100*	80	**6**	**9 000**	**5 500**
			80				
	Autoestradas suburbanas		*100*	100	**6**	**14 000**	**7 000**
	Autoestradas urbanas		*80*	80	**6**	**9 000**	**5 500**
USA	Interstates		*110/120*	120	**3**	**9 500**	**6 280**
	Freeways & Expressways		*100/110*	110	**3**	**7 400**	**5 440**
	Other Principal Arterials	Urban Arterials	*80*	80	**4**	**2 600**	**2 940**
		Rural Arterials	*110*	110	**3**	**7 400**	**5 440**
México	Autopistas e vías rápidas		*110*	$V_{base} \geq 95$	**3**	**8 700**	**6 000**
			90	$90 \leq V_{base} < 95$	**3**	**4 300**	**4 000**
			80	$80 \leq V_{base} < 90$	**4**	**2 900**	**3 200**

2.5. PERFIL TRANSVERSAL

2.5.1. FAIXA DE RODAGEM

2.5.1.1. Número de vias

O número de vias deverá ser dimensionado de forma a garantir um determinado nível de serviço, conforme descrito na secção 2.2.2. Sempre que a extensão crítica seja ultrapassada em traineis ascendentes, é necessário acrescentar uma via para pesados, conforme abordado na secção 2.4.1.3.

Em autoestradas portuguesas, no mínimo deverão existir 2 vias, por cada faixa de rodagem (AASHTO, 2005, INIR, 2008).

2.5.1.2. Largura das vias

Segundo as NP, para autoestradas com velocidades elevadas e intensa mobilidade, *autoestradas interurbanas*, a largura das vias deverá ser superior, cerca 3,75 metros, enquanto para as restantes autoestradas, estas deverão possuir 3,50 metros de largura. Nos USA, não existe regra específica segundo a classificação de autoestradas, existindo apenas a recomendação de um mínimo 3,60 metros de largura. No México, a largura das vias é constante, 3,50 metros. No Quadro 2.28 é apresentado um resumo deste parâmetro.

Quadro 2.28 – Largura das vias [m] (AASHTO, 2005, INIR, 2008, SCT, 1984)

Portugal	USA	México
3,50 [a)]	3,60 $_{Mínimo}$	3,50

[a)] 3,75 m, para autoestradas interurbanas

2.5.1.3. Inclinação transversal

Os valores da inclinação transversal num alinhamento reto corrente, de duas águas, encontram-se no Quadro 2.29 (sublinhados a negrito).

Quadro 2.29 – Inclinação transversal [%] (AASHTO, 2011, INIR, 2010, SCT, 1991)

Portugal	USA	México
2,0 Pav. Rígidos	1,5 Mínimo	**2,0** Mínimo
2,5 Pav. Flexíveis Betuminoso	**2,0** Recomendado	

No México, a inclinação transversal utilizada é geralmente 2,0% como os americanos. No entanto, segundo as recomendações da SCT (2004), o valor recomendado é 2,5% (ainda pouco usual).

2.5.2. SOBRE-ELEVAÇÃO

O valor máximo da sobre-elevação pode ser controlado por quatro fatores: as condições climatéricas, a topografia, o tipo de área (urbana ou rural) e o tráfego de pesados (AASHTO, 2011). Estes fatores condicionam a circulação dos veículos e a imposição de uma sobre-elevação atenua os seus efeitos. Quanto maior for a velocidade, maior deverá ser o valor da sobre-elevação, para atenuar o efeito da aceleração radial. Regra geral, o valor máximo admitido em cada país está relacionado com o clima existente, de tal forma que são permitidos maiores valores de sobre-elevação quando o clima é quente e seco, porque o risco de derrapagem para o interior da curva é menor.

As NP admitem para valor máximo da sobre-elevação de 7%. No entanto, as NA admitem 8% para a generalidade dos casos, e 10% para climas sem neve e gelo, nunca superior a 12%. As NM geralmente admitem 10%, nunca podendo ser superior a 12%; alguns estados como Baja California, geralmente admitem 8% (Salmón, F.A., 2001).

No quadro europeu, existe diferenças significativas entre países, como por exemplo a Finlândia e a Irlanda. A Finlândia considera como limite máximo de sobre-elevação 4% e a Irlanda considera 7%. Em casos excecionais, na Alemanha é permitido ultrapassar o limite de 7% até 8%, caso haja volumes de tráfego muito reduzidos e na Grécia, apesar do limite ser 6%, em situações excecionais pode tomar 10% (O'Cinnéide, D. [et al.], 1993).

2.5.2.1. Tabelas normativas de sobre-elevação

Para curvas circulares, cujos raios são superiores aos valores mínimos, a sobre-elevação a tomar poderá ser inferior à máxima, e as considerações tomadas diferem principalmente entre Portugal e os Estados Unidos, cujo normativo mexicano segue por base.

Em Portugal, a partir da velocidade base, do raio mínimo absoluto (Se=7%) e do raio mínimo normal (Se tabelada), compara-se o raio pretendido. Se o raio pretendido for igual ou superior ao raio mínimo normal, basta ir verificar à tabela que sobre-elevação utilizar. Se o raio pretendido estiver entre ambos, faz-se uma interpolação linear entre os dois valores.

Nos USA, através das tabelas técnicas, fixa-se a velocidade base e a sobre-elevação a tomar, e verifica-se se o raio pretendido é igual ou superior ao raio mínimo tabelado conforme os parâmetros fixados.

O México segue as recomendações do *Green Book* da AASHTO das edições anteriores a 2001.

A título exemplificativo, mostra-se alguns valores das tabelas normativas de Portugal (Quadro 2.30), dos Estados Unidos (Quadro 2.31) e do México (Quadro 2.32).

Quadro 2.30 – Tabela normativa de sobre-elevação de Portugal

Raio [m]	<900	1100	1300	1500	1750	2000	2250	2600	3000	3500<R<5000	>5000
Se [%]	7	6,5	6	5,5	5	4,5	4	3,5	3	2,5	0

Quadro 2.31 – Tabela normativa de sobre-elevação e raios mínimos [m] dos USA (AASHTO, 2011, 3.46)

V_{base} [km/h]		80	90	100	110	120	130
Se [%]	2,0	1790	2190	2680	3090	3640	4000
	2,2	1620	1980	2420	2790	3290	3620
	3,0	1150	1410	1730	2000	2370	2630
	4,0	813	1010	1240	1450	1740	1950
	5,0	611	762	947	1120	1360	1540
	6,0	469	595	746	894	1100	1260
	7,0	358	464	591	724	914	1070
	8,0	229	304	394	501	667	832

Quadro 2.32 – Tabela normativa de sobre-elevação [%] do México (SCT, 1984, 40)

Raio equivalente [m]	V_{base} [km/h]			
	80	90	100	110
4583,68	2,0	2,0	2,0	2,0
2291,84	2,0	2,0	2,3	2,7
1145,92	3,0	3,6	4,5	5,2
684,81	5,0	6,1	7,3	8,1
416,70	7,3	8,4	9,6	10,0
352,59	8,1	9,2	10,0	
269,63	9,4	10,0		
208,35	10,0			

Deste modo é possível concluir que as tabelas normativas portuguesas não têm em conta a variação da velocidade, ao contrário das mexicanas e americanas.

Não obstante o limite máximo aplicado na sobre-elevação em cada normativo, o parâmetro de comparação entre normativos será a aceleração radial não compensada. Num primeiro exemplo, considera-se um traçado cuja velocidade base seja 100 km/h e o raio pretendido 1100 metros, de acordo com a Norma Portuguesa utilizaria uma sobre-elevação de 6,5%, enquanto nos USA utilizaria 4,4% e no México utilizaria 4,7%. No segundo exemplo, um traçado cuja velocidade base seja de 80 km/h e um raio pretendido de 300 metros, de acordo com NP utilizaria o valor máximo de 7%, nos USA 7,6% e no México 8,9%. No Quadro 2.33 é possível verificar o valor da aceleração radial não compensada, e fazer uma reflexão crítica na comparação dos normativos.

Quadro 2.33 – Aceleração radial não compensada [m/s^2]

	1º Exemplo V_{base} =100 km/h R=1100 m		*2º Exemplo* V_{base} =80 km/h R=300 m	
	S_e admitida	a_{nc} [m/s^2]	Se admitida	a_{nc} [m/s^2]
Portugal	6,5%	0,064	7,0%	0,959
USA	4,4%	0,270	7,6%	0,901
México	4,7%	0,240	8,9%	0,773

Para velocidades elevadas e raios grandes, o normativo português é mais conservativo e está do lado da segurança, com aceleração radial não compensada praticamente nula. No entanto, para autoestradas de velocidades mais baixas e raios mais restritivos, possui maior grau de incomodidade, apesar de não ficar muito atrás dos valores dos USA e do México.

O valor do raio para o qual não é preciso sobre-elevação está apresentado no Quadro 2.34.

Quadro 2.34 – Raio mínimo para o qual não é necessário sobre-elevação [m]

V_{base} [km/h]	80	90	100	110	120	130
Portugal		2500			5000	
USA	2440	2970	3630	4180	4900	5360
México	n.a.					

As Normas Mexicanas exigem um mínimo de sobre-elevação em plena curva circular (2,0%), pelo que nunca é possível existir um perfil a duas águas.

2.5.2.2. Disfarce da sobre-elevação

O disfarce da sobre-elevação associado às curvas de transição tem particular interesse devido à drenagem das águas. Em extradorso, a mudança do perfil transversal em reta, de duas águas, para a curva, com inclinação transversal num só sentido, implica que haja um ponto no traçado com inclinação transversal nula. O disfarce da sobre-elevação deve ser manipulado de forma a evitar o risco de aquaplanagem associado a esse mesmo ponto, podendo ser aplicado através de modelos lineares ou modelos parabólicos.

Em estradas de duas vias, o risco de aquaplanagem não é tão elevado, principalmente porque a área de impermeabilização (faixa de rodagem) é pequena e porque a velocidade dos veículos também é reduzida. Deste modo, justifica-se um disfarce linear, porque garante o escoamento superficial das águas de forma eficiente para este tipo de estradas.

Em autoestradas o risco de aquaplanagem é muito maior por inúmeras razões: o facto da área de impermeabilização ser muito maior devido ao maior número de vias, a utilização de pequenas inclinações longitudinais, a velocidade elevada praticada, maiores extensões dos disfarces das sobrelevações, a perda de eficiência no caso de pavimentos drenantes (colmatação dos poros), entre outros. Assim, os modelos não-lineares, ou seja, os modelos parabólicos são os mais adequados para o disfarce da sobre-elevação da faixa exterior. Porém, os modelos parabólicos ainda não são tão utilizados como se desejariam, uma vez os modelos lineares são mais intuitivos e fáceis de implementar.

De acordo com a pesquisa bibliográfica, as Normas Portuguesas apenas abordam a questão do disfarce linear da sobre-elevação em estradas de duas vias, sendo os modelos parabólicos objeto de estudo nas unidades curriculares da especialidade de Vias de Comunicação na FEUP. Nas Normas Americanas existem cinco métodos apresentados pela AASHTO (2011) mas apenas o método 5 cumpre este requisito. As Normas Mexicanas apenas consideram o disfarce linear conforme se irá descrever de seguida.

De seguida, abordar-se-á a questão do disfarce da sobre-elevação com um exemplo teórico. Considera-se um disfarce de sobre-elevação, numa curva à direita, com velocidade base de 120 km/h, inclinação transversal em plena reta de 2,5%, e raio mínimo normal 1000 metros, que corresponde a uma sobre-elevação de 7 %. A Figura 2.4 apresenta um perfil transversal tipo de uma autoestrada portuguesa.

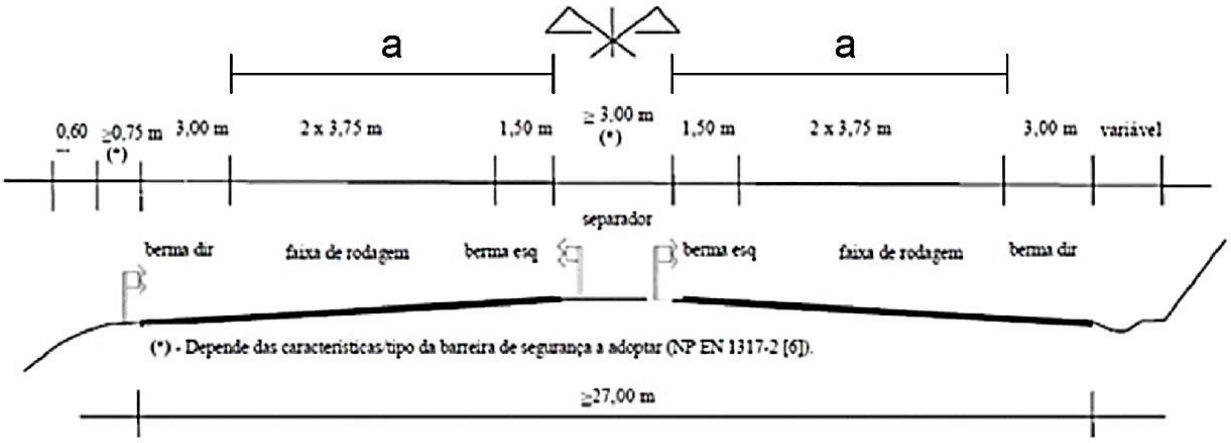


Figura 2.4 – Perfil Transversal tipo de autoestrada interurbana (INIR, 2008)

Na faixa interior à curva, ou seja, na faixa de rodagem direita, o disfarce da sobre-elevação é simplesmente linear, tendo uma inclinação transversal de 2,5% no início da curva de transição e 7% no início da curva circular, com um Δi constante, proporcional ao desenvolvimento da clotóide, Figura 2.5. Este esquema de disfarce da faixa interior é comum nas normas estudadas.

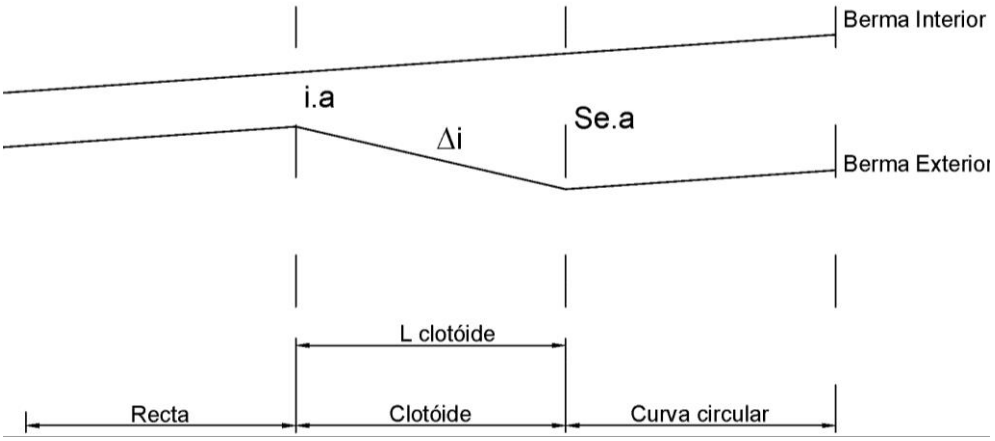


Figura 2.5 – Modelo linear do disfarce da sobre-elevação, Faixa de Rodagem Direita

Em relação à faixa exterior à curva, apresentar-se-ão duas formas de disfarce, a linear e a parabólica.

Em relação ao disfarce linear, as NP apenas fazem referência ao disfarce linear de duas vias, conforme está esquematizado na Figura 2.6. É de referir que as Normas Portuguesas admitem para a inclinação máxima Δi 0,8% ($V_{base} \geq 80$ km/h).

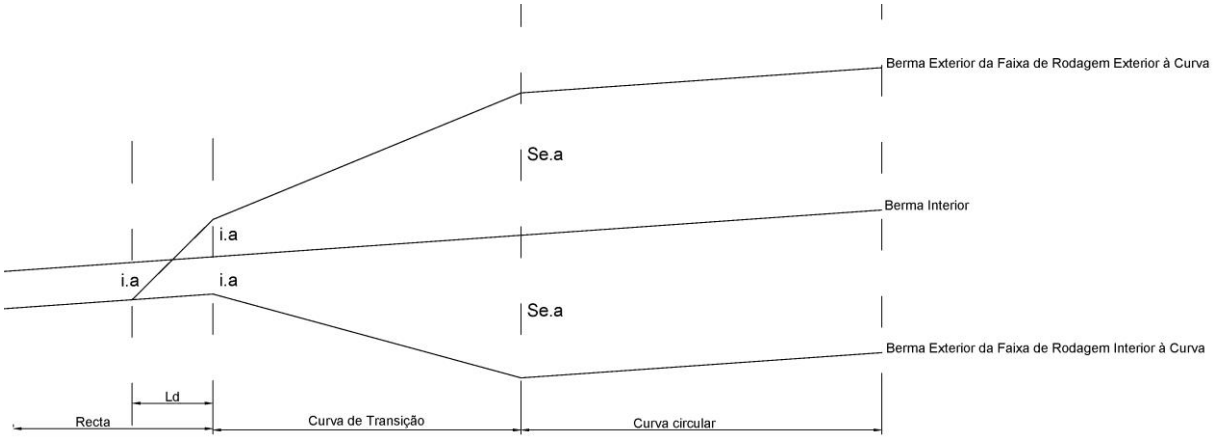


Figura 2.6 – Disfarce linear da sobre-elevação para estradas de duas vias, segundo as NP

Em autoestradas é importante garantir, no ponto inicial da clotóide, a inclinação transversal nula na faixa exterior à curva, porque para além de corresponder a um ponto de controlo durante a fase das terraplenagens, é uma forma de controlo da sobre-elevação nesse ponto específico.

Deste modo, é necessária uma adaptação do modelo linear apresentado nas NP. A Figura 2.7 apresenta o esquema do disfarce da sobre-elevação linear adaptado para estradas de múltiplas vias, ou seja, para autoestradas.

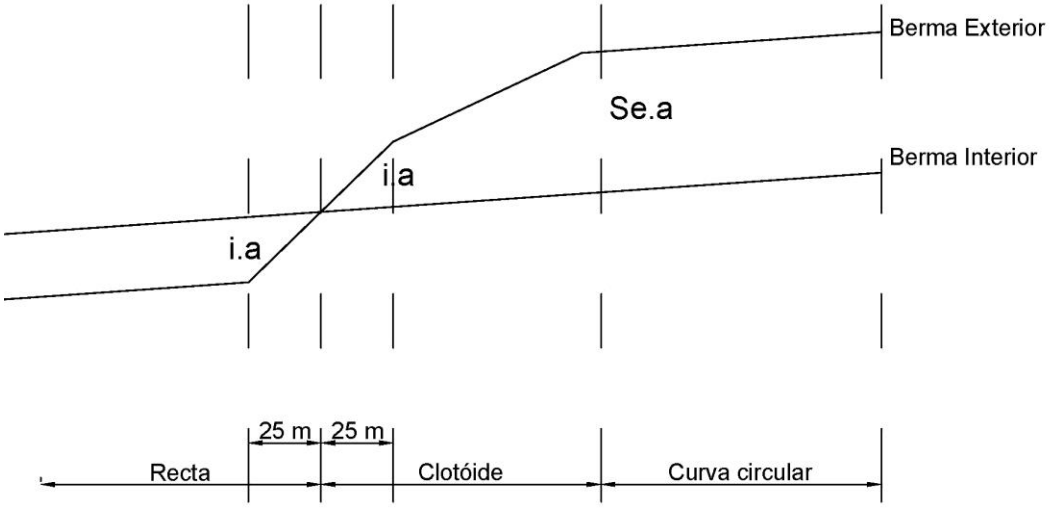


Figura 2.7 – Modelo linear do disfarce da sobre-elevação, na faixa de rodagem esquerda, segundo as NP

O método linear aplicado em autoestradas portuguesas impõe, no ponto de tangencia entre a reta e a curva de transição, inclinação transversal nula. O disfarce da sobre-elevação em reta costuma ser praticado em 25 metros (Ld) com inclinação transversal em plena via (-2,5%), e no disfarce em curva de transição costuma ser fixado 25 metros até ao ponto de inclinação transversal (+2,5%), com o intuito de facilitar a drenagem das águas. Após estes dois pontos, não existe consideração quanto ao Δi resultante, mas deve ser verificado se é superior ao Δi mínimo.

Nas Normas Mexicanas, apenas o modelo linear é utilizado para o disfarce da sobre-elevação, independentemente da categoria da estrada, conforme a Figura 2.8.

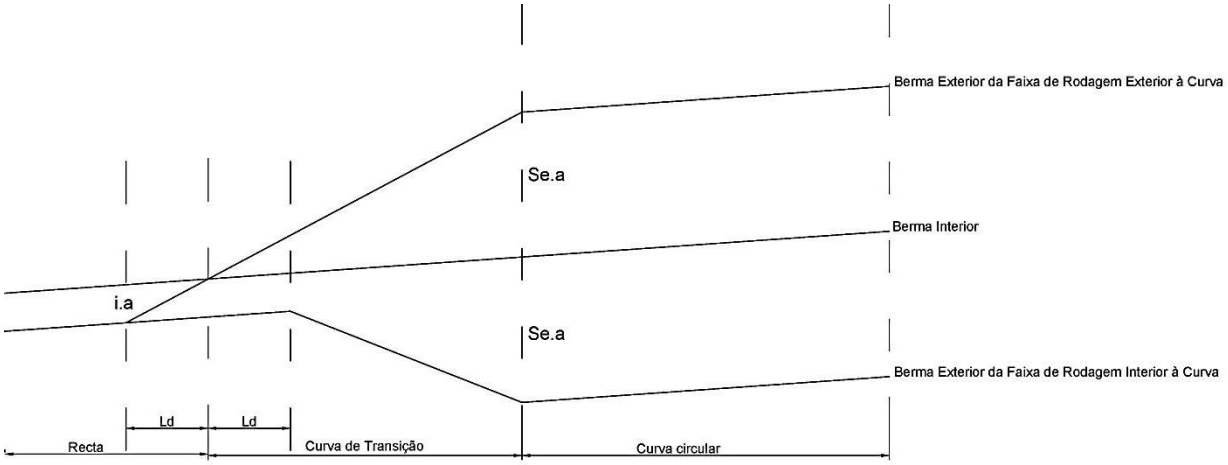


Figura 2.8 – Modelo linear do disfarce da sobre-elevação, adaptado de SCT (1984)

O disfarce da sobre-elevação em reta é dado pela distância Ld, conforme a expressão (2.12)

$$Ld = (i / Se) * L \tag{2.12}$$

Já mencionado anteriormente, em alinhamentos com dispensa de utilização das curvas de transição, o disfarce começa em alinhamento reto e termina em curva circular, sendo realizado de 70 % em reta e 30 % em curva circular, ainda que correntemente se utilize 50% e 50%.

O método parabólico é o melhor modelo de disfarce de sobre-elevação, pelo que deve ser utilizado na faixa de rodagem esquerda, já que a imposição de inclinação transversal nula no ponto inicial de desenvolvimento de clotóide, associado aos demais fatores antes abordados, potencia imenso o risco de acumulação de água nessa zona. Genericamente, existe duas formas de utilizar o modelo parabólico, existe o modelo parabólico simplificado e o modelo parabólico sofisticado.

O método apresentado pelas Normas Americanas corresponde a um modelo parabólico simplificado, que não contempla a imposição da amplitude δ como no modelo parabólico sofisticado, e calcula o *Ld* em função do *L'* (*L'=Ld+L*), conforme a expressão (2.13) e Figura 2.9.

$$Se(x) = \left[3 - \frac{2x}{L'}\right]\left(\frac{x}{L'}\right)^2 * (Se + i) - i \tag{2.13}$$

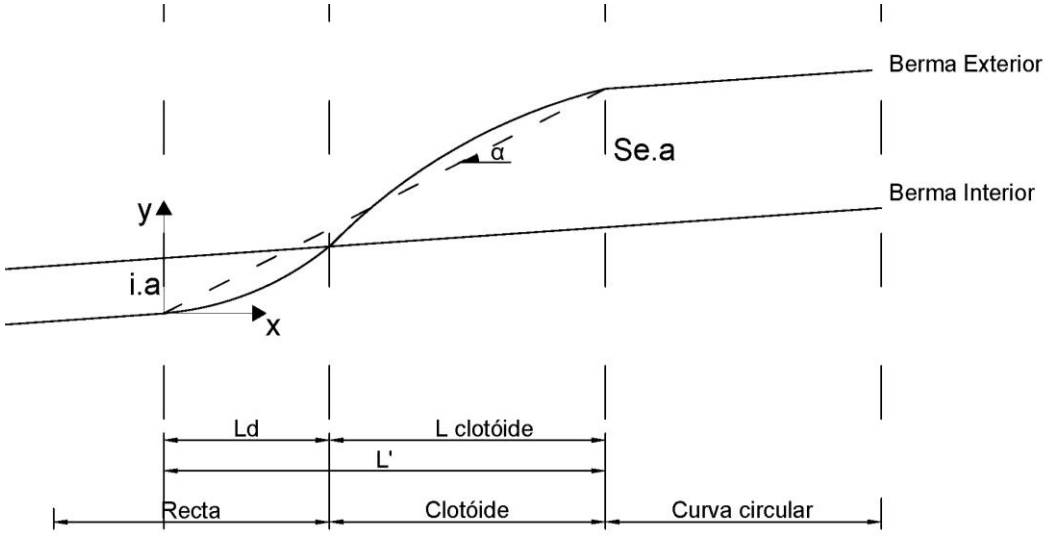


Figura 2.9 – Modelo parabólico comum do disfarce da sobre-elevação, Faixa de Rodagem Esquerda

Relativamente ao modelo parabólico do disfarce de sobre-elevação, este está esquematizado na Figura 2.10.

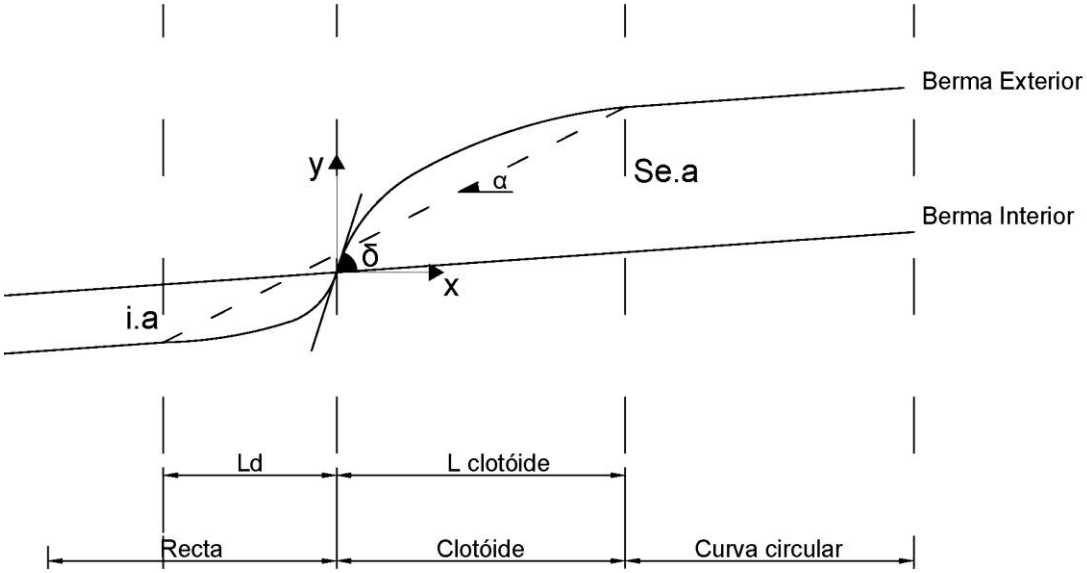


Figura 2.10 – Modelo parabólico sofisticado do disfarce da sobre-elevação, Faixa de Rodagem Esquerda

O modelo parabólico de terceiro grau mais sofisticado impõe quatro condições (França, A., n.d.-a):

- no ponto inicial da curva de transição (R=∞), a sobre-elevação é nula;
- no ponto final da curva de transição (R=R_{cc}), a sobre-elevação é a pretendida (Se);
- no ponto inicial da clotóide, a tangente do disfarce da sobre-elevação tem uma amplitude δ;
- no ponto final da clotóide, a tangente do disfarce da sobre-elevação tem uma amplitude nula.

A expressão que satisfaz estas condições apresenta-se em (2.14).

$$Se(x) = \left[\frac{L\frac{\delta}{a} - 2Se^{máx}}{L^3}\right]x^3 + \left[\frac{-2L\frac{\delta}{a} + 3Se^{máx}}{L^2}\right]x^2 + \frac{\delta}{a}x \qquad (2.14)$$

O valor recomendado para a inclinação δ é 0,8 a 1,0% (França, A., n.d.-a).

2.5.3. LARGURA DAS BERMAS

O Quadro 2.35 apresenta a largura das bermas exteriores e interiores, com algumas recomendações.

Quadro 2.35 – Largura das Bermas [m] (AASHTO, 2005, INIR, 2008, SCT, 1984)

	Portugal	USA	México
Berma exterior	2,50	3,00 Mínimo	3,00
NOTA:	3,00 Autoestradas interurbanas 2,00 Mínimo Autoestradas urbanas	3,60 se DDHV>250 veic.pesados/hora	
Berma interior	1,00	1,20	1,00
NOTA:	1,50 Autoestradas interurbanas	3,00 se DDHV>250 veic.pesados/hora	

As Normas Portuguesas ainda consideram 0,75 metros de berma exterior não pavimentada de ligação entre a berma pavimentada e o talude ou valeta (INIR, 2010).

2.5.4. VALETAS

As valetas, conhecidas por *sideslopes* (NA) e *cunetas* (NM), fazem parte integrante da drenagem superficial e conduzem as águas para fora da estrada. A maioria das valetas são de forma triangular invertida, com uma largura mínima de 1,20 metros e 0,20 abaixo do nível inferior da berma.

Segundo as NP, a inclinação máxima do pano interior é 1/4, enquanto a do pano exterior é 1/2.

As Normas Americanas recomendam que a inclinação do pano interior seja 1/6, nunca superior a 1/4.

As Normas Mexicanas assumem geralmente inclinações no pano interior de 1/3. À largura da valeta é exigido um mínimo de 1,0 metros. Na prática, não existem diferenças significativas com as valetas típicas de um projeto rodoviário português.

2.5.5. SEPARADORES CENTRAIS

O Quadro 2.36 apresenta as larguras dos separadores centrais, consoante o separador central tenha ou não guardas, ou seja, seja ou não dividido em dois corpos.

Quadro 2.36 – Largura dos separadores centrais [m] (AASHTO, 2005, INIR, 2008, SCT, 1984)

	Portugal	USA	México
Com guardas $L_{separador\ central} < 8$ m NOTA:	1,50 Mínimo ≥ 4,00 Autoestradas interurbanas Vbase=140km/h ≥ 3,00 Autoestradas interurbanas Vbase=130km/h ≥ 0,60 Autoestradas urbanas	3,00	1,00 Mínimo
Sem guardas $L_{separador\ central} \geq 8$ m	11,50 Mínimo Absoluto 20,00 Mínimo Normal	11,00 Mínimo	8,00 Mínimo

2.6. ESPECIFICIDADES EM AUTOESTRADAS

2.6.1. "ALTURA LIVRE MÍNIMA" VERTICAL

A AASHTO (2011) recomenda que a altura mínima exigida entre o pavimento e a base da estrutura seja de 4,9 em zonas rurais e em autoestradas com importância em zonas urbanas. Na generalidade do resto das zonas urbanas, a altura vertical nunca poderá ser inferior a 4,3 metros.

As passagens superiores ou inferiores, destinadas aos peões deverão possuir uma altura mínima de 5,1 metros. Em autoestradas americanas urbanas, cuja altura vertical é inferior a 4,9 metros, dever-se-á adicionar 0,30 metros acima da altura vertical dada às restantes estruturas (AASHTO, 2005).

As Normas Mexicanas consideram cerca de 5,50 metros de altura livre mínima vertical (SCT, 2001).

Em Portugal, não existe legislação que indique o gabari mínimo em secção corrente de uma autoestrada. No entanto, é comum adotar 5 metros, ainda que as últimas concessões de autoestradas tenham adotado cerca de 5,25 metros de altura.

No caso de Inglaterra, a altura livre recomendada também é cerca de 5 metros, independentemente da velocidade e da classificação da estrada (Macedo, A.L.d., 1994).

2.6.2. TÚNEIS

Segundo as Normas Americanas, em túneis, deve ser garantido uma altura vertical mínima de 4,9 metros, em situações excecionais 4,3 metros.

Para a largura da faixa de rodagem é recomendado cerca de 13,1 metros, correspondente a duas vias (3,6 metros cada), berma direita de 3,0 metros e berma interior 1,5 metros; deixando 0,7 metros como folga de segurança. No entanto, a faixa de rodagem nunca pode ser inferior a 9,0 metros. Deverão existir passeios com pelo menos 0,50 metros, sendo recomendado 1,0 metros como medida de segurança (AASHTO, 2005).

Em Portugal, a "altura livre mínima" dos túneis deve ser da ordem dos 4,50 metros, podendo ser aumentada até 4,80 metros. Para facilitar a drenagem, o valor da inclinação longitudinal normalmente adotado é de 2%. Em autoestradas dever-se-á construir túneis duplos, para cada faixa de rodagem com 2 ou 3 vias. A largura da faixa de rodagem deverá ser da ordem dos 7,30 para duas vias, e 11,30 metros para três vias. Os passeios deverão ter uma largura entre 0,60 e 1,00 metros (Macedo, A.L.d., 1994).

2.6.3. INVERSÃO DE MARCHA

Nas autoestradas portuguesas não é permitida a inversão de marcha em plena via. Para tal, será necessário sair da autoestrada, através de um nó de ligação, e aí proceder à manobra.

No México, é possível proceder à inversão de marcha em plena autoestrada, através do separador central, com raios bastante restritivos de 20 metros, conforme a Figura 2.11. Isto implica grandes reduções de velocidade na via esquerda das faixas de rodagem.



Figura 2.11 – Exemplo da inversão de marcha numa autoestrada mexicana (Google, 2014)

2.7. REFLEXÃO CRÍTICA DOS NORMATIVOS APRESENTADOS

Os três normativos em análise no presente trabalho suscitaram algumas questões relevantes que serão explicitadas.

A primeira questão diz respeito aos princípios-base dos normativos, que são maioritariamente idênticos. De uma forma geral, apenas variam os parâmetros que restringem os valores mínimos. Isto permite, não só entender facilmente os projetos rodoviários de qualquer país, como estabelecer reflexões críticas acerca dos valores adotados. A nível mundial, permite evoluir e adotar parâmetros que se ajustem melhor à realidade. A maior parte dos normativos de países em desenvolvimento segue as recomendações da AASHTO, que é a instituição que mais se empenha nesse sentido.

A segunda questão corresponde à comparação dos normativos estudados e a eventual relação do normativo aplicado em cada país com o seu nível de desenvolvimento económico.

O normativo do México, que atualmente é um país em desenvolvimento, utiliza frequentemente as recomendações da AASHTO com uma visão económica mais restritiva. As normas do México permitem a adoção de valores menos conservativos (por exemplo: menores raios em planta, menores larguras) que, por consequência, admitem menor fator de segurança e comodidade, tentando compensar este facto através da implementação de sobrelargura ou de maiores comprimentos nas curvas de transição. A conjugação das características geométricas (limitadas pelas Normas Mexicanas) proporciona algumas vantagens, uma vez que a menor restrição da geometria do traçado poderá permitir que a autoestrada se enquadre mais facilmente com a topografia, e por consequência, origine menores custos de construção, garantindo um custo-benefício positivo.

A normativa portuguesa tem parâmetros geométricos superiores, típico de um país europeu desenvolvido (como a Alemanha). Por consequência, as obras rodoviárias portuguesas exigem maiores envergaduras (ex. pontes, túneis) e consequentemente maiores investimentos financeiros.

De uma forma geral, o normativo dos USA representa a média da maioria dos parâmetros geométricos admitidos no México e em Portugal. Pode-se concluir que as NA estabelecem um equilíbrio quanto à segurança e à economia, considerando o normativo português o mais dispendioso e mais seguro quando confrontado com o normativo mexicano.

Apesar de não ser possível estabelecer uma comparação linear quanto ao normativo que garante mais segurança e comodidade, neste trabalho, claramente se tornou percetível, que Portugal satisfaz mais facilmente estes dois objetivos. Entende-se que o normativo do México está elaborado apenas para garantir os requisitos da segurança (com parâmetros menos conservativos, quando comparado com os outros dois países). Portanto, é possível afirmar que, no normativo mexicano, a comodidade não é um objetivo a garantir.

Por último, evidenciou-se diferenças gerais entre a América e a Europa, tanto a nível das considerações da velocidade base, como até nos parâmetros das curvas de transição. De uma forma geral, os valores europeus são superiores (em valor absoluto) quando confrontados com os valores americanos.

3
CASOS DE ESTUDO

3.1. INTRODUÇÃO

Neste capítulo é caracterizado e comparado o projeto geométrico rodoviário de cada objeto de estudo, dimensionado segundo o normativo de Portugal ou México.

A secção 3.2 aborda o cálculo automático no projeto de estradas, na qual é feita uma explanação resumida de como se realiza este processo.

Na secção 3.3 deste capítulo é apresentado um estudo académico que, através de casos de estudo, pretende avaliar a influência dos normativos (apresentados no Capítulo 2) nos projetos rodoviários, nomeadamente no traçado em planta, em perfil longitudinal, nos movimentos de terras resultantes. Por fim, faz-se uma estimativa do custo por quilómetro de estrada.

De forma a realizar uma reflexão crítica comparável, são apresentadas duas abordagens relacionadas com a segurança e a comodidade, em duas velocidades distintas.

Por fim, na secção 3.4, é realizada a reflexão crítica da influência dos parâmetros normativos estudados no projeto rodoviário.

3.2. CÁLCULO AUTOMÁTICO DE PROJETO DE ESTRADAS

O cálculo automático de projeto de estradas iniciou-se na década de 80, mas só apenas em finais da década de 90 é que o cálculo do projeto rodoviário começou a ser utilizado sistematicamente. Hoje em dia, o *software* disponibilizado pela *Autodesk*, nomeadamente o *AutoCad Civil 3D*, é o mais utilizado para o projeto de estradas.

Deste modo, para a realização deste capítulo foi utilizado o *software* referido. Nesta secção far-se-á uma introdução explicativa de como se processa o cálculo, nomeadamente as fases do processo de cálculo, os parâmetros que são necessários introduzir e os dados que é possível obter através desta ferramenta de trabalho.

O primeiro passo consiste na definição da superfície topográfica, a partir de linhas de nível disponibilizadas do levantamento topográfico, cujas propriedades têm de ter a cota definida.

A diretriz em planta é a primeira fase do cálculo, na qual a partir dos vértices dos alinhamentos (tangentes) em planta (que supõe determinados pontos obrigatórios definidos à priori), se definem os alinhamentos retos e curvos. O *software* permite um cálculo automático, aquando a formação das tangentes dos alinhamentos. Para tal, será necessário a existência de tabelas de cálculo do normativo do país pretendido. Apesar de mais demorada, a inserção dos dados manualmente é intuitiva e permite

a introdução de vários tipos de curvas de transição (curva sinusoidal, Bloss, Seno, entre outras), incluindo a clotóide que é utilizada neste trabalho. Os dados iniciais a introduzir são, para além do raio da curva circular, o comprimento da curva de transição ou o parâmetro desta. A piquetagem é calculada automaticamente, para isso é necessário ter etiquetas (*labels*) pré-definidos no modelo (*template*), sendo bastante trabalhoso criá-los. Caso haja sobrelargura, bastará definir, no alinhamento principal, um afastamento (*offset*) específico e definir a sobrelargura da mesma, assim como o comprimento necessário ao alargamento progressivo da via.

Numa segunda fase, é necessário gerar o perfil longitudinal a partir da superfície criada anteriormente, para poder definir a rasante. O cálculo manual para a definição da rasante é semelhante ao da diretriz, sendo introduzidos os parâmetros K [m/%], já elucidado na secção 2.4.2, para as concordâncias verticais côncavas e convexas. O "pente" é calculado automaticamente, sendo necessário criar "bandas" com estilos (*styles*) pré-definidos, caso ainda não existam no modelo (*template*), que são muito complexos.

O terceiro passo é criar o perfil transversal, bastante detalhado mas objetivo, uma vez que a maioria das definições (das vias, bermas, separador central, taludes, entre outros) provém do *AutoCad Civil 3D*. É necessário introduzir larguras e alturas nos parâmetros pré-definidos e criar um perfil condicional para as situações de aterro e de escavação, e é essencial definir a forma como as vias e bermas se adaptam à sobre-elevação.

A parte mais importante e extensa do cálculo automático de projeto de estradas é a definição do "corredor" (*corridor*), com os três elementos anteriormente definidos (diretriz, rasante e perfil transversal). É o "corredor" (*corridor*) que une toda a informação introduzida anteriormente, e é a partir deste que se criam os perfis transversais de 25-25 metros e que se calculam os movimentos de terra, mais adiante.

A definição das propriedades do "corredor" (*corridor*) é fundamental, existindo dois passos fulcrais a ter em consideração. O primeiro é a definição dos taludes de aterro ou escavação (*slope pattern*), e corresponder os *styles* de visualização dos taludes. O segundo passo é a definição de duas superfícies, uma superior e outra inferior, e das respetivas fronteiras (*boundaries*). Estas são imprescindíveis para reproduzir os perfis transversais e calcular o movimento de terras. É através das propriedades do "corredor" (*corridor*) que, quando é necessário adicionar uma via para pesados, se "estende" as vias até um conjunto de linhas (*polylines*), desenhadas manualmente, da qual o *tapper* também faz parte.

Apenas depois da criação do "corredor" (*corridor*), é que se pode introduzir a sobre-elevação e o disfarce da mesma. Esta introdução pode ser realizada de forma "manual" ou automática, sendo necessário tabelas automáticas, introduzidas previamente no *AutoCad Civil 3D,* relativas ao normativo pretendido. Manualmente torna-se demorado, com introdução dos parâmetros (inclinação transversal em plena reta, o ponto onde o disfarce começa, onde a inclinação transversal se anula, onde a sobre-elevação pretendida é atingida, entre outros), a cada curva presente na diretriz.

Após a conceção do "corredor" (*corridor*), qualquer alteração exige uma atualização do mesmo (*rebuild corridor*), cujo processo é bastante lento ao executar, demorando largos minutos.

Os processos procedentes ao cálculo do "corredor" (*corridor*) são objetivos e simples de executar. A realização dos perfis transversais aporta uma criação de linhas de "amostragem", na qual é definido o espaçamento entre perfis transversais (25-25 metros, por exemplo). Após isto, basta reproduzir os perfis transversais.

Para o cálculo automático dos volumes de terra, é necessário "criar" o material de aterro e de escavação, através do comando *compute materials*, podendo definir-se de que forma o volume de

terras poderá ser calculado (média das áreas ou prismoide, por exemplo). Finalmente, manda-se gerar um relatório de cálculo de movimentos de terra (*generate volume report*), que específica por perfil transversal, a área de escavação/aterro, o volume de escavação/aterro, parcial, acumulado e a diferença entre ambos.

Em síntese, o cálculo automático de estradas torna-se fácil de conceber desde que se tenha um modelo (*template*), com as definições necessárias pré-configuradas, e um computador que suporte as exigências técnicas do s*oftware*.

3.3. O IMPACTO DO NORMATIVO NO PROJETO RODOVIÁRIO

Nesta secção são apresentados, sumariamente, os parâmetros utilizados no projeto rodoviário dos casos de estudo analisados e os volumes de terra teóricos resultantes no dimensionamento do projeto, sendo estimado o custo por quilómetro de estrada.

De forma a avaliar a influência do normativo, nomeadamente os raios mínimos em planta, nos movimentos de terras resultantes, são apresentadas duas abordagens, uma tendo em conta a segurança, e outra que analisa a comodidade. A segunda abordagem (comodidade) apenas pode ser conforme as NP, uma vez que resulta da limitação da aceleração centrífuga ($0{,}11g$ m/s^2), não tendo qualquer relação com a abordagem de segurança. Esta limitação conduz a valores dos raios mínimos normais superiores aos raios mínimos absolutos.

Para complementar o estudo da influência destes parâmetros nos movimentos de terras, consideraram-se em duas velocidades base distintas. Uma mais elevada, típica de uma autoestrada de alta mobilidade interurbana, e outra mais baixa, típica de uma autoestrada urbana. Como velocidade mais elevada admite-se 110 km/h, o máximo utilizado no México, e como velocidade mais baixa, admite-se 80 km/h, o mínimo em ambos os normativos.

No Quadro 3.1 estão apresentados os casos de estudo resultantes das combinações acima referenciadas. Estes estão incluídos em apêndice (enumerados no quadro), nomeadamente a planta, o perfil longitudinal e o resumo da diretriz e da rasante de cada caso de estudo.

Quadro 3.1 – Casos de estudo

		Abordagens		
		Comodidade	Segurança	
Velocidade base	110 km/h	NP Apêndice A	NP Apêndice B	NM Apêndice C
	80 km/h	NP Apêndice D	NP Apêndice E	NM Apêndice F

O levantamento topográfico, pertencente à região de Xalapa (México), disponibilizado pelo GEG, constitui um terreno montanhoso. A partir do mesmo, foram impostos pontos obrigatórios comuns, ou seja, tangentes dos alinhamentos em planta iguais nos seis projetos analisados, de forma a poder comparar equitativamente os diferentes casos de estudo. Os parâmetros geométricos variáveis em planta são os raios das curvas circulares em planta.

No perfil longitudinal estabeleceram-se trainéis comuns com o objetivo de compensar os volumes de terra entre aterros e escavações, apenas não foi possível no último trainel, onde é obrigatório finalizar com a cota de terreno. Deste modo, procurou-se um perfil longitudinal compatível com o objetivo inicial e de forma a não obter escavações e aterros de grande altura. Outra condição definida inicialmente considera a dispensabilidade de obras de arte, pelo que, devido à topografia montanhosa,

a solução proposta para o perfil longitudinal apresenta alguns vales íngremes com alturas de aterro demasiado elevados que deveriam ser evitados. Nestes casos, deveria optar-se por viadutos. No entanto, uma vez que se pretende comparar traçados nas mesmas condições, apenas alterando os parâmetros geométricos decorrentes dos diferentes normativos analisados, optou-se sempre por não considerar este tipo de obras de arte. Assim, na rasante, os parâmetros variáveis são os raios das concordâncias.

Como na rasante foi imprescindível adotar um trainel de 5% com extensão de 1500 metros (que é superior à extensão crítica nos dois normativos), foi necessário introduzir uma via adicional para pesados (com largura de 3,0 m nos dois normativos), mantendo-se este troço comum em todos os casos de estudo.

Quanto ao disfarce da sobre-elevação, adotou-se o modelo linear em ambos os normativos, para que a análise comparativa dos resultados fosse menos díspar. Deste modo, os parâmetros variáveis são as inclinações do disfarce, em reta e em clotóide.

No perfil transversal, os parâmetros variáveis são as larguras das vias, das bermas interiores, do separador central, da inclinação transversal e da sobre-elevação adotada.

Assim, este estudo académico pretende analisar as diferenças dos normativos nos projetos dos seis casos de estudo, apresentados em apêndice.

3.3.1. PARÂMETROS DE PROJETO

Esta secção apresenta os parâmetros utilizados no projeto de cada um dos seis casos de estudo. No Quadro 3.2 estão exibidos os parâmetros mínimos normativos utilizados na diretriz e no perfil longitudinal, enquanto no Quadro 3.3 estão apresentados os valores associados ao perfil transversal (Apêndice G).

Quadro 3.2 – Parâmetros geométricos da diretriz e do perfil longitudinal, utilizados nos casos de estudo

		Velocidade base	110 km/h			80 km/h		
		Abordagem	Comodidade	Segurança		Comodidade	Segurança	
		Normativo	NP	NP	NM	NP	NP	NM
		Apêndice	A	B	C	D	E	F
Diretriz	Curva Circular	Raio mínimo [m]	850	560	416,70	450	240	208,35
		Sobrelargura [m]	-	-	1,20	-	-	1,50
		Sobre-elevação [%]	7	7	10	7	7	10
	Curva de Transição	Parâmetro *A* [m]	283	283	250	150	150	150
		Extensão [m]	94	143	150	50	94	109
Perfil Longitudinal	Trainéis	Inclinação mínima [%]	0,5					
		Inclinação máxima *(terreno montanhoso)* [%]	5,0					
	Conc. convexa	Raio mínimo [m]	13000	12000	7200	6000	5000	3100
	Conc. côncava	Raio mínimo [m]	6000	6000	4300	3500	3500	2500

Quadro 3.3 – Parâmetros geométricos do perfil transversal, utilizados nos casos de estudo

Normativo	NP	NM
Apêndice	G	
Inclinação transversal em plena via [%]	2,5	2,0
Largura da via [m]	3,75	3,50
Largura da Berma exterior [m]	3,00	3,00
Largura da Berma interior [m]	1,50	1,00
Largura do Separador Central (com guardas) [m]	1,50	1,00

3.3.2. ANÁLISE DOS CASOS DE ESTUDO

A análise dos projetos geométricos envolve o tratamento dos dados de cada caso de estudo. A comparação dos dados analisados envolveu a comparação dentro de cada velocidade, relativamente ao caso de estudo projetado pelo normativo mexicano. Assim, para cada velocidade base considerada, foram comparadas as três soluções tomando como base a solução "mexicana", ou seja, comparou-se os casos de estudo A e B relativamente ao caso de estudo C, e de seguida, comparou-se os casos de estudo D e E relativamente ao caso de estudo F.

Por outro lado, também se compararam as soluções entre as duas velocidades, relativamente ao caso de estudo análogo da velocidade mais baixa, ou seja, comparou-se os resultados das duas velocidades entre os casos de estudo projetados. Deste modo, comparou-se o caso de estudo A com o caso de estudo D, assim como o caso de estudo B com o caso de estudo E, e também o caso de estudo C com o caso de estudo F.

3.3.2.1. Traçado em planta

A Figura 3.1 evidencia graficamente as principais diferenças da diretriz, no traçado em planta, entre os diferentes casos de estudo.

As duas velocidades correspondem a cores gráficas diferentes: a de velocidade menor (80 km/h) corresponde à cor azul; e a de velocidade maior (110 km/h) corresponde à cor verde.

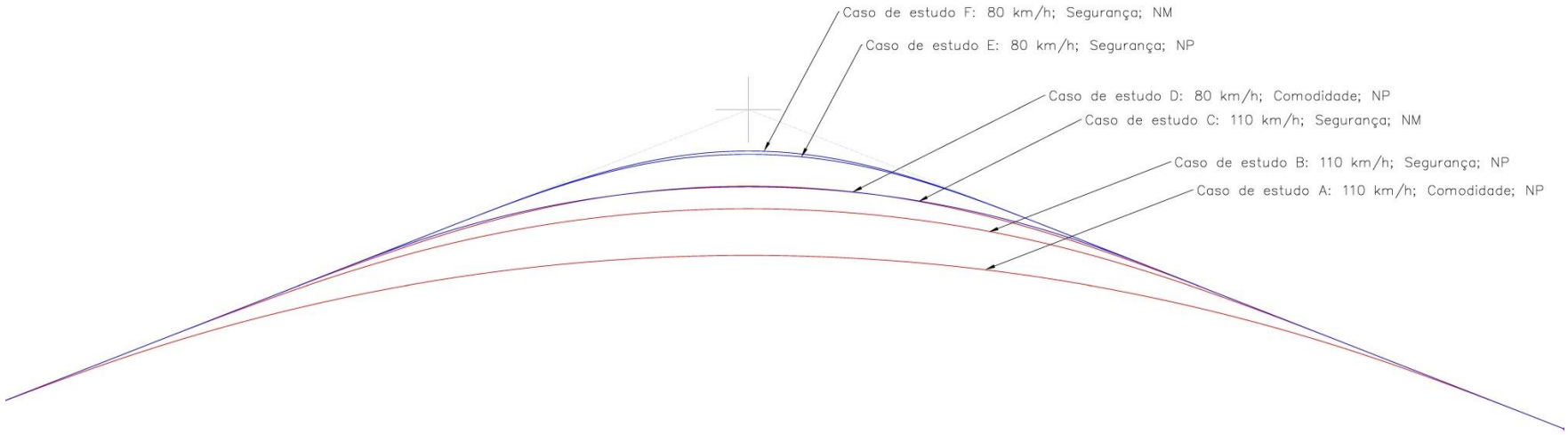


Figura 3.1 - Comparação gráfica das diretrizes em alinhamentos curvos, nos diferentes casos de estudos

A Figura 3.1 permite evidenciar algumas diferenças significativas entre as considerações mínimas dos normativos avaliados:

- Avaliando os casos de estudo projetados para 80 km/h (D, E e F), considera-se que a implantação da diretriz dos casos de estudo E e F são relativamente similares. A principal diferença será a extensão da curva de transição, que é maior para o caso de estudo F (projetado segundo o normativo mexicano).
- Para a velocidade base de 80 km/h, no normativo português, a diferença entre as duas abordagens (segurança e comodidade, ou seja, caso de estudo E e caso de estudo D, respetivamente) é substancial. Este grande "offset" confunde-se com a diretriz do caso de estudo C, respeitante à velocidade base de 110 km/h. Ou seja, a diretriz para 80 km/h, segundo a comodidade das NP, tem uma implatanção semelhante com a diretriz de 110 km/h, segundo as NM (segurança).
- A dispersão entre curvas é maior para a velocidade maior, do que para a velocidade menor.

O resumo da análise da diretriz apresenta-se no Quadro 3.4.

Quadro 3.4 – Análise geométrica da diretriz dos casos de estudo

	Velocidade base	110 km/h			80 km/h		
	Abordagem	Comodidade	Segurança		Comodidade	Segurança	
	Normativo	NP	NP	NM	NP	NP	NM
	Apêndice	A	B	C	D	E	F
Dados	Extensão total em reta [m]	1649	2464	2952	3337	3884	3921
Dados	Extensão total em curva circular [m]	2512	1250	712	1329	374	186
Dados	Extensão total em curva de transição [m]	942	1430	1500	500	938	1090
Dados	Extensão total da autoestrada [m]	5103	5145	5165	5166	5195	5197
Análise	Quociente entre a extensão total em reta e a extensão total da autoestrada [%]	32,3%	47,9%	57,2%	64,6%	74,8%	75,4%
Análise	Quociente entre a extensão total dos alinhamentos curvos e a extensão total da autoestrada [%]	67,7%	52,1%	42,8%	35,4%	25,2%	24,6%
Análise	Quociente entre a extensão total em curva circular e a extensão total do alinhamento curvo [%]	72,7%	46,6%	32,2%	72,7%	28,5%	14,6%
Análise	Quociente entre a extensão total em curva de transição e a extensão total do alinhamento curvo [%]	27,3%	53,4%	67,8%	27,3%	71,5%	85,4%
Análise	Relação entre a extensão total da autoestrada e o caso de estudo segundo as NM [m/m] *	0,99	1,00	**1**	0,99	1,00	**1**
Análise	Relação entre a extensão total da autoestrada e o caso de estudo equivalente em 80 km/h [m/m] **	0,99	0,99	0,99	**1**	**1**	**1**
Análise	Relação entre a extensão total dos alinhamentos curvos e o caso de estudo segundo as NM [m/m] *	1,56	1,21	**1**	1,43	1,03	**1**
Análise	Relação entre a extensão total dos alinhamentos curvos e o caso de estudo equivalente em 80 km/h [m/m]**	1,89	2,04	1,73	**1**	**1**	**1**

* Comparação em cada velocidade, relativamente ao caso de estudo projetado pelas Normas Mexicanas, ou seja, para 110 km/h, compara-se A e B relativamente a C; para 80 km/h, compara-se D e E relativamente a F.

** Comparação entre velocidades, compara-se o caso de estudo da velocidade de 110 km/h relativamente ao caso de estudo análogo de velocidade 80 km/h, ou seja, compara-se A a D, assim como B a E, e também C a F.

A análise do Quadro 3.4 permite extrair algumas conclusões. Em primeiro lugar, como era previsível, com o aumento do parâmetro do raio em planta, ou seja com o aumento da velocidade, menor será a extensão total em reta e maior será a extensão total dos alinhamentos curvos. Verifica-se que quanto maior for a velocidade base adotada, maior será a diferença entre as duas abordagens (comodidade e segurança das NP) em relação ao quociente da extensão dos alinhamentos curvos pela extensão total

da autoestrada. Para a velocidade de 80 km/h, regista-se uma diferença de 10,2% (35,4% - 25,2%), e para a velocidade de 110 km/h, observa-se uma diferença de 15,6% (67,7% - 52,1%).

Outra constatação, que já expectável aquando a comparação inicial dos valores normativos, está relacionada com o quociente da extensão da curva circular em relação à extensão total do alinhamento curvo, que nos casos de estudo segundo o normativo mexicano, torna-se bastante percetível que o alinhamento curvo é constituído maioritariamente por curvas de transição. Por exemplo, para a velocidade base de 80 km/h e segundo a abordagem da segurança, no caso de estudo F, o comprimento das curvas circulares representa apenas 14,6%, enquanto no caso de estudo E, o mesmo representa 28,5%. Apesar de raios diferentes (208,35 m para o caso de estudo F e 240 m para o caso de estudo E), e da adotação do mesmo parâmetro de clotóide, a diferença está no comprimento de curvas de transição superior para o México (comprimento de cada curva de transição: 109 m para o caso de estudo F e 94 metros para o caso de estudo E). Em relação ao mesmo parâmetro, verifica-se uma situação curiosa, o alinhamento curvo do caso de estudo F consiste no inverso ao caso de estudo D, comparando 14,6% e 72,7% de curvas circulares, e 85,4% e 27,3% de curvas de transição, respetivamente para o caso de estudo F e D.

Também em relação à comparação entre as extensões totais das curvas circulares e as das curvas de transição pela extensão total da estrada, constata-se que, para a abordagem segundo a comodidade, a relação entre o quociente de cada tipo de curva pelo total do alinhamento curvo, é igual em ambas as velocidades (72,7% e 27,3%, para curva circular e curva de transição respetivamente). Isto ocorre devido ao dimensionamento do parâmetro mínimo da clotóide, que em Portugal é segundo a abordagem da comodidade, logo a relação entre estes dois parâmetros é a mesma.

Analisando as extensões dos casos de estudo, e comparando com a extensão do caso de estudo segundo as NM, avalia-se que, quando maior o raio, menor será a extensão total da autoestrada, representando cerca de 0,99 da extensão segundo as NM. Isto significa que, o aumento do raio mínimo tem pouca influência na extensão total da autoestrada.

Através dos resultados exibidos nas duas últimas linhas do Quadro 3.4, constata-se que, nos casos de estudo segundo as NP, a extensão total dos alinhamentos curvos é, em média, superior cerca de 1,5 vezes a extensão do caso de estudo segundo as NM. Por outro lado, também se verifica que, os casos de estudo da velocidade de 110 km/h possuem alinhamentos curvos superiores a 1,73 vezes a extensão dos alinhamentos curvos dos casos homólogos, para a velocidade de 80 km/h.

3.3.2.2. Perfil Longitudinal

O Quadro 3.5 apresenta uma análise semelhante, mas em relação ao perfil longitudinal.

Quadro 3.5 – Análise geométrica do perfil longitudinal dos casos de estudo

	Velocidade base	110 km/h			80 km/h		
	Abordagem	Comodidade	Segurança		Comodidade	Segurança	
	Normativo	NP	NP	NM	NP	NP	NM
	Apêndice	A	B	C	D	E	F
Dados	Extensão total em trainel [m]	3821	3935	4385	4524	4616	4813
Dados	Extensão total em concordância [m]	1282	1210	779	643	578	385
Dados	Extensão total da autoestrada [m]	5103	5145	5165	5166	5195	5197
Análise	Quociente entre a extensão total em trainel e a extensão total da autoestrada [%]	74,9%	76,5%	84,9%	87,6%	88,9%	92,6%
Análise	Quociente entre a extensão total das concordâncias e a extensão total da autoestrada [%]	25,1%	23,5%	15,1%	12,4%	11,1%	7,4%
Análise	Relação entre a extensão total das concordâncias e o caso de estudo segundo as NM [m/m] *	1,64	1,55	**1**	1,67	1,50	**1**
Análise	Relação entre a extensão total das concordâncias e o caso de estudo equivalente em 80 km/h [m/m] **	2,00	2,09	2,03	**1**	**1**	**1**

* Comparação em cada velocidade, relativamente ao caso de estudo projetado pelas Normas Mexicanas, ou seja, para 110 km/h, compara-se A e B relativamente a C; para 80 km/h, compara-se D e E relativamente a F.

** Comparação entre velocidades, compara-se o caso de estudo da velocidade de 110 km/h, relativamente ao caso de estudo análogo de velocidade 80 km/h, ou seja, compara-se A a D, assim como B a E, e também C a F.

A análise do perfil longitudinal dos seis casos de estudo permite verificar o que já era expectável, ou seja, quanto maior o raio das concordâncias, maior será a extensão destas, e menor será a extensão total em trainel. Por outro lado, permite concluir que, segundo a abordagem da comodidade, as extensões das concordâncias dos casos de estudo das NP consistem, em média, cerca de 1,6 vezes a extensão das concordâncias dos casos de estudo segundo as NM.

Como os raios das concordâncias, para a velocidade de 110 km/h, possuem sensivelmente o dobro do valor em relação aos raios para a velocidade de 80 km/h, a extensão total das concordâncias é cerca de 2 vezes a extensão total das concordâncias, entre 110 km/h e 80 km/h.

3.3.2.3. Aceleração radial não compensada

Na Figura 3.2 e na Figura 3.3 estão apresentados os gráficos que caracterizam a evolução da aceleração radial não compensada, para a velocidade base de 80 km/h e 110 km/h, respetivamente.

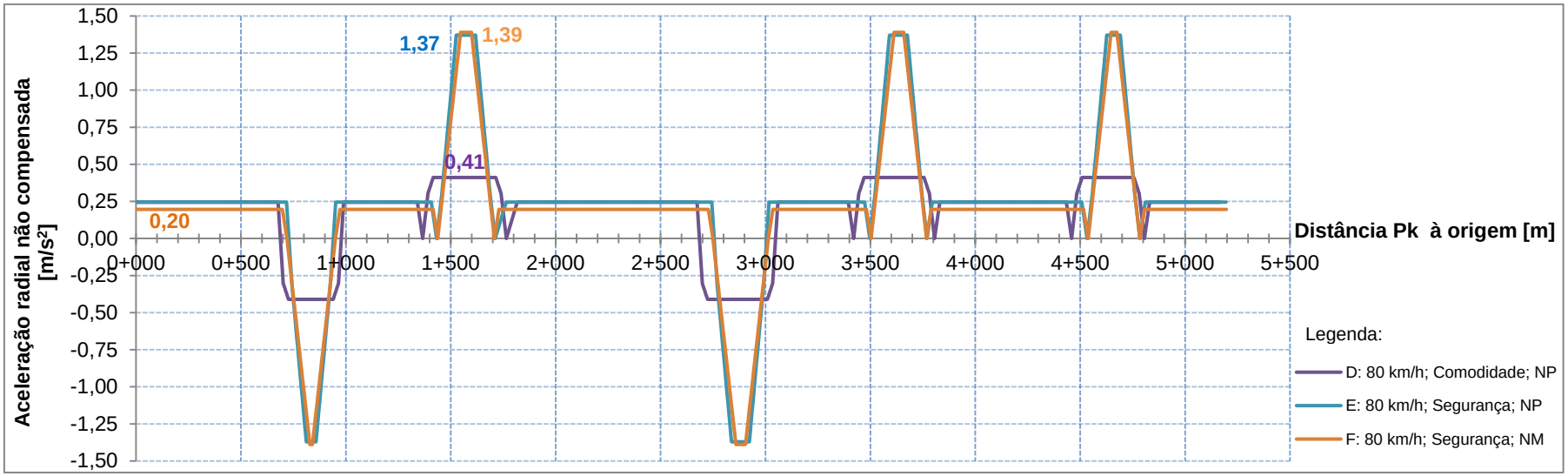


Figura 3.2 - Aceleração radial não compensada dos casos de estudo, para a velocidade base de 80 km/h

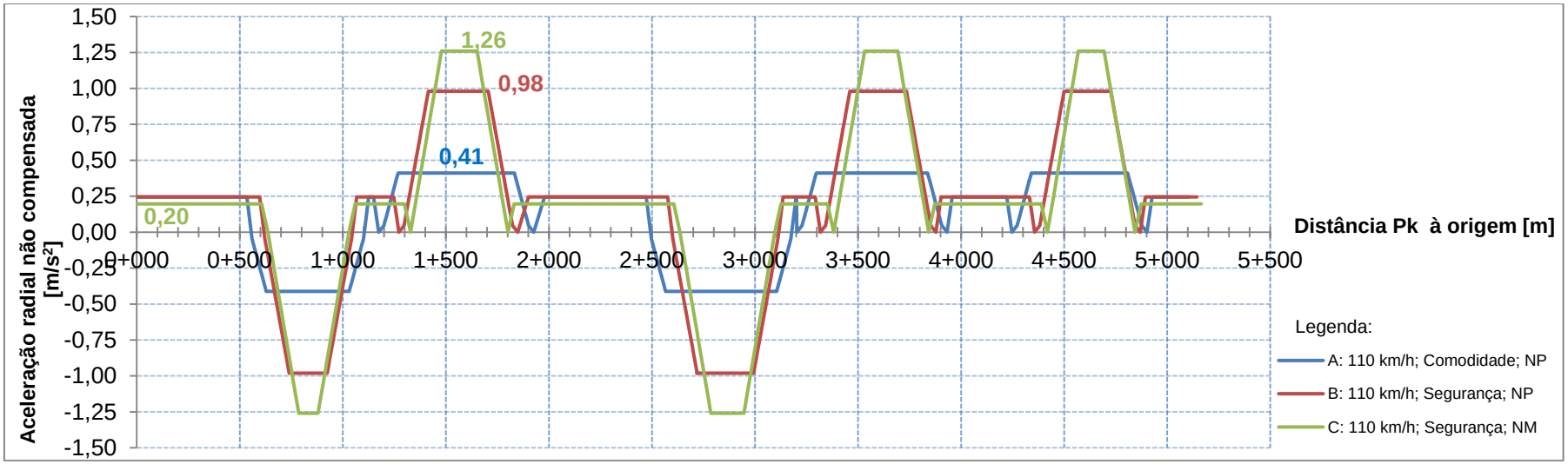


Figura 3.3 – Aceleração radial não compensada dos casos de estudo, para a velocidade base de 110 km/h

A análise dos gráficos, relativos à Figura 3.2 e à Figura 3.3, permite evidenciar algumas diferenças:

- Para a velocidade de 80 km/h, os casos de estudo E e F dimensionados segundo as NP e as NM, respetivamente, e segundo a abordagem de segurança, apresentam valores de aceleração radial não compensada semelhantes (1,37 e 1,39 m/s^2, respetivamente). Para a velocidade de 110 km/h, a diferença entre os dois normativos acentua-se, existindo uma diferença considerável entre os casos de estudo B e C (0,98 e 1,26 m/s^2, respetivamente). Isto leva a concluir que quanto maior for a velocidade, o normativo português revela-se melhor, ou seja, mais cómodo, diferenciando-se do normativo mexicano.
- A aceleração radial não compensada para um projeto dimensionado segundo a comodidade, com o raio mínimo normal, tem sempre valor absoluto de 0,41 m/s^2.
- Independentemente da velocidade, todos os casos de estudo dimensionados segundo as NP possuem menor valor absoluto de aceleração radial não compensada do que os casos de estudo dimensionados segundo as NM.
- De uma forma geral, apesar do normativo mexicano levar a projetos com acelerações radiais não compensadas maiores, as extensões com essas acelerações são bastante menores, quando comparadas com o normativo português. Isto quer dizer que o normativo português tem menores acelerações radiais não compensadas mas tem maiores percursos com essas mesmas acelerações.

3.3.2.4. Grau de incomodidade

O *grau de incomodidade* constitui uma medida de conforto (ou desconforto) e corresponde à "variação por segundo da aceleração normal sentida pelos passageiros" (França, A., n.d.-b, 36). Na física, o grau de incomodidade corresponde à sobreaceleração radial não compensada. A expressão utilizada no cálculo do grau de incomodidade está apresentada em 3.1 (França, A., n.d.-b, 36).

$$S_{an} = \frac{V \cdot \left(\frac{V^2}{R} - 127Se \right)}{46{,}7 \cdot L} \tag{3.1}$$

No Quadro 3.6 apresenta-se o grau de incomodidade presente nos casos de estudo. É de referir, que no dimensionamento do parâmetro das clotóides, a sobreaceleração centrífuga é limitada; em Portugal a 0,5 m/s^3 e no México a 0,6 m/s^3. Naturalmente, que os valores do Quadro 3.6 nunca são superiores a 0,5 e 0,6 m/s^3.

Quadro 3.6 – Grau de incomodidade máximo nos seis casos de estudo

	Grau de Incomodidade [m/s^3]
Caso de Estudo A: 110 km/h; Comodidade; NP	0,13
Caso de Estudo B: 110 km/h; Segurança; NP	0,21
Caso de Estudo C: 110 km/h; Segurança; NM	0,26
Caso de Estudo D: 80 km/h; Comodidade; NP	0,18
Caso de Estudo E: 80 km/h; Segurança; NP	0,32
Caso de Estudo F: 80 km/h; Segurança; NM	0,28

3.3.2.5. Movimentos de Terras

As tabelas dos movimentos de terra, de cada caso de estudo, apresentam-se nos apêndices respetivos. O cálculo do volume de terras foi feito com base na média das áreas de cada perfil transversal pela distância que os compreende (25 metros).

A construção do perfil longitudinal é crucial para os movimentos de terra resultantes. No primeiro projeto (caso de estudo F), tentou-se atingir a melhor compensação entre escavações e aterros. Os restantes perfis longitudinais foram com base nesse primeiro, diferindo apenas o ultimo trainel, de forma a coincidir com a cota de terreno. A imposição do perfil longitudinal "tipo" deve-se à tentativa de comparar os projetos, o mais equitativamente possível. Em parte, esta análise revela-se teórica, uma vez que a utilização de obras de arte e túneis, e a adaptação de cada caso de estudo à topografia respetiva (que varia ligeiramente com a implantação de maiores raios), dariam valores finais de volumes de terras muito mais favoráveis. Como o principal objetivo é avaliar a influência dos valores mínimos dos parâmetros normativos, no projeto, a quantificação numérica do movimento de terras não é, de todo, relevante.

A Figura 3.4 analisa graficamente os movimentos de terra resultantes do projeto geométrico de cada caso de estudo. Este consiste na apresentação da curva de Brückner de cada um dos casos de estudo.

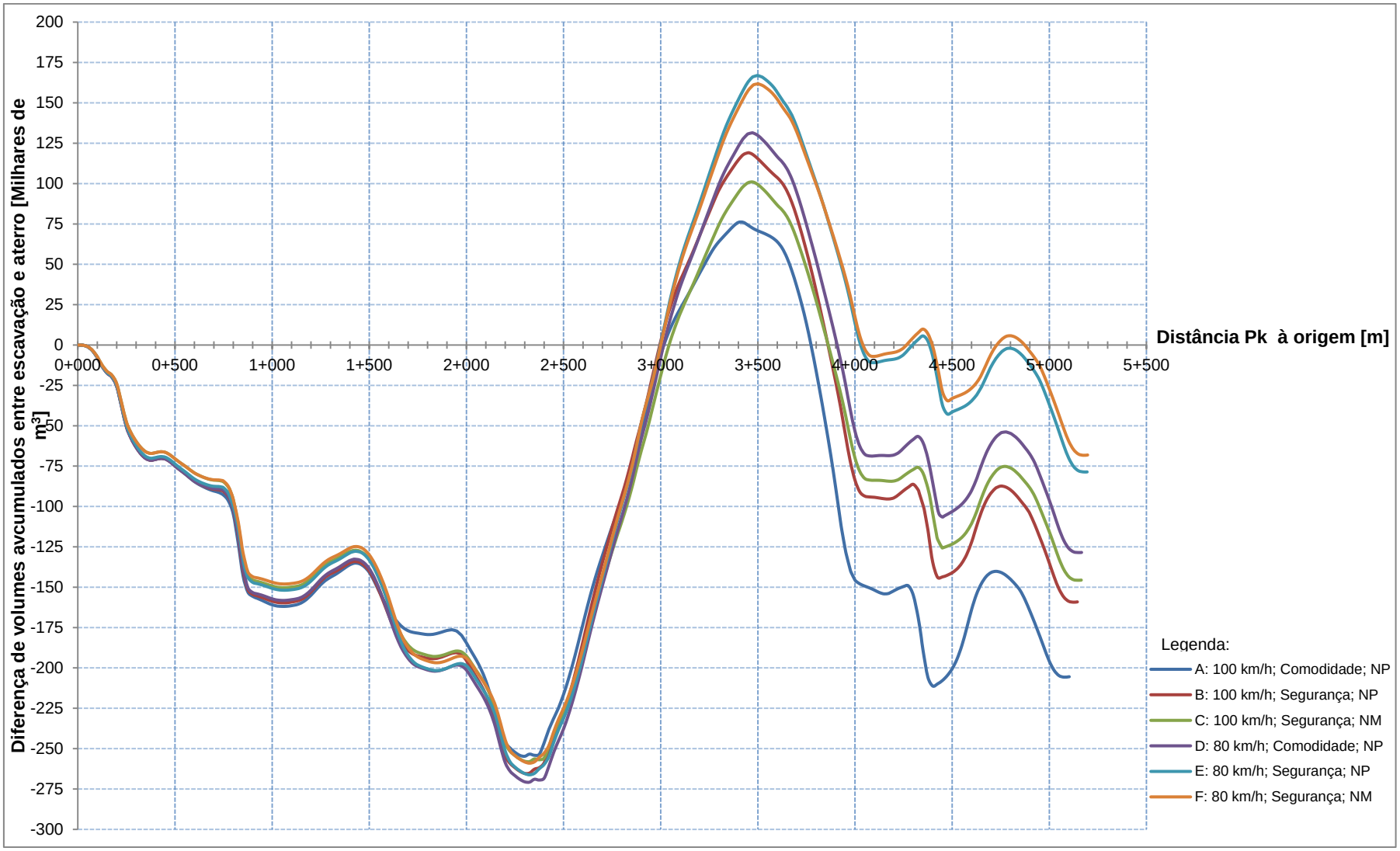


Figura 3.4 – Comparação das curvas de Brückner dos seis casos de estudo

A análise do gráfico revela duas zonas distintas:

- A primeira zona revela uma topografia montanhosa consistente, já que, de uma forma geral, todas as curvas dos casos de estudo permanecem adjacentes, até à distância Pk 3+000 m. Nesta zona, a diferença entre normativos parece não ter qualquer impacto no volume de terras resultantes.
- A segunda zona revela uma topografia montanhosa mais acidentada, com maiores variações, uma vez que as curvas tornam-se cada vez mais divergentes, à medida que a distância progride. Esta dispersão permite verificar que as curvas permanecem mais ou menos paralelas entre si. A partir do ponto Pk 4+500, a distribuição torna-se ainda mais divergente e menos paralela. Uma das causas possíveis será a diferente inclinação estabelecida no perfil longitudinal de cada caso de estudo, devido à obrigatoriedade de coincidir o último ponto da estrada na cota de terreno.

Analisando cada uma das velocidades base, os casos de estudo dimensionados segundo a segurança permanecem mais adjacentes, paralelos e menos dispersos, quando comparado com o caso de estudo dimensionado segundo o critério da comodidade. A principal diferença entre os casos de estudo, dimensionados segundo o critério da segurança, deve-se à diferença entre o perfil transversal, que é mais largo para o normativo português. A abordagem da comodidade aporta uma dispersão maior no volume de terras, relacionada com a utilização dos raios mínimos normais, bastante superiores aos raios mínimos absolutos.

As Normas Portuguesas exigem, para o mesmo tipo de autoestrada, um perfil transversal mais largo, cerca de 25,50 metros, e as Normas Mexicanas exigem 23,0 metros. Apesar de a diferença consistir em cerca de 2,50 metros, e como a dispersão entre as curvas dos casos de estudo (dimensionados segundo a segurança) é muito reduzida, pode-se concluir que o perfil transversal não é o parâmetro com maior influência nos movimentos de terra resultantes.

Deste modo, conclui-se que os raios estabelecidos no traçado em planta são o principal fator que diferencia os resultados dos movimentos de terra. Quanto maior for o raio utilizado em planta, a curva dos movimentos de terras resultantes torna-se cada vez mais dispersa em relação à curva de um projeto sob o normativo mexicano. Também se conclui que a influência do normativo nos movimentos de terras é tanto maior quanto mais acidentado for o terreno.

O Quadro 3.7 apresenta um resumo generalista da análise dos movimentos de terra nos diferentes casos de estudo.

Quadro 3.7 – Análise dos movimentos de terra dos casos de estudo

	Velocidade base	110 km/h			80 km/h		
	Abordagem	Comodidade		Segurança	Comodidade		Segurança
	Normativo	NP	NP	NM	NP	NP	NM
	Apêndice	A	B	C	D	E	F
Dados	Volume total de escavação [m^3]	449.884	489.359	454.476	508.016	526.136	512.263
Dados	Volume total de aterro [m^3]	655.360	648.469	600.081	636.497	604.736	580.380
Dados	Diferença de volumes acumulados entre escavação e aterro [m^3]	-205.475	-159.110	-145.604	-128.481	-78.601	-68.116
Análise	Relação entre o volume de terras movimentadas e o caso de estudo segundo as NM [m^3/m^3] *	1,09	1,08	**1**	1,10	1,04	**1**
Análise	Relação entre o volume de terras movimentadas e o caso de estudo equivalente em 80 km/h [m^3/m^3] **	1,03	1,07	1,03	**1**	**1**	**1**
Análise	Relação entre o volume de terras movimentadas e o caso de estudo F [m^3/m^3] ***	1,13	1,12	1,03	1,10	1,04	**1**
Análise	Quociente entre a diferença de volume de terras de escavação e aterro, e o volume de terras movimentadas [%]	31,4%	24,5%	24,3%	20,2%	13,0%	11,7%
Análise	Relação entre a diferença de volume de terras de escavação e aterro, e o caso de estudo segundo as NM [m^3/m^3] *	1,41	1,09	**1**	1,89	1,15	**1**
Análise	Relação entre a diferença de volume de terras de escavação e aterro, e o caso de estudo equivalente em 80 km/h [m^3/m^3] **	1,60	2,02	2,14	**1**	**1**	**1**
Análise	Relação entre a diferença de volume de terras acumuladas e o caso de estudo F [m^3/m^3] ***	3,02	2,34	2,14	1,89	1,15	**1**

* Comparação em cada velocidade, relativamente ao caso de estudo projetado pelas Normas Mexicanas, ou seja, para 110 km/h, compara-se A e B relativamente a C; para 80 km/h, compara-se D e E relativamente a F.

** Comparação entre velocidades, compara-se o caso de estudo da velocidade de 110 km/h, relativamente ao caso de estudo análogo de velocidade 80 km/h, ou seja, compara-se A a D, assim como B a E, e também C a F.

*** Comparação de cada caso de estudo com o caso de estudo "mexicano" de velocidade 80 km/h, ou seja, compara-se os casos de estudo A, B, C, D, E ao caso de estudo F.

Em relação ao volume de terras movimentadas (que nestes casos de estudo corresponde ao volume total de aterro), deve-se referir que, independentemente da velocidade, a relação do volume de terras movimentadas com o caso de estudo "mexicano" é similar, apresentando no máximo, para os casos de

estudo segundo o critério da comodidade (NP), cerca de 1,10 vezes o volume de terras do caso de estudo segundo as NM.

A relação do volume de terras movimentadas em comparação com o caso de estudo análogo da velocidade base 80 km/h, consiste em cerca de 1,3 para o projeto segundo a abordagem da comodidade (NP) e também para o projeto segundo a abordagem da segurança, dimensionado segundo as NM. Apenas o caso de estudo dimensionado segundo as NP com a abordagem da segurança apresenta uma relação de 1,8 de volumes de terras, não representando um valor muito distinto.

Dentro dos casos de estudo analisados, no máximo, para o caso de estudo A, apresenta um volume de terras movimentadas de 1,13 em relação ao caso de estudo F. Isto é, para a velocidade base de 110 km/h, segundo o critério da comodidade das NP, o volume de terras movimentadas corresponde a cerca de 13 pontos percentuais em relação ao volume do caso de estudo F, segundo as NM e para a velocidade base de 80 km/h.

Na análise da relação entre a diferença de volumes de escavação e aterro e o volume de terras movimentadas, o caso de estudo F constitui o caso mais favorável, com um coeficiente de 11,7%, tendo sido o primeiro a ser dimensionado. Enquanto o caso de estudo A constitui o mais desfavorável com 31,4%.

Para a velocidade base de 80 km/h, o caso de estudo D, dimensionado segundo a abordagem da comodidade, resulta num volume de terras 1,89 vezes em relação ao volume do caso de estudo F. Para a velocidade base 110 km/h, o caso de estudo A, dimensionado segundo a comodidade, representa um volume de terras de 1,41 vezes em relação ao volume do caso de estudo C.

Comparando os casos de estudo da velocidade base 110 km/h em relação aos análogos na velocidade base 80 km/h, constata-se que a diferença entre volumes de terras é menor para a abordagem segundo a comodidade, do que para a abordagem segundo a segurança, para o caso português (1,60 vezes). Para o projeto do México, a diferença de terras é maior, comparando as duas velocidades, o volume de terras finais para 110 m/h corresponde a cerca de 2,14 vezes o volume de terras para 80 km/h (caso de estudo C e caso de estudo F).

3.4. REFLEXÃO CRÍTICA DA INFLUÊNCIA DO NORMATIVO NO PROJETO

Os casos de estudo apresentados permitiram verificar quais os parâmetros normativos que têm maior influência nas características geométricas do projeto rodoviário:

- O raio em planta revela-se o parâmetro com maior predomínio na definição das características geométricas, ainda que se tenha que analisar em conjunto com o parâmetro da curva de transição. Em planta, tem uma influência residual na extensão total da estrada. Em perfil longitudinal tem maior relevância na imposição da diretriz, na topografia correspondente. Em perfil transversal, tem importância na medida que condiciona a sobre-elevação a adotar.
- O parâmetro da curva de transição (clotóide) tem particular importância, em planta devido à maior ou menor extensão do comprimento das curvas de transição, e em perfil transversal, tem repercussões no maior ou menor disfarce de sobre-elevação (tendo em conta o método linear adotado em cada um dos normativos). Em perfil longitudinal tem pouca relevância, uma vez que apenas contribui para a boa coordenação planta-perfil longitudinal devido à visibilidade.

- A sobre-elevação admitida em cada normativo tem repercussão na aceleração radial não compensada, tanto relativamente à segurança como à comodidade. O disfarce da sobre-elevação linear em Portugal torna-se vantajoso relativamente ao do México, devido à imposição de 25 metros de disfarce em reta e em clotóide. Esta imposição resulta numa zona com melhor escoamento das águas. O México, para além de possuir curvas de transição de maior comprimento, utiliza menores inclinações de disfarce da sobre-elevação, contribuindo para situações de aquaplanagem.
- Os raios das concordâncias têm influência na visibilidade, influenciando a segurança e comodidade de circulação.
- A largura da faixa de rodagem, no perfil transversal, revelou-se um parâmetro com influência pouco relevante no movimento de terras de cada caso de estudo, conforme justificado anteriormente.

As curvas de Brückner permitiram verificar que a implementação dos valores dos parâmetros normativos têm maior impacto em zonas acidentadas, com topografia mais variável, do que em zonas topográficas consistentes, apresentando uma influência quase nula.

Através das curvas de aceleração radial não-compensada, confirma-se que os projetos segundo as NP conduzem a acelerações menores, e portanto são menos incómodos.

Os casos de estudo analisados permitiram concluir que a aplicação de valores mais restritivos de parâmetros normativos pode tornar-se mais vantajosa, uma vez que a estrada adapta-se mais facilmente à topografia, resultando em menores diferenças de volumes acumulados de terras entre escavação e aterro, e consequentemente, em menores custos de terraplenagens.

Deste modo, pode reforçar-se a hipótese de que o normativo mexicano conduz a traçados mais económicos, devido ao menor volume de terraplenagens, e, por outro lado, o normativo português é mais seguro e cómodo, para a mesma velocidade adotada.

4

ANÁLISE COMPARATIVA DE PROJETOS RODOVIÁRIOS

4.1. INTRODUÇÃO

Neste capítulo pretende-se comparar os normativos dos países estudados (Portugal e México), recorrendo a metodologias de otimização de traçados, embora este tipo de análise não seja objetivo primordial da presente dissertação. Com base nos casos de estudo do capítulo anterior, e numa adaptação de um modelo de análise multicritério, é realizada uma avaliação e tentativa de seleção do melhor normativo.

A seleção do melhor alinhamento de uma estrada aporta diversos objetivos multidisciplinares, que facilmente podem conflituar com outros objetivos. Deste modo, a comparação de diversos casos de estudo, ou melhor, diversas alternativas de alinhamentos, consiste num problema complexo com alguma ambiguidade. É necessário fazer diversas análises comparativas que possam permitir "escolher" o melhor alinhamento, com diferentes visões, que suportem de forma segura a escolha realizada.

A aplicação de modelos de otimização em projetos rodoviários é uma forma de comparação e de seleção de alinhamentos, que agrupa diversos critérios, e que tem evoluído bastante na última década. Os dois critérios mais variáveis, e com maior peso nos critérios adotados na modelação, são a duração e o custo associados à realização da alternativa em causa. O principal parâmetro que pode pôr em causa a aplicabilidade da modulação é a geotecnia do terreno, por possuir um risco de incerteza elevado, ainda que a consistência da topografia também tenha bastante peso.

Após esta breve introdução, na secção 4.2 descrever-se-á o estado da arte deste capítulo, ou seja, uma explanação de alguns modelos existentes de otimização e de consistência de traçados. Nessa secção, é referido genericamente o âmbito dos mesmos e o tipo de modelação considerada. De seguida, na secção 4.3 deste capítulo, propõe-se uma adaptação de uma análise multicritério, apresentada no estado de arte deste capítulo (secção 4.2), e em 4.3.3, a aplicação dessa adaptação nos casos de estudo do Capítulo 3. Finalmente, na secção 4.4, apresenta-se uma reflexão crítica da modelação de projetos rodoviários e uma avaliação da adaptação da análise multicritério apresentada na secção anterior.

4.2. MODELOS DE OTIMIZAÇÃO - ESTADO DE ARTE

Os modelos de otimização surgem para apoiar a decisão da escolha do traçado mais ideal, durante a fase de planeamento. A escolha da melhor diretriz exige demasiadas considerações (de segurança, funcionais, sociais, políticas, ambientais, económicas, entre outras) que levam tempo e recursos humanos para estudar com pormenor, cada uma destas considerações.

A otimização do traçado é, portanto, um problema complexo que visa procurar as melhores alternativas (normalmente feito através do critério económico) para uma autoestrada que une pontos obrigatórios e localizações definidas à priori, de forma automática. Através de modelos computacionais é possível programar e considerar um conjunto de diversos fatores, ou seja, especificações e condicionantes: normativas, custos das terraplenagens, custos de expropriação, custos de exploração, topografia, uso do solo e até questões políticas e ambientais.

Cada vez mais, no mundo tecnológico e económico de hoje em dia, a escolha do traçado de uma estrada requer modelações capazes de simular o trabalho exaustivo da fase de planeamento. Durante este processo, geralmente há três fases principais: a escolha do corredor, a otimização do traçado (alinhamentos) e a modelação no dimensionamento geométrico.

A escolha do corredor está muito relacionada com a topografia e surgem duas prioridades: reduzir o custo e estudar a potencial procura para a circulação rodoviária; sendo uma visão geral de custo-benefício. Na pesquisa bibliográfica realizada, foram encontradas propostas de modelos para a seleção do corredor, como a de Angulo, E. [et al.] (2012), modelada através de algoritmos heurísticos. Nesse artigo científico, são ainda referenciados outros métodos de modelação de corredores como: otimizações em *network*, programação dinâmica, e "Langrangian relaxation".

Na otimização do traçado, é prioritário garantir que a procura será satisfeita através da fixação de pontos obrigatórios no traçado, estando assim relacionada com os custos do utilizador e do operador. Vários modelos matemáticos têm sido desenvolvidos, ora para otimizar o traçado em planta, ora para otimizar o perfil longitudinal, ou mesmo a combinação destes dois, surgindo assim a otimização tridimensional. A otimização tridimensional é a que revela mais interesse e também a mais difícil de modelar, uma vez que tem em conta variáveis tridimensionais e algoritmos bastante extensos. O tipo de modelação, encontrada através da pesquisa bibliográfica, está relacionado com a otimização tridimensional, mais concretamente a modelação através de algoritmos genéticos e sistemas de informação geográfica (GIS). Trabalhos desenvolvidos por Kang, M.-W. [et al.] (2012) e Jong, J.-C. and Schonfeld, P. (2003) são exemplo disso.

Recentemente surgem modelos empíricos como Mishra, S. [et al.] (2014) que têm em consideração as questões ambientais, e que visam otimizar o traçado.

Relativamente ao dimensionamento geométrico, a ligação entre o alinhamento e o normativo é estudada de forma a satisfazer a segurança rodoviária e os valores normativos. Também há modelações de algoritmos heurísticos e de programação linear que tentam, de certa forma, resolver a questão. Recentemente, já há estudos de dimensionamento geométrico de forma a minimizar o consumo de combustível e aumentar a segurança, como o trabalho desenvolvido por Kang, M.W. [et al.] (2013).

Para complementar o estudo desta dissertação e uma vez que a otimização de traçados rodoviários não era inicialmente objeto do presente trabalho, procurou-se um modelo simplificado que permitisse aplicar aos casos de estudo analisados no capítulo anterior. Apesar de ser deveras interessante estudar a modelação tridimensional existente, a maior parte dos modelos referidos requeriam *software* específico e um estudo muito mais extenso, que não seria compatível com o tempo disponível no

âmbito desta dissertação. Deste modo, avançou-se para um modelo de comparação simplificado, como a análise multicritério, das quais se destacam os trabalhos desenvolvidos por Kalamaras, G.S. [et al.] (2000) e Jha, M.K. (2003). O primeiro apresenta uma análise de prática simples, enquanto o segundo apresenta uma análise multicritério ligada à modelação de algoritmos, pelo que se optou pelo estudo de Kalamaras, G.S. [et al.] (2000),

4.3. ADAPTAÇÃO SIMPLIFICADA DE UMA ANÁLISE MULTICRITÉRIO

Na fase de planeamento de projeto de estradas, várias soluções são exploradas, que unem determinados pontos geográficos obrigatórios. Existem vários modelos de otimização de traçados que conseguem selecionar as melhores diretrizes e rasantes, tendo como prioridade a minimização do custo, mas a escolha do traçado é normalmente selecionada tendo em conta o impacte ambiental e as questões sociais e políticas (Jha, M.K., 2003).

A análise multicritério é uma forma de selecionar o melhor traçado, sendo uma excelente ferramenta para selecionar a melhor solução alternativa, com eficácia, de forma quantitativa e prática. A análise multicritério também é bastante útil por poder caracterizar a sensibilidade de diferentes visões/opiniões que, num investimento de uma infraestrutura rodoviária, correspondem às diferentes partes envolvidas no projeto.

Esta consiste num somatório de termos, os quais correspondem à multiplicação de pesos e pontuações, que caracterizam cada critério tido em consideração, conforme a expressão (4.1).

$$R_j = \sum W_i . S_{i.j} \tag{4.1}$$

Sendo W_i, o peso do critério i; S_{ij}, a pontuação do alinhamento j relativamente ao critério i. Finalmente Rj corresponde à média ponderada das pontuações do alinhamento j.

Esta ferramenta pode ser utilizada em conjunto com modelos mais complexos, que asseguram a fiabilidade da análise multicritério, através da redução de incerteza existente.

Como a seleção de alinhamentos abrange um conjunto de objetivos e critérios multidisciplinares, que podem ser mais ou menos prioritários (e até conflituar com outros critérios), a análise multicritério costuma ser chamada de "Multicriteria Scoring Model" (MSM), por abranger uma análise hierárquica de critérios, "Analytic Hierarchy Process" (AHP) (Kalamaras, G.S. [et al.], 2000).

4.3.1. "APLICAÇÃO DE UMA ANÁLISE MULTICRITÉRIO PARA SELECIONAR O MELHOR ALINHAMENTO RODOVIÁRIO" DE KALAMARAS, G.S. [ET AL.] (2000)

O trabalho desenvolvido por Kalamaras, G.S. [et al.] (2000) consiste numa ferramenta de fácil utilização que visa escolher o melhor alinhamento numa estrada. No progresso desta investigação utilizou-se cinco alternativas de alinhamentos para uma estrada na América do Sul.

Os principais objetivos abrangem quatro áreas diferentes:

- Construção - minimização do tempo de construção;
- Funcionalidade - otimização e maximização da funcionalidade/geometria do alinhamento (em termos de segurança);
- Ambiente - minimização do impacte ambiental;
- Economia - maximização dos resultados do investimento económico.

A análise multicritério desenvolvida definiu objetivos principais e secundários de forma hierárquica, em quatro níveis, e os pesos atribuídos foram com base em comparação entre pares, critérios quantitativos e a opinião de especialistas, sendo esta última a moderadora de todo o processo. Para facilitar o processo de ponderação dos pesos, utilizou-se o *software* EXPERT CHOICE (1995), que relaciona a importância de um critério relativamente ao outro, respeitando cada critério anteriormente tomado.

No Quadro 4.1 está apresentada a lista de objetivos do primeiro e segundo nível apresentada no artigo científico referenciado, e os respetivos pesos para o cenário base e os pesos internos dos critérios de cada objetivo.

Quadro 4.1 – Lista de objetivos de primeiro e segundo nível e pesos para o cenário base (Kalamaras, G.S. [et al.], 2000, 4)

ID	Objetivos de **primeiro** e segundo nível	Pesos [%]	
		Cenário Base	Peso interno
A	**Minimização do tempo de construção**	**30,0**	**100,0**
A1	Tempo de construção	9,0	30,0
A2	Probabilidade de completar o projeto em menos de 60 meses	3,0	10,0
A3	Custo de construção	7,5	25,0
A4	Variação do custo de construção	3,0	10,0
A5	Potencial de interferência na construção	1,5	5,0
A6	Mobilização de recursos	1,5	5,0
A7	Mobilização de recursos relacionados com os escalonamentos	1,5	5,0
A8	Necessidade de tecnologia avançada	1,5	5,0
A9	Tempo de "folga" na construção	1,5	5,0
B	**Maximização da "funcionalidade" operacional do alinhamento**	**20,0**	**100,0**
B1	Características do alinhamento	6,0	30,0
B2	Segurança	10,0	50,0
B3	Custos para o utilizador	4,0	20,0
C	**Minimização do impacte ambiental**	**10,0**	**100,0**
C1	Interação com o ambiente durante a exploração	4,0	40,0
C2	Interação com o ambiente durante a construção	2,0	20,0
C3	Restrições impostas por agências ambientais	4,0	40,0
D	**Maximização dos resultados de investimentos económicos**	**40,0**	**100,0**
D1	Financiamento da construção	8,0	20,0
D2	Aspetos contratuais com a concessionária	4,0	10,0
D3	Custos de operação e gestão	8,0	20,0
D4	Garantia na estimativa dos custos de operação e gestão	4,0	10,0
D5	Período de concessão	4,0	10,0
D6	Valor residual	4,0	10,0
D7	Desenvolvimento sustentável	4,0	10,0
D8	Outras receitas	4,0	10,0

Relativamente à pontuação, para o último nível (4º nível), a escala de pontuações dada a cada critério varia entre -3 a +3, ou seja, de muito crítico a ideal. Em alguns casos, poder-se-á atribuir -∞, a alternativas cujo desempenho que não se enquadre com alguma restrição no projeto, que eliminará automaticamente do processo de comparação. Nos restantes níveis, cada critério é definido por um índice quantitativo, que varia entre o mínimo e o máximo valor desse mesmo índice, para os diferentes alinhamentos.

O Quadro 4.2 apresenta uma ponderação dos objetivos principais (1º nível), sensibilizada pela "visão" e opinião de cada interveniente no projeto.

Quadro 4.2 – Ponderações aos objetivos de primeiro nível de acordo com a "visão" de cada interveniente (Kalamaras, G.S. [et al.], 2000, 4)

Objetivo principal	Cenários				
	Base	**A** Construtora	**B** Utilizador	**C** Dono de Obra	**D** Concessionária
A. Minimização do tempo de construção	30	**70**	20	20	10
B. Maximização da "funcionalidade" operacional do alinhamento	20	20	**70**	**40**	10
C. Minimização do impacte ambiental	10	10	10	**40**	10
D. Maximização dos resultados de investimentos económicos	**40**	0	0	0	**70**

Para resolver o problema da incerteza devido à natureza e heterogeneidade do solo e do desempenho durante a construção, utiliza-se o *software* "Decision Aids for Tunneling" (DAD) (1992), cujo campo de aplicação seria somente em túneis, e a versão melhorada deste software SIMSUPER (1999), que permite a aplicação em secções correntes de estradas, viadutos e túneis (Kalamaras, G.S. [et al.], 2000).

Por indisponibilidade de tempo e de acesso a este *software*, nesta dissertação apenas é feita uma explanação, com base no artigo científico já citado. Este programa consiste em dois módulos: a geotecnia e a construção, sendo que o módulo de geotecnia considera um método probabilístico que sequencia as condições geológico-geotécnicas ao longo do alinhamento, e de seguida, o módulo de construção está associado a uma distribuição antecipada com taxas de custo associadas que garantem que, sob as mesmas condições geotécnicas, há desvios em relação à *performance* construtiva esperada. No módulo construtivo também estão incluídas taxas de tarefas construtivas que não são ligadas à geotecnia, como por exemplo a pavimentação (Kalamaras, G.S. [et al.], 2000). A modelação de cada alinhamento com o *software* DAT, tem em conta três tipos de secções: as secções normais, em que a modelação é apenas feita nos trabalhos de escavação/aterros e de pavimentação; os viadutos têm em conta as fundações, estacas, betonagem e a pavimentação; em túneis, aborda a preparação prévia e a execução dos trabalhos no túnel, neste último é subdividido em escavação, suporte, impermeabilização e pavimentação.

Posteriormente à fase de pontuação e de moderação pelo *software*, é elaborado um quadro final de que apresenta a pontuação obtida segundo cada cenário, referidos anteriormente no Quadro 4.2. A solução escolhida corresponde à alternativa que obtém a melhor pontuação positiva em todos os cenários.

De certa forma, a escolha da alternativa considera uma igualdade entre os cenários apresentados, o que pode ser refutável, uma vez que o peso do cenário B (do ponto de vista de utilizador) é igual aos restantes e é único cenário que está relacionado com a viabilidade do projeto a longo prazo.

4.3.2. DESENVOLVIMENTO DA ANÁLISE MULTICRITÉRIO RELATIVAMENTE À "FUNCIONALIDADE"

Nesta dissertação, desenvolve-se apenas o objetivo relacionado com a maximização da "funcionalidade" operacional do alinhamento, uma vez que é o único objetivo que permite atribuir pontuações comparáveis.

Os restantes objetivos (minimização dos problemas construtivos, minimização do impacte ambiental e maximização dos resultados de investimentos económicos) exigiriam dados fiáveis que permitissem atribuir pontuações de forma correta e imparcial, uma vez que a aplicação aos casos de estudo engloba normativos de países diferentes (Portugal e México), aportando diferentes exigências, diferentes formas de análise de impacte ambiental, assim como custos de construção completamente distintos. Isto retiraria toda a credibilidade do estudo comparativo entre os casos de estudo.

Desta forma, avançou-se para uma análise multicritério direcionada para avaliar as diferenças que os dois normativos requerem em autoestradas.

4.3.2.1. Critérios propostos

O artigo científico citado refere apenas os critérios admitidos no primeiro e segundo nível.

Deste modo, o Quadro 4.3. apresenta a proposta para os restantes "níveis", relacionados com três temas principais (A, B e C) propostos por Kalamaras, G.S. [et al.] (2000).

Quadro 4.3 – Proposta de critérios relacionados a funcionalidade

Kalamaras et al. (2000)		Desenvolvimento				
A. Características do alinhamento	**30%**	A1. Velocidade base adotada				10,0%
		A2. Extensão da autoestrada				4,0%
		A3. Monotonia do traçado	9,0%	A3.1. Relação entre as extensões em reta e em curva		7,0%
				A3.2. Existência de limitação superior de extensão em alinhamento reto		2,0%
		A4. Homogeneidade do traçado				3,0%
		A5. Comodidade e estética	4,0%	A5.1. Estética (3º critério no dimensionamento das curvas de transição)		2,0%
				A5.2. Comodidade ótica (4º critério no dimensionamento das curvas de transição)		2,0%
B. Segurança	**50%**	B1. Visibilidade	17,5%	B1.1. Distância mínima de visibilidade de paragem	7,5%	*B1.1.a. Velocidade considerada*	4,0%
						B1.1.b. Tempo de reação	2,0%
						B1.1.c. Coeficientes de aderência longitudinais	1,0%
						B1.1.d. Arredondamento normativo	0,5%
				B1.2. Distância mínima de visibilidade de decisão	5,0%	*B1.2.a. Velocidade considerada*	3,0%
						B1.2.b. Tempo de decisão	1,5%
						B1.2.c. Arredondamento normativo	0,5%
				B1.3. Distância mínima de obstrução em curva			2,0%
				B1.4. Relação entre a altura do condutor e do objeto no critério de medida de visibilidade			3,0%
		B2. Drenagem	14,5%	B2.1. Concordâncias côncavas (raios mínimos)			3,0%
				B2.2. Área de impermeabilização			5,0%
				B2.3. Disfarce de sobre-elevação			6,5%
		B3. Aceleração radial	10,0%	B3.1. Raio adotado			2,0%
				B3.2. Limitação através de raios mínimos normais			1,5%
				B3.3. Sobre-elevação adotada			1,5%
				B3.4. Aceleração radial não compensada máxima			5,0%
		B4. Derrapagem	3,0%	B4.1. Derrapagem para o interior			1,5%
				B4.2. Derrapagem para o exterior			1,5%
		B5. (In)Segurança rodoviária	5,0%	B5.1. Intersecções de nível em plena autoestrada			3,0%
				B5.2. Reduções de velocidade repentinas			2,0%
C. Utilizador	**20%**	C1. Grau de incomodidade					5,0%
		C2. Custos	15,0%	C2.1. Nível de serviço mínimo garantido			13,0%
				C2.2. Portagens			2,0%

4.3.2.2. Pontuação

A pontuação atribuída terá valores entre 0 a +3, ou seja, entre crítico a ideal. Achou-se que a atribuição de pontuação negativa seria demasiado penalizadora, por exemplo, para casos de estudo dimensionados segundo um determinado normativo que não tivesse em consideração um determinado critério, e que deste modo, o valor mais penalizador admitido será nulo.

O Quadro 4.4 descreve, para cada critério, as considerações e as fórmulas de pontuações.

Quadro 4.4 – Fórmulas de pontuação aos critérios relacionados a funcionalidade

Critério		Fórmulas de Pontuação
A1. Velocidade base adotada	10,0%	$P = \frac{{V_{base}}^{adotada} - {V_{base}}^{min}}{{V_{base}}^{máx} - {V_{base}}^{min}} * 3$
A2. Extensão da autoestrada	4,0%	$K = \frac{Extensão_{\ tangentes\ dos\ alinhamentos} - Extensão_{\ total\ da\ autoestrada}}{Extensão_{\ total\ da\ autoestrada}} * 100$ $Se\ K < 0{,}5\%\ \ P = 0$ $Se\ 0{,}5\% \leq K < 1{,}5\%\ P = 1$ $Se\ 1{,}5\% \leq K < 2{,}5\%\ P = 2$ $Se\ K \geq 2{,}5\%\ P = 3$
A3.1. Relação entre as extensões em reta e em curva	7,0%	$P = \frac{Extensão_{\ alinhamentos\ curvos}}{Extensão_{\ total\ da\ autoestrada}} * 3$
A3.2. Existência de limitação superior de extensão em alinhamento reto	2,0%	$Se\ sim, \quad P = 3$ $Se\ não, \quad P = 0$
A4. Homogeneidade do traçado	3,0%	$P = \frac{{R_{min}}^{adotado}}{{R_{máx}}^{adotado}} * 3$
A5.1. Estética (3º critério no dimensionamento das curvas de transição)	2,0%	$Se\ sim, \quad P = 3$ $Se\ não, \quad P = 0$
A5.2. Comodidade ótica (4º critério no dimensionamento das curvas de transição)	2,0%	$Se\ sim, \quad P = 3$ $Se\ não, \quad P = 0$
B1.1.a. Velocidade considerada	4,0%	$Se\ Velocidade\ de\ tráfego, \quad P = 3$ $Se\ Velocidade\ base, \quad P = 1{,}5$ $Se\ Velocidade\ de\ marcha, \quad P = 0$

(Continuação)

Critério		Fórmula de Pontuação
B1.1.b. Tempo de reação	2,0%	$Se\ t_{reação} = 2{,}50\ s, \quad P = 3$ $Se\ t_{reação} = 2{,}00\ s, \quad P = 1{,}5$ $Se\ t_{reação} \leq 1{,}20\ s, \quad P = 0$
B1.1.c. Coeficientes de aderência longitudinais	1,0%	$Comparação\ entre\ "pares"$ $Coeficientes\ de\ adêrencia\ longitudinais\ mais\ restritivos, \quad P = 3$ $Coeficientes\ de\ adêrencia\ longitudinais\ menos\ restritivos, \quad P = 0$
B1.1.d. Arredondamento normativo	0,5%	$Desvio\ percentual\ entre\ o\ valor\ normativo\ e\ o\ valor\ de\ cálculo$ $K = \frac{D_{paragem}^{normativa} - D_{paragem}^{cálculo}}{D_{paragem}^{normativa}} * 100$ $Se\ K < 1{,}0\%\ \ P = 0$ $Se\ 1{,}0\% \leq K < 2{,}0\%\ P = 1$ $Se\ 2{,}0\% \leq K < 3{,}0\%\ P = 2$ $Se\ K \geq 3{,}0\%\ P = 3$
B1.2.a. Velocidade considerada	3,0%	$Se\ Velocidade\ de\ tráfego, \quad P = 3$ $Se\ Velocidade\ base, \quad P = 1{,}5$ $Se\ Velocidade\ de\ marcha, \quad P = 0$
B1.2.b. Tempo de decisão	1,5%	$Se\ t_{decisão} \geq 2{,}50\ s, \quad P = 3$ $Se\ 2{,}50\ \leq t_{decisão} \leq 2{,}50\ s, \quad P = 1{,}5$ $Se\ t_{decisão} \leq 1{,}20\ s, \quad P = 0$
B1.2.c. Arredondamento normativo	0,5%	$Desvio\ percentual\ entre\ o\ valor\ normativo\ e\ o\ valor\ de\ cálculo$ $K = \frac{D_{decisão}^{normativa} - D_{decisão}^{cálculo}}{D_{decisão}^{normativa}} * 100$ $Se\ K < 1{,}0\%\ \ P = 0$ $Se\ 1{,}0\% \leq K < 2{,}0\%\ P = 1$ $Se\ 2{,}0\% \leq K < 3{,}0\%\ P = 2$ $Se\ K \geq 3{,}0\%\ P = 3$
B1.3. Distância mínima de obstrução em curva	2,0%	$K = \frac{L_{berma\ exterior}}{D_{min}^{obstrução}}$ $Se\ K < 250\%\ \ P = 0$ $Se\ 250\% \leq K < 300\%\ P = 1$ $Se\ 300\% \leq K < 350\%\ P = 2$ $Se\ K \geq 350\%\ P = 3$

(Continuação)

Critério		Fórmula de Pontuação
B1.4. Relação entre a altura do condutor e do objeto no critério de medida de visibilidade	3,0%	*Comparação entre "pares" entre o normativo português e mexicano:* *- Altura do objeto é igual: 0,15 m,* *- Altura dos olhos do condutor é diferente: 1,05 m (NP) e 1,14 m (NM)* *Logo a combinação mais restritiva e segura é segundo as NP (P=3); e para o México (P=1,5)*
B2.1. Concordâncias côncavas (raios mínimos)	3,0%	*Comparação entre "pares"* *Para facilitar a drenagem, o raio das concordâncias côncavas deve ser o menor possível. Assim, tomou-se como base o normativo mexicano (P=3), logo a pontuação dos casos de estudo segundo o normativo português, vem:* $P = \frac{R_{min}{}^{côncavo}(NM)}{R_{min}{}^{côncavo}(NP)} * 3$
B2.2. Área de impermeabilização	5,0%	*Comparação entre "pares"* *Quanto menor a área de impermeabilização, maior é a segurança relacionada com a drenagem.* $P\ (NM) = 3$ $P\ (NP) = \frac{Largura_{\ perfil\ transversal}{}^{(NM)}}{Largura_{\ perfil\ transversal}{}^{(NP)}} * 3$ $sendo\ Largura_{\ perfil\ transversal}{}^{(NM)} = 23{,}0\ m$ $sendo\ Largura_{\ perfil\ transversal}{}^{(NP)} = 25{,}5\ m$
B2.3. Disfarce de sobre-elevação	6,5%	$Se\ Modelo\ parabólico\ sofisticado, \quad P = 3$ $Se\ Modelo\ parabólico\ simples, \quad P = 2$ $Se\ \ Modelo\ linear_{adaptado\ a\ autoestradas}, \quad P = 1$ $Se\ Modelo\ linear_{comum}, \quad P = 0$
B3.1. Raio adotado	2,0%	$Se\ R > R_{min.\ normal}, \quad P = 3$ $Se\ \ R = R_{min.\ normal}, \quad P = 2$ $Se\ R_{min.\ absoluto} < R < R_{min.\ normal}, \quad P = 1$ $Se\ R < R_{min.\ absoluto}, \quad P = 0$
B3.2. Limitação através de raios mínimos normais	1,5%	$Se\ sim, \quad P = 3$ $Se\ não, \quad P = 0$
B3.3. Sobre-elevação adotada	1,5%	*Comparação entre "pares"* $P = \frac{Se^{adotada}}{Se_{máx}{}^{(NM)}} * 3$

(Continuação)

Critério		Fórmula de Pontuação
B3.4. Aceleração radial não compensada máxima	5,0%	$Comparação\ entre\ "pares"$ $P = \frac{{a_{nc}}^{máx} - {a_{nc}}^{adotada}}{{a_{nc}}^{máx}} * 3$ *sendo* ${a_{nc}}^{máx} = 1{,}39\ m/s^2$ *(caso de estudo F)*
B4.1. Derrapagem para o interior	1,5%	$Se\ V \leq \sqrt{127R * \frac{f_t + Se}{1 - f_t * Se}},\ P = 3$ $Se\ V > \sqrt{127R * \frac{f_t + Se}{1 - f_t * Se}},\ P = 0$
B4.2. Derrapagem para o exterior	1,5%	$Se\ V \geq \sqrt{127R * \frac{Se - f_t}{1 + f_t * Se}},\ P = 3$ $Se\ V < \sqrt{127R * \frac{Se - f_t}{1 + f_t * Se}},\ P = 0$
B5.1. Intersecções de nível em plena autoestrada	3,0%	$Se\ sim,\quad P = 0$ $Se\ não,\quad P = 3$
B5.2. Reduções de velocidade repentinas	2,0%	*Como acontece em autoestradas mexicanas, com reduções repentinas na via esquerda.* $Se\ sim,\quad P = 0$ $Se\ não,\quad P = 3$
C1. Grau de incomodidade	5,0%	$P = \left[1 - \frac{Grau\ de\ incomodidade^{\ existente}}{Grau\ de\ incomodidade_{\ máx.\ admissivel}^{\ (0{,}5\ m/s^3)}}\right] * 3$
C2.1. Nível de serviço mínimo garantido	13,0%	$Se\ Nível\ de\ serviço\ mínimo\ é\ A,\quad P = 3$ $Se\ Nível\ de\ serviço\ mínimo\ é\ B,\quad P = 2$ $Se\ Nível\ de\ serviço\ mínimo\ é\ C,\quad P = 1$ $Se\ Nível\ de\ serviço\ mínimo\ é\ C/D,\quad P = 0$
C2.2. Portagens	2,0%	$Se\ não,\quad P = 3$ $Se\ sim,\quad P = 0$

4.3.3. APLICAÇÃO NOS CASOS DE ESTUDO

O Quadro 4.5 apresenta a pontuação atribuída de cada critério, para cada um dos casos de estudo analisados.

Quadro 4.5 – Resultados da adaptação da análise multicritério proposta

	Velocidade base	110 km/h			80 km/h		
	Abordagem	Comodidade	Segurança		Comodidade	Segurança	
	Normativo	NP	NP	NM	NP	NP	NM
	Apêndice	A	B	C	D	E	F
Critérios	A1.	2,25	2,25	3,00	0,00	0,00	0,00
	A2.	3,00	2,00	1,00	1,00	1,00	1,00
	A3.1.	2,03	1,56	1,29	1,06	0,76	0,74
	A3.2.	3,00	3,00	0,00	3,00	3,00	0,00
	A4.	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00
	A5.1.	3,00	3,00	0,00	3,00	3,00	0,00
	A5.2.	3,00	3,00	0,00	3,00	3,00	0,00
	B1.1.a.	3,00	3,00	0,00	3,00	3,00	0,00
	B1.1.b.	2,00	2,00	3,00	2,00	2,00	3,00
	B1.1.c.	3,00	3,00	0,00	3,00	3,00	0,00
	B1.1.d.	3,00	3,00	0,00	0,00	0,00	1,00
	B1.2.a.	3,00	3,00	0,00	3,00	3,00	0,00
	B1.2.b.	1,00	1,00	0,00	1,00	1,00	0,00
	B1.2.c.	1,00	1,00	0,00	1,00	1,00	0,00
	B1.3.	3,00	3,00	1,00	2,00	2,00	1,00
	B1.4.	3,00	3,00	1,50	3,00	3,00	1,50
	B2.1.	2,02	2,02	3,00	2,14	2,14	3,00
	B2.2.	2,71	2,71	3,00	2,71	2,71	3,00
	B2.3.	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
	B3.1.	2,00	0,00	0,00	2,00	0,00	0,00
	B3.2.	3,00	1,00	1,00	3,00	1,00	1,00
	B.3.3.	2,10	2,10	3,00	2,10	2,10	3,00
	B.3.4.	2,12	0,88	0,28	2,12	0,04	0,00
	B4.1.	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	B4.2.	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	B5.1.	3,00	3,00	0,00	3,00	3,00	0,00
	B5.2.	3,00	3,00	0,00	3,00	3,00	0,00
	C1.	2,22	1,74	1,44	1,92	1,08	1,32
	C2.1.	1,00	1,00	3,00	0,00	0,00	1,00
	C2.2.	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00
Pontuação total		68,44	61,26	32,51	58,05	50,83	27,56
Pontuação total percentual		**71,9%**	**64,3%**	**51,5%**	**53,6%**	**45,7%**	**31,1%**
Relação percentual em cada velocidade		*100,0%*	*89,4%*	*71,7%*	*100,0%*	*85,3%*	*58,0%*

Os resultados desta análise já seriam, de certa forma, previsíveis, através da longa análise nesta dissertação, que passou pela comparação dos valores normativos no Capítulo 2, pelos projetos dos seis casos de estudo e as análises destes, no Capítulo 3, e agora uma análise quantitativa que compara os casos de estudo, e consequentemente, compara o normativo dos dois países estudados (Portugal e México).

É nesta análise multicritério do presente capítulo que se comparam os projetos, englobando vários critérios/fatores que se consideraram serem os mais importantes. A pontuação total percentual que se obteve numericamente indica uma ordem de grandeza mais eficiente e ponderada, no qual é possível saber qual dos projetos é que seria escolhido num caso de estudo real, do ponto de vista do utilizador, ou seja no cenário B da análise multicritério apresentada por Kalamaras, G.S. [et al.] (2000).

Através da pontuação da análise multicritério proposta, é possível verificar qual o caso de estudo garante mais segurança e comodidade na circulação. Naturalmente, o caso de estudo A possui maiores raios em planta e menores acelerações radiais não compensadas, numa velocidade maior.

Um caso curioso descoberto ao longo desta dissertação é a semelhança entre o caso de estudo D "português" de 80 km/h, segundo a abordagem da comodidade, e o caso de estudo C "mexicano" de 110 km/h, segundo a abordagem da segurança. Mais uma vez, a análise multicritério proposta destacou, numericamente, uma semelhança forte entre estes dois casos. Esta semelhança sobressai-se de tal forma, que o caso de estudo D (80 km/h; comodidade; NP) obteve uma pontuação superior ao caso de estudo C (110 km/h; segurança; NM). Isto significa que a nível de segurança e comodidade, o caso de estudo D é melhor que o caso de estudo C.

Em relação à pontuação de cada caso de estudo, dentro de cada velocidade, é visível que, para velocidades superiores, as pontuações finais estão menos dispersas do que para velocidades inferiores. Ou seja, para velocidade 110 km/h, as pontuações dos três casos de estudo variam 28,3 pontos percentuais (100,00%-71,7%), sendo que para 80 km/h, as pontuações variam 42,0 pontos percentuais (100,00%-58,00%).

4.4. REFLEXÃO CRÍTICA

O trabalho desenvolvido neste capítulo corresponde a uma análise multicritério simplificada, com o objetivo de comparar quantitativamente os casos de estudo anteriormente apresentados.

Os critérios propostos na adaptação da análise multicritério representam, de certa forma, o reflexo das principais diferenças normativas evidenciadas ao longo desta dissertação, entre Portugal e México. Assim, selecionaram-se os critérios que se consideravam importantes serem comparados, e atribuíram-se os pesos de acordo com a importância considerada para a cada um.

A pontuação atribuída tem sempre o ponto de vista da segurança e do benefício para o utilizador. Algumas pontuações, por serem de difícil análise, foram dadas através de uma "comparação entre pares", ou seja, de uma análise comparativa entre os casos de estudo, tendo que ser adaptadas para aplicação noutras outras realidades.

Apesar de a análise ter sido desenvolvida da forma mais correta e eficiente possível, como a atribuição dos critérios (e respetivos pesos) e as pontuações foi realizada para este estudo em concreto, a principal fraqueza desta análise multicritério poderá ser a parcialidade, pelo que as conclusões devem ser consideradas com alguma reserva.

Outro estudo interessante seria uma análise multicritério, de acordo com o objetivo D, relacionada com a maximização dos resultados de investimentos económicos. Porém, este tema é bastante

particular, uma vez que, para além da diferença de câmbio entre as duas moedas, as realidades dos dois países são bastante diferentes. Por exemplo, o custo médio por quilómetro de uma autoestrada portuguesa ronda os 2.000.000 €, certamente que no México o valor deverá ser distinto.

O Quadro 4.6 apresenta o peso parcial, por rubrica, em relação ao custo total da obra. Neste quadro, apenas estão apresentadas as rubricas que se consideraram como mais importantes, para o caso português.

Quadro 4.6 – Peso parcial médio por rubrica, em relação ao custo total da obra [%]

	Portugal
Terraplenagens	41,0%
Pavimentação	20,8%
Obras de arte	23,7%
Equipamentos de sinalização e segurança	0,5%
Drenagem	4,7%

Analisando os valores dos quadros anteriores, facilmente se percebe que o estudo económico e a viabilidade económica de um projeto rodoviário abarcam considerações e prioridades distintas, que não podem ser comparadas linearmente.

Em síntese, nos resultados da análise multicritério proposta verifica-se, mais uma vez, que Portugal tem o normativo melhor em termos de segurança e de comodidade. Em paralelo, também se verifica a analogia entre os casos de estudo C e D, na qual um projeto rodoviário "mexicano" de velocidade base de 110 km/h se assemelha a um projeto rodoviário "português" projetado para uma velocidade base de 80 km/h, tendo este último melhor pontuação na análise multicritério apresentada.

5

CONCLUSÕES FINAIS E PERSPETIVAS FUTURAS

5.1. CONCLUSÕES FINAIS

Como se referiu, o objetivo primordial e tema desta dissertação é comparar o projeto de autoestradas no México relativamente ao projeto rodoviário de autoestradas em Portugal. Os objetivos específicos, relacionados com o estudo de normativos e a aplicação a um caso prático, são: comparar diferentes normas geométricas rodoviárias; identificar as principais diferenças dos parâmetros geométricos que suportam as normas; analisar o enquadramento internacional do projeto rodoviário com aplicação a casos de estudos. Deste modo, far-se-á uma breve síntese das principais conclusões obtidas em cada capítulo da presente dissertação.

No Capítulo 2 «Normativo: Portugal, México e USA» analisou-se em detalhe os normativos de Portugal, México e confrontou-se com o normativo dos Estados Unidos da América, e em paralelo com alguns valores normativos europeus. A análise das normas de traçado exigiu uma pesquisa bibliográfica eficiente e englobou várias divisões: um enquadramento geral das "autoestradas" dos países estudados (abordada na introdução do capítulo), o estudo dos elementos básicos de projeto, do traçado em planta, do perfil longitudinal e do perfil transversal, tendo sido constatadas algumas especificidades que se resolveram fazer referência. Ao longo destas divisões, foram estudados detalhadamente os parâmetros que suportam os valores normativos e verificou-se a influência destes no valor de cálculo, e consequentemente, no valor normativo exigido.

Relativamente aos elementos básicos de projeto, constatam-se algumas diferenças:

- As considerações relativamente à velocidade utilizada no projeto rodoviário consistem genericamente na utilização do conceito velocidade base, velocidade de tráfego e velocidade de marcha. De uma maneira geral, a velocidade base considerada numa autoestrada tem valor mínimo de 80 km/h em todos os normativos, e valor máximo de 110 km/h para o México, e 140 km/h para Portugal. Assim, a velocidade de tráfego e de marcha são obtidas a partir da definição à priori da velocidade base.
- A principal diferença evidenciada nas distâncias mínimas de visibilidade foi a consideração da distância mínima de visibilidade de decisão, exigida apenas no normativo português. A distância mínima de paragem (comum em todos os normativos e inferior à distância de visibilidade de decisão) revelou-se mais restritiva para Portugal, que apresenta valores superiores, e o caso do México revela-se menos conservativo e menos exigente.

- Quanto ao tráfego, as considerações relativamente ao volume horário de projeto são comuns nos países analisados, mas relativamente aos níveis de serviço mínimos, Portugal e os USA têm exigências similares, enquanto o México é mais exigente.

Em relação ao traçado em planta, reconhecessem-se algumas diferenças significativas:

- A exigência do normativo português de uma extensão máxima do alinhamento reto ($20.V_{base}$).
- Relativamente às curvas circulares, analisou-se os parâmetros que suportam os valores normativos dos raios mínimos. Verificou-se que os raios mínimos absolutos de Portugal ultrapassam as exigências dos outros dois países (USA e México), sendo que para velocidades base maiores a dispersão entre valores normativos aumenta. O raio mínimo normal é uma condição extraordinária, tomada apenas pelas Normas Portuguesas (NP), estando relacionada com a comodidade. Ainda se constatou que Portugal não exige sobrelargura em curvas circulares, em autoestradas, uma vez que os raios mínimos são sempre superiores a 200 metros. Em curvas circulares, as NP limitam a extensão da curva circular, avaliam a homogeneidade do traçado, e apresentam estudos que determinam a velocidade não impedida da curva. A visibilidade em curvas horizontais é compensada pela imposição da distância mínima de obstrução que, para raios mínimos, o normativo português é mais exigente que o normativo mexicano.
- Nas curvas de transição, observou-se que Portugal tem em conta 4 critérios de dimensionamento, enquanto o México tem apenas dois critérios. Apesar disso, para autoestradas com a largura do separador inferior a 8 metros, o valor mínimo normativo do parâmetro de clotóide assemelha-se nos dois países. Porém, como os valores normativos dos raios mínimos são muito diferentes, os comprimentos mínimos da curva de transição são completamente distintos.

No que diz respeito ao perfil longitudinal, verifica-se que:

- Relativamente aos trainéis, a inclinação mínima é comum em todos os países (0,5%). Porém, quanto à inclinação máxima, há uma limitação distinta entre os países. Em autoestradas, as NP consideram uma inclinação máxima (para terreno plano) bastante superior à do México (6% e 4%, respetivamente, para a velocidade base de 80 km/h). A extensão crítica em trainéis também é completamente distinta, já que em Portugal é mais exigente a projetar vias adicionais para pesados quando comparado com os restantes países.
- Nas concordâncias verticais, verificou-se que as NP exigem valores (absolutos) bastantes superiores de raios mínimos de concordâncias (convexas e concavas), relativamente aos restantes países.

Finalmente no perfil transversal, observa-se que:

- Geometricamente, a inclinação transversal difere entre Portugal e México, sendo 2,5% e 2,0% respetivamente. A largura mínima exigida para a faixa de rodagem em autoestradas é maior em Portugal do que no México. Também a largura das bermas e dos separadores centrais difere, constatando-se que Portugal utiliza valores mínimos maiores.
- Quanto à sobre-elevação, evidenciou-se diferenças na sobre-elevação máxima admitida (relacionada também com o clima do país), e nas tabelas normativas respetivas. Quanto ao disfarce da sobre-elevação, todas as normas abordam unicamente o método linear, à exceção dos USA que na última revisão incluíram o disfarce parabólico simplificado no normativo.

Deste modo, fez-se referência ao método parabólico sofisticado que constitui no melhor disfarce capaz de reduzir o risco de aquaplanagem.

De uma maneira geral, verificou-se que os valores normativos do México são quase sempre mais baixos que os portugueses, porque a maioria dos parâmetros que suportam os valores normativos são menos conservativos. Para a mesma velocidade, os valores normativos portugueses são maiores e superiores, em valor absoluto, aos valores normativos mexicanos. Isto significa que o normativo português é mais exigente, garantindo mais facilmente os critérios da segurança e comodidade e repercutindo em maiores investimentos económicos.

No Capítulo 3 «Casos de Estudo» faz-se a ligação entre o normativo e o projeto. Elaborou-se seis projetos rodoviários, dimensionados para duas velocidades base diferentes e segundo cada um dos normativos: Portugal ou México. Estes foram analisados comparativamente relativamente à geométrica (diretriz e rasante), às acelerações radiais não compensadas e ao volume de movimentos de terras.

Através da análise comparativa entre os casos de estudo, descobriu-se um caso singular relacionado com o facto de uma autoestrada "portuguesa" dimensionada para a velocidade base de 80 km/h, segundo a abordagem da comodidade (caso de estudo D), satisfazer praticamente todos os requisitos normativos de uma autoestrada "mexicana" dimensionada para a velocidade base de 110 km/h, segundo a abordagem da segurança (caso de estudo C).

Quanto aos valores normativos, verificou-se que quase todos os parâmetros do caso de estudo D satisfazem o caso de estudo C, por exemplo, o raio mínimo (normal) do caso de estudo português é superior ao raio mínimo do caso mexicano. O principal requisito que o caso de estudo D não satisfaz o caso de estudo C é o parâmetro de clotóide. A análise geométrica verificou uma "sobreposição" das diretrizes dos dois casos de estudo evidenciados, e uma semelhança analítica bastante acentuada. Também na análise das acelerações radiais não compensadas se verifica, para o caso de estudo D (NP), cerca de 0,41 m/s^2 e um grau de incomodidade de 0,18 m/s^3; enquanto para o caso de estudo C (NM), apresenta 1,26 m/s^2 de aceleração radial não compensada de 0,26 m/s^3 de grau de incomodidade. Através das curvas de Brückner, verificou-se que o volume de terras do caso de estudo português é inferior ao caso de estudo mexicano. Pelo que neste parâmetro, o caso português consegue economizar terraplenagens.

O Capítulo 4 «Análise Comparativa de Projetos Rodoviário» apresenta uma breve referência a alguns modelos de otimização existentes. É apresentada uma proposta de desenvolvimento de uma análise multicritério apresentada por Kalamaras, G.S. [et al.] (2000). Esta análise, relacionada com a "funcionalidade", ou seja, relacionada com o desempenho geométrico do projeto rodoviário em termos de segurança e comodidade, foi aplicada aos casos de estudo do capítulo anterior.

Similarmente, esta revelou que o caso de estudo D (NP) apresenta melhor pontuação que o caso de estudo C (NM), relativamente à funcionalidade operacional do alinhamento, o que significa que, o projeto "português", projetado para velocidade base de 80 km/h, satisfaz melhor os requisitos da segurança e comodidade. A semelhança entre os dois casos de estudo é tão intrínseca que no limite, sem mais dados e considerações, de entre os dois escolher-se-ia o caso de estudo português. Um estudo mais detalhado desta semelhança retiraria todas as dúvidas se seria, ou não, plausível a escolha do caso de estudo D em detrimento ao caso de estudo C.

Finalizando, a combinação de todos os parâmetros normativos estudados (Capítulo 2), aplicados em projetos de autoestradas (Capítulo 3) e comparados através de acelerações radiais não compensadas, curvas de Brückner e posteriormente através de uma análise multicritério (Capítulo 4), permite

concluir que o normativo mexicano é menos restritivo (por possuir menos exigências normativas) e portanto, garante menor comodidade e segurança que o normativo português. Por possuir maior flexibilidade de implantação, pode-se dizer que o projeto mexicano alcança maior economia que o normativo português.

Outra conclusão pertinente prende-se com o facto das diferenças normativas serem mais significativas quanto maior for a velocidade base considerada e quanto mais acidentado for a topografia do terreno.

5.2. PERSPETIVAS DE DESENVOLVIMENTO PARA INVESTIGAÇÃO FUTURA

Ao longo do desenvolvimento desta dissertação, a análise crítica em relação aos parâmetros normativos considerados e a combinação destes no projeto rodoviário, proporcionou diferentes perspetivas para investigação, que não foram estudadas em pormenor por não se enquadrarem com o objetivo primordial desta dissertação, relacionado com a comparação de projetos de autoestradas do México e de Portugal.

Deste modo, apresentam-se dois temas distintos, relacionados com a geometria e a aplicação de modelos de otimização em traçados rodoviários, como sugestão para trabalhos futuros, que contribuiriam muito para a investigação atual da engenharia rodoviária.

Ao nível da geometria, o tema do disfarce da sobre-elevação é uma área pouco desenvolvida, por talvez, globalmente, o problema da aquaplanagem ser pouco valorizado, mas em países desenvolvidos (principalmente europeus) é um "problema" a mitigar. A análise normativa evidenciou a utilização do disfarce linear para praticamente todas as categorias de estrada, mas em autoestradas o problema da aquaplanagem ganha outra dimensão e o disfarce parabólico reduz fortemente este risco. Assim, considera-se que o estudo de modelos parabólicos para o disfarce sobre-elevação é uma área a desenvolver.

Também relativamente ao disfarce da sobre-elevação, evidenciou-se que os critérios de dimensionamento das curvas de transição são específicos para o disfarce linear. Em estudo a realizar seria importante reavaliar os critérios de dimensionamento das clotóides adaptados ao disfarce parabólico, que deve ser utilizado em autoestradas.

Em relação aos modelos de otimização de traçados, verificou-se que estes têm imensa utilidade na fase de planeamento do projeto. Para além de reduzir tempo e recursos humanos (que naturalmente estão associados a custos), durante a decisão da escolha do melhor traçado, estes conseguem incluir diversos critérios e ponderações de forma automática. A pesquisa bibliográfica realizada é particularmente útil para perceber a importância dos modelos de otimização no mundo global atual e tecnológico, sendo uma área a explorar e a desenvolver numa investigação futura.

Chegando ao fim deste trabalho, a minha competência técnica ao nível do projeto rodoviário é deveras evidente. O estudo normativo e os projetos dos casos de estudo aumentaram a minha capacidade crítica, contribuindo assim para o meu desenvolvimento profissional de forma ímpar. A nível internacional, o projeto de estradas tem particular interesse devido à realidade de globalização que o mundo hoje em dia atravessa. Deste modo, dou por concluída esta dissertação, esperando contribuir para o conhecimento rodoviário mundial.

6
APÊNDICES

Apêndice A CASO DE ESTUDO: 110 KM/H, COMODIDADE, NP

A.1. GEOMETRIA DA DIRETRIZ

PK [m]	Elemento	Extensão [m]
0+000,00	Alinhamento reto	534,19
0+534,19	Curva composta à direita R=850,00 m; L=94,22 m; A =283,00 m	94,22
0+628,41	Curva circular à direita R=850,00 m	402,42
1+030,83	Curva composta à direita R=850,00 m; L=94,22 m; A =283,00 m	94,22
1+125,05	Alinhamento reto	48,95
1+174,00	Curva composta à esquerda R=850,00 m; L=94,22 m; A =283,00 m	94,22
1+268,22	Curva circular à esquerda R=850,00 m	563,95
1+832,17	Curva composta à esquerda R=850,00 m; L=94,22 m; A =283,00 m	94,22
1+926,39	Alinhamento reto	545,55
2+471,95	Curva composta à direita R=850,00 m; L=94,22 m; A =283,00 m	94,22
2+566,17	Curva circular à direita R=850,00 m	538,83
3+104,99	Curva composta à direita R=850,00 m; L=94,22 m; A =283,00 m	94,22
3+199,22	Alinhamento reto	3,80
3+203,01	Curva composta à esquerda R=850,00 m; L=94,22 m; A =283,00 m	94,22
3+297,24		

(Continuação)		
PK [m]	*Elemento*	*Extensão [m]*
3+297,24	Curva circular à esquerda R=850,00 m	540,01
3+837,24		
3+931,47	Curva composta à esquerda R=850,00 m; L=94,22 m; A =283,00 m	94,22
4+246,70	Alinhamento reto	315,23
4+340,92	Curva composta à esquerda R=850,00 m; L=94,22 m; A =283,00 m	94,22
4+807,67	Curva circular à esquerda R=850,00 m	466,75
4+901,89	Curva composta à esquerda R=850,00 m; L=94,22 m; A =283,00 m	94,22
5+102,83	Alinhamento reto	200,94

A.2. GEOMETRIA DA RASANTE

PK [m]	Elemento	Cota [m]
0+000,00	Trainel 1 Ascendente i=+1,0000 %; L=1617,59m	957,175
1+617,59		973,351
1+832,170	Concordância convexa 1 R=+13000,00 m; D=325,00 m	973,725
1+942,59	Trainel 2 Descendente i=-1,5000 %; L=479,66 m	972,540
2+422,24		965,343
2+566,17	Concordância convexa 2 R=+13000,00 m; D=455,00 m	962,388
2+877,24	Trainel 3 Descendente i=-5,0000 %; L=1047,55 m	950,560
3+924,79		898,178
4+074,79	Concordância côncava 1 R=-6000,00 m; D=150,00 m	892,550
4+260,31	Trainel 4 Descendente i=-2,5000 %; L=185,52 m	887,915
4+340,92	Concordância côncava 2 R=-6000,00 m; D=351,82 m	886,442
4+612,13	Trainel 5 Ascendente i=+3,3640 %; L=490,69 m	889,43
5+102,83		905,940

A.3. TABELA DE MOVIMENTOS DE TERRA

PK [m]	Escavação			Aterro			Diferença entre o Volume de escavação e o Volume de aterro acumulado [m^3]
	Área [m^2]	Volume [m^3]	Volume acumulado [m^3]	Área [m^2]	Volume [m^3]	Volume acumulado [m^3]	
0+000,00	0,00	0	0	0,00	0	0	0
0+025,00	8,02	100	100	17,60	220	220	-120
0+050,00	0,00	100	201	63,72	1017	1237	-1036
0+075,00	0,00	0	201	131,13	2436	3672	-3472
0+100,00	0,00	0	201	209,64	4260	7932	-7731
0+125,00	0,00	0	201	233,79	5543	13475	-13274
0+150,00	0,00	0	201	91,79	4070	17544	-17344
0+175,00	0,00	0	201	111,76	2544	20089	-19888
0+200,00	0,00	0	201	342,10	5673	25762	-25562
0+225,00	0,00	0	201	652,80	12436	38198	-37998
0+250,00	0,00	0	201	359,84	12658	50856	-50656
0+275,00	0,00	0	201	227,32	7339	58196	-57995
0+300,00	0,00	0	201	202,74	5376	63571	-63371
0+325,00	0,00	0	201	128,73	4143	67715	-67514
0+350,00	0,00	0	201	94,35	2789	70503	-70303
0+375,00	18,71	234	434	9,93	1303	71807	-71372
0+400,00	33,73	655	1090	0,72	133	71940	-70850
0+425,00	16,96	634	1723	0,01	9	71949	-70226
0+450,00	0,00	212	1935	46,95	587	72536	-70601
0+460,40	0,00	0	1935	68,67	601	73137	-71202
0+475,00	0,00	0	1935	93,36	1183	74320	-72385
0+485,40	0,00	0	1935	106,55	1040	75360	-73424
0+500,00	0,00	0	1935	108,20	1567	76927	-74992
0+510,40	0,00	0	1935	89,31	1027	77954	-76019
0+525,00	0,00	0	1935	88,95	1301	79255	-77320
0+534,19	0,00	0	1935	96,12	850	80106	-78170
0+550,00	0,00	0	1935	94,70	1509	81614	-79679
0+575,00	0,00	0	1935	108,70	2543	84157	-82222
0+600,00	0,00	0	1935	84,65	2417	86574	-84639
0+625,00	0,00	0	1935	65,06	1867	88440	-86505
0+628,41	0,00	0	1935	64,09	220	88661	-86725
0+650,00	0,00	0	1935	57,44	1309	89970	-88035
0+675,00	0,00	0	1935	51,67	1361	91332	-89396
0+700,00	0,00	0	1935	31,77	1040	92372	-90437
0+725,00	0,05	1	1936	38,51	873	93245	-91309
0+750,00	0,07	2	1938	96,54	1683	94928	-92991
0+775,00	0,08	2	1939	191,70	3602	98531	-96591
0+800,00	0,00	1	1940	460,27	8133	106663	-104723
0+825,00	0,00	0	1940	967,45	17759	124422	-122482
0+850,00	0,00	0	1940	660,32	20298	144720	-142779

(Continuação)

PK [m]	Escavação			Aterro			Diferença entre o Volume de escavação e o Volume de aterro acumulado [m^3]
	Área [m^2]	Volume [m^3]	Volume acumulado [m^3]	Área [m^2]	Volume [m^3]	Volume acumulado [m^3]	
0+875,00	0,22	3	1943	156,79	10236	154956	-153013
0+900,00	0,00	3	1946	55,95	2661	157617	-155671
0+925,00	0,00	0	1946	49,12	1313	158930	-156984
0+950,00	0,00	0	1946	56,24	1317	160247	-158301
0+975,00	0,00	0	1946	56,46	1408	161655	-159709
1+000,00	0,00	0	1946	40,89	1216	162871	-160925
1+025,00	0,00	0	1946	17,57	730	163600	-161654
1+030,83	0,00	0	1946	11,10	84	163684	-161738
1+050,00	0,00	0	1946	4,99	154	163838	-161892
1+075,00	9,27	116	2062	0,00	62	163900	-161837
1+100,00	20,51	372	2434	0,00	0	163900	-161465
1+125,00	25,82	579	3014	0,00	0	163900	-160886
1+125,05	25,93	1	3015	0,00	0	163900	-160885
1+150,00	63,94	1121	4136	0,00	0	163900	-159764
1+174,00	93,83	1893	6029	0,00	0	163900	-157871
1+175,00	95,16	95	6124	0,00	0	163900	-157776
1+200,00	126,30	2768	8892	0,00	0	163900	-155008
1+225,00	137,56	3298	12190	0,00	0	163900	-151710
1+250,00	121,35	3226	15416	0,00	0	163900	-148483
1+268,22	101,18	2018	17434	0,00	0	163900	-146465
1+275,00	92,58	657	18091	0,00	0	163900	-145809
1+300,00	64,89	1956	20048	0,00	0	163900	-143852
1+325,00	71,49	1695	21743	0,00	0	163900	-142157
1+350,00	86,81	1970	23713	0,00	0	163900	-140187
1+375,00	85,93	2151	25864	0,00	0	163900	-138035
1+400,00	67,65	1911	27776	0,00	0	163900	-136124
1+425,00	17,61	1059	28834	3,33	42	163942	-135108
1+450,00	0,16	220	29054	47,80	643	164585	-135531
1+475,00	0,00	2	29056	103,78	1902	166487	-137431
1+500,00	0,00	0	29056	165,52	3376	169863	-140807
1+525,00	0,00	0	29056	263,49	5378	175241	-146185
1+550,00	0,00	0	29056	233,43	6232	181473	-152417
1+575,00	0,00	0	29056	235,42	5883	187356	-158300
1+600,00	0,00	0	29056	204,35	5523	192879	-163823
1+625,00	0,00	0	29056	169,17	4692	197571	-168515
1+650,00	0,00	0	29056	131,53	3777	201348	-172292
1+675,00	0,00	0	29056	93,43	2826	204175	-175119
1+700,00	0,00	0	29056	55,26	1870	206045	-176988
1+725,00	2,53	31	29087	25,27	1014	207059	-177971
1+750,00	3,33	72	29159	20,59	578	207637	-178477

(Continuação)

PK [m]	*Escavação*			*Aterro*			*Diferença entre o Volume de escavação e o Volume de aterro acumulado [m^3]*
	Área [m^2]	*Volume [m^3]*	*Volume acumulado [m^3]*	*Área [m^2]*	*Volume [m^3]*	*Volume acumulado [m^3]*	
1+775,00	2,24	69	29228	23,99	562	208199	-178971
1+800,00	4,47	83	29311	12,69	462	208661	-179351
1+825,00	19,94	302	29612	1,97	185	208846	-179234
1+832,17	23,23	155	29767	0,98	11	208857	-179090
1+850,00	31,27	483	30250	0,00	9	208866	-178616
1+875,00	38,68	871	31121	0,00	0	208866	-177745
1+900,00	35,07	922	32043	0,00	0	208866	-176823
1+925,00	2,06	464	32507	0,61	8	208873	-176366
1+926,39	0,86	2	32509	2,40	2	208876	-176366
1+950,00	0,00	10	32519	61,50	754	209630	-177111
1+950,18	0,00	0	32519	62,17	11	209641	-177122
1+975,00	0,00	0	32519	153,93	2682	212323	-179804
1+975,18	0,00	0	32519	155,31	28	212351	-179831
2+000,00	0,00	0	32519	221,27	4673	217024	-184505
2+000,18	0,00	0	32519	221,15	40	217064	-184544
2+025,00	0,00	0	32519	201,57	5246	222310	-189791
2+050,00	0,00	0	32519	208,01	5120	227429	-194910
2+075,00	0,00	0	32519	260,37	5855	233284	-200765
2+100,00	0,00	0	32519	321,38	7272	240556	-208037
2+125,00	0,00	0	32519	434,04	9443	249999	-217480
2+150,00	0,00	0	32519	548,13	12277	262276	-229757
2+175,00	0,00	0	32519	325,73	10923	273199	-240680
2+200,00	0,00	0	32519	140,81	5832	279031	-246512
2+225,00	0,00	0	32519	112,29	3164	282195	-249675
2+250,00	0,00	0	32519	96,77	2613	284808	-252289
2+275,00	0,00	0	32519	53,70	1881	286689	-254170
2+300,00	17,58	220	32739	10,24	799	287488	-254749
2+325,00	99,87	1468	34207	0,00	128	287616	-253409
2+350,00	0,00	1248	35456	157,19	1965	289581	-254125
2+375,00	213,68	2671	38127	6,52	2046	291627	-253501
2+398,16	348,52	6510	44636	0,00	75	291703	-247066
2+400,00	349,47	643	45279	0,00	0	291703	-246424
2+423,16	333,13	7904	53183	0,00	0	291703	-238520
2+425,00	321,03	602	53785	0,00	0	291703	-237917
2+448,16	233,04	6416	60201	0,00	0	291703	-231502
2+450,00	232,08	428	60629	0,00	0	291703	-231074
2+471,95	288,71	5715	66344	0,00	0	291703	-225359
2+475,00	296,25	893	67237	0,00	0	291703	-224466
2+500,00	348,68	8062	75299	0,00	0	291703	-216404
2+525,00	406,13	9435	84734	0,00	0	291703	-206969

(Continuação)

PK [m]	Escavação			Aterro			Diferença entre o Volume de escavação e o Volume de aterro acumulado [m^3]
	Área [m^2]	Volume [m^3]	Volume acumulado [m^3]	Área [m^2]	Volume [m^3]	Volume acumulado [m^3]	
2+550,00	443,94	10627	95361	0,00	0	291703	-196342
2+566,17	469,26	7383	102744	0,00	0	291703	-188959
2+575,00	478,27	4184	106928	0,00	0	291703	-184775
2+600,00	485,88	12051	118979	0,00	0	291703	-172724
2+625,00	463,16	11869	130847	0,00	0	291703	-160855
2+650,00	425,00	11116	141964	0,00	0	291703	-149739
2+675,00	381,56	10105	152069	0,00	0	291703	-139634
2+700,00	355,75	9243	161312	0,00	0	291703	-130390
2+725,00	367,65	9067	170380	0,00	0	291703	-121323
2+750,00	334,10	8786	179166	0,03	0	291703	-112538
2+775,00	341,13	8443	187608	0,01	1	291704	-104096
2+800,00	385,13	9076	196684	0,00	0	291704	-95021
2+825,00	414,05	9984	206668	0,00	0	291704	-85037
2+850,00	410,57	10303	216971	0,00	0	291704	-74733
2+875,00	425,39	10444	227415	0,00	0	291704	-64289
2+900,00	504,75	11619	239034	0,00	0	291704	-52670
2+925,00	499,71	12549	251583	0,00	0	291704	-40121
2+950,00	470,01	12111	263694	0,00	0	291704	-28011
2+975,00	459,80	11613	275307	0,02	0	291704	-16398
3+000,00	386,10	10567	285874	0,00	0	291705	-5831
3+025,00	314,51	8752	294625	0,00	0	291705	2921
3+050,00	284,96	7485	302111	0,00	0	291705	10406
3+075,00	229,33	6414	308525	0,00	0	291705	16819
3+100,00	220,13	5597	314121	0,00	0	291705	22416
3+104,99	218,40	1095	315216	0,00	0	291705	23511
3+125,00	209,65	4265	319481	0,00	0	291705	27776
3+150,00	223,95	5406	324887	0,00	0	291705	33182
3+175,00	226,15	5626	330513	0,00	0	291705	38808
3+199,22	221,87	5425	335938	0,00	0	291705	44233
3+200,00	221,20	174	336112	0,00	0	291705	44406
3+203,02	219,38	664	336776	0,00	0	291705	45071
3+225,00	214,51	4770	341545	0,00	0	291705	49840
3+250,00	222,74	5466	347011	0,00	0	291705	55306
3+275,00	171,64	4924	351935	0,00	0	291705	60230
3+297,24	143,75	3498	355433	0,00	0	291705	63727
3+300,00	141,38	394	355827	0,00	0	291705	64121
3+325,00	125,00	3318	359145	0,02	0	291705	67440
3+350,00	130,93	3186	362331	0,00	0	291706	70625
3+375,00	120,03	3119	365449	0,00	0	291706	73743
3+400,00	59,79	2232	367681	0,00	0	291706	75975

(Continuação)

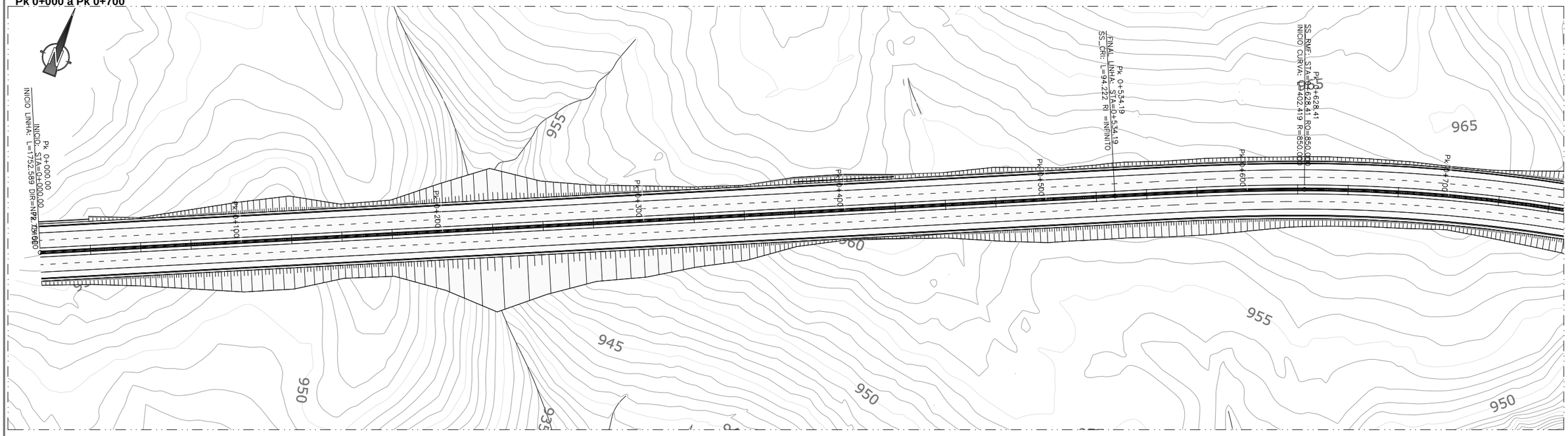
PK [m]	*Escavação*			*Aterro*			*Diferença entre o Volume de escavação e o Volume de aterro acumulado [m^3]*
	Área [m^2]	*Volume [m^3]*	*Volume acumulado [m^3]*	*Área [m^2]*	*Volume [m^3]*	*Volume acumulado [m^3]*	
3+425,00	0,27	745	368426	56,87	714	292420	76006
3+450,00	6,14	79	368505	91,88	1874	294294	74211
3+475,00	8,77	183	368688	77,76	2141	296435	72252
3+500,00	21,15	367	369055	69,26	1857	298292	70762
3+525,00	16,59	463	369518	64,97	1696	299989	69529
3+550,00	7,50	295	369813	67,24	1670	301658	68155
3+575,00	6,59	173	369985	82,84	1894	303552	66434
3+600,00	1,36	97	370083	122,18	2588	306139	63943
3+625,00	0,00	17	370099	189,23	3927	310066	60033
3+650,00	0,02	0	370100	288,45	6017	316083	54017
3+675,00	0,00	0	370100	351,06	8050	324133	45966
3+700,00	0,00	0	370100	412,34	9608	333741	36359
3+725,00	0,01	0	370100	448,11	10835	344576	25524
3+750,00	0,00	0	370100	522,19	12222	356797	13303
3+775,00	0,00	0	370100	592,26	14036	370834	-733
3+800,00	0,00	0	370100	628,27	15366	386200	-16099
3+825,00	0,00	0	370101	671,95	16357	402556	-32456
3+837,24	0,00	0	370101	699,00	8393	410949	-40849
3+850,00	0,00	0	370101	705,64	8959	419908	-49807
3+875,00	0,00	0	370101	741,42	18150	438057	-67957
3+900,00	0,00	0	370101	855,92	19967	458024	-87924
3+925,00	0,00	0	370101	833,25	21115	479139	-109038
3+931,47	0,00	0	370101	764,10	5165	484304	-114203
3+950,00	0,00	0	370101	583,64	12489	496793	-126692
3+955,25	0,00	0	370101	555,33	2992	499785	-129684
3+975,00	0,00	0	370101	387,24	9306	509091	-138990
3+980,25	0,00	0	370101	336,10	1900	510991	-140890
4+000,00	0,00	0	370101	143,60	4736	515727	-145626
4+005,25	0,00	0	370101	114,64	678	516405	-146305
4+025,00	0,00	0	370101	53,92	1664	518070	-147969
4+050,00	7,17	90	370190	61,07	1437	519507	-149317
4+075,00	16,76	299	370489	54,40	1443	520950	-150461
4+100,00	1,94	234	370723	72,38	1585	522535	-151812
4+125,00	7,97	124	370847	55,37	1597	524132	-153285
4+150,00	18,28	328	371175	39,87	1191	525323	-154147
4+172,91	55,59	846	372021	12,29	597	525920	-153899
4+175,00	57,81	118	372140	10,77	24	525944	-153804
4+197,91	80,08	1580	373719	2,76	155	526099	-152380
4+200,00	78,87	166	373885	2,83	6	526105	-152220
4+222,91	51,07	1489	375374	4,38	83	526188	-150814

(Continuação)							
PK [m]	Escavação			Aterro			Diferença entre o Volume de escavação e o Volume de aterro acumulado [m^3]
	Área [m^2]	Volume [m^3]	Volume acumulado [m^3]	Área [m^2]	Volume [m^3]	Volume acumulado [m^3]	
4+225,00	49,51	105	375479	4,31	9	526197	-150718
4+246,70	49,50	1074	376553	2,62	75	526272	-149719
4+250,00	50,29	165	376718	2,35	8	526280	-149562
4+275,00	5,58	698	377416	24,43	335	526615	-149199
4+300,00	0,00	70	377486	444,50	5862	532477	-154991
4+325,00	0,00	0	377486	651,84	13682	546158	-168672
4+340,92	0,00	0	377486	900,89	12361	558519	-181033
4+350,00	0,00	0	377486	857,26	7981	566500	-189014
4+375,00	1,44	17	377503	474,50	16740	583240	-205737
4+400,00	41,72	533	378036	0,73	6018	589258	-211222
4+425,00	66,73	1340	379376	0,00	9	589267	-209891
4+450,00	102,69	2097	381473	0,00	0	589267	-207794
4+475,00	143,98	3059	384532	0,00	0	589267	-204735
4+500,00	191,95	4175	388707	0,00	0	589267	-200560
4+525,00	291,96	6022	394730	0,00	0	589267	-194537
4+550,00	382,91	8400	403130	0,00	0	589267	-186137
4+575,00	482,03	10776	413906	0,00	0	589267	-175361
4+600,00	440,19	11498	425404	0,00	0	589267	-163863
4+625,00	310,05	9355	434759	0,02	0	589267	-154508
4+650,00	218,91	6599	441358	0,03	1	589268	-147910
4+675,00	141,04	4493	445851	0,00	0	589268	-143417
4+700,00	57,69	2481	448332	0,00	0	589268	-140937
4+725,00	10,36	848	449179	8,05	102	589370	-140191
4+750,00	0,13	129	449309	51,34	747	590117	-140808
4+775,00	0,00	2	449310	83,90	1697	591813	-142503
4+800,00	0,00	0	449310	119,09	2547	594361	-145051
4+807,67	0,00	0	449310	130,13	956	595316	-146006
4+825,00	0,10	1	449311	125,02	2219	597536	-148224
4+850,00	0,84	12	449323	179,36	3818	601353	-152030
4+875,00	0,00	11	449333	278,20	5720	607073	-157739
4+900,00	0,00	0	449333	282,22	7005	614078	-164745
4+901,89	0,00	0	449333	284,30	535	614613	-165280
4+925,00	0,00	0	449333	310,87	6877	621490	-172157
4+925,68	0,00	0	449333	310,95	211	621701	-172368
4+950,00	0,00	0	449333	315,67	7620	629322	-179988
4+950,68	0,00	0	449333	317,08	215	629536	-180203
4+975,00	0,00	0	449333	334,15	7920	637456	-188122
4+975,68	0,00	0	449333	334,40	227	637682	-188349
5+000,00	0,00	0	449333	282,89	7507	645189	-195856
5+025,00	0,00	0	449333	172,36	5691	650880	-201547

(Continuação)

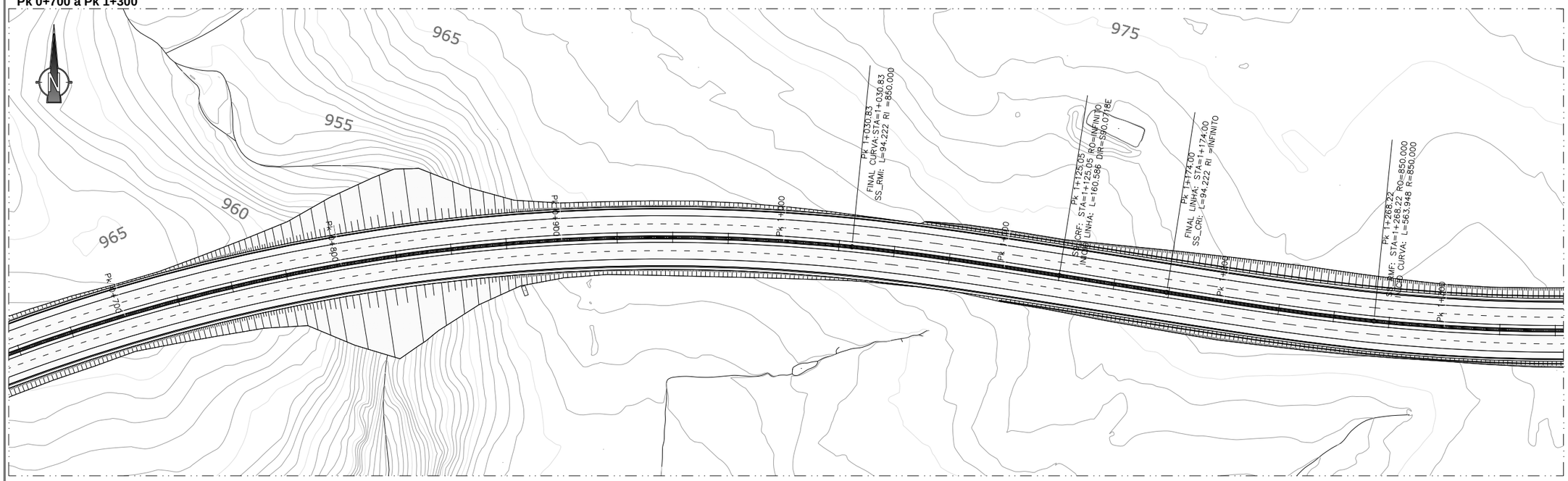
PK [m]	*Escavação*			*Aterro*			*Diferença entre o Volume de escavação e o Volume de aterro acumulado [m^3]*
	Área [m^2]	*Volume [m^3]*	*Volume acumulado [m^3]*	*Área [m^2]*	*Volume [m^3]*	*Volume acumulado [m^3]*	
5+050,00	0,00	0	449333	85,40	3222	654102	-204769
5+075,00	14,13	177	449510	4,95	1129	655231	-205721
5+100,00	12,83	337	449847	4,42	117	655349	-205502
5+102,83	13,44	37	449884	3,44	11	655360	-205475

Pk 0+000 a Pk 0+700





Pk 0+700 a Pk 1+300



Caso de Estudo A
Velocidade Base: 110 km/h
Abordagem: Comodidade
Normativo: Portugal

Apêndice A.4.

Parte 1 de 4

Perfil Longitudinal

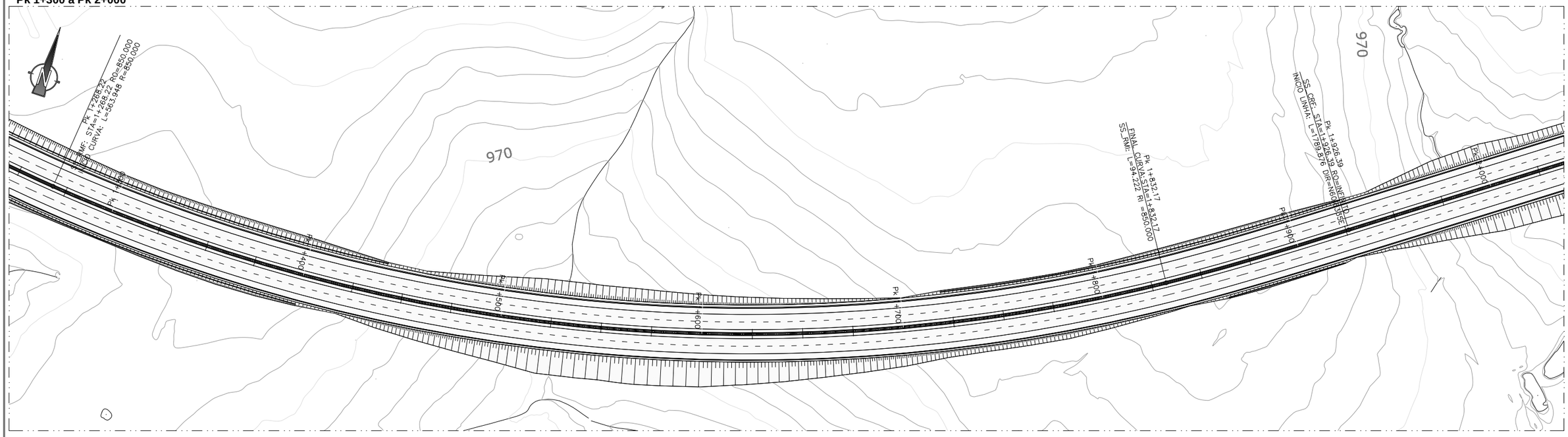
Esc. 1:2000

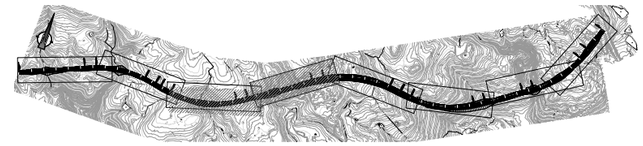
U.PORTO
FEUP FACULDADE DE ENGENHARIA
UNIVERSIDADE DO PORTO

Dissertação de Mestrado
"Projeto de autoestradas do México: comparação com o caso português"
junho de 2014

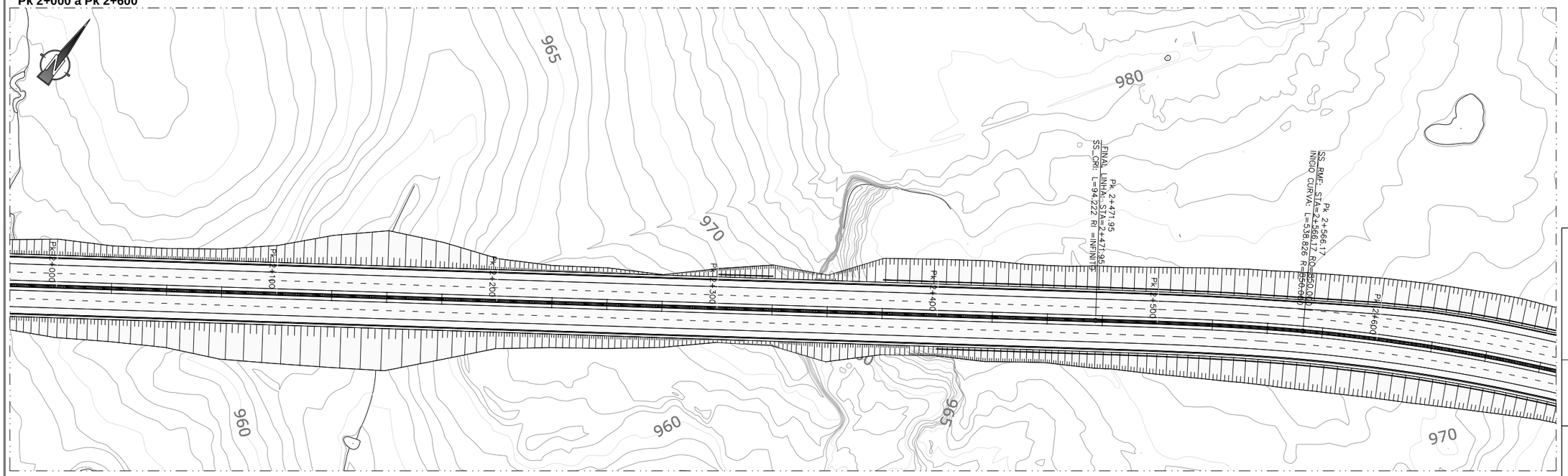
Autora: Lígia Conceição Pereira

Pk 1+300 a Pk 2+000





Pk 2+000 a Pk 2+600



Caso de Estudo A
Velocidade Base: 110 km/h
Abordagem: Comodidade
Normativo: Portugal

Apêndice A.4.

Parte 2 de 4

Perfil Longitudinal

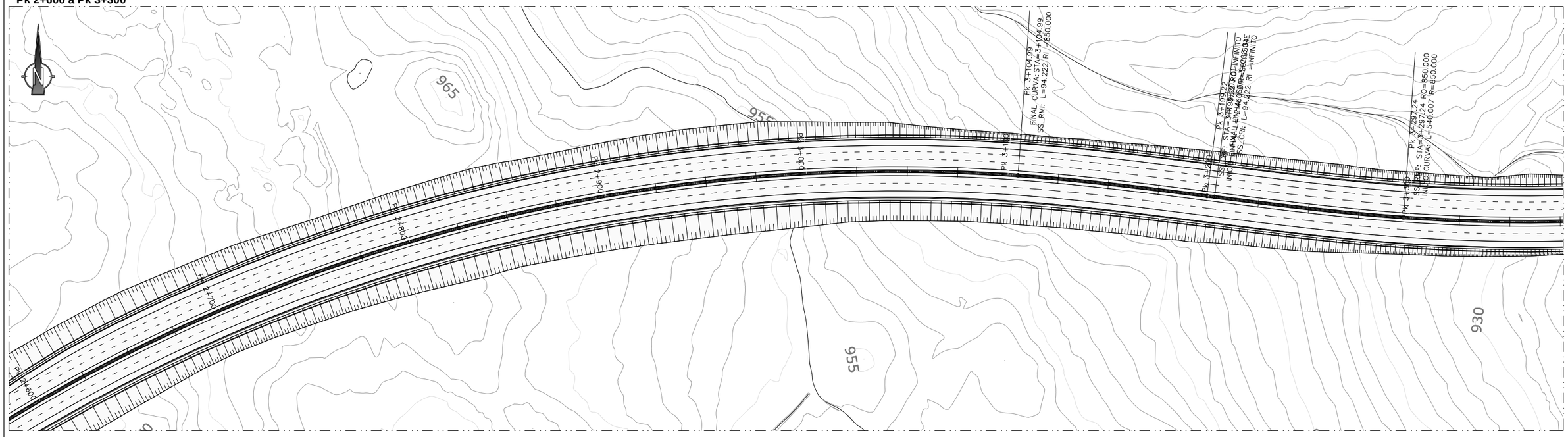
Esc. 1:2000

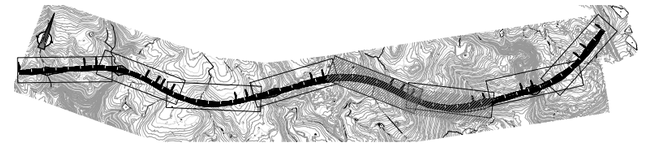
U.PORTO
FEUP FACULDADE DE ENGENHARIA
UNIVERSIDADE DO PORTO

Dissertação de Mestrado
"Projeto de autoestradas do México: comparação com o caso português"
junho de 2014

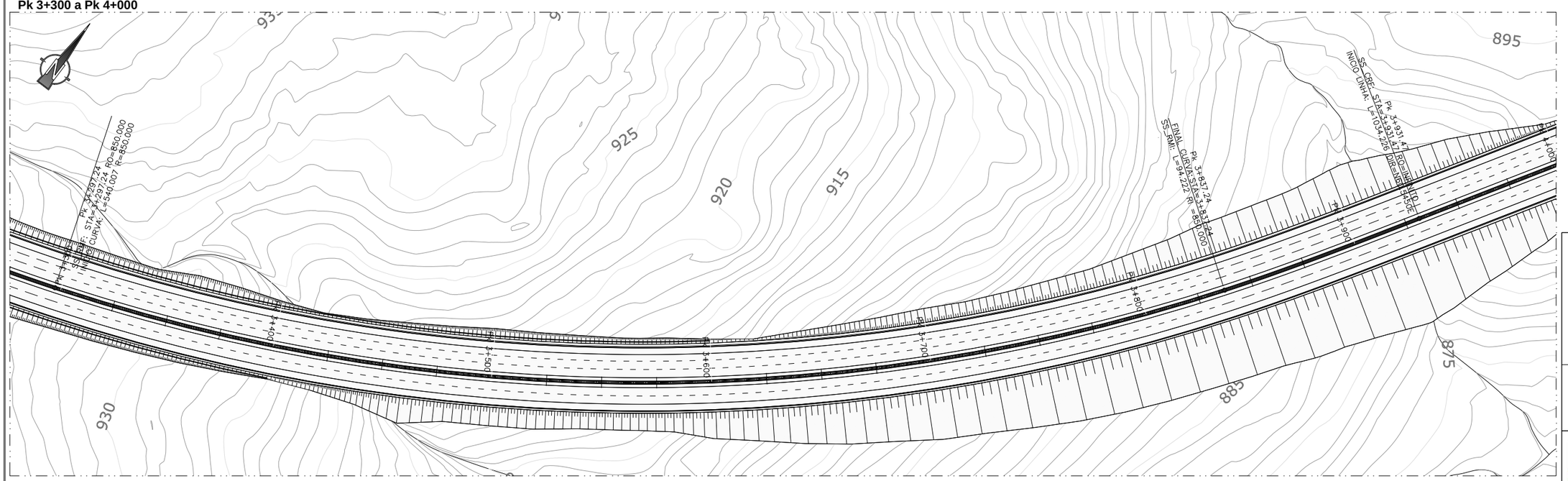
Autora: Lígia Conceição Pereira

Pk 2+600 a Pk 3+300





Pk 3+300 a Pk 4+000



Caso de Estudo A
Velocidade Base: 110 km/h
Abordagem: Comodidade
Normativo: Portugal

Apêndice A.4.

Parte 3 de 4

Perfil Longitudinal

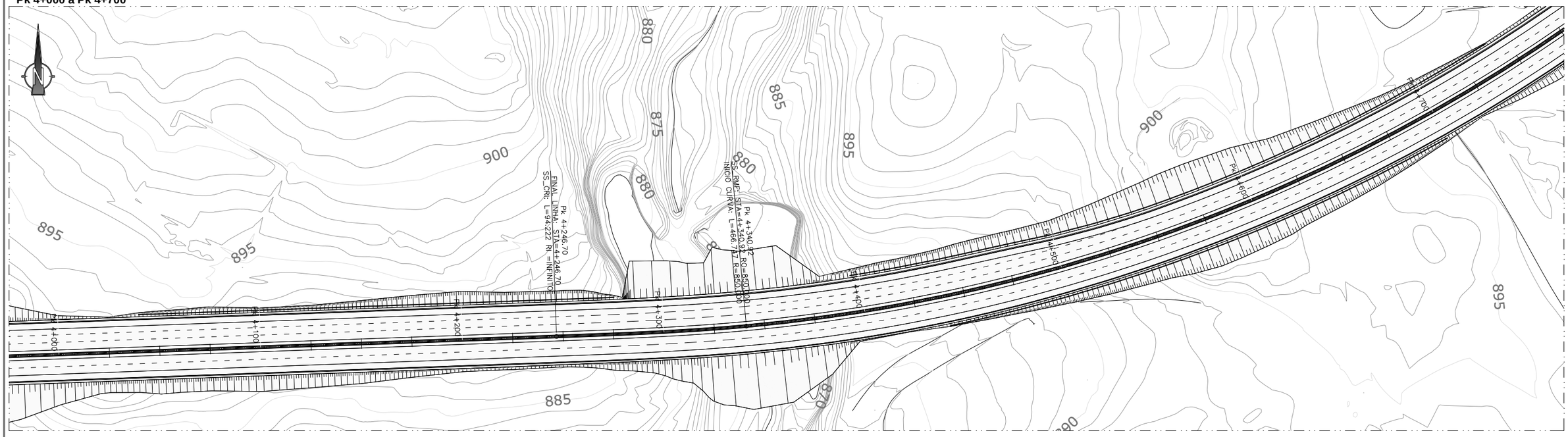
Esc. 1:2000

U.PORTO
FEUP FACULDADE DE ENGENHARIA
UNIVERSIDADE DO PORTO

Dissertação de Mestrado
"Projeto de autoestradas do México: comparação com o caso português"
junho de 2014

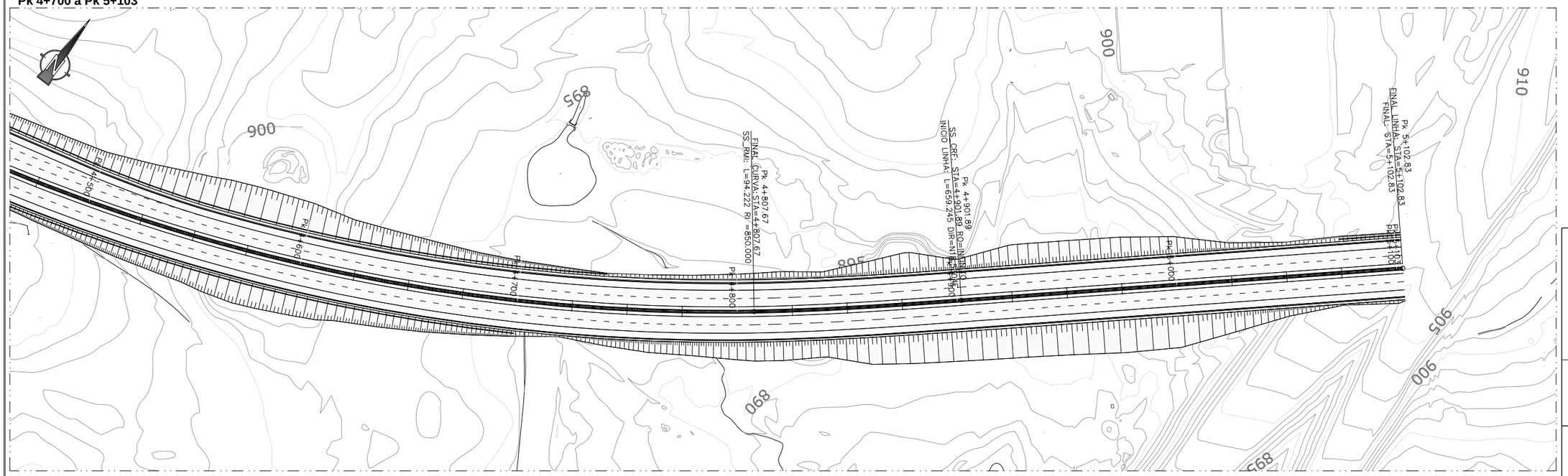
Autora: Lígia Conceição Pereira

Pk 4+000 a Pk 4+700





Pk 4+700 a Pk 5+103



Caso de Estudo A
Velocidade Base: 110 km/h
Abordagem: Comodidade
Normativo: Portugal

Apêndice A.4.

Parte 4 de 4

Perfil Longitudinal

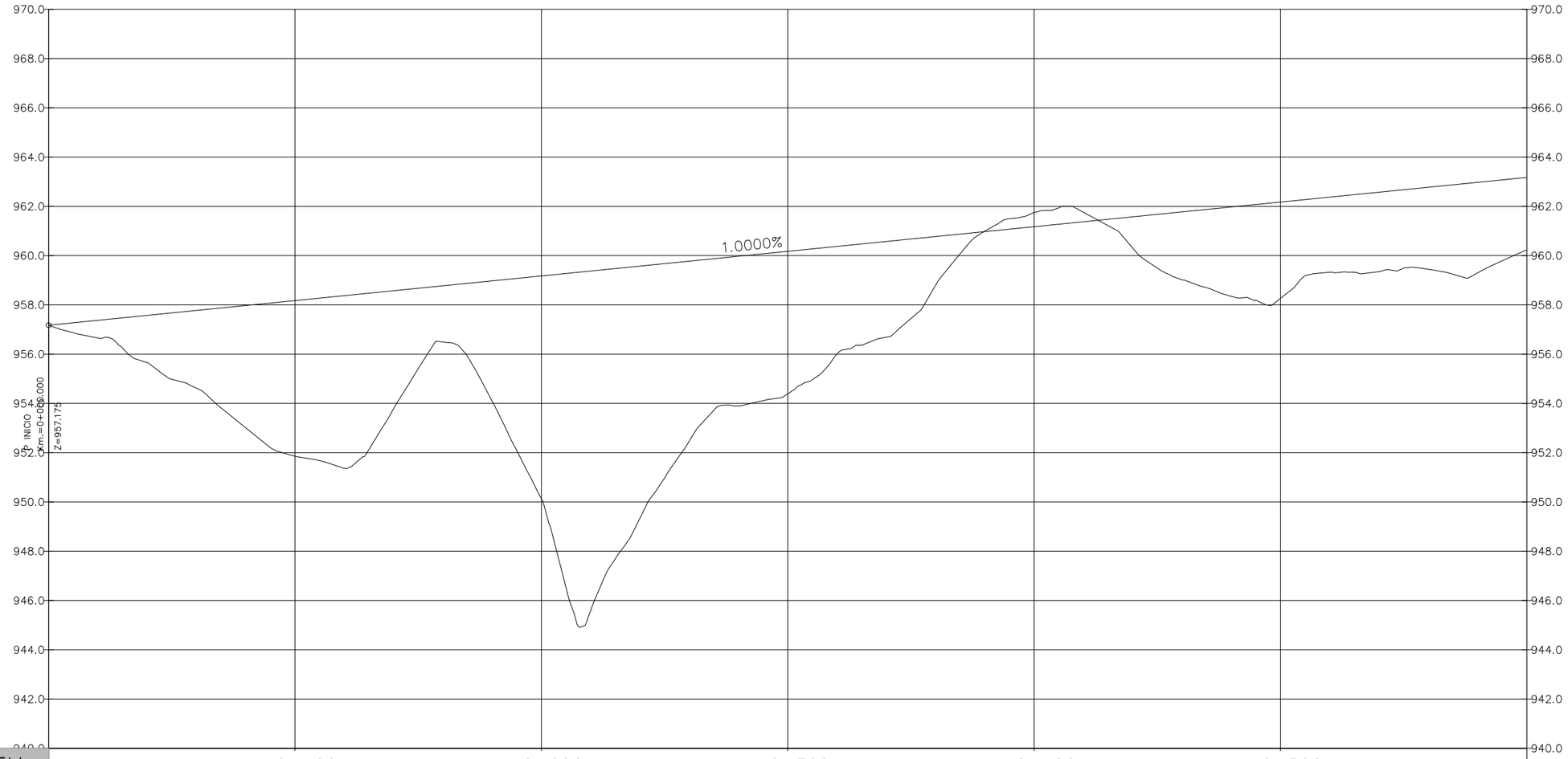
Esc. 1:2000

U.PORTO
FEUP FACULDADE DE ENGENHARIA
UNIVERSIDADE DO PORTO

Dissertação de Mestrado
"Projeto de autoestradas do México: comparação com o caso português"
junho de 2014

Autora: Lígia Conceição Pereira

A5. PERFIL LONGITUDINAL



QUILOMETRAGEM		0+100	0+200	0+300	0+400	0+500
PERFIL LONGITUDINAL	Cota da Rasante	957.425 957.675 957.925 958.175 958.425 958.675 958.925 959.175 959.425 959.675 959.925 960.175 960.425 960.675 960.925 961.175 961.425 961.675 961.925 962.175 962.425 962.675 962.925				
	Cota do Terreno	956.65 954.98 953.41 951.86 951.62 955.41 955.04 950.13 946.81 950.97 953.93 954.39 956.21 957.45 960.65 961.76 961.49 959.49 958.50 958.27 959.33 959.49 959.10				
	Elementos da Rasante	i=1.000% L=1617.585				
PLANTA	Pontos Notáveis	km=0+000.000			km=0+534.189	km=0+628
	Diagrama de Curvas	L=534.189 R= 00			L=94.22 A=283.00	
	Sobreelevação (%)				0+509.19 D=-2.50% E=2.50% 25.00 0+534.19 D=-2.50% E=0.00% 25.00 0+559.19 D=-2.50% E=2.50% 0+[illegible] 40.81	

Caso de Estudo A
Velocidade Base: 110 km/h
Abordagem: Comodidade
Normativo: Portugal

Apêndice A.5.

Parte 1 de 10

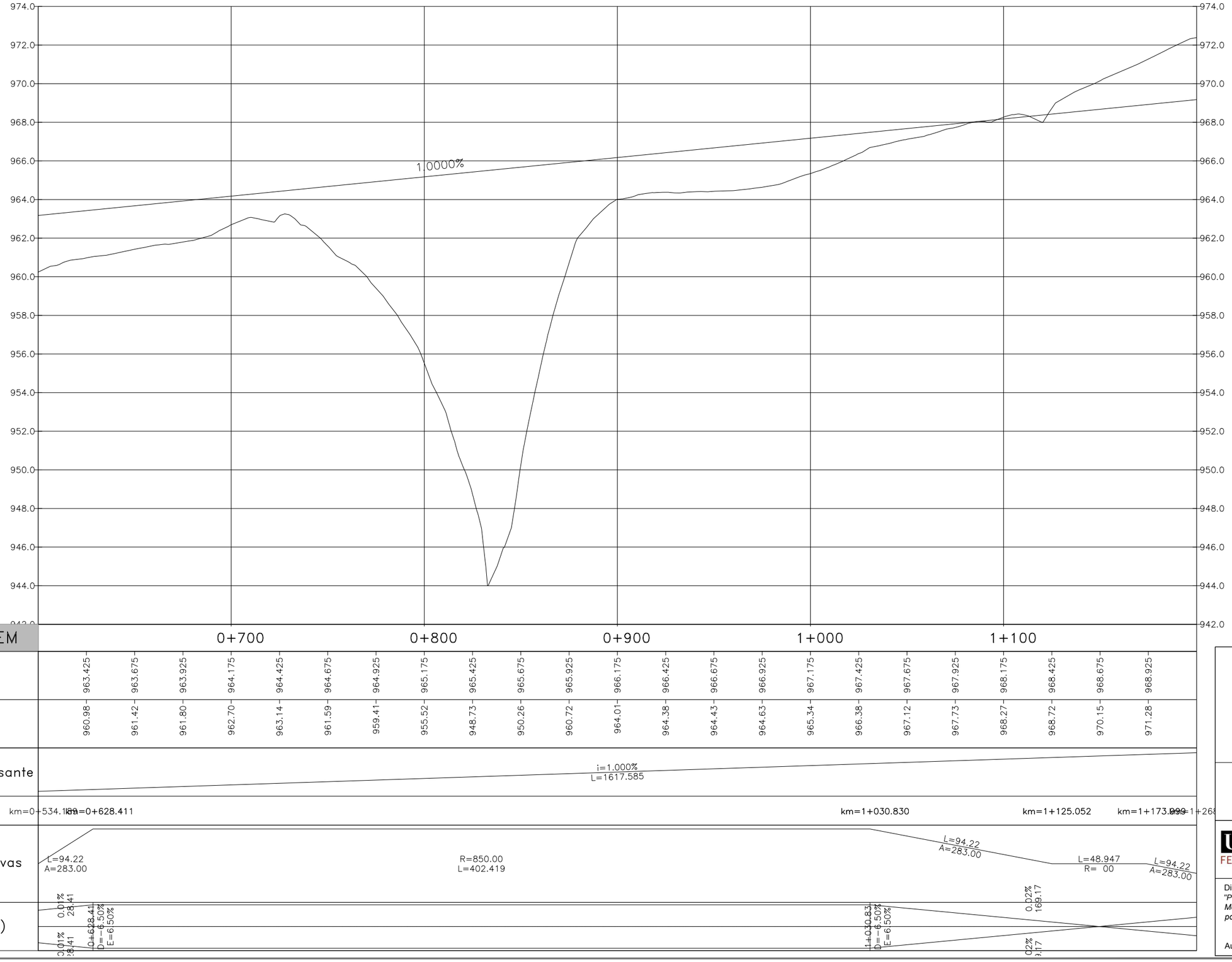
Perfil Longitudinal

Esc. Vertical 1:200
Esc. Horizontal 1:2000

U.PORTO
FEUP FACULDADE DE ENGENHARIA
UNIVERSIDADE DO PORTO

Dissertação de Mestrado
"Projeto de autoestradas do México: comparação com o caso português"
junho de 2014

Autora: Lígia Conceição Pereira



Caso de Estudo A
Velocidade Base: 110 km/h
Abordagem: Comodidade
Normativo: Portugal

Apêndice A.5.

Parte 2 de 10

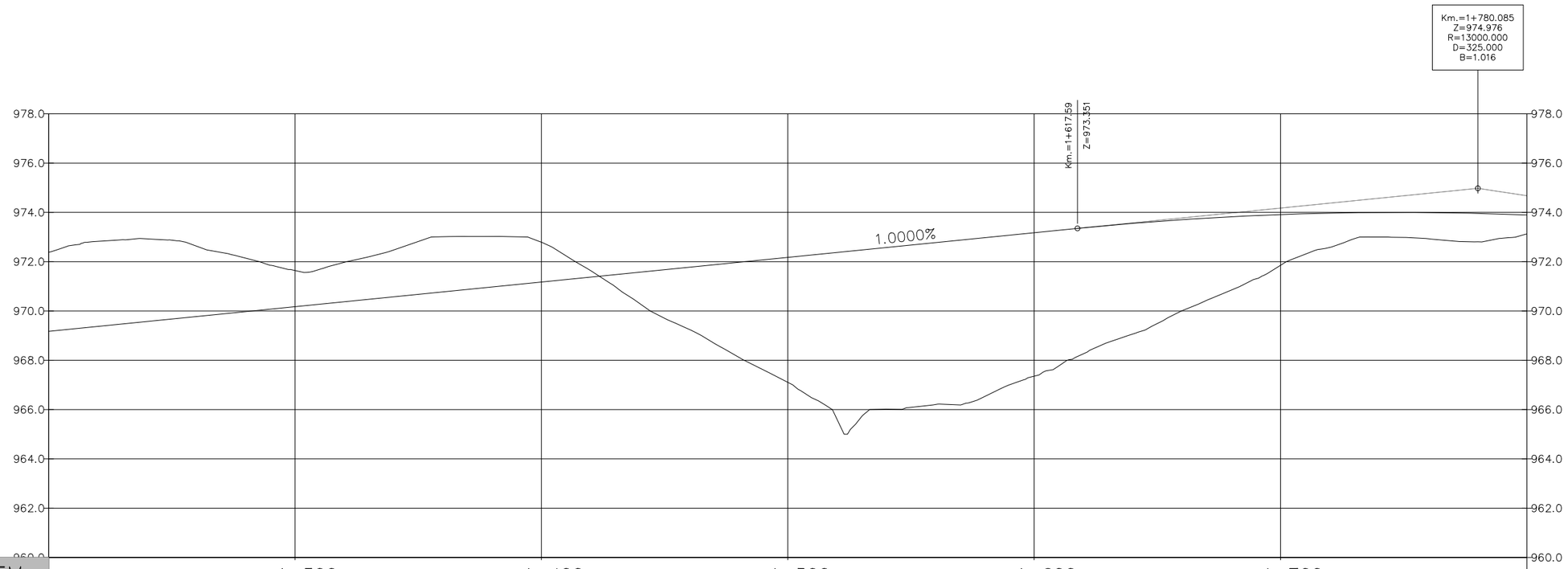
Perfil Longitudinal

Esc. Vertical 1:200
Esc. Horizontal 1:2000

U.PORTO
FEUP FACULDADE DE ENGENHARIA
UNIVERSIDADE DO PORTO

Dissertação de Mestrado
"Projeto de autoestradas do México: comparação com o caso português"
junho de 2014

Autora: Lígia Conceição Pereira



QUILOMETRAGEM		1+300		1+400		1+500		1+600		1+700	
PERFIL LONGITUDINAL	Cota da Rasante	969.425	969.675	969.925	970.175	970.425	970.675	970.925	971.175	971.425	971.675
	Cota do Terreno	972.86	972.87	972.27	971.64	972.09	972.82	973.02	972.79	971.31	969.70
	Elementos da Rasante	i=1.000% L=1617.585									
PLANTA	Pontos Notáveis	km=1+173.999		km=1+268.221							
	Diagrama de Curvas	L=94.22 A=283.00				R=850.00 L=563.948					
	Sobreelevação (%)	0.00% 8.42	0.10% 68.22	1+268.22 D=6.50% E=-6.50%							

QUILOMETRAGEM		1+800		1+900		2+000		2+100		2+200	
PERFIL LONGITUDINAL	Cota da Rasante	971.925	972.175	972.425	972.675	972.925	973.175	973.423	973.634	973.798	973.914
	Cota do Terreno	968.42	967.11	965.13	966.09	966.32	967.35	968.51	969.49	970.64	971.85
	Elementos da Rasante	R=13000.000 D=325.000									
PLANTA	Pontos Notáveis	km=1+832.221									
	Diagrama de Curvas										
	Sobreelevação (%)										

QUILOMETRAGEM		2+300		2+400	
PERFIL LONGITUDINAL	Cota da Rasante	973.981	974.000	973.972	
	Cota do Terreno	972.75	972.99	972.81	
	Elementos da Rasante				
PLANTA	Pontos Notáveis				
	Diagrama de Curvas				
	Sobreelevação (%)				

Caso de Estudo A
Velocidade Base: 110 km/h
Abordagem: Comodidade
Normativo: Portugal

Apêndice A.5.

Parte 3 de 10

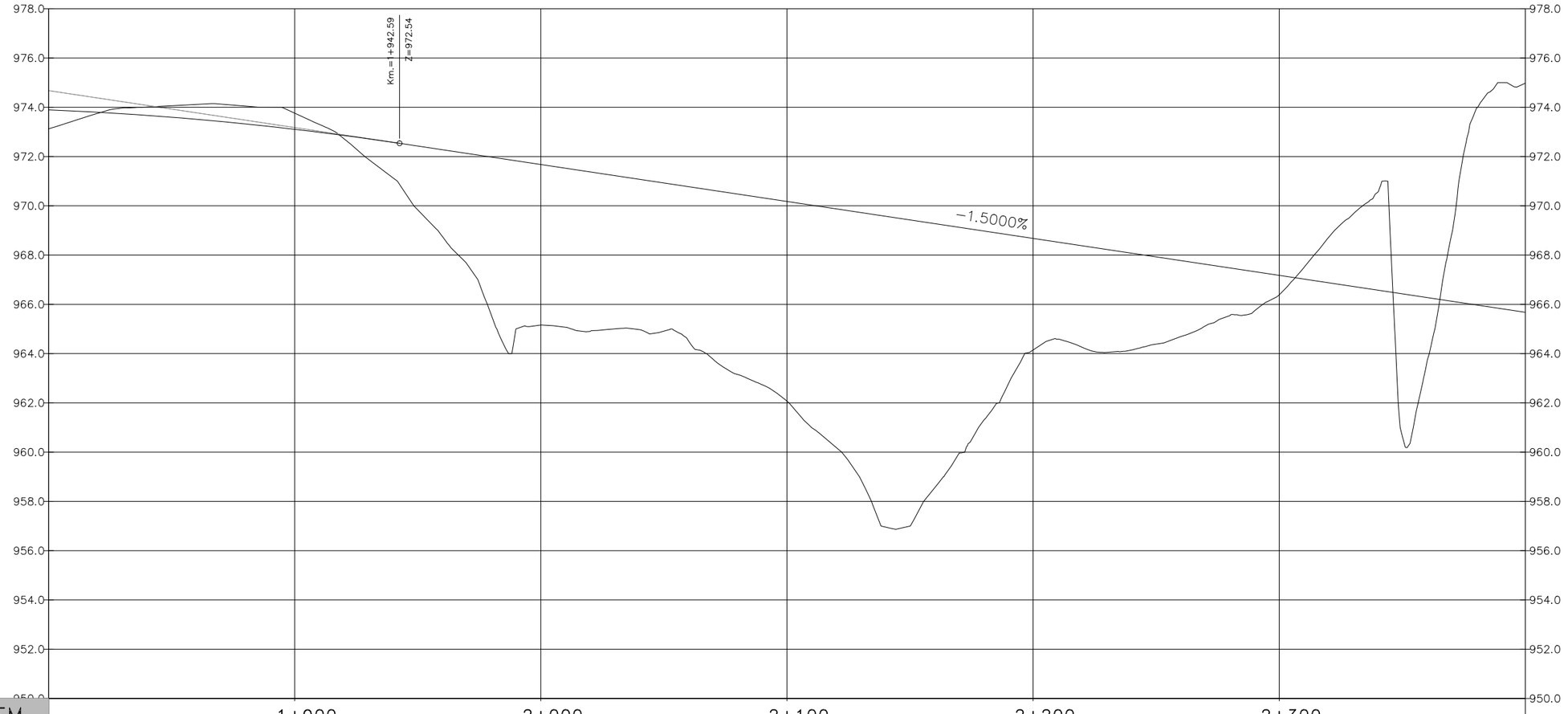
Perfil Longitudinal

Esc. Vertical 1:200
Esc. Horizontal 1:2000

U.PORTO
FEUP FACULDADE DE ENGENHARIA
UNIVERSIDADE DO PORTO

Dissertação de Mestrado
"Projeto de autoestradas do México: comparação com o caso português"
junho de 2014

Autora: Lígia Conceição Pereira



QUILOMETRAGEM		1+900	2+000	2+100	2+200	2+300
PERFIL LONGITUDINAL	Cota da Rasante	973.770	973.597	973.376	973.107	972.790	972.427	972.052	971.677	971.302	970.927	970.552	970.177	969.802	969.427	969.052	968.677	968.302	967.927	967.552	967.177	966.802	966.427	966.052
	Cota do Terreno	973.90	974.06	974.09	973.76	972.31	969.83	966.85	965.16	964.96	964.91	963.40	962.07	959.65	957.00	960.50	964.15	964.08	964.39	965.35	966.38	969.25	960.66	972.14
	Elementos da Rasante		R=13000.000 D=325.000																					
PLANTA	Pontos Notáveis	km=1+268.22	km=1+832.170		km=1+926.392																		km=2+471	
	Diagrama de Curvas	R=850.00 L=563.948	L=94.22 A=283.00													L=545.554 R= 00								
	Sobreelevação (%)	0.00% 32.17	1+832.17 D=6.50% E=−6.50%	0.06% −0.06% 69.22 69.22	1+901.39 D=2.50% E=−2.50% 25.00	1+926.39 D=0.00% E=−2.50% 25.00	1+951.39 D=−2.50% E=2.50%																	

Caso de Estudo A
Velocidade Base: 110 km/h
Abordagem: Comodidade
Normativo: Portugal

Apêndice A.5.

Parte 4 de 10

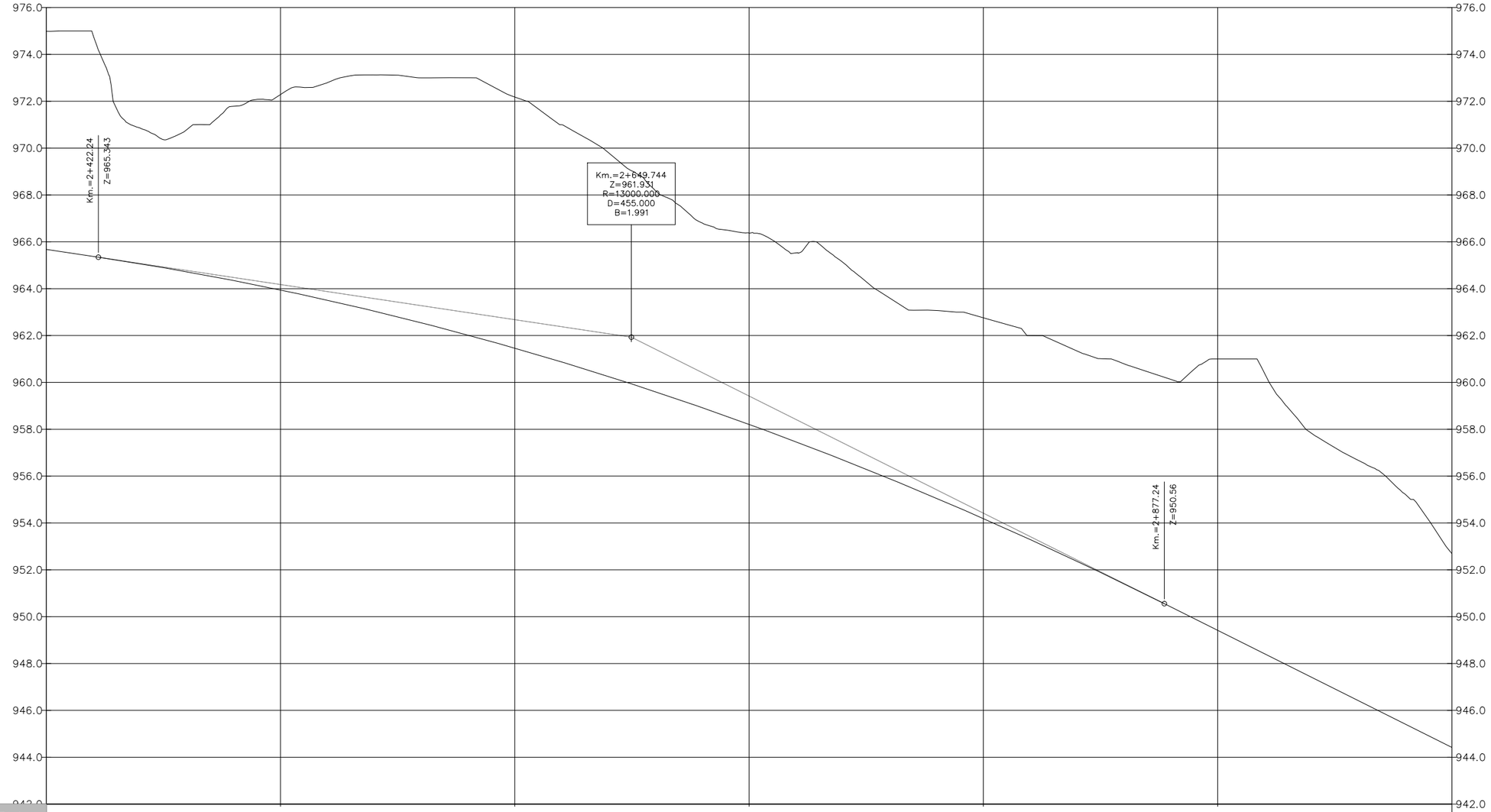
Perfil Longitudinal

Esc. Vertical 1:200
Esc. Horizontal 1:2000

U.PORTO
FEUP FACULDADE DE ENGENHARIA
UNIVERSIDADE DO PORTO

Dissertação de Mestrado
"Projeto de autoestradas do México: comparação com o caso português"
junho de 2014

Autora: Lígia Conceição Pereira



QUILOMETRAGEM		2+500				2+600				2+700				2+800				2+900				
PERFIL LONGITUDINAL	Cota da Rasante	965.302	964.897	964.445	963.944	963.396	962.799	962.154	961.462	960.721	959.932	959.095	958.210	957.276	956.295	955.266	954.188	953.063	951.889	950.668	949.418	948.168	946.918	945.668
	Cota do Terreno	973.56	970.36	971.46	972.29	972.99	973.11	973.00	972.18	970.73	969.03	967.14	966.37	965.91	964.30	963.08	962.76	962.00	961.01	960.29	961.00	959.52	957.22	955.67
	Elementos da Rasante	i=−1.500% L=479.659					R=13000.000 D=455.000															i=−5.000% L=1047.547		
PLANTA	Pontos Notáveis	km=1+926.392				km=2+471.946				km=2+566.168														km=3+104
	Diagrama de Curvas	L=545.554 R= 00				L=94.22 A=283.00										R=850.00 L=538.826								
	Sobreelevação (%)	2+446.95 D=−2.50% E=2.50% 25.00				2+471.95 D=−2.50% E=0.00% 25.00				2+496.95 D=−2.30% E=−2.50%				−0.06% 69.22	0.06% 69.22	2+566.17 D=−6.50% E=6.50%								

Caso de Estudo A
Velocidade Base: 110 km/h
Abordagem: Comodidade
Normativo: Portugal

Apêndice A.5.

Parte 5 de 10

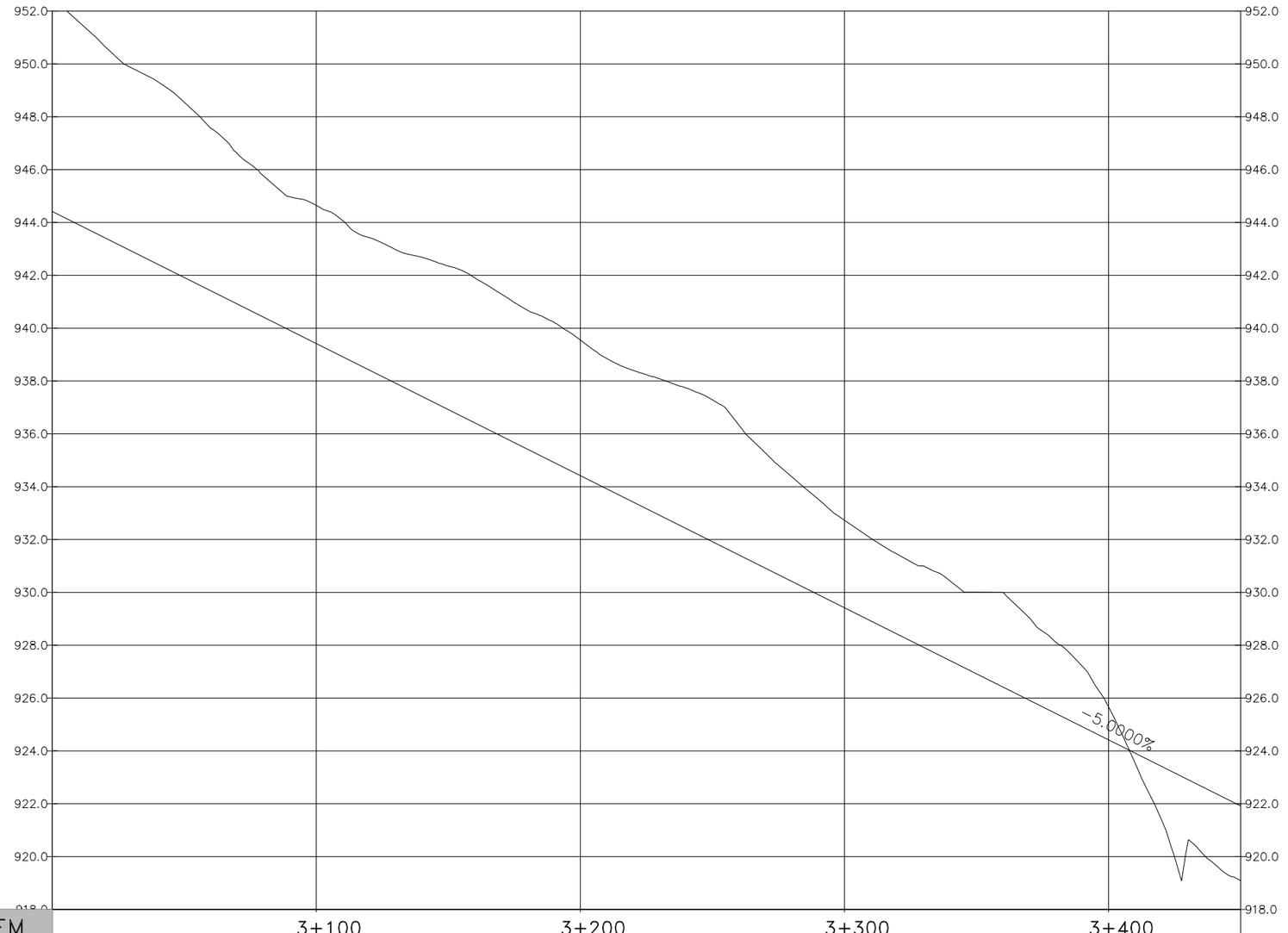
Perfil Longitudinal

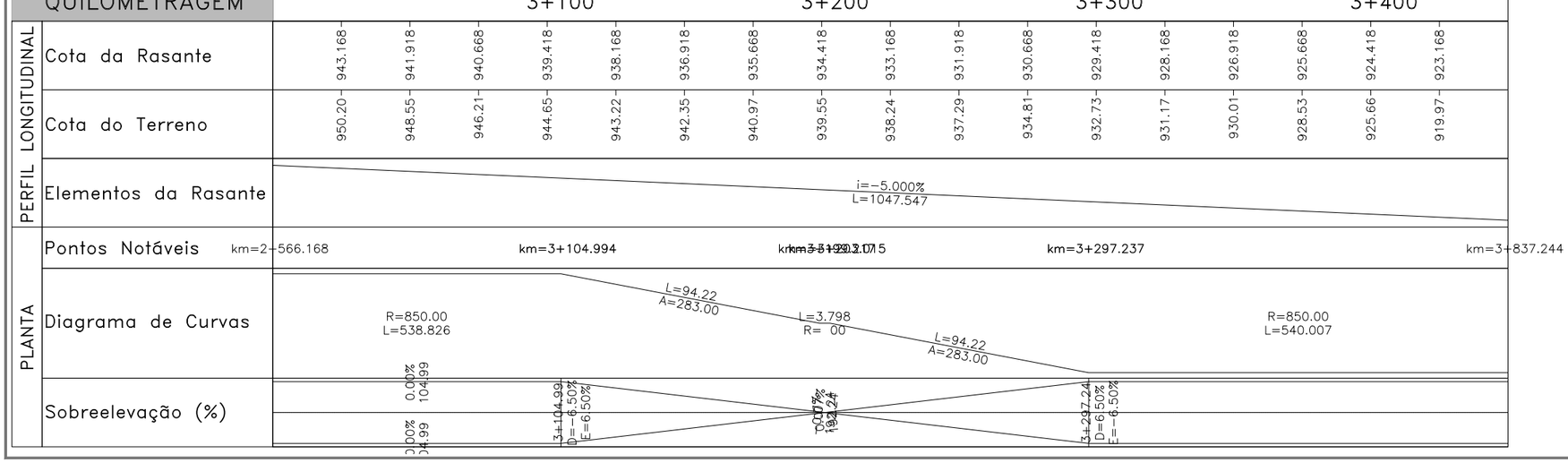
Esc. Vertical 1:200
Esc. Horizontal 1:2000

U.PORTO
FEUP FACULDADE DE ENGENHARIA
UNIVERSIDADE DO PORTO

Dissertação de Mestrado
"Projeto de autoestradas do México: comparação com o caso português"
junho de 2014

Autora: Lígia Conceição Pereira





Caso de Estudo A
Velocidade Base: 110 km/h
Abordagem: Comodidade
Normativo: Portugal

Apêndice A.5.

Parte 6 de 10

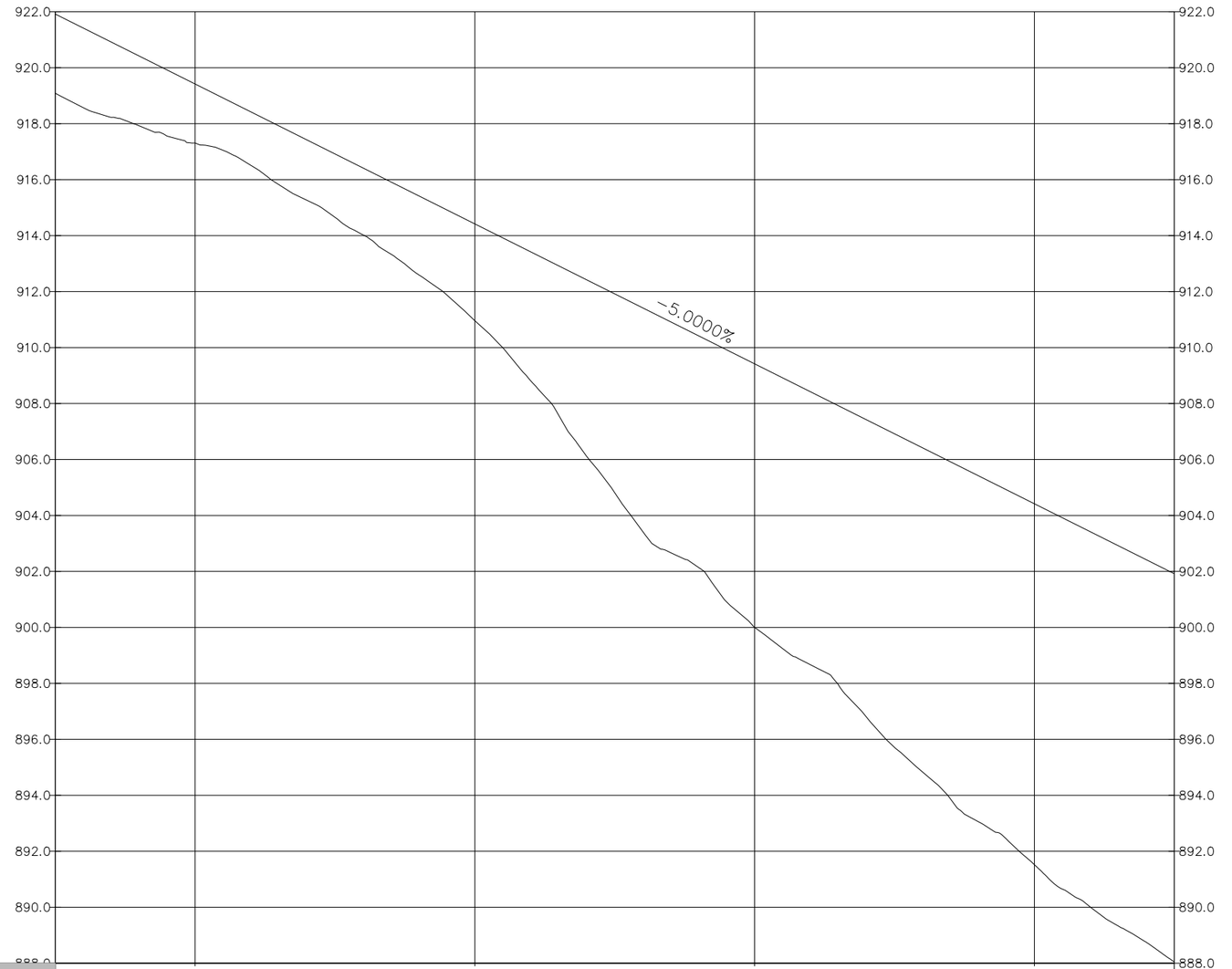
Perfil Longitudinal

Esc. Vertical 1:200
Esc. Horizontal 1:2000

U.PORTO
FEUP FACULDADE DE ENGENHARIA
UNIVERSIDADE DO PORTO

Dissertação de Mestrado
"Projeto de autoestradas do México: comparação com o caso português"
junho de 2014

Autora: Lígia Conceição Pereira



QUILOMETRAGEM		3+500	3+600	3+700	3+800
PERFIL LONGITUDINAL	Cota da Rasante	920.668	919.418	918.168	916.918	915.668	914.418	913.168	911.918	910.668	909.418	908.168	906.918	905.668	904.418	903.168
	Cota do Terreno	918.12	917.31	916.17	914.65	912.98	910.96	908.26	904.81	902.44	900.00	898.41	895.71	893.33	891.52	889.63
	Elementos da Rasante	i=−5.000% L=1047.547														
PLANTA	Pontos Notáveis	km=3+297.237													km=3+837.244	km=3+941.467
	Diagrama de Curvas	R=850.00 L=540.007													L=94.22 A=283.00	
	Sobreelevação (%)	0.00% 387.24													3+837.24	

Caso de Estudo A
Velocidade Base: 110 km/h
Abordagem: Comodidade
Normativo: Portugal

Apêndice A.5.

Parte 7 de 10

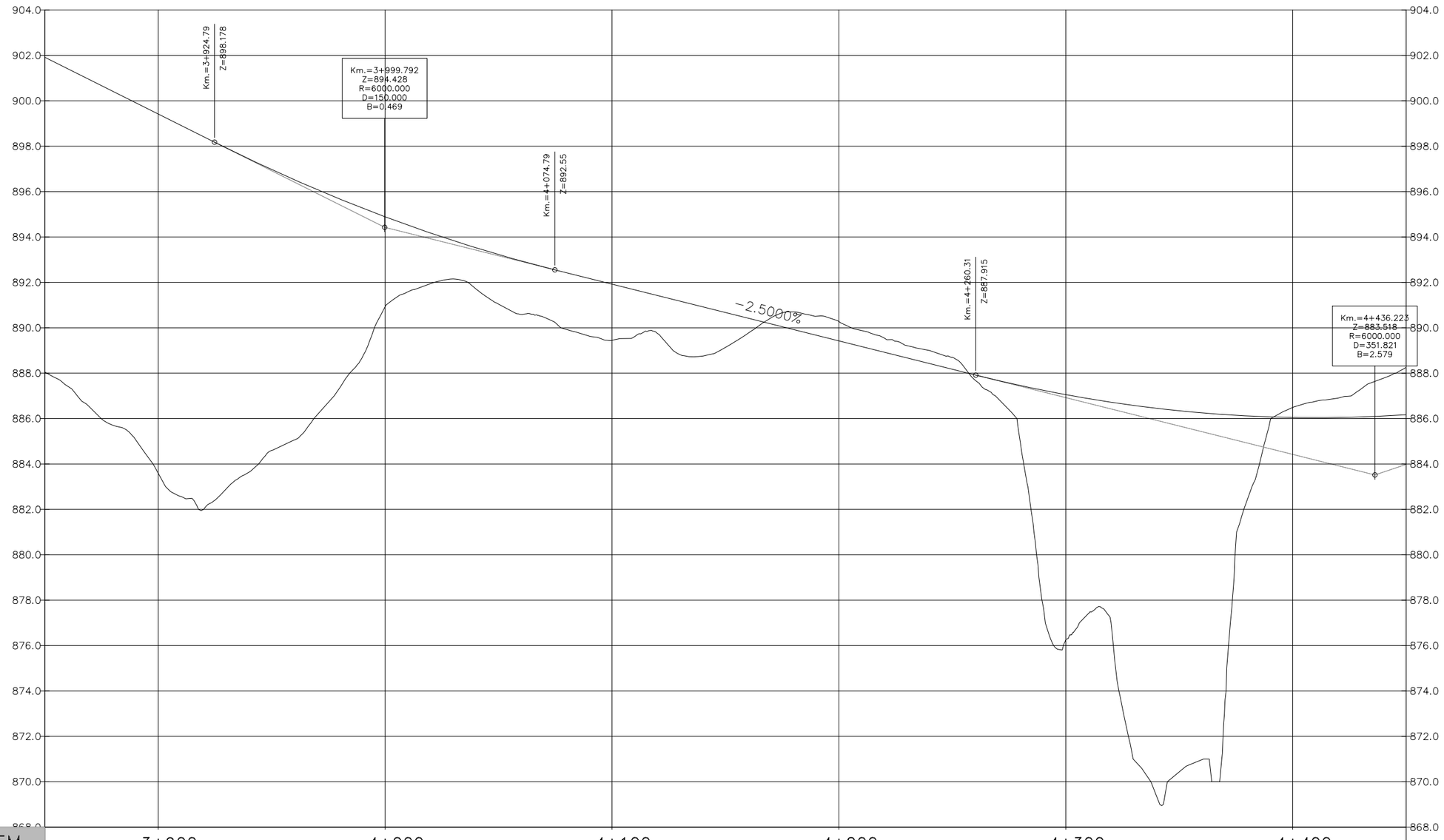
Perfil Longitudinal

Esc. Vertical 1:200
Esc. Horizontal 1:2000

U.PORTO
FEUP FACULDADE DE ENGENHARIA
UNIVERSIDADE DO PORTO

Dissertação de Mestrado
"Projeto de autoestradas do México: comparação com o caso português"
junho de 2014

Autora: Lígia Conceição Pereira



QUILOMETRAGEM		3+900	4+000	4+100	4+200	4+300	4+400
PERFIL LONGITUDINAL	Cota da Rasante	900.668	899.418	898.168	896.971	895.878	894.889
		894.005	893.224	892.548	891.923	891.298	891.298
		890.673	890.048	890.048	889.423	888.798	888.173
		887.566	887.054	886.647	886.343	886.144	886.049
		886.058					
	Cota do Terreno	885.99	883.59	882.40	884.60	886.72	890.93
		892.08	891.04	890.22	889.45	889.22	889.14
		890.66	890.27	889.41	888.70	886.39	876.26
		873.22	870.44	880.62	886.49	886.99	
	Elementos da Rasante	i=-5.000% L=1047.547	R=6000.000 D=150.000	i=-2.500% L=185.521	R=6000.000 D=351.821		
PLANTA	Pontos Notáveis	km=3+837.244	km=3+931.467	km=4+246.699	km=4+340.921	km=4+807	
	Diagrama de Curvas	L=94.22 A=283.00	L=315.232 R= 00	L=94.22 A=283.00	R=850.00 L=466.747		
	Sobreelevação (%)	0.00% 56.47	3+906.47 D=2.50% E=-4.60% 25.00	3+931.47 D=0.00% E=-4.60% 25.00	3+956.47 D=-2.50% E=2.50%	4+221.70 D=2.50% E=-2.50% 0.00% 25.00	4+246.70 D=0.00% E=-4.60% 25.00
		4+271.70 D=2.50% E=-2.50%	-0.06% 69.22	69.22	4+340.92 D=6.50% E=-6.50%		

Caso de Estudo A
Velocidade Base: 110 km/h
Abordagem: Comodidade
Normativo: Portugal

Apêndice A.5.

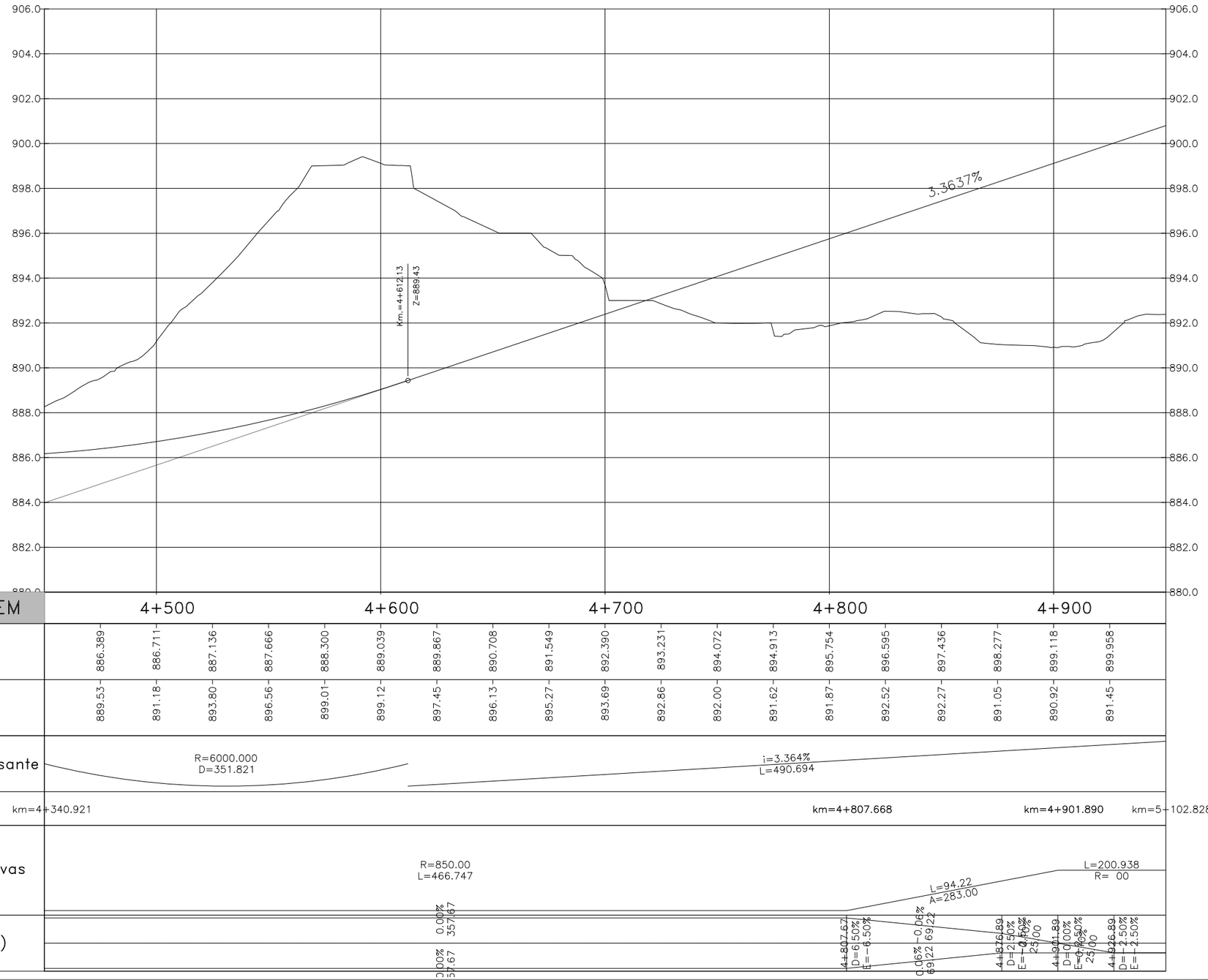
Parte 8 de 10

Perfil Longitudinal

Esc. Vertical 1:200
Esc. Horizontal 1:2000

Dissertação de Mestrado
"Projeto de autoestradas do México: comparação com o caso português"
junho de 2014

Autora: Lígia Conceição Pereira



Caso de Estudo A
Velocidade Base: 110 km/h
Abordagem: Comodidade
Normativo: Portugal

Apêndice A.5.

Parte 9 de 10

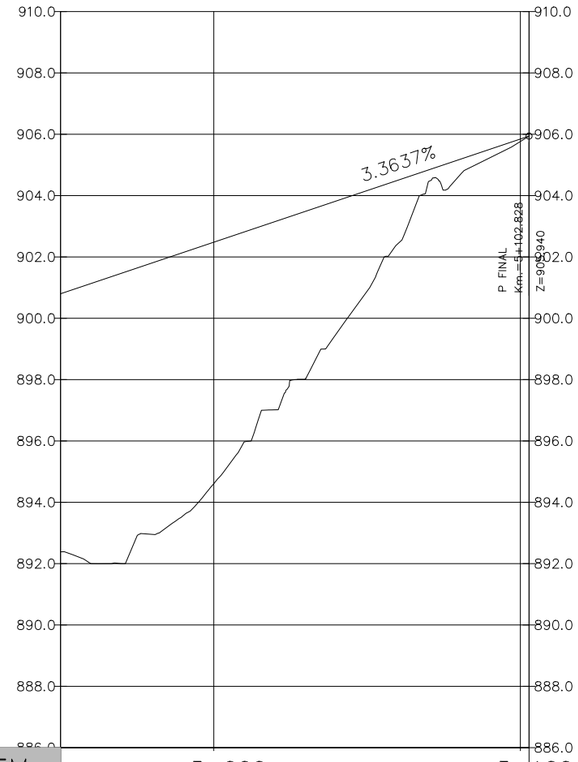
Perfil Longitudinal

Esc. Vertical 1:200
Esc. Horizontal 1:2000

U.PORTO
FEUP FACULDADE DE ENGENHARIA
UNIVERSIDADE DO PORTO

Dissertação de Mestrado
"Projeto de autoestradas do México: comparação com o caso português"
junho de 2014

Autora: Lígia Conceição Pereira



		5+000					5+100
QUILOMETRAGEM							
PERFIL LONGITUDINAL	Cota da Rasante	901.640	902.481	903.322	904.163	905.004	905.845
	Cota do Terreno	892.91	894.61	897.97	900.88	904.18	905.76
	Elementos da Rasante	i=3.364% L=490.694					
PLANTA	Pontos Notáveis						
	Diagrama de Curvas						
	Sobreelevação (%)						

Caso de Estudo A
Velocidade Base: 110 km/h
Abordagem: Comodidade
Normativo: Portugal

Apêndice A.5.

Parte 10 de 10

Perfil Longitudinal

Esc. Vertical 1:200
Esc. Horizontal 1:2000

U.PORTO
FEUP FACULDADE DE ENGENHARIA
UNIVERSIDADE DO PORTO

Dissertação de Mestrado
"Projeto de autoestradas do México: comparação com o caso português"
junho de 2014

Autora: Lígia Conceição Pereira

Apêndice B CASO DE ESTUDO: 110 KM/H, SEGURANÇA, NP

B.1. GEOMETRIA DA DIRETRIZ

PK [m]	Elemento	Extensão [m]
0+000,00	Alinhamento reto	596,72
0+596,72	Curva composta à direita R=560,00 m; L=143,02 m; A =283,00 m	143,02
0+739,73	Curva circular à direita R=560,00 m	184,18
0+923,91	Curva composta à direita R=560,00 m; L=143,02 m; A =283,00 m	143,02
1+066,93	Alinhamento reto	204,91
1+271,84	Curva composta à esquerda R=560,00 m; L=143,02 m; A =283,00 m	143,02
1+414,86	Curva circular à esquerda R=560,00 m	290,60
1+705,46	Curva composta à esquerda R=560,00 m; L=143,02 m; A =283,00 m	143,02
1+848,48	Alinhamento reto	727,48
2+575,96	Curva composta à direita R=560,00 m; L=143,02 m; A =283,00 m	143,02
2+718,97	Curva circular à direita R=560,00 m	274,05
2+993,03	Curva composta à direita R=560,00 m; L=143,02 m; A =283,00 m	143,02
3+136,04	Alinhamento reto	181,01
3+317,05	Curva composta à esquerda R=560,00 m; L=143,02 m; A =283,00 m	143,02
3+460,06	Curva circular à esquerda R=560,00 m	274,83
3+734,89	Curva composta à esquerda R=560,00 m; L=143,02 m; A =283,00 m	143,02
3+877,91	Alinhamento reto	478,54
4+356,45	Curva composta à esquerda R=560,00 m; L=143,02 m; A =283,00 m	143,02
4+499,47	Curva circular à esquerda R=560,00 m	226,56
4+726,03	Curva composta à esquerda R=560,00 m; L=143,02 m; A =283,00 m	143,02
4+869,05	Alinhamento reto	275,53
5+144,58		

B.2. GEOMETRIA DA RASANTE

PK [m]	Elemento	Cota [m]
0+000,00	Trainel 1 Ascendente	957,175
	i=+1,0000 %; L=1630,09 m	
1+630,09		973,476
	Concordância convexa 1	
1+705,46	R=+12000,00 m; D=300,00 m	973,993
1+930,09		972,730
	Trainel 2 Descendente	
2+439,74	i=-1,5000 %; L=509,66 m	965,081
	Concordância convexa 2	
2+575,96	R=+12000,00 m; D=420,00 m	962,264
2+859,74		951,430
	Trainel 3 Descendente	
3+924,79	i=-5,0000 %; L=1065,05 m	898,178
	Concordância côncava 1	
4+074,79	R=-6000,00 m; D=150,00 m	892,85
	Trainel 4 Descendente	
4+266,26	i=-2,5000 %; L=191,47 m	887,767
	Concordância côncava 2	
4+356,45	R=-6000,00 m; D=339,93 m	886,190
4+606,19		888,900
	Trainel 5 Ascendente	
5+144,58	i=+3,1650 %; L=538,39 m	905,940

B.3. TABELA DE MOVIMENTOS DE TERRA

PK [m]	Escavação			Aterro			Diferença entre o Volume de escavação e o Volume de aterro acumulado [m^3]
	Área [m^2]	Volume [m^3]	Volume acumulado [m^3]	Área [m^2]	Volume [m^3]	Volume acumulado [m^3]	
0+000,00	0,00	0	0	0,00	0	0	0
0+025,00	8,02	100	100	17,60	220	220	-120
0+050,00	0,00	100	201	63,72	1017	1237	-1036
0+075,00	0,00	0	201	131,13	2436	3672	-3472
0+100,00	0,00	0	201	209,64	4260	7932	-7731
0+125,00	0,00	0	201	233,79	5543	13475	-13274
0+150,00	0,00	0	201	91,79	4070	17544	-17344
0+175,00	0,00	0	201	111,76	2544	20089	-19888
0+200,00	0,00	0	201	342,10	5673	25762	-25562
0+225,00	0,00	0	201	652,80	12436	38198	-37998
0+250,00	0,00	0	201	359,84	12658	50856	-50656
0+275,00	0,00	0	201	227,32	7339	58196	-57995
0+300,00	0,00	0	201	202,74	5376	63571	-63371
0+325,00	0,00	0	201	128,73	4143	67715	-67514
0+350,00	0,00	0	201	94,35	2789	70503	-70303

(Continuação)

PK [m]	*Escavação*			*Aterro*			*Diferença entre o Volume de escavação e o Volume de aterro acumulado [m^3]*
	Área [m^2]	*Volume [m^3]*	*Volume acumulado [m^3]*	*Área [m^2]*	*Volume [m^3]*	*Volume acumulado [m^3]*	
0+375,00	18,71	234	434	9,93	1303	71807	-71372
0+400,00	33,73	655	1090	0,72	133	71940	-70850
0+425,00	16,96	634	1723	0,01	9	71949	-70226
0+450,00	0,00	212	1935	46,95	587	72536	-70601
0+475,00	0,00	0	1935	93,36	1754	74290	-72355
0+500,00	0,00	0	1935	108,20	2520	76809	-74874
0+525,00	0,00	0	1935	87,60	2448	79257	-77322
0+550,00	0,00	0	1935	91,15	2234	81491	-79556
0+571,72	0,00	0	1935	102,79	2106	83597	-81662
0+575,00	0,00	0	1935	104,43	340	83937	-82002
0+596,72	0,00	0	1935	85,64	2064	86001	-84066
0+596,72	0,00	0	1935	85,63	1	86002	-84066
0+600,00	0,00	0	1935	81,36	274	86275	-84340
0+621,72	0,00	0	1935	62,77	1565	87840	-85905
0+625,00	0,00	0	1935	61,68	204	88045	-86109
0+650,00	0,00	0	1935	51,01	1409	89453	-87518
0+675,00	0,00	0	1935	40,45	1141	90594	-88659
0+375,00	18,71	234	434	9,93	1303	71807	-71372
0+400,00	33,73	655	1090	0,72	133	71940	-70850
0+425,00	16,96	634	1723	0,01	9	71949	-70226
0+450,00	0,00	212	1935	46,95	587	72536	-70601
0+475,00	0,00	0	1935	93,36	1754	74290	-72355
0+500,00	0,00	0	1935	108,20	2520	76809	-74874
0+525,00	0,00	0	1935	87,60	2448	79257	-77322
0+550,00	0,00	0	1935	91,15	2234	81491	-79556
0+571,72	0,00	0	1935	102,79	2106	83597	-81662
0+575,00	0,00	0	1935	104,43	340	83937	-82002
0+596,72	0,00	0	1935	85,64	2064	86001	-84066
0+596,72	0,00	0	1935	85,63	1	86002	-84066
0+600,00	0,00	0	1935	81,36	274	86275	-84340
0+621,72	0,00	0	1935	62,77	1565	87840	-85905
0+625,00	0,00	0	1935	61,68	204	88045	-86109
0+650,00	0,00	0	1935	51,01	1409	89453	-87518
0+675,00	0,00	0	1935	40,45	1141	90594	-88659
0+575,00	0,00	0	1935	104,43	340	83937	-82002
0+596,72	0,00	0	1935	85,64	2064	86001	-84066
0+596,72	0,00	0	1935	85,63	1	86002	-84066
0+600,00	0,00	0	1935	81,36	274	86275	-84340
0+621,72	0,00	0	1935	62,77	1565	87840	-85905
0+625,00	0,00	0	1935	61,68	204	88045	-86109
0+650,00	0,00	0	1935	51,01	1409	89453	-87518

(Continuação)

PK [m]	Escavação			Aterro			Diferença entre o Volume de escavação e o Volume de aterro acumulado [m^3]
	Área [m^2]	Volume [m^3]	Volume acumulado [m^3]	Área [m^2]	Volume [m^3]	Volume acumulado [m^3]	
0+675,00	0,00	0	1935	40,45	1141	90594	-88659
0+700,00	0,00	0	1935	16,46	708	91302	-89367
0+725,00	0,13	2	1937	11,60	348	91651	-89714
0+739,73	0,00	1	1938	41,51	391	92042	-90104
0+750,00	0,09	0	1938	75,17	600	92641	-90703
0+775,00	0,06	2	1940	195,38	3397	96038	-94098
0+800,00	0,00	1	1941	427,86	7831	103869	-101928
0+825,00	0,00	0	1941	865,20	16103	119972	-118031
0+831,82	0,00	0	1941	951,94	6200	126172	-124230
0+850,00	0,13	1	1942	758,93	15488	141659	-139717
0+875,00	0,00	2	1944	185,38	11800	153459	-151515
0+900,00	0,00	0	1944	45,96	2891	156351	-154407
0+923,92	0,00	0	1944	36,52	987	157338	-155394
0+925,00	0,00	0	1944	36,83	40	157377	-155433
0+950,00	0,00	0	1944	44,53	1017	158394	-156450
0+975,00	0,00	0	1944	47,56	1149	159544	-157600
1+000,00	0,00	0	1944	38,35	1072	160615	-158672
1+025,00	0,02	0	1944	20,70	738	161354	-159409
1+041,93	1,32	11	1956	8,89	250	161604	-159648
1+050,00	2,09	14	1969	6,90	64	161668	-159698
1+066,93	5,69	66	2035	2,97	83	161751	-159716
1+066,93	5,69	0	2035	2,97	0	161751	-159716
1+075,00	10,74	66	2102	0,88	16	161767	-159665
1+091,93	22,50	281	2383	0,26	10	161776	-159393
1+100,00	22,78	183	2566	0,00	1	161777	-159212
1+125,00	21,16	549	3115	0,00	0	161777	-158662
1+150,00	62,29	1043	4158	0,00	0	161777	-157619
1+175,00	94,10	1955	6113	0,00	0	161777	-155664
1+200,00	126,72	2760	8873	0,00	0	161777	-152904
1+225,00	137,58	3304	12177	0,00	0	161777	-149601
1+246,84	126,43	2883	15059	0,00	0	161777	-146718
1+250,00	123,28	395	15454	0,00	0	161777	-146323
1+271,84	96,38	2399	17853	0,00	0	161777	-143924
1+271,85	96,37	1	17854	0,00	0	161777	-143924
1+275,00	91,70	296	18150	0,00	0	161777	-143627
1+296,84	62,47	1683	19833	0,00	0	161777	-141944
1+300,00	58,80	192	20025	0,00	0	161777	-141752
1+325,00	60,04	1485	21511	0,00	0	161777	-140267
1+350,00	75,62	1691	23202	0,00	0	161777	-138575
1+375,00	78,46	1920	25121	0,00	0	161777	-136656
1+400,00	58,92	1707	26829	0,00	0	161777	-134948

(Continuação)

PK [m]	*Escavação*			*Aterro*			*Diferença entre o Volume de escavação e o Volume de aterro acumulado [m^3]*
	Área [m^2]	*Volume [m^3]*	*Volume acumulado [m^3]*	*Área [m^2]*	*Volume [m^3]*	*Volume acumulado [m^3]*	
1+414,86	31,19	663	27492	1,25	10	161787	-134295
1+425,00	15,88	235	27727	6,66	41	161828	-134101
1+450,00	0,07	196	27922	49,60	709	162537	-134615
1+475,00	0,00	1	27923	106,56	1963	164500	-136577
1+500,00	0,00	0	27923	168,30	3452	167953	-140029
1+525,00	0,00	0	27923	257,84	5348	173300	-145377
1+550,00	0,00	0	27923	286,82	6839	180139	-152216
1+560,16	0,00	0	27923	291,32	2953	183092	-155169
1+575,00	0,00	0	27923	312,47	4508	187601	-159677
1+600,00	0,00	0	27923	305,80	7783	195383	-167460
1+625,00	0,00	0	27923	269,98	7253	202636	-174712
1+650,00	0,00	0	27923	219,09	6162	208798	-180874
1+675,00	0,00	0	27924	162,38	4803	213601	-185678
1+700,00	0,00	0	27924	114,72	3488	217089	-189166
1+705,46	0,00	0	27924	106,36	604	217693	-189769
1+725,00	0,00	0	27924	62,07	1658	219351	-191427
1+750,00	0,24	3	27927	30,91	1170	220521	-192594
1+775,00	0,04	3	27930	28,82	751	221272	-193342
1+800,00	0,00	0	27931	26,73	697	221969	-194039
1+823,47	2,80	33	27963	4,27	364	222333	-194370
1+825,00	3,54	5	27968	3,14	6	222339	-194370
1+848,47	24,22	326	28294	0,00	37	222376	-194082
1+848,48	24,22	0	28294	0,00	0	222376	-194081
1+850,00	25,55	38	28332	0,00	0	222376	-194044
1+873,47	41,17	783	29115	0,00	0	222376	-193260
1+875,00	41,91	63	29179	0,00	0	222376	-193197
1+900,00	49,39	1141	30320	0,00	0	222376	-192056
1+925,00	36,27	1071	31391	0,00	0	222376	-190985
1+950,00	0,23	456	31847	9,42	118	222493	-190647
1+975,00	0,00	3	31850	87,49	1211	223705	-191855
2+000,00	0,00	0	31850	200,76	3603	227308	-195458
2+025,00	0,00	0	31850	208,68	5118	232426	-200576
2+050,00	0,00	0	31850	186,64	4942	237367	-205518
2+075,00	0,00	0	31850	212,48	4989	242357	-210507
2+100,00	0,00	0	31850	267,09	5995	248351	-216501
2+125,00	0,00	0	31850	355,09	7777	256129	-224279
2+150,00	0,00	0	31850	491,40	10581	266710	-234860
2+175,00	0,00	0	31850	444,33	11697	278406	-246557
2+200,00	0,00	0	31850	230,00	8429	286836	-254986
2+225,00	0,00	0	31850	107,72	4222	291057	-259207
2+250,00	0,00	0	31850	103,69	2643	293700	-261850

(Continuação)

PK [m]	Escavação			Aterro			Diferença entre o Volume de escavação e o Volume de aterro acumulado [m^3]
	Área [m^2]	Volume [m^3]	Volume acumulado [m^3]	Área [m^2]	Volume [m^3]	Volume acumulado [m^3]	
2+275,00	0,00	0	31850	73,93	2220	295920	-264070
2+300,00	3,42	43	31893	32,88	1335	297255	-265363
2+325,00	48,25	646	32539	0,00	411	297666	-265128
2+350,00	142,28	2382	34920	0,00	0	297666	-262746
2+375,00	22,09	2055	36975	87,37	1092	298759	-261784
2+400,00	305,37	4093	41068	0,00	1092	299851	-258783
2+425,00	377,44	8535	49603	0,00	0	299851	-250248
2+450,00	275,88	8166	57770	0,00	0	299851	-242081
2+475,00	270,93	6835	64605	0,00	0	299851	-235246
2+500,00	334,99	7574	72179	0,00	0	299851	-227672
2+525,00	395,65	9133	81312	0,00	0	299851	-218539
2+550,00	452,31	10600	91911	0,00	0	299851	-207940
2+550,97	453,90	437	92348	0,00	0	299851	-207502
2+575,00	485,18	11285	103634	0,00	0	299851	-196217
2+575,96	486,77	466	104100	0,00	0	299851	-195751
2+575,97	486,78	3	104103	0,00	0	299851	-195748
2+600,00	518,41	12080	116183	0,00	0	299851	-183668
2+600,97	518,95	500	116683	0,00	0	299851	-183168
2+625,00	512,49	12395	129079	0,00	0	299851	-170772
2+650,00	486,63	12504	141583	0,00	0	299851	-158268
2+675,00	473,60	12033	153616	0,00	0	299851	-146235
2+700,00	440,71	11472	165088	0,00	0	299851	-134763
2+718,98	437,39	8360	173448	0,00	0	299851	-126403
2+725,00	435,66	2630	176078	0,00	0	299851	-123772
2+750,00	430,78	10849	186927	0,07	1	299852	-112925
2+775,00	378,35	10118	197045	0,12	2	299854	-102810
2+800,00	391,96	9628	206672	0,00	2	299856	-93183
2+825,00	433,40	10315	216987	0,00	0	299856	-82868
2+850,00	474,21	11353	228340	0,00	0	299856	-71516
2+856,00	486,85	2883	231223	0,00	0	299856	-68632
2+875,00	469,68	9096	240320	0,01	0	299856	-59536
2+900,00	436,52	11306	251626	0,00	0	299856	-48230
2+925,00	515,95	11848	263475	0,00	0	299856	-36382
2+950,00	529,27	13006	276481	0,00	0	299856	-23375
2+975,00	512,12	12982	289463	0,00	0	299856	-10393
2+993,03	510,05	9192	298656	0,00	0	299856	-1201
3+000,00	499,16	3519	302175	0,00	0	299856	2319
3+025,00	425,12	11534	313709	0,00	0	299856	13852
3+050,00	366,00	9881	323589	0,00	0	299856	23733
3+075,00	326,78	8655	332244	0,00	0	299856	32388
3+100,00	271,47	7478	339722	0,00	0	299856	39866

(Continuação)

PK [m]	Escavação			Aterro			Diferença entre o Volume de escavação e o Volume de aterro acumulado [m^3]
	Área [m^2]	Volume [m^3]	Volume acumulado [m^3]	Área [m^2]	Volume [m^3]	Volume acumulado [m^3]	
3+111,04	265,72	2964	342686	0,00	0	299856	42830
3+125,00	269,81	3739	346426	0,00	0	299856	46569
3+136,04	266,72	2961	349386	0,00	0	299856	49530
3+136,04	266,71	2	349388	0,00	0	299856	49531
3+150,00	269,46	3742	353130	0,00	0	299856	53273
3+161,04	281,98	3043	356173	0,00	0	299856	56316
3+175,00	290,50	3997	360170	0,00	0	299856	60313
3+200,00	296,54	7338	367508	0,00	0	299856	67651
3+225,00	292,48	7363	374871	0,00	0	299856	75014
3+250,00	283,94	7205	382076	0,00	0	299856	82219
3+275,00	291,65	7195	389271	0,00	0	299856	89414
3+292,06	259,08	4696	393967	0,00	0	299856	94110
3+300,00	234,38	1960	395927	0,00	0	299856	96071
3+317,05	206,23	3756	399683	0,00	0	299856	99827
3+317,06	206,22	1	399684	0,00	0	299856	99828
3+325,00	195,89	1598	401282	0,00	0	299856	101425
3+342,06	182,99	3231	404513	0,00	0	299856	104656
3+350,00	177,73	1433	405946	0,00	0	299856	106089
3+375,00	177,10	4435	410381	0,00	0	299856	110525
3+400,00	156,26	4152	414533	0,00	0	299856	114676
3+425,00	104,69	3242	417775	0,00	0	299856	117918
3+450,00	1,83	1320	419095	12,12	151	300008	119087
3+460,07	2,57	22	419117	41,84	272	300279	118838
3+475,00	0,61	23	419140	80,85	921	301200	117940
3+500,00	1,00	19	419160	121,42	2554	303754	115405
3+525,00	1,77	34	419193	117,34	3025	306780	112414
3+550,00	2,63	53	419247	128,51	3120	309899	109348
3+575,00	1,89	55	419301	110,20	3031	312930	106372
3+597,48	0,39	25	419326	104,02	2440	315370	103956
3+600,00	0,36	1	419327	105,38	264	315634	103693
3+625,00	0,02	5	419332	160,15	3355	318989	100343
3+650,00	0,00	0	419332	237,57	5029	324017	95315
3+675,00	0,00	0	419332	319,60	7043	331060	88272
3+700,00	0,00	0	419332	377,98	8810	339870	79462
3+725,00	0,00	0	419332	423,50	10123	349993	69339
3+734,89	0,00	0	419332	439,79	4316	354309	65023
3+750,00	0,00	0	419332	447,41	6769	361078	58254
3+775,00	0,00	0	419332	491,08	11833	372911	46421
3+800,00	0,00	0	419332	531,81	12871	385782	33550
3+825,00	0,00	0	419332	540,55	13466	399248	20084
3+850,00	0,00	0	419332	562,58	13789	413037	6295

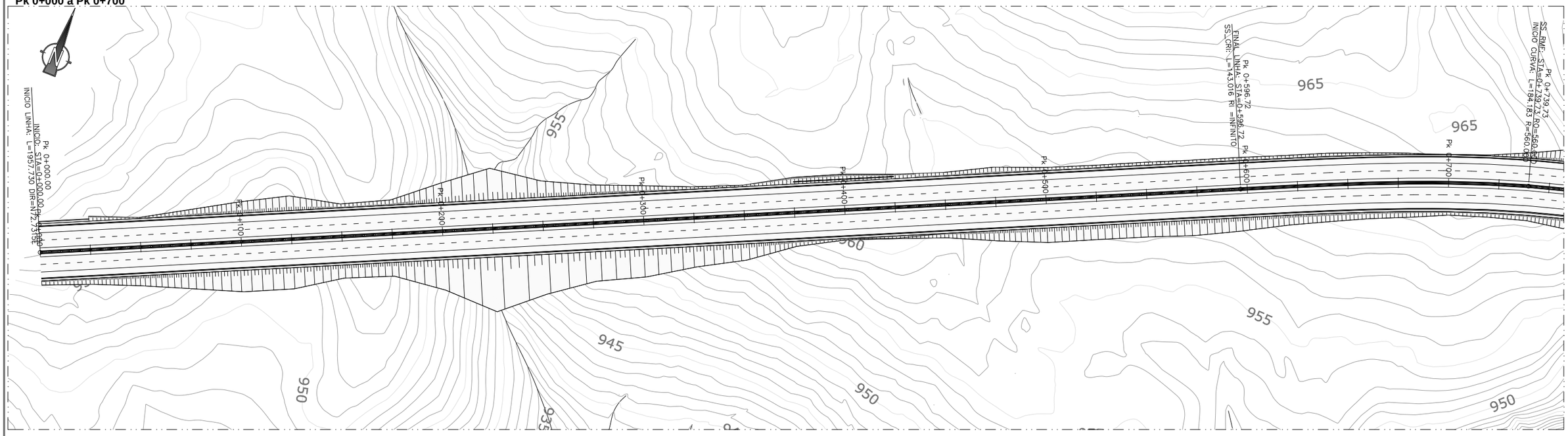
(Continuação)

PK [m]	Escavação			Aterro			Diferença entre o Volume de escavação e o Volume de aterro acumulado [m^3]
	Área [m^2]	Volume [m^3]	Volume acumulado [m^3]	Área [m^2]	Volume [m^3]	Volume acumulado [m^3]	
3+852,90	0,00	0	419332	562,56	1634	414671	4661
3+875,00	0,00	0	419332	580,10	12624	427295	-7963
3+877,90	0,00	0	419332	579,94	1684	428979	-9647
3+877,91	0,00	0	419332	579,94	4	428983	-9651
3+900,00	0,00	0	419332	586,95	12888	441871	-22539
3+902,90	0,00	0	419332	592,81	1713	443584	-24252
3+925,00	0,00	0	419332	640,51	13626	457210	-37878
3+950,00	0,00	0	419332	749,46	17375	474584	-55252
3+975,00	0,00	0	419332	564,69	16427	491011	-71679
4+000,00	0,00	0	419332	402,03	12084	503095	-83763
4+025,00	0,00	0	419332	175,40	7218	510313	-90981
4+050,00	1,54	19	419351	34,07	2618	512932	-93580
4+075,00	17,26	235	419586	27,10	765	513696	-94110
4+100,00	24,58	523	420109	31,52	733	514429	-94320
4+125,00	9,68	428	420537	39,00	882	515310	-94773
4+150,00	20,89	382	420919	26,94	824	516135	-95215
4+175,00	24,94	573	421492	30,45	717	516852	-95360
4+200,00	66,47	1143	422635	6,37	460	517312	-94677
4+225,00	103,38	2123	424758	0,02	80	517392	-92634
4+250,00	93,07	2456	427214	0,00	0	517392	-90179
4+275,00	80,45	2169	429383	0,00	0	517393	-88010
4+300,00	57,11	1720	431102	0,00	0	517393	-86290
4+325,00	0,00	714	431816	333,28	4166	521559	-89743
4+331,45	0,00	0	431816	385,85	2321	523879	-92063
4+350,00	0,00	0	431816	379,22	7095	530974	-99158
4+356,45	0,00	0	431816	480,01	2773	533747	-101930
4+356,46	0,00	0	431816	480,24	3	533749	-101933
4+375,00	0,00	0	431816	852,93	12359	546108	-114292
4+381,45	0,00	0	431816	858,63	5523	551631	-119815
4+400,00	0,00	0	431816	731,38	14744	566375	-134559
4+425,00	13,22	164	431980	25,17	9501	575876	-143896
4+450,00	34,33	589	432570	0,39	323	576199	-143630
4+475,00	49,84	1042	433611	0,86	16	576215	-142604
4+499,47	74,43	1504	435115	0,00	11	576226	-141111
4+500,00	75,32	40	435155	0,00	0	576226	-141071
4+525,00	114,09	2347	437501	0,01	0	576226	-138725
4+550,00	180,06	3649	441150	0,00	0	576226	-135076
4+575,00	249,75	5334	446485	0,00	0	576226	-129741
4+600,00	364,33	7627	454111	0,00	0	576226	-122115
4+612,75	394,01	4807	458919	0,00	0	576226	-117307
4+625,00	389,06	4771	463689	0,00	0	576226	-112537

(Continuação)

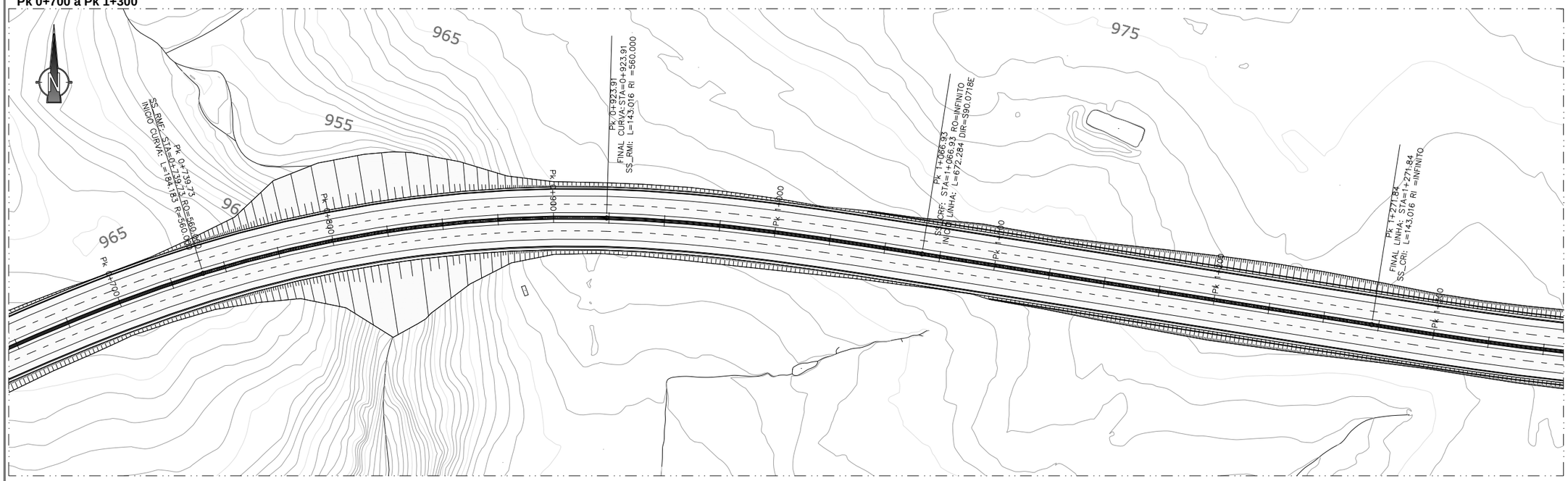
PK [m]	Escavação			Aterro			Diferença entre o Volume de escavação e o Volume de aterro acumulado [m^3]
	Área [m^2]	Volume [m^3]	Volume acumulado [m^3]	Área [m^2]	Volume [m^3]	Volume acumulado [m^3]	
4+650,00	334,01	8994	472683	0,00	0	576226	-103543
4+675,00	227,94	6994	479677	0,00	0	576226	-96549
4+700,00	163,53	4875	484553	0,00	0	576226	-91673
4+725,00	89,69	3153	487706	0,00	0	576226	-88520
4+726,03	86,94	91	487797	0,00	0	576226	-88429
4+750,00	6,10	1109	488906	4,64	57	576283	-87377
4+775,00	0,00	75	488981	45,80	635	576917	-87936
4+800,00	0,00	0	488981	94,42	1758	578676	-89694
4+825,00	0,02	0	488982	130,30	2814	581490	-92508
4+844,04	0,00	0	488982	150,21	2670	584160	-95178
4+850,00	0,00	0	488982	155,55	912	585071	-96089
4+869,04	0,00	0	488982	144,83	2860	587931	-98950
4+869,05	0,00	0	488982	144,83	1	587932	-98950
4+875,00	0,00	0	488982	145,86	865	588797	-99815
4+894,04	0,00	0	488982	202,39	3315	592112	-103130
4+900,00	0,00	0	488982	237,71	1312	593424	-104442
4+925,00	0,00	0	488982	300,29	6725	600149	-111167
4+950,00	0,00	0	488982	306,21	7581	607730	-118749
4+975,00	0,00	0	488982	318,74	7812	615542	-126560
5+000,00	0,00	0	488982	353,81	8407	623949	-134967
5+025,00	0,00	0	488982	340,31	8677	632626	-143644
5+050,00	0,00	0	488982	256,34	7458	640084	-151102
5+075,00	0,00	0	488982	150,04	5080	645163	-156182
5+100,00	0,00	0	488982	54,37	2555	647718	-158737
5+125,00	11,04	138	489120	1,68	701	648419	-159299
5+144,58	13,44	240	489359	3,44	50	648469	-159110
5+000,00	0,00	0	488982	353,81	8407	623949	-134967
5+025,00	0,00	0	488982	340,31	8677	632626	-143644
5+050,00	0,00	0	488982	256,34	7458	640084	-151102
5+075,00	0,00	0	488982	150,04	5080	645163	-156182
5+100,00	0,00	0	488982	54,37	2555	647718	-158737
5+125,00	11,04	138	489120	1,68	701	648419	-159299
5+144,58	13,44	240	489359	3,44	50	648469	-159110

Pk 0+000 a Pk 0+700





Pk 0+700 a Pk 1+300



Caso de Estudo B
Velocidade Base: 110 km/h
Abordagem: Segurança
Normativo: Portugal

Apêndice B.4.

Parte 1 de 4

Perfil Longitudinal

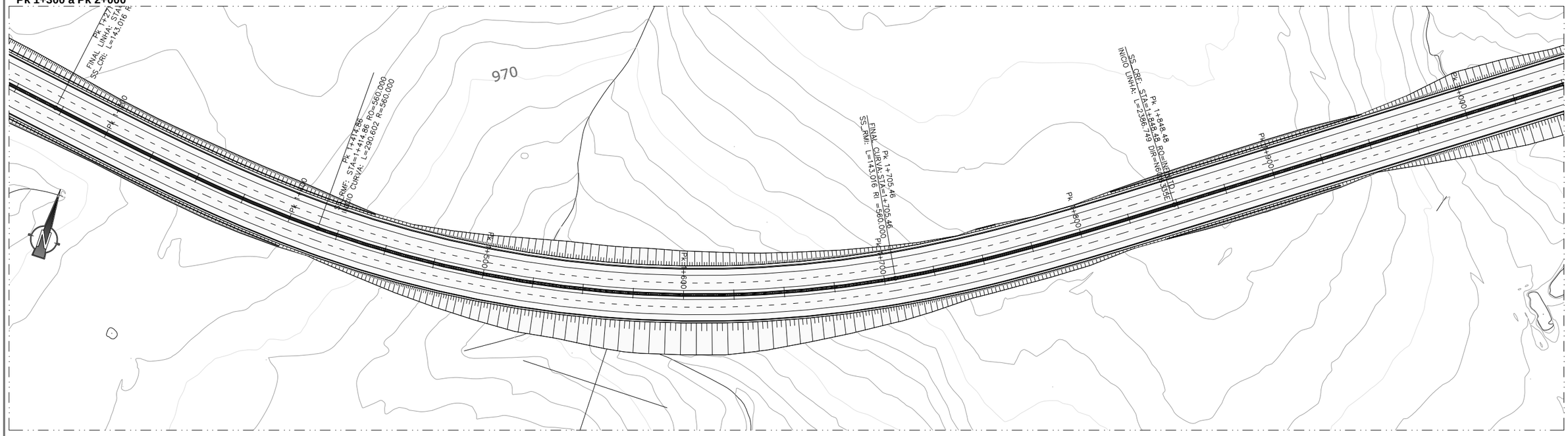
Esc. 1:2000

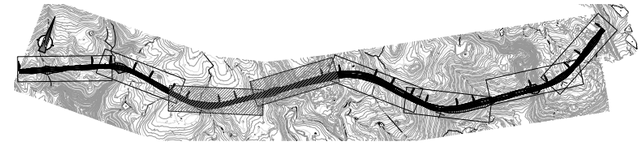
U.PORTO
FEUP FACULDADE DE ENGENHARIA
UNIVERSIDADE DO PORTO

Dissertação de Mestrado
"Projeto de autoestradas do México: comparação com o caso português"
junho de 2014

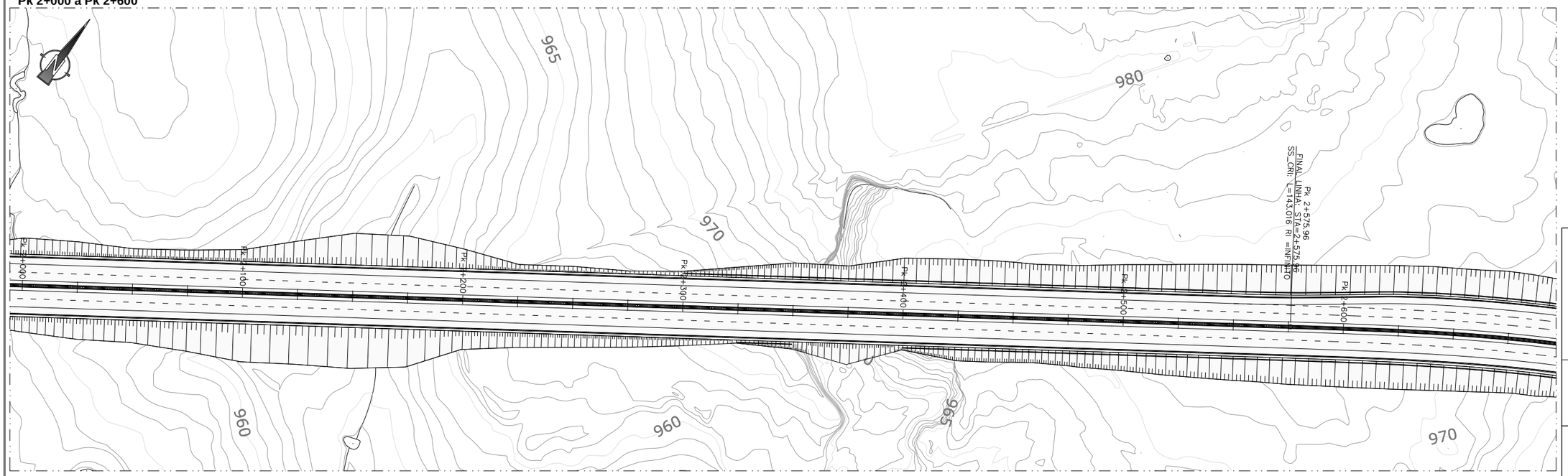
Autora: Lígia Conceição Pereira

Pk 1+300 a Pk 2+000





Pk 2+000 a Pk 2+600



Caso de Estudo B
Velocidade Base: 110 km/h
Abordagem: Segurança
Normativo: Portugal

Apêndice B.4.

Parte 2 de 4

Perfil Longitudinal

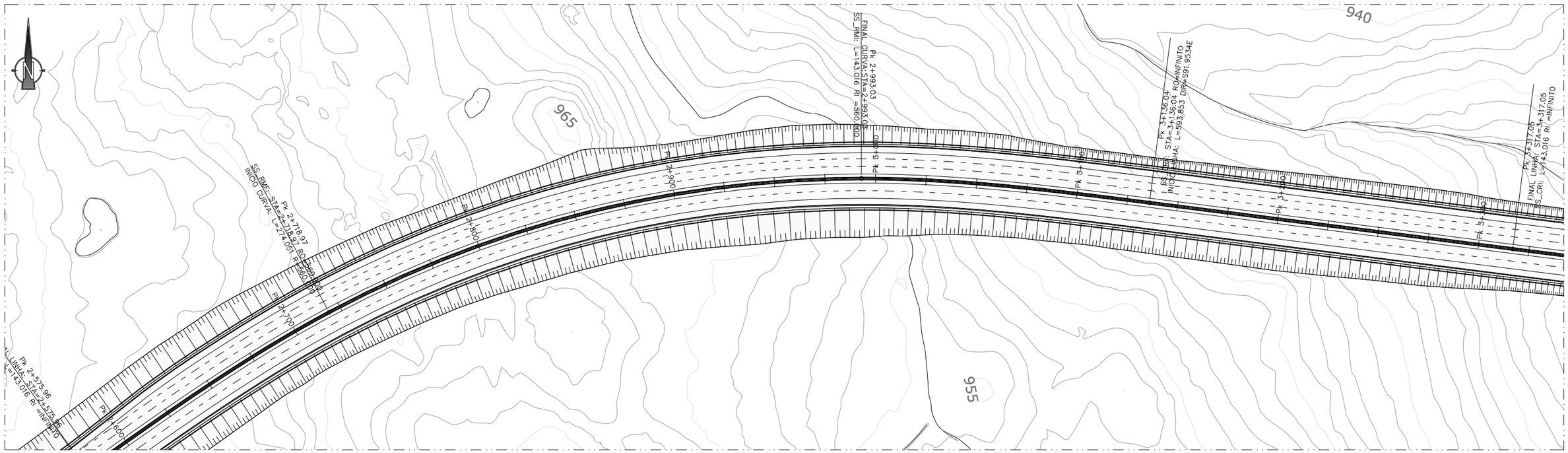
Esc. 1:2000

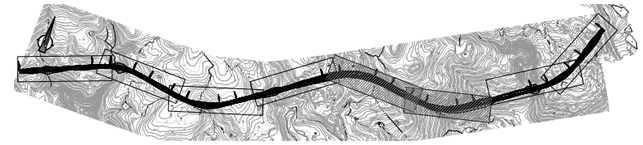
U.PORTO
FEUP FACULDADE DE ENGENHARIA
UNIVERSIDADE DO PORTO

Dissertação de Mestrado
"Projeto de autoestradas do México: comparação com o caso português"
junho de 2014

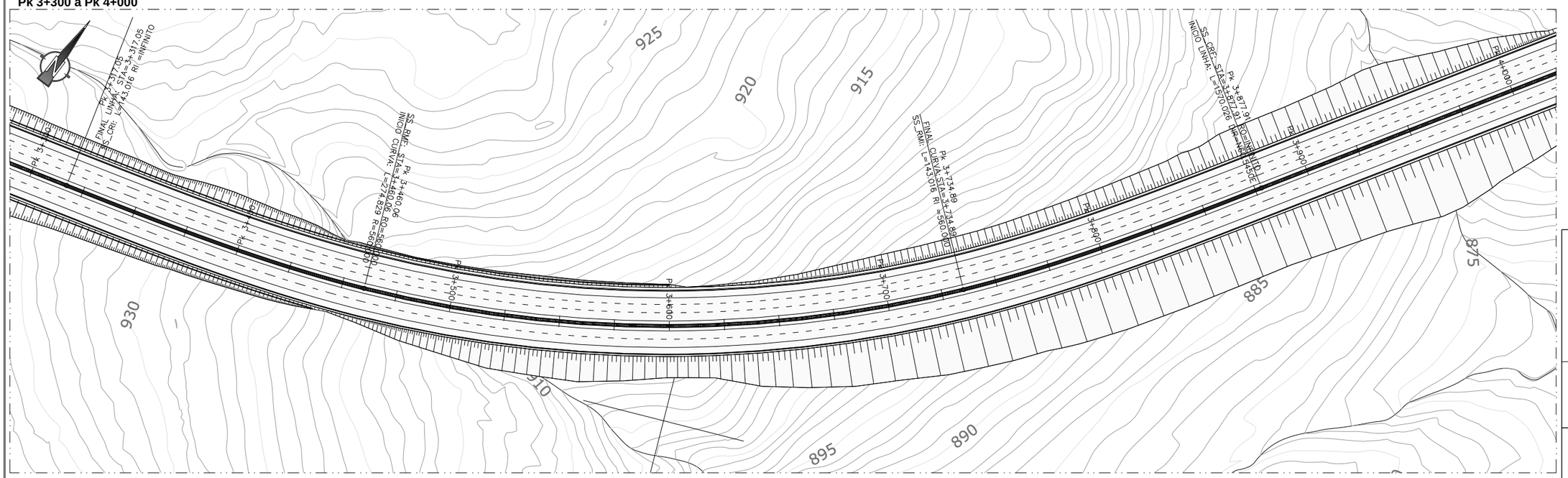
Autora: Lígia Conceição Pereira

Pk 2+600 a Pk 3+300





Pk 3+300 a Pk 4+000



Caso de Estudo B
Velocidade Base: 110 km/h
Abordagem: Segurança
Normativo: Portugal

Apêndice B.4.

Parte 3 de 4

Perfil Longitudinal

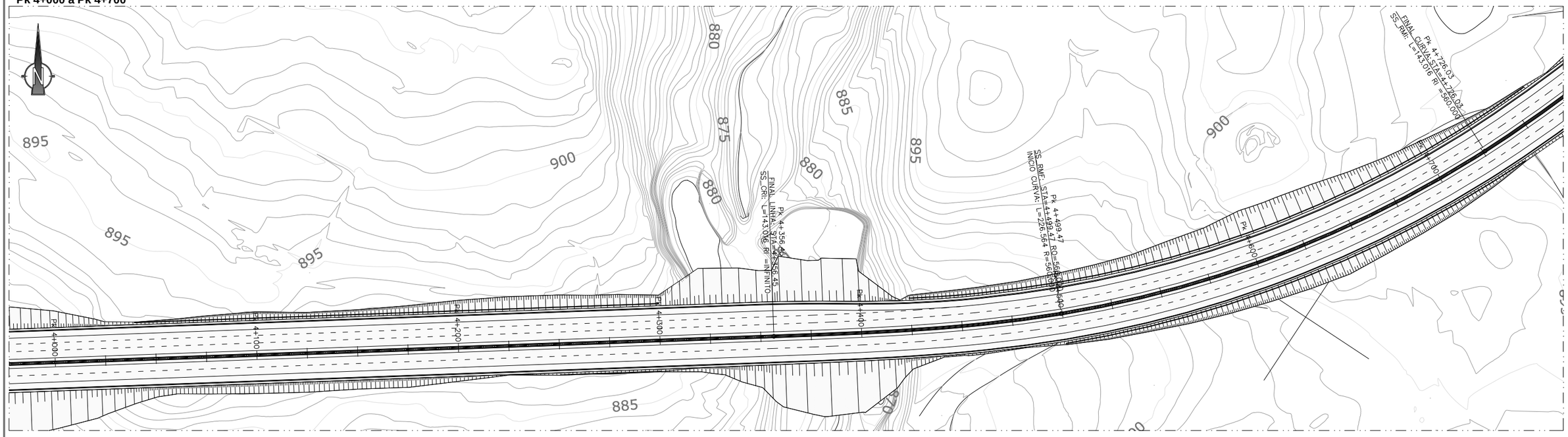
Esc. 1:2000

U.PORTO
FEUP FACULDADE DE ENGENHARIA
UNIVERSIDADE DO PORTO

Dissertação de Mestrado
"Projeto de autoestradas do México: comparação com o caso português"
junho de 2014

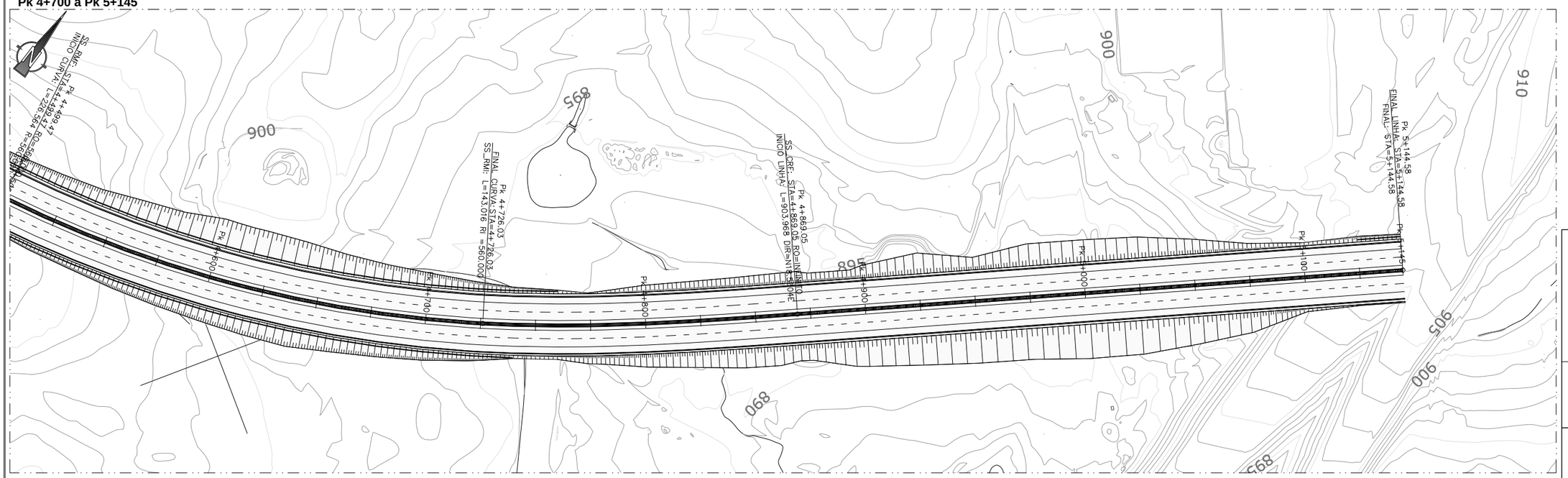
Autora: Lígia Conceição Pereira

Pk 4+000 a Pk 4+700





Pk 4+700 a Pk 5+145



Caso de Estudo B
Velocidade Base: 110 km/h
Abordagem: Segurança
Normativo: Portugal

Apêndice B.4.

Parte 4 de 4

Perfil Longitudinal

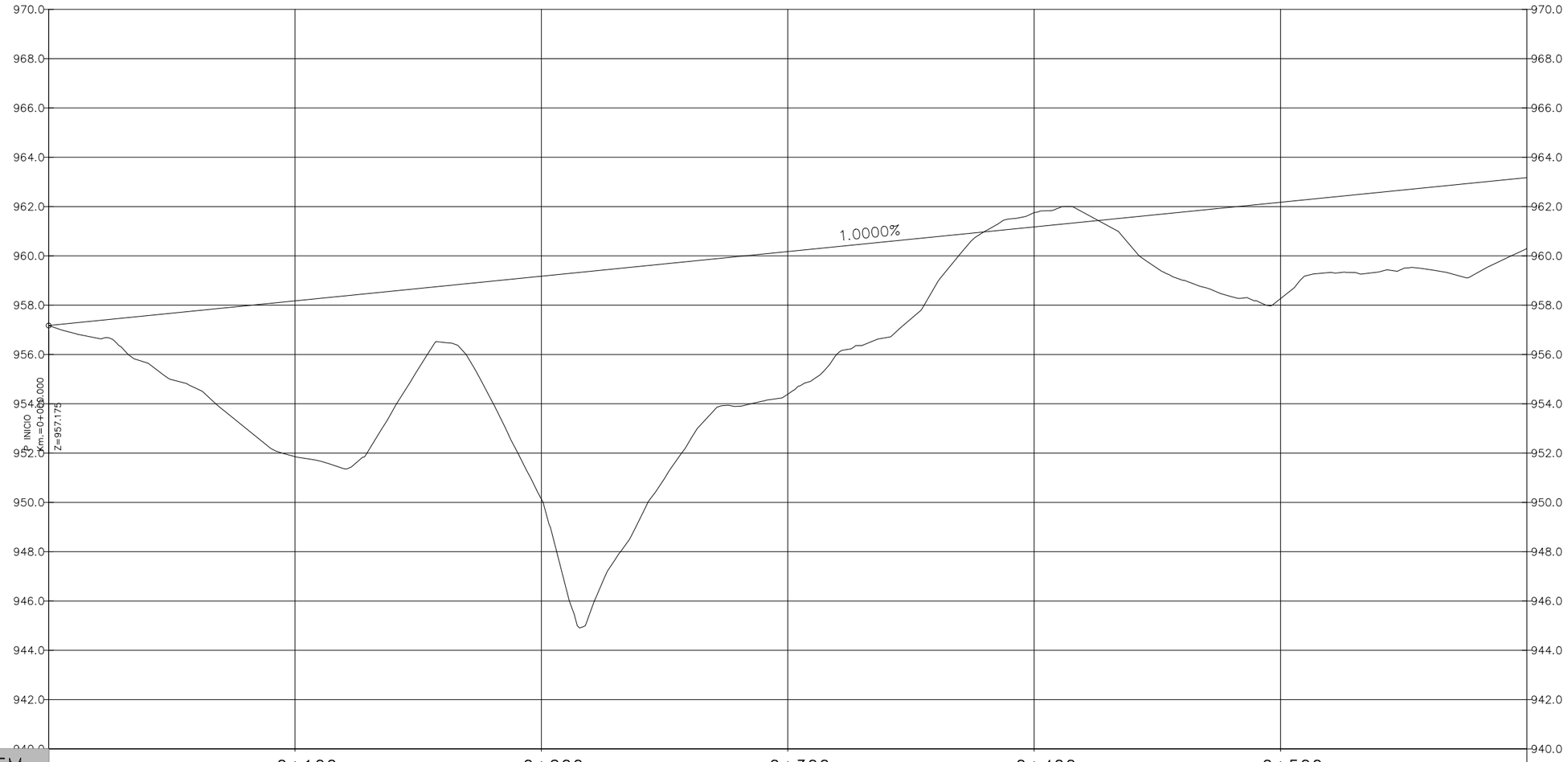
Esc. 1:2000

U.PORTO
FEUP FACULDADE DE ENGENHARIA
UNIVERSIDADE DO PORTO

Dissertação de Mestrado
"Projeto de autoestradas do México: comparação com o caso português"
junho de 2014

Autora: Lígia Conceição Pereira

B5. PERFIL LONGITUDINAL



QUILOMETRAGEM																							
PERFIL LONGITUDINAL	Cota da Rasante	957.425	957.675	957.925	958.175	958.425	958.675	958.925	959.175	959.425	959.675	959.925	960.175	960.425	960.675	960.925	961.175	961.425	961.675	961.925	962.175	962.425	962.675	962.925
	Cota do Terreno	956.65	954.98	953.41	951.86	951.62	955.41	955.04	950.13	946.81	950.97	953.93	954.39	956.21	957.45	960.65	961.76	961.49	959.49	958.50	958.27	959.33	959.49	959.12
	Elementos da Rasante	i=1.000% L=1630.085																					
PLANTA	Pontos Notáveis	km=0+000.000																					
	Diagrama de Curvas	L=596.716 R= 00																					
	Sobreelevação (%)																						

Caso de Estudo B
Velocidade Base: 110 km/h
Abordagem: Segurança
Normativo: Portugal

Apêndice B.5.

Parte 1 de 10

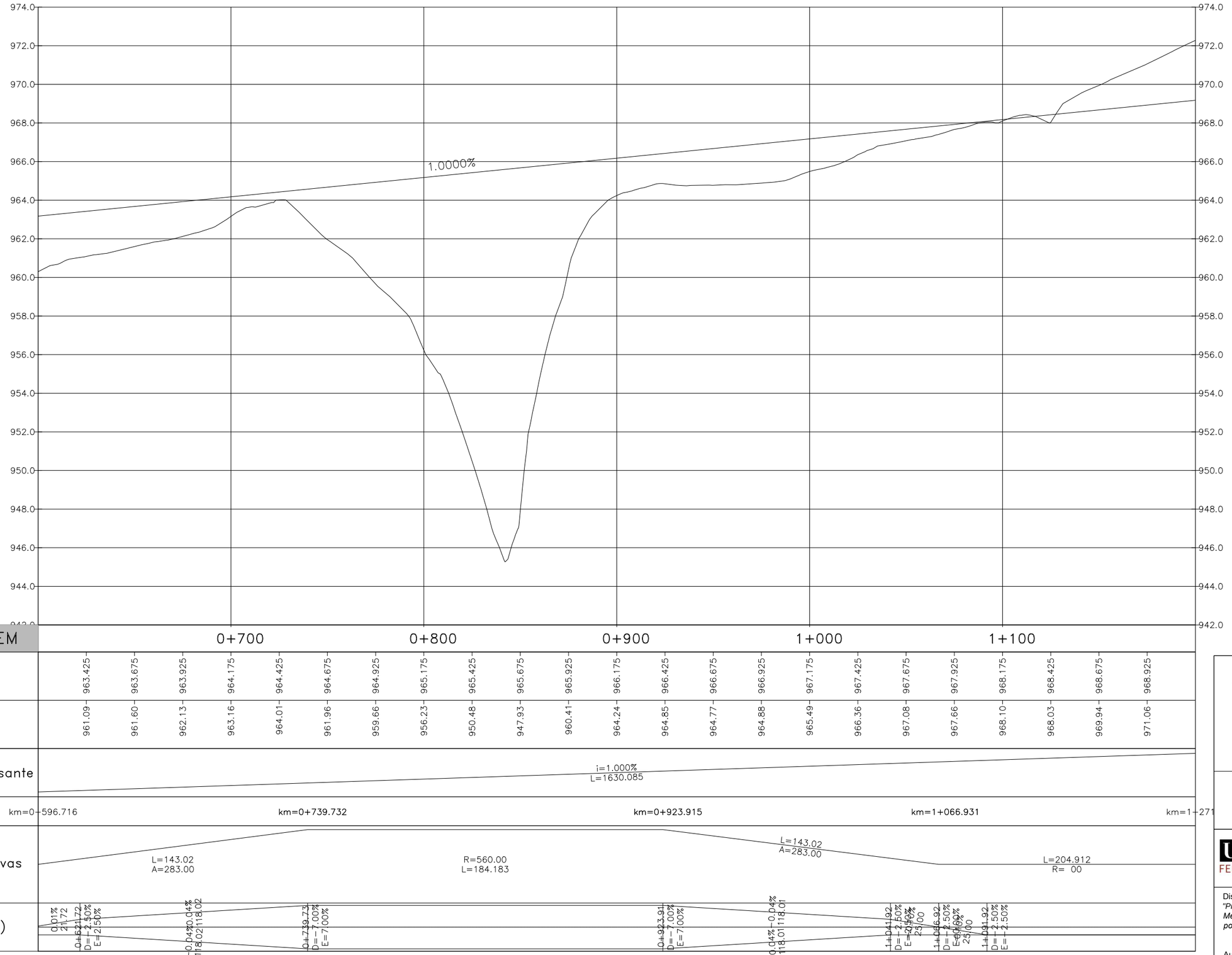
Perfil Longitudinal

Esc. Vertical 1:200
Esc. Horizontal 1:2000

U.PORTO
FEUP FACULDADE DE ENGENHARIA
UNIVERSIDADE DO PORTO

Dissertação de Mestrado
"Projeto de autoestradas do México: comparação com o caso português"
junho de 2014

Autora: Lígia Conceição Pereira



Caso de Estudo B
Velocidade Base: 110 km/h
Abordagem: Segurança
Normativo: Portugal

Apêndice B.5.

Parte 2 de 10

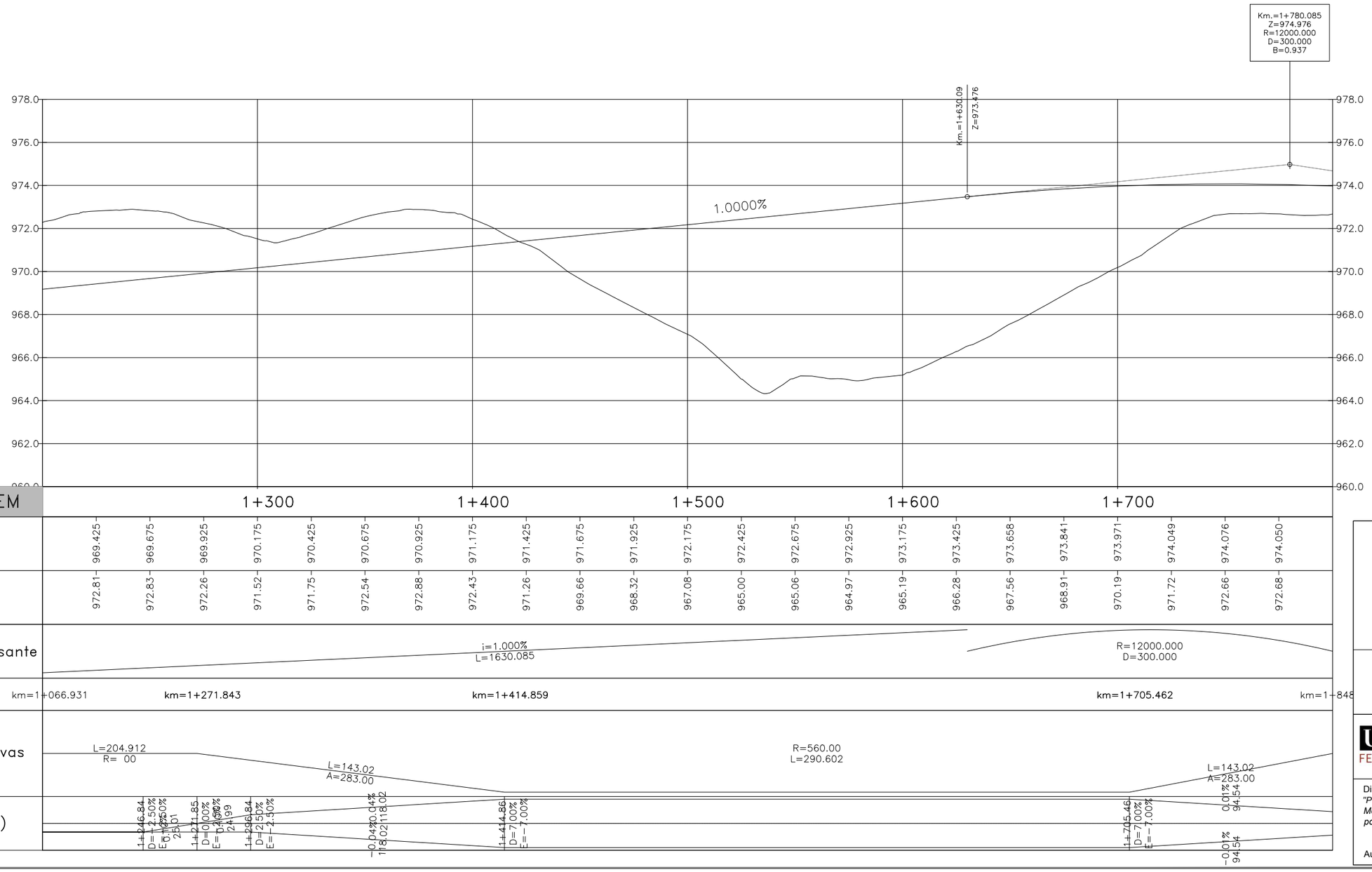
Perfil Longitudinal

Esc. Vertical 1:200
Esc. Horizontal 1:2000

U.PORTO
FEUP FACULDADE DE ENGENHARIA
UNIVERSIDADE DO PORTO

Dissertação de Mestrado
"Projeto de autoestradas do México: comparação com o caso português"
junho de 2014

Autora: Lígia Conceição Pereira



Caso de Estudo B
Velocidade Base: 110 km/h
Abordagem: Segurança
Normativo: Portugal

Apêndice B.5.

Parte 3 de 10

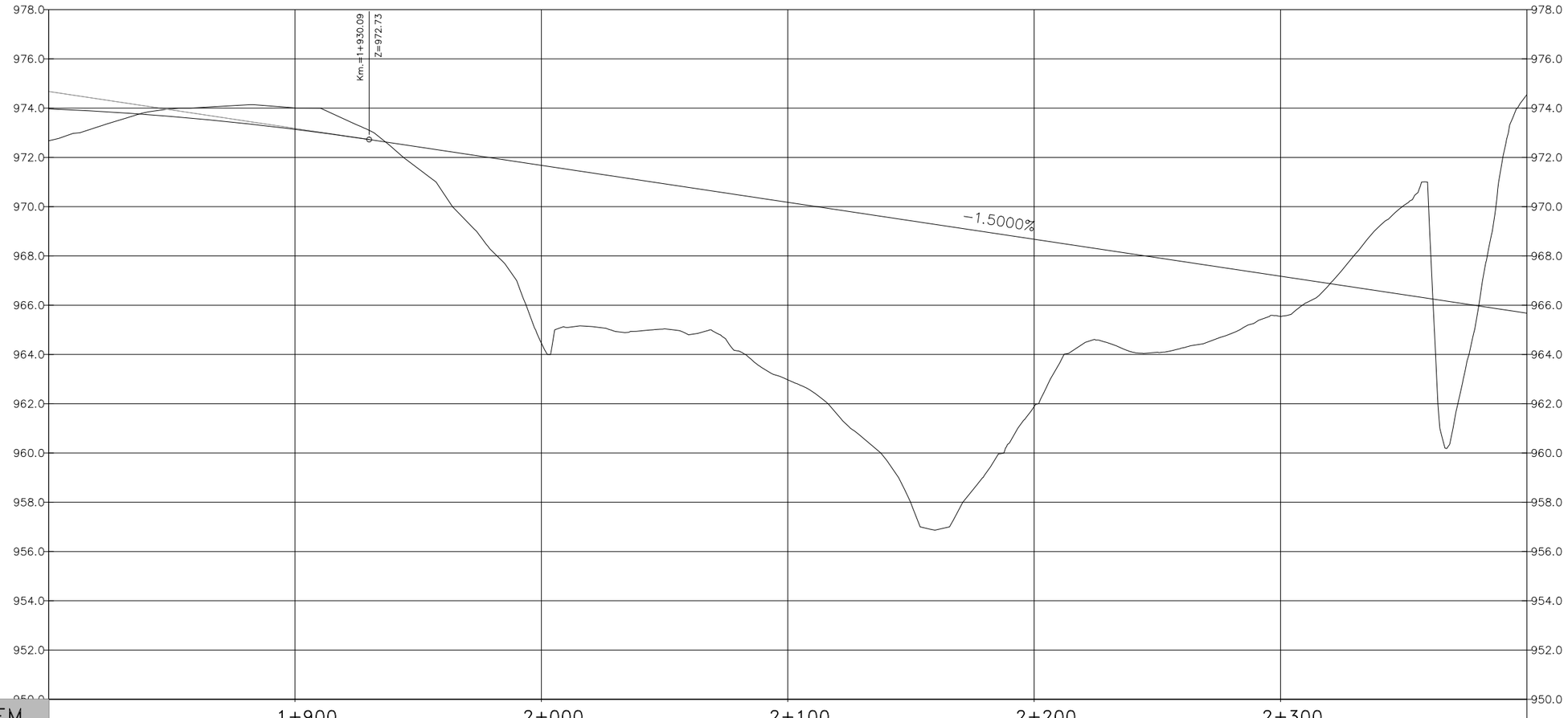
Perfil Longitudinal

Esc. Vertical 1:200
Esc. Horizontal 1:2000

U.PORTO
FEUP FACULDADE DE ENGENHARIA
UNIVERSIDADE DO PORTO

Dissertação de Mestrado
"Projeto de autoestradas do México: comparação com o caso português"
junho de 2014

Autora: Lígia Conceição Pereira



QUILOMETRAGEM		1+900				2+000				2+100				2+200				2+300						
PERFIL LONGITUDINAL	Cota da Rasante	973.842	973.660	973.425	973.139	972.801	972.427	972.052	971.677	971.302	970.927	970.552	970.177	969.802	969.427	969.052	968.677	968.302	967.927	967.552	967.177	966.802	966.427	966.052
	Cota do Terreno	973.40	973.97	974.10	974.01	973.33	971.55	968.82	964.46	965.08	965.04	964.60	962.97	961.05	957.96	958.49	961.89	964.59	964.09	964.67	965.55	967.43	970.04	963.38
	Elementos da Rasante		R=12000.000 D=300.000				i=-1.500% L=509.659																	
PLANTA	Pontos Notáveis	km=1+705.462		km=1+848.478																			km=2+575	
	Diagrama de Curvas		L=143.02 A=283.00				L=727.481 R= 00																	
	Sobreelevação (%)	0.00% 23.47	1+823.47 D=-2.50% E=-2.50% 25.00				1+848.47 D=0.00% E=2.50% 25.00				1+873.47 D=-2.50% E=-2.50%													

Caso de Estudo B
Velocidade Base: 110 km/h
Abordagem: Segurança
Normativo: Portugal

Apêndice B.5.

Parte 4 de 10

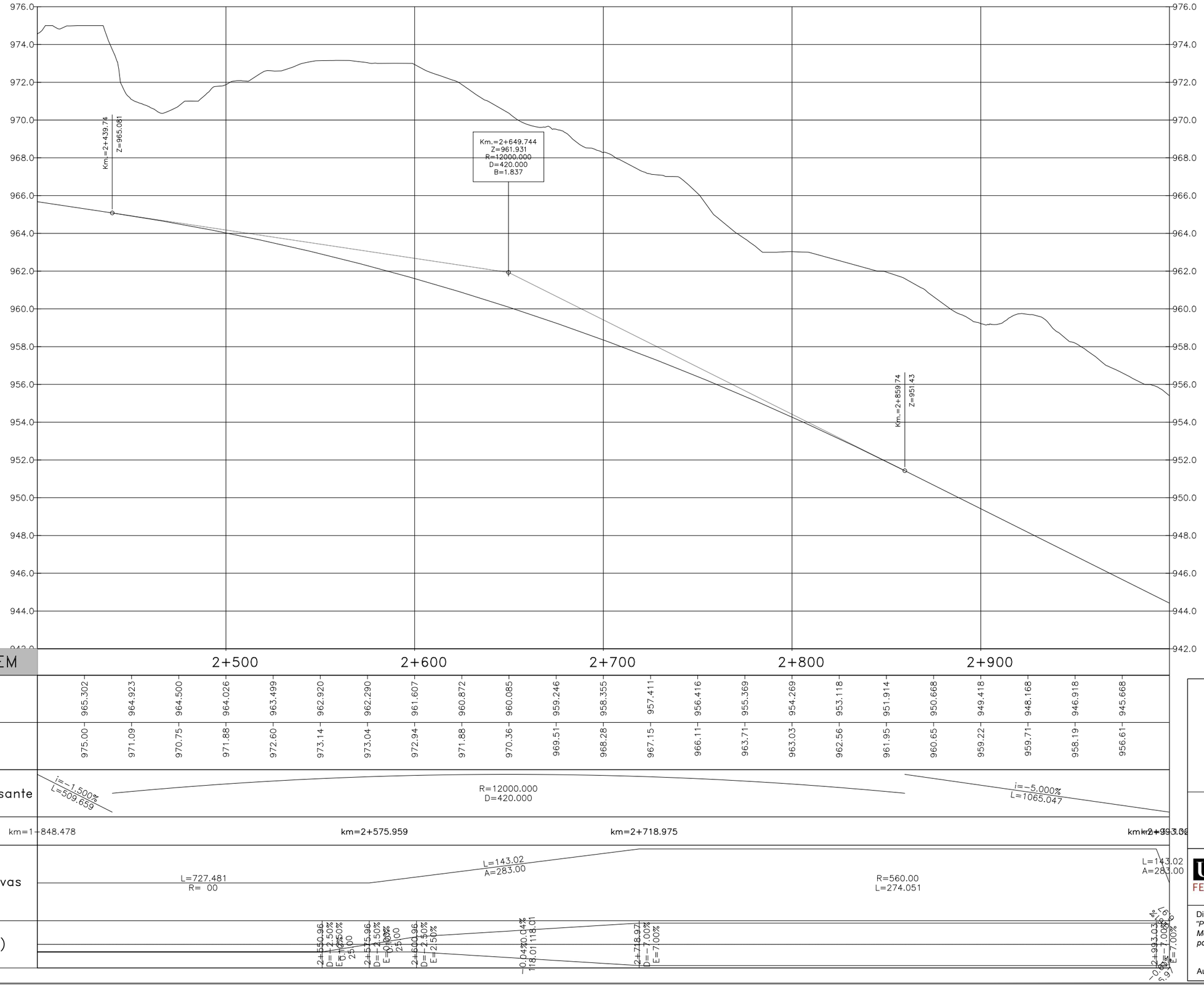
Perfil Longitudinal

Esc. Vertical 1:200
Esc. Horizontal 1:2000

U.PORTO
FEUP FACULDADE DE ENGENHARIA
UNIVERSIDADE DO PORTO

Dissertação de Mestrado
"Projeto de autoestradas do México: comparação com o caso português"
junho de 2014

Autora: Lígia Conceição Pereira



Caso de Estudo B
Velocidade Base: 110 km/h
Abordagem: Segurança
Normativo: Portugal

Apêndice B.5.

Parte 5 de 10

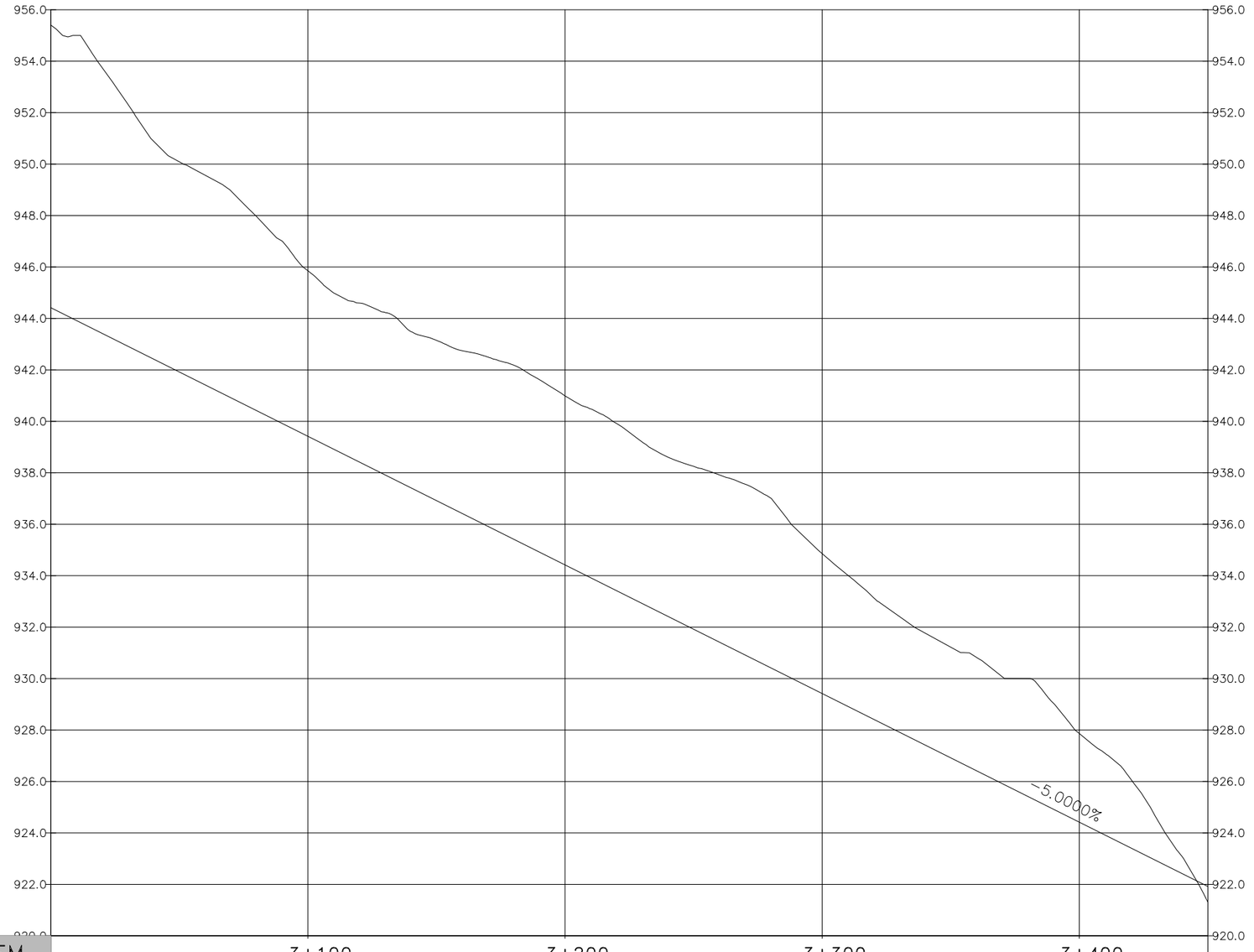
Perfil Longitudinal

Esc. Vertical 1:200
Esc. Horizontal 1:2000

U.PORTO
FEUP FACULDADE DE ENGENHARIA
UNIVERSIDADE DO PORTO

Dissertação de Mestrado
"Projeto de autoestradas do México: comparação com o caso português"
junho de 2014

Autora: Lígia Conceição Pereira



QUILOMETRAGEM		3+100	3+200	3+300	3+400
PERFIL LONGITUDINAL	Cota da Rasante	943.168	941.918	940.668	939.418	938.168	936.918	935.668	934.418	933.168	931.918	930.668	929.418	928.168	926.918	925.668	924.418	923.168
	Cota do Terreno	953.05	950.09	948.46	945.86	944.43	943.15	942.34	940.99	939.57	938.25	937.31	934.86	932.77	931.22	930.00	927.87	925.41
	Elementos da Rasante	i=-5.000% L=1065.047																
PLANTA	Pontos Notáveis	km=2+993.026		km=3+136.042								km=3+317.048						km=3+460.065
	Diagrama de Curvas	L=143.02 A=283.00								L=181.007 R= 00							L=143.02 A=283.00	
	Sobreelevação (%)	0.00% 111.04	3+111.04 D=-2.50% E=-2.50% 25.00	3+136.04 D=-2.50% E=-2.50% 25.00	3+161.04 D=-2.50% E=-2.50%					3+292.05 D=-2.50% E=-2.50% 25.00	3+317.05 D=0.00% E=-2.50% 25.00	3+342.05 D=-2.50% E=-2.50%					0.00% 1071.95	

Caso de Estudo B
Velocidade Base: 110 km/h
Abordagem: Segurança
Normativo: Portugal

Apêndice B.5.

Parte 6 de 10

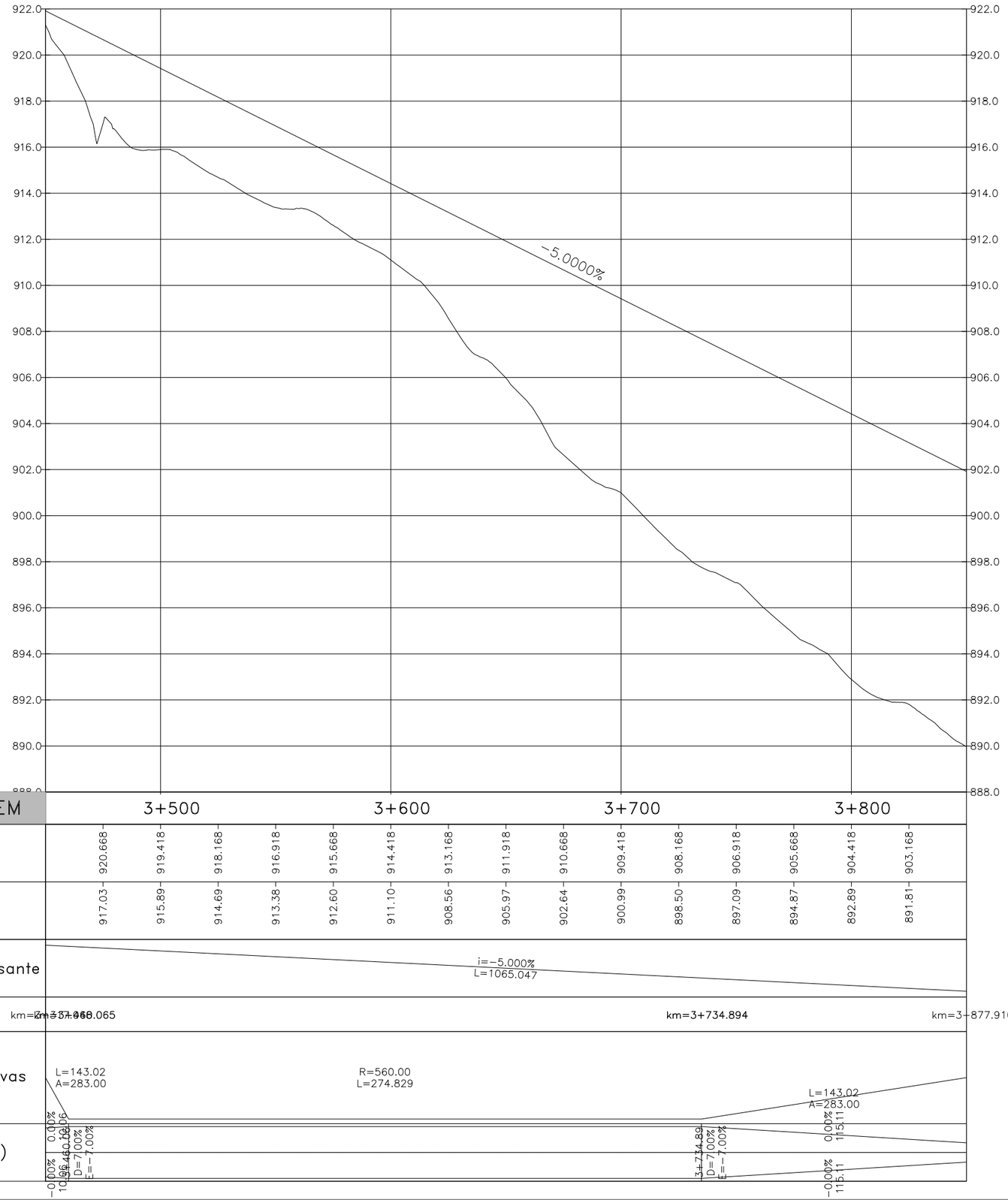
Perfil Longitudinal

Esc. Vertical 1:200
Esc. Horizontal 1:2000

U.PORTO
FEUP FACULDADE DE ENGENHARIA
UNIVERSIDADE DO PORTO

Dissertação de Mestrado
"Projeto de autoestradas do México: comparação com o caso português"
junho de 2014

Autora: Lígia Conceição Pereira



Caso de Estudo B
Velocidade Base: 110 km/h
Abordagem: Segurança
Normativo: Portugal

Apêndice B.5.

Parte 7 de 10

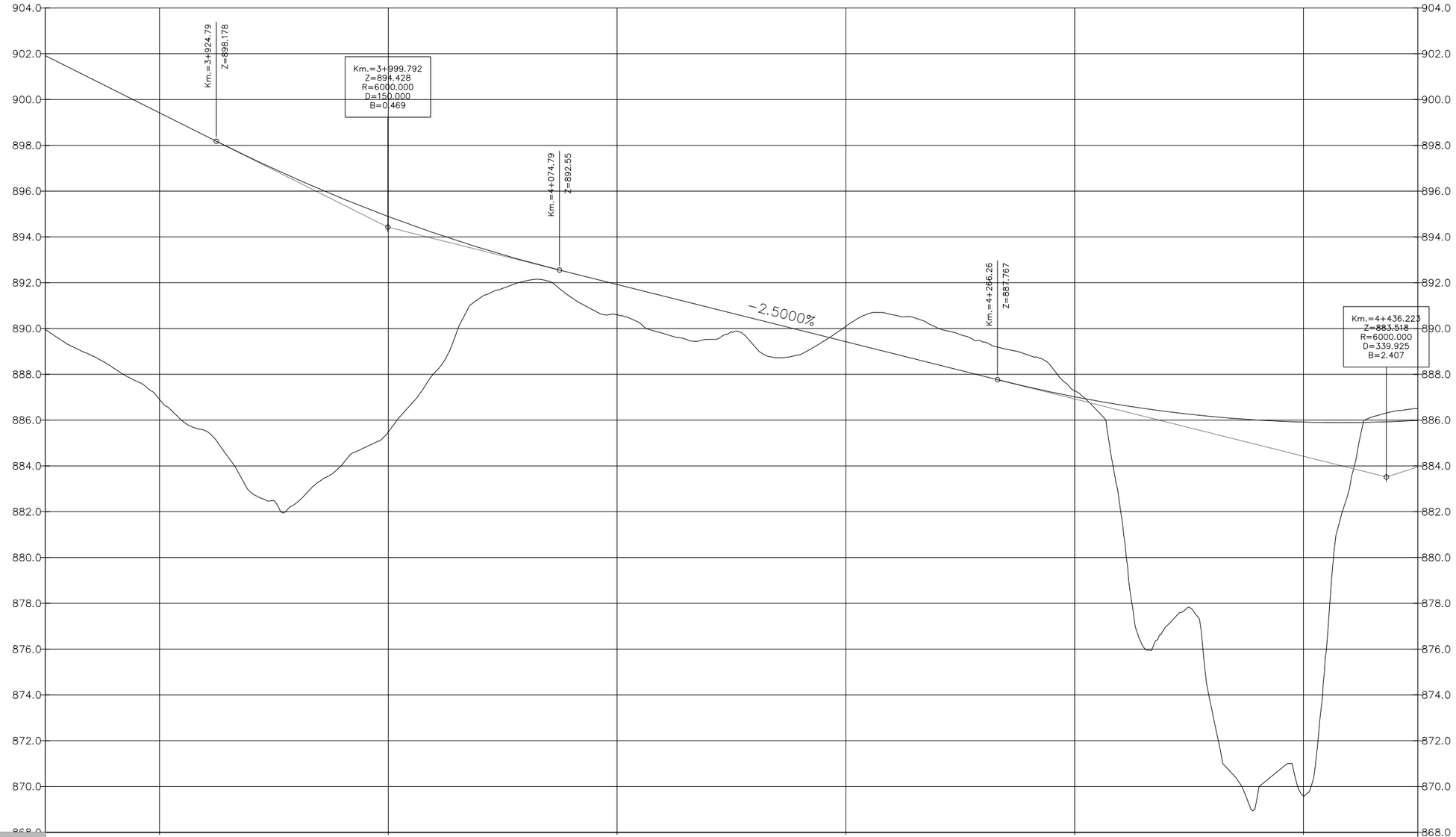
Perfil Longitudinal

Esc. Vertical 1:200
Esc. Horizontal 1:2000

U.PORTO
FEUP FACULDADE DE ENGENHARIA
UNIVERSIDADE DO PORTO

Dissertação de Mestrado
"Projeto de autoestradas do México: comparação com o caso português"
junho de 2014

Autora: Lígia Conceição Pereira



QUILOMETRAGEM	3+900	4+000	4+100	4+200	4+300	4+400
PERFIL LONGITUDINAL — Cota da Rasante	900.668	899.418	898.168	896.971	895.878	894.889
	894.005	893.224	892.548	891.923	891.298	890.673
	890.048	889.423	888.798	888.173	887.555	887.018
	886.586	886.258	886.034	885.914	885.898	
PERFIL LONGITUDINAL — Cota do Terreno	888.58	886.90	885.08	882.49	883.63	885.48
	888.68	891.76	891.73	890.59	889.64	889.86
	888.75	890.10	890.51	889.73	889.00	887.27
	878.00	877.83	869.53	869.59	885.37	
PERFIL LONGITUDINAL — Elementos da Rasante	i=-5.000% L=1065.047	R=6000.000 D=150.000	i=-2.500% L=191.469	R=6000.000 D=339.925		
PLANTA — Pontos Notáveis	km=3+734.801	km=3+877.910	km=4+356.454	km=4+499		
PLANTA — Diagrama de Curvas	L=143.02 A=283.00	L=478.544 R= 00	L=143.02 A=283.00			
PLANTA — Sobreelevação (%)	0.00% 3+834.00 D=2.50% E=-0.62% 25.00	3+877.90 D=0.00% E=-0.62% 25.00	3+902.90 D=-2.50% E=-2.50%	4+331.45 D=-2.50% E=2.50% 25.01	4+356.46 D=0.00% E=0.00% 24.99	4+381.45 D=2.50% E=-2.50% 0.00% 3+ 868.55

Caso de Estudo B
Velocidade Base: 110 km/h
Abordagem: Segurança
Normativo: Portugal

Apêndice B.5.

Parte 8 de 10

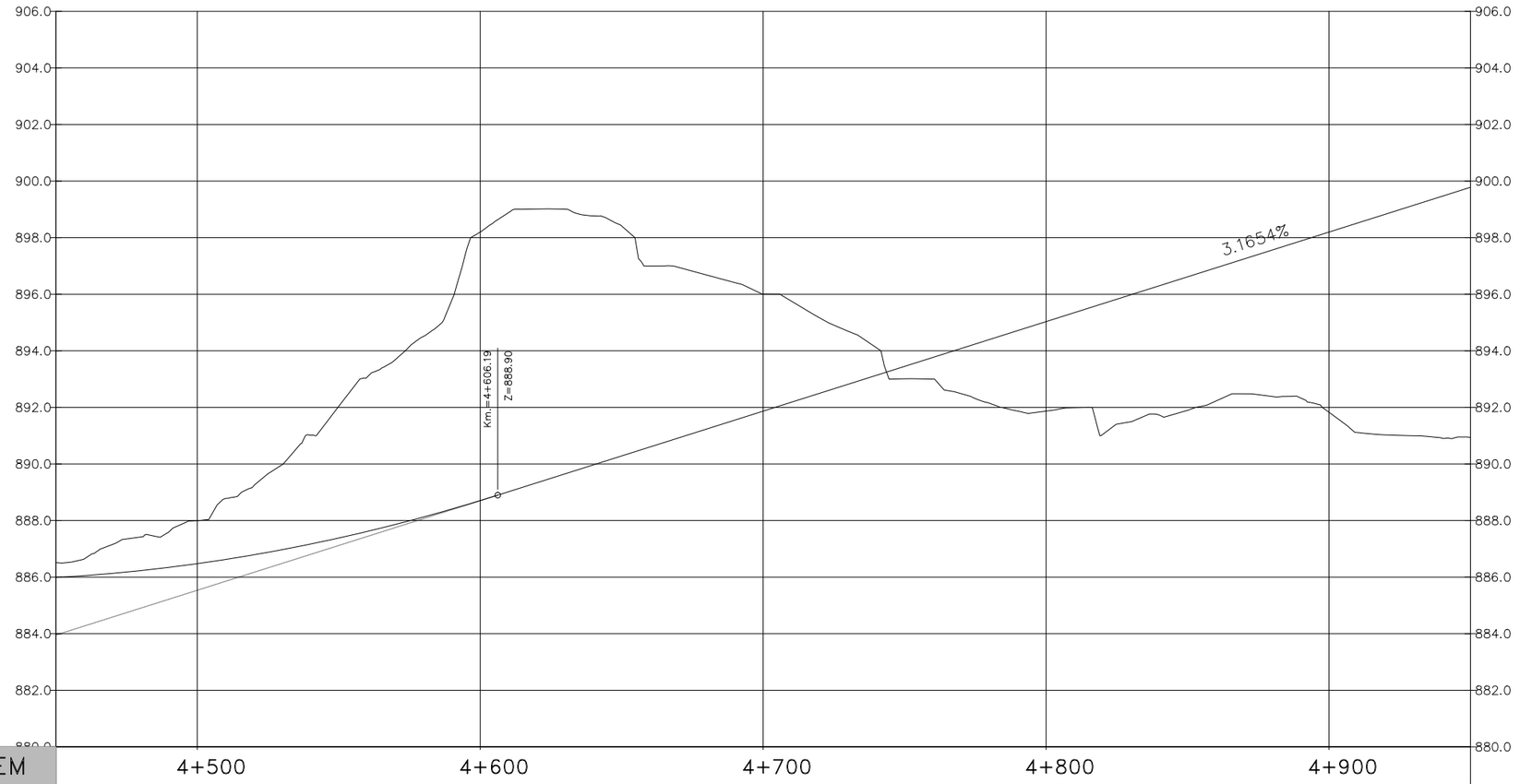
Perfil Longitudinal

Esc. Vertical 1:200
Esc. Horizontal 1:2000

U.PORTO
FEUP FACULDADE DE ENGENHARIA UNIVERSIDADE DO PORTO

Dissertação de Mestrado
"Projeto de autoestradas do México: comparação com o caso português"
junho de 2014

Autora: Lígia Conceição Pereira



QUILOMETRAGEM	4+500			4+600			4+700				4+800				4+900				
PERFIL LONGITUDINAL – Cota da Rasante	886.179	886.476	886.877	887.382	887.991	888.705	889.493	890.285	891.076	891.867	892.659	893.450	894.241	895.033	895.824	896.615	897.407	898.198	898.989
PERFIL LONGITUDINAL – Cota do Terreno	887.35	888.00	889.66	892.04	894.15	898.20	899.02	898.41	896.82	896.00	894.91	893.01	892.31	891.87	891.41	891.90	892.45	891.83	891.01
PERFIL LONGITUDINAL – Elementos da Rasante	R=6000.000 D=339.925							i=3.165% L=538.393											
PLANTA – Pontos Notáveis	km=4+356.454	km=4+499.470					km=4+726.034							km=4+869.050					km=5+144.579
PLANTA – Diagrama de Curvas	L=143.02 A=283.00					R=560.00 L=226.564						L=143.02 A=283.00				L=275.529 R= 00			
PLANTA – Sobreelevação (%)	0.00% 49.47	4+499.47 D=7.00% E=-7.00%					4+726.03 D=7.00% E=-7.00%				0.04% -0.04% 118.00 118.00			4+844.04 D=2.50% E=-2.50% 25.01		4+869.04 D=0.00% E=-0.50% 24.99		4+894.04 D=-2.50% E=2.50%	
	-0.00% 49.47																		

Caso de Estudo B
Velocidade Base: 110 km/h
Abordagem: Segurança
Normativo: Portugal

Apêndice B.5.

Parte 9 de 10

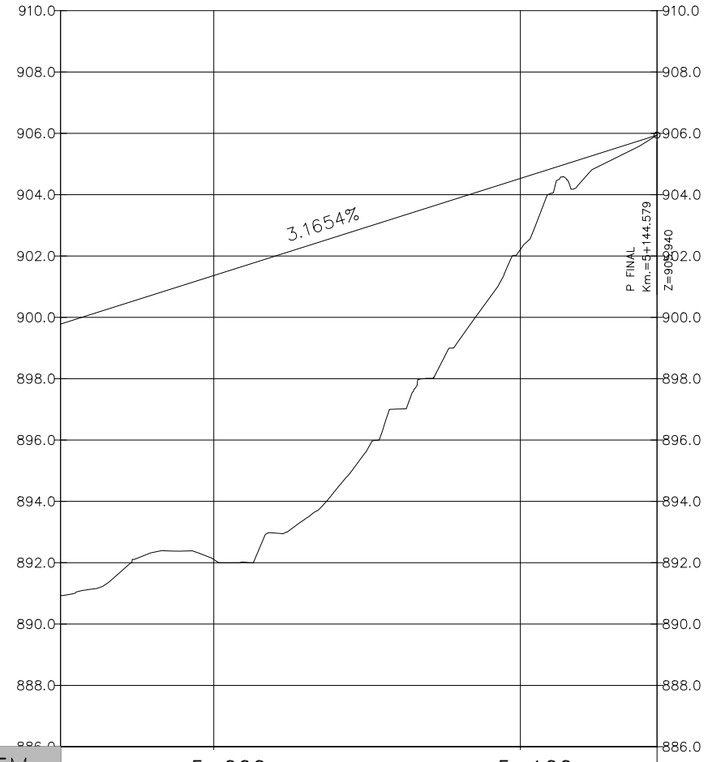
Perfil Longitudinal

Esc. Vertical 1:200
Esc. Horizontal 1:2000

U.PORTO
FEUP FACULDADE DE ENGENHARIA
UNIVERSIDADE DO PORTO

Dissertação de Mestrado
"Projeto de autoestradas do México: comparação com o caso português"
junho de 2014

Autora: Lígia Conceição Pereira



QUILOMETRAGEM		5+000				5+100		
PERFIL LONGITUDINAL	Cota da Rasante	900.572	901.363	902.155	902.946	903.738	904.529	905.320
	Cota do Terreno	892.15	892.10	893.08	895.67	898.67	902.21	904.90
	Elementos da Rasante	i=3.165% L=538.393						
PLANTA	Pontos Notáveis							
	Diagrama de Curvas							
	Sobreelevação (%)							

Caso de Estudo B
Velocidade Base: 110 km/h
Abordagem: Segurança
Normativo: Portugal

Apêndice B.5.

Parte 10 de 10

Perfil Longitudinal

Esc. Vertical 1:200
Esc. Horizontal 1:2000

U.PORTO
FEUP FACULDADE DE ENGENHARIA
UNIVERSIDADE DO PORTO

Dissertação de Mestrado
"Projeto de autoestradas do México: comparação com o caso português"
junho de 2014

Autora: Lígia Conceição Pereira

Apêndice C CASO DE ESTUDO: 110 KM/H, SEGURANÇA, NM

C.1. GEOMETRIA DA DIRETRIZ

PK [m]	Elemento	Extensão [m]
0+000,00	Alinhamento reto	636,14
0+636,14	Curva composta à direita R=416,70 m; L=150,00 m; A =250,01 m	150,00
0+786,14	Curva circular à direita R=416,70 m	93,47
0+879,62	Curva composta à direita R=416,70 m; L=150,00 m; A =250,01 m	150,00
1+029,62	Alinhamento reto	299,02
1+328,64	Curva composta à esquerda R=416,70 m; L=150,00 m; A =250,01 m	150,00
1+478,64	Curva circular à esquerda R=416,70 m	172,66
1+651,30	Curva composta à esquerda R=416,70 m; L=150,00 m; A =250,01 m	150,00
1+801,30	Alinhamento reto	834,40
2+635,70	Curva composta à direita R=416,70 m; L=150,00 m; A =250,01 m	150,00
2+785,70	Curva circular à direita R=416,70 m	160,34
2+946,04	Curva composta à direita R=416,70 m; L=150,00 m; A =250,01 m	150,00
3+096,04	Alinhamento reto	285,60
3+381,65	Curva composta à esquerda R=416,70 m; L=150,00 m; A =250,01 m	150,00
3+531,65	Curva circular à esquerda R=416,70 m	160,92
3+692,57	Curva composta à esquerda R=416,70 m; L=150,00 m; A =250,01 m	150,00
3+842,57	Alinhamento reto	576,28
4+418,85	Curva composta à esquerda R=416,70 m; L=150,00 m; A =250,01 m	150,00
4+568,85	Curva circular à esquerda R=416,70 m	125,01
4+693,86	Curva composta à esquerda R=416,70 m; L=150,00 m; A =250,01 m	150,00
4+843,86	Alinhamento reto	320,91
5+164,77		

C.2. GEOMETRIA DA RASANTE

PK [m]	Elemento	Cota [m]
0+000,00	Trainel 1 Ascendente	957,175
	i=+1,0000 %; L=1690,09 m	
1+690,09		974,076
	Concordância convexa 1	
1+801,30	R=+7200,00 m; D=180,00 m	974,329
1+870,09		973,630
	Trainel 2 Descendente	
2+523,74	i=-1,5000 %; L=653,66 m	963,821
	Concordância convexa 2	
2+635,70	R=+7200,00 m; D=252,00 m	961,271
2+775,74		955,630
	Trainel 3 Descendente	
3+946,04	i=-5,0000 %; L=1170,30 m	897,116
	Concordância côncava 1	
4+053,54	R=-4300,00 m; D=107,50 m	893,080
	Trainel 4 Descendente	
4+316,30	i=-2,5000 %; L=262,76 m	886,516
	Concordância côncava 2	
4+436,22	R=-4300,00 m; D=239,84 m	883,518
4+556,14		887,210
	Trainel 5 Ascendente	
5+164,77	i=+3,0780 %; L=608,62 m	905,940

C.3. TABELA DE MOVIMENTOS DE TERRA

PK [m]	Escavação			Aterro			Diferença entre o Volume de escavação e o Volume de aterro acumulado [m^3]
	Área [m^2]	Volume [m^3]	Volume acumulado [m^3]	Área [m^2]	Volume [m^3]	Volume acumulado [m^3]	
0+000,00	0,00	0	0	0,00	0	0	0
0+025,00	6,12	77	77	15,47	193	193	-117
0+050,00	0,00	77	153	59,61	938	1132	-979
0+075,00	0,00	0	153	122,85	2281	3413	-3259
0+100,00	0,00	0	153	197,13	4000	7412	-7259
0+125,00	0,00	0	153	220,10	5215	12628	-12475
0+150,00	0,00	0	153	85,43	3819	16447	-16294
0+175,00	0,00	0	153	104,57	2375	18822	-18669
0+200,00	0,00	0	153	323,10	5346	24168	-24015
0+225,00	0,00	0	153	619,47	11782	35950	-35797
0+250,00	0,00	0	153	338,37	11973	47923	-47770
0+275,00	0,00	0	153	212,43	6885	54808	-54655
0+300,00	0,00	0	153	189,81	5028	59836	-59683
0+325,00	0,00	0	153	120,10	3874	63710	-63557
0+350,00	0,00	0	153	87,67	2597	66307	-66154

(Continuação)

PK [m]	*Escavação*			*Aterro*			*Diferença entre o Volume de escavação e o Volume de aterro acumulado [m^3]*
	Área [m^2]	*Volume [m^3]*	*Volume acumulado [m^3]*	*Área [m^2]*	*Volume [m^3]*	*Volume acumulado [m^3]*	
0+375,00	15,77	197	350	8,10	1197	67504	-67154
0+400,00	30,35	577	927	0,38	106	67610	-66683
0+425,00	15,31	571	1498	0,00	5	67615	-66117
0+450,00	0,00	191	1689	43,99	550	68165	-66476
0+475,00	0,00	0	1689	87,14	1639	69804	-68115
0+500,00	0,00	0	1689	101,44	2357	72161	-70472
0+525,00	0,00	0	1689	81,24	2284	74445	-72756
0+550,00	0,00	0	1689	84,59	2073	76517	-74828
0+575,00	0,00	0	1689	97,37	2275	78792	-77103
0+600,00	0,00	0	1689	73,42	2135	80927	-79238
0+606,15	0,00	0	1689	64,97	425	81352	-79663
0+625,00	0,00	0	1689	55,84	1139	82491	-80802
0+636,15	0,00	0	1689	54,43	614	83106	-81417
0+650,00	0,00	0	1689	46,57	700	83805	-82116
0+666,15	0,00	0	1689	39,26	693	84498	-82809
0+675,00	0,00	0	1689	35,67	332	84830	-83141
0+700,00	0,35	4	1693	11,89	593	85423	-83729
0+725,00	0,52	11	1704	4,29	201	85624	-83919
0+750,00	0,03	7	1711	64,24	858	86482	-84770
0+775,00	0,00	0	1712	196,52	3285	89767	-88055
0+786,15	0,00	0	1712	294,04	2769	92535	-90824
0+800,00	0,00	0	1712	412,94	4956	97492	-95780
0+825,00	0,00	0	1712	776,20	14834	112326	-110614
0+832,88	0,00	0	1712	886,76	6491	118816	-117105
0+850,00	0,23	2	1714	768,90	14064	132881	-131167
0+875,00	0,00	3	1716	190,63	11945	144826	-143110
0+879,62	0,00	0	1716	131,13	743	145568	-143852
0+900,00	0,00	0	1716	39,37	1738	147307	-145590
0+925,00	0,00	0	1716	29,44	862	148168	-146452
0+950,00	0,00	0	1716	37,54	837	149005	-147289
0+975,00	0,00	0	1716	42,21	995	150001	-148284
0+999,62	0,00	0	1716	36,50	969	150969	-149253
1+000,00	0,00	0	1716	36,28	14	150983	-149267
1+025,00	0,12	2	1718	21,72	725	151708	-149991
1+029,62	0,77	2	1720	17,66	91	151799	-150079
1+050,00	3,81	47	1767	7,41	256	152055	-150288
1+059,62	4,49	40	1806	5,34	61	152116	-150310
1+075,00	8,94	103	1910	1,10	49	152166	-150256
1+100,00	18,69	345	2255	0,00	14	152179	-149924
1+125,00	14,77	418	2673	0,00	0	152179	-149506
1+150,00	53,16	849	3522	0,00	0	152179	-148657

(Continuação)

PK [m]	Escavação			Aterro			Diferença entre o Volume de escavação e o Volume de aterro acumulado [m^3]
	Área [m^2]	Volume [m^3]	Volume acumulado [m^3]	Área [m^2]	Volume [m^3]	Volume acumulado [m^3]	
1+175,00	82,65	1698	5220	0,00	0	152179	-146959
1+200,00	113,12	2447	7667	0,00	0	152179	-144512
1+225,00	125,00	2977	10644	0,00	0	152179	-141536
1+250,00	115,03	3000	13644	0,00	0	152179	-138535
1+275,00	89,18	2553	16197	0,00	0	152179	-135983
1+298,64	60,97	1775	17972	0,00	0	152179	-134208
1+300,00	59,44	82	18053	0,00	0	152179	-134126
1+325,00	54,71	1427	19480	0,00	0	152179	-132699
1+328,64	56,61	203	19683	0,00	0	152179	-132496
1+350,00	67,39	1324	21007	0,00	0	152179	-131172
1+358,64	71,07	598	21605	0,00	0	152179	-130574
1+375,00	71,05	1163	22768	0,00	0	152179	-129412
1+400,00	53,07	1547	24315	0,00	0	152179	-127864
1+425,00	12,83	818	25134	5,61	71	152250	-127117
1+450,00	0,07	159	25292	44,24	628	152878	-127586
1+475,00	0,00	1	25293	101,01	1828	154706	-129413
1+478,64	0,00	0	25293	110,40	385	155091	-129798
1+500,00	0,00	0	25293	163,64	2946	158037	-132744
1+525,00	0,00	0	25293	243,85	5118	163155	-137862
1+550,00	0,00	0	25293	288,86	6683	169838	-144545
1+564,97	0,00	0	25293	302,12	4445	174283	-148990
1+575,00	0,00	0	25293	325,47	3170	177453	-152160
1+600,00	0,00	0	25293	340,61	8398	185851	-160558
1+625,00	0,00	0	25293	317,13	8306	194157	-168864
1+650,00	0,00	0	25293	259,12	7278	201435	-176142
1+651,30	0,00	0	25293	255,56	334	201769	-176476
1+675,00	0,00	0	25293	189,53	5321	207090	-181797
1+700,00	0,00	0	25293	136,44	4101	211190	-185897
1+725,00	0,00	0	25293	87,86	2816	214007	-188714
1+750,00	0,04	1	25294	43,66	1649	215656	-190362
1+771,30	0,00	0	25294	37,75	867	216523	-191229
1+775,00	0,00	0	25294	36,97	138	216661	-191367
1+800,00	0,00	0	25294	34,54	894	217555	-192261
1+801,30	0,00	0	25294	34,14	45	217600	-192305
1+825,00	0,00	0	25294	12,61	554	218153	-192859
1+831,30	0,37	1	25295	5,72	58	218211	-192916
1+850,00	14,51	139	25434	0,00	53	218265	-192830
1+875,00	32,72	590	26025	0,00	0	218265	-192240
1+900,00	44,60	966	26991	0,00	0	218265	-191273
1+925,00	43,20	1097	28089	0,00	0	218265	-190176
1+950,00	8,32	644	28733	0,00	0	218265	-189532

(Continuação)

PK [m]	*Escavação*			*Aterro*			*Diferença entre o Volume de escavação e o Volume de aterro acumulado [m^3]*
	Área [m^2]	*Volume [m^3]*	*Volume acumulado [m^3]*	*Área [m^2]*	*Volume [m^3]*	*Volume acumulado [m^3]*	
1+975,00	0,00	104	28837	53,58	670	218934	-190098
2+000,00	0,00	0	28837	147,54	2514	221449	-192612
2+025,00	0,00	0	28837	193,12	4258	225707	-196870
2+050,00	0,00	0	28837	175,06	4602	230309	-201472
2+075,00	0,00	0	28837	182,96	4475	234784	-205948
2+100,00	0,00	0	28837	232,40	5192	239976	-211140
2+125,00	0,00	0	28837	290,51	6536	246513	-217676
2+150,00	0,00	0	28837	401,57	8651	255164	-226327
2+175,00	0,00	0	28837	482,73	11054	266217	-237381
2+200,00	0,00	0	28837	276,20	9487	275704	-246868
2+225,00	0,00	0	28837	112,11	4854	280558	-251721
2+250,00	0,00	0	28837	93,58	2571	283129	-254293
2+275,00	0,00	0	28837	76,31	2124	285253	-256416
2+300,00	0,39	5	28841	37,51	1423	286676	-257834
2+325,00	22,47	286	29127	1,23	484	287160	-258033
2+350,00	110,07	1657	30784	0,00	15	287175	-256391
2+375,00	0,00	1376	32160	148,99	1862	289037	-256878
2+400,00	239,24	2990	35150	0,67	1871	290908	-255758
2+425,00	346,67	7324	42474	0,00	8	290917	-248442
2+450,00	302,64	8116	50591	0,00	0	290917	-240326
2+475,00	229,81	6656	57246	0,00	0	290917	-233670
2+500,00	296,03	6573	63819	0,00	0	290917	-227097
2+525,00	346,36	8030	71849	0,00	0	290917	-219067
2+550,00	394,68	9263	81112	0,00	0	290917	-209804
2+575,00	426,20	10261	91373	0,00	0	290917	-199543
2+600,00	451,60	10972	102346	0,00	0	290917	-188571
2+605,70	458,63	2595	104941	0,00	0	290917	-185976
2+625,00	438,84	8660	113600	0,00	0	290917	-177316
2+635,70	425,43	4625	118225	0,00	0	290917	-172691
2+650,00	410,27	5974	124200	0,00	0	290917	-166717
2+665,70	394,34	6317	130517	0,00	0	290917	-160400
2+675,00	394,03	3665	134182	0,00	0	290917	-156735
2+700,00	380,94	9698	143879	0,00	0	290917	-147037
2+725,00	384,46	9577	153456	0,00	0	290917	-137461
2+750,00	396,90	9761	163217	0,00	0	290917	-127699
2+775,00	359,66	9433	172650	0,00	0	290917	-118267
2+785,70	357,06	3818	176467	0,00	0	290917	-114449
2+800,00	363,86	5125	181592	0,00	0	290917	-109324
2+825,00	408,17	9594	191186	0,00	0	290917	-99730
2+850,00	449,99	10666	201852	0,26	3	290920	-89068
2+865,87	496,67	7486	209338	0,00	2	290922	-81584

(Continuação)

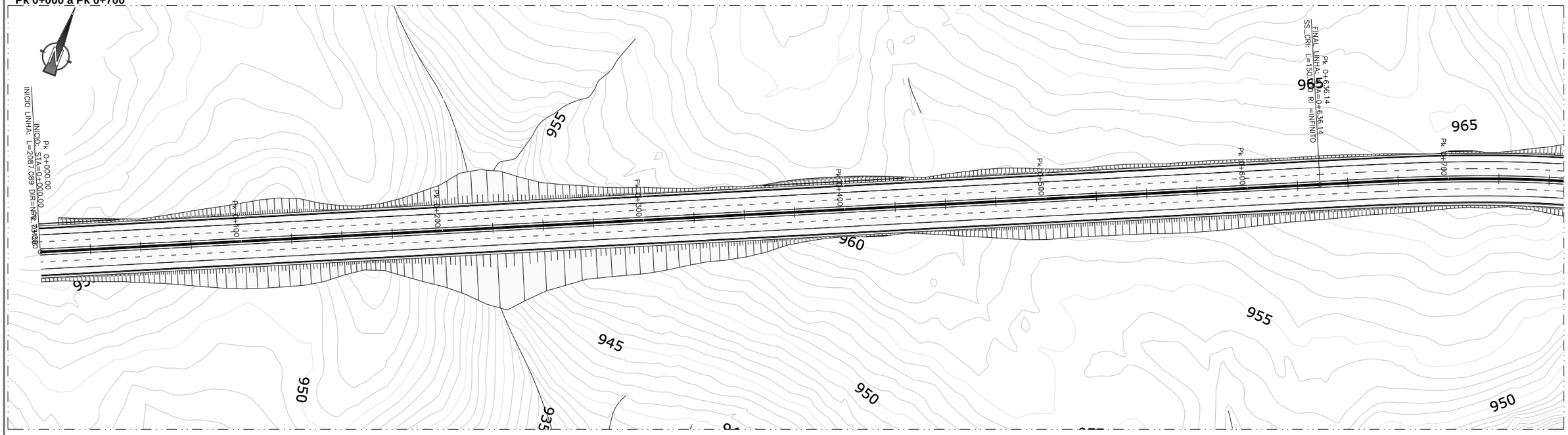
PK [m]	Escavação			Aterro			Diferença entre o Volume de escavação e o Volume de aterro acumulado [m^3]
	Área [m^2]	Volume [m^3]	Volume acumulado [m^3]	Área [m^2]	Volume [m^3]	Volume acumulado [m^3]	
2+875,00	508,01	4575	213913	0,00	0	290922	-77009
2+900,00	417,40	11504	225416	0,00	0	290922	-65506
2+925,00	443,74	10637	236053	0,01	0	290922	-54869
2+946,05	506,75	9865	245918	0,00	0	290922	-45005
2+950,00	507,72	2006	247924	0,00	0	290922	-42998
2+975,00	479,44	12234	260158	0,00	0	290922	-30764
3+000,00	473,48	11859	272017	0,00	0	290923	-18906
3+025,00	449,58	11503	283519	0,00	0	290923	-7403
3+050,00	365,73	10174	293693	0,00	0	290923	2771
3+066,05	346,84	5717	299410	0,00	0	290923	8487
3+075,00	342,01	3084	302494	0,00	0	290923	11572
3+096,05	296,94	6723	309218	0,00	0	290923	18295
3+100,00	290,62	1162	310380	0,00	0	290923	19457
3+125,00	268,29	6986	317366	0,00	0	290923	26443
3+126,05	269,08	281	317647	0,00	0	290923	26724
3+150,00	263,03	6373	324020	0,00	0	290923	33097
3+175,00	276,10	6739	330759	0,00	0	290923	39836
3+200,00	286,94	7038	337797	0,00	0	290923	46875
3+225,00	285,95	7161	344958	0,00	0	290923	54036
3+250,00	272,38	6979	351938	0,00	0	290923	61015
3+275,00	278,48	6886	358823	0,00	0	290923	67901
3+300,00	260,24	6734	365557	0,00	0	290923	74635
3+325,00	209,87	5876	371434	0,00	0	290923	80511
3+350,00	188,67	4982	376416	0,00	0	290923	85493
3+351,65	188,02	310	376726	0,00	0	290923	85803
3+375,00	175,97	4250	380976	0,00	0	290923	90053
3+381,65	173,80	1162	382138	0,00	0	290923	91215
3+400,00	176,41	3214	385352	0,00	0	290923	94429
3+411,65	149,42	1897	387249	0,00	0	290923	96326
3+425,00	133,17	1887	389136	0,00	0	290923	98213
3+450,00	55,06	2349	391485	0,02	0	290923	100562
3+475,00	0,19	689	392174	24,34	304	291227	100948
3+500,00	0,00	2	392177	97,89	1532	292759	99418
3+525,00	0,00	0	392177	112,26	2653	295412	96765
3+531,65	0,00	0	392177	119,50	770	296182	95995
3+550,00	0,29	3	392180	129,43	2320	298502	93678
3+575,00	0,61	11	392191	147,91	3529	302031	90160
3+600,00	0,00	7	392198	125,03	3479	305510	86688
3+612,11	0,00	0	392198	115,13	1480	306990	85208
3+625,00	0,16	1	392199	125,70	1577	308567	83633
3+650,00	0,00	2	392201	201,47	4147	312714	79487

(Continuação)

PK [m]	Escavação			Aterro			Diferença entre o Volume de escavação e o Volume de aterro acumulado [m^3]
	Área [m^2]	Volume [m^3]	Volume acumulado [m^3]	Área [m^2]	Volume [m^3]	Volume acumulado [m^3]	
3+675,00	0,00	0	392201	273,65	6031	318745	73456
3+692,57	0,00	0	392201	322,29	5317	324062	68139
3+700,00	0,00	0	392201	339,24	2458	326520	65681
3+725,00	0,02	0	392202	354,16	8782	335302	56899
3+750,00	0,00	0	392202	385,94	9348	344650	47552
3+775,00	0,00	0	392202	393,59	9821	354471	37731
3+800,00	0,00	0	392202	424,59	10282	364753	27449
3+812,57	0,00	0	392202	437,08	5415	370168	22034
3+825,00	0,00	0	392202	450,39	5517	375685	16517
3+842,57	0,00	0	392202	439,17	7814	383498	8704
3+850,00	0,00	0	392202	443,15	3279	386777	5425
3+872,57	0,00	0	392202	453,45	10117	396894	-4692
3+875,00	0,00	0	392202	454,79	1105	397999	-5797
3+900,00	0,00	0	392202	468,97	11547	409546	-17344
3+925,00	0,00	0	392202	492,41	12017	421563	-29361
3+950,00	0,00	0	392202	575,45	13348	434911	-42709
3+975,00	0,00	0	392202	601,90	14717	449628	-57426
4+000,00	0,00	0	392202	405,40	12591	462219	-70017
4+025,00	0,00	0	392202	263,97	8367	470587	-78385
4+050,00	0,00	0	392202	76,52	4256	474843	-82641
4+075,00	6,63	83	392285	10,54	1088	475931	-83646
4+100,00	15,37	275	392560	21,49	400	476331	-83772
4+125,00	23,65	488	393047	19,87	517	476848	-83801
4+150,00	3,21	336	393383	27,27	589	477438	-84055
4+175,00	17,49	259	393642	18,59	573	478011	-84369
4+200,00	23,28	510	394152	12,18	385	478396	-84244
4+225,00	70,90	1177	395329	0,24	155	478551	-83222
4+250,00	99,15	2126	397454	0,00	3	478554	-81100
4+275,00	72,77	2149	399603	0,00	0	478554	-78951
4+300,00	75,23	1850	401453	0,00	0	478554	-77101
4+325,00	28,94	1302	402756	0,03	0	478554	-75799
4+350,00	0,00	362	403117	312,36	3905	482459	-79342
4+375,00	0,00	0	403117	428,48	9260	491720	-88602
4+388,85	0,00	0	403117	704,55	7845	499565	-96447
4+400,00	0,00	0	403117	721,00	7949	507513	-104396
4+418,85	0,00	0	403117	609,97	12543	520057	-116939
4+425,00	0,00	0	403117	491,87	3389	523446	-120328
4+448,85	39,24	468	403585	0,00	5865	529311	-125726
4+450,00	40,40	46	403631	0,00	0	529311	-125680
4+475,00	44,23	1055	404686	0,06	1	529312	-124626
4+500,00	60,13	1297	405983	0,00	1	529312	-123330

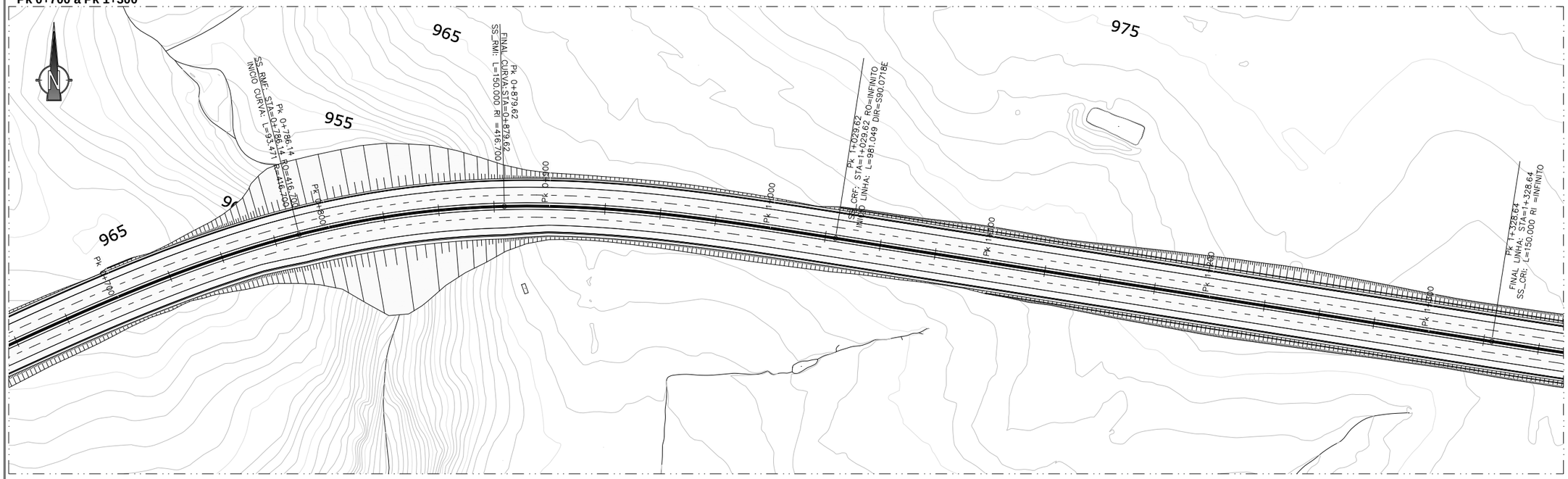
(Continuação)							
PK [m]	Escavação			Aterro			Diferença entre o Volume de escavação e o Volume de aterro acumulado [m^3]
	Área [m^2]	Volume [m^3]	Volume acumulado [m^3]	Área [m^2]	Volume [m^3]	Volume acumulado [m^3]	
4+525,00	81,79	1761	407744	0,00	0	529312	-121569
4+550,00	112,02	2403	410146	0,00	0	529312	-119166
4+568,85	159,54	2530	412676	0,00	0	529312	-116636
4+575,00	176,33	1033	413710	0,00	0	529312	-115603
4+600,00	229,27	5004	418714	0,00	0	529312	-110599
4+625,00	342,46	7054	425768	0,00	0	529312	-103545
4+631,35	344,38	2181	427949	0,00	0	529312	-101363
4+650,00	343,21	6338	434287	0,00	0	529312	-95026
4+675,00	257,19	7429	441715	0,00	0	529313	-87597
4+693,86	207,12	4337	446052	0,00	0	529313	-83260
4+700,00	189,88	1220	447272	0,00	0	529313	-82041
4+725,00	128,96	3961	451233	0,00	0	529313	-78080
4+750,00	57,77	2323	453556	0,00	0	529313	-75757
4+775,00	0,09	720	454276	13,25	167	529479	-75203
4+800,00	0,00	1	454277	60,20	920	530399	-76122
4+813,86	0,00	0	454277	87,88	1026	531425	-77148
4+825,00	0,00	0	454277	101,69	1056	532482	-78204
4+843,86	0,00	0	454277	127,51	2161	534642	-80365
4+850,00	0,00	0	454277	131,98	797	535440	-81163
4+873,86	0,00	0	454277	151,69	3383	538823	-84546
4+875,00	0,00	0	454277	152,43	174	538997	-84720
4+900,00	0,00	0	454277	151,47	3799	542796	-88519
4+925,00	0,00	0	454277	259,10	5132	547928	-93651
4+950,00	0,00	0	454277	295,17	6928	554856	-100579
4+975,00	0,00	0	454277	302,36	7469	562326	-108048
5+000,00	0,00	0	454277	303,75	7576	569902	-115625
5+025,00	0,00	0	454277	358,36	8276	578178	-123901
5+050,00	0,00	0	454277	320,37	8484	586662	-132385
5+075,00	0,00	0	454277	220,32	6759	593421	-139144
5+100,00	0,00	0	454277	125,65	4325	597746	-143468
5+125,00	0,00	0	454277	29,10	1934	599680	-145403
5+150,00	5,59	70	454347	0,71	373	600052	-145705
5+164,77	11,90	129	454476	3,09	28	600081	-145604

Pk 0+000 a Pk 0+700





Pk 0+700 a Pk 1+300



Caso de Estudo C
Velocidade Base: 110 km/h
Abordagem: Segurança
Normativo: México

Apêndice C.4.

Parte 1 de 4

Perfil Longitudinal

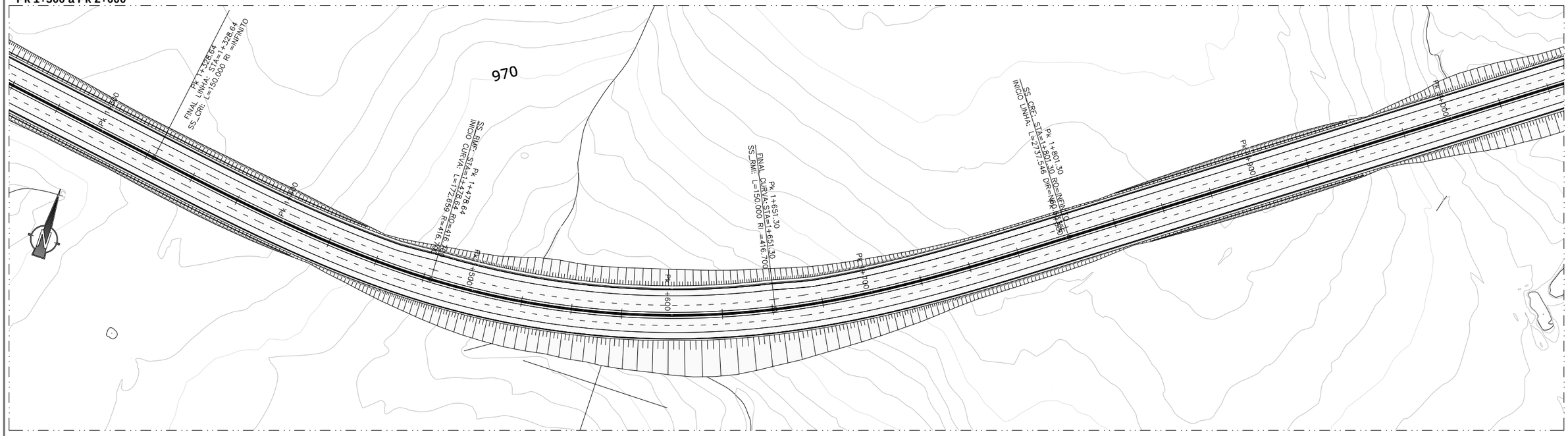
Esc. 1:2000

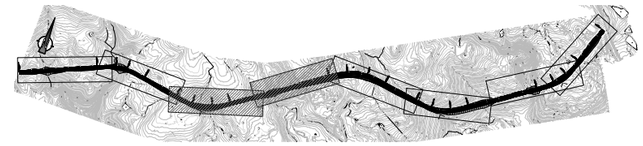
U.PORTO
FEUP FACULDADE DE ENGENHARIA
UNIVERSIDADE DO PORTO

Dissertação de Mestrado
"Projeto de autoestradas do México: comparação com o caso português"
junho de 2014

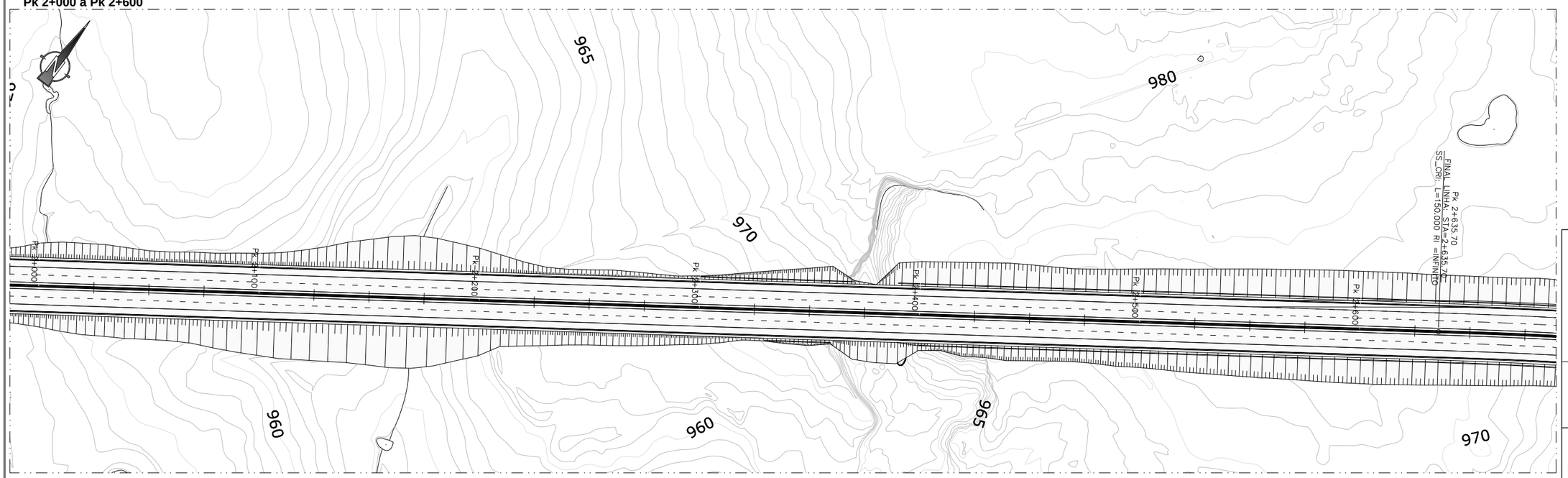
Autora: Lígia Conceição Pereira

Pk 1+300 a Pk 2+000





Pk 2+000 a Pk 2+600



Caso de Estudo C
Velocidade Base: 110 km/h
Abordagem: Segurança
Normativo: México

Apêndice C.4.

Parte 2 de 4

Perfil Longitudinal

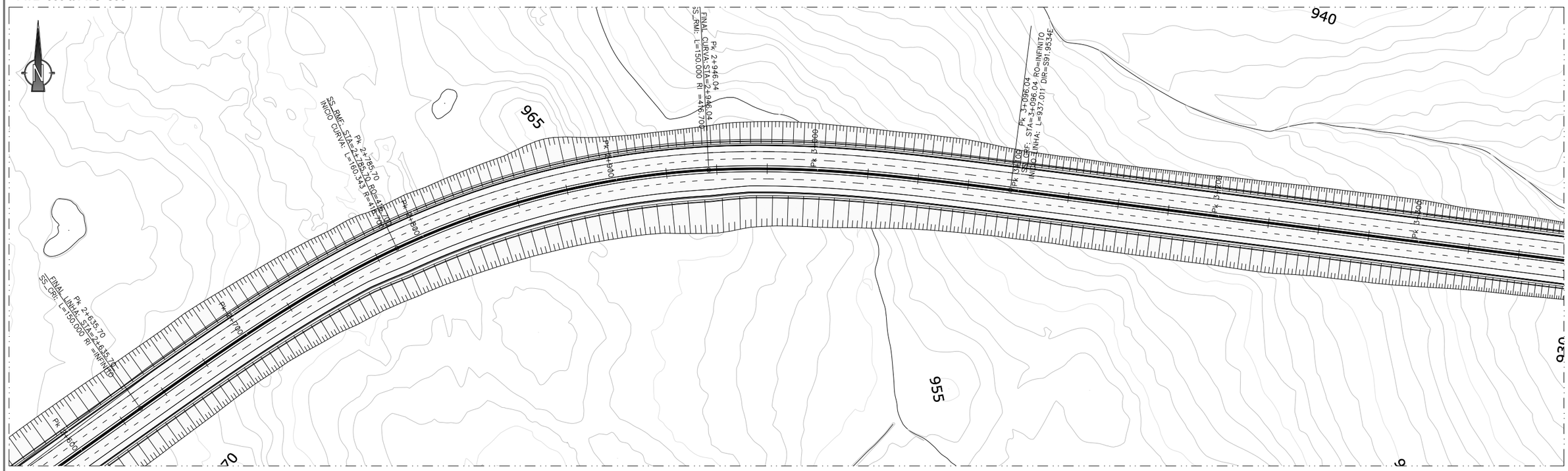
Esc. 1:2000

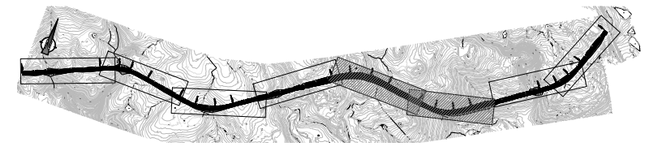
U.PORTO
FEUP FACULDADE DE ENGENHARIA
UNIVERSIDADE DO PORTO

Dissertação de Mestrado
"Projeto de autoestradas do México: comparação com o caso português"
junho de 2014

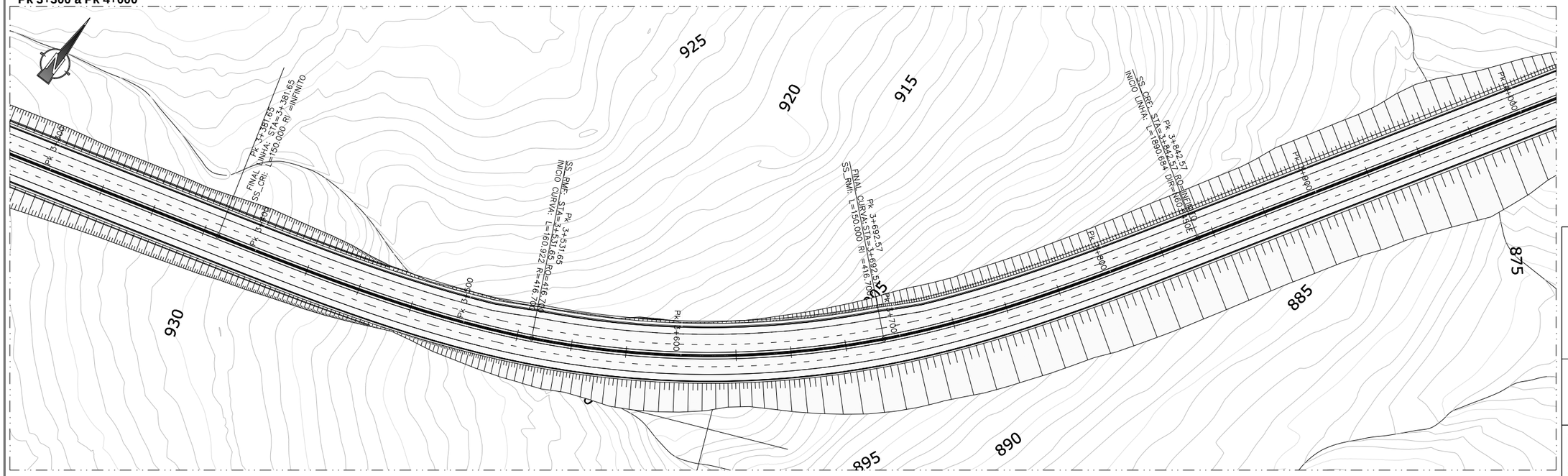
Autora: Lígia Conceição Pereira

Pk 2+600 a Pk 3+300





Pk 3+300 a Pk 4+000



Caso de Estudo C
Velocidade Base: 110 km/h
Abordagem: Segurança
Normativo: México

Apêndice C.4.

Parte 3 de 4

Perfil Longitudinal

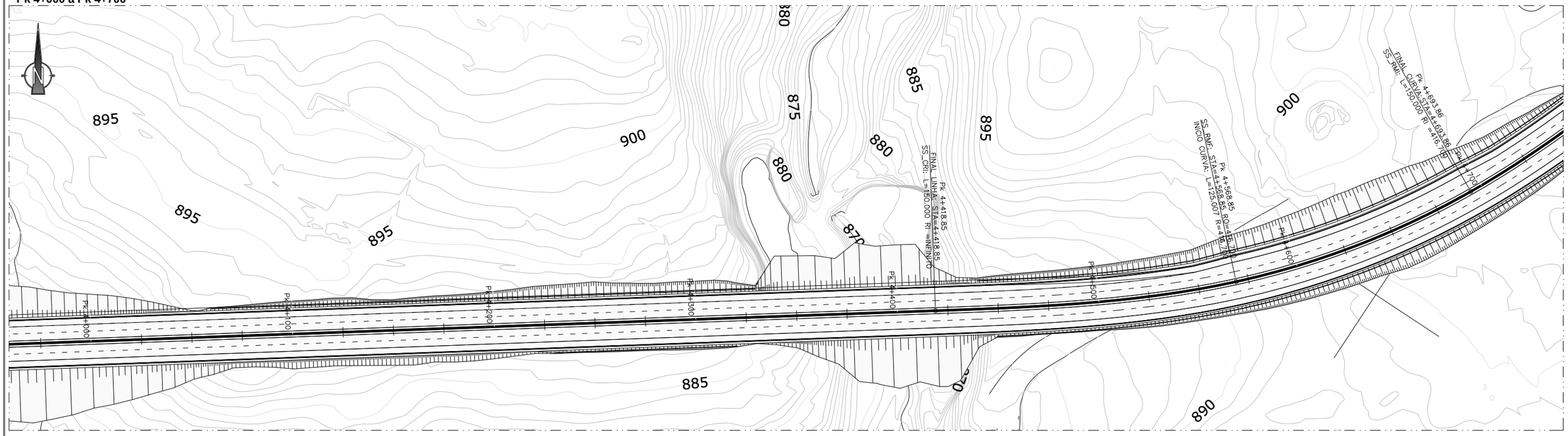
Esc. 1:2000

U.PORTO
FEUP FACULDADE DE ENGENHARIA
UNIVERSIDADE DO PORTO

Dissertação de Mestrado
"Projeto de autoestradas do México: comparação com o caso português"
junho de 2014

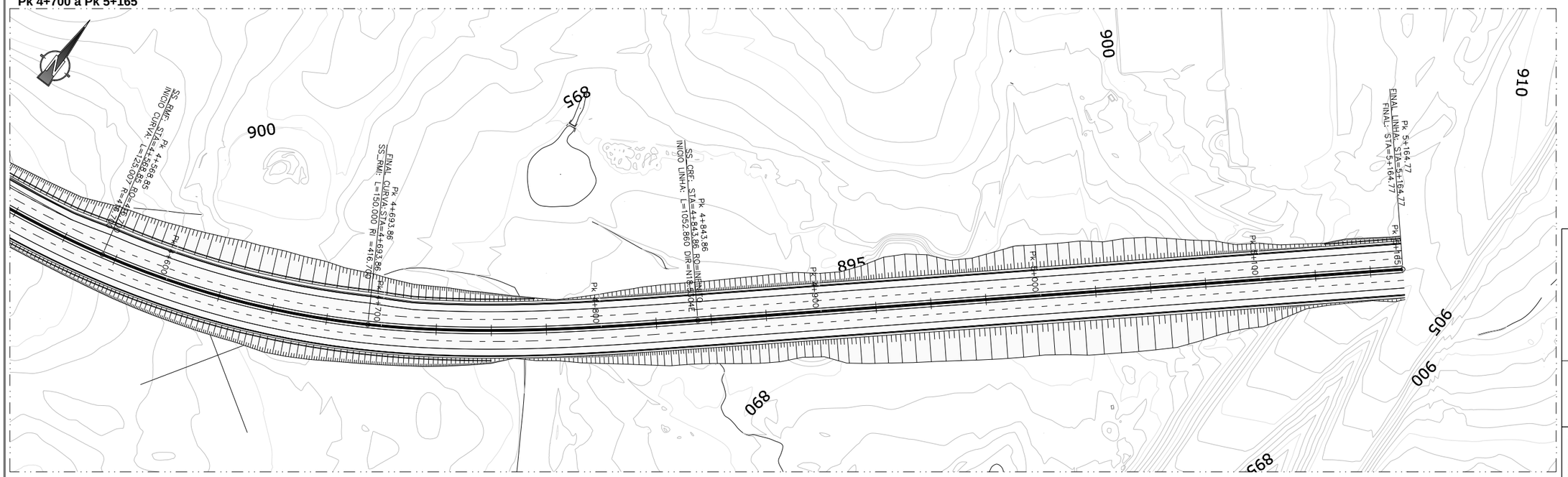
Autora: Lígia Conceição Pereira

Pk 4+000 a Pk 4+700





Pk 4+700 a Pk 5+165



Caso de Estudo C
Velocidade Base: 110 km/h
Abordagem: Segurança
Normativo: México

Apêndice C.4.

Parte 4 de 4

Perfil Longitudinal

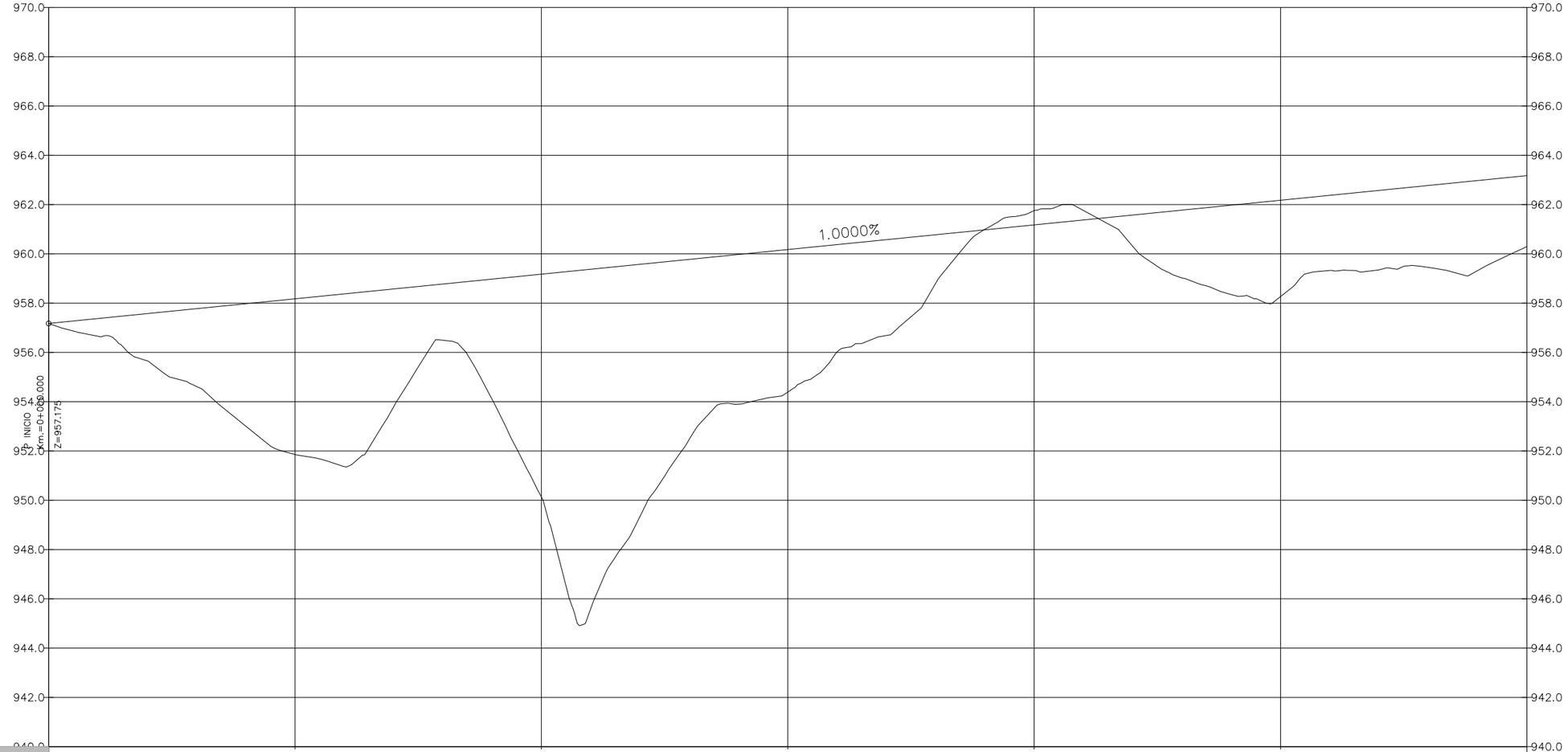
Esc. 1:2000

U.PORTO
FEUP FACULDADE DE ENGENHARIA
UNIVERSIDADE DO PORTO

Dissertação de Mestrado
"Projeto de autoestradas do México: comparação com o caso português"
junho de 2014

Autora: Lígia Conceição Pereira

C5. PERFIL LONGITUDINAL



QUILOMETRAGEM		0+100	0+200	0+300	0+400	0+500
PERFIL LONGITUDINAL	Cota da Rasante	957.425 957.675 957.925 958.175 958.425 958.675 958.925 959.175 959.425 959.675 959.925 960.175 960.425 960.675 960.925 961.175 961.425 961.675 961.925 962.175 962.425 962.675 962.925				
	Cota do Terreno	956.65 954.98 953.41 951.86 951.62 955.41 955.04 950.13 946.81 950.97 953.93 954.39 956.21 957.45 960.65 961.76 961.49 959.49 958.50 958.27 959.33 959.49 959.12				
	Elementos da Rasante	i=1.000% L=1690.085				
PLANTA	Pontos Notáveis	km=0+000.000				km=0+636
	Diagrama de Curvas	L=636.145 R= 00				
	Sobreelevação (%)					

Caso de Estudo C
Velocidade Base: 110 km/h
Abordagem: Segurança
Normativo: México

Apêndice C.5.

Parte 1 de 10

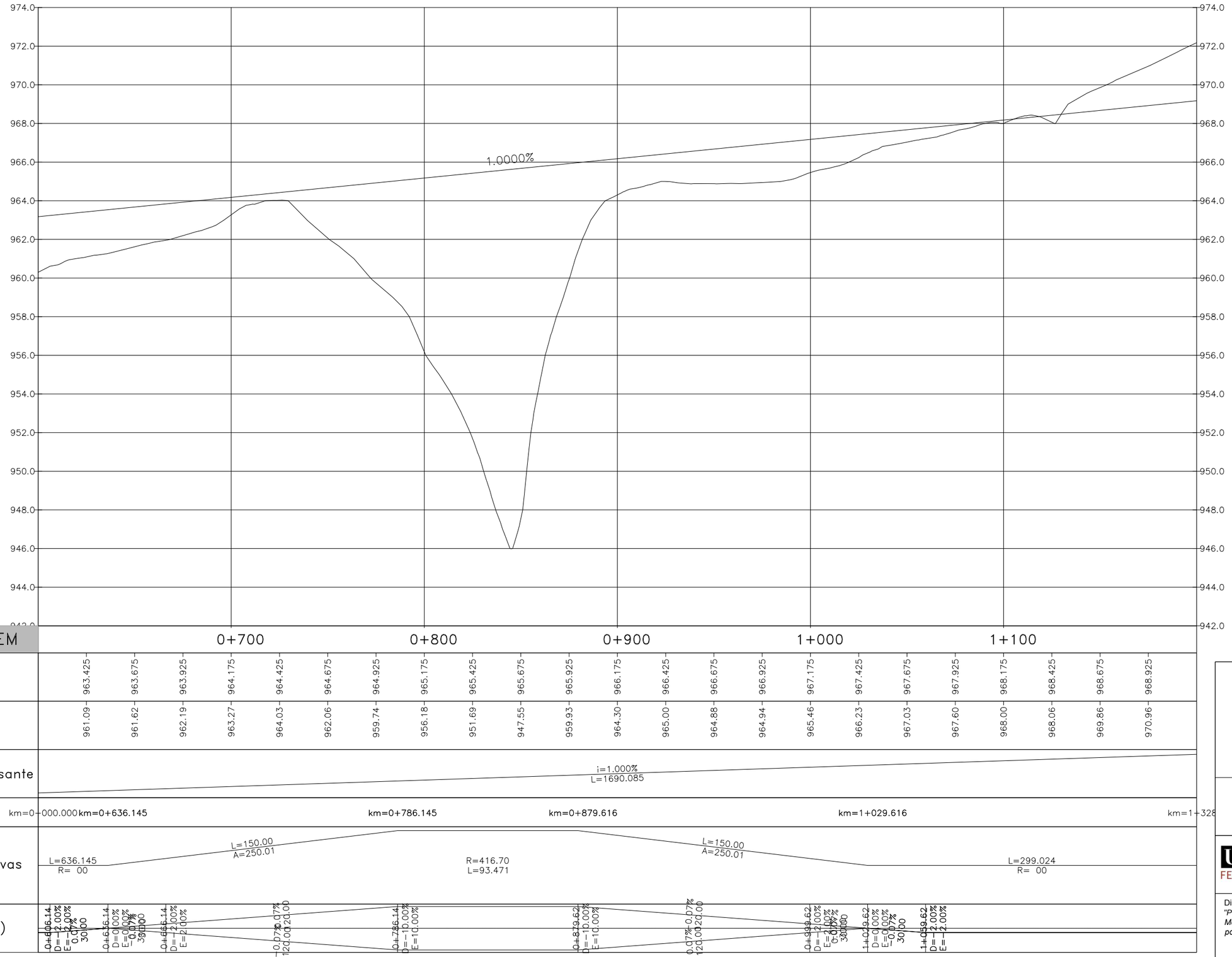
Perfil Longitudinal

Esc. Vertical 1:200
Esc. Horizontal 1:2000

U.PORTO
FEUP FACULDADE DE ENGENHARIA
UNIVERSIDADE DO PORTO

Dissertação de Mestrado
"Projeto de autoestradas do México: comparação com o caso português"
junho de 2014

Autora: Lígia Conceição Pereira



Caso de Estudo C
Velocidade Base: 110 km/h
Abordagem: Segurança
Normativo: México

Apêndice C.5.

Parte 2 de 10

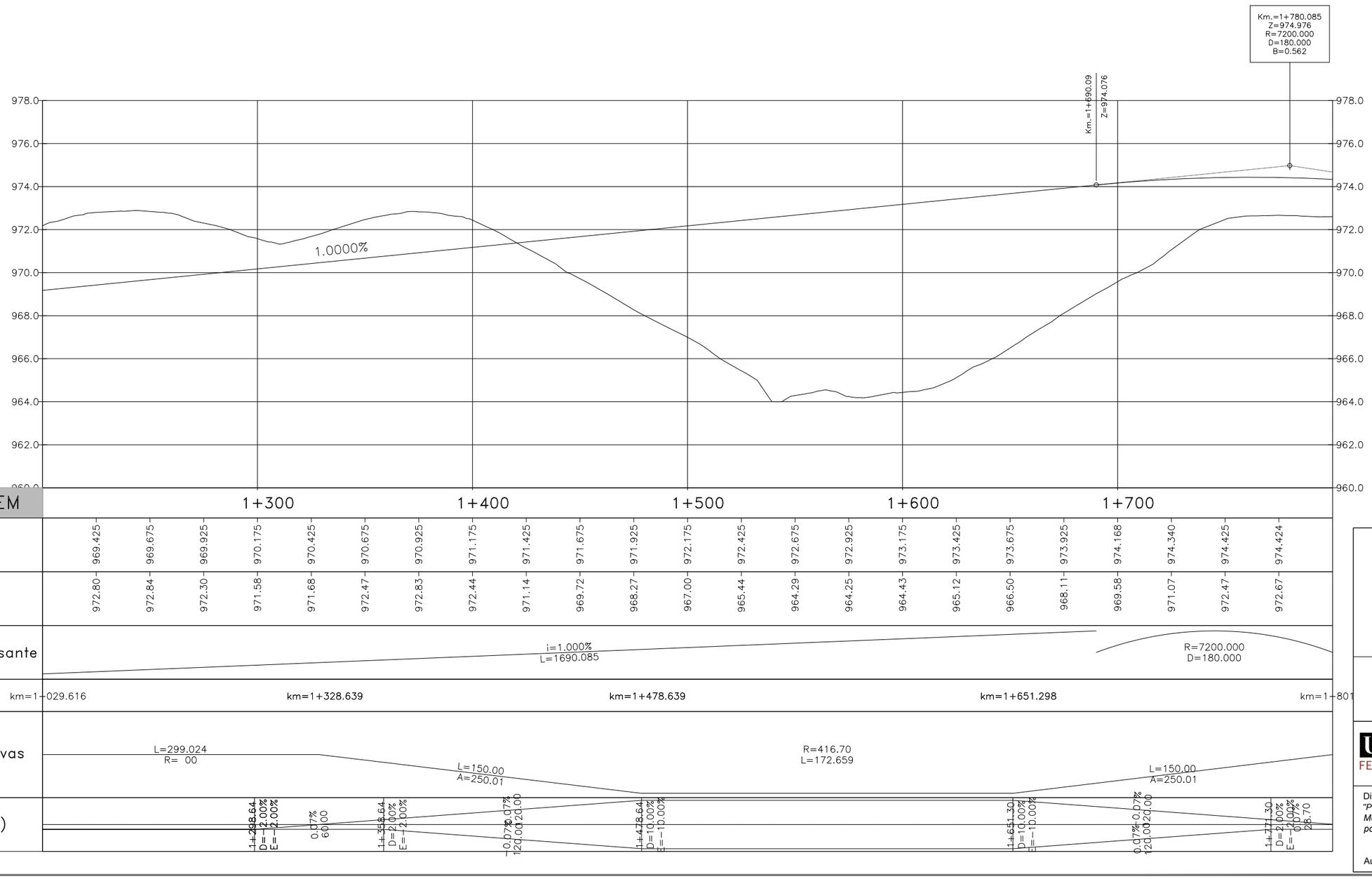
Perfil Longitudinal

Esc. Vertical 1:200
Esc. Horizontal 1:2000

U.PORTO
FEUP FACULDADE DE ENGENHARIA
UNIVERSIDADE DO PORTO

Dissertação de Mestrado
"Projeto de autoestradas do México: comparação com o caso português"
junho de 2014

Autora: Lígia Conceição Pereira



Caso de Estudo C
Velocidade Base: 110 km/h
Abordagem: Segurança
Normativo: México

Apêndice C.5.

Parte 3 de 10

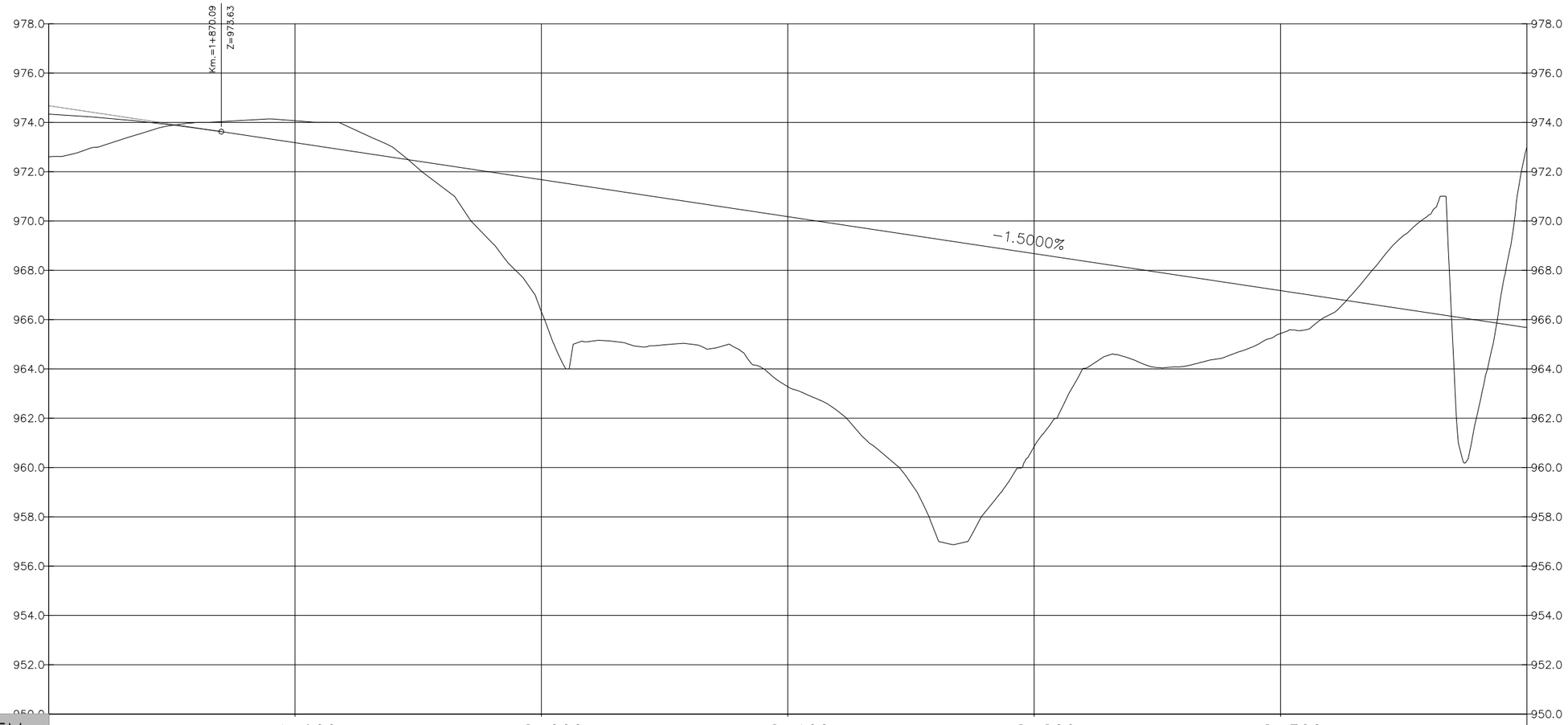
Perfil Longitudinal

Esc. Vertical 1:200
Esc. Horizontal 1:2000

U.PORTO
FEUP FACULDADE DE ENGENHARIA
UNIVERSIDADE DO PORTO

Dissertação de Mestrado
"Projeto de autoestradas do México: comparação com o caso português"
junho de 2014

Autora: Lígia Conceição Pereira



QUILOMETRAGEM		1+900	2+000	2+100	2+200	2+300
PERFIL LONGITUDINAL	Cota da Rasante	974.161	973.899	973.552	973.177	972.802	972.427	972.052	971.677	971.302	970.927	970.552	970.177	969.802	969.427	969.052	968.677	968.302	967.927	967.552	967.177	966.802	966.427	966.052
	Cota do Terreno	973.16	973.88	974.06	974.07	973.67	972.13	969.63	966.31	965.15	964.98	964.97	963.28	961.87	959.36	957.33	960.85	964.28	964.06	964.42	965.44	966.59	969.42	960.18
	Elementos da Rasante	R=7200.000 D=180.000																						
PLANTA	Pontos Notáveis	km=1+651.298																						km=2+635
	Diagrama de Curvas	L=150.00 A=250.01												L=834.404 R= 00										
	Sobreelevação (%)	1+831.30 D=-2.00% E=-2.00%																						

Caso de Estudo C
Velocidade Base: 110 km/h
Abordagem: Segurança
Normativo: México

Apêndice C.5.

Parte 4 de 10

Perfil Longitudinal

Esc. Vertical 1:200
Esc. Horizontal 1:2000

U.PORTO
FEUP FACULDADE DE ENGENHARIA
UNIVERSIDADE DO PORTO

Dissertação de Mestrado
"Projeto de autoestradas do México: comparação com o caso português"
junho de 2014

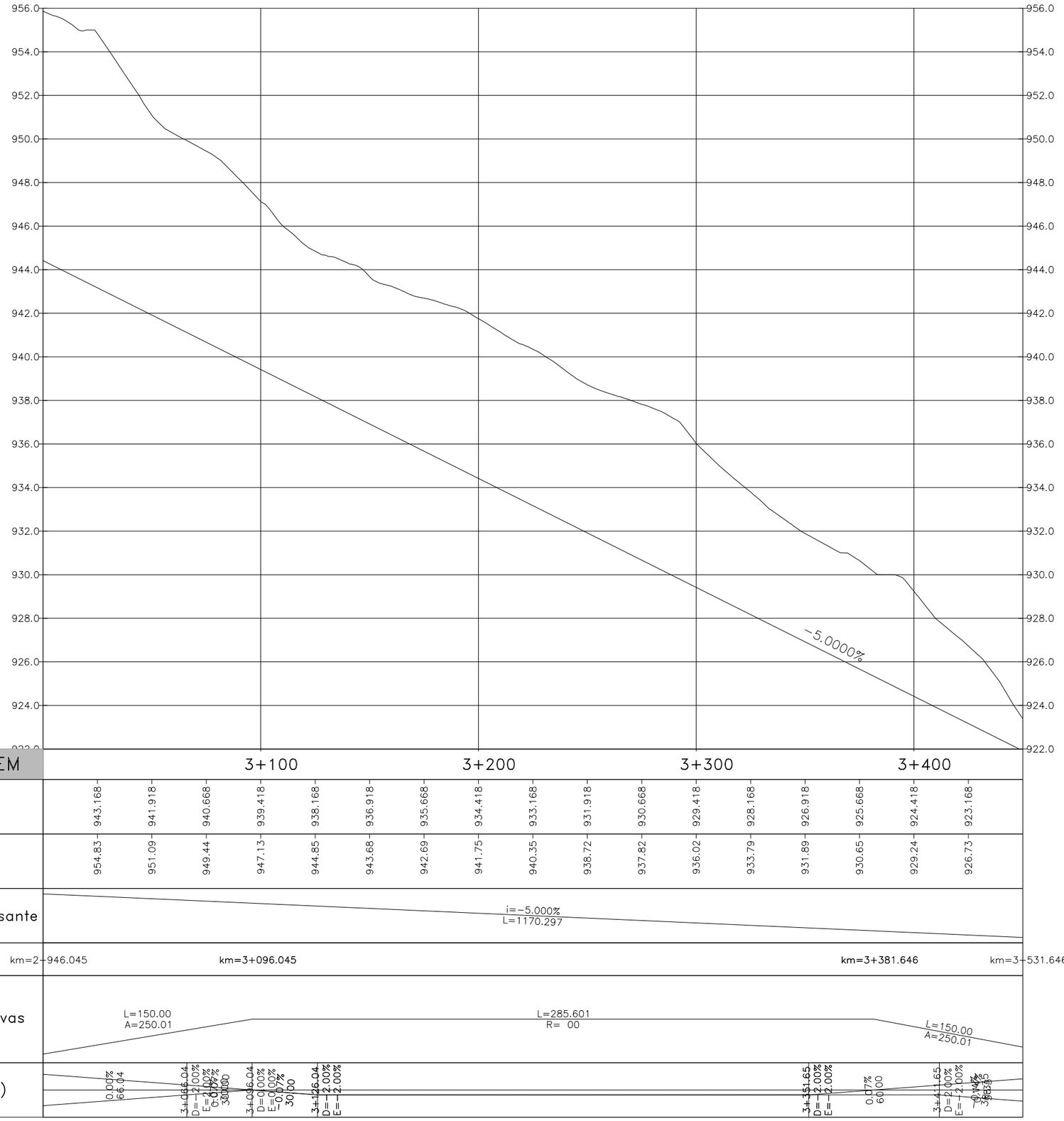
Autora: Lígia Conceição Pereira



QUILOMETRAGEM		2+500		2+600		2+700		2+800		2+900	
PERFIL LONGITUDINAL	Cota da Rasante	965.302	964.927	964.552	964.177	963.802	963.379	962.869	962.273	961.590	960.820
	Cota do Terreno	974.98	973.08	970.39	971.68	972.42	973.04	973.13	973.01	972.21	970.84
	Elementos da Rasante	i=−1.500% L=653.659				R=7200.000 D=252.000					
PLANTA	Pontos Notáveis	km=1+801.298				km=2+635.702			km=2+785.702		
	Diagrama de Curvas	L=834.404 R= 00				L=150.00 A=250.01				R=416.70 L=160.343	
	Sobreelevação (%)	2+605.70 D=−2.00% E=2.00% 0.07% 30.00				2+635.70 D=0.00% E=0.00% 0.07% 30.00			2+665.70 D=−2.00% E=2.00%		

965.302	964.927	964.552	964.177	963.802	963.379	962.869	962.273	961.590	960.820	959.963	959.020
974.98	973.08	970.39	971.68	972.42	973.04	973.13	973.01	972.21	970.84	969.72	968.89

957.989	956.872	955.668	954.418	953.168	951.918	950.668	949.418	948.168	946.918	945.668	
967.69	966.96	964.55	963.00	962.82	962.37	961.77	959.12	957.90	957.98	957.06	



Caso de Estudo C
Velocidade Base: 110 km/h
Abordagem: Segurança
Normativo: México

Apêndice C.5.

Parte 6 de 10

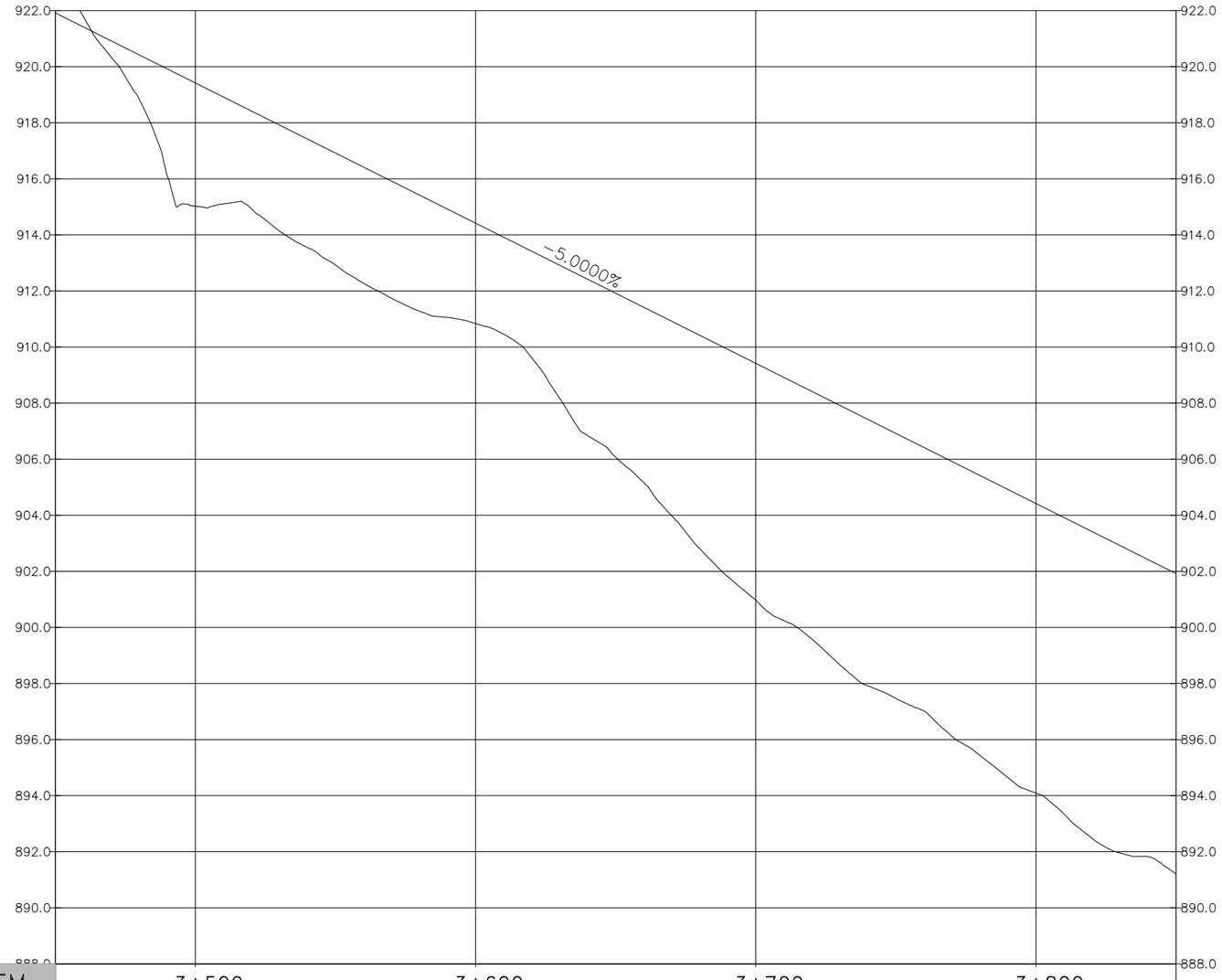
Perfil Longitudinal

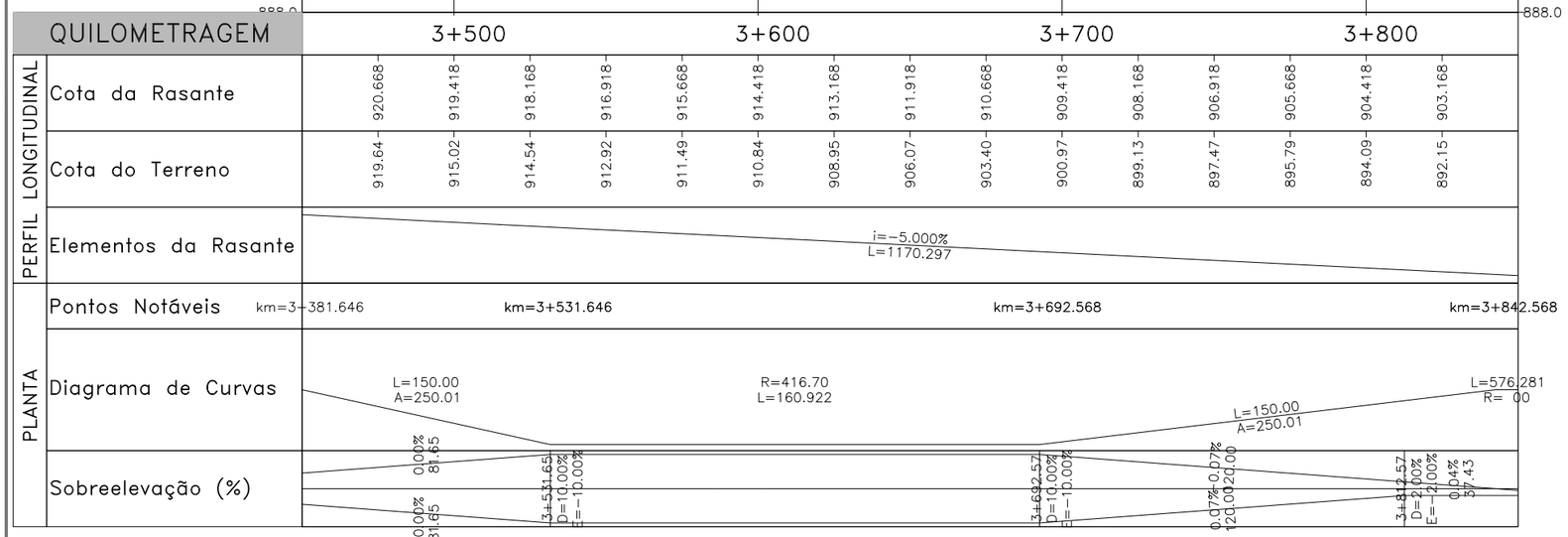
Esc. Vertical 1:200
Esc. Horizontal 1:2000

U.PORTO
FEUP FACULDADE DE ENGENHARIA
UNIVERSIDADE DO PORTO

Dissertação de Mestrado
"Projeto de autoestradas do México: comparação com o caso português"
junho de 2014

Autora: Lígia Conceição Pereira





Caso de Estudo C
Velocidade Base: 110 km/h
Abordagem: Segurança
Normativo: México

Apêndice C.5.

Parte 7 de 10

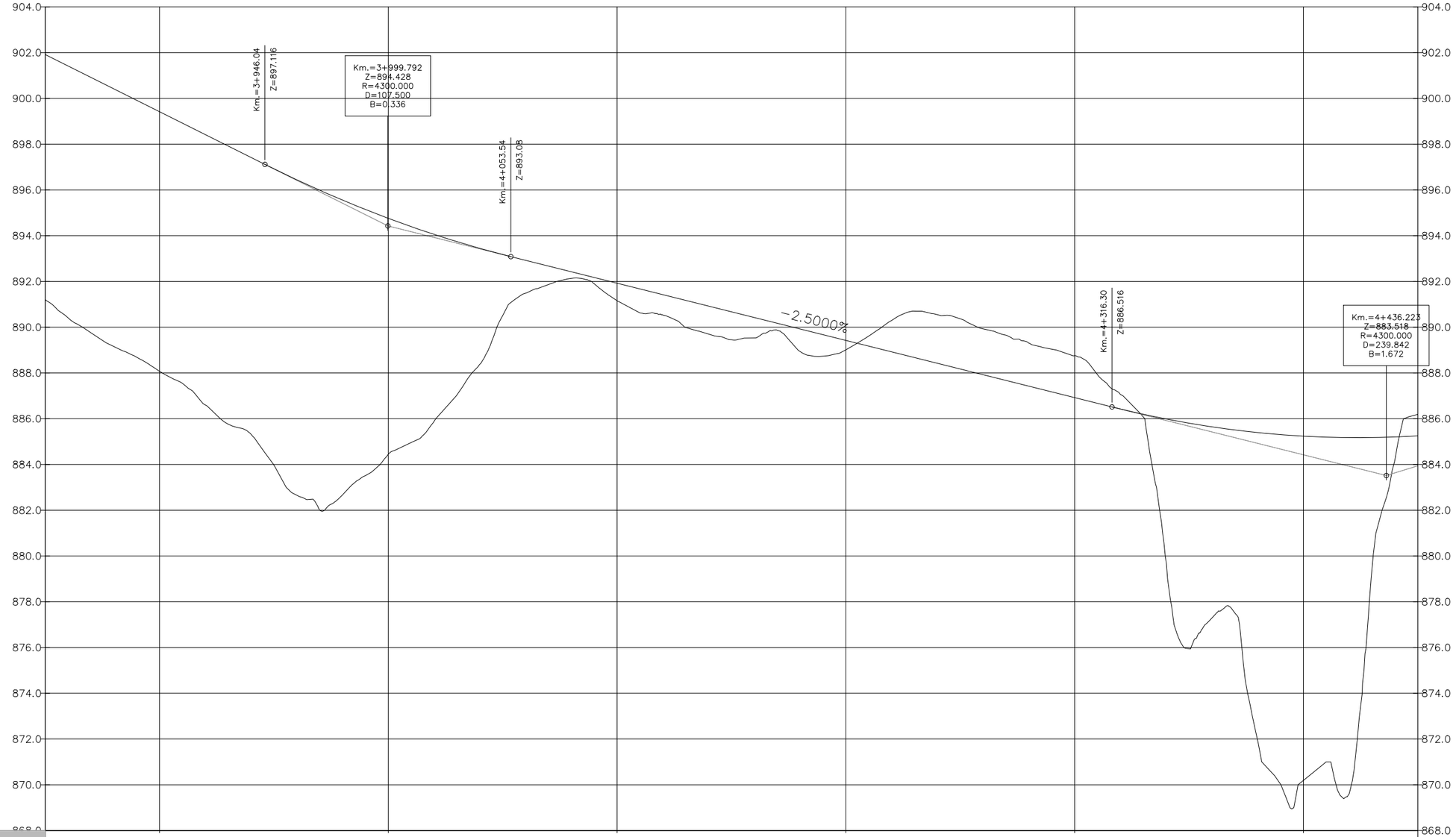
Perfil Longitudinal

Esc. Vertical 1:200
Esc. Horizontal 1:2000

U.PORTO
FEUP FACULDADE DE ENGENHARIA
UNIVERSIDADE DO PORTO

Dissertação de Mestrado
"Projeto de autoestradas do México: comparação com o caso português"
junho de 2014

Autora: Lígia Conceição Pereira



QUILOMETRAGEM	3+900	4+000	4+100	4+200	4+300	4+400

PERFIL LONGITUDINAL

Cota da Rasante	900.668	899.418	898.168	896.920	895.765	894.756	893.893	893.175	892.548	891.923	891.298	890.673	890.048	889.423	888.798	888.173	887.548	886.923	886.307	885.805	885.449	885.238	885.172	
Cota do Terreno	889.43	888.07	886.15	883.97	882.27	884.45	886.48	890.51	892.03	891.16	890.34	889.45	889.46	889.01	890.58	890.37	889.48	888.76	886.61	875.95	874.33	870.19	873.44	
Elementos da Rasante	i=-5.000% L=1170.297				R=4300.000 D=107.500				i=-2.500% L=262.761										R=4300.000 D=239.842					

PLANTA

Pontos Notáveis	km=3+842.568		km=4+418.848 km=4+568
Diagrama de Curvas		L=576.281 R= 00	L=150.00 A=250.01
Sobreelevação (%)	3+872.57 D=-2.00% E=-2.00%		4+388.85 D=-2.00% E=-2.00% 0.07% 60.00 4+[illegible] D=-2.00% E=-2.00%

Caso de Estudo C
Velocidade Base: 110 km/h
Abordagem: Segurança
Normativo: México

Apêndice C.5.

Parte 8 de 10

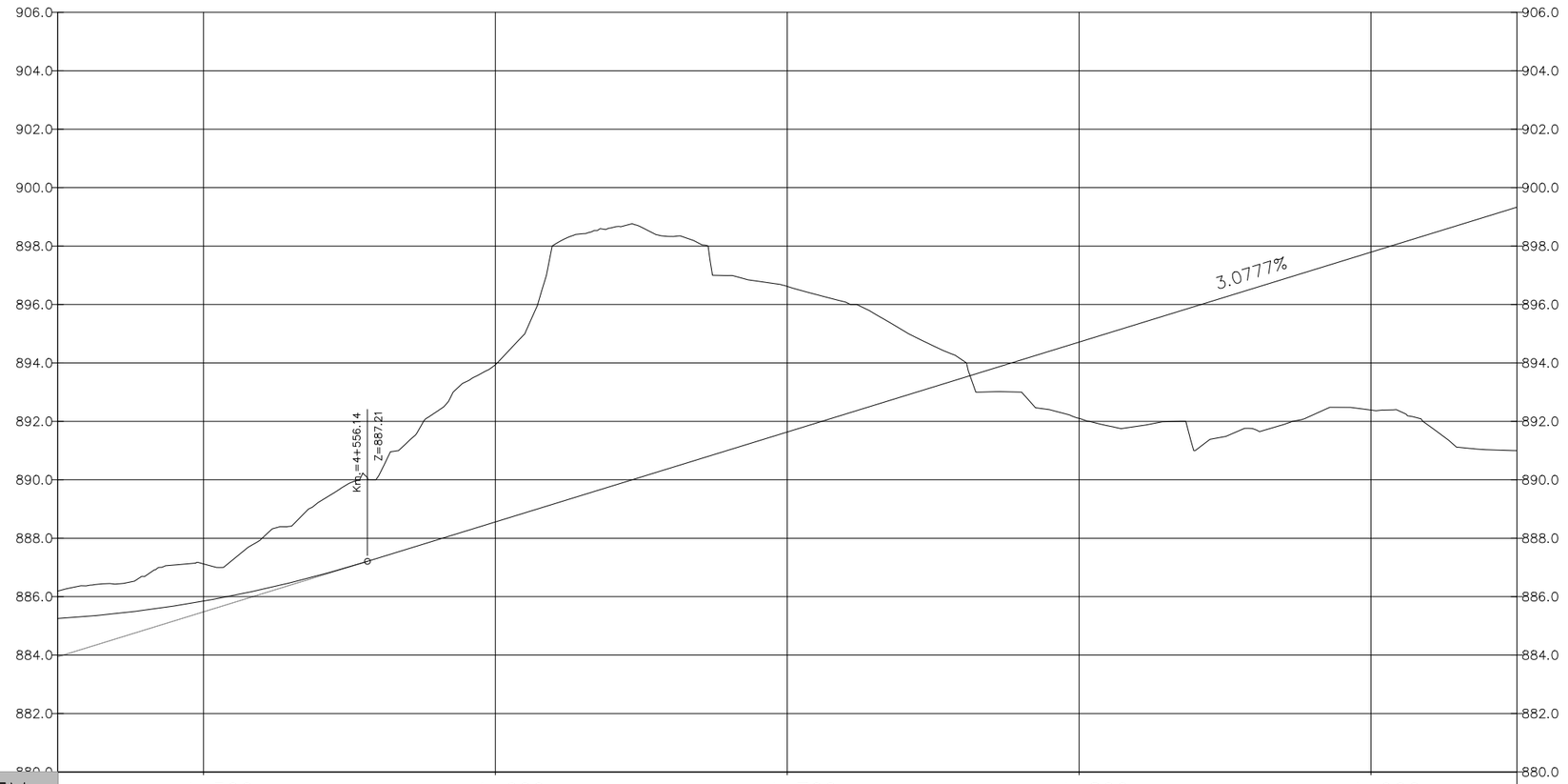
Perfil Longitudinal

Esc. Vertical 1:200
Esc. Horizontal 1:2000

U.PORTO
FEUP FACULDADE DE ENGENHARIA
UNIVERSIDADE DO PORTO

Dissertação de Mestrado
"Projeto de autoestradas do México: comparação com o caso português"
junho de 2014

Autora: Lígia Conceição Pereira



QUILOMETRAGEM		4+500		4+600		4+700		4+800		4+900	
PERFIL LONGITUDINAL	Cota da Rasante	885.477	885.847	886.363	887.024	887.789	888.558	889.328	890.097	890.866	891.636
	Cota do Terreno	886.50	887.12	888.36	889.88	891.93	893.94	898.30	898.65	897.00	896.62
	Elementos da Rasante	R=4300.000 D=239.842									
PLANTA	Pontos Notáveis	km=4+418.848		km=4+568.848		km=4+693.855		km=4+843.855		km=5+164.767	
	Diagrama de Curvas	L=150.00 A=250.01		R=416.70 L=125.007				L=150.00 A=250.01		L=320.912 R= 00	
	Sobreelevação (%)	0.00% 118.85 −0.00% 118.85		4+568.85 D=10.00% E=−10.00%		4+693.86 D=10.00% E=−10.00%		0.07% 0.07% 120.00 20.00		4+813.86 D=2.00% E=−2.00%	−0.07% 60.00 4+873.86 D=2.00% E=−2.00%

Caso de Estudo C
Velocidade Base: 110 km/h
Abordagem: Segurança
Normativo: México

Apêndice C.5.

Parte 9 de 10

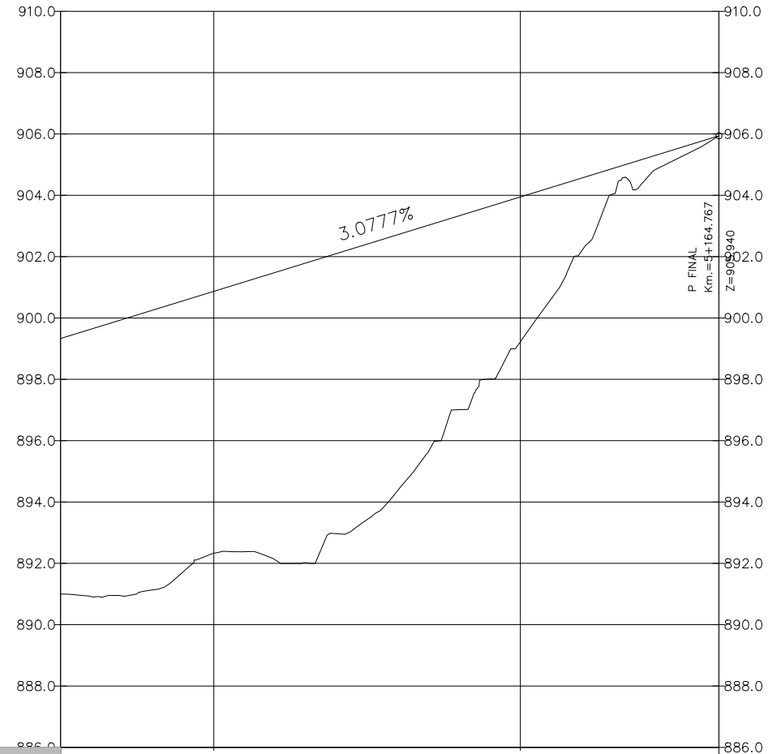
Perfil Longitudinal

Esc. Vertical 1:200
Esc. Horizontal 1:2000

U.PORTO
FEUP FACULDADE DE ENGENHARIA
UNIVERSIDADE DO PORTO

Dissertação de Mestrado
"Projeto de autoestradas do México: comparação com o caso português"
junho de 2014

Autora: Lígia Conceição Pereira



QUILOMETRAGEM		5+000			5+100			
PERFIL LONGITUDINAL	Cota da Rasante	900.100	900.869	901.638	902.408	903.177	903.947	904.716	905.486
	Cota do Terreno	891.01	892.33	892.00	893.43	896.24	899.23	902.96	905.13
	Elementos da Rasante	i=3.078% L=608.623							
PLANTA	Pontos Notáveis								
	Diagrama de Curvas								
	Sobreelevação (%)								

Caso de Estudo C
Velocidade Base: 110 km/h
Abordagem: Segurança
Normativo: México

Apêndice C.5.

Parte 10 de 10

Perfil Longitudinal

Esc. Vertical 1:200
Esc. Horizontal 1:2000

U.PORTO
FEUP FACULDADE DE ENGENHARIA
UNIVERSIDADE DO PORTO

Dissertação de Mestrado
"Projeto de autoestradas do México: comparação com o caso português"
junho de 2014

Autora: Lígia Conceição Pereira

Apêndice D CASO DE ESTUDO: 80 KM/H, COMODIDADE, NP

D.1. GEOMETRIA DA DIRETRIZ

PK [m]	Elemento	Extensão [m]
0+000,00	Alinhamento reto	676,66
0+676,66	Curva composta à direita R=450,00 m; L=50,00 m; A =150,00 m	50,00
0+726,66	Curva circular à direita R=450,00 m	212,93
0+939,59	Curva composta à direita R=450,00 m; L=50,00 m; A =150,00 m	50,00
0+989,59	Alinhamento reto	376,70
1+366,29	Curva composta à esquerda R=450,00 m; L=50,00 m; A =150,00 m	50,00
1+416,29	Curva circular à esquerda R=450,00 m	298,44
1+714,73	Curva composta à esquerda R=450,00 m; L=50,00 m; A =150,00 m	50,00
1+764,73	Alinhamento reto	909,27
2+674,00	Curva composta à direita R=450,00 m; L=50,00 m; A =150,00 m	50,00
2+724,00	Curva circular à direita R=450,00 m	285,14
3+009,15	Curva composta à direita R=450,00 m; L=50,00 m; A =150,00 m	50,00
3+059,15	Alinhamento reto	360,98
3+420,13	Curva composta à esquerda R=450,00 m; L=50,00 m; A =150,00 m	50,00
3+470,13	Curva circular à esquerda R=450,00 m	285,77
3+755,89	Curva composta à esquerda R=450,00 m; L=50,00 m; A =150,00 m	50,00
3+805,89	Alinhamento reto	653,16
4+459,06	Curva composta à esquerda R=450,00 m; L=50,00 m; A =150,00 m	50,00
4+509,06	Curva circular à esquerda R=450,00 m	246,98
4+756,04	Curva composta à esquerda R=450,00 m; L=50,00 m; A =150,00 m	50,00
4+806,04	Alinhamento reto	360,12
5+166,16		

D.2. GEOMETRIA DA RASANTE

PK [m]	Elemento	Cota [m]
0+000,00	Trainel 1 Ascendente	957,175
1+705,09	i=+1,0000 %; L=1705,09 m	974,226
1+764,731	Concordância convexa 1	974,526
1+855,09	R=+6000,00 m; D=150,00 m	973,85
2+544,74	Trainel 2 Descendente i=-1,5000 %; L= 689,66m	963,506
2+674,00	Concordância convexa 2	960,175
2+754,74	R=+6000,00 m; D=210,00 m	956,680
3+956,04	Trainel 3 Descendente i=-5,0000 %; L=1201,30 m	896,616
4+043,54	Concordância côncava 1 R=-3500,00 m; D=87,50 m	893,330
4+338,72	Trainel 4 Descendente i=-2,5000 %; L=295,18 m	885,955
4+459,09	Concordância côncava 2	885,016
4+533,73	R=-3500,00 m; D=195,01 m	886,51
5+166,16	Trainel 5 Ascendente i=+3,0720 %; L=632,43 m	905,940

D.3. TABELA DE MOVIMENTOS DE TERRA

PK [m]	Escavação			Aterro			Diferença entre o Volume de escavação e o Volume de aterro acumulado [m^3]
	Área [m^2]	Volume [m^3]	Volume acumulado [m^3]	Área [m^2]	Volume [m^3]	Volume acumulado [m^3]	
0+000,00	0,00	0	0	0,00	0	0	0
0+025,00	8,02	100	100	17,60	220	220	-120
0+050,00	0,00	100	201	63,72	1017	1237	-1036
0+075,00	0,00	0	201	131,13	2436	3672	-3472
0+100,00	0,00	0	201	209,64	4260	7932	-7731
0+125,00	0,00	0	201	233,79	5543	13475	-13274
0+150,00	0,00	0	201	91,79	4070	17544	-17344
0+175,00	0,00	0	201	111,76	2544	20089	-19888
0+200,00	0,00	0	201	342,10	5673	25762	-25562
0+225,00	0,00	0	201	652,80	12436	38198	-37998
0+250,00	0,00	0	201	359,84	12658	50856	-50656
0+275,00	0,00	0	201	227,32	7339	58196	-57995
0+300,00	0,00	0	201	202,74	5376	63571	-63371
0+325,00	0,00	0	201	128,73	4143	67715	-67514
0+350,00	0,00	0	201	94,35	2789	70503	-70303

(Continuação)

PK [m]	*Escavação*			*Aterro*			*Diferença entre o Volume de escavação e o Volume de aterro acumulado [m^3]*
	Área [m^2]	*Volume [m^3]*	*Volume acumulado [m^3]*	*Área [m^2]*	*Volume [m^3]*	*Volume acumulado [m^3]*	
0+375,00	18,71	234	434	9,93	1303	71807	-71372
0+400,00	33,73	655	1090	0,72	133	71940	-70850
0+425,00	16,96	634	1723	0,01	9	71949	-70226
0+450,00	0,00	212	1935	46,95	587	72536	-70601
0+475,00	0,00	0	1935	93,36	1754	74290	-72355
0+500,00	0,00	0	1935	108,20	2520	76809	-74874
0+525,00	0,00	0	1935	87,60	2448	79257	-77322
0+550,00	0,00	0	1935	91,15	2234	81491	-79556
0+575,00	0,00	0	1935	104,15	2441	83932	-81997
0+600,00	0,00	0	1935	79,00	2289	86222	-84287
0+625,00	0,00	0	1935	57,55	1707	87929	-85994
0+650,00	0,00	0	1935	46,57	1301	89230	-87295
0+651,66	0,00	0	1935	45,57	76	89307	-87371
0+675,00	0,00	0	1935	36,64	959	90266	-88331
0+676,66	0,00	0	1935	35,67	60	90326	-88391
0+700,00	2,43	28	1964	13,71	576	90902	-88939
0+701,66	2,69	4	1968	11,95	21	90924	-88956
0+725,00	0,85	42	2010	3,92	183	91107	-89097
0+726,66	1,24	2	2012	4,03	7	91114	-89102
0+750,00	0,25	17	2029	69,08	856	91969	-89941
0+775,00	0,03	4	2032	216,77	3608	95577	-93545
0+800,00	0,00	0	2033	429,43	8165	103742	-101710
0+825,00	0,00	0	2033	789,59	15218	118960	-116928
0+833,12	0,00	0	2033	903,52	6816	125777	-123744
0+850,00	0,24	2	2034	789,98	14188	139965	-137931
0+875,00	0,00	3	2037	200,93	12336	152301	-150264
0+900,00	0,00	0	2037	41,96	3032	155333	-153296
0+925,00	0,00	0	2037	30,65	908	156241	-154204
0+939,59	0,00	0	2037	35,98	486	156727	-154690
0+950,00	0,00	0	2037	39,28	391	157119	-155082
0+964,59	0,00	0	2037	44,65	611	157729	-155692
0+975,00	0,00	0	2037	44,61	465	158194	-156157
0+989,59	0,00	0	2037	43,54	643	158837	-156800
1+000,00	0,00	0	2037	37,12	420	159257	-157220
1+014,59	0,82	6	2043	28,27	477	159734	-157691
1+025,00	1,93	14	2058	21,25	258	159992	-157934
1+050,00	5,67	95	2153	7,93	365	160357	-158204
1+075,00	10,54	203	2355	1,40	117	160473	-158118
1+100,00	21,75	404	2759	0,00	18	160491	-157732
1+125,00	17,59	492	3251	0,00	0	160491	-157240
1+150,00	57,83	943	4193	0,00	0	160491	-156298

(Continuação)

PK [m]	Escavação			Aterro			Diferença entre o Volume de escavação e o Volume de aterro acumulado [m^3]
	Área [m^2]	Volume [m^3]	Volume acumulado [m^3]	Área [m^2]	Volume [m^3]	Volume acumulado [m^3]	
1+175,00	89,85	1846	6039	0,00	0	160491	-154452
1+200,00	122,45	2654	8693	0,00	0	160491	-151798
1+225,00	135,04	3219	11912	0,00	0	160491	-148579
1+250,00	124,91	3249	15161	0,00	0	160491	-145330
1+275,00	97,39	2779	17940	0,00	0	160491	-142551
1+300,00	65,82	2040	19980	0,00	0	160491	-140511
1+325,00	61,96	1597	21577	0,00	0	160491	-138914
1+341,29	72,98	1099	22676	0,00	0	160491	-137815
1+350,00	76,41	651	23327	0,00	0	160491	-137164
1+366,29	81,21	1284	24611	0,00	0	160491	-135880
1+375,00	78,11	694	25305	0,00	0	160491	-135186
1+391,29	65,99	1174	26478	0,00	0	160491	-134013
1+400,00	57,15	536	27015	0,00	0	160491	-133476
1+416,29	27,98	687	27701	1,34	11	160502	-132801
1+425,00	14,84	183	27884	6,79	36	160538	-132654
1+450,00	0,09	182	28066	47,42	685	161223	-133157
1+475,00	0,00	1	28067	105,80	1928	163151	-135084
1+500,00	0,00	0	28067	170,23	3470	166622	-138554
1+525,00	0,00	0	28067	251,88	5300	171922	-143855
1+550,00	0,01	0	28068	299,51	6917	178839	-150771
1+565,51	0,00	0	28068	313,15	4774	183612	-155545
1+575,00	0,00	0	28068	336,05	3101	186713	-158646
1+600,00	0,00	0	28068	353,02	8685	195398	-167331
1+625,00	0,00	0	28068	331,34	8639	204037	-175970
1+650,00	0,03	0	28068	272,69	7626	211663	-183595
1+675,00	0,00	0	28068	206,27	6041	217704	-189636
1+700,00	0,00	0	28068	151,24	4506	222210	-194141
1+714,73	0,00	0	28068	126,15	2060	224270	-196201
1+725,00	0,00	0	28068	99,95	1169	225439	-197371
1+739,73	0,00	0	28068	65,47	1224	226663	-198594
1+750,00	0,06	0	28069	49,92	592	227255	-199187
1+764,73	0,00	0	28069	42,78	683	227938	-199869
1+775,00	0,00	0	28069	40,37	427	228365	-200296
1+789,73	0,00	0	28069	39,33	587	228952	-200883
1+800,00	0,00	0	28069	37,75	396	229348	-201279
1+825,00	0,00	0	28069	15,22	662	230010	-201941
1+850,00	15,42	193	28262	0,00	190	230200	-201938
1+875,00	36,63	651	28912	0,00	0	230200	-201288
1+900,00	49,70	1079	29991	0,00	0	230200	-200209
1+925,00	48,53	1228	31219	0,00	0	230200	-198981
1+950,00	11,60	752	31971	0,00	0	230200	-198229

(Continuação)

PK [m]	Escavação			Aterro			Diferença entre o Volume de escavação e o Volume de aterro acumulado [m^3]
	Área [m^2]	Volume [m^3]	Volume acumulado [m^3]	Área [m^2]	Volume [m^3]	Volume acumulado [m^3]	
1+975,00	0,00	145	32116	54,67	683	230883	-198767
2+000,00	0,00	0	32116	151,05	2571	233455	-201339
2+025,00	0,00	0	32116	204,80	4448	237903	-205787
2+050,00	0,00	0	32116	185,66	4881	242784	-210668
2+075,00	0,00	0	32116	193,90	4744	247528	-215412
2+100,00	0,00	0	32116	246,24	5502	253030	-220914
2+125,00	0,00	0	32116	306,60	6910	259940	-227824
2+150,00	0,00	0	32116	421,15	9097	269037	-236921
2+175,00	0,00	0	32116	513,93	11688	280726	-248610
2+200,00	0,00	0	32116	297,98	10149	290875	-258759
2+225,00	0,00	0	32116	121,99	5250	296124	-264008
2+250,00	0,00	0	32116	99,24	2765	298890	-266774
2+275,00	0,00	0	32116	82,07	2266	301156	-269040
2+300,00	0,91	11	32127	40,65	1534	302690	-270562
2+325,00	25,77	334	32461	2,10	534	303224	-270763
2+350,00	118,04	1798	34259	0,00	26	303251	-268992
2+375,00	0,00	1476	35734	155,24	1940	305191	-269457
2+400,00	246,30	3079	38813	1,27	1956	307148	-268335
2+425,00	365,80	7651	46464	0,00	16	307163	-260699
2+450,00	328,25	8676	55140	0,00	0	307163	-252024
2+475,00	248,37	7208	62348	0,00	0	307163	-244816
2+500,00	317,86	7078	69426	0,00	0	307163	-237738
2+525,00	371,02	8611	78037	0,00	0	307163	-229127
2+550,00	420,04	9888	87925	0,00	0	307163	-219239
2+575,00	455,12	10939	98864	0,00	0	307163	-208299
2+600,00	493,54	11858	110722	0,00	0	307163	-196441
2+625,00	501,37	12436	123159	0,00	0	307163	-184005
2+649,00	480,45	11783	134942	0,00	0	307163	-172221
2+650,00	479,16	478	135420	0,00	0	307163	-171743
2+674,00	454,23	11202	146623	0,00	0	307163	-160541
2+675,00	454,70	453	147076	0,00	0	307163	-160088
2+699,00	438,26	10717	157793	0,00	0	307163	-149371
2+700,00	436,50	436	158228	0,00	0	307163	-148935
2+724,00	436,00	10515	168744	0,00	0	307163	-138420
2+725,00	436,43	435	169179	0,00	0	307163	-137985
2+750,00	447,23	11070	180249	0,00	0	307163	-126915
2+775,00	405,77	10674	190923	0,00	0	307163	-116240
2+800,00	396,84	10044	200967	0,00	0	307163	-106196
2+825,00	441,98	10490	211457	0,00	0	307163	-95706
2+850,00	488,68	11639	223097	0,31	4	307168	-84071
2+866,58	548,19	8617	231714	0,00	3	307170	-75457

(Continuação)

PK [m]	Escavação			Aterro			Diferença entre o Volume de escavação e o Volume de aterro acumulado [m^3]
	Área [m^2]	Volume [m^3]	Volume acumulado [m^3]	Área [m^2]	Volume [m^3]	Volume acumulado [m^3]	
2+875,00	559,60	4687	236401	0,00	0	307170	-70770
2+900,00	448,07	12607	249008	0,00	0	307170	-58163
2+925,00	464,78	11345	260352	0,00	0	307171	-46818
2+950,00	538,09	12439	272792	0,00	0	307171	-34379
2+975,00	533,39	13320	286112	0,00	0	307171	-21059
3+000,00	526,75	13205	299317	0,00	0	307171	-7854
3+009,15	525,98	4796	304113	0,00	0	307171	-3058
3+025,00	501,38	8120	312233	0,00	0	307171	5062
3+034,15	464,99	4419	316652	0,00	0	307171	9481
3+050,00	420,76	7021	323673	0,00	0	307171	16502
3+059,15	408,73	3793	327467	0,00	0	307171	20296
3+075,00	401,72	6424	333891	0,00	0	307171	26720
3+084,15	382,72	3587	337478	0,00	0	307171	30308
3+100,00	342,46	5748	343227	0,00	0	307171	36056
3+125,00	308,53	8137	351364	0,00	0	307171	44193
3+150,00	302,36	7636	359000	0,00	0	307171	51829
3+175,00	314,78	7714	366714	0,00	0	307171	59544
3+200,00	327,93	8034	374748	0,00	0	307171	67577
3+225,00	329,55	8219	382967	0,00	0	307171	75796
3+250,00	316,11	8071	391038	0,00	0	307171	83867
3+275,00	321,89	7975	399013	0,00	0	307171	91842
3+300,00	304,76	7833	406846	0,00	0	307171	99675
3+325,00	245,30	6876	413722	0,00	0	307171	106551
3+350,00	222,14	5843	419565	0,00	0	307171	112394
3+375,00	208,10	5378	424943	0,00	0	307171	117772
3+395,13	220,31	4311	429254	0,00	0	307171	122083
3+400,00	218,61	1070	430323	0,00	0	307171	123153
3+420,13	170,68	3917	434241	0,00	0	307171	127070
3+425,00	162,38	812	435052	0,00	0	307171	127882
3+445,13	91,38	2554	437606	0,00	0	307171	130435
3+450,00	69,64	392	437998	0,00	0	307171	130828
3+470,13	2,57	723	438721	11,53	115	307285	131436
3+475,00	2,63	13	438734	21,92	82	307367	131367
3+500,00	0,00	32	438766	101,70	1550	308917	129849
3+525,00	0,31	4	438770	117,04	2761	311678	127092
3+550,00	0,32	8	438777	134,42	3186	314864	123913
3+575,00	0,61	11	438789	154,32	3669	318534	120255
3+600,00	0,00	7	438796	131,94	3644	322178	116618
3+613,01	0,00	0	438796	121,00	1673	323851	114945
3+625,00	0,12	1	438797	130,30	1528	325379	113418
3+650,00	0,00	2	438798	208,96	4294	329673	109126

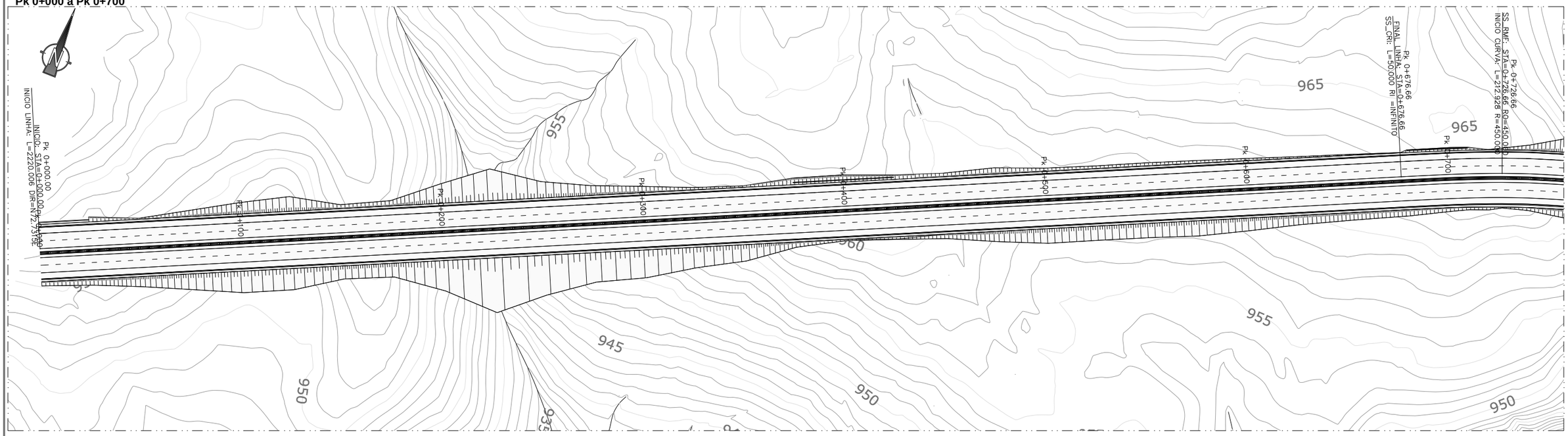
(Continuação)

PK [m]	*Escavação*			*Aterro*			*Diferença entre o Volume de escavação e o Volume de aterro acumulado [m^3]*
	Área [m^2]	*Volume [m^3]*	*Volume acumulado [m^3]*	*Área [m^2]*	*Volume [m^3]*	*Volume acumulado [m^3]*	
3+675,00	0,00	0	438799	289,01	6309	335982	102817
3+700,00	0,00	0	438799	364,28	8277	344258	94540
3+725,00	0,00	0	438799	390,21	9554	353813	84986
3+750,00	0,00	0	438799	428,46	10368	364180	74618
3+755,90	0,00	0	438799	431,59	2535	366715	72083
3+775,00	0,00	0	438799	433,77	8352	375067	63731
3+780,90	0,00	0	438799	437,97	2569	377637	61162
3+800,00	0,00	0	438799	458,68	8565	386202	52597
3+805,90	0,00	0	438799	463,57	2718	388920	49878
3+825,00	0,00	0	438799	480,47	9018	397938	40860
3+830,90	0,00	0	438799	479,86	2831	400769	38030
3+850,00	0,00	0	438799	476,25	9133	409902	28896
3+875,00	0,00	0	438799	493,15	12118	422020	16779
3+900,00	0,00	0	438799	514,57	12597	434616	4182
3+925,00	0,00	0	438799	539,24	13173	447789	-8990
3+950,00	0,00	0	438799	624,65	14549	462338	-23539
3+975,00	0,00	0	438799	660,47	16064	478402	-39603
4+000,00	0,00	0	438799	449,07	13869	492271	-53472
4+025,00	0,00	0	438799	296,39	9318	501589	-62791
4+050,00	0,36	4	438803	88,30	4809	506398	-67595
4+075,00	11,19	144	438947	12,64	1262	507660	-68712
4+100,00	26,80	475	439422	23,76	455	508115	-68693
4+125,00	40,35	839	440262	21,96	572	508686	-68425
4+150,00	11,84	652	440914	30,09	651	509337	-68423
4+175,00	29,56	517	441432	20,24	629	509966	-68535
4+200,00	39,55	864	442295	14,79	438	510404	-68109
4+225,00	95,13	1684	443979	0,82	195	510599	-66620
4+250,00	130,40	2819	446798	0,00	10	510609	-63811
4+275,00	99,14	2869	449667	0,00	0	510609	-60942
4+300,00	100,49	2495	452163	0,00	0	510609	-58446
4+325,00	44,64	1814	453977	0,00	0	510609	-56632
4+350,00	0,00	558	454535	347,94	4349	514959	-60424
4+375,00	0,00	0	454535	434,08	9775	524734	-70199
4+400,00	0,00	0	454535	774,57	15108	539842	-85307
4+425,00	0,00	0	454535	519,95	16182	556024	-101489
4+434,06	0,00	0	454535	256,57	3517	559541	-105006
4+450,00	64,58	515	455050	0,00	2045	561586	-106536
4+459,06	69,18	606	455655	0,00	0	561586	-105930
4+475,00	63,35	1056	456712	0,00	0	561586	-104874
4+484,06	68,23	596	457308	0,00	0	561586	-104278
4+500,00	75,09	1131	458439	0,00	0	561586	-103147

(Continuação)

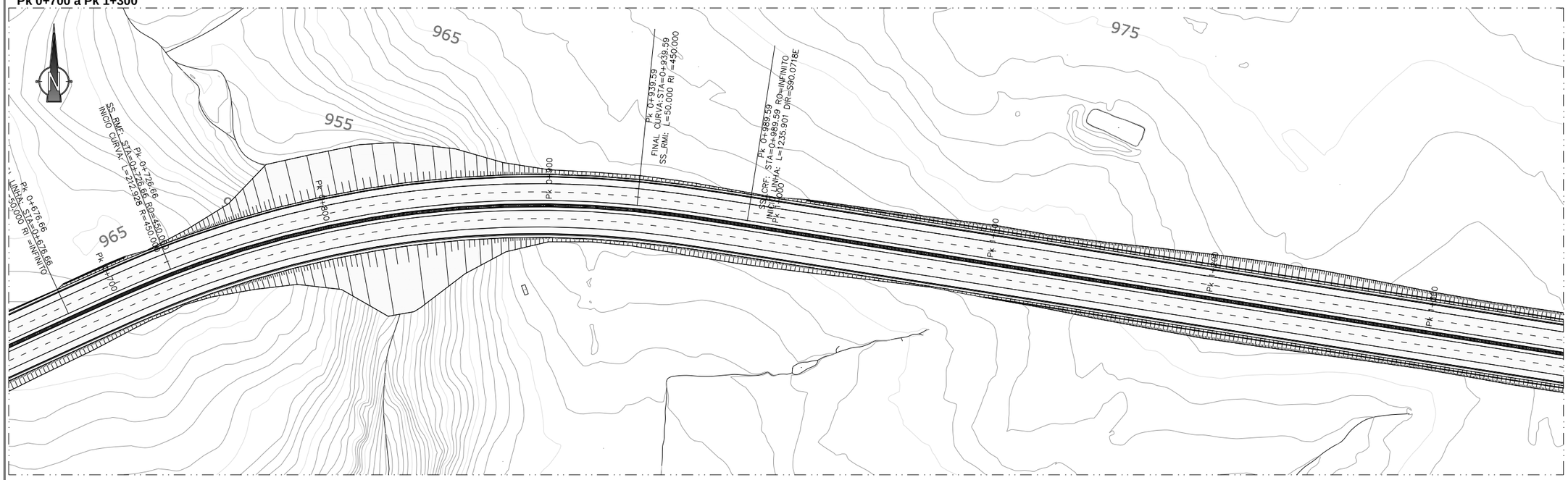
PK [m]	Escavação			Aterro			Diferença entre o Volume de escavação e o Volume de aterro acumulado [m^3]
	Área [m^2]	Volume [m^3]	Volume acumulado [m^3]	Área [m^2]	Volume [m^3]	Volume acumulado [m^3]	
4+509,06	79,67	691	459130	0,00	0	561586	-102455
4+525,00	92,33	1353	460484	0,00	0	561586	-101102
4+550,00	114,72	2563	463046	0,00	0	561586	-98539
4+575,00	169,42	3519	466565	0,00	0	561586	-95020
4+600,00	224,07	4873	471438	0,00	0	561586	-90148
4+625,00	337,10	6947	478385	0,00	0	561586	-83201
4+632,55	342,08	2564	480949	0,00	0	561586	-80637
4+650,00	343,75	5933	486883	0,00	0	561586	-74703
4+675,00	271,22	7633	494516	0,00	0	561586	-67070
4+700,00	196,12	5808	500323	0,00	0	561586	-61263
4+725,00	140,07	4181	504505	0,00	0	561586	-57081
4+750,00	66,62	2568	507072	0,00	0	561586	-54514
4+756,04	47,89	346	507418	0,00	0	561586	-54168
4+775,00	0,13	451	507870	13,67	131	561717	-53847
4+781,04	0,00	0	507870	19,71	101	561817	-53947
4+800,00	0,00	0	507870	61,53	770	562587	-54717
4+806,04	0,00	0	507870	72,16	404	562991	-55121
4+825,00	0,00	0	507870	105,53	1684	564676	-56806
4+831,04	0,00	0	507870	110,47	653	565328	-57458
4+850,00	0,00	0	507870	138,55	2360	567689	-59819
4+875,00	0,00	0	507870	162,63	3765	571453	-63583
4+900,00	0,00	0	507870	158,63	4016	575469	-67599
4+925,00	0,00	0	507870	269,45	5351	580820	-72950
4+950,00	0,00	0	507870	312,13	7270	588090	-80220
4+975,00	0,00	0	507870	318,29	7880	595970	-88100
5+000,00	0,00	0	507870	323,33	8020	603990	-96120
5+025,00	0,00	0	507870	375,77	8739	612729	-104859
5+050,00	0,00	0	507870	341,94	8971	621700	-113830
5+075,00	0,00	0	507870	242,09	7300	629001	-121131
5+100,00	0,00	0	507870	139,89	4775	633776	-125905
5+125,00	0,00	0	507870	38,01	2224	635999	-128129
5+150,00	7,07	88	507958	1,08	489	636488	-128530
5+166,16	0,00	57	508016	0,00	9	636497	-128481

Pk 0+000 a Pk 0+700





Pk 0+700 a Pk 1+300



Caso de Estudo D
Velocidade Base: 80 km/h
Abordagem: Comodidade
Normativo: Portugal

Apêndice D.4.

Parte 1 de 4

Perfil Longitudinal

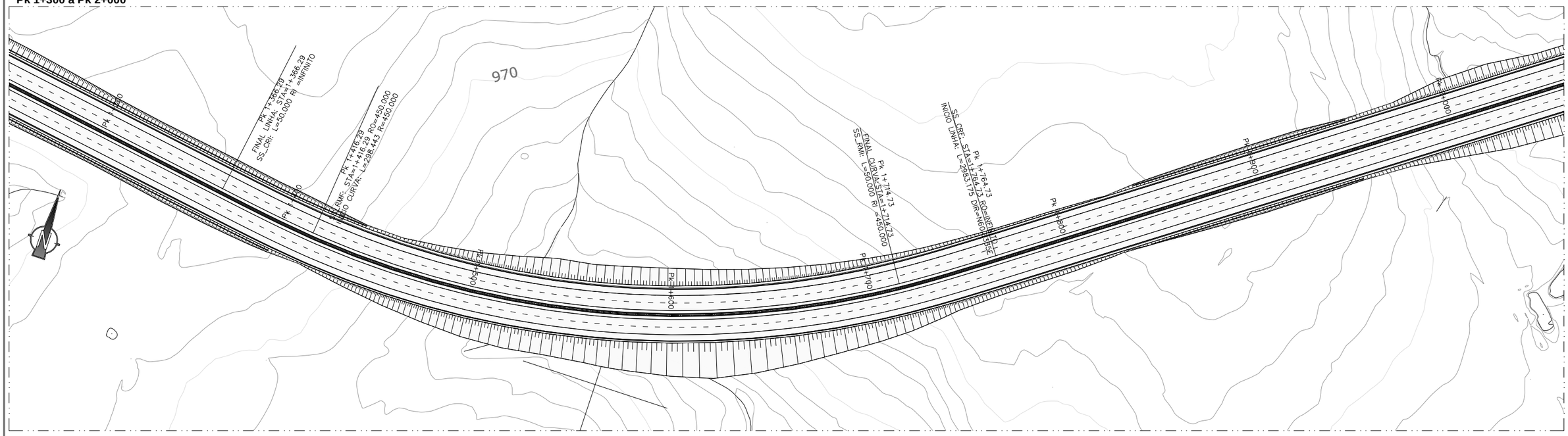
Esc. 1:2000

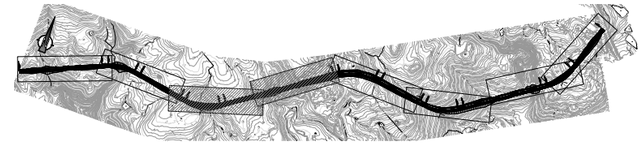
U.PORTO
FEUP FACULDADE DE ENGENHARIA
UNIVERSIDADE DO PORTO

Dissertação de Mestrado
"Projeto de autoestradas do México: comparação com o caso português"
junho de 2014

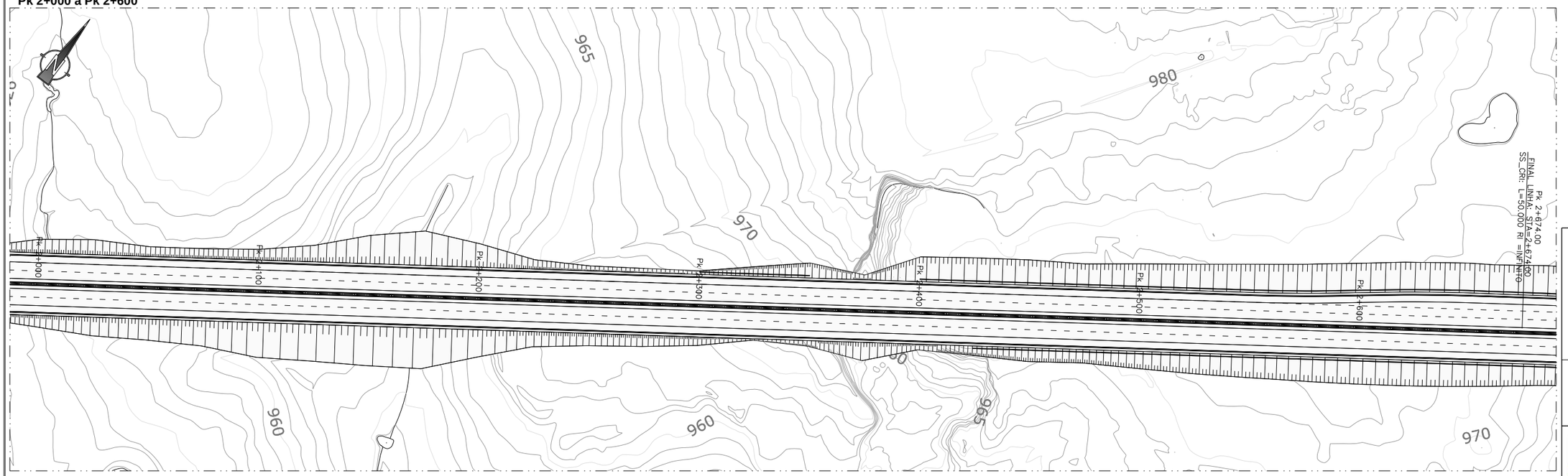
Autora: Lígia Conceição Pereira

Pk 1+300 a Pk 2+000





Pk 2+000 a Pk 2+600



Caso de Estudo D
Velocidade Base: 80 km/h
Abordagem: Comodidade
Normativo: Portugal

Apêndice D.4.

Parte 2 de 4

Perfil Longitudinal

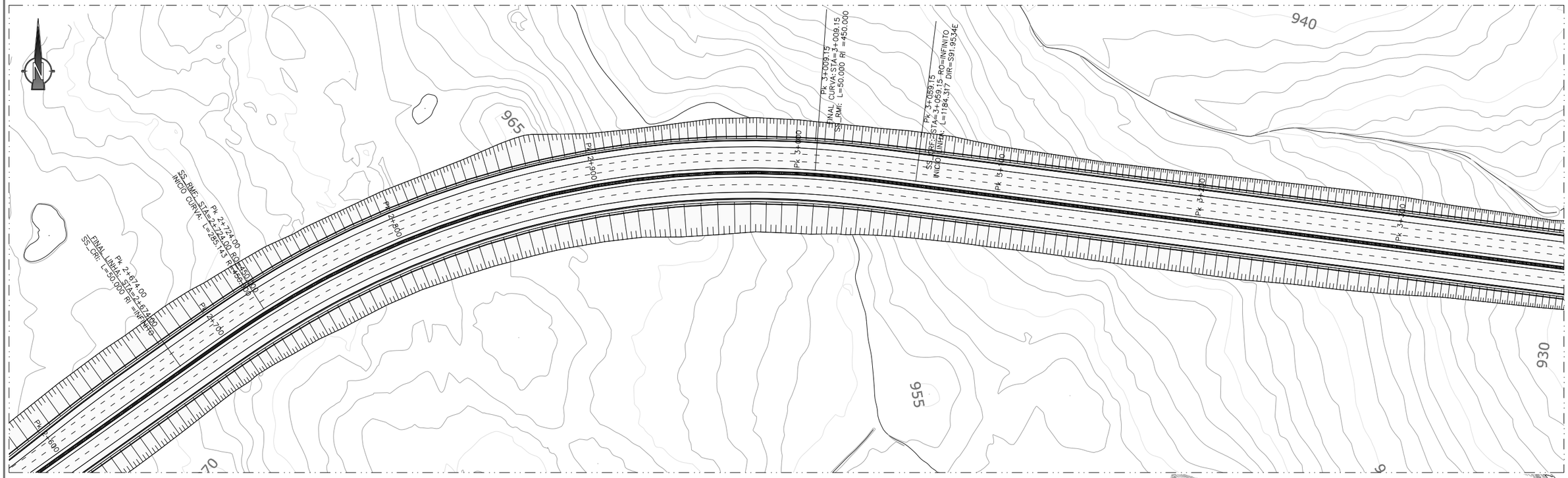
Esc. 1:2000

U.PORTO
FEUP FACULDADE DE ENGENHARIA
UNIVERSIDADE DO PORTO

Dissertação de Mestrado
"Projeto de autoestradas do México: comparação com o caso português"
junho de 2014

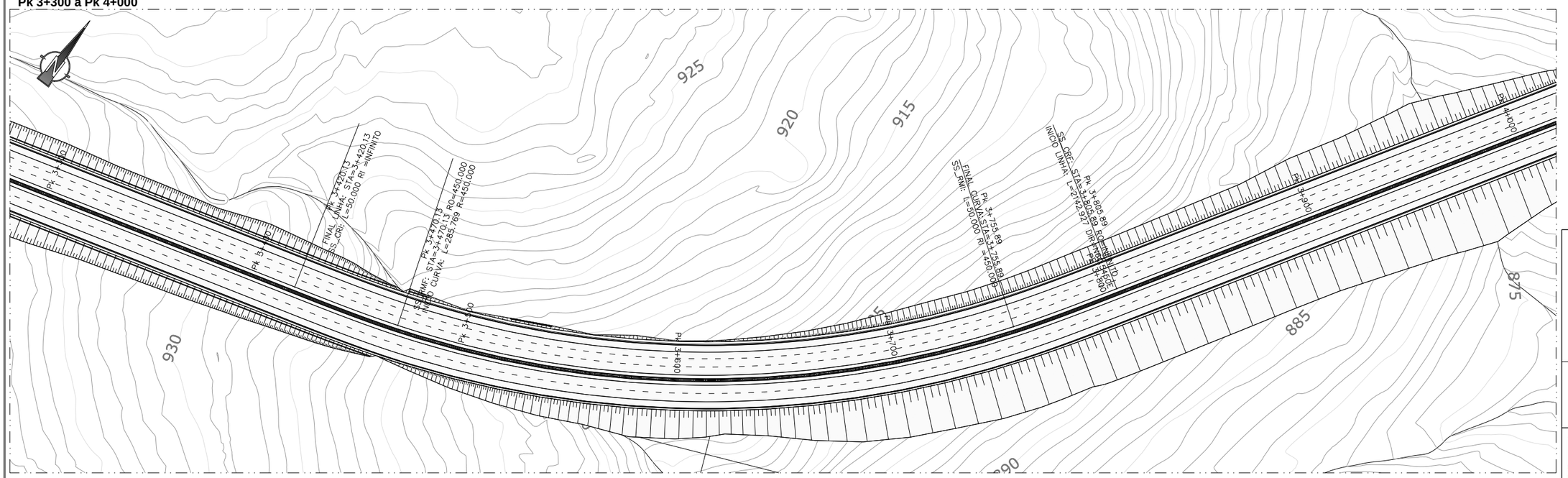
Autora: Lígia Conceição Pereira

Pk 2+600 a Pk 3+300





Pk 3+300 a Pk 4+000



Caso de Estudo D
Velocidade Base: 80 km/h
Abordagem: Comodidade
Normativo: Portugal

Apêndice D.4.

Parte 3 de 4

Perfil Longitudinal

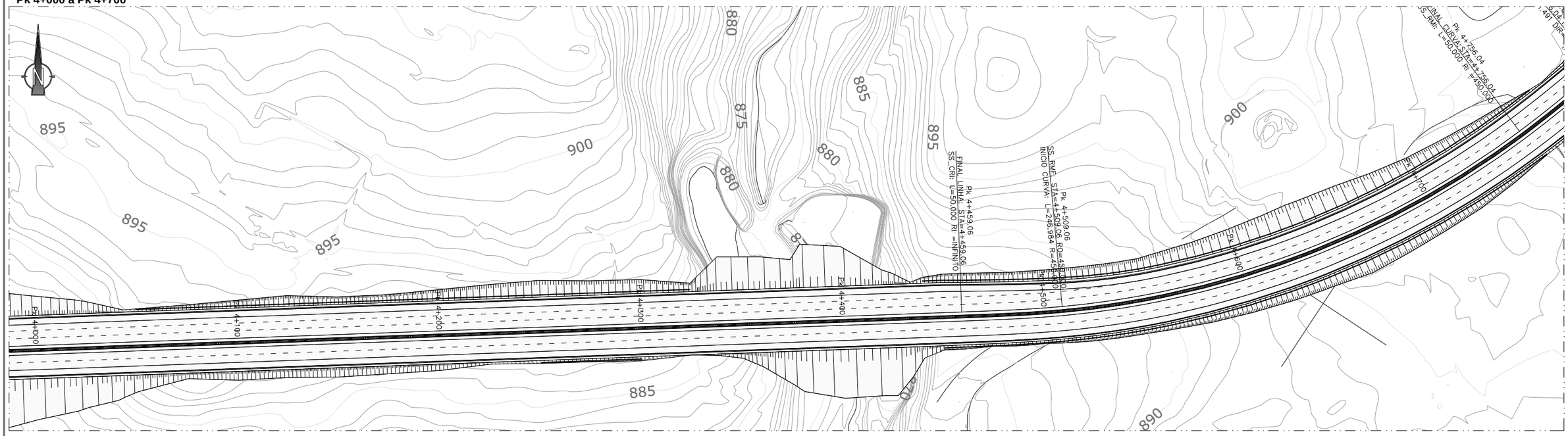
Esc. 1:2000

U.PORTO
FEUP FACULDADE DE ENGENHARIA
UNIVERSIDADE DO PORTO

Dissertação de Mestrado
"Projeto de autoestradas do México: comparação com o caso português"
junho de 2014

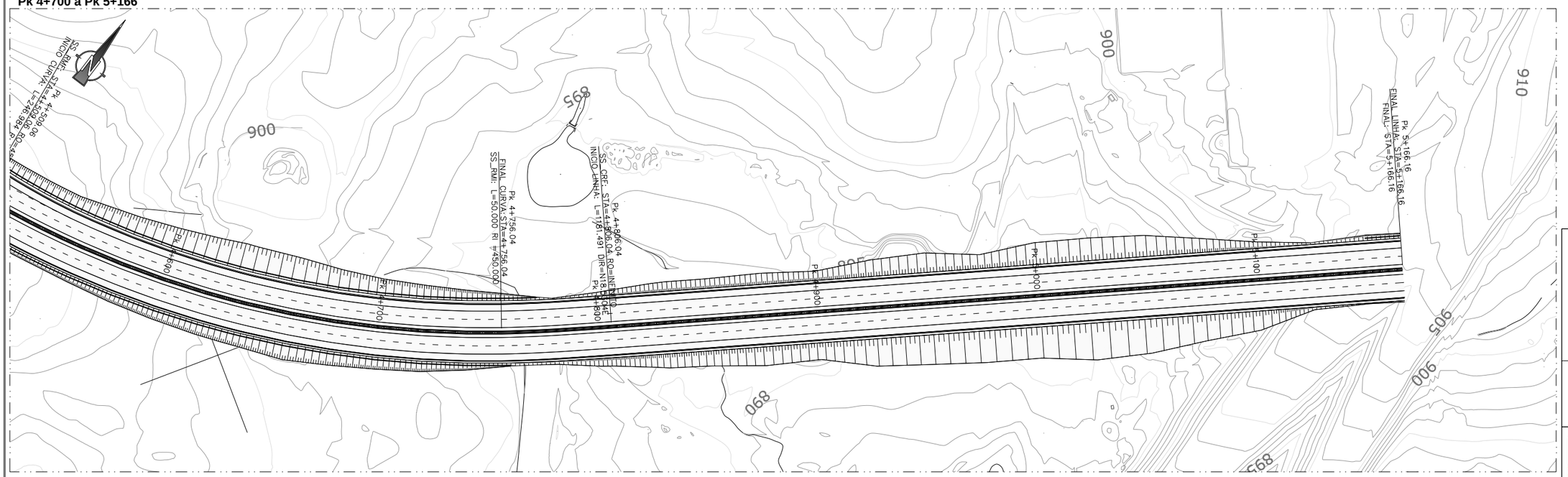
Autora: Lígia Conceição Pereira

Pk 4+000 a Pk 4+700





Pk 4+700 a Pk 5+166



Caso de Estudo D
Velocidade Base: 80 km/h
Abordagem: Comodidade
Normativo: Portugal

Apêndice D.4.

Parte 4 de 4

Perfil Longitudinal

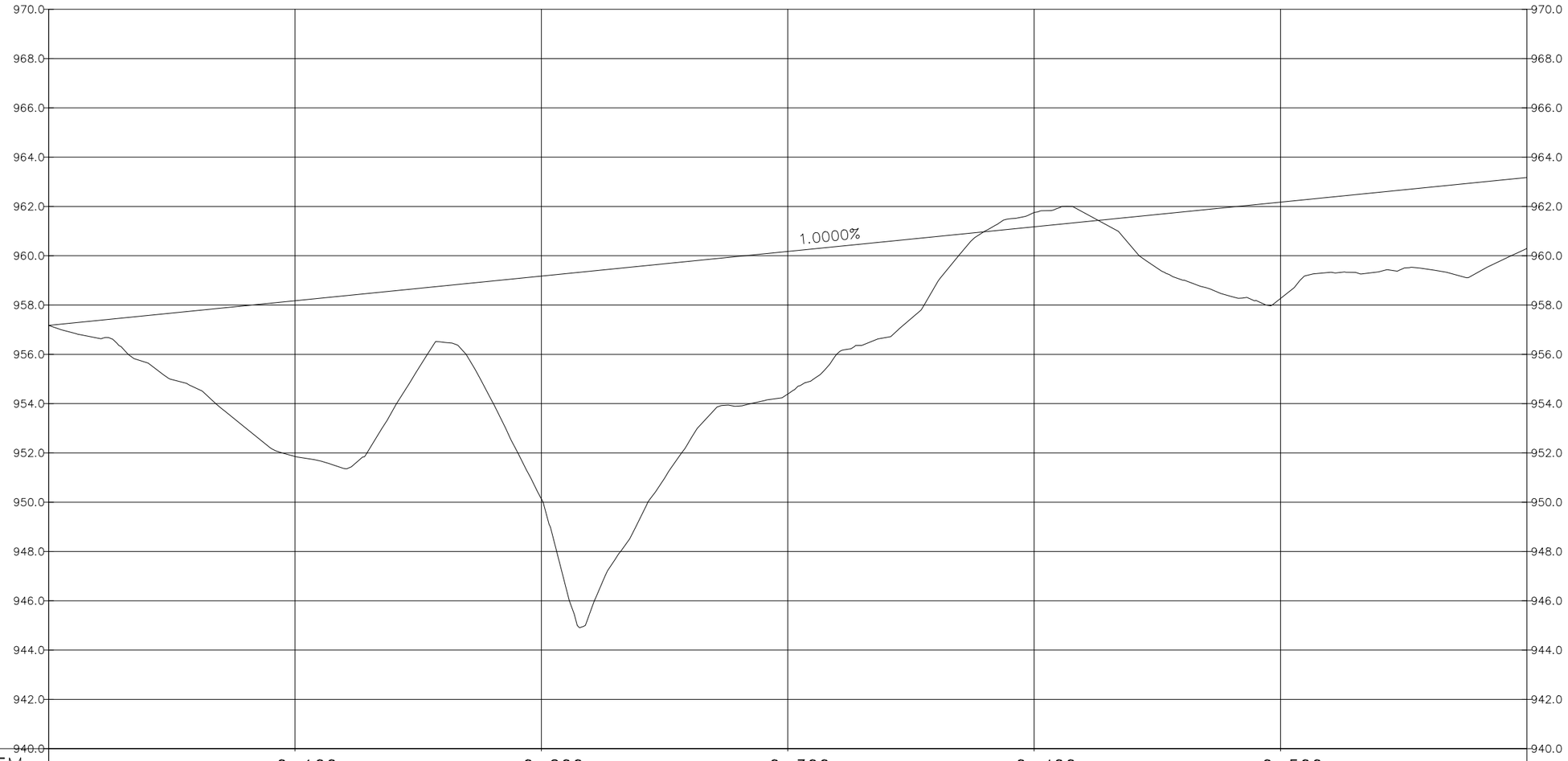
Esc. 1:2000

U.PORTO
FEUP FACULDADE DE ENGENHARIA
UNIVERSIDADE DO PORTO

Dissertação de Mestrado
"Projeto de autoestradas do México: comparação com o caso português"
junho de 2014

Autora: Lígia Conceição Pereira

D5. PERFIL LONGITUDINAL



QUILOMETRAGEM		0+100				0+200				0+300				0+400				0+500						
PERFIL LONGITUDINAL	Cota da Rasante	957.425	957.675	957.925	958.175	958.425	958.675	958.925	959.175	959.425	959.675	959.925	960.175	960.425	960.675	960.925	961.175	961.425	961.675	961.925	962.175	962.425	962.675	962.925
	Cota do Terreno	956.65	954.98	953.41	951.86	951.62	955.41	955.04	950.13	946.81	950.97	953.93	954.39	956.21	957.45	960.65	961.76	961.49	959.49	958.50	958.27	959.33	959.49	959.12
	Elementos da Rasante	i=1.000% L=1705.085																						
PLANTA	Pontos Notáveis	km=0+000.000																					km=0+676	
	Diagrama de Curvas	L=676.658 R= 00																						
	Sobreelevação (%)																							

Caso de Estudo D
Velocidade Base: 80 km/h
Abordagem: Comodidade
Normativo: Portugal

Apêndice D.5.

Parte 1 de 10

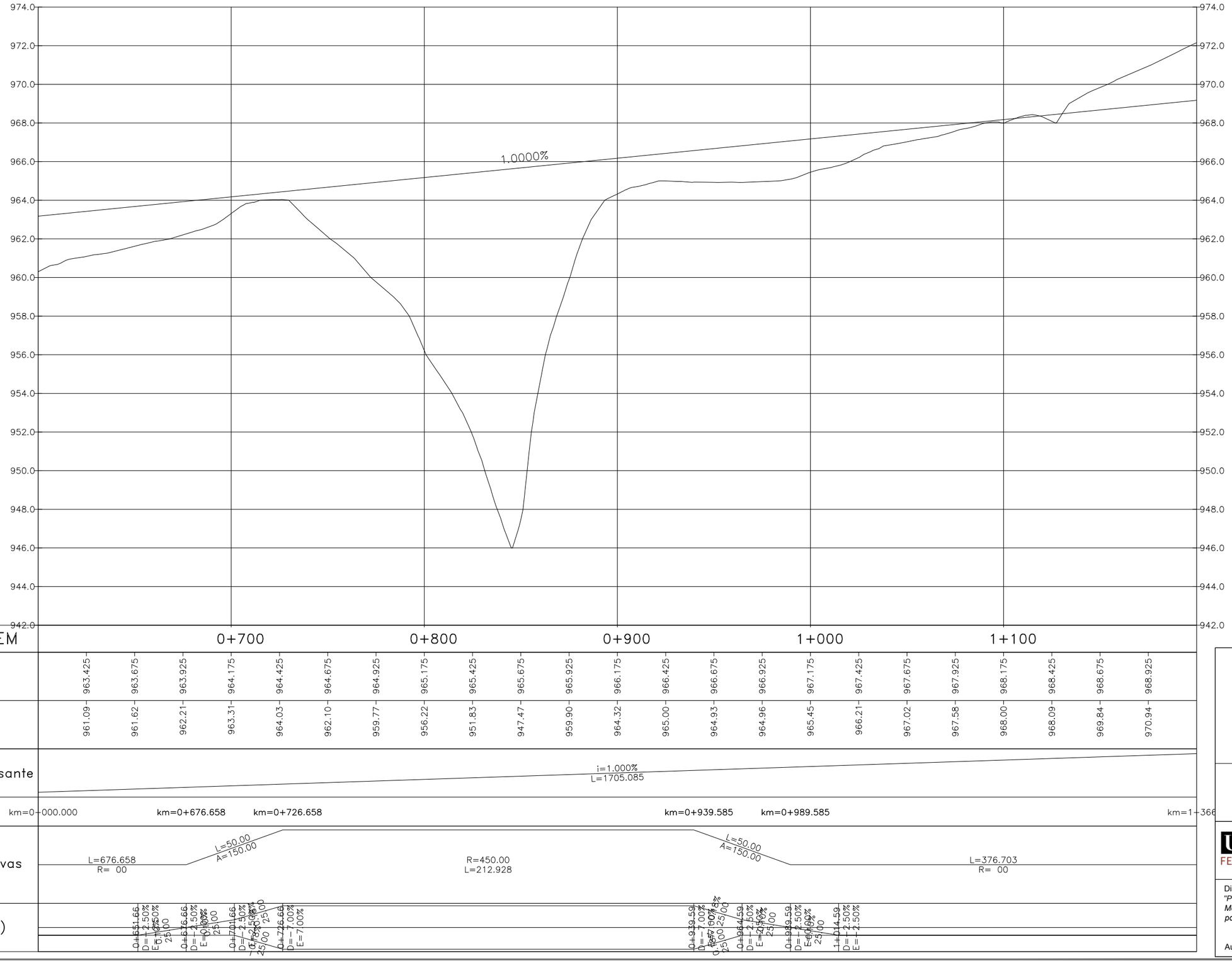
Perfil Longitudinal

Esc. Vertical 1:200
Esc. Horizontal 1:2000

U.PORTO
FEUP FACULDADE DE ENGENHARIA
UNIVERSIDADE DO PORTO

Dissertação de Mestrado
"Projeto de autoestradas do México: comparação com o caso português"
junho de 2014

Autora: Lígia Conceição Pereira



Caso de Estudo D
Velocidade Base: 80 km/h
Abordagem: Comodidade
Normativo: Portugal

Apêndice D.5.

Parte 2 de 10

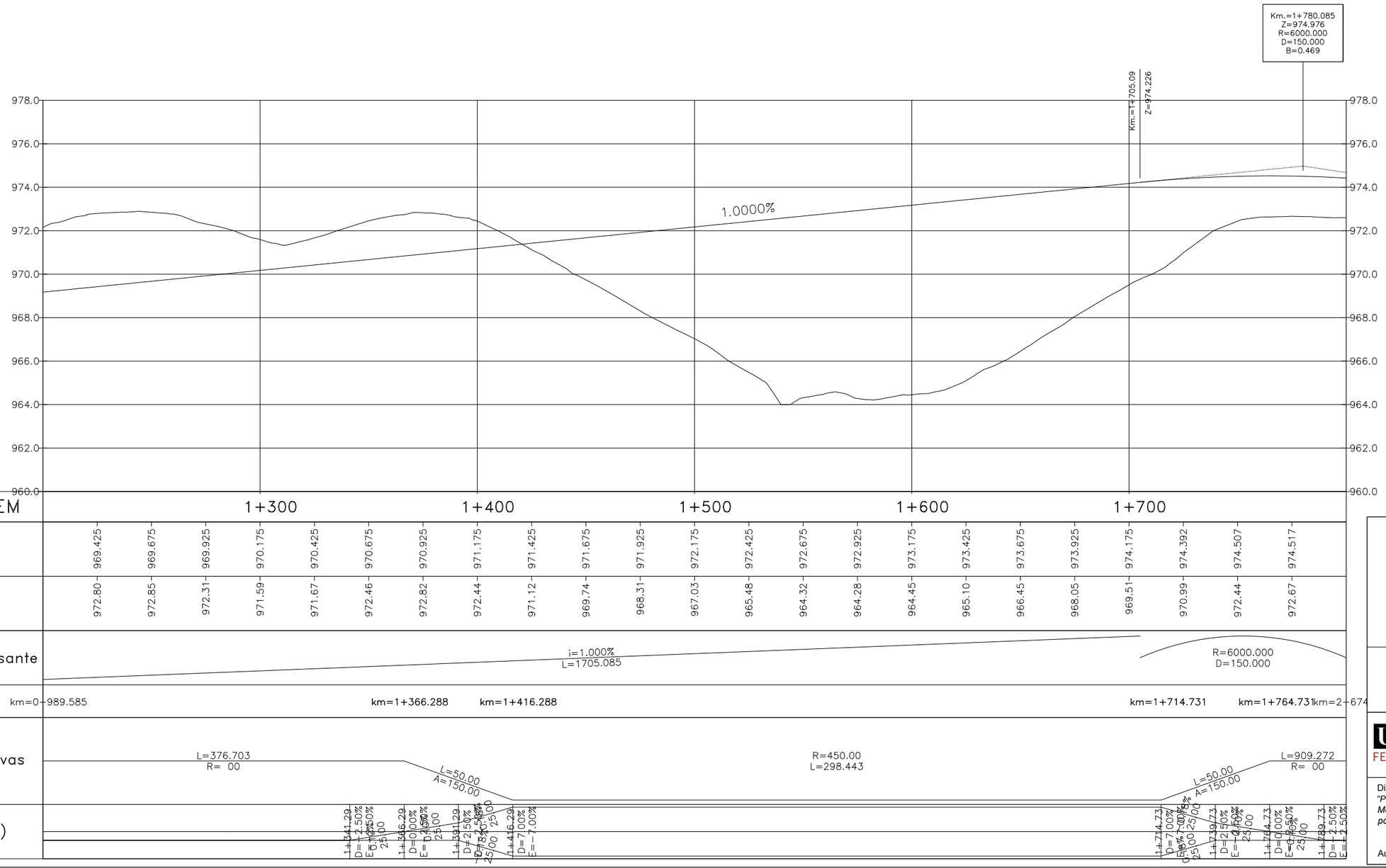
Perfil Longitudinal

Esc. Vertical 1:200
Esc. Horizontal 1:2000

U.PORTO
FEUP FACULDADE DE ENGENHARIA
UNIVERSIDADE DO PORTO

Dissertação de Mestrado
"Projeto de autoestradas do México: comparação com o caso português"
junho de 2014

Autora: Lígia Conceição Pereira



Caso de Estudo D
Velocidade Base: 80 km/h
Abordagem: Comodidade
Normativo: Portugal

Apêndice D.5.

Parte 3 de 10

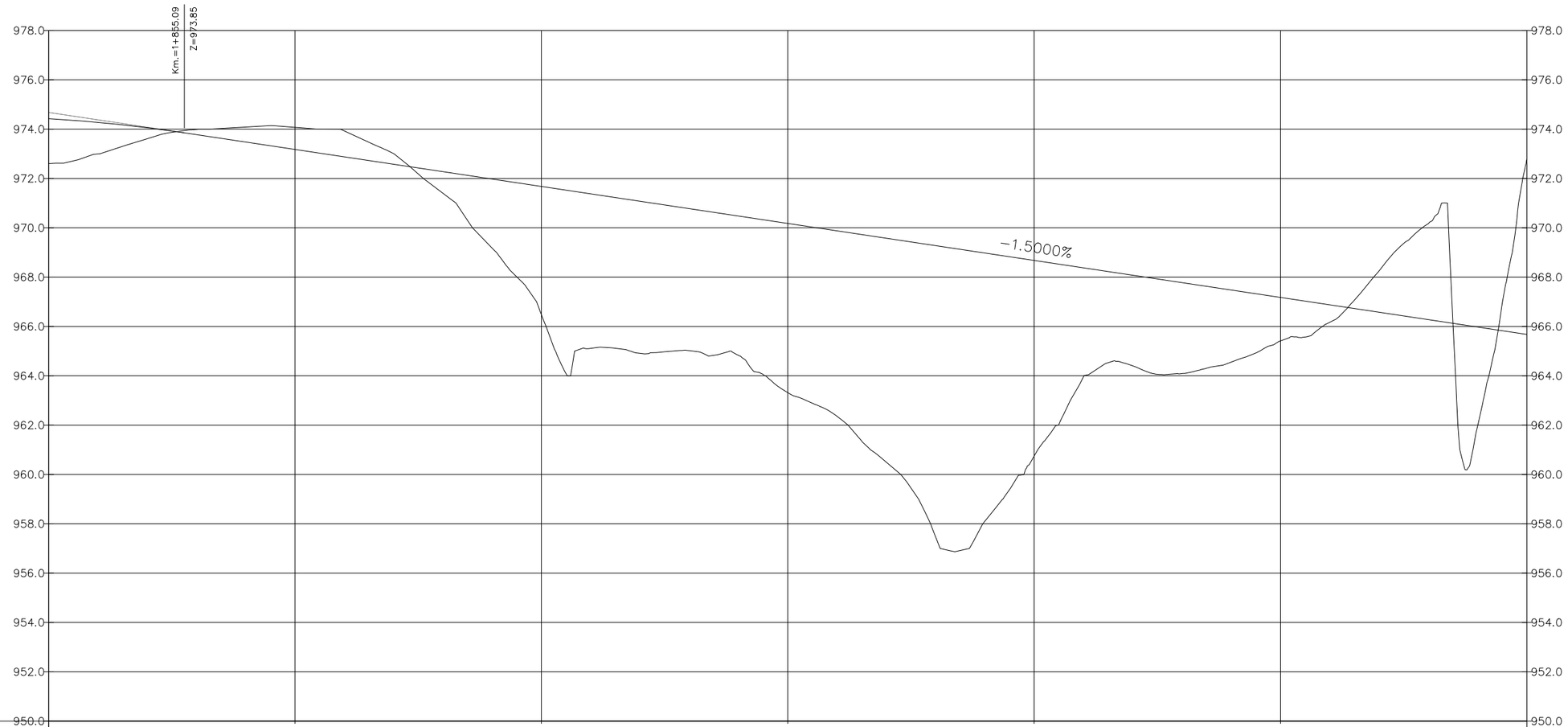
Perfil Longitudinal

Esc. Vertical 1:200
Esc. Horizontal 1:2000

U.PORTO
FEUP FACULDADE DE ENGENHARIA
UNIVERSIDADE DO PORTO

Dissertação de Mestrado
"Projeto de autoestradas do México: comparação com o caso português"
junho de 2014

Autora: Lígia Conceição Pereira



QUILOMETRAGEM			1+900				2+000				2+100				2+200				2+300				
PERFIL LONGITUDINAL	Cota da Rasante	974.226	973.925	973.552	973.177	972.802	972.427	972.052	971.677	971.302	970.927	970.552	970.177	969.802	969.427	969.052	968.677	968.302	967.927	967.552	967.177	966.802	966.427	966.052
	Cota do Terreno	973.14	973.87	974.06	974.07	973.70	972.18	969.69	966.47	965.15	964.97	964.95	963.32	961.94	959.45	957.22	960.75	964.24	964.06	964.41	965.42	966.52	969.37	960.19
	Elementos da Rasante	R=6000.000 D=150.000			i=-1.500% L=689.659																			
PLANTA	Pontos Notáveis	km=1+764.731																					km=2+674	
	Diagrama de Curvas	L=909.272 R= 00																						
	Sobreelevação (%)																							

Caso de Estudo D
Velocidade Base: 80 km/h
Abordagem: Comodidade
Normativo: Portugal

Apêndice D.5.

Parte 4 de 10

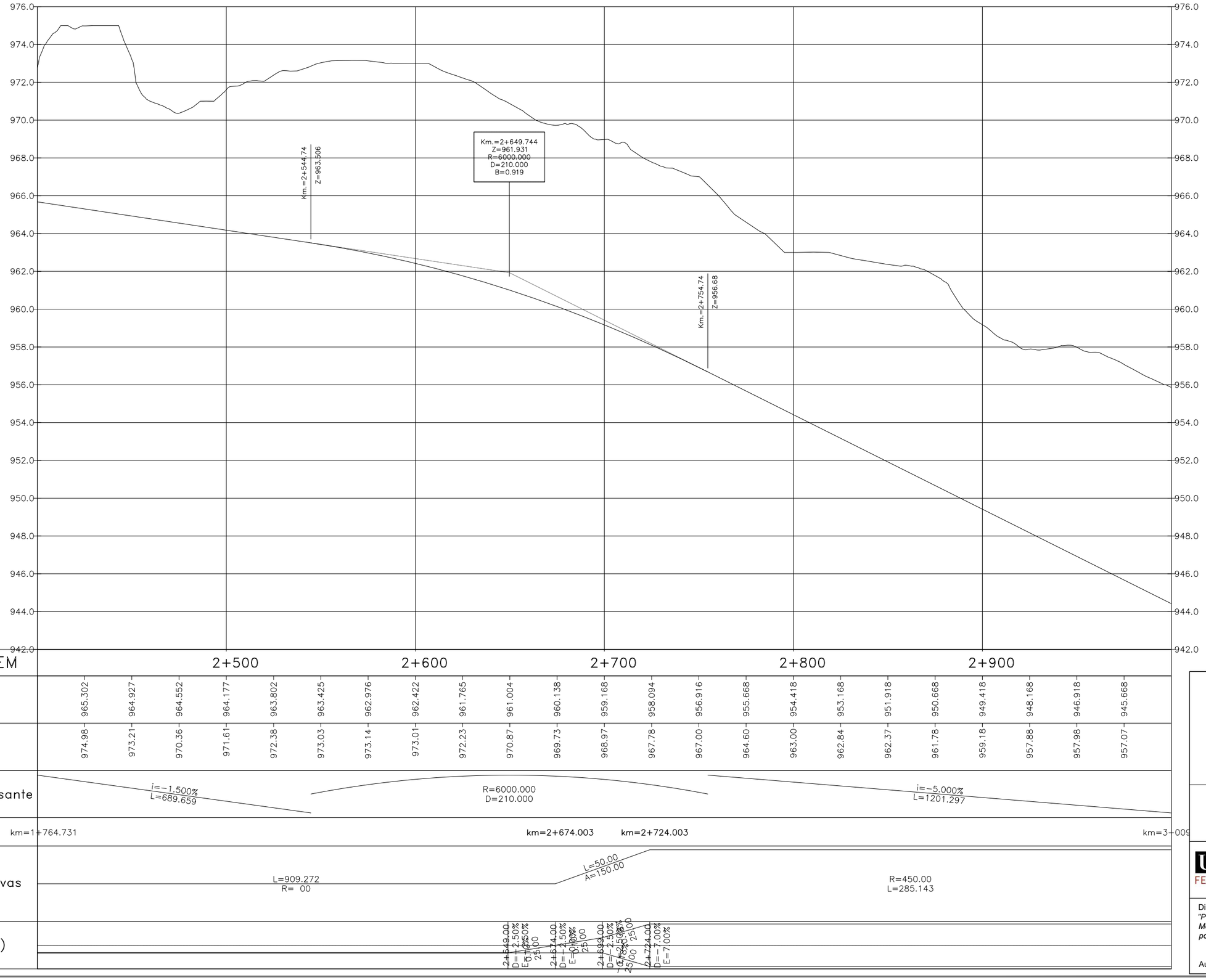
Perfil Longitudinal

Esc. Vertical 1:200
Esc. Horizontal 1:2000

U.PORTO
FEUP FACULDADE DE ENGENHARIA
UNIVERSIDADE DO PORTO

Dissertação de Mestrado
"Projeto de autoestradas do México: comparação com o caso português"
junho de 2014

Autora: Lígia Conceição Pereira



Caso de Estudo D
Velocidade Base: 80 km/h
Abordagem: Comodidade
Normativo: Portugal

Apêndice D.5.

Parte 5 de 10

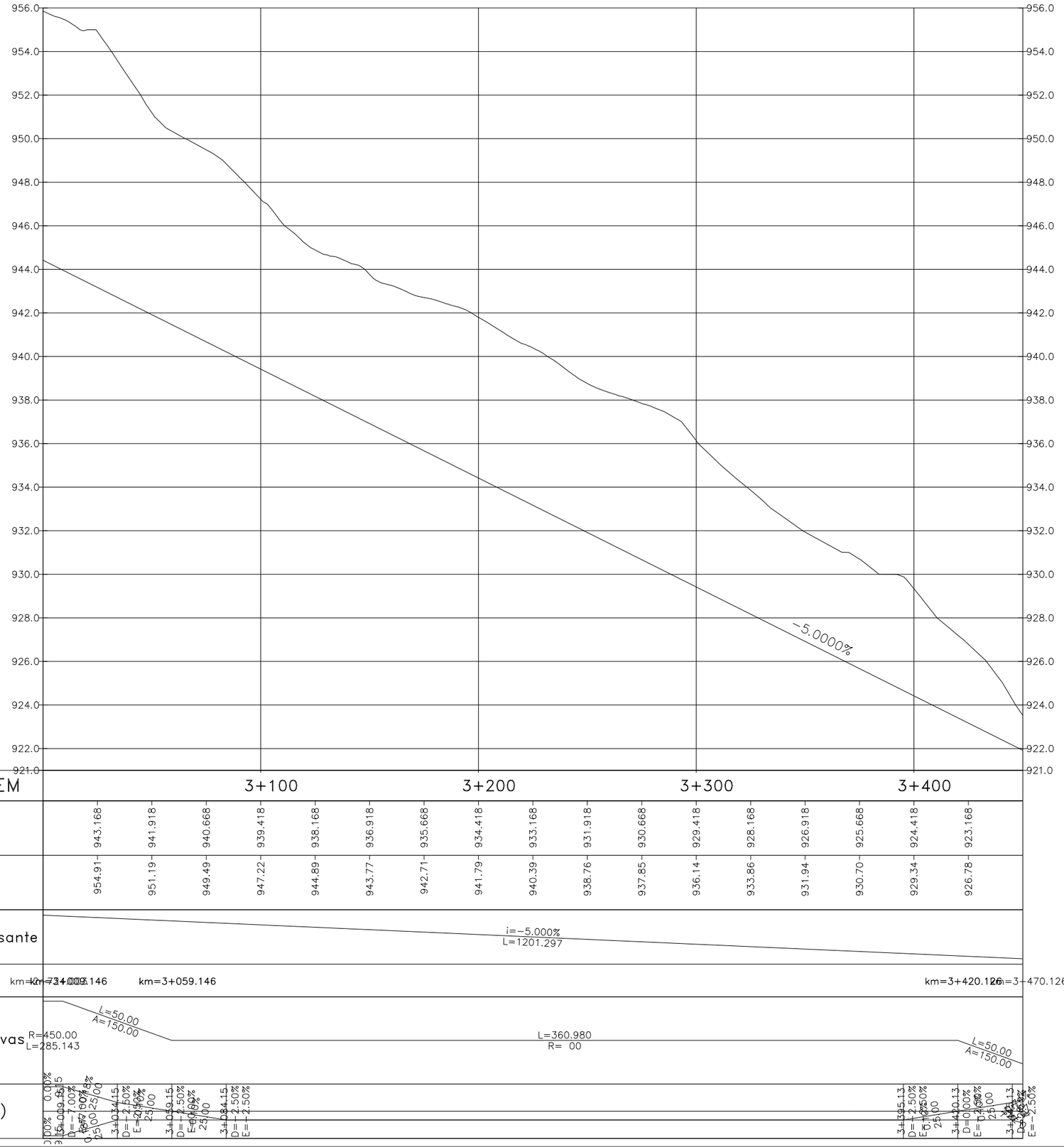
Perfil Longitudinal

Esc. Vertical 1:200
Esc. Horizontal 1:2000

U.PORTO
FEUP FACULDADE DE ENGENHARIA
UNIVERSIDADE DO PORTO

Dissertação de Mestrado
"Projeto de autoestradas do México: comparação com o caso português"
junho de 2014

Autora: Lígia Conceição Pereira



Caso de Estudo D
Velocidade Base: 80 km/h
Abordagem: Comodidade
Normativo: Portugal

Apêndice D.5.

Parte 6 de 10

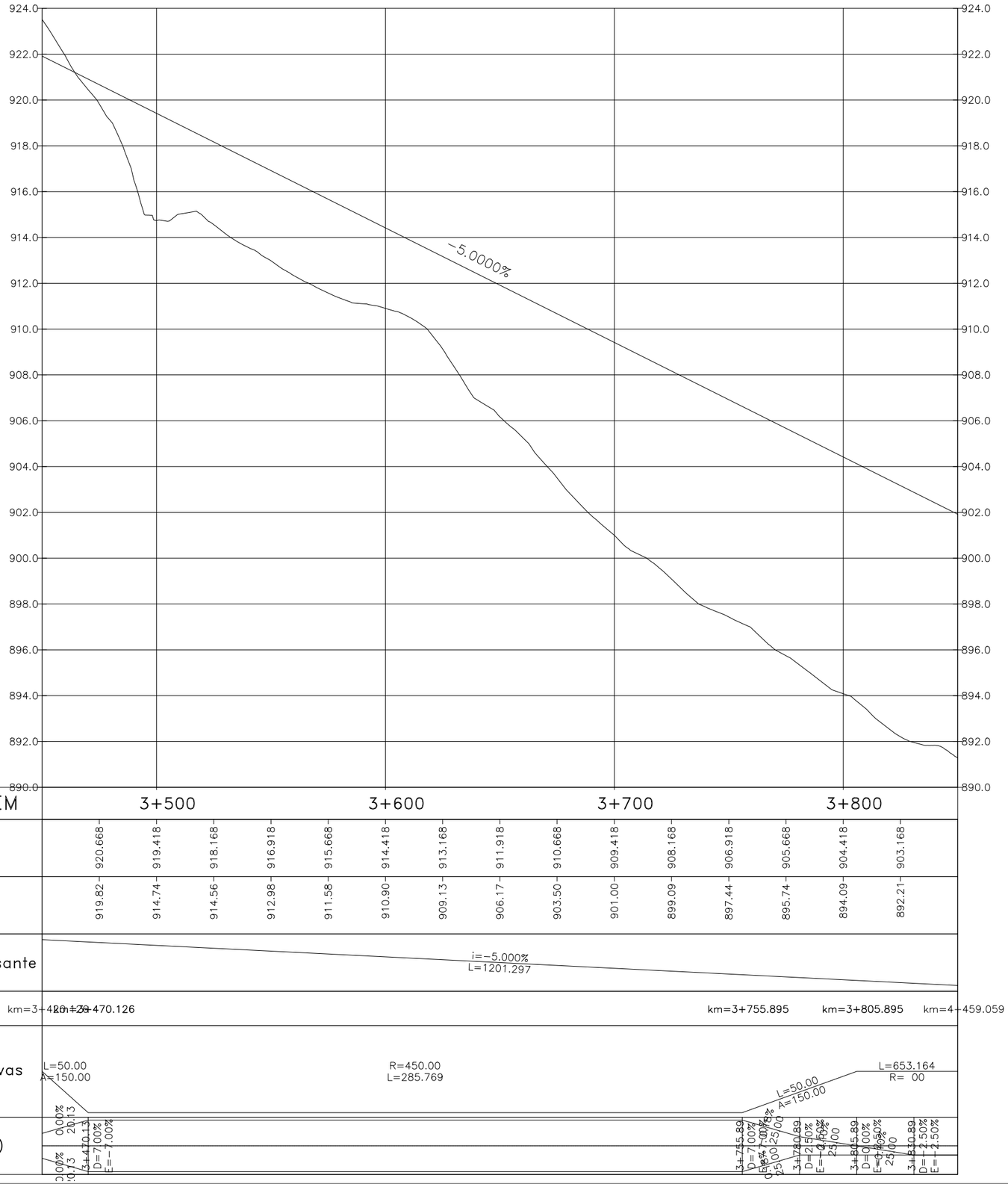
Perfil Longitudinal

Esc. Vertical 1:200
Esc. Horizontal 1:2000

U.PORTO
FEUP FACULDADE DE ENGENHARIA
UNIVERSIDADE DO PORTO

Dissertação de Mestrado
"Projeto de autoestradas do México: comparação com o caso português"
junho de 2014

Autora: Lígia Conceição Pereira



Caso de Estudo D
Velocidade Base: 80 km/h
Abordagem: Comodidade
Normativo: Portugal

Apêndice D.5.

Parte 7 de 10

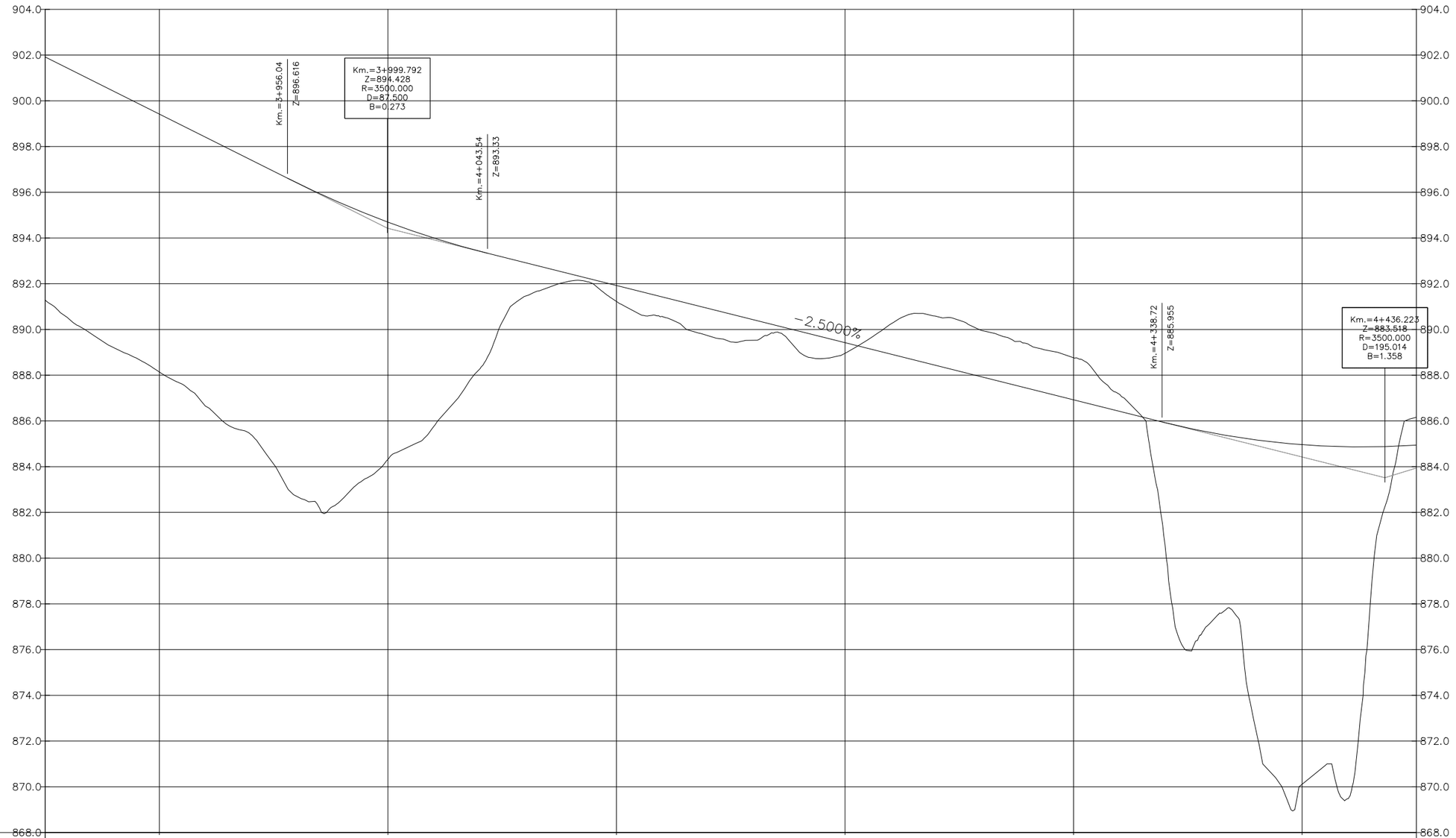
Perfil Longitudinal

Esc. Vertical 1:200
Esc. Horizontal 1:2000

U.PORTO
FEUP FACULDADE DE ENGENHARIA
UNIVERSIDADE DO PORTO

Dissertação de Mestrado
"Projeto de autoestradas do México: comparação com o caso português"
junho de 2014

Autora: Lígia Conceição Pereira



QUILOMETRAGEM	3+900	4+000	4+100	4+200	4+300	4+400
PERFIL LONGITUDINAL — Cota da Rasante	900.668	899.418	898.168	896.918	895.719	894.694
	893.847	893.173	892.548	891.923	891.298	890.673
	890.048	889.423	888.798	888.173	887.548	886.923
	886.298	885.691	885.236	884.960	884.862	
PERFIL LONGITUDINAL — Cota do Terreno	889.49	888.14	886.25	884.11	882.21	884.32
	886.36	890.33	892.01	891.22	890.39	889.46
	889.58	888.96	890.53	890.40	889.48	888.76
	886.71	875.96	875.07	870.11	872.49	
PERFIL LONGITUDINAL — Elementos da Rasante	i=-5.000% L=1201.297	R=3500.000 D=87.500	i=-2.500% L=295.175	R=3500.000 D=195.014		
PLANTA — Pontos Notáveis	km=3+805.895					km=4+459
PLANTA — Diagrama de Curvas	L=653.164 R= 00					
PLANTA — Sobreelevação (%)	4+134.06 D=2.50% E=5.92%					

Caso de Estudo D
Velocidade Base: 80 km/h
Abordagem: Comodidade
Normativo: Portugal

Apêndice D.5.

Parte 8 de 10

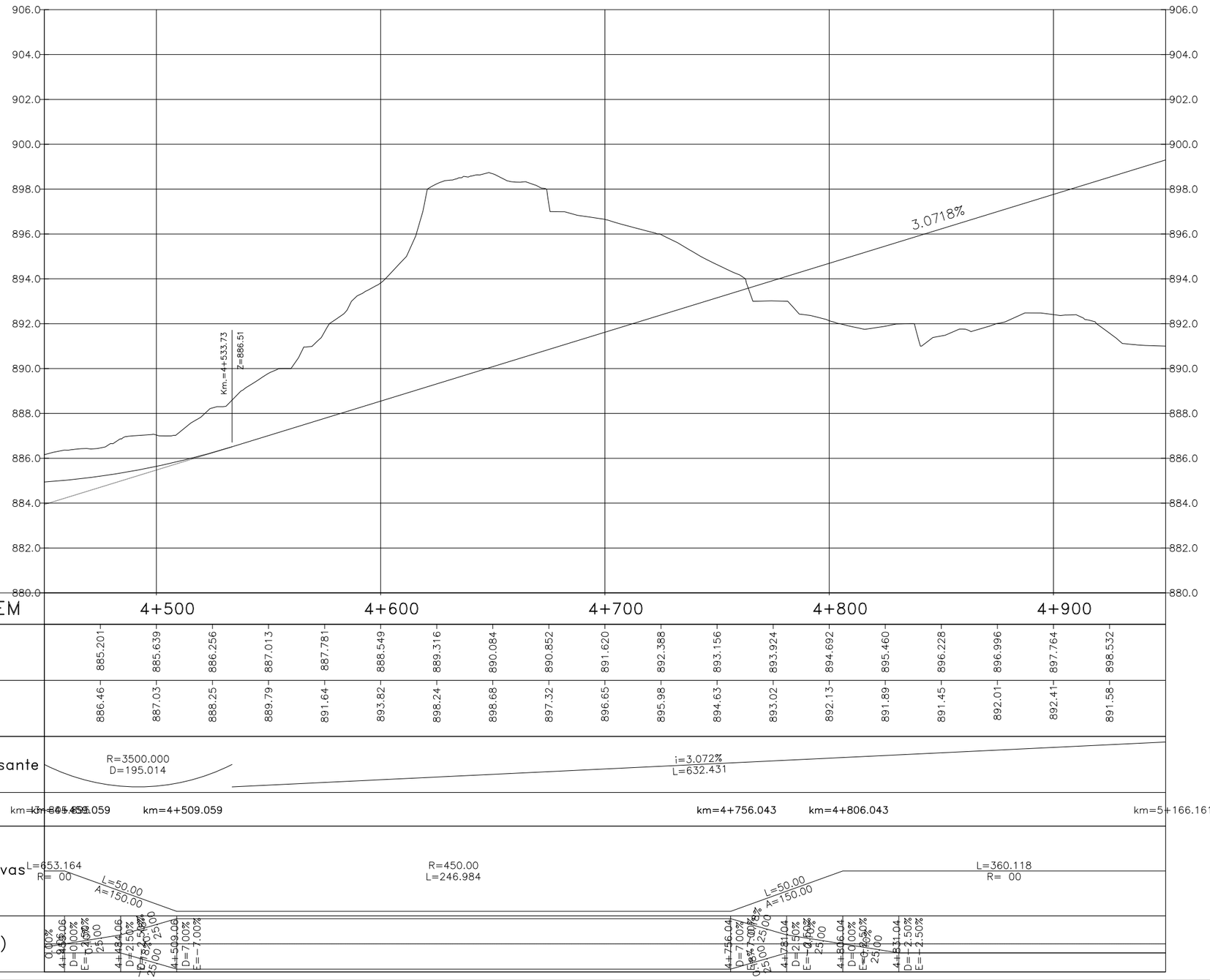
Perfil Longitudinal

Esc. Vertical 1:200
Esc. Horizontal 1:2000

U.PORTO
FEUP FACULDADE DE ENGENHARIA
UNIVERSIDADE DO PORTO

Dissertação de Mestrado
"Projeto de autoestradas do México: comparação com o caso português"
junho de 2014

Autora: Lígia Conceição Pereira



Caso de Estudo D
Velocidade Base: 80 km/h
Abordagem: Comodidade
Normativo: Portugal

Apêndice D.5.

Parte 9 de 10

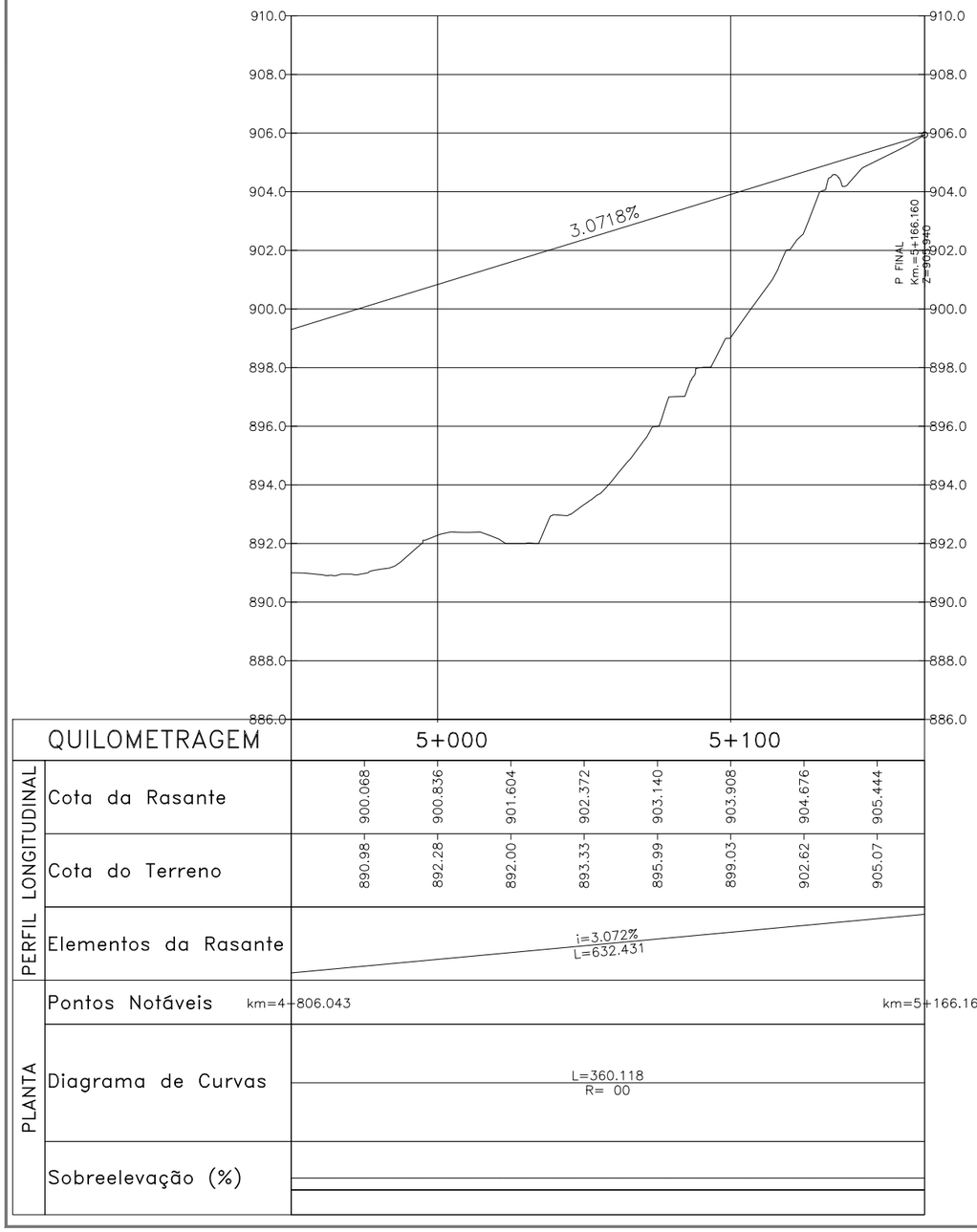
Perfil Longitudinal

Esc. Vertical 1:200
Esc. Horizontal 1:2000

U.PORTO
FEUP FACULDADE DE ENGENHARIA
UNIVERSIDADE DO PORTO

Dissertação de Mestrado
"Projeto de autoestradas do México: comparação com o caso português"
junho de 2014

Autora: Lígia Conceição Pereira



Caso de Estudo D
Velocidade Base: 80 km/h
Abordagem: Comodidade
Normativo: Portugal

Apêndice D.5.

Parte 10 de 10

Perfil Longitudinal

Esc. Vertical 1:200
Esc. Horizontal 1:2000

U.PORTO
FEUP FACULDADE DE ENGENHARIA
UNIVERSIDADE DO PORTO

Dissertação de Mestrado
"Projeto de autoestradas do México: comparação com o caso português"
junho de 2014

Autora: Lígia Conceição Pereira

Apêndice E CASO DE ESTUDO: 80 KM/H, SEGURANÇA, NP

E.1. GEOMETRIA DA DIRETRIZ

PK [m]	Elemento	Extensão [m]
0+000,00	Alinhamento reto	717,61
0+717,61	Curva composta à direita R=240,00 m; L=93,75 m; A =150,00 m	93,75
0+811,36	Curva circular à direita R=240,00 m	46,48
0+857,84	Curva composta à direita R=240,00 m; L=93,75 m; A =150,00 m	93,75
0+951,59	Alinhamento reto	480,93
1+432,52	Curva composta à esquerda R=240,00 m; L=93,75 m; A =150,00 m	93,75
1+526,27	Curva circular à esquerda R=240,00 m	92,09
1+618,36	Curva composta à esquerda R=240,00 m; L=93,75 m; A =150,00 m	93,75
1+712,11	Alinhamento reto	1032,26
2+744,36	Curva composta à direita R=240,00 m; L=93,75 m; A =150,00 m	93,75
2+838,11	Curva circular à direita R=240,00 m	84,99
2+923,10	Curva composta à direita R=240,00 m; L=93,75 m; A =150,00 m	93,75
3+016,85	Alinhamento reto	480,56
3+497,41	Curva composta à esquerda R=208,35 m; L=109,00 m; A =150,70 m	93,75
3+591,16	Curva circular à esquerda R=240,00 m	85,33
3+676,49	Curva composta à esquerda R=240,00 m; L=93,75 m; A =150,00 m	93,75
3+770,24	Alinhamento reto	762,70
4+532,94	Curva composta à esquerda R=240,00 m; L=93,75 m; A =150,00 m	93,75
4+626,69	Curva circular à esquerda R=240,00 m	64,64
4+691,33	Curva composta à esquerda R=240,00 m; L=93,75 m; A =150,00 m	93,75
4+785,08	Alinhamento reto	409,78
5+194,86		

E.2. GEOMETRIA DA RASANTE

PK [m]	Elemento	Cota [m]
0+000,00	Trainel 1 Ascendente	957,175
	i=+1,0000 %; L=1717,59 m	
1+717,59		974,351
	Concordância convexa 1	
1+767,59	R=+5000,00 m; D=125,00 m	974,600
1+842,59		974,040
	Trainel 2 Descendente	
	i=-1,5000 %; L=719,66 m	
2+562,24		963,243
	Concordância convexa 2	
	R=+5000,00 m; D=175,00 m	
2+737,24		957,560
	Trainel 3 Descendente	
	i=-5,0000 %; L=1218,80 m	
3+956,04		896,616
	Concordância côncava 1	
	R=-3500,00 m; D=87,50 m	
4+043,54		893,330
	Trainel 4 Descendente	
	i=-2,5000 %; L=297,21 m	
4+340,75		885,904
	Concordância côncava 2	
	R=-3500,00 m; D=190,947 m	
4+531,70		886,340
	Trainel 5 Ascendente	
5+194,862	i=+2,9560 %; L=663,17 m	905,940

E.3. TABELA DE MOVIMENTOS DE TERRA

PK [m]	Escavação			Aterro			Diferença entre o Volume de escavação e o Volume de aterro acumulado [m^3]
	Área [m^2]	Volume [m^3]	Volume acumulado [m^3]	Área [m^2]	Volume [m^3]	Volume acumulado [m^3]	
0+000,00	0,00	0	0	0,00	0	0	0
0+025,00	6,38	80	80	17,60	220	220	-140
0+050,00	0,00	80	160	63,22	1010	1230	-1071
0+075,00	0,00	0	160	128,59	2398	3628	-3468
0+100,00	0,00	0	160	205,04	4170	7798	-7639
0+125,00	0,00	0	160	227,88	5411	13210	-13050
0+150,00	0,00	0	160	90,15	3975	17185	-17026
0+175,00	0,00	0	160	109,56	2496	19682	-19522
0+200,00	0,00	0	160	334,35	5549	25230	-25071
0+225,00	0,00	0	160	640,06	12180	37411	-37251
0+250,00	0,00	0	160	353,23	12416	49827	-49667
0+275,00	0,00	0	160	223,41	7208	57035	-56875
0+300,00	0,00	0	160	200,13	5294	62329	-62169
0+325,00	0,00	0	160	127,65	4097	66426	-66267
0+350,00	0,00	0	160	93,64	2766	69192	-69033
0+375,00	16,06	201	360	9,93	1295	70487	-70127
0+400,00	30,70	585	945	0,72	133	70620	-69675

(Continuação)

PK [m]	Escavação			Aterro			Diferença entre o Volume de escavação e o Volume de aterro acumulado [m^3]
	Área [m^2]	Volume [m^3]	Volume acumulado [m^3]	Área [m^2]	Volume [m^3]	Volume acumulado [m^3]	
0+425,00	15,66	580	1525	0,01	9	70629	-69105
0+450,00	0,00	196	1720	45,47	569	71198	-69477
0+475,00	0,00	0	1720	90,78	1703	72901	-71180
0+500,00	0,00	0	1720	106,78	2470	75370	-73650
0+525,00	0,00	0	1720	86,40	2415	77785	-76065
0+550,00	0,00	0	1720	89,78	2202	79987	-78267
0+575,00	0,00	0	1720	102,92	2409	82396	-80676
0+600,00	0,00	0	1720	78,00	2262	84658	-82937
0+625,00	0,00	0	1720	56,89	1686	86344	-84624
0+650,00	0,00	0	1720	46,10	1287	87631	-85911
0+675,00	0,27	3	1724	35,07	1015	88646	-86922
0+692,61	3,81	36	1760	22,47	507	89152	-87393
0+700,00	5,08	33	1792	14,02	135	89287	-87495
0+717,61	5,40	92	1885	9,09	203	89491	-87606
0+725,00	2,66	30	1914	4,36	50	89541	-87626
0+742,61	0,00	23	1938	40,94	399	89939	-88001
0+750,00	0,00	0	1938	63,74	387	90326	-88388
0+775,00	0,00	0	1938	216,99	3533	93859	-91921
0+800,00	0,00	0	1938	424,35	8124	101983	-100045
0+811,36	0,00	0	1938	514,81	5394	107377	-105439
0+825,00	0,00	0	1938	681,72	8145	115522	-113584
0+834,60	0,00	0	1938	809,87	7039	122561	-120623
0+850,00	0,07	0	1938	775,37	11939	134500	-132561
0+857,84	0,00	0	1939	536,48	5036	139536	-137597
0+875,00	0,00	0	1939	210,91	6322	145858	-143919
0+900,00	0,00	0	1939	39,58	3108	148966	-147027
0+925,00	0,00	0	1939	27,79	839	149805	-147866
0+926,59	0,00	0	1939	27,97	44	149849	-147910
0+950,00	0,00	0	1939	38,43	777	150626	-148688
0+951,59	0,00	0	1939	39,13	62	150688	-148749
0+975,00	0,00	0	1939	42,10	951	151639	-149700
0+976,59	0,00	0	1939	41,99	67	151705	-149767
1+000,00	0,00	0	1939	38,67	944	152650	-150711
1+025,00	0,93	12	1950	24,19	786	153435	-151485
1+050,00	4,16	64	2014	9,24	418	153853	-151839
1+075,00	7,02	140	2154	2,81	151	154004	-151850
1+100,00	18,45	318	2472	0,23	38	154042	-151569
1+125,00	18,25	459	2931	0,00	3	154045	-151114
1+150,00	50,05	854	3785	0,00	0	154045	-150260
1+175,00	80,92	1637	5422	0,00	0	154045	-148623
1+200,00	112,06	2412	7834	0,00	0	154045	-146210

(Continuação)

PK [m]	Escavação			Aterro			Diferença entre o Volume de escavação e o Volume de aterro acumulado [m^3]
	Área [m^2]	Volume [m^3]	Volume acumulado [m^3]	Área [m^2]	Volume [m^3]	Volume acumulado [m^3]	
1+225,00	126,16	2978	10812	0,00	0	154045	-143233
1+250,00	120,45	3083	13895	0,00	0	154045	-140150
1+275,00	95,01	2693	16588	0,00	0	154045	-137457
1+300,00	64,04	1988	18576	0,00	0	154045	-135469
1+325,00	55,83	1498	20074	0,00	0	154045	-133970
1+350,00	71,39	1590	21664	0,00	0	154045	-132380
1+375,00	78,59	1875	23539	0,00	0	154045	-130505
1+400,00	61,41	1750	25289	0,00	0	154045	-128756
1+407,52	49,06	415	25704	0,00	0	154045	-128340
1+425,00	11,73	531	26236	0,00	0	154045	-127809
1+432,52	3,26	56	26292	6,19	23	154068	-127776
1+450,00	0,00	29	26321	39,71	401	154469	-128148
1+457,52	0,00	0	26321	58,42	369	154838	-128517
1+475,00	0,00	0	26321	99,14	1381	156219	-129899
1+500,00	0,00	0	26321	166,94	3345	159564	-133244
1+525,00	0,00	0	26321	229,34	4987	164551	-138231
1+526,27	0,00	0	26321	232,19	293	164844	-138524
1+550,00	0,00	0	26321	273,00	6005	170850	-144529
1+572,31	0,00	0	26321	309,85	6514	177363	-151043
1+575,00	0,00	0	26321	318,03	844	178207	-151886
1+600,00	0,00	0	26321	370,72	8679	186886	-160565
1+618,36	0,00	0	26321	396,88	7143	194029	-167708
1+625,00	0,00	0	26321	396,10	2679	196708	-170387
1+650,00	0,00	0	26321	334,68	9266	205974	-179654
1+675,00	0,00	0	26321	248,15	7349	213323	-187002
1+687,11	0,00	0	26321	210,28	2775	216098	-189777
1+700,00	0,00	0	26321	175,76	2489	218587	-192266
1+712,11	0,00	0	26321	146,39	1950	220536	-194216
1+725,00	0,00	0	26321	122,48	1734	222270	-195949
1+737,11	0,00	0	26321	91,43	1295	223565	-197244
1+750,00	0,00	0	26321	62,57	993	224557	-198237
1+775,00	0,00	0	26321	41,65	1303	225860	-199540
1+800,00	0,00	0	26321	39,10	1009	226870	-200549
1+825,00	0,00	0	26321	26,56	821	227690	-201370
1+850,00	6,32	79	26400	0,00	332	228022	-201623
1+875,00	32,64	487	26887	0,00	0	228022	-201136
1+900,00	48,69	1017	27903	0,00	0	228022	-200119
1+925,00	55,22	1299	29202	0,00	0	228022	-198820
1+950,00	37,03	1153	30355	0,00	0	228022	-197667
1+975,00	0,00	463	30818	12,63	158	228180	-197362
2+000,00	0,00	0	30818	94,25	1336	229516	-198698

(Continuação)

PK [m]	*Escavação*			*Aterro*			*Diferença entre o Volume de escavação e o Volume de aterro acumulado [m^3]*
	Área [m^2]	*Volume [m^3]*	*Volume acumulado [m^3]*	*Área [m^2]*	*Volume [m^3]*	*Volume acumulado [m^3]*	
2+025,00	0,00	0	30818	190,02	3553	233070	-202251
2+050,00	0,00	0	30818	191,00	4763	237832	-207014
2+075,00	0,00	0	30818	173,21	4553	242385	-211567
2+100,00	0,00	0	30818	209,67	4786	247171	-216353
2+125,00	0,00	0	30818	259,96	5870	253042	-222223
2+150,00	0,00	0	30818	351,19	7639	260681	-229863
2+175,00	0,00	0	30818	514,46	10821	271501	-240683
2+200,00	0,00	0	30818	364,54	10987	282489	-251671
2+225,00	0,00	0	30818	161,12	6571	289060	-258241
2+250,00	0,00	0	30818	94,13	3191	292250	-261432
2+275,00	0,00	0	30818	87,70	2273	294523	-263705
2+300,00	0,00	0	30818	53,19	1761	296284	-265466
2+325,00	8,73	109	30927	15,69	861	297145	-266218
2+350,00	78,87	1095	32022	0,00	196	297341	-265319
2+375,00	152,59	2893	34916	3,11	39	297380	-262464
2+400,00	100,96	3169	38085	35,37	481	297861	-259776
2+425,00	335,84	5460	43545	0,00	442	298304	-254758
2+450,00	371,87	8846	52392	0,00	0	298304	-245912
2+475,00	256,18	7851	60242	0,00	0	298304	-238061
2+500,00	283,72	6749	66991	0,00	0	298304	-231313
2+525,00	342,42	7827	74818	0,00	0	298304	-223486
2+550,00	390,76	9165	83982	0,00	0	298304	-214321
2+575,00	435,89	10333	94316	0,00	0	298304	-203988
2+600,00	478,39	11429	105744	0,00	0	298304	-192559
2+625,00	503,56	12274	118018	0,00	0	298304	-180285
2+650,00	485,06	12358	130376	0,00	0	298304	-167927
2+675,00	462,26	11842	142218	0,00	0	298304	-156086
2+700,00	468,46	11634	153852	0,00	0	298304	-144452
2+719,36	459,19	8980	162832	0,00	0	298304	-135471
2+725,00	461,69	2596	165428	0,00	0	298304	-132875
2+744,36	466,49	8985	174414	0,00	0	298304	-123890
2+750,00	469,22	2638	177052	0,00	0	298304	-121252
2+769,36	453,46	8932	185984	0,00	0	298304	-112320
2+775,00	440,32	2520	188504	0,00	0	298304	-109800
2+800,00	410,11	10645	199148	0,00	0	298304	-99155
2+825,00	438,09	10601	209749	0,00	0	298304	-88554
2+838,11	468,46	5932	215681	0,00	0	298304	-82622
2+850,00	494,30	5711	221393	0,00	0	298304	-76911
2+875,00	597,77	13674	235066	0,00	0	298304	-63237
2+880,61	621,95	3439	238505	0,00	0	298304	-59798
2+900,00	534,18	11236	249741	0,00	0	298304	-48563

(Continuação)

PK [m]	Escavação			Aterro			Diferença entre o Volume de escavação e o Volume de aterro acumulado [m^3]
	Área [m^2]	Volume [m^3]	Volume acumulado [m^3]	Área [m^2]	Volume [m^3]	Volume acumulado [m^3]	
2+923,10	425,76	11019	260760	0,00	0	298304	-37543
2+925,00	423,33	805	261565	0,00	0	298304	-36739
2+950,00	473,80	11081	272646	0,00	0	298304	-25658
2+975,00	554,09	12756	285402	0,00	0	298304	-12902
2+991,85	559,35	9359	294760	0,00	0	298304	-3543
3+000,00	561,36	4564	299325	0,00	0	298304	1021
3+016,85	561,94	9466	308791	0,00	0	298304	10487
3+025,00	567,54	4600	313391	0,00	0	298304	15088
3+041,85	552,04	9435	322826	0,00	0	298304	24523
3+050,00	521,32	4372	327198	0,00	0	298304	28894
3+075,00	453,12	12180	339378	0,00	0	298304	41075
3+100,00	422,91	10950	350328	0,00	0	298304	52025
3+125,00	358,69	9770	360099	0,00	0	298304	61795
3+150,00	346,06	8809	368908	0,00	0	298304	70604
3+175,00	337,57	8545	377453	0,00	0	298304	79150
3+200,00	356,43	8675	386128	0,00	0	298304	87825
3+225,00	362,75	8990	395118	0,00	0	298304	96814
3+250,00	366,74	9119	404237	0,00	0	298304	105933
3+275,00	347,58	8929	413166	0,00	0	298304	114862
3+300,00	359,08	8833	421999	0,00	0	298304	123695
3+325,00	315,01	8426	430425	0,00	0	298304	132121
3+350,00	269,18	7302	437727	0,00	0	298304	139424
3+375,00	250,90	6501	444228	0,00	0	298304	145925
3+400,00	240,28	6140	450368	0,00	0	298304	152065
3+425,00	228,02	5854	456222	0,00	0	298304	157918
3+450,00	179,63	5096	461318	0,00	0	298304	163014
3+472,41	84,45	2959	464277	0,00	0	298304	165973
3+475,00	73,44	204	464481	0,00	0	298304	166178
3+497,41	7,90	911	465393	10,04	113	298416	166976
3+500,00	2,89	14	465407	13,14	30	298446	166960
3+522,41	0,00	32	465439	77,58	1017	299463	165976
3+525,00	0,00	0	465439	80,73	205	299668	165771
3+550,00	0,00	0	465439	104,28	2320	301988	163451
3+575,00	0,00	0	465439	127,62	2922	304910	160529
3+591,16	0,00	0	465439	173,09	2464	307374	158065
3+600,00	0,00	0	465439	181,97	1601	308975	156464
3+625,00	0,01	0	465439	173,23	4559	313534	151905
3+633,82	0,00	0	465439	164,97	1541	315075	150364
3+650,00	0,03	0	465439	164,19	2737	317812	147627
3+675,00	0,01	1	465440	244,35	5228	323040	142399
3+676,49	0,00	0	465440	250,77	368	323408	142031

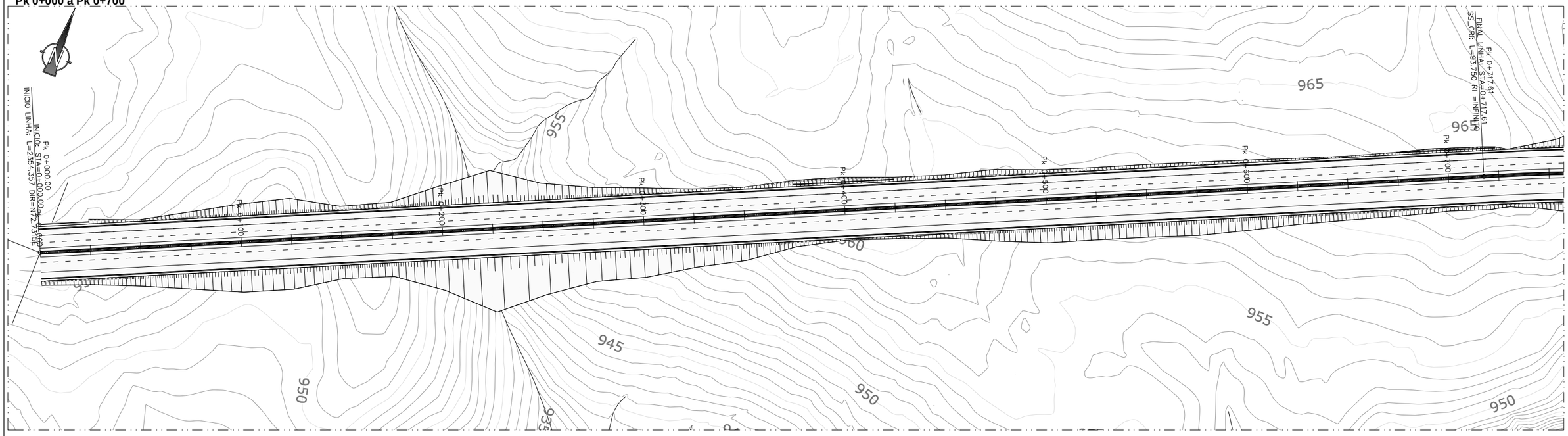
(Continuação)

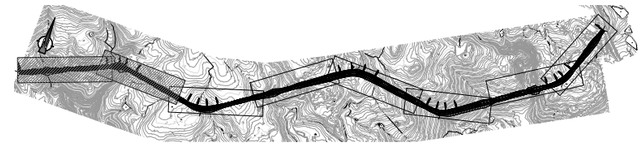
PK [m]	Escavação			Aterro			Diferença entre o Volume de escavação e o Volume de aterro acumulado [m^3]
	Área [m^2]	Volume [m^3]	Volume acumulado [m^3]	Área [m^2]	Volume [m^3]	Volume acumulado [m^3]	
3+700,00	0,00	0	465440	317,54	6839	330247	135193
3+725,00	0,00	0	465440	349,88	8478	338725	126714
3+745,24	0,00	0	465440	345,81	7103	345828	119612
3+750,00	0,00	0	465440	346,89	1650	347478	117962
3+770,24	0,00	0	465440	354,07	7093	354570	110869
3+775,00	0,00	0	465440	353,91	1686	356257	109183
3+795,24	0,00	0	465440	344,94	7071	363328	102112
3+800,00	0,00	0	465440	348,26	1651	364979	100461
3+825,00	0,00	0	465440	374,64	9036	374015	91425
3+850,00	0,00	0	465440	401,96	9707	383722	81717
3+875,00	0,00	0	465440	398,99	10012	393734	71705
3+900,00	0,00	0	465440	415,04	10175	403910	61530
3+925,00	0,00	0	465440	430,88	10574	414484	50956
3+950,00	0,00	0	465440	453,86	11059	425543	39897
3+975,00	0,00	0	465440	539,92	12422	437965	27475
4+000,00	0,00	0	465440	576,09	13950	451915	13525
4+025,00	0,00	0	465440	387,52	12045	463960	1479
4+050,00	0,00	0	465440	252,74	8003	471964	-6524
4+075,00	2,65	33	465473	61,95	3934	475897	-10424
4+100,00	23,37	325	465798	3,99	824	476721	-10923
4+125,00	35,64	738	466536	13,23	215	476937	-10401
4+150,00	47,93	1045	467580	11,06	304	477240	-9660
4+175,00	17,75	821	468401	15,83	336	477576	-9175
4+200,00	38,57	704	469105	10,81	333	477909	-8804
4+225,00	49,72	1104	470209	5,45	203	478112	-7903
4+250,00	111,50	2015	472224	0,00	68	478181	-5956
4+275,00	145,89	3217	475442	0,00	0	478181	-2739
4+300,00	114,85	3259	478701	0,00	0	478181	520
4+325,00	117,48	2904	481605	0,00	0	478181	3424
4+350,00	59,71	2215	483820	0,00	0	478181	5639
4+375,00	0,00	746	484566	316,04	3950	482131	2435
4+400,00	0,00	0	484566	430,28	9329	491460	-6894
4+425,00	0,00	0	484566	745,96	14703	506163	-21597
4+450,00	0,00	0	484566	500,54	15581	521744	-37178
4+475,00	56,02	700	485267	0,00	6257	528001	-42735
4+500,00	48,59	1308	486574	0,00	0	528001	-41427
4+507,94	51,61	398	486972	0,00	0	528001	-41029
4+525,00	49,82	865	487837	0,00	0	528001	-40164
4+532,94	50,71	399	488236	0,00	0	528001	-39765
4+550,00	60,02	945	489181	0,00	0	528001	-38820
4+557,94	61,56	483	489663	0,00	0	528001	-38338

(Continuação)

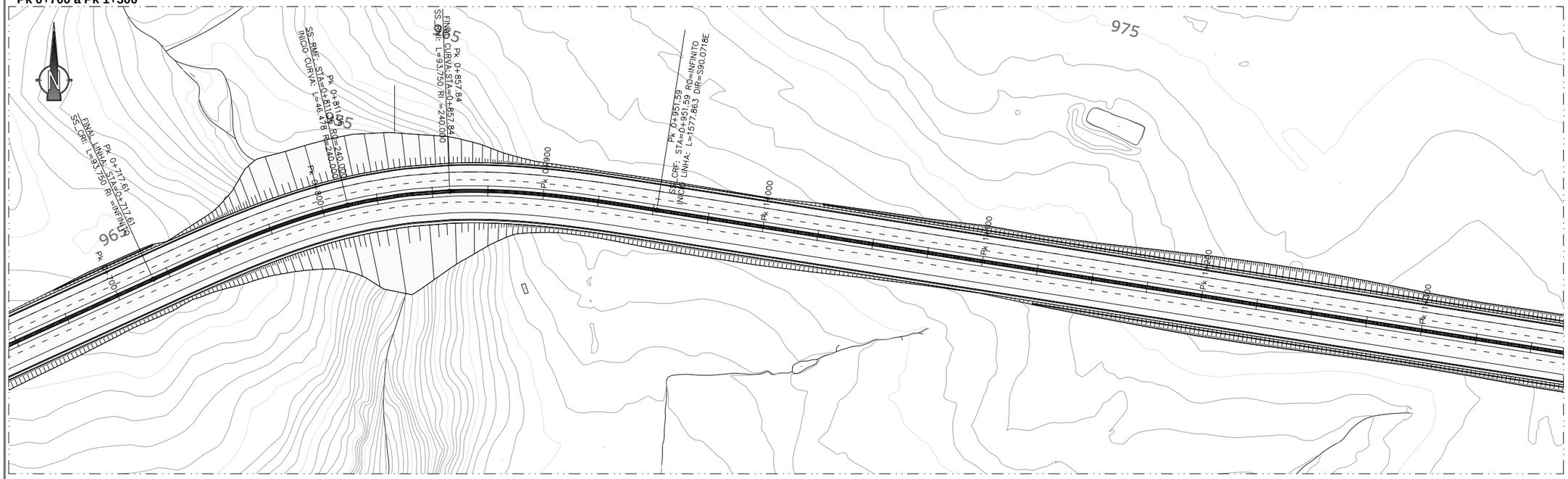
PK [m]	Escavação			Aterro			Diferença entre o Volume de escavação e o Volume de aterro acumulado [m^3]
	Área [m^2]	Volume [m^3]	Volume acumulado [m^3]	Área [m^2]	Volume [m^3]	Volume acumulado [m^3]	
4+575,00	79,87	1202	490866	0,00	0	528001	-37136
4+600,00	122,42	2509	493375	0,00	0	528001	-34627
4+625,00	160,27	3493	496867	0,00	0	528001	-31134
4+626,69	162,81	273	497140	0,00	0	528001	-30861
4+650,00	246,04	4679	501818	0,00	0	528001	-26183
4+659,01	254,97	2210	504028	0,00	0	528001	-23973
4+675,00	271,89	4141	508169	0,00	0	528001	-19832
4+691,33	260,71	4292	512461	0,00	0	528001	-15540
4+700,00	236,67	2135	514596	0,00	0	528001	-13405
4+725,00	167,71	5023	519619	0,00	0	528001	-8382
4+750,00	120,98	3602	523221	0,00	0	528001	-4780
4+760,08	97,56	1101	524323	0,00	0	528001	-3679
4+775,00	56,27	1148	525470	0,00	0	528001	-2531
4+785,08	30,54	437	525908	0,00	0	528001	-2093
4+800,00	0,00	228	526136	20,28	151	528153	-2017
4+810,08	0,00	0	526136	28,63	246	528399	-2263
4+825,00	0,00	0	526136	65,14	700	529099	-2963
4+850,00	0,00	0	526136	112,10	2216	531314	-5178
4+875,00	0,00	0	526136	146,22	3229	534543	-8408
4+900,00	0,00	0	526136	170,52	3959	538503	-12367
4+925,00	0,00	0	526136	161,80	4154	542657	-16521
4+950,00	0,00	0	526136	254,63	5205	547862	-21726
4+975,00	0,00	0	526136	315,76	7130	554992	-28856
5+000,00	0,00	0	526136	320,66	7955	562947	-36811
5+025,00	0,00	0	526136	330,66	8142	571089	-44953
5+050,00	0,00	0	526136	361,08	8647	579736	-53600
5+075,00	0,00	0	526136	346,14	8840	588576	-62440
5+100,00	0,00	0	526136	261,69	7598	596174	-70038
5+125,00	0,00	0	526136	154,26	5199	601373	-75237
5+150,00	0,00	0	526136	57,39	2646	604019	-77883
5+175,00	0,00	0	526136	0,00	717	604736	-78601
5+194,86	0,00	0	526136	0,00	0	604736	-78601

Pk 0+000 a Pk 0+700





Pk 0+700 a Pk 1+300



Caso de Estudo E
Velocidade Base: 80 km/h
Abordagem: Segurança
Normativo: Portugal

Apêndice E.4.

Parte 1 de 4

Perfil Longitudinal

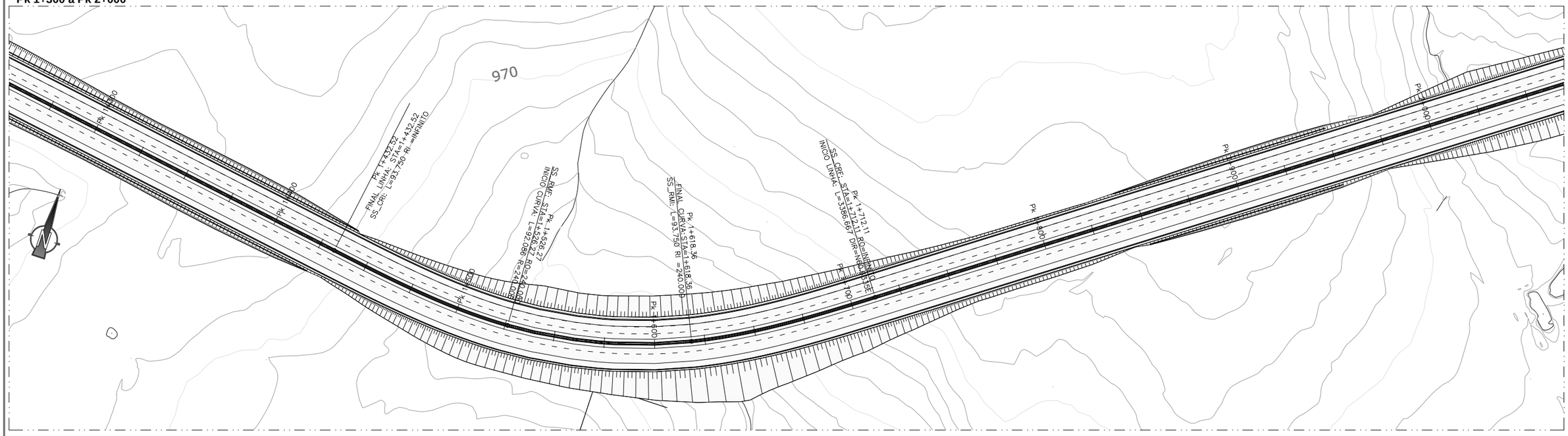
Esc. 1:2000

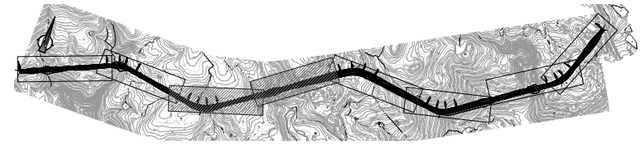
U.PORTO
FEUP FACULDADE DE ENGENHARIA
UNIVERSIDADE DO PORTO

Dissertação de Mestrado
"Projeto de autoestradas do México: comparação com o caso português"
junho de 2014

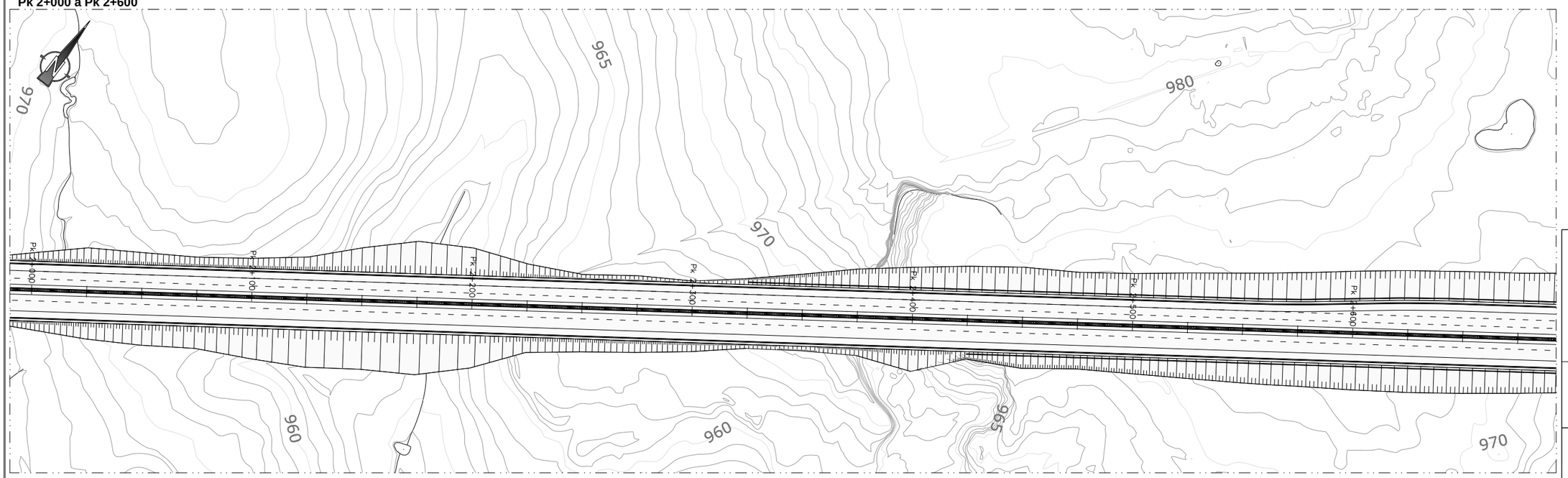
Autora: Lígia Conceição Pereira

Pk 1+300 a Pk 2+000





Pk 2+000 a Pk 2+600



Caso de Estudo E
Velocidade Base: 80 km/h
Abordagem: Segurança
Normativo: Portugal

Apêndice E.4.

Parte 2 de 4

Perfil Longitudinal

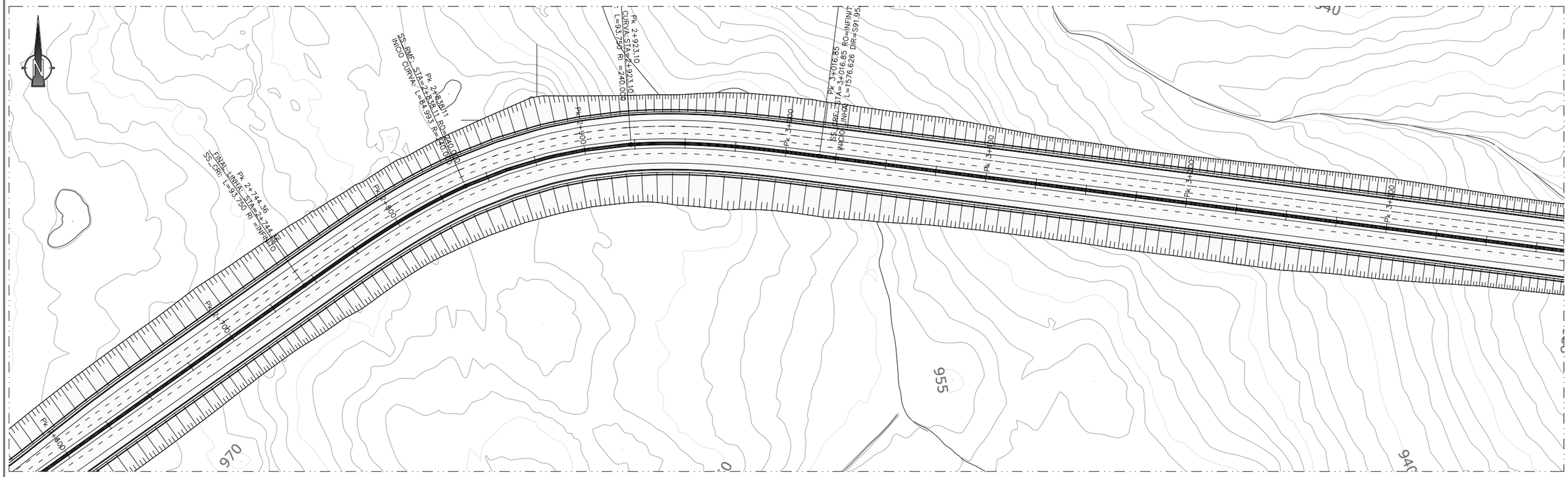
Esc. 1:2000

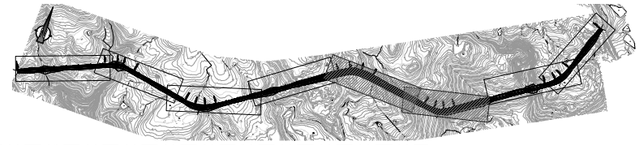
U.PORTO
FEUP FACULDADE DE ENGENHARIA
UNIVERSIDADE DO PORTO

Dissertação de Mestrado
"Projeto de autoestradas do México: comparação com o caso português"
junho de 2014

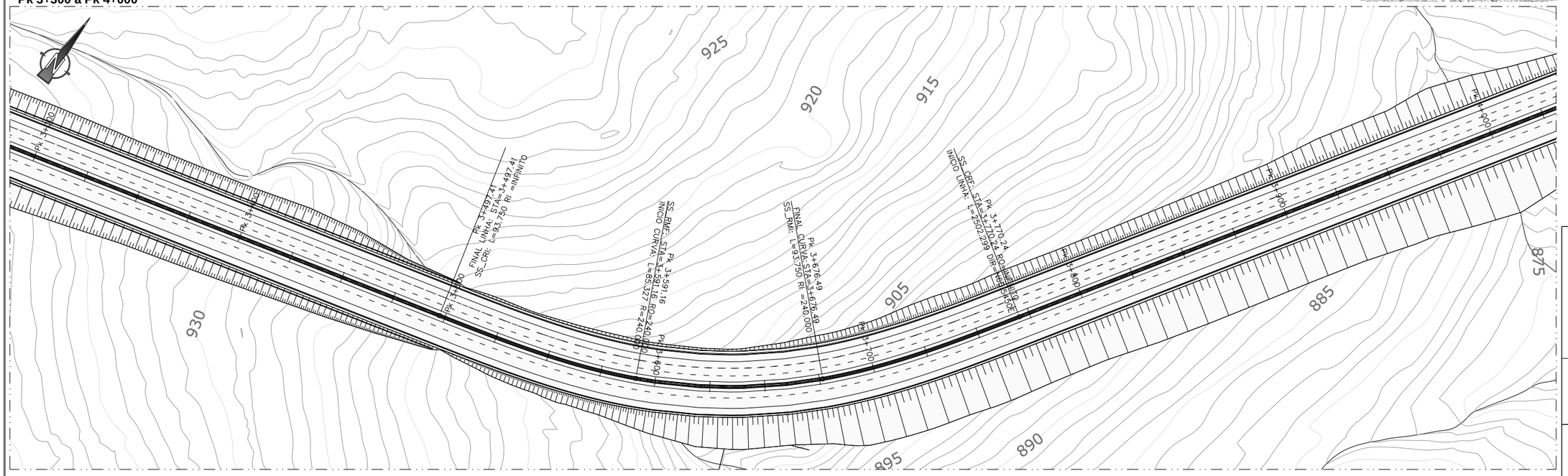
Autora: Lígia Conceição Pereira

Pk 2+600 a Pk 3+300





Pk 3+300 a Pk 4+000



Caso de Estudo E
Velocidade Base: 80 km/h
Abordagem: Segurança
Normativo: Portugal

Apêndice E.4.

Parte 3 de 4

Perfil Longitudinal

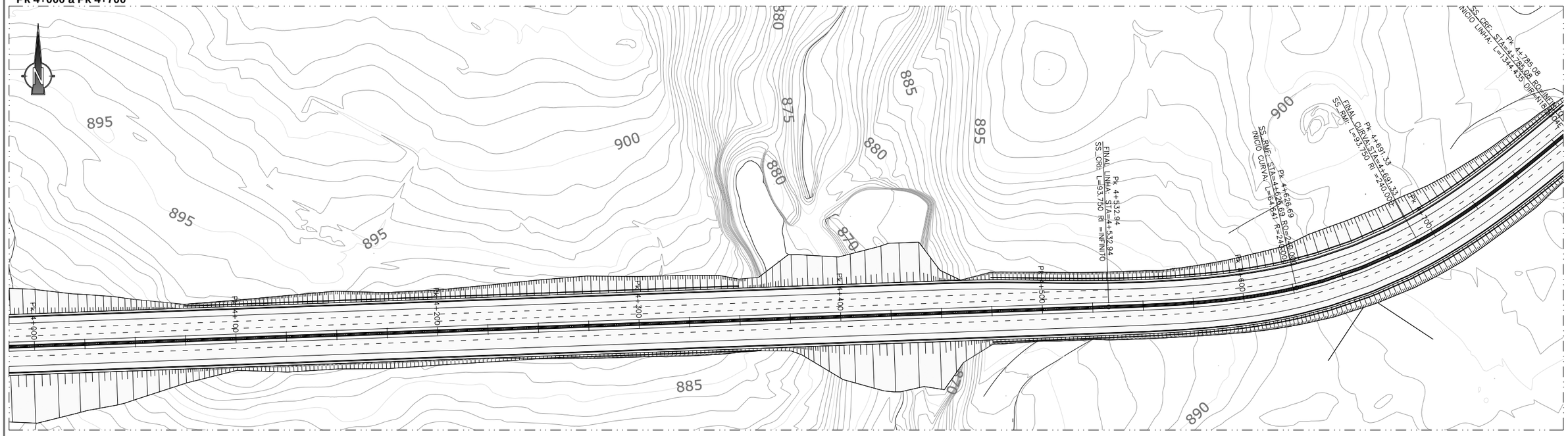
Esc. 1:2000

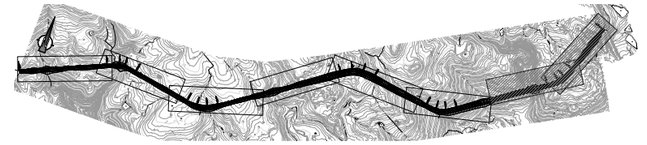
U.PORTO
FEUP FACULDADE DE ENGENHARIA
UNIVERSIDADE DO PORTO

Dissertação de Mestrado
"Projeto de autoestradas do México: comparação com o caso português"
junho de 2014

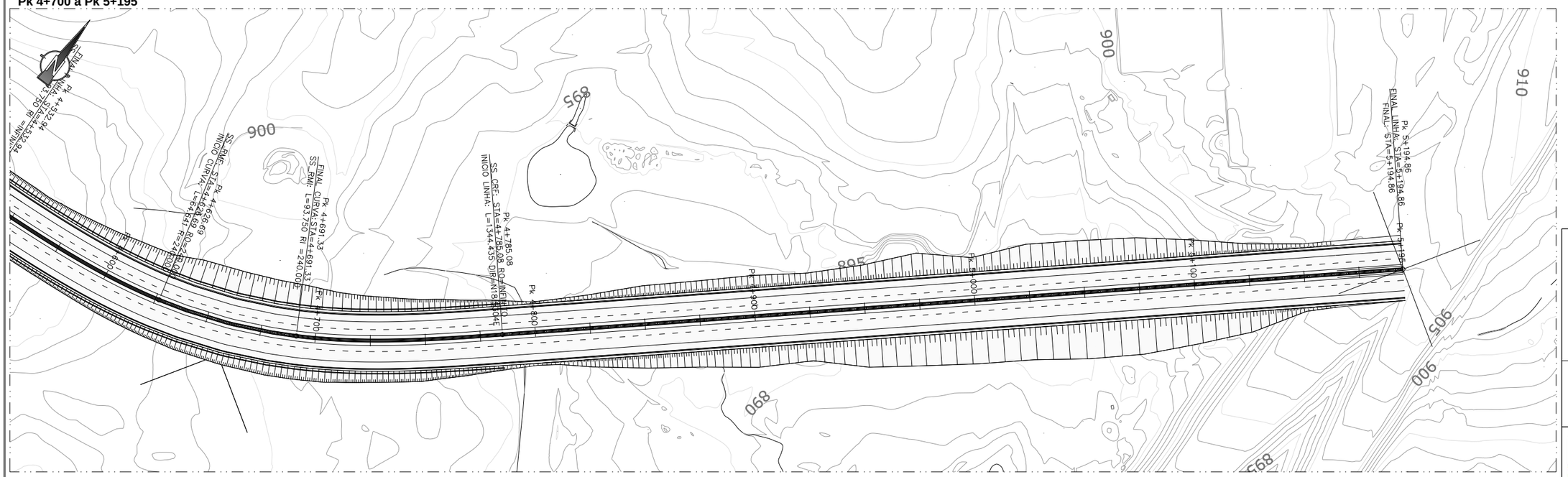
Autora: Lígia Conceição Pereira

Pk 4+000 a Pk 4+700





Pk 4+700 a Pk 5+195



Caso de Estudo E
Velocidade Base: 80 km/h
Abordagem: Segurança
Normativo: Portugal

Apêndice E.4.

Parte 4 de 4

Perfil Longitudinal

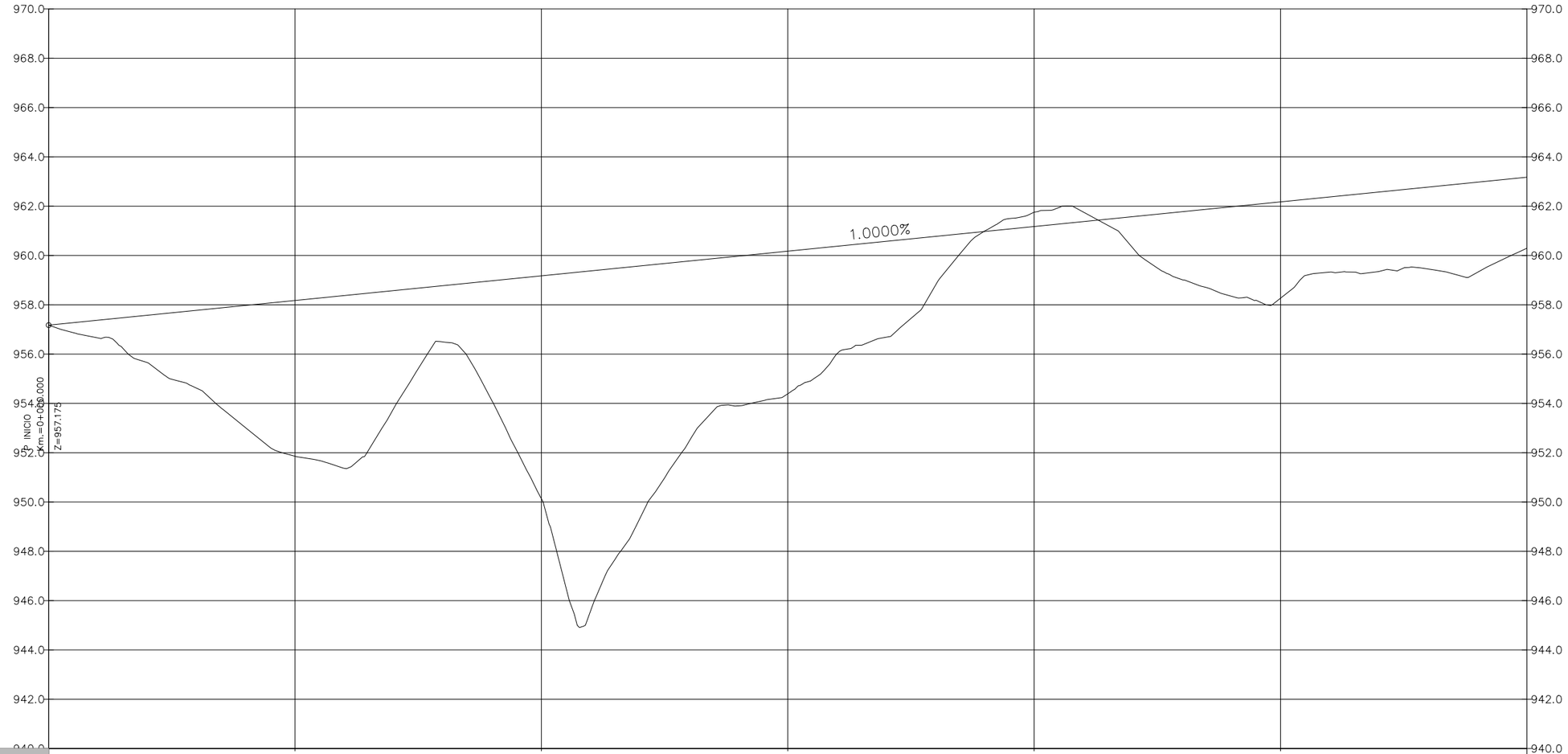
Esc. 1:2000

U.PORTO
FEUP FACULDADE DE ENGENHARIA
UNIVERSIDADE DO PORTO

Dissertação de Mestrado
"Projeto de autoestradas do México: comparação com o caso português"
junho de 2014

Autora: Lígia Conceição Pereira

E5. PERFIL LONGITUDINAL



QUILOMETRAGEM		0+100				0+200				0+300				0+400				0+500						
PERFIL LONGITUDINAL	Cota da Rasante	957.425	957.675	957.925	958.175	958.425	958.675	958.925	959.175	959.425	959.675	959.925	960.175	960.425	960.675	960.925	961.175	961.425	961.675	961.925	962.175	962.425	962.675	962.925
	Cota do Terreno	956.65	954.98	953.41	951.86	951.62	955.41	955.04	950.13	946.81	950.97	953.93	954.39	956.21	957.45	960.65	961.76	961.49	959.49	958.50	958.27	959.33	959.49	959.12
	Elementos da Rasante	i=1.000% L=1717.585																						
PLANTA	Pontos Notáveis	km=0+000.000																					km=0+717	
	Diagrama de Curvas	L=717.608 R= 00																						
	Sobreelevação (%)																							

Caso de Estudo E
Velocidade Base: 80 km/h
Abordagem: Segurança
Normativo: Portugal

Apêndice E.5.

Parte 1 de 10

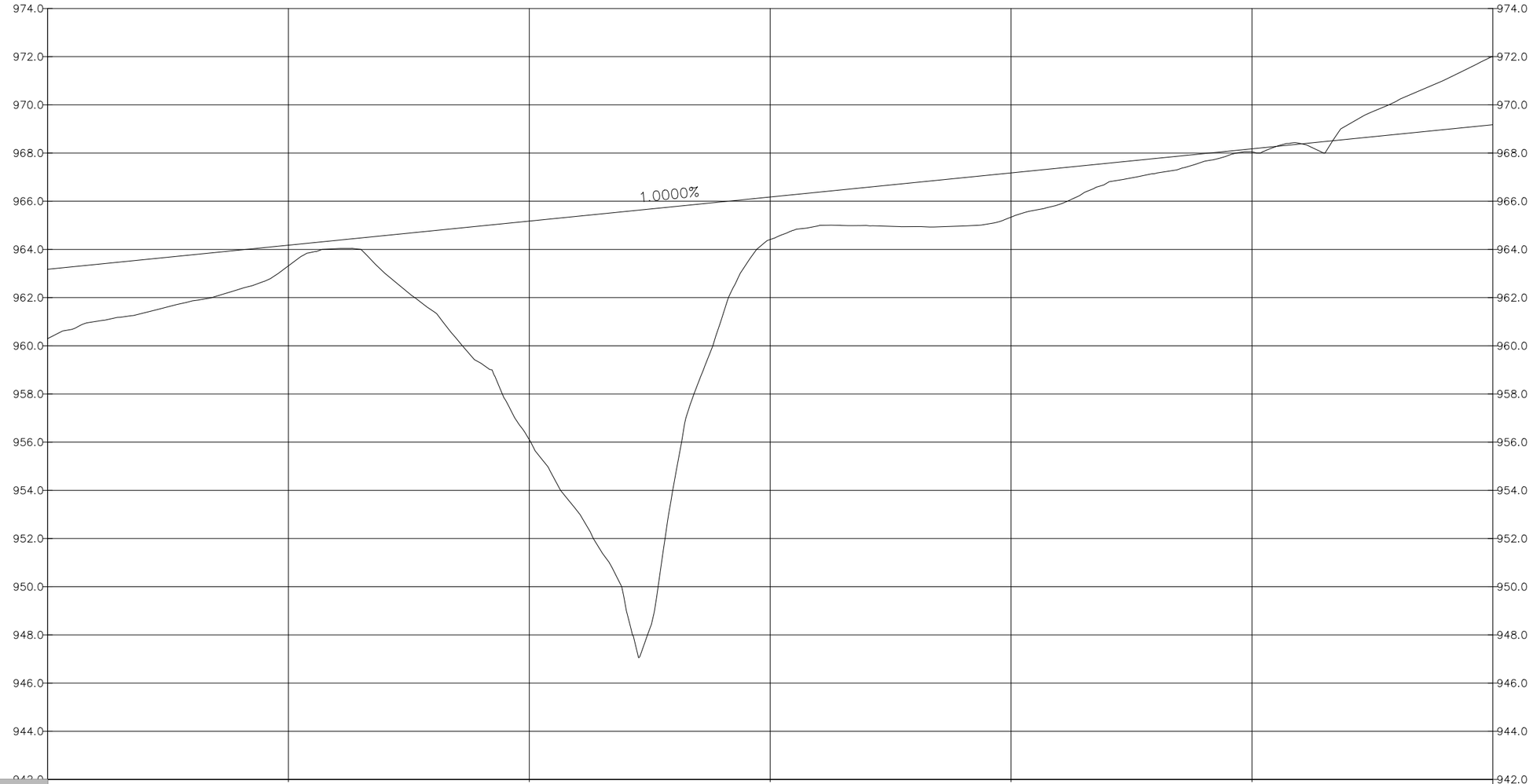
Perfil Longitudinal

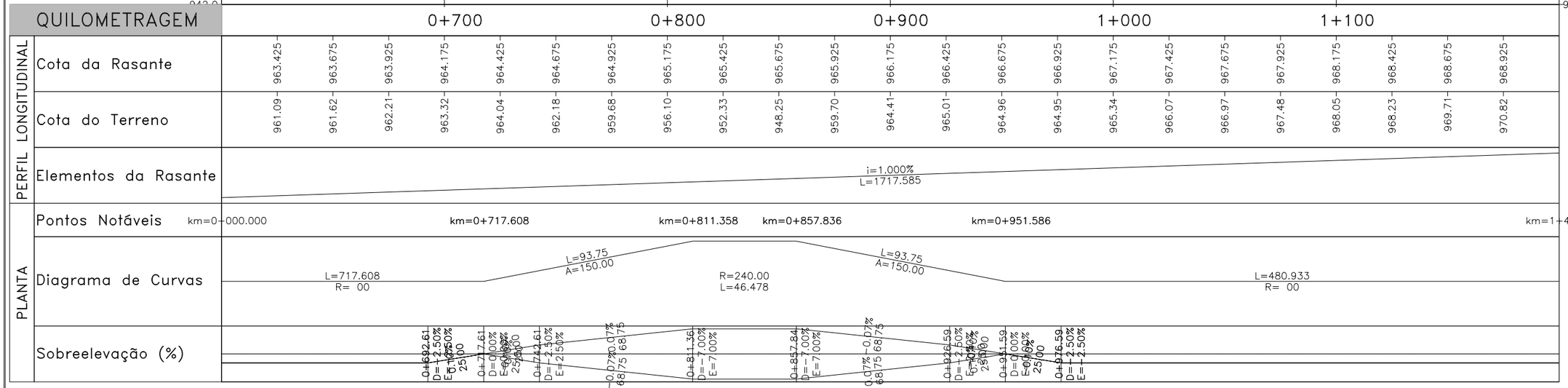
Esc. Vertical 1:200
Esc. Horizontal 1:2000

U.PORTO
FEUP FACULDADE DE ENGENHARIA
UNIVERSIDADE DO PORTO

Dissertação de Mestrado
"Projeto de autoestradas do México: comparação com o caso português"
junho de 2014

Autora: Lígia Conceição Pereira





Caso de Estudo E
Velocidade Base: 80 km/h
Abordagem: Segurança
Normativo: Portugal

Apêndice E.5.

Parte 2 de 10

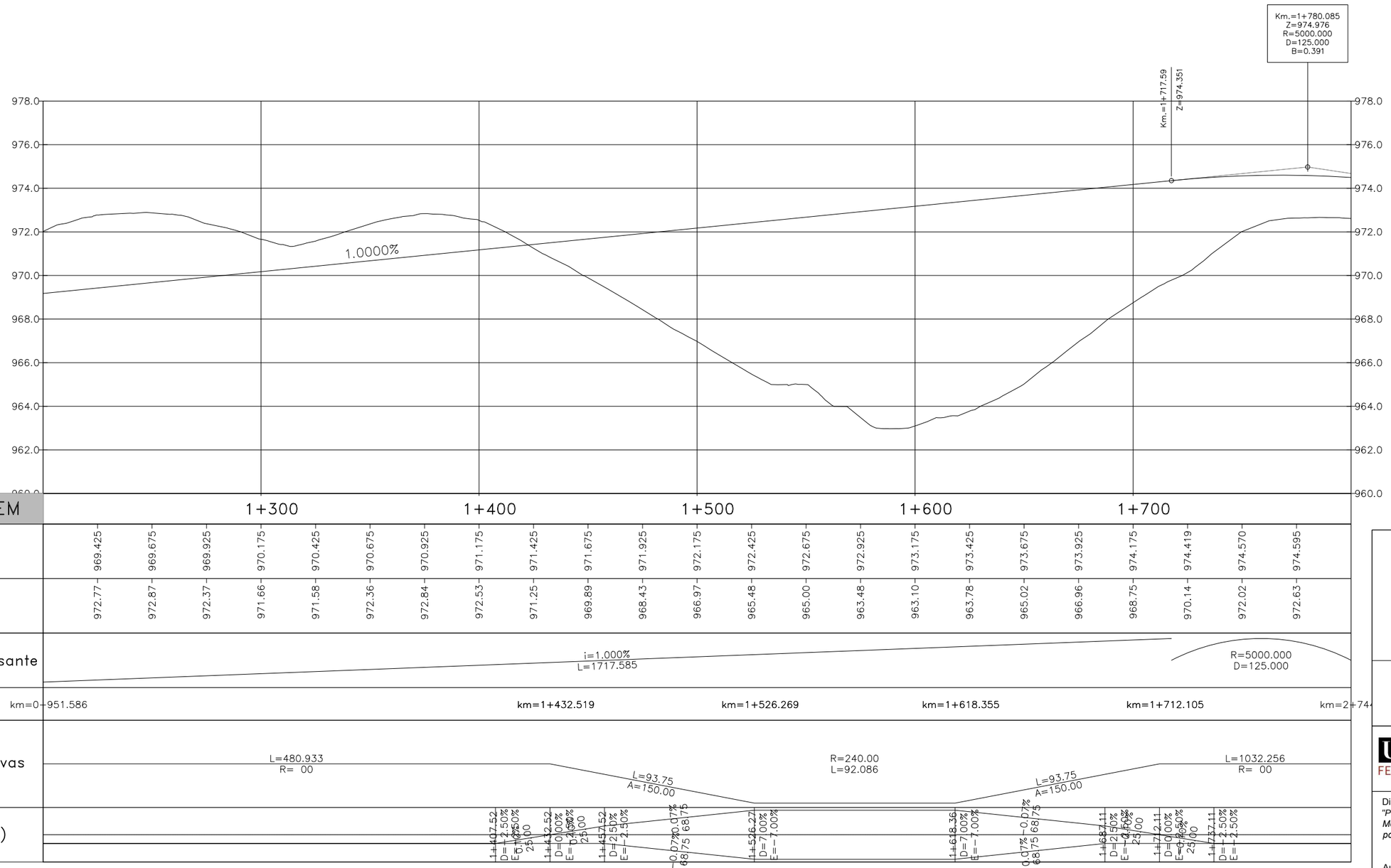
Perfil Longitudinal

Esc. Vertical 1:200
Esc. Horizontal 1:2000

U.PORTO
FEUP FACULDADE DE ENGENHARIA
UNIVERSIDADE DO PORTO

Dissertação de Mestrado
"Projeto de autoestradas do México: comparação com o caso português"
junho de 2014

Autora: Lígia Conceição Pereira



Caso de Estudo E
Velocidade Base: 80 km/h
Abordagem: Segurança
Normativo: Portugal

Apêndice E.5.

Parte 3 de 10

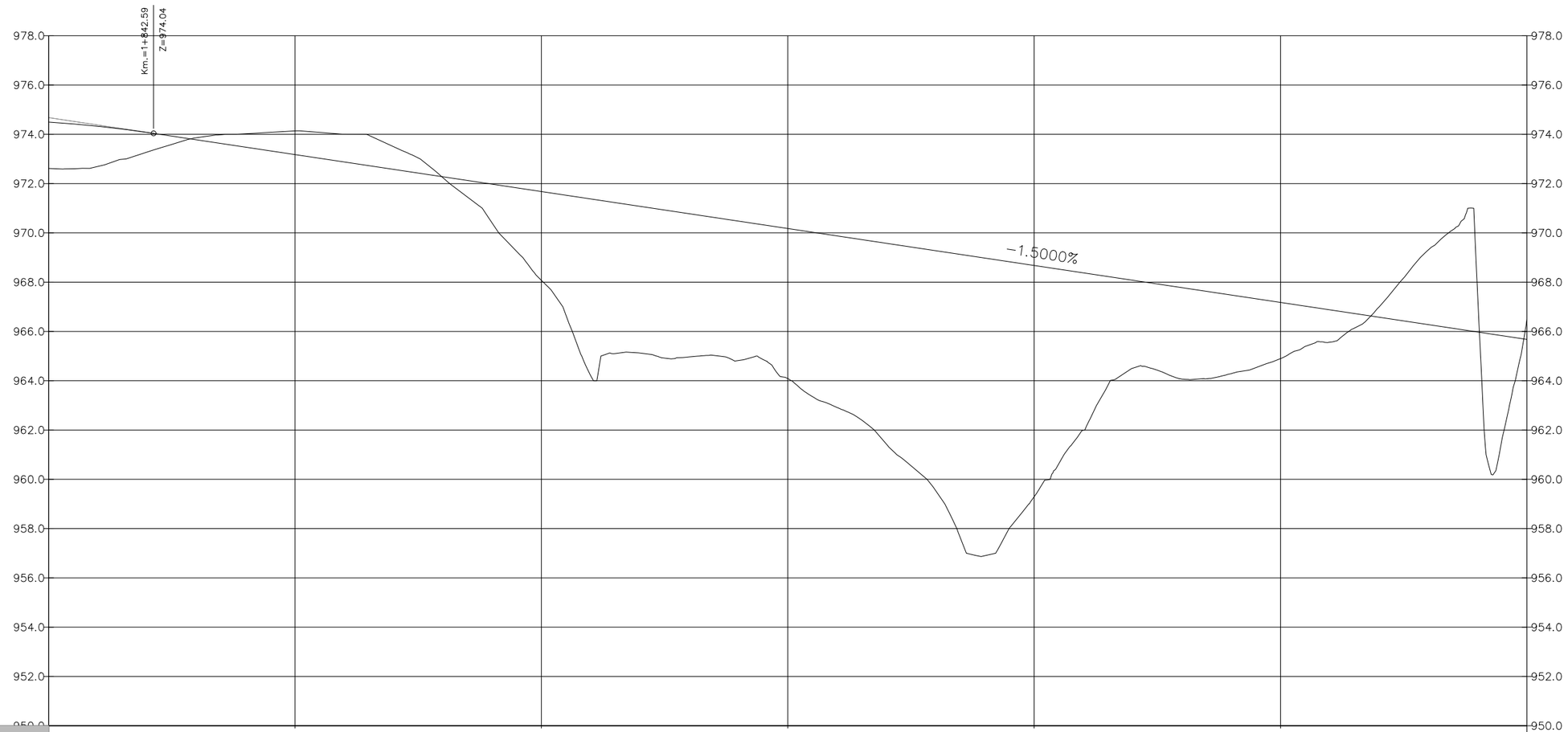
Perfil Longitudinal

Esc. Vertical 1:200
Esc. Horizontal 1:2000

U.PORTO
FEUP FACULDADE DE ENGENHARIA
UNIVERSIDADE DO PORTO

Dissertação de Mestrado
"Projeto de autoestradas do México: comparação com o caso português"
junho de 2014

Autora: Lígia Conceição Pereira



QUILOMETRAGEM		1+900				2+000				2+100				2+200				2+300					
PERFIL LONGITUDINAL	Cota da Rasante	974.271	973.927	973.552	973.177	972.802	972.427	972.052	971.677	971.302	970.927	970.552	970.177	969.802	969.427	969.052	968.677	968.302	967.927	967.552	967.177	966.802	966.427	966.052
	Cota do Terreno	972.84	973.59	974.00	974.14	974.00	973.04	971.08	968.07	965.03	964.92	964.96	964.09	962.70	960.55	956.94	959.29	962.93	964.43	964.16	964.90	965.80	968.17	970.71
	Elementos da Rasante	R=5000.000 D=125.000											i=−1.500% L=719.659											
PLANTA	Pontos Notáveis	km=1+712.105																					km=2+74	
	Diagrama de Curvas												L=1032.256 R= 00											
	Sobreelevação (%)																							

Caso de Estudo E
Velocidade Base: 80 km/h
Abordagem: Segurança
Normativo: Portugal

Apêndice E.5.

Parte 4 de 10

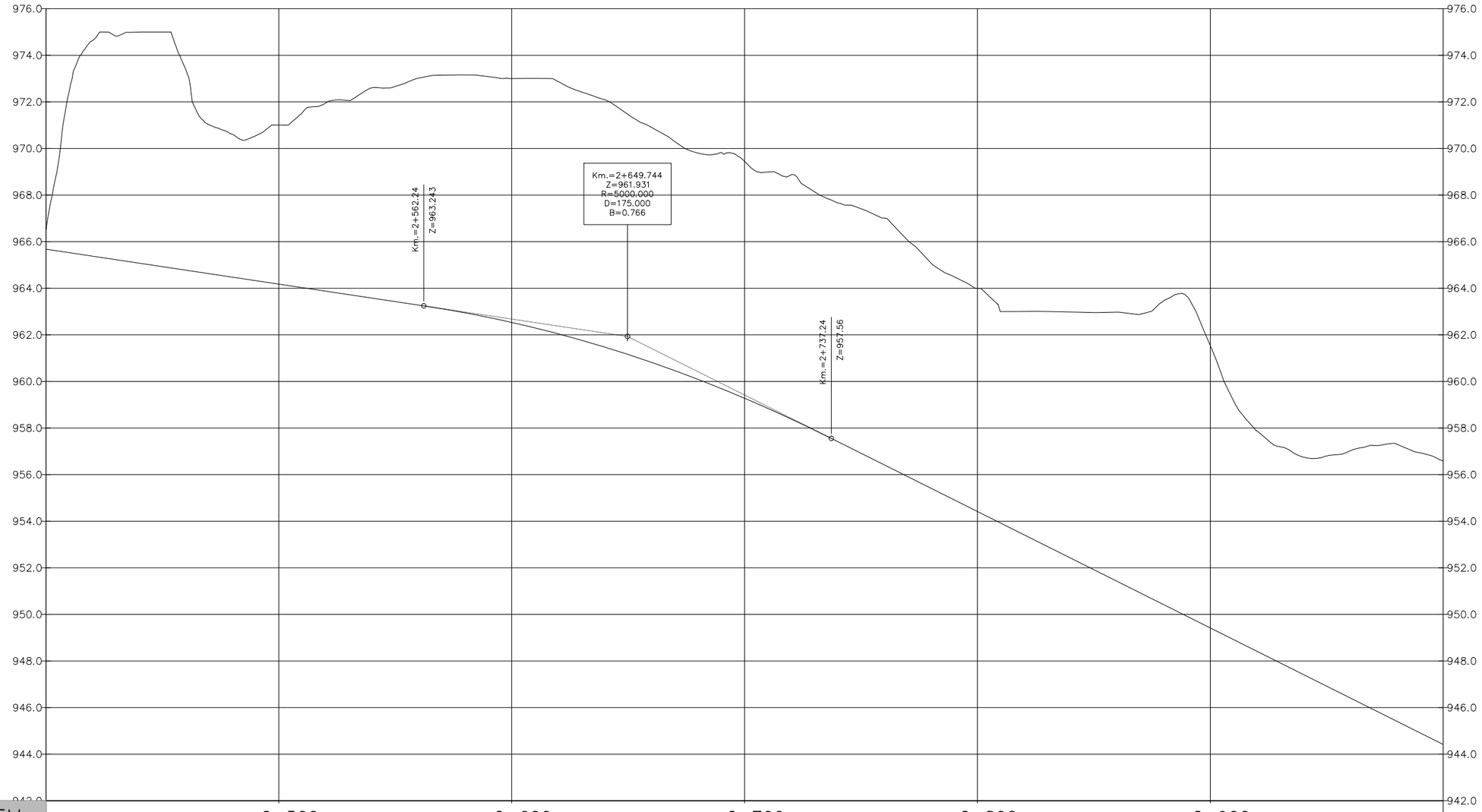
Perfil Longitudinal

Esc. Vertical 1:200
Esc. Horizontal 1:2000

U.PORTO
FEUP FACULDADE DE ENGENHARIA
UNIVERSIDADE DO PORTO

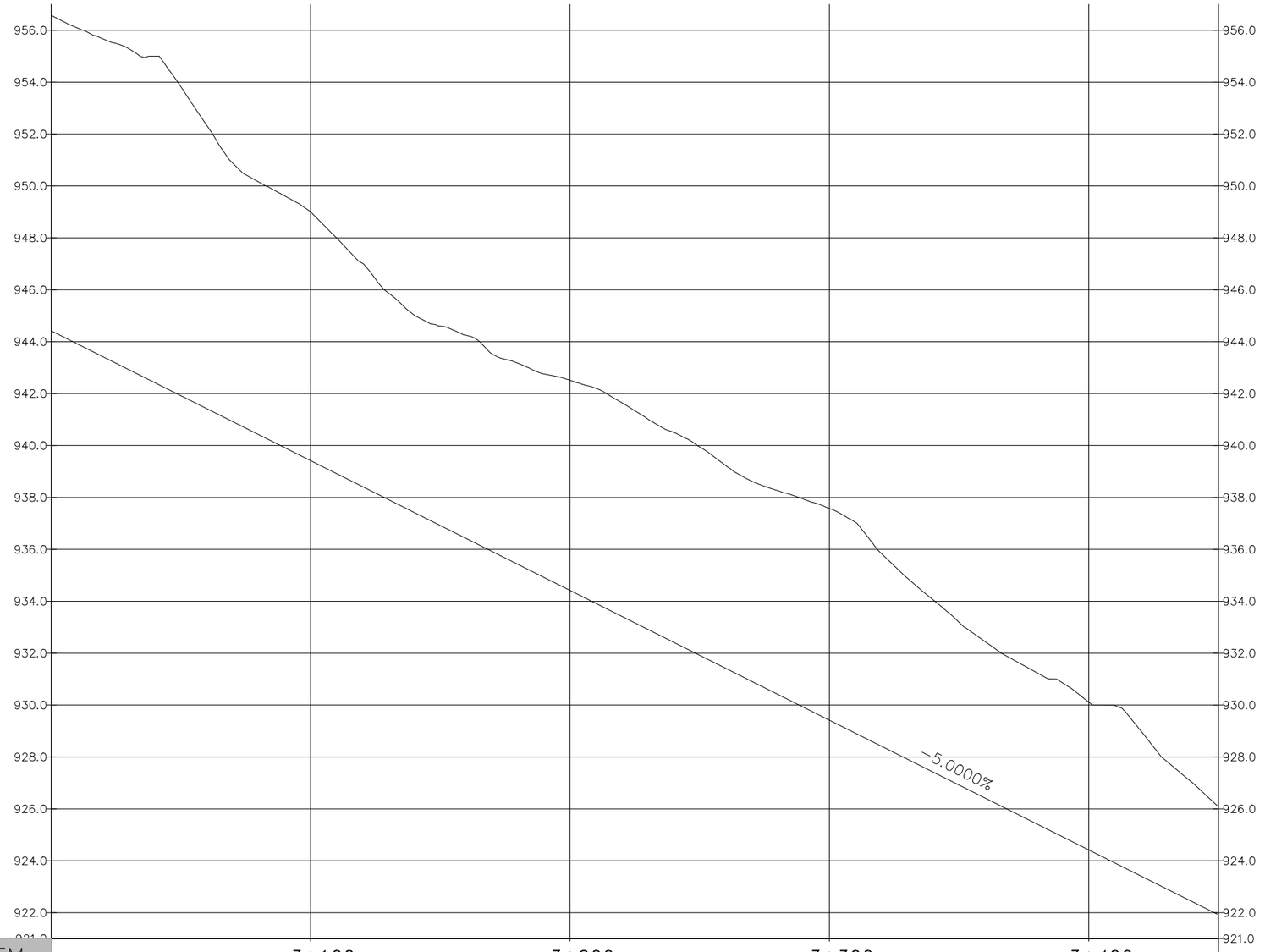
Dissertação de Mestrado
"Projeto de autoestradas do México: comparação com o caso português"
junho de 2014

Autora: Lígia Conceição Pereira



QUILOMETRAGEM		2+500		2+600		2+700		2+800		2+900	
PERFIL LONGITUDINAL	Cota da Rasante	965.302	964.927	964.552	964.177	963.802	963.427	963.036	962.534	961.908	961.157
	Cota do Terreno	975.00	975.00	970.82	971.01	972.08	972.66	973.15	973.00	972.61	971.46
	Elementos da Rasante	i=−1.500% L=719.659				R=5000.000 D=175.000					
PLANTA	Pontos Notáveis	km=1+712.105						km=2+744.361		km=2+838.111	km=2+923.104
	Diagrama de Curvas	L=1032.256 R= 00						L=93.75 A=150.00		R=240.00 L=84.993	L=93.75 A=150.00
	Sobreelevação (%)	2+719.36 D=−2.50% E=2.50% 25.00				2+744.36 D=−2.50% E=0.00% 25.00		2+769.36 D=−2.50% E=2.50%		2+838.11 D=−7.00% E=7.00%	2+923.10 D=−7.00% E=7.00%

Caso de Estudo E	
Velocidade Base: 80 km/h	
Abordagem: Segurança	
Normativo: Portugal	
Apêndice E.5.	
Parte 5 de 10	
Perfil Longitudinal	
Esc. Vertical 1:200	
Esc. Horizontal 1:2000	
U.PORTO FEUP FACULDADE DE ENGENHARIA UNIVERSIDADE DO PORTO	
Dissertação de Mestrado *"Projeto de autoestradas do México: comparação com o caso português"*	
junho de 2014	
Autora: Lígia Conceição Pereira	



QUILOMETRAGEM		3+100	3+200	3+300	3+400
PERFIL LONGITUDINAL	Cota da Rasante	943.168 941.918 940.668 939.418 938.168 936.918 935.668 934.418 933.168 931.918 930.668 929.418 928.168 926.918 925.668 924.418 923.168			
	Cota do Terreno	955.49 953.82 950.43 949.00 946.42 944.60 943.32 942.51 941.34 939.94 938.43 937.57 935.37 933.19 931.52 930.11 928.38			
	Elementos da Rasante	i=-5.000% L=1218.797			
PLANTA	Pontos Notáveis	km=2+923.314 km=3+016.854			km=3+497.410
	Diagrama de Curvas	L=93.75 A=150.00	L=480.556 R= 00		
	Sobreelevação (%)	0.00% 16.85 3+016.85 D=-2.50% E=-2.50% 60.00 25.00 3+041.85 D=-2.50% E=-2.50%			

Caso de Estudo E
Velocidade Base: 80 km/h
Abordagem: Segurança
Normativo: Portugal

Apêndice E.5.

Parte 6 de 10

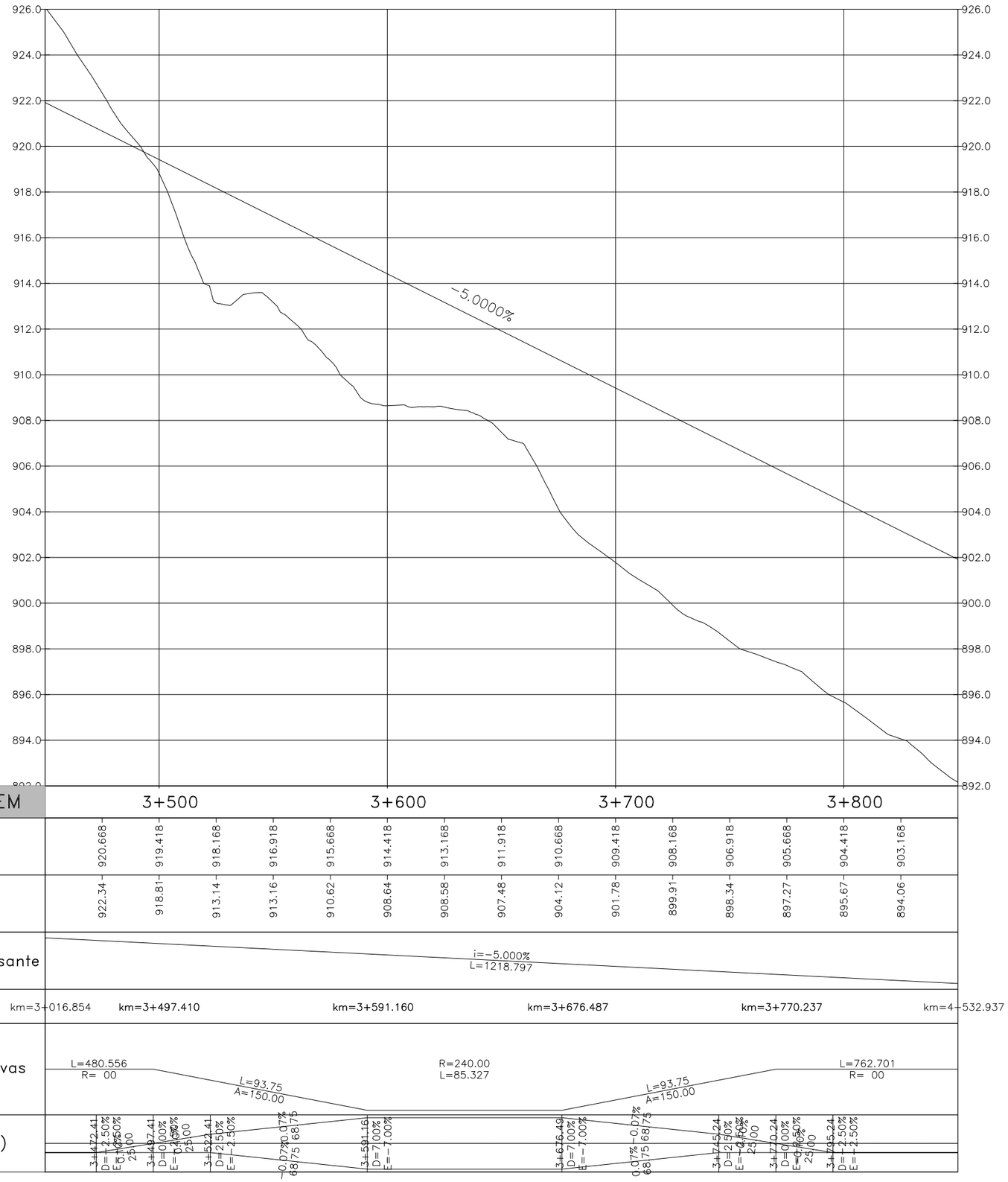
Perfil Longitudinal

Esc. Vertical 1:200
Esc. Horizontal 1:2000

U.PORTO
FEUP FACULDADE DE ENGENHARIA
UNIVERSIDADE DO PORTO

Dissertação de Mestrado
"Projeto de autoestradas do México: comparação com o caso português"
junho de 2014

Autora: Lígia Conceição Pereira



Caso de Estudo E
Velocidade Base: 80 km/h
Abordagem: Segurança
Normativo: Portugal

Apêndice E.5.

Parte 7 de 10

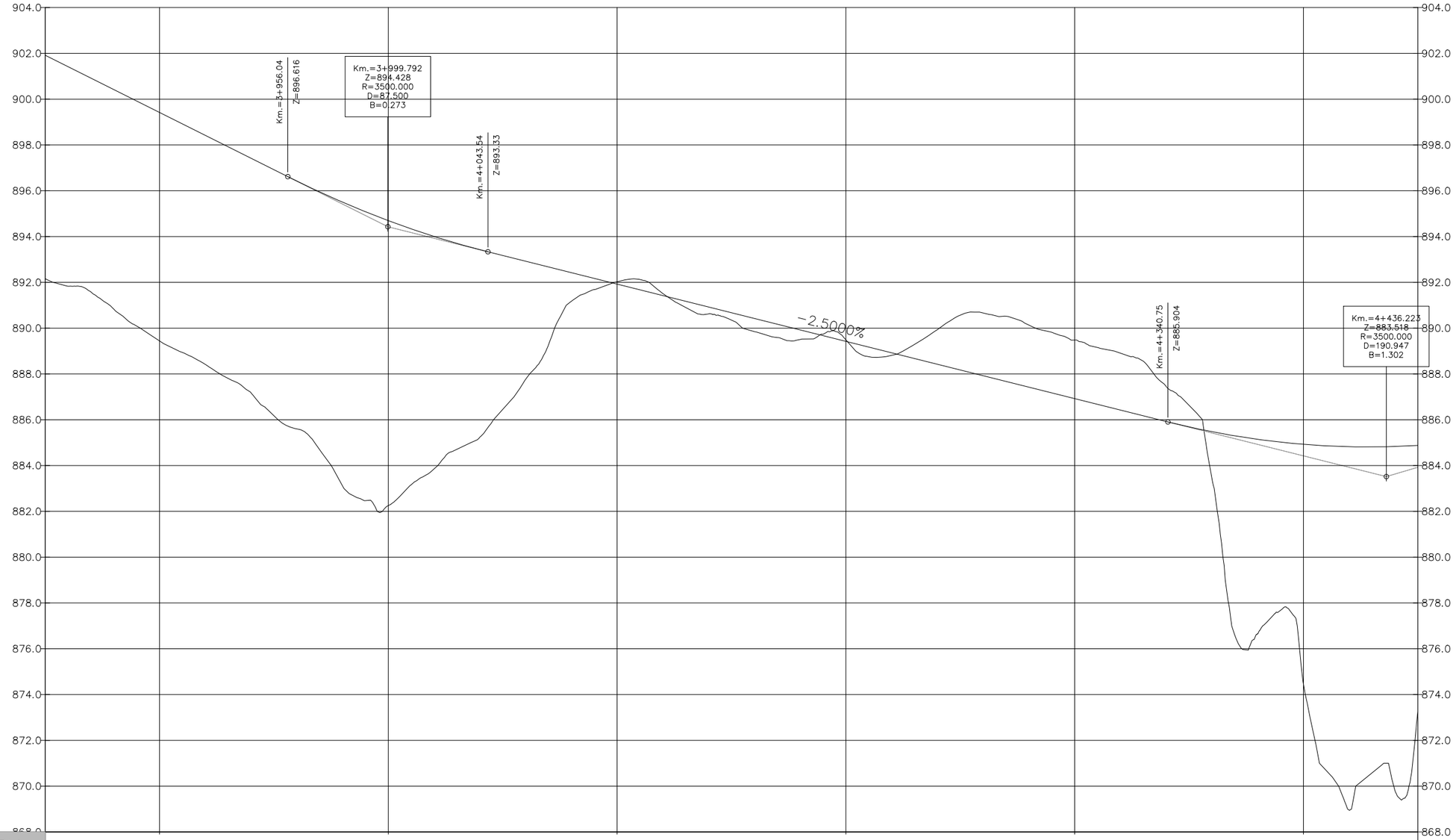
Perfil Longitudinal

Esc. Vertical 1:200
Esc. Horizontal 1:2000

U.PORTO
FEUP FACULDADE DE ENGENHARIA
UNIVERSIDADE DO PORTO

Dissertação de Mestrado
"Projeto de autoestradas do México: comparação com o caso português"
junho de 2014

Autora: Lígia Conceição Pereira



QUILOMETRAGEM	3+900	4+000	4+100	4+200	4+300	4+400
PERFIL LONGITUDINAL — Cota da Rasante	900.668	899.418	898.168	896.918	895.719	894.694
	893.847	893.173	892.548	891.923	891.298	890.673
	890.048	889.423	888.798	888.173	887.548	886.923
	886.298	885.685	885.216	884.925	884.812	
PERFIL LONGITUDINAL — Cota do Terreno	891.22	889.44	888.09	886.17	884.01	882.26
	884.42	886.45	890.47	892.03	891.17	890.35
	889.45	889.49	889.00	890.57	890.37	889.48
	888.76	886.63	875.95	874.45	870.17	
PERFIL LONGITUDINAL — Elementos da Rasante	i=-5.000% L=1218.797	R=3500.000 D=87.500	i=-2.500% L=297.208	R=3500.000 D=190.947		
PLANTA — Pontos Notáveis	km=3+770.237					km=4+532
PLANTA — Diagrama de Curvas	L=762.701 R= 00					
PLANTA — Sobreelevação (%)						

Caso de Estudo E
Velocidade Base: 80 km/h
Abordagem: Segurança
Normativo: Portugal

Apêndice E.5.

Parte 8 de 10

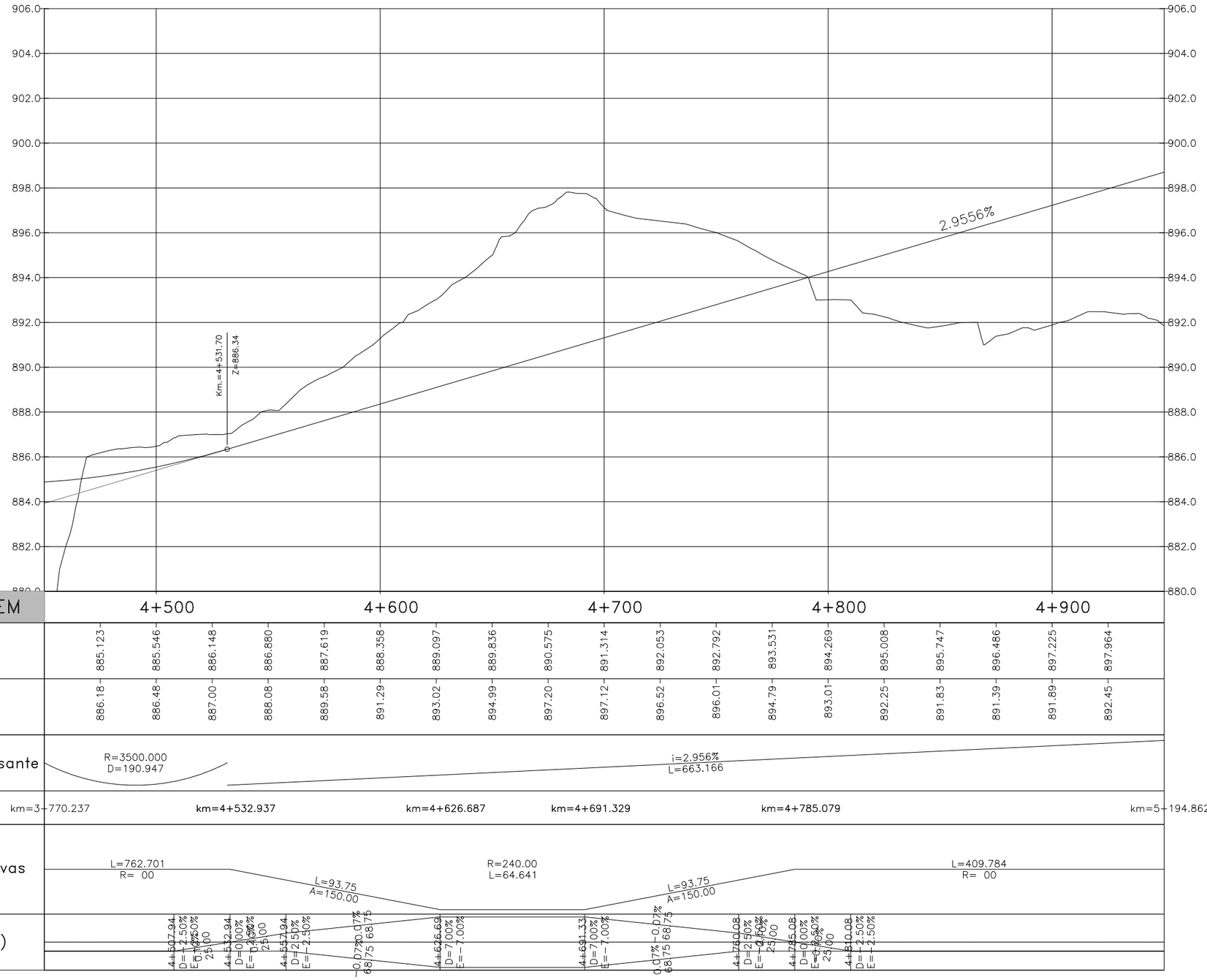
Perfil Longitudinal

Esc. Vertical 1:200
Esc. Horizontal 1:2000

U.PORTO
FEUP FACULDADE DE ENGENHARIA
UNIVERSIDADE DO PORTO

Dissertação de Mestrado
"Projeto de autoestradas do México: comparação com o caso português"
junho de 2014

Autora: Lígia Conceição Pereira



Caso de Estudo E
Velocidade Base: 80 km/h
Abordagem: Segurança
Normativo: Portugal

Apêndice E.5.

Parte 9 de 10

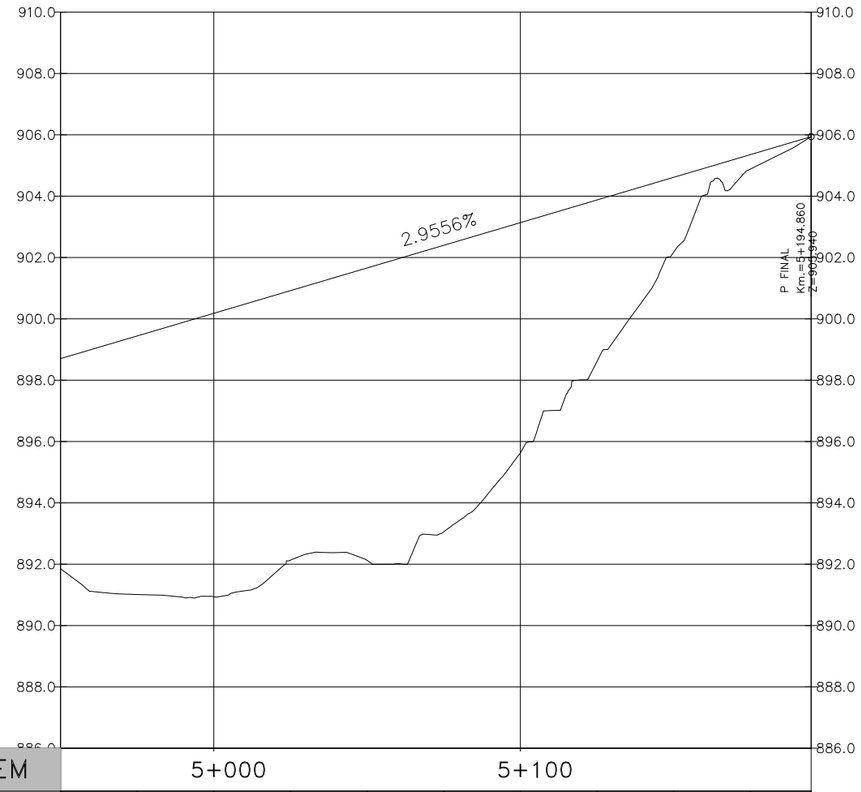
Perfil Longitudinal

Esc. Vertical 1:200
Esc. Horizontal 1:2000

U.PORTO
FEUP FACULDADE DE ENGENHARIA
UNIVERSIDADE DO PORTO

Dissertação de Mestrado
"Projeto de autoestradas do México: comparação com o caso português"
junho de 2014

Autora: Lígia Conceição Pereira



QUILOMETRAGEM		5+000				5+100				
PERFIL LONGITUDINAL	Cota da Rasante	899.442	900.181	900.920	901.658	902.397	903.136	903.875	904.614	905.353
	Cota do Terreno	891.01	890.94	892.13	892.12	893.06	895.62	898.61	902.17	904.88
	Elementos da Rasante	i=2.956% L=663.166								
PLANTA	Pontos Notáveis	km=4+785.079								km=5+194.862
	Diagrama de Curvas	L=409.784 R= 00								
	Sobreelevação (%)									

Caso de Estudo E
Velocidade Base: 80 km/h
Abordagem: Segurança
Normativo: Portugal

Apêndice E.5.

Parte 10 de 10

Perfil Longitudinal

Esc. Vertical 1:200
Esc. Horizontal 1:2000

U.PORTO
FEUP FACULDADE DE ENGENHARIA
UNIVERSIDADE DO PORTO

Dissertação de Mestrado
"Projeto de autoestradas do México: comparação com o caso português"
junho de 2014

Autora: Lígia Conceição Pereira

Apêndice F CASO DE ESTUDO: 80 KM/H, SEGURANÇA, NM

F.1. GEOMETRIA DA DIRETRIZ

PK [m]	Elemento	Extensão [m]
0+000,00	Alinhamento reto	719,31
0+719,31	Curva composta à direita R=208,35 m; L=109,00 m; A =150,70 m	109,00
0+828,05	Curva circular à direita R=208,35 m	12,74
0+841,05	Curva composta à direita R=208,35 m; L=109,00 m; A =150,70 m	109,00
0+950,05	Alinhamento reto	487,64
1+437,68	Curva composta à esquerda R=208,35 m; L=109,00 m; A =150,70 m	109,00
1+546,68	Curva circular à esquerda R=208,35 m	52,33
1+599,01	Curva composta à esquerda R=208,35 m; L=109,00 m; A =150,70 m	109,00
1+708,01	Alinhamento reto	1041,73
2+749,74	Curva composta à direita R=208,35 m; L=109,00 m; A =150,70 m	109,00
2+858,74	Curva circular à direita R=208,35 m	46,17
2+904,91	Curva composta à direita R=208,35 m; L=109,00 m; A =150,70 m	109,00
3+013,91	Alinhamento reto	489,52
3+503,43	Curva composta à esquerda R=208,35 m; L=109,00 m; A =150,70 m	109,00
3+612,43	Curva circular à esquerda R=208,35 m	46,46
3+658,89	Curva composta à esquerda R=208,35 m; L=109,00 m; A =150,70 m	109,00
3+767,89	Alinhamento reto	770,19
4+538,08	Curva composta à esquerda R=208,35 m; L=109,00 m; A =150,70 m	109,00
4+647,08	Curva circular à esquerda R=208,35 m	28,50
4+675,59	Curva composta à esquerda R=208,35 m; L=109,00 m; A =150,70 m	109,00
5+197,36	Alinhamento reto	412,77

F.2. GEOMETRIA DA RASANTE

PK [m]	Elemento	Cota [m]
0+000,00	Trainel 1 Ascendente	957,175
1+741,34	i=+1,0000 %; L=1741,34 m	974,588
	Concordância convexa 1	
1+818,84	R=+3100,00 m; D=77,50 m	974,390
	Trainel 2 Descendente	
2+595,49	i=-1,5000 %; L=776,66 m	962,744
	Concordância convexa 2	
2+703,99	R=+3100,00 m; D=108,50 m	959,220
	Trainel 3 Descendente	
3+968,54	i=-5,0000 %; L=1264,55 m	895,991
	Concordância côncava 1	
4+031,04	R=-2500,00 m; D=62,50 m	893,650
	Trainel 4 Descendente	
4+368,15	i=-2,5000 %; L=337,11 m	885,219
	Concordância côncava 2	
4+504,30	R=-2500,00 m; D=136,15 m	885,520
	Trainel 5 Ascendente	
5+197,36	i=+2,946 %; L=693,06 m	905,940

F.3. TABELA DE MOVIMENTOS DE TERRA

PK [m]	Escavação			Aterro			Diferença entre o Volume de escavação e o Volume de aterro acumulado [m^3]
	Área [m^2]	Volume [m^3]	Volume acumulado [m^3]	Área [m^2]	Volume [m^3]	Volume acumulado [m^3]	
0+000,00	0,00	0	0	0,00	0	0	0
0+025,00	6,12	77	77	15,47	193	193	-117
0+050,00	0,00	77	153	59,61	938	1132	-979
0+075,00	0,00	0	153	122,85	2281	3413	-3259
0+100,00	0,00	0	153	197,13	4000	7412	-7259
0+125,00	0,00	0	153	220,10	5215	12628	-12475
0+150,00	0,00	0	153	85,43	3819	16447	-16294
0+175,00	0,00	0	153	104,57	2375	18822	-18669
0+200,00	0,00	0	153	323,10	5346	24168	-24015
0+225,00	0,00	0	153	619,47	11782	35950	-35797
0+250,00	0,00	0	153	338,37	11973	47923	-47770
0+275,00	0,00	0	153	212,43	6885	54808	-54655
0+300,00	0,00	0	153	189,81	5028	59836	-59683
0+325,00	0,00	0	153	120,10	3874	63710	-63557
0+350,00	0,00	0	153	87,67	2597	66307	-66154
0+375,00	15,77	197	350	8,10	1197	67504	-67154
0+400,00	30,35	577	927	0,38	106	67610	-66683
0+425,00	15,31	571	1498	0,00	5	67615	-66117

(Continuação)

PK [m]	Escavação			Aterro			Diferença entre o Volume de escavação e o Volume de aterro acumulado [m^3]
	Área [m^2]	Volume [m^3]	Volume acumulado [m^3]	Área [m^2]	Volume [m^3]	Volume acumulado [m^3]	
0+450,00	0,00	191	1689	43,99	550	68165	-66476
0+475,00	0,00	0	1689	87,14	1639	69804	-68115
0+500,00	0,00	0	1689	101,44	2357	72161	-70472
0+525,00	0,00	0	1689	81,24	2284	74445	-72756
0+550,00	0,00	0	1689	84,59	2073	76517	-74828
0+575,00	0,00	0	1689	97,37	2275	78792	-77103
0+600,00	0,00	0	1689	73,42	2135	80927	-79238
0+625,00	0,00	0	1689	53,59	1588	82515	-80826
0+650,00	0,00	0	1689	43,43	1213	83727	-82038
0+675,00	0,00	0	1689	32,82	953	84680	-82991
0+697,51	4,72	53	1742	14,71	535	85215	-83473
0+700,00	5,24	12	1754	12,18	33	85249	-83494
0+719,31	5,08	100	1854	7,06	186	85435	-83581
0+725,00	3,40	24	1878	3,20	29	85464	-83586
0+741,11	0,00	27	1906	34,54	304	85768	-83862
0+750,00	0,19	1	1906	60,75	423	86191	-84285
0+775,00	0,00	3	1909	211,57	3430	89621	-87712
0+800,00	0,00	0	1909	416,81	7973	97594	-95685
0+825,00	0,00	0	1909	674,34	13686	111280	-109371
0+828,31	0,00	0	1909	722,78	2313	113593	-111684
0+841,05	0,00	0	1909	850,09	9806	123399	-121490
0+850,00	0,00	0	1909	765,67	7057	130456	-128547
0+875,00	0,00	0	1909	203,60	11916	142372	-140463
0+900,00	0,00	0	1909	37,48	2999	145371	-143462
0+925,00	0,00	0	1909	26,14	793	146164	-144255
0+928,25	0,00	0	1909	26,67	86	146250	-144341
0+950,00	0,00	0	1909	35,87	680	146930	-145021
0+950,05	0,00	0	1909	35,89	2	146932	-145023
0+971,85	0,00	0	1909	39,33	820	147752	-145843
0+975,00	0,00	0	1909	39,57	124	147876	-145967
1+000,00	0,00	0	1909	36,60	952	148829	-146919
1+025,00	0,77	10	1919	22,63	740	149569	-147650
1+050,00	3,91	58	1977	8,39	388	149957	-147980
1+075,00	6,70	133	2110	2,58	137	150094	-147984
1+100,00	18,11	310	2420	0,30	36	150130	-147710
1+125,00	17,49	445	2865	0,00	4	150134	-147269
1+150,00	47,46	812	3677	0,00	0	150134	-146457
1+175,00	77,23	1559	5235	0,00	0	150134	-144898
1+200,00	107,49	2309	7544	0,00	0	150134	-142589
1+225,00	121,77	2866	10410	0,00	0	150134	-139724
1+250,00	116,97	2984	13394	0,00	0	150134	-136739

(Continuação)

PK [m]	Escavação			Aterro			Diferença entre o Volume de escavação e o Volume de aterro acumulado [m^3]
	Área [m^2]	Volume [m^3]	Volume acumulado [m^3]	Área [m^2]	Volume [m^3]	Volume acumulado [m^3]	
1+275,00	92,41	2617	16012	0,00	0	150134	-134122
1+300,00	61,97	1930	17942	0,00	0	150134	-132192
1+325,00	53,24	1440	19382	0,00	0	150134	-130752
1+350,00	68,00	1516	20897	0,00	0	150134	-129236
1+375,00	75,14	1789	22687	0,00	0	150134	-127447
1+400,00	58,87	1675	24362	0,00	0	150134	-125772
1+415,88	31,12	715	25076	0,00	0	150134	-125057
1+425,00	12,08	197	25273	0,00	0	150134	-124861
1+437,68	0,43	79	25353	11,58	73	150207	-124855
1+450,00	0,00	3	25355	36,81	298	150505	-125150
1+459,48	0,00	0	25355	59,45	456	150962	-125606
1+475,00	0,00	0	25355	93,80	1191	152153	-126797
1+500,00	0,00	0	25355	159,31	3176	155328	-129973
1+525,00	0,00	0	25355	220,04	4764	160092	-134737
1+546,68	0,00	0	25355	266,46	5271	165363	-140008
1+550,00	0,00	0	25355	268,67	888	166251	-140895
1+575,00	0,00	0	25355	313,52	7268	173518	-148163
1+599,01	0,00	0	25355	366,58	8206	181724	-156369
1+600,00	0,00	0	25355	368,13	363	182087	-156731
1+625,00	0,03	0	25356	384,94	9522	191609	-166253
1+650,00	0,04	1	25357	324,16	8963	200572	-175216
1+675,00	0,00	1	25357	240,02	7097	207669	-182312
1+686,21	0,00	0	25357	206,20	2502	210170	-184813
1+700,00	0,00	0	25357	169,30	2589	212759	-187402
1+708,01	0,00	0	25357	150,08	1279	214038	-188681
1+725,00	0,00	0	25357	118,51	2281	216320	-190963
1+729,81	0,00	0	25357	109,27	548	216868	-191511
1+750,00	0,00	0	25357	64,73	1756	218624	-193267
1+775,00	0,00	0	25357	44,33	1363	219987	-194630
1+800,00	0,00	0	25357	40,97	1066	221054	-195696
1+825,00	0,00	0	25357	27,03	850	221904	-196547
1+850,00	5,04	63	25420	0,00	338	222242	-196821
1+875,00	30,43	443	25863	0,00	0	222242	-196378
1+900,00	46,03	956	26819	0,00	0	222242	-195423
1+925,00	53,07	1239	28058	0,00	0	222242	-194184
1+950,00	36,36	1118	29176	0,00	0	222242	-193066
1+975,00	0,00	455	29630	10,84	135	222377	-192747
2+000,00	0,00	0	29630	88,68	1244	223621	-193991
2+025,00	0,00	0	29630	183,50	3402	227023	-197393
2+050,00	0,00	0	29630	185,02	4606	231630	-201999
2+075,00	0,00	0	29630	164,97	4375	236005	-206374

(Continuação)

PK [m]	Escavação			Aterro			Diferença entre o Volume de escavação e o Volume de aterro acumulado [m^3]
	Área [m^2]	Volume [m^3]	Volume acumulado [m^3]	Área [m^2]	Volume [m^3]	Volume acumulado [m^3]	
2+100,00	0,00	0	29630	196,79	4522	240527	-210896
2+125,00	0,00	0	29630	244,67	5518	246045	-216415
2+150,00	0,00	0	29630	334,77	7243	253288	-223658
2+175,00	0,00	0	29630	495,67	10380	263669	-234038
2+200,00	0,00	0	29630	361,00	10708	274377	-244746
2+225,00	0,00	0	29630	160,24	6515	280892	-251262
2+250,00	0,00	0	29630	89,64	3124	284016	-254385
2+275,00	0,00	0	29630	84,38	2175	286191	-256561
2+300,00	0,00	0	29630	51,64	1700	287891	-258261
2+325,00	7,76	97	29727	15,90	844	288735	-259008
2+350,00	73,64	1018	30745	0,00	199	288934	-258189
2+375,00	152,28	2824	33569	0,00	0	288934	-255365
2+400,00	87,18	2993	36562	30,93	387	289321	-252759
2+425,00	328,04	5190	41753	0,00	387	289707	-247955
2+450,00	365,58	8670	50423	0,00	0	289707	-239285
2+475,00	251,86	7718	58141	0,00	0	289707	-231567
2+500,00	272,00	6548	64689	0,00	0	289707	-225018
2+525,00	330,03	7525	72214	0,00	0	289707	-217493
2+550,00	376,43	8831	81045	0,00	0	289707	-208662
2+575,00	421,15	9970	91015	0,00	0	289707	-198693
2+600,00	456,19	10967	101982	0,00	0	289707	-187726
2+625,00	476,36	11657	113638	0,00	0	289707	-176069
2+650,00	456,68	11663	125301	0,00	0	289707	-164406
2+675,00	437,08	11172	136474	0,00	0	289707	-153234
2+700,00	451,38	11106	147579	0,00	0	289707	-142128
2+725,00	451,97	11292	158871	0,00	0	289707	-130836
2+727,94	453,51	1331	160202	0,00	0	289707	-129506
2+749,74	455,26	9906	170107	0,00	0	289707	-119600
2+750,00	455,44	119	170226	0,00	0	289707	-119481
2+771,54	439,20	9635	179861	0,00	0	289707	-109846
2+775,00	430,92	1506	181367	0,00	0	289707	-108341
2+800,00	398,83	10394	191761	0,00	0	289707	-97946
2+825,00	423,46	10291	202053	0,00	0	289707	-87655
2+850,00	491,90	11425	213477	0,00	0	289707	-76230
2+858,74	522,16	4413	217890	0,00	0	289707	-71817
2+875,00	602,02	9120	227010	0,00	0	289707	-62697
2+900,00	554,49	14412	241422	0,00	0	289707	-48285
2+904,91	515,08	2605	244027	0,00	0	289707	-45680
2+925,00	409,58	9203	253230	0,00	0	289707	-36477
2+950,00	449,33	10635	263866	0,00	0	289707	-25842
2+975,00	536,13	12252	276118	0,00	0	289707	-13589

(Continuação)

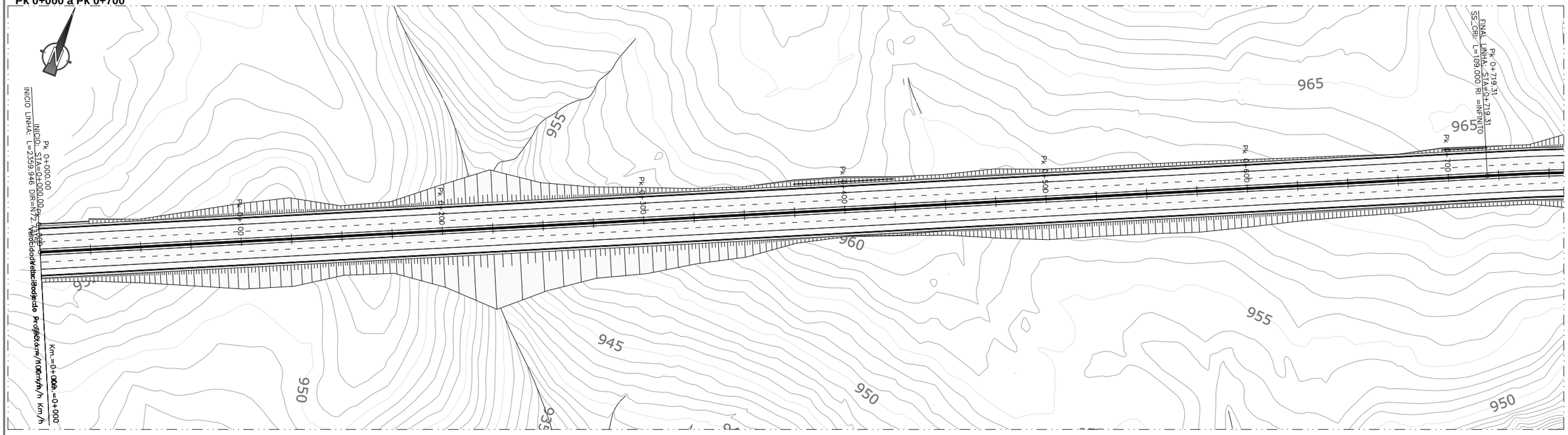
PK [m]	Escavação			Aterro			Diferença entre o Volume de escavação e o Volume de aterro acumulado [m^3]
	Área [m^2]	Volume [m^3]	Volume acumulado [m^3]	Área [m^2]	Volume [m^3]	Volume acumulado [m^3]	
2+992,11	544,50	9232	285350	0,00	0	289707	-4358
3+000,00	545,11	4298	289648	0,00	0	289707	-59
3+013,91	542,63	7565	297213	0,00	0	289707	7506
3+025,00	550,77	6063	303276	0,00	0	289707	13569
3+035,71	546,69	5877	309153	0,00	0	289707	19446
3+050,00	512,54	7568	316721	0,00	0	289707	27014
3+075,00	442,78	11942	328663	0,00	0	289707	38955
3+100,00	414,86	10720	339383	0,00	0	289707	49676
3+125,00	350,09	9562	348945	0,00	0	289707	59238
3+150,00	333,78	8548	357494	0,00	0	289707	67786
3+175,00	324,06	8223	365717	0,00	0	289707	76009
3+200,00	343,80	8348	374065	0,00	0	289707	84357
3+225,00	350,40	8678	382742	0,00	0	289707	93035
3+250,00	353,92	8804	391546	0,00	0	289707	101839
3+275,00	336,57	8631	400177	0,00	0	289707	110470
3+300,00	348,16	8559	408737	0,00	0	289707	119029
3+325,00	311,05	8240	416977	0,00	0	289707	127269
3+350,00	263,87	7187	424163	0,00	0	289707	134456
3+375,00	245,01	6361	430524	0,00	0	289707	140817
3+400,00	234,69	5996	436521	0,00	0	289707	146813
3+425,00	226,82	5769	442289	0,00	0	289707	152582
3+450,00	180,72	5094	447384	0,00	0	289707	157676
3+475,00	78,62	3242	450625	0,00	0	289707	160918
3+481,63	49,91	426	451052	0,00	0	289707	161344
3+500,00	6,68	520	451571	10,16	93	289801	161771
3+503,43	0,99	13	451585	15,86	45	289845	161739
3+525,00	0,00	11	451595	74,53	975	290820	160775
3+525,23	0,00	0	451595	74,78	17	290838	160758
3+550,00	0,00	0	451595	96,27	2122	292960	158636
3+575,00	0,00	0	451595	119,04	2708	295667	155928
3+600,00	0,00	0	451595	173,45	3704	299371	152224
3+612,43	0,00	0	451595	183,80	2277	301648	149947
3+625,00	0,11	1	451596	169,65	2294	303943	147653
3+650,00	0,02	1	451597	155,31	4190	308133	143465
3+658,90	0,00	0	451597	173,06	1498	309631	141966
3+675,00	0,02	0	451598	224,86	3278	312909	138688
3+700,00	0,00	0	451598	296,02	6645	319554	132044
3+725,00	0,00	0	451598	326,24	7885	327439	124159
3+746,10	0,00	0	451598	323,14	6897	334335	117263
3+750,00	0,00	0	451598	323,52	1263	335598	116000
3+767,90	0,00	0	451598	331,54	5861	341459	110139

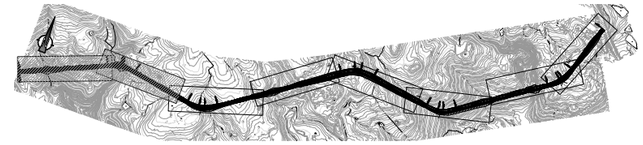
(Continuação)

PK [m]	Escavação			Aterro			Diferença entre o Volume de escavação e o Volume de aterro acumulado [m^3]
	Área [m^2]	Volume [m^3]	Volume acumulado [m^3]	Área [m^2]	Volume [m^3]	Volume acumulado [m^3]	
3+775,00	0,00	0	451598	332,19	2358	343817	107781
3+789,70	0,00	0	451598	326,79	4842	348659	102939
3+800,00	0,00	0	451598	327,40	3371	352030	99568
3+825,00	0,00	0	451598	352,35	8497	360527	91071
3+850,00	0,00	0	451598	379,14	9144	369670	81928
3+875,00	0,00	0	451598	376,29	9443	379113	72485
3+900,00	0,00	0	451598	393,54	9623	388736	62862
3+925,00	0,00	0	451598	410,23	10047	398783	52815
3+950,00	0,00	0	451598	429,79	10500	409283	42315
3+975,00	0,00	0	451598	502,92	11659	420942	30656
4+000,00	0,00	0	451598	563,23	13327	434269	17329
4+025,00	0,00	0	451598	381,65	11811	446080	5518
4+050,00	0,00	0	451598	254,63	7954	454034	-2436
4+075,00	1,46	18	451616	67,96	4032	458066	-6450
4+100,00	21,49	287	451903	3,03	887	458953	-7050
4+125,00	36,58	726	452629	9,74	160	459113	-6484
4+150,00	47,58	1052	453681	8,32	226	459339	-5658
4+175,00	18,18	822	454503	12,25	257	459596	-5093
4+200,00	40,72	736	455239	7,76	250	459846	-4607
4+225,00	47,16	1098	456338	4,64	155	460001	-3663
4+250,00	108,01	1940	458277	0,00	58	460059	-1782
4+275,00	145,22	3165	461443	0,00	0	460059	1384
4+300,00	116,44	3271	464713	0,00	0	460059	4654
4+325,00	115,98	2905	467619	0,00	0	460059	7560
4+350,00	67,37	2292	469911	0,00	0	460059	9852
4+375,00	0,00	842	470753	295,68	3696	463755	6998
4+400,00	0,00	0	470753	330,47	7827	471582	-829
4+425,00	0,00	0	470753	703,87	12929	484511	-13758
4+450,00	0,00	0	470753	506,86	15134	499645	-28892
4+475,00	60,93	762	471514	0,00	6336	505981	-34467
4+500,00	51,47	1405	472920	0,00	0	505981	-33062
4+512,63	50,25	642	473562	0,00	0	505981	-32419
4+525,00	47,04	602	474164	0,00	0	505981	-31817
4+538,08	47,14	616	474780	0,00	0	505981	-31201
4+550,00	54,65	607	475386	0,00	0	505981	-30595
4+556,23	56,40	346	475732	0,00	0	505981	-30249
4+575,00	74,57	1225	476957	0,00	0	505981	-29024
4+600,00	112,31	2317	479274	0,00	0	505981	-26707
4+625,00	152,41	3265	482539	0,00	0	505981	-23442
4+643,43	220,38	3352	485891	0,00	0	505981	-20090
4+650,00	251,92	1500	487391	0,00	0	505981	-18590

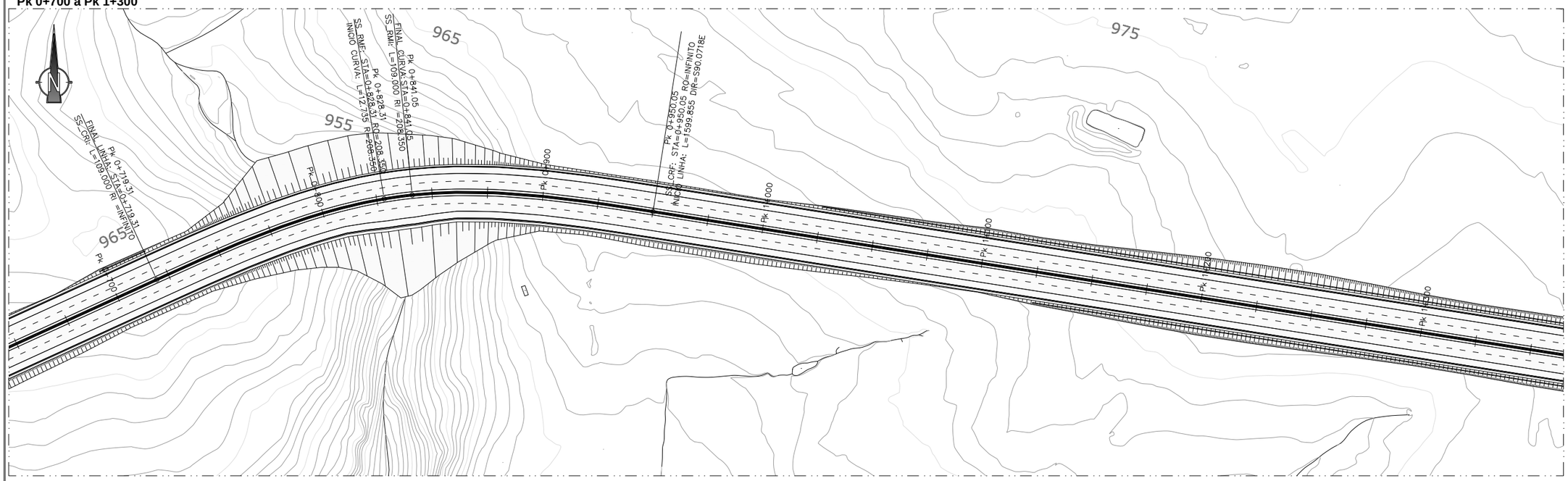
(Continuação)							
PK [m]	Escavação			Aterro			Diferença entre o Volume de escavação e o Volume de aterro acumulado [m^3]
	Área [m^2]	Volume [m^3]	Volume acumulado [m^3]	Área [m^2]	Volume [m^3]	Volume acumulado [m^3]	
4+675,00	279,69	6438	493829	0,00	0	505981	-12152
4+678,36	281,18	943	494772	0,00	0	505981	-11209
4+700,00	237,88	5513	500285	0,00	0	505981	-5696
4+725,00	166,15	5005	505291	0,00	0	505981	-691
4+750,00	120,84	3575	508866	0,03	0	505982	2884
4+765,56	84,69	1598	510463	0,01	0	505982	4481
4+775,00	59,17	679	511142	0,02	0	505982	5160
4+784,59	36,03	456	511598	0,00	0	505982	5616
4+800,00	0,00	278	511876	18,77	145	506127	5749
4+809,16	0,01	0	511876	25,83	204	506331	5545
4+825,00	0,00	0	511876	60,30	682	507013	4863
4+850,00	0,00	0	511876	105,41	2071	509084	2792
4+875,00	0,00	0	511876	138,76	3052	512136	-261
4+900,00	0,00	0	511876	163,15	3774	515910	-4034
4+925,00	0,00	0	511876	155,09	3978	519888	-8012
4+950,00	0,00	0	511876	229,98	4813	524702	-12826
4+975,00	0,00	0	511876	305,11	6689	531390	-19514
5+000,00	0,00	0	511876	307,78	7661	539051	-27175
5+025,00	0,00	0	511876	327,64	7943	546994	-35118
5+050,00	0,00	0	511876	342,83	8381	555375	-43499
5+075,00	0,00	0	511876	338,86	8521	563896	-52020
5+100,00	0,00	0	511876	264,56	7543	571439	-59563
5+125,00	0,00	0	511876	153,63	5227	576666	-64790
5+150,00	0,00	0	511876	67,28	2761	579428	-67552
5+175,00	10,75	134	512010	3,22	881	580309	-68299
5+197,36	11,90	253	512263	3,09	71	580380	-68116

Pk 0+000 a Pk 0+700





Pk 0+700 a Pk 1+300



Caso de Estudo F
Velocidade Base: 80 km/h
Abordagem: Segurança
Normativo: México

Apêndice F.4.

Parte 1 de 4

Perfil Longitudinal

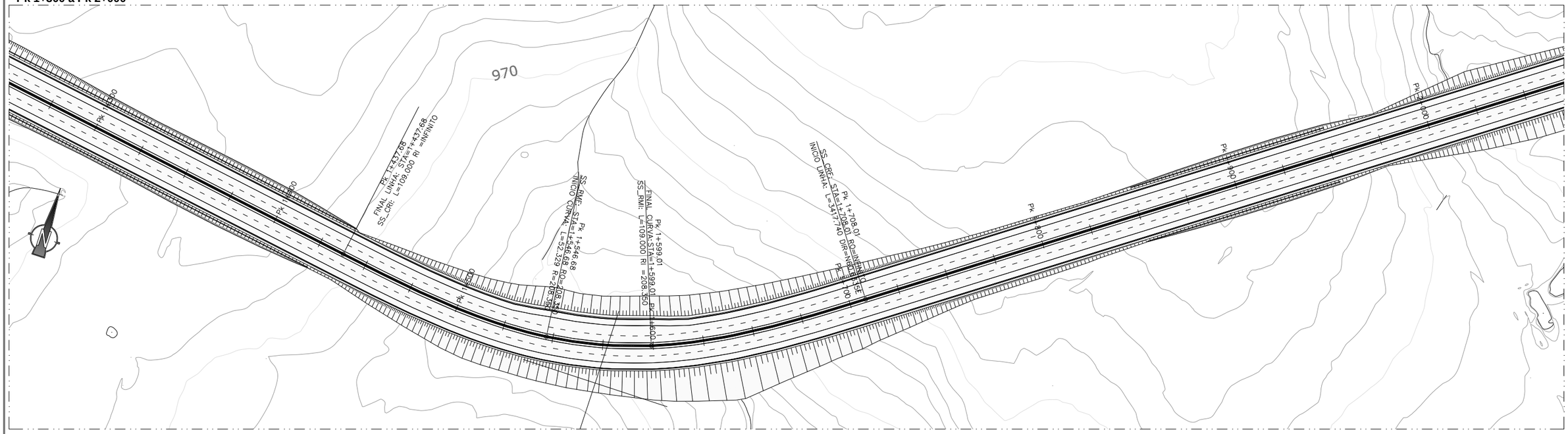
Esc. 1:2000

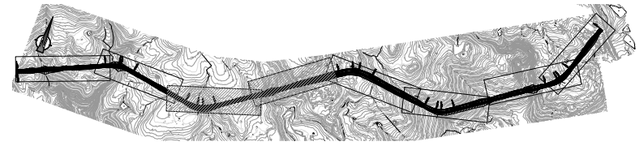
U.PORTO
FEUP FACULDADE DE ENGENHARIA
UNIVERSIDADE DO PORTO

Dissertação de Mestrado
"Projeto de autoestradas do México: comparação com o caso português"
junho de 2014

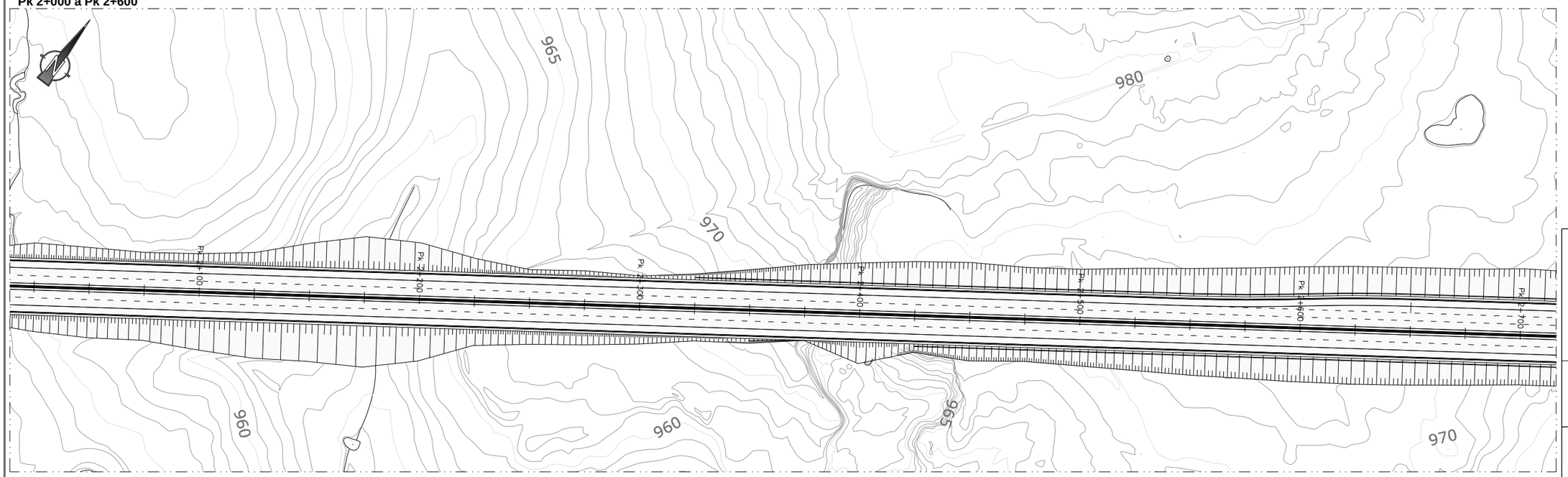
Autora: Lígia Conceição Pereira

Pk 1+300 a Pk 2+000





Pk 2+000 a Pk 2+600



Caso de Estudo F
Velocidade Base: 80 km/h
Abordagem: Segurança
Normativo: México

Apêndice F.4.

Parte 2 de 4

Perfil Longitudinal

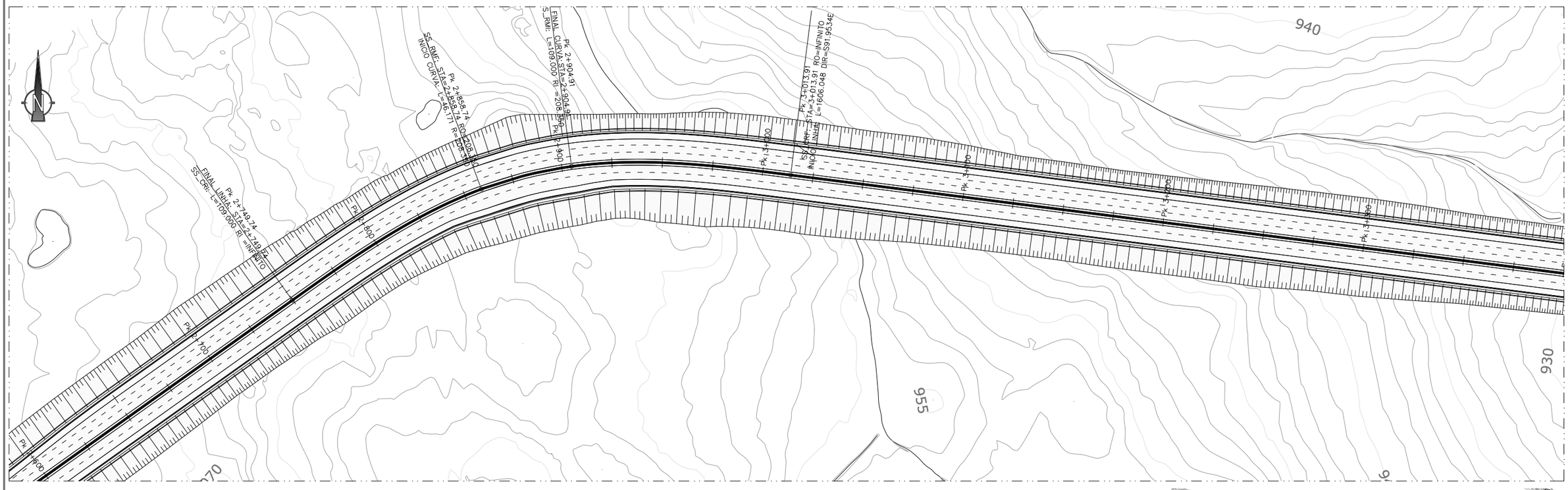
Esc. 1:2000

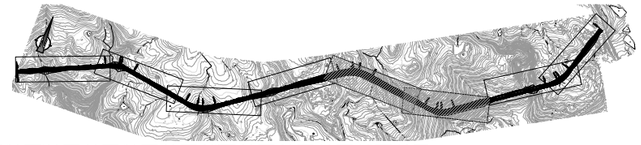
U.PORTO
FEUP FACULDADE DE ENGENHARIA
UNIVERSIDADE DO PORTO

Dissertação de Mestrado
"Projeto de autoestradas do México: comparação com o caso português"
junho de 2014

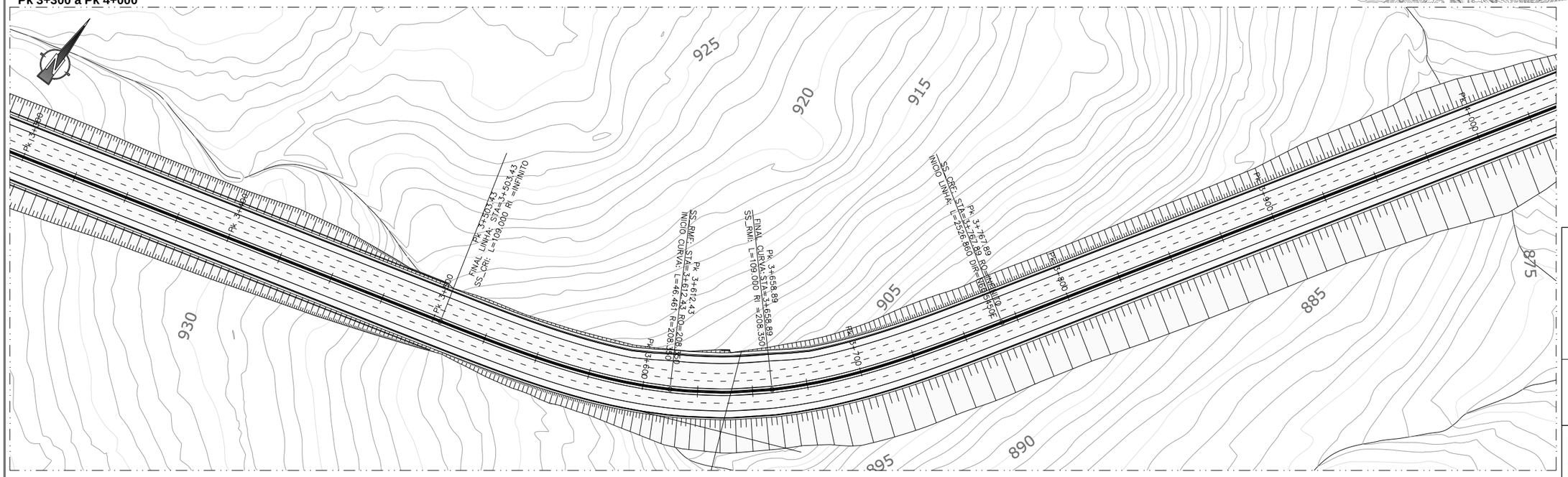
Autora: Lígia Conceição Pereira

Pk 2+600 a Pk 3+300





Pk 3+300 a Pk 4+000



Caso de Estudo F
Velocidade Base: 80 km/h
Abordagem: Segurança
Normativo: México

Apêndice F.4.

Parte 3 de 4

Perfil Longitudinal

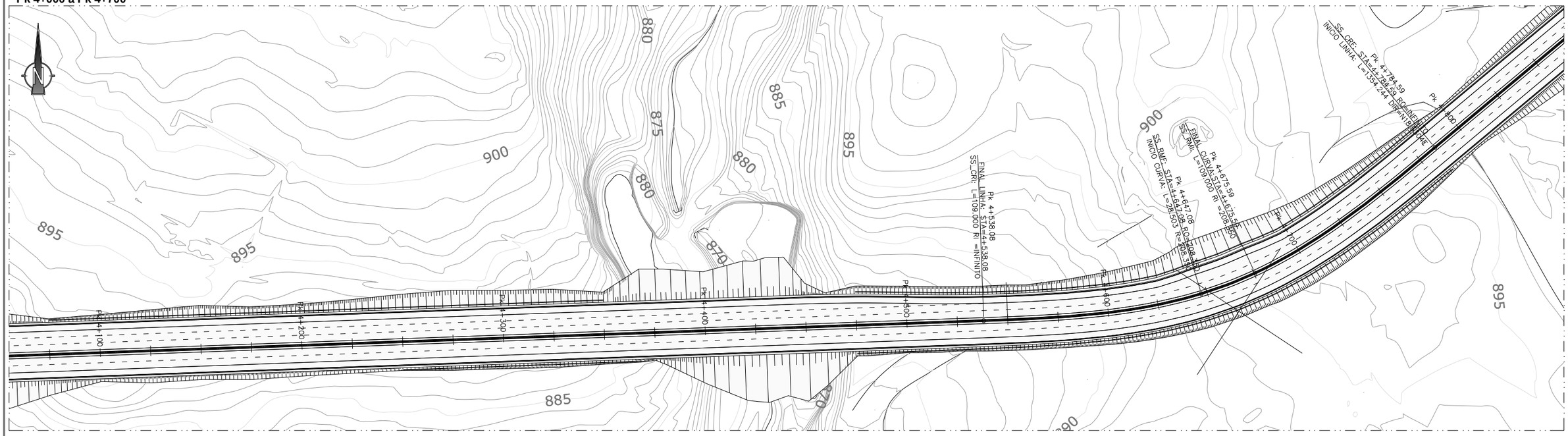
Esc. 1:2000

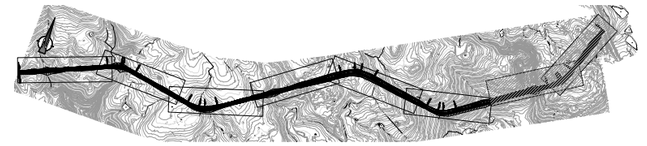
U.PORTO
FEUP FACULDADE DE ENGENHARIA
UNIVERSIDADE DO PORTO

Dissertação de Mestrado
"Projeto de autoestradas do México: comparação com o caso português"
junho de 2014

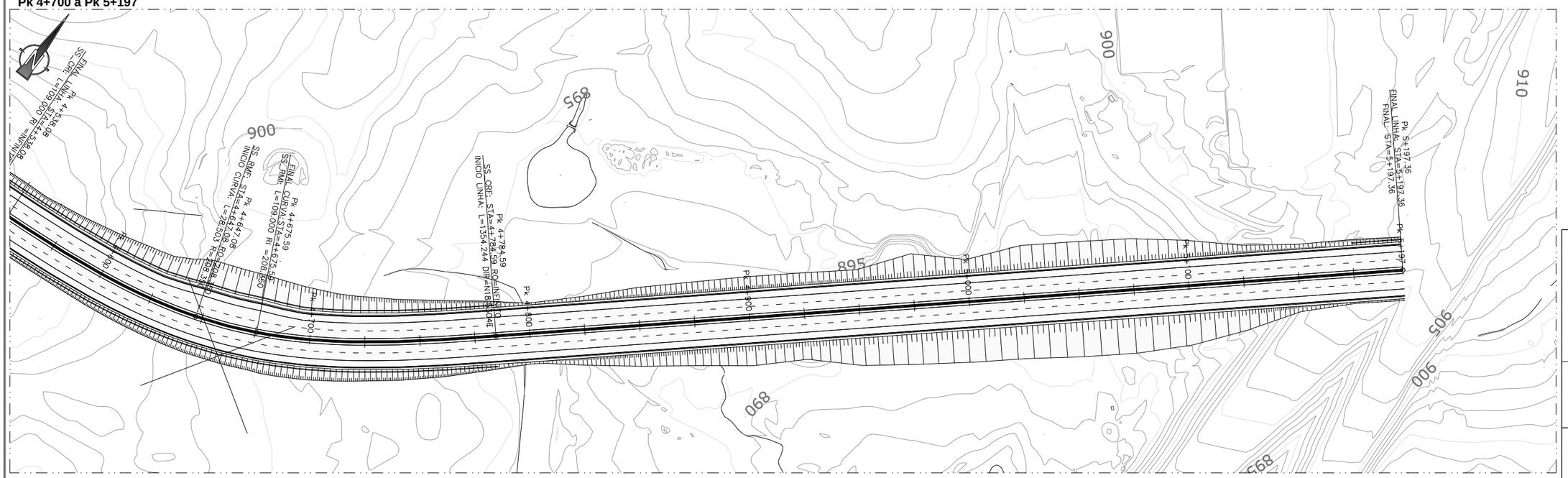
Autora: Lígia Conceição Pereira

Pk 4+000 a Pk 4+700





Pk 4+700 a Pk 5+197



Caso de Estudo F
Velocidade Base: 80 km/h
Abordagem: Segurança
Normativo: México

Apêndice F.4.

Parte 4 de 4

Perfil Longitudinal

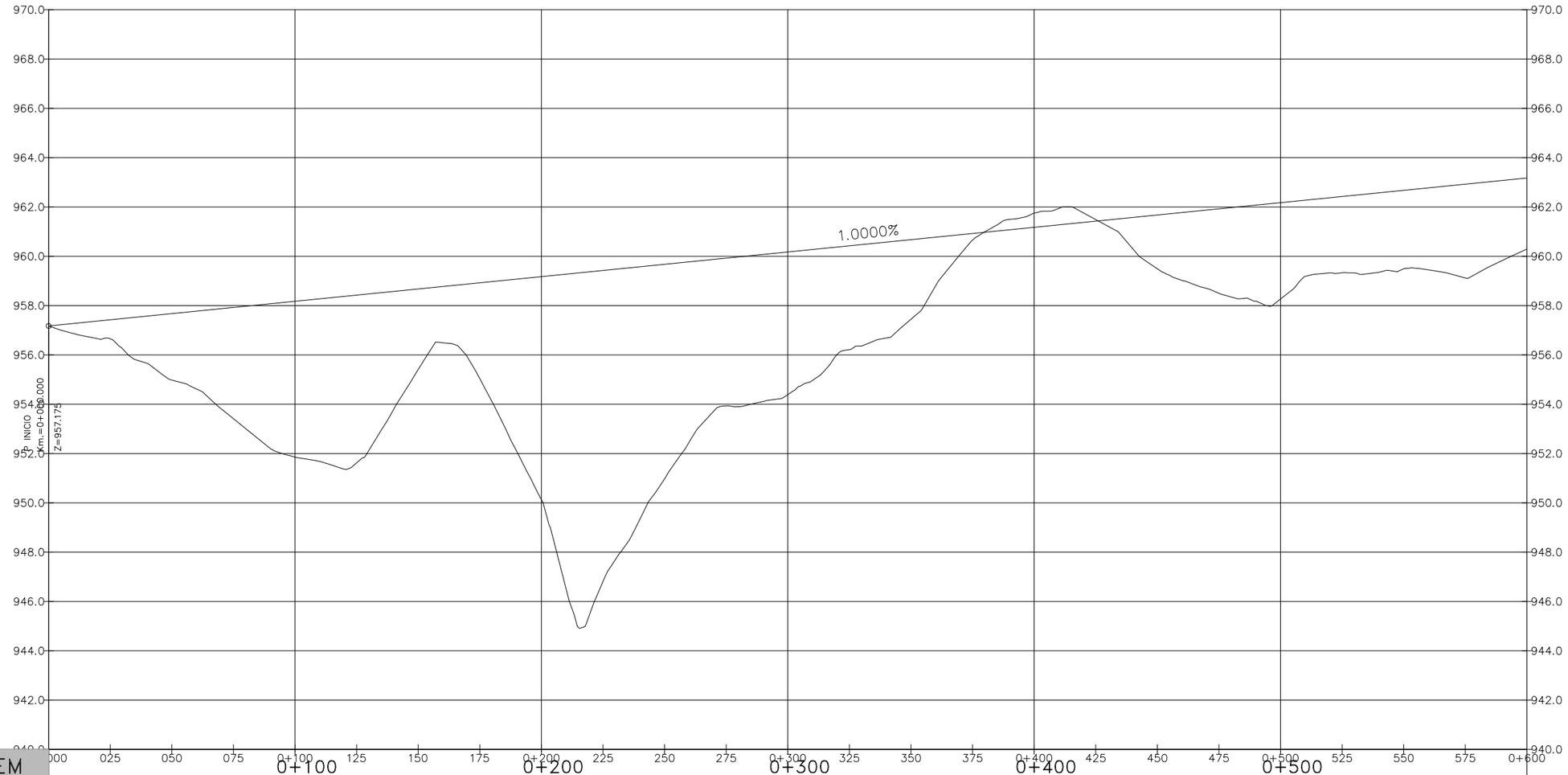
Esc. 1:2000

U.PORTO
FEUP FACULDADE DE ENGENHARIA
UNIVERSIDADE DO PORTO

Dissertação de Mestrado
"Projeto de autoestradas do México: comparação com o caso português"
junho de 2014

Autora: Lígia Conceição Pereira

F5. PERFIL LONGITUDINAL



QUILOMETRAGEM		0+000	025	050	075	0+100	125	150	175	0+200	225	250	275	0+300	325	350	375	0+400	425	450	475	0+500	525	550	575	0+600
PERFIL LONGITUDINAL	Cota da Rasante		957.425	957.675	957.925	958.175	958.425	958.675	958.925	959.175	959.425	959.675	959.925	960.175	960.425	960.675	960.925	961.175	961.425	961.675	961.925	962.175	962.425	962.675	962.925	
	Cota do Terreno		956.65	954.98	953.41	951.86	951.62	955.41	955.04	950.13	946.81	950.97	953.93	954.39	956.21	957.45	960.65	961.76	961.49	959.49	958.50	958.27	959.33	959.49	959.12	
	Elementos da Rasante									i=1.000% L=1741.335																
PLANTA	Pontos Notáveis	km=0+000.000																								km=0+719.312
	Diagrama de Curvas													L=719.312 R= 00												
	Sobreelevação (%)																									

Caso de Estudo F
Velocidade Base: 80 km/h
Abordagem: Segurança
Normativo: México

Apêndice F.5.

Parte 1 de 10

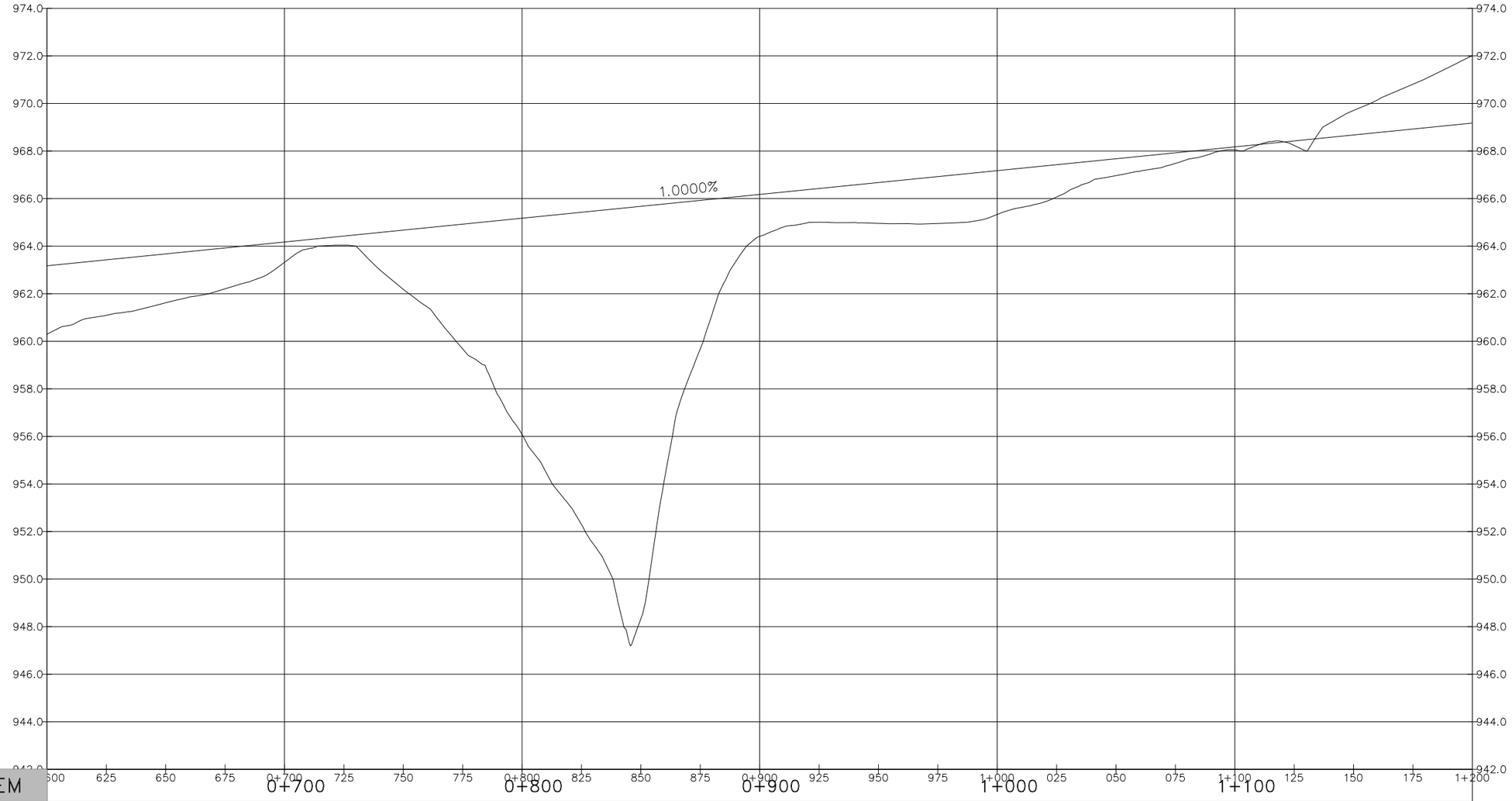
Perfil Longitudinal

Esc. Vertical 1:200
Esc. Horizontal 1:2000

U.PORTO
FEUP FACULDADE DE ENGENHARIA
UNIVERSIDADE DO PORTO

Dissertação de Mestrado
"Projeto de autoestradas do México: comparação com o caso português"
junho de 2014

Autora: Lígia Conceição Pereira



QUILOMETRAGEM	0+700	0+800	0+900	1+000	1+100
PERFIL LONGITUDINAL — Cota da Rasante	963.425 963.675 963.925 964.175 964.425 964.675 964.925 965.175 965.425 965.675 965.925 966.175 966.425 966.675 966.925 967.175 967.425 967.675 967.925 968.175 968.425 968.675 968.925				
PERFIL LONGITUDINAL — Cota do Terreno	961.09 961.62 962.21 963.32 964.04 962.18 959.68 956.09 952.30 948.33 959.68 964.41 965.01 964.96 964.95 965.33 966.07 966.97 967.48 968.05 968.23 969.71 970.81				
PERFIL LONGITUDINAL — Elementos da Rasante	i=1.000% L=1741.335				
PLANTA — Pontos Notáveis	km=0+000.000	km=0+719.312	km=0+828.312 km=0+921.047	km=0+950.047	km=1+437
PLANTA — Diagrama de Curvas	L=719.312 R= 00	L=109.00 A=150.70	R=208.35 L=12.735	L=109.00 A=150.70	L=487.636 R= 00
PLANTA — Sobreelevação (%)	0+697.51 D=−2.00% E=2.00% 21.150	0+719.31 D=0.00% E=0.00% 21.150	0+741.11 D=−2.00% E=2.00%	0.09%−0.09% 87.20 87.20	0+828.31 D=−10.00% E=10.00% 5.000 5.000	0+849.31 D=10.00% E=−10.00%	0.09%−0.09% 87.20 87.20	0+928.25 D=−2.00% E=2.00% 21.150	0+950.05 D=0.00% E=0.00% 21.150	0+971.85 D=−2.00% E=2.00%

Caso de Estudo F
Velocidade Base: 80 km/h
Abordagem: Segurança
Normativo: México

Apêndice F.5.

Parte 2 de 10

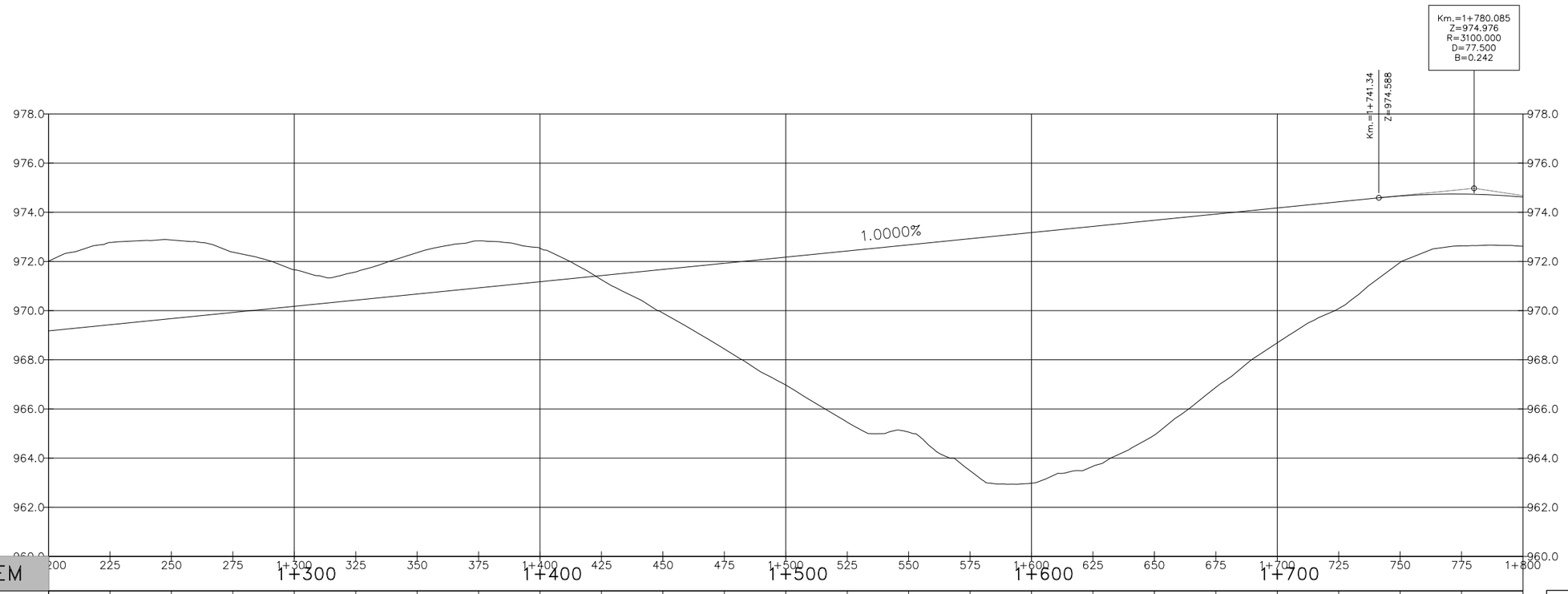
Perfil Longitudinal

Esc. Vertical 1:200
Esc. Horizontal 1:2000

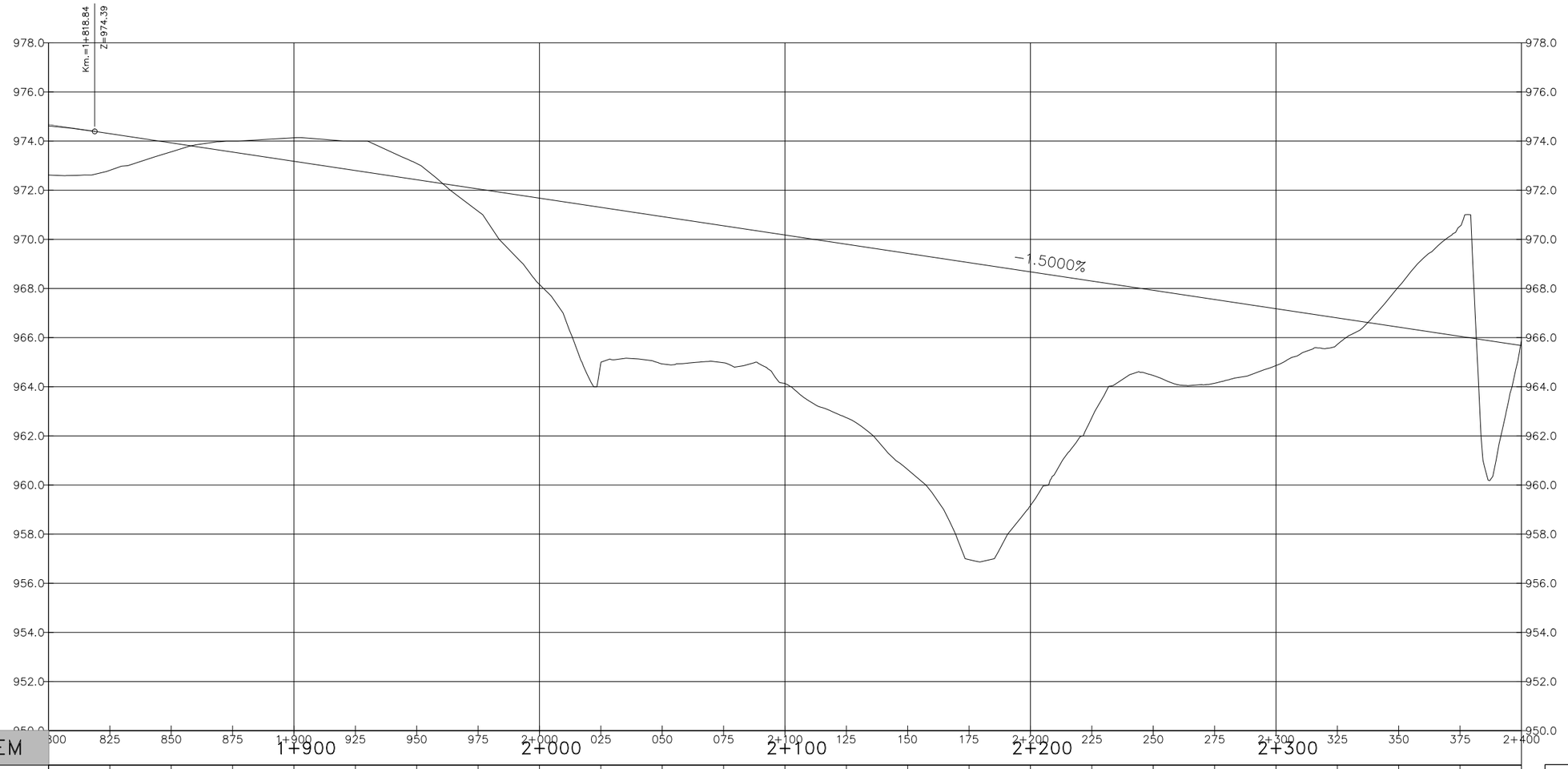
U.PORTO
FEUP FACULDADE DE ENGENHARIA UNIVERSIDADE DO PORTO

Dissertação de Mestrado
"Projeto de autoestradas do México: comparação com o caso português"
junho de 2014

Autora: Lígia Conceição Pereira


Km.=1+780.085
Z=974.976
R=3100.000
D=77.500
B=0.242
Km.=1+741.34
Z=974.588
1.0000%
978.0
976.0
974.0
972.0
970.0
968.0
966.0
964.0
962.0
960.0
200
225
250
275
1+300
325
350
375
1+400
425
450
475
1+500
525
550
575
1+600
625
650
675
1+700
725
750
775
1+800

| | | |



QUILOMETRAGEM		1+900					2+000					2+100					2+200					2+300					2+400
PERFIL LONGITUDINAL	Cota da Rasante	974.302	973.927	973.552	973.177	972.802	972.427	972.052	971.677	971.302	970.927	970.552	970.177	969.802	969.427	969.052	968.677	968.302	967.927	967.552	967.177	966.802	966.427	966.052		
	Cota do Terreno	972.81	973.56	974.00	974.13	974.00	973.09	971.14	968.16	964.97	964.93	964.98	964.13	962.74	960.63	956.96	959.17	962.74	964.46	964.14	964.86	965.72	968.07	970.54		
	Elementos da Rasante	R=3100.000 D=77.500											i=−1.500% L=776.659													
PLANTA	Pontos Notáveis	km=1+708.012																								km=2+749
	Diagrama de Curvas												L=1041.727 R= 00													
	Sobreelevação (%)																									

Caso de Estudo F
Velocidade Base: 80 km/h
Abordagem: Segurança
Normativo: México

Apêndice F.5.

Parte 4 de 10

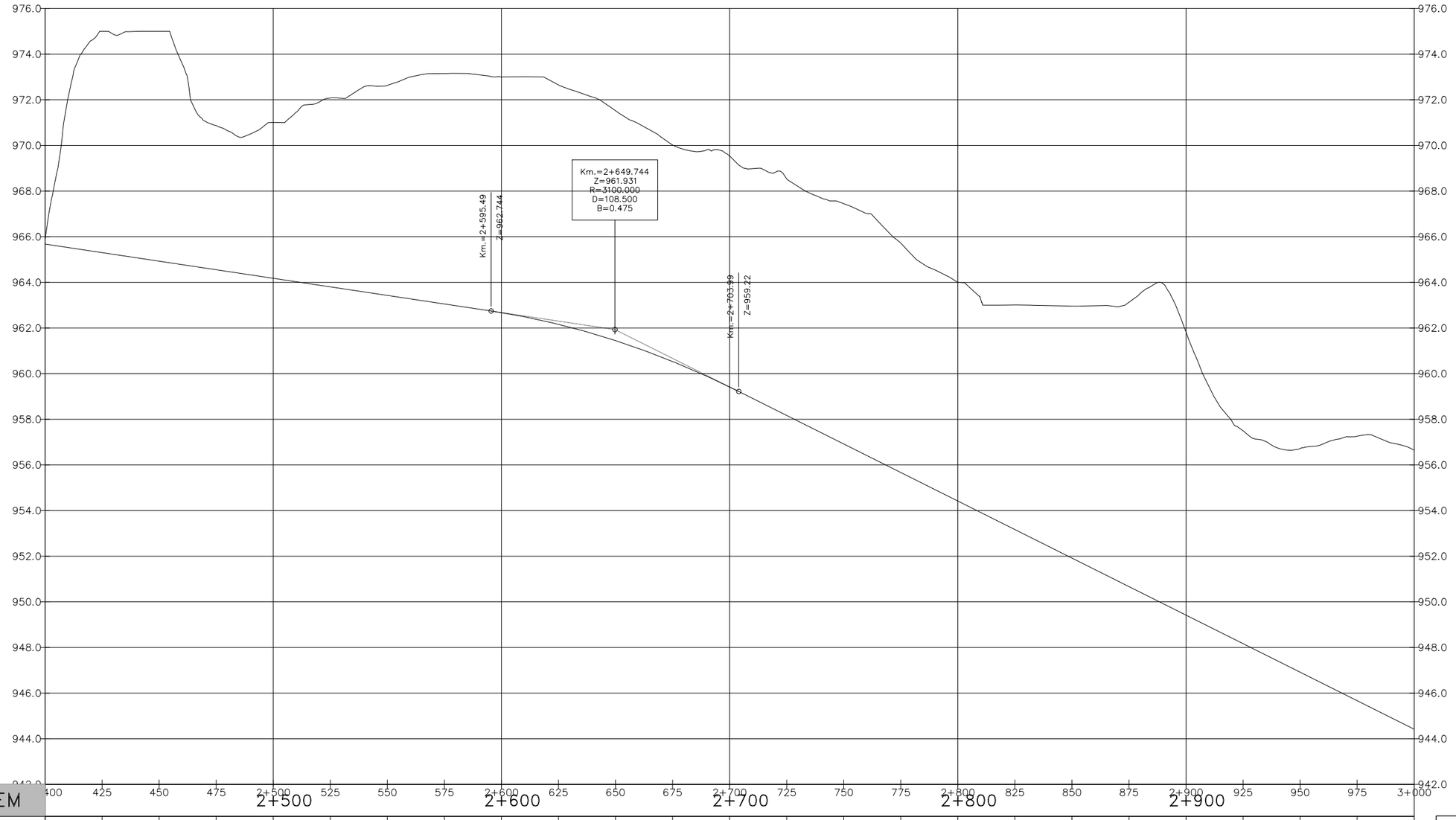
Perfil Longitudinal

Esc. Vertical 1:200
Esc. Horizontal 1:2000

U.PORTO
FEUP FACULDADE DE ENGENHARIA
UNIVERSIDADE DO PORTO

Dissertação de Mestrado
"Projeto de autoestradas do México: comparação com o caso português"
junho de 2014

Autora: Lígia Conceição Pereira



QUILOMETRAGEM																								
PERFIL LONGITUDINAL	Cota da Rasante	965.302	964.927	964.552	964.177	963.802	963.427	963.052	962.674	962.161	961.448	960.532	959.415	958.168	956.918	955.668	954.418	953.168	951.918	950.668	949.418	948.168	946.918	945.668
	Cota do Terreno	975.00	975.00	970.87	971.01	972.08	972.63	973.15	973.00	972.65	971.52	970.02	969.53	968.54	967.45	965.72	964.00	963.01	962.96	963.13	961.82	957.49	956.72	957.26
	Elementos da Rasante	i=−1.500% L=776.659				R=3100.000 D=108.500							i=−5.000% L=1264.547											
PLANTA	Pontos Notáveis	km=1+708.012											km=2+749.739				km=2+858.739		km=2+904.910				km=3+013	
	Diagrama de Curvas	L=1041.727 R= 00											L=109.00 A=150.70				R=208.35 L=46.171				L=109.00 A=150.70			
	Sobreelevação (%)	2+727.94 D=−2.00% E=−2.00% 21.80											2+719.74 D=0.00% E=0.00% 2+771.54 D=−2.00% E=2.00%				0.09% 0.09% 87.20 87.20 2+858.74 D=−10.00% E=10.00%		2+904.91 D=−10.00% E=10.00%		0.09% 0.09% 87.20 87.20		2+992.41 D=0.00% E=2.00%	

Caso de Estudo F
Velocidade Base: 80 km/h
Abordagem: Segurança
Normativo: México

Apêndice F.5.

Parte 5 de 10

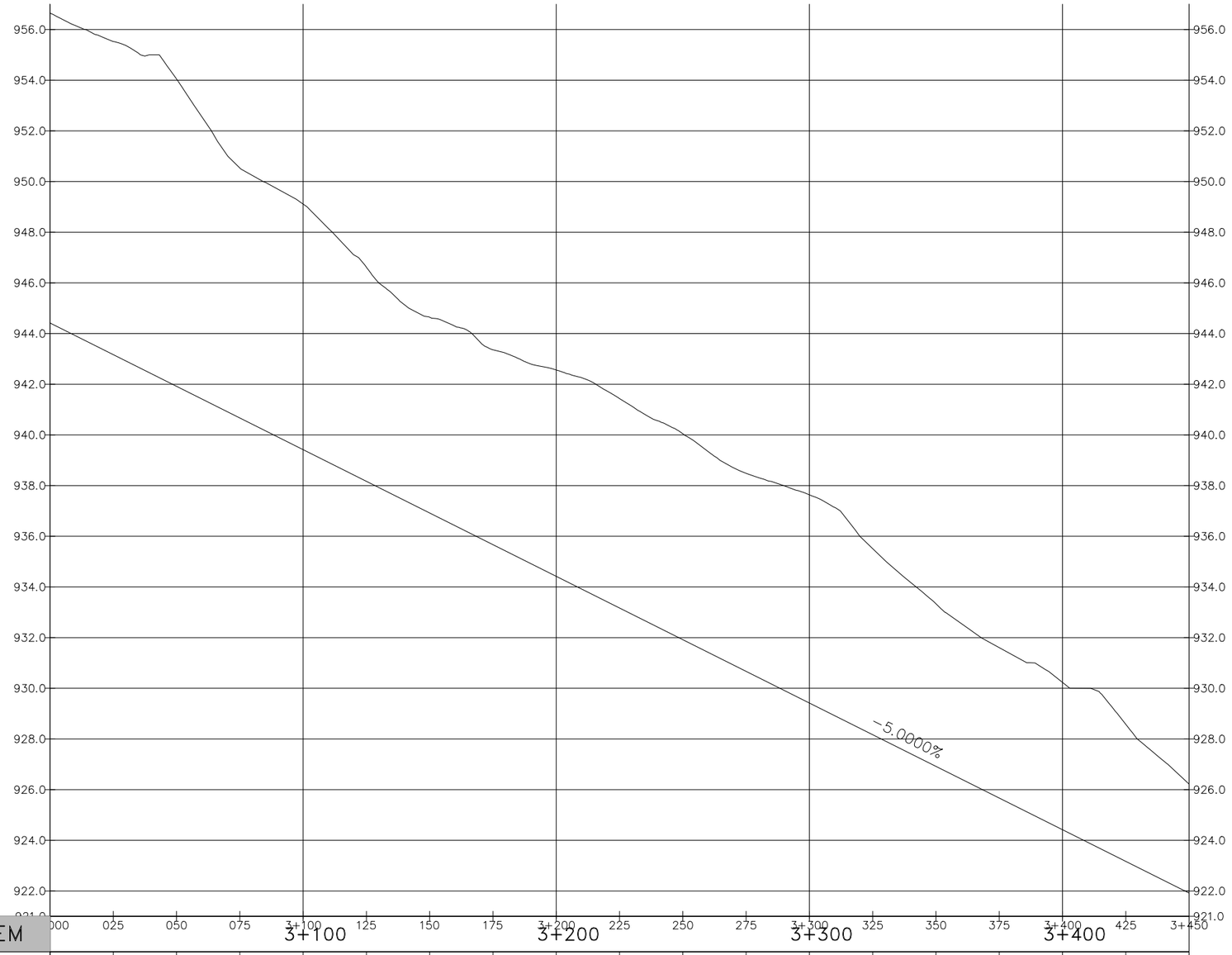
Perfil Longitudinal

Esc. Vertical 1:200
Esc. Horizontal 1:2000

U.PORTO
FEUP FACULDADE DE ENGENHARIA
UNIVERSIDADE DO PORTO

Dissertação de Mestrado
"Projeto de autoestradas do México: comparação com o caso português"
junho de 2014

Autora: Lígia Conceição Pereira



QUILOMETRAGEM	000	025	050	075	3+100	125	150	175	3+200	225	250	275	3+300	325	350	375	3+400	425	3+450
PERFIL LONGITUDINAL — Cota da Rasante			943.168	941.918	940.668	939.418	938.168	936.918	935.668	934.418	933.168	931.918	930.668	929.418	928.168	926.918	925.668	924.418	923.168
Cota do Terreno			955.53	954.05	950.53	949.11	946.62	944.64	943.36	942.56	941.43	940.05	938.48	937.63	935.51	933.34	931.60	930.23	928.58
Elementos da Rasante										i=−5.000% L=1264.547									
PLANTA — Pontos Notáveis	km=2+990.013.910																	km=3+503.434	
Diagrama de Curvas	L=109.00 A=150.70									L=489.523 R= 00									
Sobreelevação (%)	0.00% 13.91 3+013.91 D=−2.00% E=2.00% 21.80 3+035.71 D=−2.00% E=2.00%																		

Caso de Estudo F
Velocidade Base: 80 km/h
Abordagem: Segurança
Normativo: México

Apêndice F.5.

Parte 6 de 10

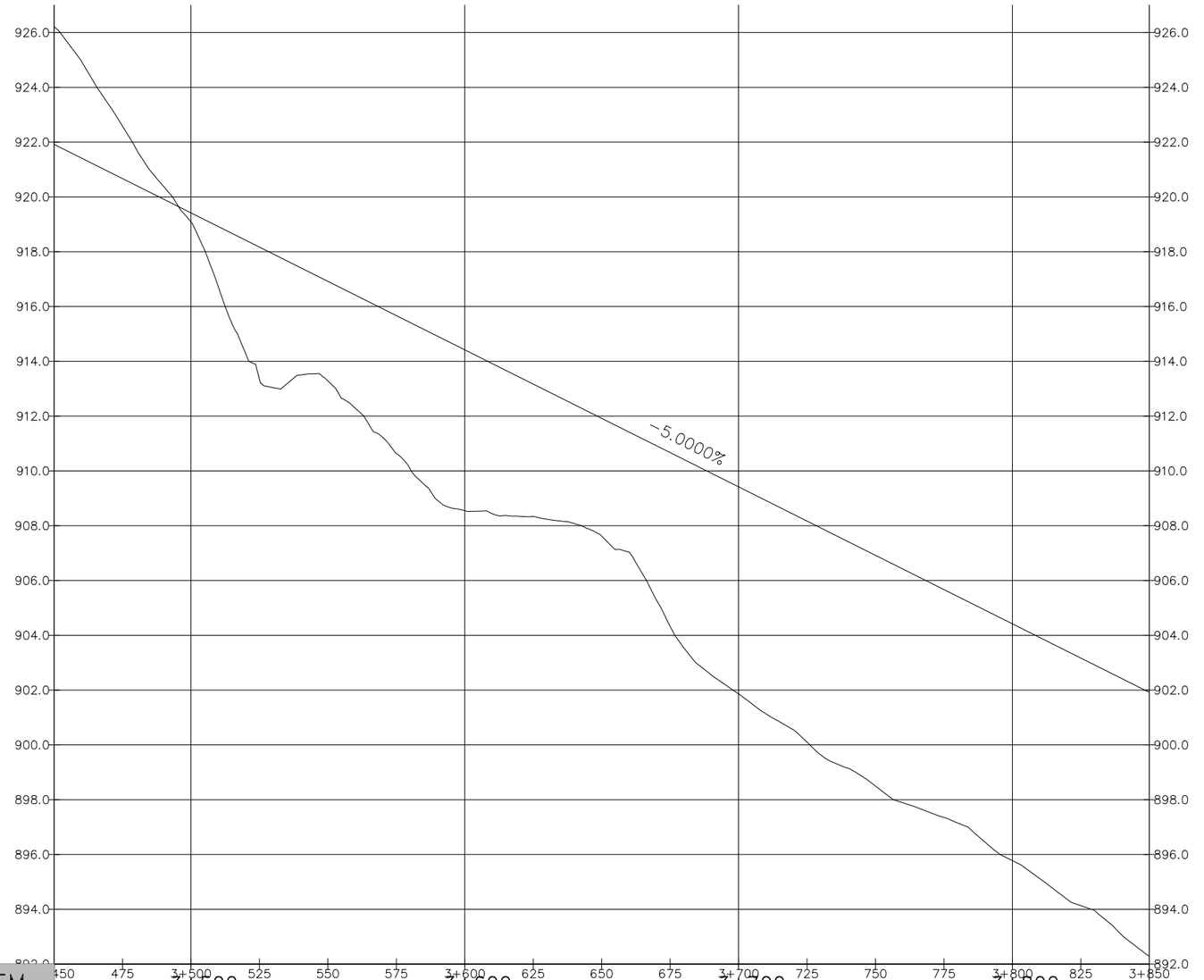
Perfil Longitudinal

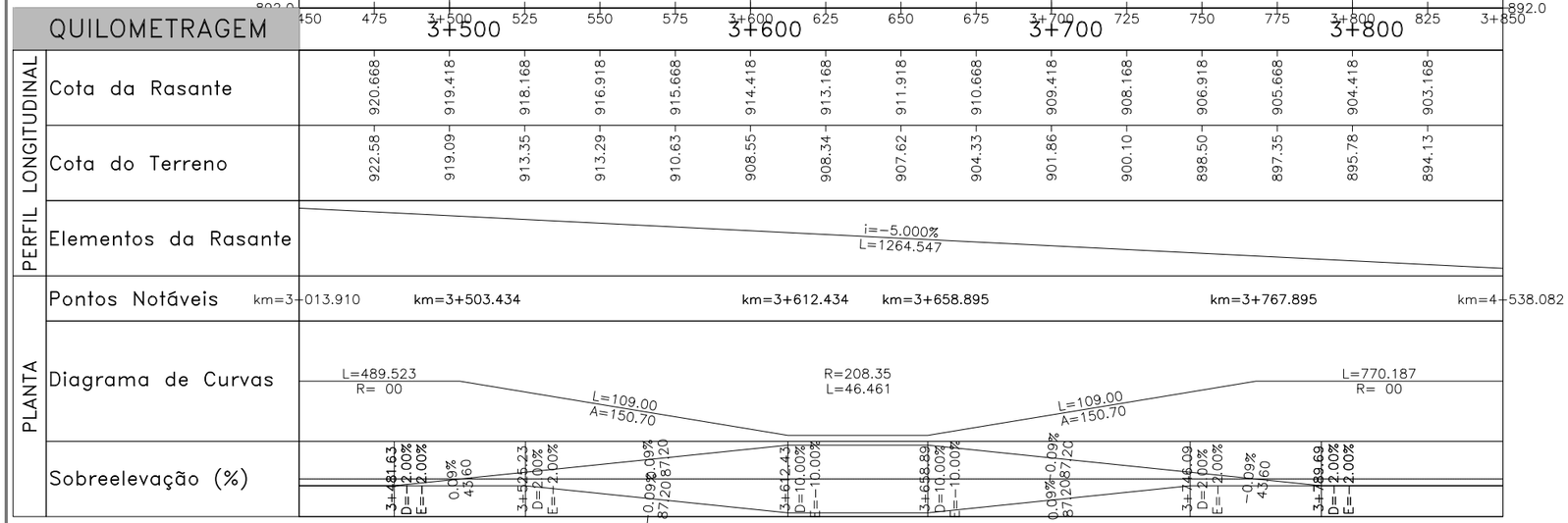
Esc. Vertical 1:200
Esc. Horizontal 1:2000

U.PORTO
FEUP FACULDADE DE ENGENHARIA UNIVERSIDADE DO PORTO

Dissertação de Mestrado
"Projeto de autoestradas do México: comparação com o caso português"
junho de 2014

Autora: Lígia Conceição Pereira





Caso de Estudo F
Velocidade Base: 80 km/h
Abordagem: Segurança
Normativo: México

Apêndice F.5.

Parte 7 de 10

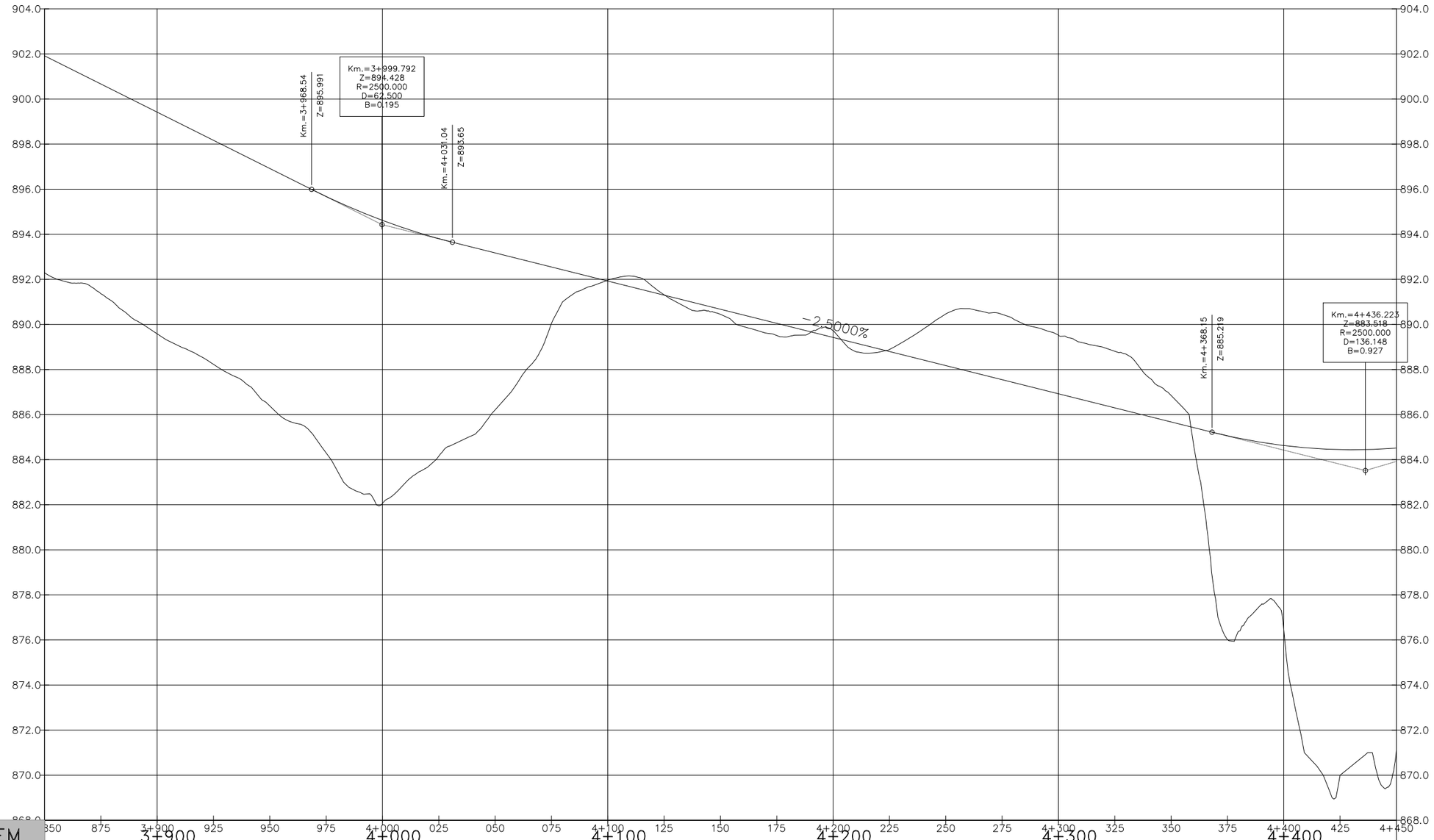
Perfil Longitudinal

Esc. Vertical 1:200
Esc. Horizontal 1:2000

U.PORTO
FEUP FACULDADE DE ENGENHARIA
UNIVERSIDADE DO PORTO

Dissertação de Mestrado
"Projeto de autoestradas do México: comparação com o caso português"
junho de 2014

Autora: Lígia Conceição Pereira



QUILOMETRAGEM	850	875	3+900	925	950	975	4+000	025	050	075	4+100	125	150	175	4+200	225	250	275	4+300	325	350	375	4+400	425	4+450
PERFIL LONGITUDINAL — Cota da Rasante		900.668	899.418	898.168	896.918	895.676	894.616	893.805	893.173	892.548	891.923	891.298	890.673	890.048	889.423	888.798	888.173	887.548	886.923	886.298	885.673	885.058	884.626	884.445	
PERFIL LONGITUDINAL — Cota do Terreno		891.36	889.58	888.23	886.38	884.30	882.06	884.16	886.21	890.04	891.96	891.32	890.45	889.51	889.72	888.89	890.46	890.45	889.52	888.81	886.85	876.02	876.46	870.00	
PERFIL LONGITUDINAL — Elementos da Rasante			i=-5.000% L=1264.547				R=2500.000 D=62.500								i=-2.500% L=337.108									R=2500.000 D=136.148	
PLANTA — Pontos Notáveis	km=3+767.895																							km=4+538	
PLANTA — Diagrama de Curvas															L=770.187 R= 00										
PLANTA — Sobreelevação (%)																									

Caso de Estudo F
Velocidade Base: 80 km/h
Abordagem: Segurança
Normativo: México

Apêndice F.5.

Parte 8 de 10

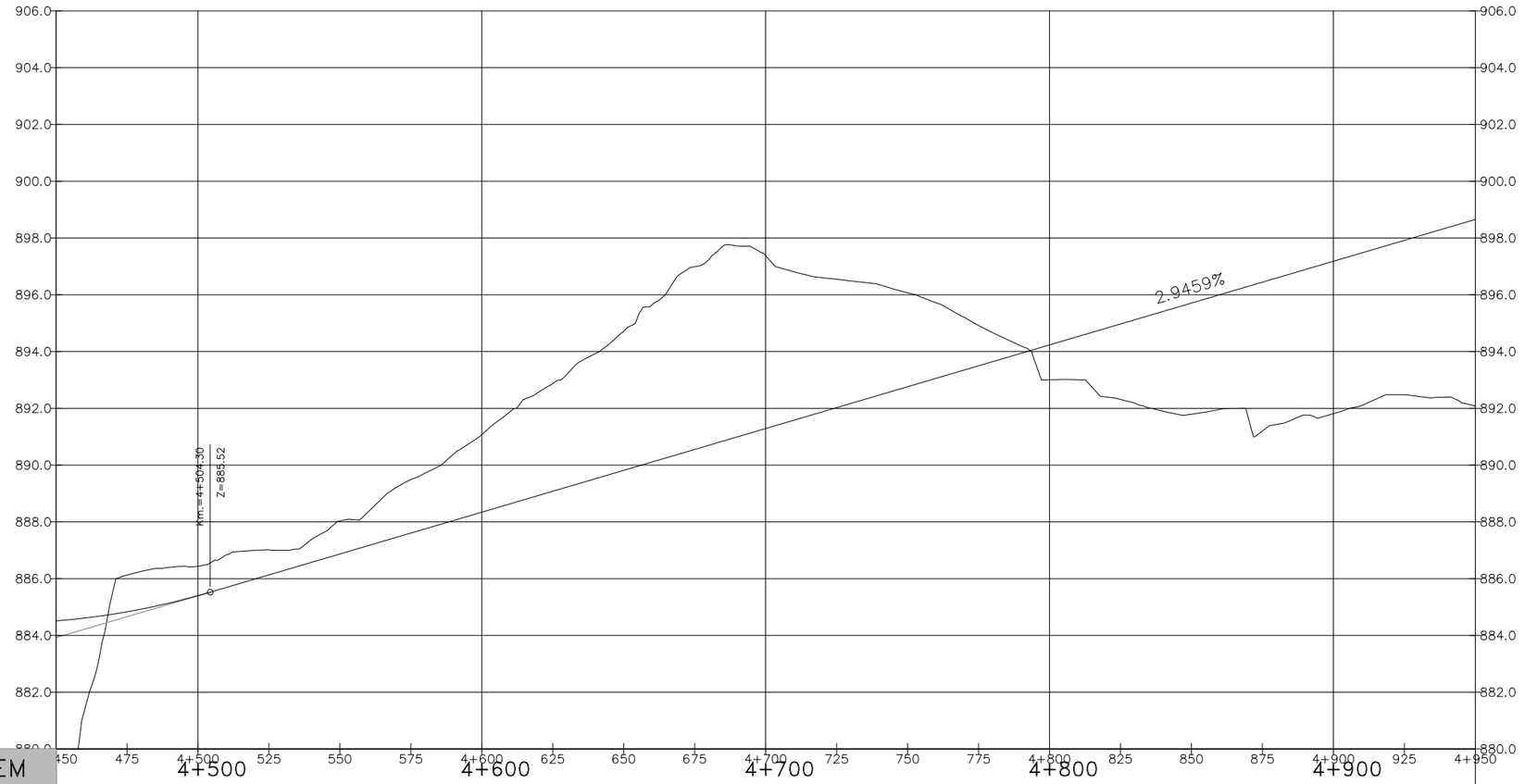
Perfil Longitudinal

Esc. Vertical 1:200
Esc. Horizontal 1:2000

U.PORTO
FEUP FACULDADE DE ENGENHARIA
UNIVERSIDADE DO PORTO

Dissertação de Mestrado
"Projeto de autoestradas do México: comparação com o caso português"
junho de 2014

Autora: Lígia Conceição Pereira



QUILOMETRAGEM		4+500				4+600				4+700				4+800				4+900			
		450	475	4+500	525	550	575	4+600	625	650	675	4+700	725	750	775	4+800	825	850	875	4+900	925	4+950
PERFIL LONGITUDINAL	Cota da Rasante			884.832	885.400	886.133	886.869	887.606	888.342	889.079	889.815	890.552	891.288	892.025	892.761	893.498	894.234	894.971	895.707	896.444	897.180	897.917	
	Cota do Terreno			886.12	886.43	887.01	888.03	889.49	891.07	892.87	894.72	896.99	897.38	896.55	896.07	894.92	893.01	892.31	891.79	891.20	891.81	892.48	
	Elementos da Rasante			R=2500.000 D=136.148									i=2.946% L=693.061										
PLANTA	Pontos Notáveis	km=3+767.895				km=4+538.082				km=4+647.082		km=4+675.585			km=4+784.585							km=5+197.359	
	Diagrama de Curvas			L=770.187 R= 00			L=109.00 A=150.70		R=208.35 L=28.503			L=109.00 A=150.70				L=412.774 R= 00							
	Sobreelevação (%)			4+516.28 D=−2.00% E=−2.00%		0.09% 43.60	4+559.88 D=2.00% E=−2.00%		−0.09% 87.20	0.09% 87.20	4+647.08 D=10.00% E=−10.00%		4+675.59 D=10.00% E=−10.00%		−0.09% 87.20	0.09% 87.20	4+762.79 D=2.00% E=−2.00%		−0.09% 43.60		4+806.39 D=−2.00% E=−2.00%			

Caso de Estudo F
Velocidade Base: 80 km/h
Abordagem: Segurança
Normativo: México

Apêndice F.5.

Parte 9 de 10

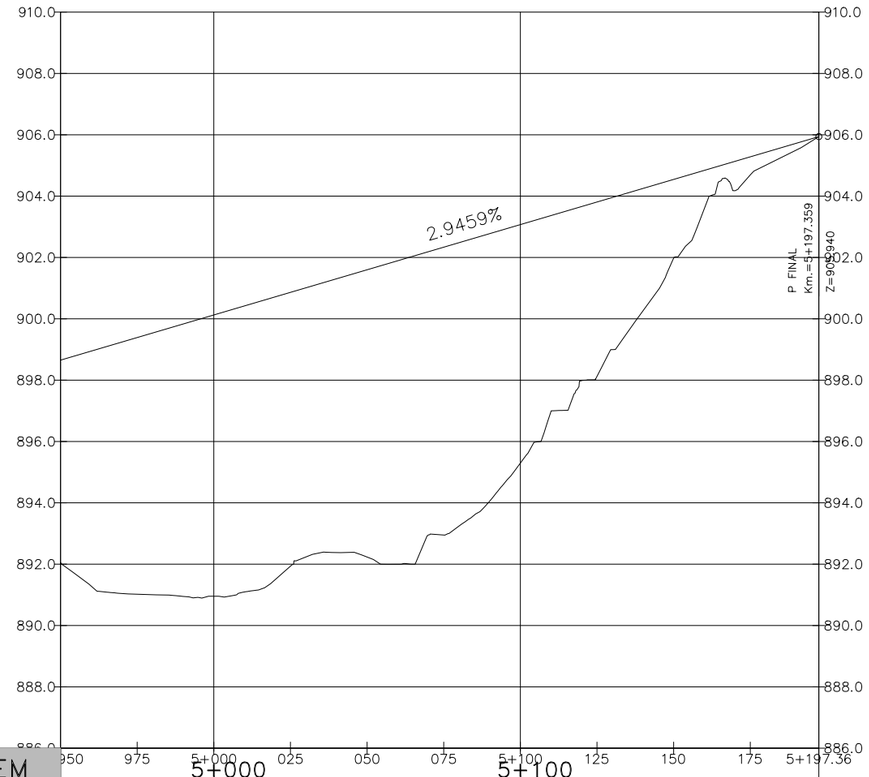
Perfil Longitudinal

Esc. Vertical 1:200
Esc. Horizontal 1:2000

U.PORTO
FEUP FACULDADE DE ENGENHARIA
UNIVERSIDADE DO PORTO

Dissertação de Mestrado
"Projeto de autoestradas do México: comparação com o caso português"
junho de 2014

Autora: Lígia Conceição Pereira



QUILOMETRAGEM		5+000				5+100			
PERFIL LONGITUDINAL	Cota da Rasante	899.390	900.126	900.862	901.599	902.335	903.072	903.808	904.545	905.281
	Cota do Terreno	891.02	890.95	891.94	892.23	892.95	895.30	898.12	901.98	904.69
	Elementos da Rasante	i=2.946% L=693.061								
PLANTA	Pontos Notáveis									
	Diagrama de Curvas									
	Sobreelevação (%)									

Caso de Estudo F
Velocidade Base: 80 km/h
Abordagem: Segurança
Normativo: México

Apêndice F.5.

Parte 10 de 10

Perfil Longitudinal

Esc. Vertical 1:200
Esc. Horizontal 1:2000

U.PORTO
FEUP FACULDADE DE ENGENHARIA
UNIVERSIDADE DO PORTO

Dissertação de Mestrado
"Projeto de autoestradas do México: comparação com o caso português"
junho de 2014

Autora: Lígia Conceição Pereira

Apêndice G PERFIS TRANSVERSAIS TIPO DOS CASOS DE ESTUDO

G.1. PERFIL TRANSVERSAL TIPO, SEGUNDO AS NM

G.2. PERFIL TRANSVERSAL TIPO, SEGUNDO AS NP

G.3. PERFIL TRANSVERSAL TIPO EM ZONA DE VIA ADICIONAL PARA PESADOS, SEGUNDO AS NORMAS MEXICANAS

G.4. PERFIL TRANSVERSAL TIPO EM ZONA DE VIA ADICIONAL PARA PESADOS, SEGUNDO AS NORMAS PORTUGUESAS

BIBLIOGRAFIA

AASHTO, (2005). *Policy on Design Standards Interstate System*. January, acedido em Março de 2014. Disponível em: <http://www.dot.state.fl.us/rddesign/QA/Data/AASHTO-InterstateDesignStandards.pdf>. 1560512911

AASHTO, (2011). *Policy on Geometric Design of Highways and Streets (6th Edition) with 2012 Errata*. American Association of State Highway and Transportation Officials (AASHTO), Washington, DC. Disponível em: <http://app.knovel.com/hotlink/toc/id:kpPGDHSE01/policy-geometric-design>. 978-1-56051-508-1

Ajram, Kasem, (1992). *The miracle of Islamic science*. Knowledge House Publishers, 0911119434

Andrade, Amélia Aguiar, (2002). *As estradas em Portugal: memória e história. Documentação do Arquivo do MOP*. Centro Rodoviário Português, Disponível em: <http://hdl.handle.net/10362/6853>. 9729864942

Angulo, E.; Castillo, E.; García-Ródenas, R.; Sánchez-Vizcaíno, J., (2012). *Determining Highway Corridors*. Journal of Transportation Engineering. Vol. 138. n.º 5. p. 557-570. Disponível em: <http://ascelibrary.org/doi/abs/10.1061/%28ASCE%29TE.1943-5436.0000361>.

De Luca, Mario; Lamberti, Renato; Dell'Acqua, Gianluca, (2012). *Freeway Free Flow Speed: a Case Study in Italy*. Procedia - Social and Behavioral Sciences. Vol. 54. n.º 0. p. 628-636. acedido em Março de 2014. Disponível em: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1877042812042425>. 1877-0428

FHT, (2013). *Highway Functional Classification: Concepts, Criteria and Procedures*. U.S. Departament of Transportation, Federal Highway Transportation (FHT), Washington, DC. Disponível em: <http://www.fhwa.dot.gov/planning/processes/statewide/related/highway_functional_classifications/fcauab.pdf>.

França, Adalberto, (n.d.-a). *Apontamentos teorico-práticos de Complementos de Estradas e Aeródromos*. Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Portugal.

França, Adalberto, (n.d.-b). *Apontamentos teorico-práticos de Vias de Comunicação*. Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Portugal.

Google, (2014). *Visualização de satélite na região de Xalapa (México)*. Google earth, acedido em 18 de Junho de 2014.

INIR, (2008). *Auto-estradas - Características técnicas*. INIR, Lisboa, Portugal. acedido em Março de 2014. Disponível em: <http://www.inir.pt/portal/LinkClick.aspx?fileticket=LO4%2bkkCgOhQ%3d&tabid=116&mid=487&language=pt-PT>.

INIR, (2010). *Norma de Traçado - Revisão*. INIR, Lisboa, Portugal. acedido em Fevereiro de 2014. Disponível em:

<http://www.inir.pt/portal/LinkClick.aspx?fileticket=I%2bmqF3AOYtM%3d&tabid=111&mid=482&language=pt-PT>.

JAE, (1994). *Norma de Traçado*. Junta Autónoma de Estradas, Portugal.

Jha, Manoj K., (2003). *Criteria-Based Decision Support System for Selecting Highway Alignments*. Journal of Transportation Engineering. Vol. 129. n.º 1. p. 33. Disponível em: <http://search.ebscohost.com/login.aspx?direct=true&db=a9h&AN=8687243&lang=pt-br&site=ehost-live>. 0733947X

Jong, Jyh-Cherng; Schonfeld, Paul, (2003). *An evolutionary model for simultaneously optimizing three-dimensional highway alignments*. Transportation Research Part B: Methodological. Vol. 37. n.º 2. p. 107-128. Disponível em: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0191261501000479>. 0191-2615

Kalamaras, G. S.; Brino, L.; Carrieri, G.; Pline, C.; Grasso, P., (2000). *Application of Multicriteria Analysis to select the best highway alignment*. Tunnelling and Underground Space Technology. Vol. 15. n.º 4. p. 415-420. Disponível em: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0886779801000104>. 0886-7798

Kang, M. W.; Shariat, S.; Jha, M. K., (2013). *New highway geometric design methods for minimizing vehicular fuel consumption and improving safety*. Transportation Research Part C: Emerging Technologies. Vol. 31. p. 99-111. Disponível em: <http://www.scopus.com/inward/record.url?eid=2-s2.0-84876334695&partnerID=40&md5=deafbefa0e30e75b73958a3157125f57>.

Kang, Min-Wook; Jha, Manoj K.; Schonfeld, Paul, (2012). *Applicability of highway alignment optimization models*. Transportation Research Part C: Emerging Technologies. Vol. 21. n.º 1. p. 257-286. Disponível em: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0968090X11001422>. 0968-090X

Lay, Maxwell G, (1992). *Ways of the World: A History of the World's Roads and of the Vehicles that Used Them*. Rutgers university press, 0813526914

Macedo, António Lemonde de, (1994). *O traçado de túneis rodoviários*. Instituto Superior Técnico, Lisboa.

Macedo, António Lemonde de ; Cardoso, João Lourenço; Roque, Carlos, (2013). *Pressupostos Para A Reformulação Das Normas De Traçado Rodoviário*. p. 9. acedido em Março de 2014. Disponível em: <http://www.crp.pt/docs/A45S143-7_Art_T3_7CRP_2013.pdf>.

Melo, Pedro; Lobo, António; Couto, António; Rodrigues, Carlos Manuel, (2012). *Road Cross-Section Width and Free-Flow Speed on Two-Lane Rural Highways*. Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board. Vol. 2301. n.º 1. p. 28-35. 0361-1981

Mishra, S.; Kang, M.; Jha, M., (2014). *Empirical Model with Environmental Considerations in Highway Alignment Optimization*. Journal of Infrastructure Systems. Vol. 0. n.º 0. p.

04014017. Disponível em: <http://ascelibrary.org/doi/abs/10.1061/%28ASCE%29IS.1943-555X.0000194>.

O'Cinnéide, Don; McAuliffe, Niall; Des, O'Dwyer, (1993). *Comparison of road design standards and operational regulations in EC and EFTA countries*. Traffic Research Unit, University College,

Pacheco, Elsa, (2001). *Alteração das acessibilidades e dinâmicas territoriais na Região Norte: expectativas, intervenções e resultantes*. Universidade do Porto, Faculdade de Letras. acedido em Abril de 2014. Disponível em: <http://repositorio-aberto.up.pt/handle/10216/7019>.

Patton, Phil, (2008). *A 100-Year-Old Dream: A Road Just for Cars*. New York Times. acedido em Abril de 2014. Disponível em: < http://www.nytimes.com/2008/10/12/automobiles/12LIMP.html>.

PRN, (2000). *Plano Rodoviário Nacional aprovado pelo Decreto-Lei n.º 222/98 de 17 de Julho (D.R. I Série-A n.º 163), rectificado pela Declaração de Rectificação n.º 19-D/98 (D.R. I Série-A n.º 252), pela Lei nº. 98/99 de 26 Julho (D.R. I Série-A n.º 172) e pelo Decreto-Lei n.º 182/2003 de 16 de Agosto (D.R. I Série-A n.º 188)*.

Roque, Carlos de Almeida (2013). *Revisão da Norma de Traçado*. p. 11. acedido em Março de 2014. Disponível em: <http://crp.pt/docs/A45S143-8_Art_T3_7CRP_2013.pdf>.

Salmón, Fernando Aceves, (2001). *Normas Técnicas De Proyecto Y Construcción Para Obras De Vialidades Del Estado De Baja California*. SAHOPE, Mexico. acedido em Abril de 2014. Disponível em: <http://www.imipmexicali.org.mx/normatividad/4.-%20NORMAS%20TECNICAS/4%20NORMAS%20T%20PROY-C%20VIALIDADES.pdf>.

SCT, (1984). *Normas de Servicios Técnicos - Proyecto Geométrico de Carreteras*. Secretaría De Comunicaciones Y Transportes, México. acedido em Fevereiro de 2014. Disponível em: <http://sjnavarro.files.wordpress.com/2011/08/proyecto_geomc3a9trico_carreteras_sct.pdf>.

SCT, (1991). *Manual de proyecto Geométrico de Carreteras*. Secretaría De Comunicaciones Y Transportes, México. Disponível em: <http://www.sct.gob.mx/fileadmin/DireccionesGrales/DGRH/html_spc/formatos/manual_de_proyecto_geometrico_SCT.pdf>.

SCT, (2001). *Carreteras: Proyectos de Nuevos Puentes y Estructuras Similares*. Secretaría De Comunicaciones Y Transportes, México. acedido em Março de 2014. Disponível em: <http://normas.imt.mx/normativa/N-PRY-CAR-6-01-002-01.pdf>.

SCT, (2004). *Recomendaciones de Actualizacion de Algunos Elementos del Proyecto Geométrico de Carreteras*. Secretaría De Comunicaciones Y Transportes, México. Disponível em: <http://imt.mx/archivos/Publicaciones/PublicacionTecnica/pt244.pdf>.

TRB, (2010). *Highway Capacity Manual 2010, Volumes 1 - 4*. Transportation Research Board, Disponível em: <http://app.knovel.com/hotlink/toc/id:kpHCMV000O/highway-capacity-manual>. 978-0-309-16077-3

Wikipédia, (2014). *Anexo:Lista de autoestradas de Portugal*. acedido em 21 de Junho de 2014. Disponível em: <http://pt.wikipedia.org/wiki/Anexo:Lista_de_autoestradas_de_Portugal>.