

PROJETO GEOMÉTRICO DE UM NÓ DE LIGAÇÃO

NUNO MIGUEL CORREIA MIRANDA

Dissertação submetida para satisfação parcial dos requisitos do grau de
MESTRE EM ENGENHARIA CIVIL — ESPECIALIZAÇÃO EM VIAS DE COMUNICAÇÃO

Orientador: Professor Doutor Adalberto Quelhas da Silva França

FEVEREIRO DE 2013

MESTRADO INTEGRADO EM ENGENHARIA CIVIL 2012/2013

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 - 2012/2013 - Departamento de Engenharia Civil, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Porto, Portugal, 2013.*

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.

A meus pais

Um desistente nunca ganha e um vencedor nunca desiste.

Napolean Hill

AGRADECIMENTOS

Passados cinco anos desde a entrada no mestrado integrado em engenharia civil na FEUP, a presente dissertação representa o culminar de todo conhecimento adquirido.

Sem o apoio dos meus pais e amigos, este percurso, se não fosse impossível, seria certamente muito mais difícil, e a concentração e motivação seriam mais difíceis de encontrar.

Para além dos conhecimentos adquiridos e da conclusão do curso que agora se aproxima, ao longo deste percurso foram igualmente importantes as, felizmente muitas, novas amizades que se foram formando ao longo do tempo. A partilha de momentos que de lazer quer de trabalho e troca de informações foram importantíssimas.

Agradeço também ao Professor Doutor Adalberto Quelhas da Silva França pela disponibilidade na ajuda da realização deste trabalho.

RESUMO

A presente dissertação tem por objetivo a elaboração de um projeto de um Nó Rodoviário. O estudo desse projeto coloca em prática matérias abordadas nas disciplinas da área de Vias de Comunicação, mais propriamente nas cadeiras de Vias de Comunicação 1 e 2 , do quarto ano , e Complementos de estradas e Aeródromos, do quinto ano.

O trabalho é composto por uma apresentação, no capítulo 2, das normas utilizadas na elaboração do projeto e uma exposição, no capítulo 3, dos métodos utilizados e cálculos efetuados na elaboração do projeto e das opções tomadas. No final, após conclusões do relatório, são apresentadas em anexo um conjunto de tabelas com os resultados obtidos no decorrer do processo e um conjunto de peças desenhadas com plantas e perfis longitudinais da solução final.

PALAVRAS-CHAVE: Projeto, Interseção, Nó de Ligação, Rotunda, Condicionantes.

ABSTRACT

This thesis aim is to develop a design for Road Interchange Node. This project's study puts into practice matters addressed in Transport Infrastructures area, more precisely in the subjects of Vias de Comunicação 1 and 2 , from the fourth year, and Complementos de Estradas e Aeródromos, from the fifth year.

This study consists of a presentation in chapter 2, about the standards used on this project and a display in chapter 3, about the methods and calculations made during de process. In the end, after the final report conclusions, a set of tables with the results obtained during the process and a set of drawings with plants and longitudinal profiles of the final solution are appended.

KEYWORDS: Project, Intersection, Interchange Node, Roundabout, Constraints.

ÍNDICE GERAL

1 INTRODUÇÃO	1
1.1. IMPORTÂNCIA DAS VIAS DE COMUNICAÇÃO NA ATUALIDADE.....	1
1.2. ESTRUTURA DA PRESENTE DISSERTAÇÃO	1
2 ENQUADRAMENTO E NORMAS	3
2.1. INTERSECÇÕES.....	3
2.1.1. INTERSECÇÕES DE NÍVEL	3
2.1.2. INTERSECÇÕES DESNIVELADAS	5
2.1.3. NÓS DE LIGAÇÃO	5
2.1.3.1. Nó em Diamante.....	6
2.1.3.2. Nó em Trevo.....	7
2.2. ENQUADRAMENTO	8
2.3. CONDICIONANTES NORMATIVAS	11
2.3.1. CONDICIONAMENTOS DO TRAÇADO EM PLANTA	11
2.3.1.1. Curva circular.....	12
2.3.1.2. Curvas de transição	13
2.3.2. CONDICIONANTES DO TRAÇADO EM PERFIL LONGITUDINAL.....	16
2.3.3. CONDICIONANTES GEOMÉTRICAS DOS NÓS DE LIGAÇÃO.....	19
3 PROJETO DE UM NÓ DE LIGAÇÃO – CÁLCULOS E RESULTADOS.....	23
3.1. INTRODUÇÃO	23
3.2. LOCALIZAÇÃO DOS EIXOS DO RESTABELECIMENTO 1 E DAS ROTUNDAS	23
3.3. PERFIL LONGITUDINAL DAS ROTUNDAS E DO RESTABELECIMENTO 1	26
3.4. RAMOS DE LIGAÇÃO	30
3.4.1. RAMO D	31
3.4.1.1. Considerações Iniciais.....	31

3.4.1.2. Definição Geométrica do ramo D.....	32
3.4.2. RAMO A E RAMO B.....	40
3.4.3. RAMO C.....	43
4 CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	47

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 - Pontos de conflito num cruzamento de quatro ramos [1]	3
Figura 2 - Pontos de conflito num cruzamento de três ramos (entroncamento) [1]	4
Figura 3 - Pontos de conflito numa rotunda de quatro ramos [2].....	5
Figura 4 - Exemplo de Nó em Diamante (fonte Google Maps , 2012)	6
Figura 5 - Exemplo de Nó em Diamante com rotundas (fonte Google Maps , 2012).....	6
Figura 6 - Exemplo de Nó em Meio-Trevo incompleto (fonte Google Maps , 2012).....	7
Figura 7 - Exemplo de Nó em Meio-Trevo Completo (fonte Google Maps , 2012).....	8
Figura 8 - Exemplo de Nó em Trevo Completo (fonte Google Maps , 2012).....	8
Figura 9 - Planta topográfica pormenorizada da zona em análise.....	9
Figura 10 - Planta do lanço da IP2 com viadutos representados a vermelho	10
Figura 11 - Perfil longitudinal do troço do IP2 na zona da intersecção	11
Figura 12 - Representação da geometria da clotóide e elementos importantes (adaptado de [3])	14
Figura 13 - representação de uma concordância entre traineis [5].....	17
Figura 14 - Velocidade específica para os diferentes ramos de ligação [6]	20
Figura 15 - perfil transversal tipo de um ramo de ligação unidirecional [7].....	21
Figura 16 - Eixos da estrada secundária e das rotundas	24
Figura 17 - pormenor das distâncias dos elementos das rotundas (medidas em metros)	25
Figura 18 - Pormenores das medidas dos raios de entrada e saída entre a rotunda A e o restabelecimento 1	26
Figura 19 - Representação do terreno e intersecção do IP2 no Restabelecimento 1	27
Figura 20 - Polígono formado pela intersecção da secundaria com o IP2	28
Figura 21 - Perfil longitudinal do restabelecimento 1	29
Figura 22 - Perfil longitudinal da rotunda A	29
Figura 23 - Perfil longitudinal da rotunda B	30
Figura 24 - Nomes dos quatro quadrantes.....	31
Figura 25 - Componentes em planta do ramo D	33
Figura 26 - Parâmetros de uma clotóide [4]	35
Figura 27 - Representação em planta dos pontos levantados para a obtenção da concordância	36
Figura 28 - Esquema de cálculo da concordância do ramo com a estrada principal.....	36
Figura 29 - Perfil longitudinal do ramo D.....	38
Figura 30 - Esquema para a definição de um <i>taper</i> em alinhamento reto.....	39
Figura 31 - Esquema de cálculo de uma "curva em S" [7].....	40
Figura 32 - Componentes em planta do Ramo A.....	41

Figura 33 - Componentes em planta do Ramo B.....	42
Figura 34 – Esquema de cálculo de uma curva ovoide [7].....	44
Figura 35 - Componentes em planta do Ramo C.....	45

ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 1 - Raios mínimos absolutos e Raios mínimos normais.....	12
Tabela 2 - Sobreelevação em curva circular	13
Tabela 3- Inclinação máxima desejável dos traineis [3]	16
Tabela 4 - Extensão crítica dos traineis [3]	17
Tabela 5 - Raio e Desenvolvimento mínimos para concordâncias convexas.....	18
Tabela 6 - Raio e Desenvolvimento mínimos para concordâncias côncavas	19
Tabela 7 - Distância de visibilidade de decisão [6].....	19
Tabela 8 - Raio mínimo, parâmetro A, extensão mínima da curva de transição e circula para uma velocidade V_e [6]	20
Tabela 9 - Sobrelargura em função do raio da curva circular num ramo de ligação [6]	21
Tabela 10 - Sobreelevação em ramos de ligação [6].....	22
Tabela 11 - limites da variação longitudinal da sobreelevação [6]	22
Tabela 12 –Diferença máxima entre inclinações transversais [6].....	22
Tabela 13 - Coordenadas da rotunda A.....	25
Tabela 14 - Coordenadas da rotunda B	25
Tabela 15 - Coordenadas do Ramo D	33
Tabela 16 - Estudo das curvas para o ramo D.....	34
Tabela 17 - Resultados da compatibilização da zona pavimentada comum do ramo D	37
Tabela 18 - dados do <i>taper</i> da transição da berma exterior após o ramo D	39
Tabela 19 - Coordenadas do Ramo A	41
Tabela 20 - Coordenadas do Ramo B.....	42
Tabela 21 - Coordenadas do Ramo A	44

SÍMBOLOS E ABREVIATURAS

CC – Curva Circular

CT – Curva de Transição

CL – Clotóide

E.P. – Estradas de Portugal

EP – Estrada Principal

ES – Estrada Secundária

Gr - Grados

I% - Inclinação em percentagem

IP – Itinerário Principal

Km – Quilómetro

Pk – Ponto quilométrico

Rv – Raio vertical

Se – Sobreelevação

SI – Sobrelargura

Vb – Velocidade base

Ve – Velocidade específica

Vt – Velocidade de tráfego

1 INTRODUÇÃO

1.1. IMPORTÂNCIA DAS VIAS DE COMUNICAÇÃO NA ATUALIDADE

A deslocação, quer de bens quer de pessoas, é desde sempre uma componente fundamental da vida humana, e tem vindo a ganhar cada vez mais importância. Principalmente a partir do último século, com a criação dos grandes centros cada vez mais populosos torna-se cada vez mais importante, não só o encurtar deslocações mais longas, como principalmente permitir uma agilização e escoamento do tráfego nas grandes concentrações urbanas de forma segura e eficiente. Nesse sentido, a aplicação geométrica das vias de comunicação tem vindo a ser cada vez mais metódica e condicionada na procura de uma conjugação entre eficiência, conforto, segurança e baixos custos. Para além destes pontos, a geometria do traçado é também cada vez mais condicionada tendo em conta os impactos ambientais.

1.2. ESTRUTURA DA PRESENTE DISSERTAÇÃO

No âmbito do disposto no ponto anterior, a presente dissertação tem por objetivo a elaboração de um projeto de um nó de ligação . Um nó de ligação é composto por um conjunto de ramos que permitem fazer a ligação entre duas estradas que se cruzam de forma desnivelada.

A estrutura desta dissertação será dividida em 4 capítulos seguidos de anexos finais com pormenores de cálculo e plantas do projeto.

O presente capítulo tem por objetivo uma breve introdução ao que irá ser tratado ao longo desta dissertação e á descrição da sua organização.

De forma a obter um resultado final, têm de ser levadas em conta as normas em vigor para este tipo de intersecções bem como a topografia e ocupação do solo. O segundo capítulo irá focar-se nas normas a utilizar neste tipo de intersecções, bem como avaliar quais os tipos de nós mais utilizados, as suas vantagens e desvantagens e definir o tipo de nó em diamante a implantar.

O terceiro capítulo será de índole mais prática. Nele serão apresentados os cálculos e procedimentos utilizados para a definição das várias componentes do projeto em questão.

O quarto e último capítulo terá por objetivo uma pequena reflexão sobre o trabalho efetuado e serão retiradas algumas conclusões.

Para além dos capítulos descritos, o presente relatório acompanhar-se-á de anexos compostos essencialmente por quadros e cálculos mais detalhados não incluídos no capítulo 3, para não dificultar a leitura e compreensão fluente do mesmo. Os anexos irão também incluir imagens mais detalhadas do projeto.

2 ENQUADRAMENTO E NORMAS

2.1. INTERSECÇÕES

Neste ponto serão utilizadas as normas de Intersecções, de Nós de Ligação e de Traçado da antiga Junta Autónoma de Estradas, bem como algumas normas espanholas.

2.1.1. INTERSECÇÕES DE NÍVEL

Tendo em conta a extensa rede viária nacional, tornam-se frequentes as intersecções de nível de duas ou mais vias de tráfego. Estes elementos do traçado são muito importantes mas são também os mais perigosos, pois aí ocorrem o maior número dos acidentes rodoviários. A observação das figuras 1e 2 permite uma melhor compreensão dos conflitos criados nestas intersecções, bom como o aumento desses pontos de conflito consoante o aumento de ramos da intersecção, tendo cada um dos ramos dois sentidos.

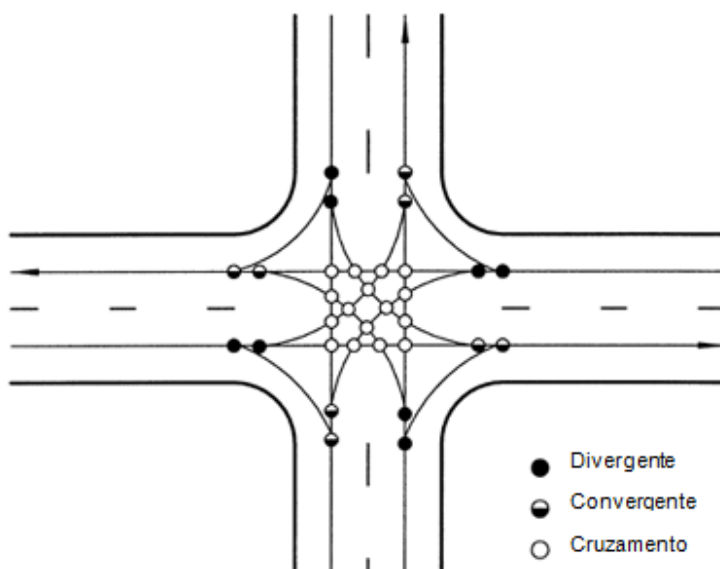


Figura 1 - Pontos de conflito num cruzamento de quatro ramos [1]

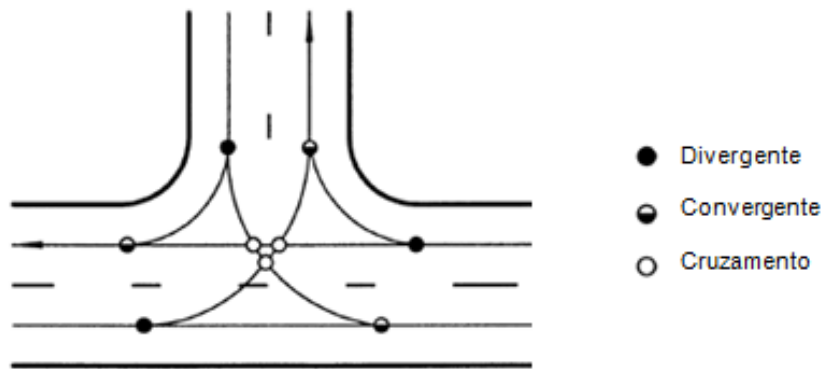


Figura 2 - Pontos de conflito num cruzamento de três ramos (entroncamento) [1]

Como se pode verificar nas duas figuras anteriores, o aumento do número de ramos na intersecção de nível provoca um aumento drástico do número de pontos de conflito. Existem vários métodos para reduzir o número destes conflitos, sendo os conflitos assinalados como de cruzamento os mais perigosos. A utilização de sinais verticais ou até mesmo de sinais luminosos permitem diferir estes conflitos no tempo, enquanto a canalização de tráfego permite uma melhor definição das prioridades no cruzamento e orienta de forma mais segura os movimentos secundários.

Para além destes métodos de aperfeiçoamento da circulação e segurança em intersecções de nível, existe também a possibilidade de aplicação de uma intersecção giratória (rotunda) em vez do tradicional cruzamento. Esta opção permite, como a figura 3 demonstra, diminuir drasticamente o número de pontos de conflito, por exemplo quando se compara com um cruzamento de quatro ramos. Uma geometria tradicional originaria 32 pontos de conflito, enquanto esses mesmo quatro ramos convergindo numa rotunda originariam 8 pontos de conflito. Para além da redução do número de 32 para 8, estes 8 restantes são todos eles de perigosidade diminuta, originando geralmente acidentes sem grande gravidade não colocando em causa a integridade física dos condutores. Permite também intersectar mais de 4 ramos, se bem que não seja muito aconselhável passar esse limite por questões de segurança e áreas necessárias. Contudo esta opção tem também as suas desvantagens, necessitando de maior espaço. Quanto maior for a capacidade pretendida, mais necessidade de espaço existirá.

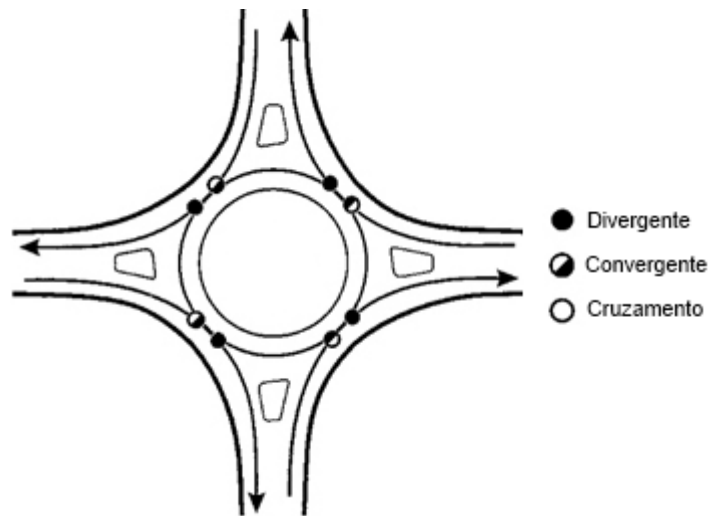


Figura 3 - Pontos de conflito numa rotunda de quatro ramos [2]

2.1.2. INTERSECÇÕES DESNIVELADAS

Para além das intersecções descritas no ponto anterior, também existem casos em que, quer por exigências topográficas, quer por exigências de capacidade ou segurança, as intersecções são feitas de forma desnivelada.

Estas soluções permitem eliminar os conflitos por cruzamento descritos nas figuras anteriores e permitem também uma melhor articulação entre as estradas em cruzamento, principalmente em casos em que essas estradas tenham velocidades diferentes. Para além destas vantagens, os condutores que pretendem seguirem na mesma estrada, para jusante do cruzamento podem fazê-lo sem qualquer perturbação na sua rota ao contrário do que aconteceria num simples cruzamento de nível.

As desvantagens das intersecções desniveladas são as grandes áreas necessárias para a sua implantação, bem como a complexidade do projeto, a redefinição de alguns troços e a necessidade de construção de obras de arte que são sempre muito mais dispendiosas.

2.1.3. NÓS DE LIGAÇÃO

De modo fazer a ligação entre duas estradas que se intersectam de forma desnivelada, é necessário incorporar um conjunto de ramos de ligação na vizinhança da respetiva intersecção. A esse conjunto de ramos dá-se o nome de nó de ligação.

A Norma de Nós de Ligação aborda vários tipos de nós. Estes diferentes tipos têm por objetivo satisfazer diferentes necessidades. A diferença de custos entre algumas destas soluções é por vezes bastante significativa, mas os principais critérios a ter em conta na escolha devem ser o nível de serviço e velocidades praticadas na zona.

Seguidamente serão apresentados alguns dos tipos mais relevantes que poderiam ser utilizados na zona em análise.

2.1.3.1. NÓ EM DIAMANTE

Este tipo de nó é constituído por quatro ramos diretos, um em cada quadrante. A nível de custos, este é o nó menos dispendioso, e permite também um vão ou largura menores na obra de arte, já que nem ramos nem vias de aceleração ou abrandamento se localizam sob ou sobre a obra de arte. Algumas das desvantagens desta opção são a probabilidade alta de entradas de condutores em sentido contrário e a existência de bastantes conflitos na estrada secundária. De forma a agilizar melhor as intersecções dos referidos ramos com a estrada secundária, podem ser adotadas duas intersecções giratórias na secundária que permitem diminuir o número e perigosidade dos conflitos, como descrito no ponto 2.1.1.

As figuras 4 e 5 representam exemplos de aplicações desta solução sem e com intersecções giratórias, respetivamente.



Figura 4 - Exemplo de Nó em Diamante (fonte Google Maps , 2012)



Figura 5 - Exemplo de Nó em Diamante com rotundas (fonte Google Maps , 2012)

2.1.3.2. NÓ EM TREVO

Existem três tipos de nós em trevo: meio-trevo incompleto, meio-trevo completo e trevo completo.

O meio-trevo incompleto ocupa apenas dois quadrantes opostos, sendo constituído por dois loops e dois ramos diretos de viragem a direita. O meio-trevo completo é idêntico ao anterior, mas assegura ainda mais 2 viragens a direita, compondo assim os 4 quadrantes com ramos diretos de viragens a direita e em dois desses quadrantes compostos também por dois loops. Já o nó em trevo completo, assegura todos os movimentos em ramo próprio, sendo cada um dos seus quadrantes composto por um ramo direto de viragem a direita e um loop.

A nível de vantagens e desvantagens, naturalmente com o aumento do numero de ramos e de loops o custo aumenta e a área necessária também. Contudo, os nós em meio-trevo provocam bastantes conflitos na estrada secundária, principalmente o nó em meio-trevo incompleto que origina. O nó em meio-trevo incompleto permite também, ao contrario do nó em diamante, ocupar apenas dois quadrantes, poupando espaço e dinheiro e permitindo futuros melhoramentos ao nó se necessário.

O Nó em Trevo Completo permite individualizar todos os movimentos, quer de viragem as esquerda ou a direita, quer da estrada principal ou secundária. Apesar desta tremenda vantagem, é também o nó que mais espaço ocupa e mais dispendioso sai, sendo aplicado mesmo em situações em que seja imprescindível o seu uso e as anteriores opções não satisfaçam o efeito pretendido, pois apesar das suas vantagens, as opções em meio-trevo limitam a capacidade na secundária.



Figura 6 - Exemplo de Nó em Meio-Trevo incompleto (fonte Google Maps , 2012)

Todos estes nós em trevo têm também a desvantagem de obrigarem a uma obra de arte mais dispendiosa com um vão maior, devido as vias de aceleração e abrandamento dos loops se situarem sob e sobre a obra de arte.



Figura 7 - Exemplo de Nó em Meio-Trevo Completo (fonte Google Maps , 2012)



Figura 8 - Exemplo de Nó em Trevo Completo (fonte Google Maps , 2012)

2.2. ENQUADRAMENTO

A escolha por uma das soluções referidas no ponto anterior deve ser feita tendo em conta o local escolhido, as condicionantes de relevo, normativas e ambientais, bem como o efeito pretendido.

O local alvo do presente projeto encontra-se na zona de Bornes, concelho de Macedo de Cavaleiros. A estrada principal é um troço do IP2 representado na figura a azul e a estrada secundária a restabelecer encontra-se também representada na figura 9 entre as secções de quilometragem 2+600 e 2+800 da estrada principal.



Figura 9 - Planta topográfica pormenorizada da zona em análise

São objetivos do presente projeto não só promover a intersecção da secundária com a estrada principal como também procurar manter os caminhos já existentes representados na figura 10, que ligam à secundária. A grande maioria destes caminhos são em terra. Assim sendo deverá ser feita uma redefinição da sua intersecção com a secundária.

Tendo em conta que de cada lado da estrada principal a secundária termina num entroncamento com outros dois caminhos, somando mais 2 ramos do nó de ligação de cada um destes lados resulta num total de 5 vias de tráfego convergentes de cada lado. Em casos em que mais de 4 vias de tráfego convergem, a opção mais segura e comoda é a utilização de rotundas. De forma a incorporar estas duas rotundas, duas soluções são possíveis: a aplicação de uma solução em meio trevo incompleto com duas rotundas na secundária ou a utilização de um nó em diamante com rotundas. A primeira solução permite utilizar apenas 2 quadrantes, poupando assim espaço e permitindo evitar algum quadrante que possa ter um relevo mais trabalhoso ou cause mais custos com expropriações. Contudo, tendo em conta a área aparentemente disponível da zona para utilização dos 4 quadrantes, o autor define uma solução em diamante com rotundas, já que estando o terreno disponível para utilização nos quatro quadrantes, esta solução ganha vantagem em relação a primeira visto a não utilização de loops permitir um menor vão na largura da obra de arte.

Após a escolha do tipo de nó a aplicar e, como já anteriormente referido, devem ser levadas em conta as condicionantes ao projeto, sejam elas normativas, do terreno ou da própria geometria das estradas em questão. A figura 10 representa uma planta mais abrangente do local no qual podemos já estabelecer os primeiros condicionamentos. A norte da planta, a cor diferente, está representada uma

zona do IP2 que se encontra em viaduto. A geometria da zona em viaduto não deve ser alterada tendo em conta os custos dos respetivos aumentos de largura. De salientar que estas zonas em viaduto preveem já uma terceira via nos dois sentidos à qual poderão ser ligadas as vias de aceleração ou abrandamento se necessário.



Figura 10 - Planta do lanço da IP2 com viadutos representados a vermelho

Outro dos condicionantes a ter em conta é o “*gabarit*” mínimo na zona da intersecção. A figura 11 representa o perfil longitudinal deste troço do IP2. Neste perfil, entre os pontos quilométricos 2+600 e 2+800 delimitados a azul, entre os quais se situa a intersecção, a estrada principal situa-se em escavação. Procurando seguir o terreno no restabelecimento da estrada secundária, o autor define que esta passa por cima da estrada principal, sendo necessário cumprir um “*gabarit*” mínimo de 5m, o que significa que o ponto da estrada principal mas próximo da parte inferior do tabuleiro do viaduto da secundária deve distar pelo menos 5m deste último.

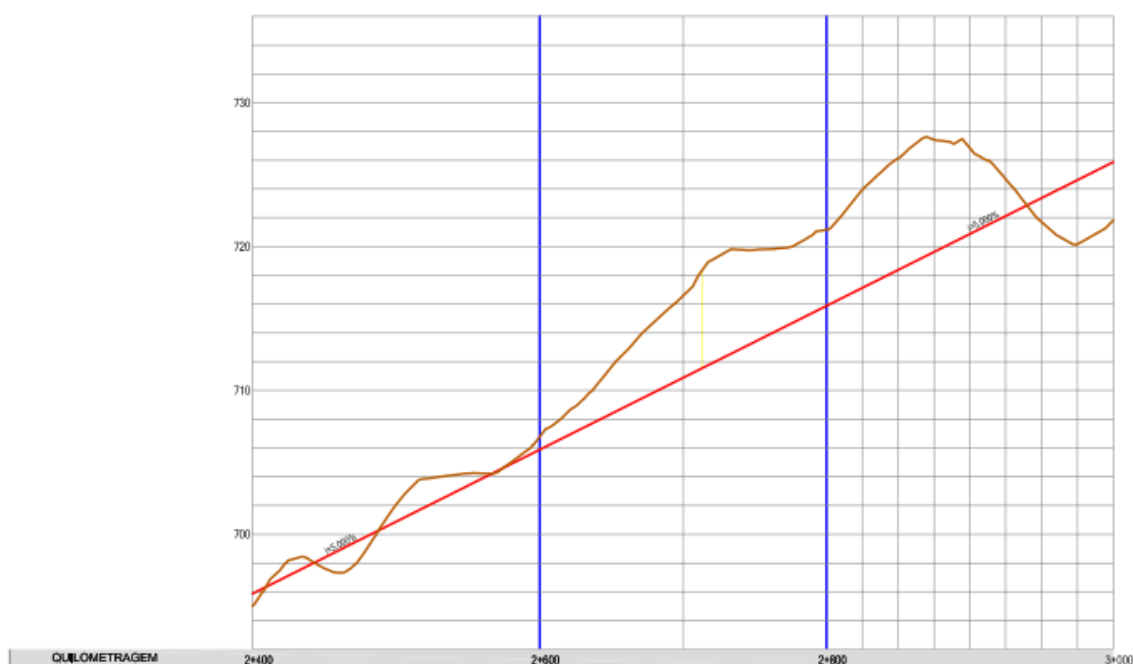


Figura 11 - Perfil longitudinal do trecho do IP2 na zona da intersecção

Esta e outras questões de condicionantes do terreno serão focadas ao pormenor no capítulo 4.

2.3. CONDICIONANTES NORMATIVAS

De forma a guiar a construção geométrica do nó em questão e dos seus ramos, rotundas e vias de aceleração e abrandamento, são utilizadas algumas normas que permitem essencialmente fazer cumprir requisitos de segurança e comodidade de utilização.

As normas utilizadas são as normas de Traçado, de Intersecções e de Nós de ligação de antiga Junta Autónoma de Estradas, bem como algumas normas espanholas para as restrições em que as normas nacionais apresentam algumas lacunas.

2.3.1. CONDICIONAMENTOS DO TRAÇADO EM PLANTA

As normas citadas utilizam três definições distintas de velocidade que devem ser prioritariamente explicitadas para melhor compreensão das respetivas tabelas. A velocidade base ou de projeto (V_b) é a velocidade máxima que deverá ser garantida ao longo de todo o traçado. A velocidade de tráfego (V_t) representa a velocidade praticada por cerca de 85% dos utilizadores e é entre 10km/h a 20km/h superior a velocidade base. Já a velocidade específica (V_e) é a velocidade máxima que poderá ser obtida em segurança em cada zona do traçado, sendo esta variável ao longo do traçado ao contrário a velocidade base. Esta apenas se aplica a pontos singulares do traçado, como é o caso dos ramos dos nós.

2.3.1.1. CURVA CIRCULAR

Na definição dos raios mínimos em planta, a norma do traçado faz corresponder a cada valor da velocidade base um raio mínimo a cumprir. A norma estabelece valores de raios mínimos absolutos e raios mínimos normais, expostos na tabela 1. Estes valores são obtidos levando em conta não só a velocidade base como também o fator de aderência transversal (**ft**) e a sobreelevação (**Se**) através da equação 1, bem como a comodidade de circulação por limitação da aceleração radial teórica a $2,2 \text{ m/s}^2$ (RA) ou $1,1 \text{ m/s}^2$ (RN).

$$R = \frac{v^2}{127*(ft+Se)} \quad (1)$$

Tabela 1 - Raios mínimos absolutos e Raios mínimos normais

Vb (Km/h)	Raio Absoluto (m) (Se=7%)	Raio Normal (m) (Se=5%)
40	55	110
50	85	180
60	130	250
70	180	350
80	240	450
90	320	550
100	420	700
110	560	850
120	700	1000
130	900	1200
140	1200	1400

O raio mínimo absoluto permite corresponder a requisitos de segurança e comodidade, enquanto o raio mínimo normal, maior, cumpre condições superiores de comodidade, pelo que sempre que possível deve ser cumprido este último.

Nestas zonas em curva circular, em planta, a normas indicam a utilização de uma sobrelargura (**Sl**), que permite que os veículos mais longos em curvas mais apertadas não invadam a via de sentido contrário. Este valor de Sl deve apenas ser considera em casos de o referido raio ser inferior a 200m. A equação 2 representa o método de cálculo deste valor de Sl.

$$Sl = \frac{80}{R} \quad (2)$$

A normas do traçado definem também valores para a sobrelevação tendo em conta o raio da curva circular (**R**). A sobrelevação permite uma redução da aceleração centrífuga, e conseqüente aumento de segurança, bem como uma maior comodidade e percepção da aproximação de uma curva. A Tabela 2 define os respetivos valores da sobrelevação para um dado raio da curva.

Tabela 2 - Sobrelevação em curva circular

Estrada de faixa única, com 2 sentidos		Estrada com 2 faixas de rodagem	
R(m)	Se(%)	R(m)	Se(%)
<525	7	<1100	7
525	6.5	1100	6.5
600	6	1300	6
700	5.5	1500	5.5
850	5	1750	5
1000	4.5	2000	4.5
1200	4	2250	4
1400	3.5	2600	3.5
1600	3	3000	3
1900<R<2500	2.5	3500<R<5000	2.5
>2500	-	>5000	-

2.3.1.2. CURVAS DE TRANSIÇÃO

De forma evitar uma passagem brusca do alinhamento reto para a curva circular de raio pretendido, são introduzidas na geometria curvas de transição entre estes dois elementos. Estas curvas de transição permitem não só melhorar a comodidade e segurança da transição, como também realizar de forma adequada as alterações de Sobrelevação e Sobrelargura. A norma indica a clotóide como sendo a curva de transição a utilizar. Esta curva deve ser osculadora ao alinhamento reto e à curva circular. A norma prevê a dispensa de utilização de curvas de transição entre alinhamento reto e curva circular quando o raio desta última permite que não haja sobrelevação. A clotóide caracteriza-se pelo seu parâmetro **A** (**A**), calculado a partir do raio da curva circular e da extensão da clotóide em questão (**L**). A equação 3 especifica este cálculo.

$$A^2 = R * L \quad (3)$$

O parâmetro A da clotóide, anteriormente falado, deve satisfazer as seguintes condições [4]:

- Condição de implantação:

$$A_{implantação} \leq R * \sqrt{\Omega_{rad}} \quad (6)$$

- Critério de comodidade e segurança:

$$A_1 \geq \sqrt{\frac{V * R}{46.656 * S_{an}} * \left(\frac{V^2}{R} - 127 * (S_e - i) \right)} \quad (7)$$

- Critério do disfarce da sobrelevação:

$$\sqrt{\frac{R * a * S_e}{2 * \Delta i_{max}}} \leq A_2 \leq \sqrt{\frac{R * a * S_e}{2 * \Delta i_{min}}} \quad (8)$$

- Critério estético:

$$A_3 \geq \sqrt{\frac{R * V}{1,8}} \quad (9)$$

- Critério da comodidade ótica:

$$A_4 \geq \frac{R}{3} \quad (10)$$

O parâmetro A a utilizar deverá ser então ser um dos valores do intervalo obtido pela conjugação dos resultados da condição de implantação e dos quatro critérios. Em alguns casos não é possível cumprir estes cinco requisitos ao mesmo tempo, sendo que nesses casos o valor que acaba por não encaixar no intervalo é o valor A_2 , sendo esse o critério a ser transgredido nesse caso. Também se dá o caso do intervalo de valores obtidos ser bastante amplo, e nesse caso o intervalo é restringido por uma nova condição, designada de condição desejável [4] e caracterizada pela equação 11.

$$R * \sqrt{\frac{\Omega_{rad}}{3}} \leq A_{desejavel} \leq R * \sqrt{\frac{\Omega_{rad}}{2}} \quad (11)$$

2.3.2. CONDICIONANTES DO TRAÇADO EM PERFIL LONGITUDINAL

Para além da definição em planta, o estudo da diretriz deve também ser feito em perfil longitudinal. A norma utilizada no ponto 2.3.1. [3] define também algumas restrições para a inclinação dos traineis e os raios das concordâncias na elaboração do perfil longitudinal.

De forma a assegurar uma drenagem satisfatória das águas superficiais, a inclinação do trainel deve ser no mínimo de 0,5%. Já nas zonas em curva, a inclinação mínima deve estar de acordo com a equação 12.

$$i - \Delta i \geq 0,5 \quad (12)$$

i - inclinação do trainel (%)

Δi – obliquidade, inclinação longitudinal do bordo exterior da faixa de rodagem em relação ao eixo (%)

A norma define também valores máximos para a inclinação. A tabela 3 indica os valores das inclinações máximas desejáveis para uma determinada velocidade base. Em casos excepcionais, estes valores da inclinação podem vir aumentados de até 1% se a extensão do trainel for inferior a 600m, ou até mesmo de 2% se a extensão for inferior a 300m.

Tabela 3- Inclinação máxima desejável dos traineis [3]

Vb (Km/h)	Inclinação máxima desejável
40	8%
60	7%
80	6%
100	5%
120	4%, se for em autoestrada 3%
140	3%

Os traineis em que são utilizadas as inclinações máximas não devem ser muitos longos por motivos da descida de velocidade dos veículos pesados que acabam por atrasar os veículos ligeiros. A tabela 4 indica a extensão crítica dos traineis para determinada inclinação. No caso destes valores da extensão crítica serem excedidos, deve ser criada uma via adicional que permita que os veículos que sintam mais dificuldades com a inclinação não incomodem os restantes ligeiros.

Tabela 4 - Extensão crítica dos traneis [3]

Inclinação do trainel	Extensão crítica (m)
3%	420
4%	300
5%	230
6%	180
7%	150
8%	120

A figura 13 representa os elementos que constituem uma concordância vertical entre dois traneis de inclinações longitudinais i_1 e i_2 .

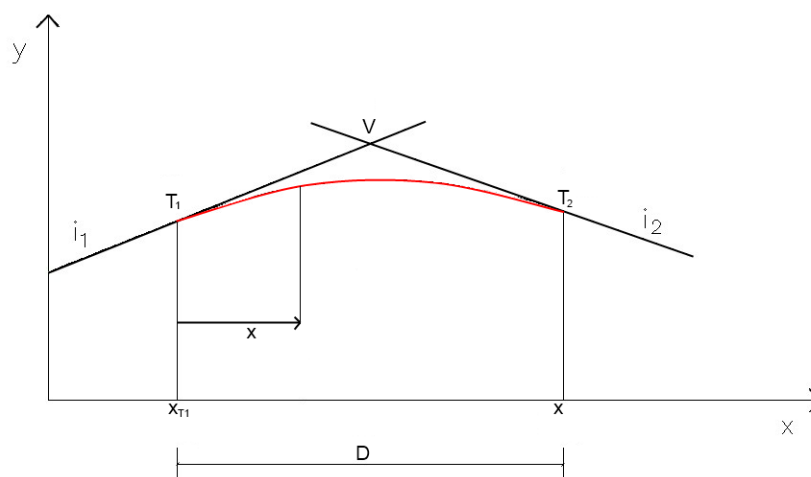


Figura 13 - representação de uma concordância entre traneis [5]

A equação 13 relaciona o raio da concordância parabólica com o seu desenvolvimento (D) e as inclinações dos traneis representados na figura 14.

$$R_v = \frac{D}{i_1 - i_2} \quad (13)$$

A equação 14 permite determinar ponto a ponto o valor da cota da concordância parabólica em relação a distância ao ponto tangência da mesma com o trainel.

$$h = h_{T1} + i_1 * X - \frac{X^2}{2 * R} \quad (14)$$

h – cota do ponto desejado (m)

h_{T1} – cota do ponto inicial da concordância a partir do qual se mede a distância X (m)

X – distância do ponto desejado ao ponto inicial da concordância X_{T1} (m)

i_1 – inclinação do tranel a partir do qual se considera o ponto inicial da concordância. Este valor deve ser positivo se a inclinação for crescente no sentido crescente do valor de X e negativo em caso contrário.

R – raio da concordância (m). Este valor deve ser positivo no caso de a concordância ser convexa, e deve ser negativo no caso de a concordância ser côncava.

Para os casos de as concordâncias serem côncavas ou convexas, a norma prevê restrições diferenciadas dos seus raio e desenvolvimento recomendados. A tabela 5 contém os raios mínimos, absolutos e normais, bem como desenvolvimentos recomendados pela norma para as concordâncias convexas. Já a tabela 6 contém os mesmos valores que a tabela 5, mas referentes as concordâncias côncavas.

Tabela 5 - Raio e Desenvolvimento mínimos para concordâncias convexas

Vb(km/h)	Vt(km/h)	Raio mínimo		Desenvolvimento mínimo	
		Absoluto ¹ (m)	Normal (m)	Absoluto (m)	Normal (m)
40	50	1500	1500	40	60
50	60	1500	2100	50	60
60	80	2000	3000	60	120
70	90	3000	4200	70	120
80	100	5000	6000	80	120
90	110	7500	8500	90	120
100	120	9000	12500	100	120
110	125	12000	13000	110	120
120	130	14000	16000	120	120
140	140	20000	20000	140	140

¹ só aceitável em estradas com faixas de rodagem unidirecionais

Tabela 6 - Raio e Desenvolvimento mínimos para concordâncias côncavas

Vb(km/h)	Vt(km/h)	Raio mínimo (m)	Desenvolvimento mínimo (m)
40	50	800	60
50	60	1200	60
60	80	1600	120
70	90	2500	120
80	100	3500	120
90	110	4500	120
100	120	5500	120
110	125	6000	120
120	130	7000	120
130	135	8000	140
140	140	8000	140

2.3.3. CONDICIONANTES GEOMÉTRICAS DOS NÓS DE LIGAÇÃO

A norma dos nós de ligação [6] condiciona a geometria dos ramos a dimensionar na presente dissertação.

Uma dos aspetos importantes abordados na norma prende-se com a perceção do condutor da proximidade do nó. Na tabela 7 são apresentadas as distâncias de visibilidades recomendadas em função da velocidade base da estrada principal.

Tabela 7 - Distância de visibilidade de decisão [6]

Vb(km/h)	Distância de Visibilidade (m)
100	330
110	370
120	400

No que diz respeito a este parâmetro, as restantes restrições apresentadas serão em função da velocidade específica (V_e), cujo conceito já foi apresentado no início do ponto 2.3.. A figura 15 representa os intervalos das velocidades específicas recomendados consoante o tipo de ramo de ligação utilizado.

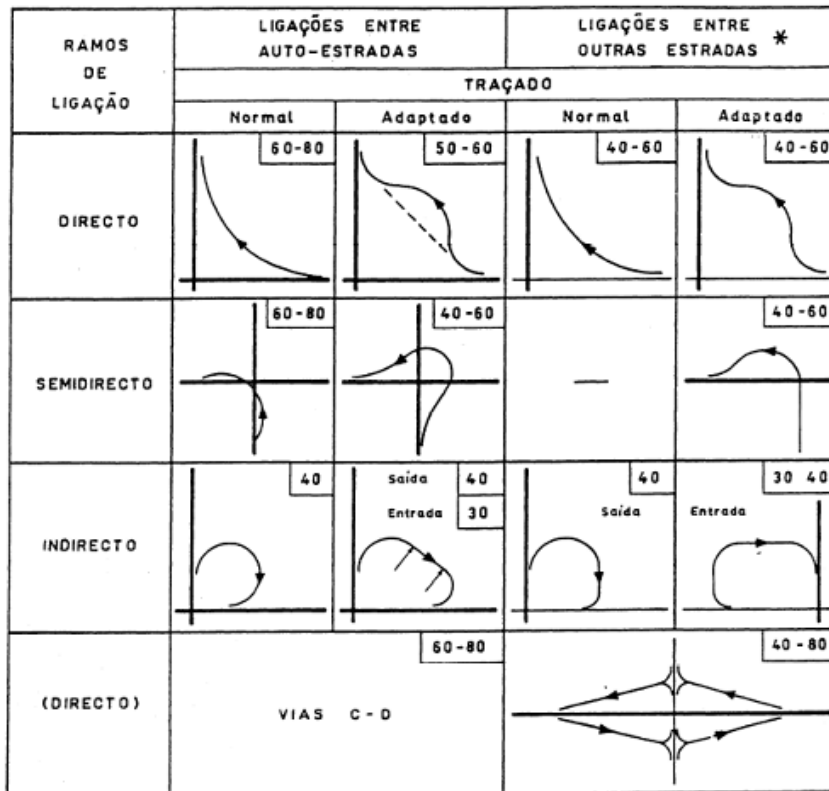


Figura 14 - Velocidade específica para os diferentes ramos de ligação [6]

No que diz respeito as curvas de transição, já foram referidas algumas restrições no ponto 2.3.1.2.. Contudo, nos ramos de ligação, já são aceitáveis níveis de incomodidade maiores que em plena via, permitindo-se valores de sobreaceleração radial entre 0,75 e 1,2 m/s³, em oposição aos 0,5 m/s³ previstos nas normas do traçado de plena via. A tabela 8 define, para uma dada velocidade específica, quais serão os valores de raio mínimo, parâmetro da clotóide e extensão mínima da transição e da curva circular a utilizar.

Tabela 8 - Raio mínimo, parâmetro A, extensão mínima da curva de transição e circula para uma velocidade Ve [6]

Ve (km/h)	Raio mínimo (m)	Extensão mínima da transição (m)	Parâmetro A da clotóide (m)	Extensão mínima das curvas circulares (m)
25	15	15	15.0	9
30	25	21	22.5	11
35	35	24	28.0	13
40	45	28	36.0	15
45	60	32	45.0	18
50	75	36	52.0	24
55	90	40	60.0	30
60	120	45	75.0	36

O perfil transversal dos ramos de ligação é também abordado na norma. A tabela 9 indica a sobrelargura a utilizar em função do raio da curva circular.

Tabela 9 - Sobrelargura em função do raio da curva circular num ramo de ligação [6]

Raio da curva circular (m)	Sl (m)
35	2.00
45	1.25
55	1.00
65	0.60
75	0.30
90	0.00

Como esquematiza a figura 16, a faixa de rodagem do ramo deve ter 4m para uma via e 7m se o ramo tiver duas vias, e a estes valores é acrescido o valor da sobrelargura. As bermas esquerdas medem 1m e as direitas 2,5m.

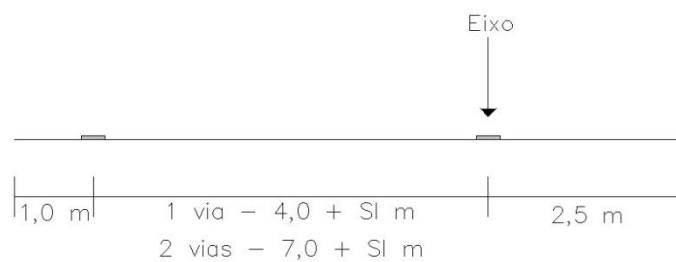


Figura 15 - perfil transversal tipo de um ramo de ligação unidirecional [7]

Nos ramos de ligação, a sobreelevação máxima permitida é de 12%, mas em zonas em que as condições climatéricas possam causar a formação de gelo na via, este valor não deve ultrapassar os 8%. Os valores de S_e recomendados pela norma estão representados na tabela 10, em função do raio das curvas circulares e da velocidade base.

Note-se que a compatibilização da sobreelevação nos ramos e nas curvas de plena via, quando aquelas se situem no extradorso, recomenda o uso de valores muito menores para esta inclinação transversal.

Tabela 10 - Sobreelevação em ramos de ligação [6]

Raio (m)	Vb (km/h)						
	30	35	40	45	50	55	60
25 - 30	2 - 12	-	-	-	-	-	-
35 - 40	2 - 10	3 - 12	-	-	-	-	-
45 - 50	2 - 8	3 - 10	4 - 12	-	-	-	-
60	2 - 6	3 - 8	4 - 9	6 - 12	-	-	-
75	2 - 5	3 - 6	3 - 7	5 - 9	7 - 12	-	-
90	2 - 4	3 - 5	3 - 6	4 - 7	5 - 9	8 - 12	-
120	2 - 3	2 - 4	3 - 5	3 - 6	4 - 7	6 - 9	8 - 12
150	2 - 3	2 - 3	3 - 4	3 - 5	4 - 6	6 - 8	7 - 10
175	2 - 3	2 - 3	2 - 4	3 - 4	3 - 5	5 - 7	6 - 8
250	2 - 3	2 - 3	2 - 3	3 - 4	3 - 4	5 - 6	5 - 7
300	2 - 3	2 - 3	2 - 3	2 - 3	3 - 4	4 - 5	4 - 6

A norma prevê também limites para a variação desta sobreelevação longitudinalmente, especificados na tabela 11, e limites para a diferença máxima entre inclinações transversais, especificados do quadro 12.

Tabela 11 - limites da variação longitudinal da sobreelevação [6]

Velocidade no ramo (km/h)	ΔSe (% a cada 20m)
25 - 30	5.3
40	4.7
50	4.0
>60	3.3

Tabela 12 - Diferença máxima entre inclinações transversais [6]

Velocidade no ramo (km/h)	Diferença máxima (%)
25 - 30	5 a 8
40 - 50	5 a 6
>60	4 a 5

3

PROJETO DE UM NÓ DE LIGAÇÃO – CÁLCULOS E RESULTADOS

3.1. INTRODUÇÃO

Como já foi anteriormente referido, existem muitos fatores a ter em conta para a realização dum projeto de um nó de ligação. Um dos fatores a ter em conta é o tráfego na zona. Contudo, todas as opções tomadas na presente dissertação não consideram este fator visto não terem sido fornecidos os referidos dados. Assim sendo, o projeto elaborado em nenhum momento terá as necessidades do volume de tráfego presente a impedir a procura de uma solução mais económica ou concordante com o terreno.

Na elaboração deste projeto, o autor serve-se do *software* Autocad, da Autodesk, Inc. e do *software* Excel, da Microsoft. O primeiro *software* é um *software* de desenho assistido por computador amplamente utilizado. Neste caso, é utilizado apenas na representação geométrica das soluções obtidas pelos cálculos. O segundo *software* é uma ferramenta de cálculo e construção de gráficos que permite maior facilidade de organização de dados e encadeamento de fórmulas, permitindo que a alteração de um simples elemento de uma fórmula automaticamente altere os resultados encadeados com esta.

Os elementos fornecidos para a elaboração deste presente projeto foram:

- Planta topográfica com a representação da diretriz da estrada principal (IP2), da secundária e arruamentos que nela convergem.
- Perfil longitudinal da estrada principal com representação do terreno

Foram também fornecidos todos os elementos referidos no capítulo 2 como importantes na definição da geometria da estrada principal, como os raios das concordâncias e curvas circulares, sobrelevação e sobrelargura, parâmetro A das clotóides, entre outros.

3.2. LOCALIZAÇÃO DOS EIXOS DO RESTABELECIMENTO 1 E DAS ROTUNDAS

Tendo em conta que o eixo da estrada principal está definido, falta definir a localização do restabelecimento da secundária, estrada que intersecta superiormente a principal e faz a ligação entre as duas rotundas onde convergem os ramos de ligação.

Procurando compatibilizar da melhor forma o relevo do terreno, a estrada secundária e os restantes caminhos que convergem na secundária e conseqüentemente irão convergir nas rotundas, o autor opta por centrar as rotundas na zona onde estes caminhos se intersectam, de forma a tentar que haja um menor trabalho de deslocação e redefinição do eixo desses caminhos. Ao mesmo tempo, há uma tentativa de colocar o eixo da secundária o mais próximo possível da perpendicular ao eixo da principal. Para além destas condições, é tido também em conta a existência de uma construção no 1º

quadrante, muito próxima da berma da geometria inicial da secundária, construção essa definida por “Solar da família Martins” [9]. Não havendo mais construções que possam incomodar a implantação pretendida, procura-se também evitar a sobreposição a esta construção. A figura 16 representa a opção tomada representada em planta o eixo da estrada secundária e a colocação das rotundas.



Figura 16 - Eixos da estrada secundária e das rotundas

Come se pode averiguar pela imagem, a norte da rotunda B, encostado à antiga intersecção encontra-se a construção citada. Não tendo muito mais informação sobre a construção, o autor optou por não invadir os terrenos da mesma, sendo essa uma das razões do novo eixo da secundário não se sobrepor ao anterior.

As rotundas dimensionadas centraram-se procurando que não haja necessidade de grandes alterações dos caminhos já existentes, apesar de que, sendo maioritariamente e aparentemente caminhos de terra, pelo menos a sua intersecção com a rotunda terá de ter um perfil redefinido. O raio do eixo das mesmas foi definido como sendo de 23 metros, prevendo estes 15 metros de raio da ilha central até a berma interior, mais 8 metros para duas vias de circulação na rotunda.

Foi também equacionada a hipótese de utilização de uma curva e contracurva como eixo da secundária. Esta solução poderia facilitar variações dos perfis longitudinais da rotunda para os perfis transversais do restabelecimento e ao mesmo tempo facilitar as saídas e dificultar as entradas velocidade excessiva na rotunda. Contudo, sendo que a estrada secundária mede apenas cerca de 130 metros e ainda vence um desnível de entre 6 a 7 metros, tornaria este troço muito incomodo e talvez pouco seguro, daí a opção por um eixo sempre em alinhamento reto da secundária.

Considerando o ponto inicial e final, coincidentes em cada rotunda, como sendo os pontos de intersecção destas com o restabelecimento 1, as tabelas 13 e 14 apresentam as coordenadas dos pontos final e inicial das rotundas bem como do seu centro.

Tabela 13 - Coordenadas da rotunda A

Rotunda A			
Ponto	Quilometragem	M	P
Inicial	0+000,00	2818,4302	1585,1169
Final	0+144,51		
Centro	-	2796,6354	1592,4645

Tabela 14 - Coordenadas da rotunda B

Rotunda B			
Ponto	Quilometragem	M	P
Inicial	0+000,00	2948,4905	1541,2700
Final	0+144,51		
Centro	-	2970,2853	1533,9224

O restabelecimento 1, como definido todo ele em alinhamento reto é definido em planta como o ponto inicial sendo o ponto inicial da rotunda A e o ponto final sendo o ponto inicial da rotunda B, sendo para o efeito que o perfil longitudinal do restabelecimento 1 começa do ponto inicial para o final citados.

Nas figuras 17 e 18 é possível verificar em pormenor as opções tomadas no dimensionamento das rotundas e da sua ligação com o restabelecimento 1. As figuras mostram apenas a rotunda A, mas as medidas e raios de entrada e saída da rotunda B são exatamente iguais aos da A.



Figura 17 - pormenor das distâncias dos elementos das rotundas (medidas em metros)

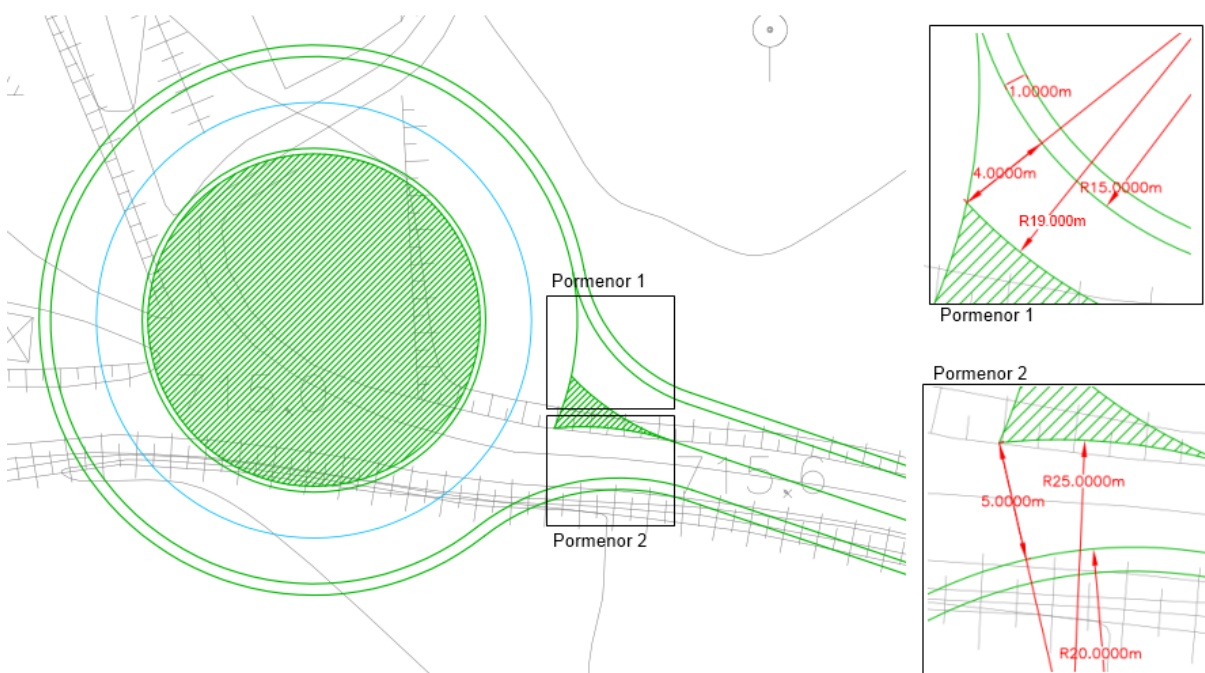


Figura 18 - Pormenores das medidas dos raios de entrada e saída entre a rotunda A e o restabelecimento 1

Como apresentado na figura 19, foi utilizada uma largura de 5m da via de saída da rotunda e 4m na via de entrada. Esta diferença deve-se a procura de uma maior facilidade na saída da rotunda e uma maior dificuldade de entrada na mesma.

3.3. PERFIL LONGITUDINAL DAS ROTUNDAS E DO RESTABELECIMENTO 1

De forma a cumprir as normas e ao mesmo tempo o “gabarit” mínimo já falado no ponto 2.2, torna-se importante que os perfis longitudinais das rotundas A e B e do restabelecimento 1 sejam trabalhados em conjunto.

Para obter uma representação do terreno nos perfis longitudinais, há que fazer um levantamento das cotas do mesmo, ao longo dos eixos das rotundas e do restabelecimento. Assim sendo, o autor preferiu, visto se tratarem de eixos pouco extensos, o levantamento de cotas espaçado de 12,5m ao longo da quilometragem dos eixos, em vez dos 25m usualmente utilizados.

Alguns pontos devem também ser tidos em atenção na elaboração destes perfis:

- A inclinação longitudinal do tranel no ponto inicial do restabelecimento 1 tem de ser igual a inclinação transversal da rotunda A no seu ponto inicial.
- A inclinação longitudinal do tranel no ponto final do restabelecimento 1 tem de ser igual a inclinação transversal da rotunda B no seu ponto inicial.
- Em ambas as rotundas, e visto que os seus pontos inicial e final coincidem, a inclinação do tranel e a cota do mesmo no ponto inicial tem de ser igual aos do ponto final.

Como anteriormente referido, há que definir os pontos da quilometragem das rotundas em que se intersectam os caminhos já existentes, procurando especialmente nesses pontos que não haja uma grande diferença entre as cotas de terreno e da diretriz da rotunda.

Inicialmente, o autor optou por definir uma cota mínima para a rasante do restabelecimento 1 de modo a cumprir o “*gabari*” mínimo. O perfil transversal do ip2 é composto por duas faixas de rodagem de 2 vias cada, divididas por um separador central. Sendo que cada uma das quatro vias tem 3,5m de largura, mais das bermas interiores de 1 metro e duas bermas exteriores de 2,5m, e o separador central de 0,60m, o perfil tem no total 21,6m de largura, provocando um vão muito largo, que obrigará o tabuleiro da ponte a ter cerca de 1,6m. Assim sendo, para aos 5m referidos no ponto 2.2. têm de ser somados 1,6m. A figura 29 representa o perfil longitudinal do terreno no plano do eixo do restabelecimento 1, estando representada também o perfil transversal do IP2, intersectado nesse plano. De salientar que a largura do perfil do IP2 apresentada vem alterada de um ângulo θ devido ao eixo da secundária não ser perpendicular ao eixo da principal no ponto de intersecção. A largura apresentada resulta da divisão dos 21,6m anteriormente referidos pelo cosseno desse ângulo θ representado na figura 20.

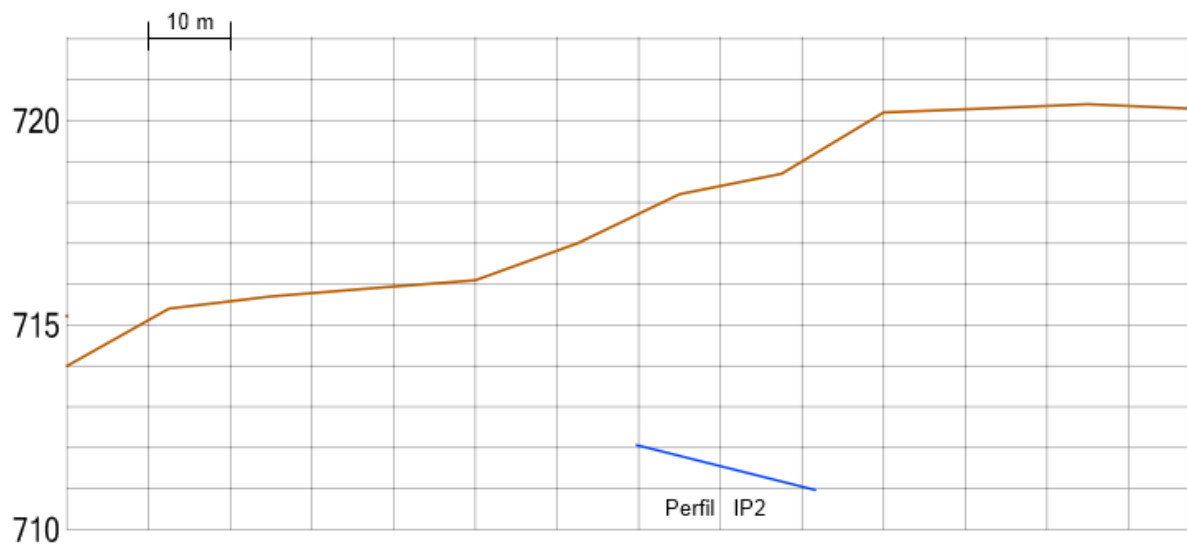


Figura 19 - Representação do terreno e intersecção do IP2 no Restabelecimento 1

A observação da figura permite concluir que será o ponto mais a esquerda do IP2 na figura o mais próximo do terreno, sendo a diferença de cotas inferior a 6m quando a cota do trainel terá de estar pelo menos 6,6m acima da do ip2. Falta contudo averiguar em planta qual ou quais os pontos mais gravosos na definição das distâncias ao trainel do restabelecimento 1. Na figura 20 está representado o polígono formado pela intersecção do IP2 e do restabelecimento 1.

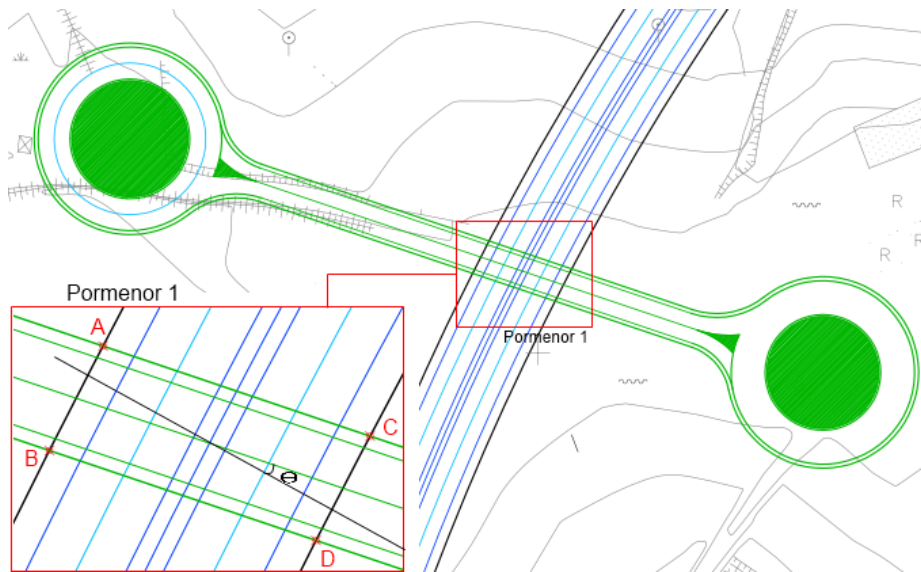


Figura 20 - Polígono formado pela intersecção da secundária com o IP2

Conjugando a observação das figuras 20 e 21, obtém-se os pontos A e B representados na figura 21 como sendo os mais críticos. Para decidir qual o ponto mais crítico há que ter em conta a inclinação longitudinal do IP2 naquela intersecção. O troço do IP2 representado tem uma inclinação de 5% ascendente de norte para sul. No caso cresce de cima para baixo da figura. Assim sendo, o ponto mais a baixo na figura estará a uma cota mais alta. Como o IP2 irá passar sob a secundária, o ponto mais desfavorável será o ponto mais alto do IP2 do polígono, sendo esse o ponto B representado na figura 21. Considerando, tendo em conta perfil transversal da secundária medir 2,5m + 1,0m para cada lado do eixo, cerca de 6,0m de largura do tabuleiro para cada lado do eixo da secundária, o ponto mais alto do IP2 estará então $5\% \cdot 6,0\text{m}$ mais alto que o representado na figura 20, ou seja, 0,30m mais alto. Concluindo assim o cálculo final da diferença de cotas mínimas do IP2 para a rasante da secundária na intersecção, toma-se que em nenhum ponto do perfil representado na figura 20 a rasante da secundária pode ter uma diferença de cotas para o perfil do IP2 inferior a $5,0\text{m} + 1,6\text{m} + 0,3\text{m}$, ou seja, 6,9m.

Após a definição das condições de forma a cumprir o “*gabarit*” mínimo, há que ter em atenção os valores limites das inclinações dos traneis e dos raios e desenvolvimentos mínimos das concordâncias. Nas concordâncias verticais das rotundas procura-se utilizar quando possível um raio não inferior a 600m, mas em caso seja necessário esse raio pode ser no mínimo de 400m [7]. As inclinações dos traneis nas rotundas não devem ser superiores a 4% [7]. No que ao restabelecimento 1 diz respeito, procura-se iguais condições quanto as concordâncias verticais visto este restabelecimento ter características de um ramo de ligação e não de uma estrada. As inclinações dos traneis do restabelecimento 1 não devem ser superiores a 8%.

A figura 21 representa o perfil longitudinal do restabelecimento 1 com as suas principais características. O perfil longitudinal do restabelecimento começa no ponto quilométrico 0+000,0000 e termina no ponto quilométrico 0+137,2525.

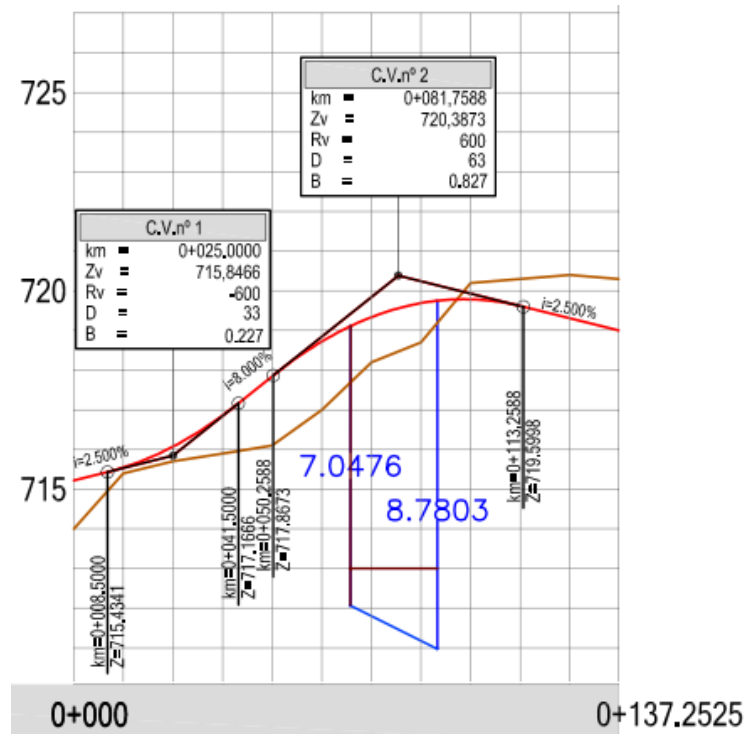


Figura 21 - Perfil longitudinal do restabelecimento 1

As figuras 22 e 23 representam, respetivamente, os perfis longitudinais das rotundas A e B.

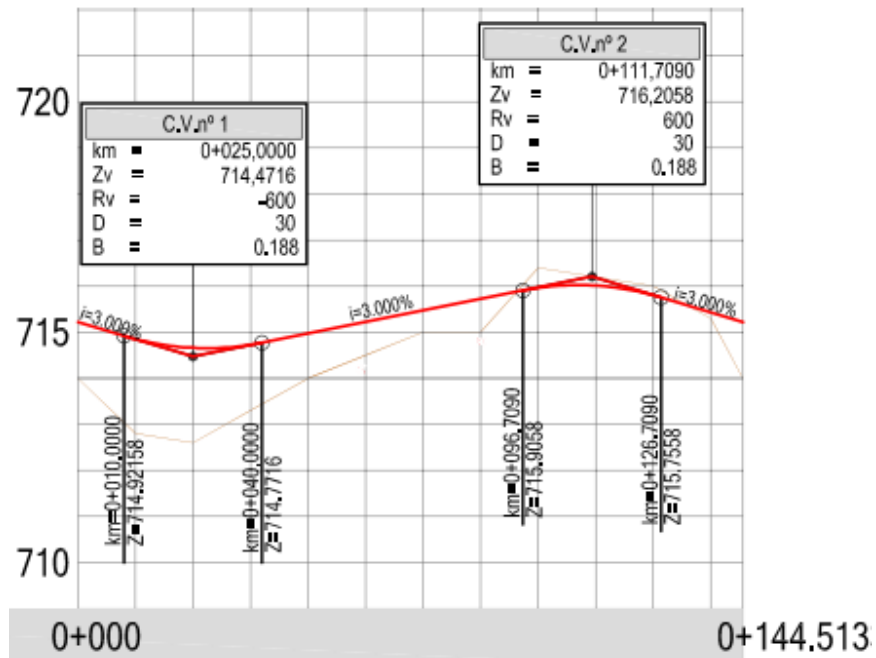


Figura 22 - Perfil longitudinal da rotunda A

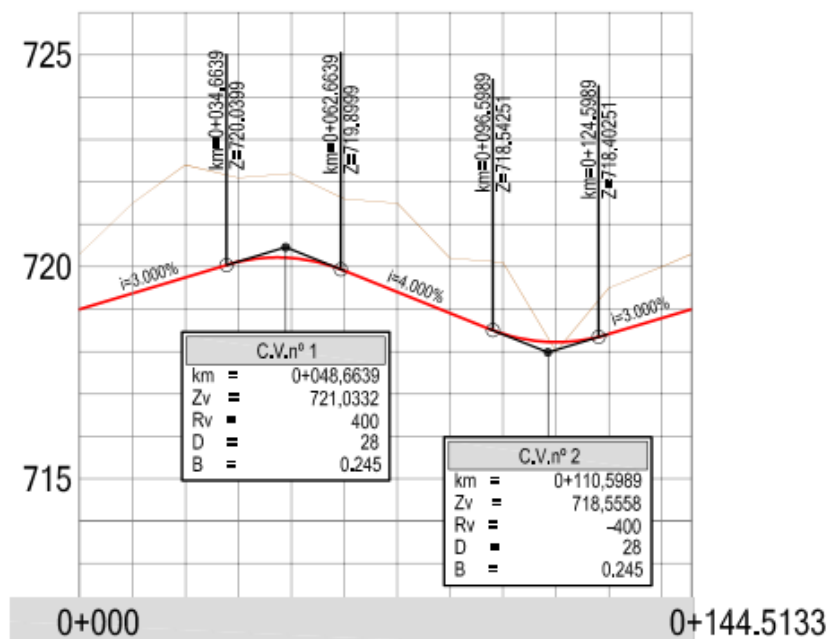


Figura 23 - Perfil longitudinal da rotunda B

Inicialmente, a rasante da rotunda A, representada na figura 22, tinha a sua cota exatamente 1m abaixo da apresentada. Dada a necessidade de cumprir o “gabarit” mínimo apresentado na figura 22, foi necessário subir 1m as cotas da rasante da rotunda A. No caso da rotunda B, de notar a procura do autor em descer do modo possível as suas cotas de forma a diminuir o desnível a vencer pelo ramo de saída dessa rotunda que dará entrada ao ip2 no sentido de sul para norte.

Para além dos ramos de ligação, convergem também nestas rotundas estradas pré existentes, as quais serão restabelecidas de forma a melhor se compatibilizarem com a rotunda, perfazendo um total de 4 restabelecimentos, que serão nomeados de A a D do mesmo modo que apresentado na figura 24 consoante o quadrante. A definição em perfil longitudinal e em planta destes restabelecimentos será apresentada nas tabelas e peças desenhadas anexadas ao presente relatório.

3.4. RAMOS DE LIGAÇÃO

Os ramos de ligação são os elementos mais importantes do nó. Na sua definição e principalmente no dimensionamento das vias de aceleração e abrandamento há que ter em conta as velocidades dos ramos e da estrada principal. Considerando a velocidade base de 100km/h fixada para o troço do IP2 presente é confirmada a inclinação máxima da rasante de 5%. A figura 24 apresenta os nomes atribuídos aos quatro quadrantes do nó.

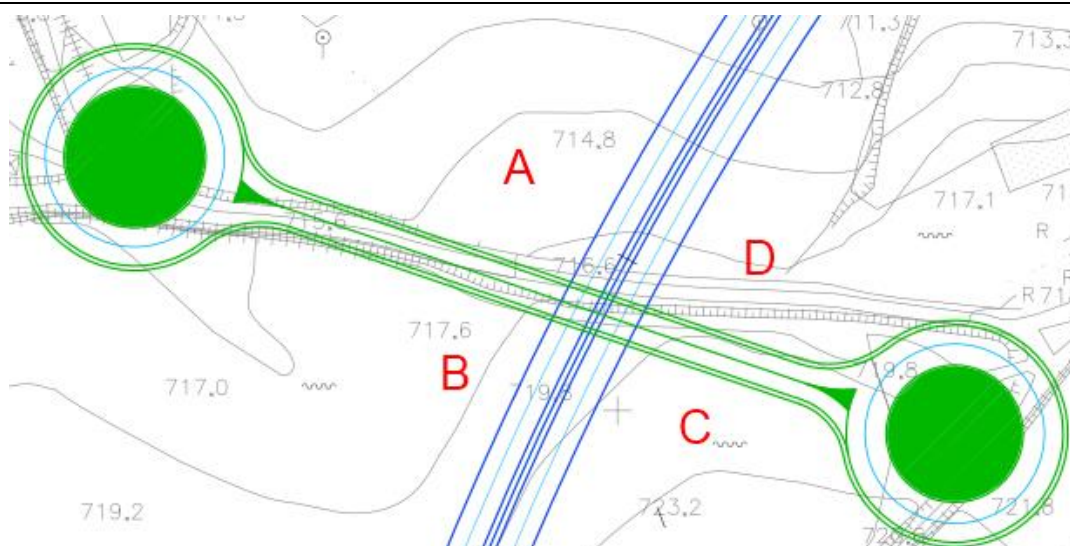


Figura 24 - Nomes dos quatro quadrantes

Entre os 4 ramos diretos, o ramo D é o mais condicionante visto ter um grande desnível a vencer. Sendo este um ramo direto de entrada na via principal, no sentido de sul para norte, a estrada principal tem um desnível crescente por força de um declive de 5%. Assim sendo este ramo D tem de ter um desnível negativo acentuado de forma a compensar o facto de estar a uma cota bem mais alta da estrada e ainda se dirigir a uma zona em declive da mesma. O ramo A é também afetado por um problema idêntico, contudo não tão gravoso visto que, como pode ser averiguado pela observação das figuras 23 e 24, a rotunda com ligação ao ramo A encontra-se a uma cota bastante mais baixa que a rotunda B, que liga ao ramo D.

3.4.1. RAMO D

3.4.1.1. CONSIDERAÇÕES INICIAIS

Antes de dimensionar o ramo D deve ser utilizada alguma metodologia de cálculo do desenvolvimento aproximado necessário para que o ramo D consiga vencer o desnível citado no paragrafo anterior e ao mesmo tempo cumpra as inclinações dos traineis inicial e final do ramo.

Inicialmente foi definido um troço inicial para o ramo B, intersectando o eixo da rotunda B. Este troço inicial assim como todos os troços dos ramos, têm em comum o facto do alinhamento reto da berma esquerda do ramo que intersecta o eixo da rotunda, intersecta também o centro da rotunda. Sendo que o eixo dos ramos é representado pelo bordo direito, este será paralelo ao alinhamento referido e distanciada de 4m, a largura da via dos ramos. Obtido o ponto de intersecção deste troço com o eixo da rotunda, foi obtida a quilometragem desse ponto no eixo da rotunda B, a partir do qual é obtida a cota desse ponto inicial do ramo. Seguidamente, foi feita uma projeção desse mesmo ponto no perfil longitudinal da estrada principal, passando uma reta em planta por esse ponto e pelo centro da curva circular da estrada principal nessa zona, alongando essa reta até ao eixo da estrada principal. Após esta projeção obteve-se a diferença na vertical desta cota projetada com a cota da rasante da estrada principal na vertical. A diferença obtida foi de 8,0214 metros, sendo agora necessário calcular a distancia necessária para vencer um desnível de 5% do trainel da estrada principal com um trainel de inclinação 8% no ramo D. Deste modo, foi obtido o resultado de 267.2803 metros, resultando do quociente entre 8.0214 pela diferença de inclinações dos traineis, 8%-5%. Contudo este método não

estaria bem concluído ignorando os traneis inicial e final. Tendo em conta uma inclinação inicial do ramo de -2,5%, derivado do perfil transversal da rotunda B, um trainel intermedio com -8% e um trainel final com -5% , utilizando a equação 13 e definindo um raio vertical de 1500m, obtêm-se os desenvolvimentos das duas concordâncias verticais que integrarão o perfil longitudinal. Assim sendo, e tendo em conta a inclinação de -5% do ip2, o trainel final não permite aproximação da cota do ramo a cota da estrada principal, e o trainel inicial de inclinação -2,5% mostra-se desfavorável a essa aproximação. Deve então ser somado aos 267.2803 metros obtidos inicialmente, metade do desenvolvimento das duas concordâncias verticais entre os referidos traneis, sendo o resultado final $267.2803 + 8205/2 + 45/2 = 331.13032$ metros. Estando o cálculo quase concluído falta apenas calcular a distância e o desenvolvimento adicional necessária para vencer, com a inclinação de 8% do segundo trainel, a diferença de cotas adicional provocada pela inclinação do trainel inicial, sendo o valor dessa distância de cerca de 35 metros.

Somando todas as parcelas é obtido um desenvolvimento total do ramo de cerca 380 metros. Note-se que a definição da rasante em qualquer um dos ramos é condicionada pela zona pavimentada comum entre o ramo e a estrada principal. Este resultado não considera o desenvolvimento dessa zona pavimentada comum, daí que este valor de 380 metros tenha de ser aumentado de forma a poder cumprir esses requisitos. O autor optou então pela procura de um desenvolvimento de cerca de 450 no ramo D, que como pode ser verificado no subcapítulo seguinte é suficiente para executar o ramo sem ter de alterar as inclinações dos traneis previstas no método nem diminuindo demasiado os raios verticais das concordâncias.

3.4.1.2. DEFINIÇÃO GEOMÉTRICA DO RAMO D

O ramo D é definido pelas coordenadas da diretriz representadas na tabela 15. As coordenadas apresentadas são apenas as dos pontos de osculação entre alinhamento reto, clotóide e curva circular. Em anexo são apresentadas tabelas mais pormenorizadas do Ramo D e também dos restantes ramos, tabelas essas com coordenadas definidas de 25 em 25 metros, para além das coordenadas dos pontos de osculação e dos centros das curvas circulares que compõem a diretriz do ramo.

Tabela 15 - Coordenadas do Ramo D

Ponto	Km	M(m)	P(m)	Designação	
Início	0+ 000,0000	2969,3267	1556,9024	AR1	CI1
O ₁	0+ 015,0618	2966,0913	1571,6126		
P ₁	0+ 043,8618	2962,9464	1600,1087	Cc1	CI1'
P' ₁	0+ 060,0321	2967,4401	1615,5516		
O' ₁	0+ 088,8321	2985,3839	1637,9110	AR2	CI2
O ₂	0+ 117,2601	3005,4341	1658,0638		
P ₂	0+ 178,8164	3048,0224	1702,4977	Cc2	CI2'
P' ₂	0+ 216,7372	3072,2261	1731,6798		
O' ₂	0+ 278,2935	3108,0192	1781,7496	AR3	CI3
O ₃	0+ 283,7174	3111,0906	1786,2201		
P ₃	0+ 345,2738	3146,8837	1836,2899	Cc3	CI3'
P' ₃	0+ 383,1945	3171,0873	1865,4720		
O' ₃	0+ 444,7509	3213,6756	1909,9059		
Fim					

- AR - Alinhamento reto
- Cc - Curva circular
- CI - Clotóide
- O - Ponto de Osculação do alinhamento reto com a clotóide
- P - Ponto de Osculação da clotóide com a curva circular

A figura 25 ilustra o ramo D e os seus componentes representados na tabela 14.

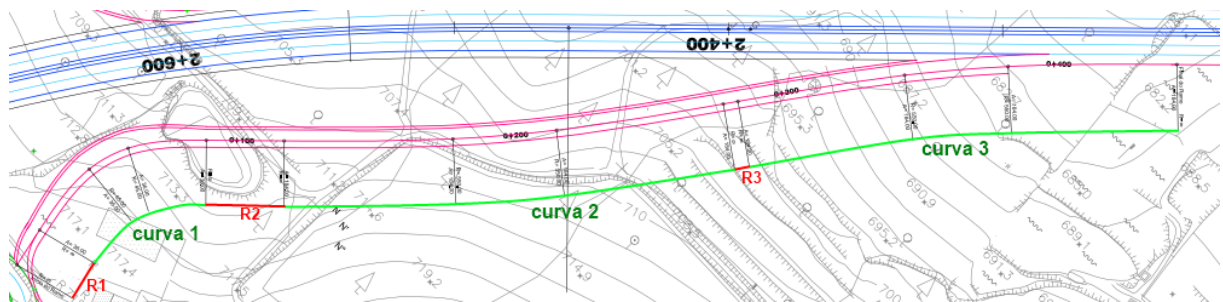


Figura 25 - Componentes em planta do ramo D

As curvas definidas na figura 25 como curvas 1, 2 e 3 são definidas pelos seus constituintes representados na tabela 16. De salientar que na curva 1, primeira curva do ramo e de saída da rotunda, foi estabelecido um raio da curva circular de 45m que permite considerar nessa secção uma velocidade de 40km/h pela observação da tabela 8. A curva 2, a esquerda, e a curva 3, a direita, partilham os

mesmos dados e permitem velocidades superiores devido ao seu maior raio. Tanto no ramo D como nos restantes ramos, as clotóides de entrada e saída de uma mesma curva circular partilham os mesmos valores do raio e parâmetro A da clotóide.

De salientar ainda quanto a observação da tabela 8 que estas 3 curvas, como se pode observar cumprem as extensões mínimas das curvas de transição (**Lcl**), o parâmetro da clotóide (**A**) e ainda o raio mínimo da curva circular (**R**) para uma dada velocidade específica. Tendo em conta os raios de cada uma das curvas, a sobrelargura de cada curva é de 1,25m para a curva 1 e não há sobrelargura nos nas curvas 2 e 3 segundo a tabela 9.

Tabela 16 - Estudo das curvas para o ramo D

	curva 1	curva 2	curva 3
β (gr)	136,3801	188,4856	188,4856
Ω (gr)	63,6199	11,5144	11,5144
R (m)	45,0000	550,0000	550,0000
A	36,0000	184,0000	184,0000
Lcl (m)	28,8000	61,5564	61,5564
τ (rad)	0,3200	0,0560	0,0560
X (m)	28,5065	61,5371	61,5371
Y (m)	3,0496	1,1480	1,1480
ΔR (m)	0,7652	0,2870	0,2870
R+ ΔR (m)	45,7652	550,2870	550,2870
Xm (m)	14,3510	30,7750	30,7750
$\Omega-2*\tau$ (rad)	0,3593	0,0689	0,0689
Lcc (m)	16,1703	37,9207	37,9207

Alguns dos parâmetros apresentados na anterior tabela foram já definidos pelas equações 3, 4 e 5. Os restantes são definidos pelas equações 15, 16 e 17 e também pela figura 26 seguidamente apresentados.

$$\tau = \frac{L}{2*R} \quad (15)$$

$$\Delta R = R * (\cos(\tau) - 1) + Y \quad (16)$$

$$Xm = X - R * \text{sen}(\tau) \quad (17)$$

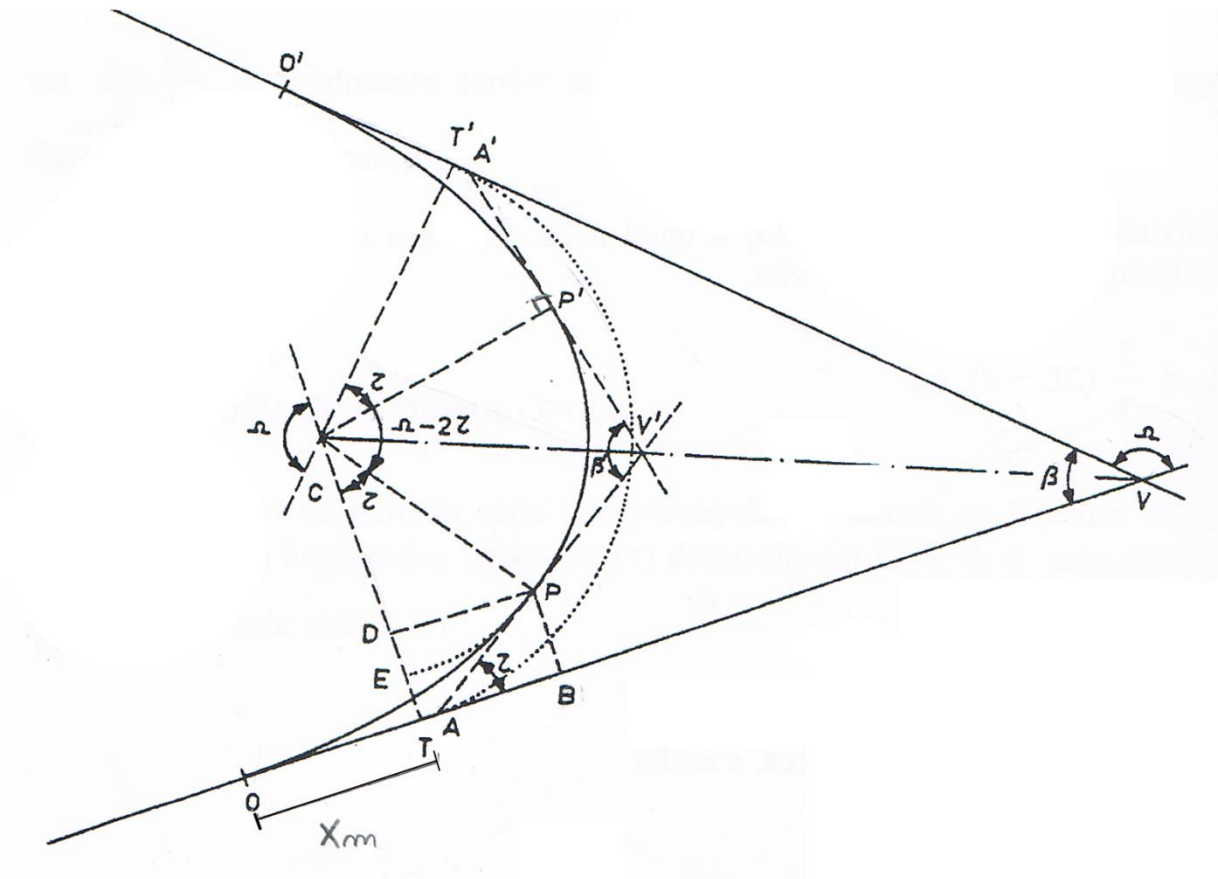


Figura 26 - Parâmetros de uma clotoide [4]

Como referido anteriormente, a definição da rasante em qualquer um dos ramos é condicionada pela zona pavimentada comum entre o ramo e a estrada principal.

De forma a conseguir compatibilizar esta zona, é comum levantar 3 cotas dessa zona, nomeadamente no final da clotoide (ponto 1), na intersecção nos bordos do ramo e da estrada (ponto 2) e na intersecção das bermas do ramo e da estrada (ponto 3). Conjugando com estas 3 cotas e respetivas distancias entre elas, a inclinação longitudinal da estrada, a procura de uma concordância que passe nos referidos três pontos e ao mesmo tempo seja tangente a essa inclinação no ponto 1 torna-se extremamente improvável e apenas pode acontecer por acaso, tendo em conta a imposição de quatro condições na equação 14, do 2º grau, que só admite três condições. Assim sendo, e de forma a libertar uma das condições, define-se que o ponto inicial da concordância não terá de passar obrigatoriamente no ponto 1 mas sim a uma certa distância x , que como pode ser observado na figura 27, é medida a partir do ponto 2 na direção do ponto 1. Procura-se que este valor de x se situe entre o ponto 1 e o ponto 2, sendo que este método implica varias tentativas. Na figura 28 estão representados em planta os pontos e as distâncias obtidas para a realização deste métodos, e na figura 27 é representado um esquema da construção da concordância.

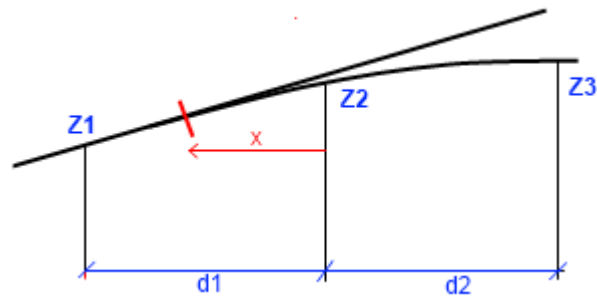


Figura 27 - Esquema de cálculo da concordância do ramo com a estrada principal

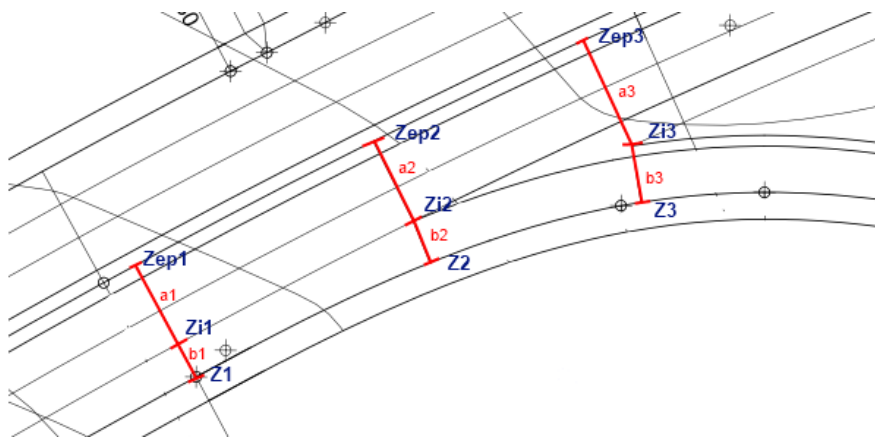


Figura 28 - Representação em planta dos pontos levantados para a obtenção da concordância

As figuras 27 e 28 representam a metodologia geral deste método. Nos ramos de saída do IC2, ramos A e C, o ponto 1 representa o ponto inicial do ramo e os pontos 2 e 3 desenvolvem-se no sentido crescente da quilometragem do ramo. Já nos ramos de entrada no IC2, ramos B e D, o ponto 1 representa o ponto final do ramo e os pontos 2 e 3 desenvolvem-se no sentido decrescente da quilometragem do ramo.

A equação 18 representa o sistema de duas equações a partir do qual, com as distâncias e pontos definidos nas figuras 27 e 28, se obtêm as duas incógnitas deste método, o raio vertical e a distância x .

$$\begin{cases} Z_2 = Z_1 + i * d_1 - \frac{x^2}{2 * R_v} \\ Z_3 = Z_1 + i * (d_1 + d_2) - \frac{(x + d_2)^2}{2 * R_v} \end{cases} \quad (18)$$

Na tabela 17 são apresentados os valores obtidos para as cotas e distâncias referidos.

Tabela 17 - Resultados da compatibilização da zona pavimentada comum do ramo D

Ramo D			
Ponto	1	2	3
Zep	687,6806	690,0164	692,4239
a (m)	8	8	10,5
Zi	687,4806	689,8164	692,1614
Se (%)	-2,5	-2,5	-2,5
B (m)	3,5	4	5
Se 3ª via	-5,5%	-5,378%	-5,5%
Z	687,3056	689,6012	691,8864
Km ramo	000,0000	46,59373	94,43408
X (m)		46,2694	
Rv (m)		31426,82	31426,82

A realização deste método envolve varias tentativas, sendo necessário por vezes vários valores de sobrelevação da 3ª via, como indicados na tabela 17, até conseguir obter um valor de x entre os valores de “Km ramo” dos pontos 1 e 2 e , se necessário, conseguir ao mesmo tempo um Rv que permita uma concordância mais favorável ao perfil longitudinal desejado.

Após a realização desta compatibilização é possível então obter o perfil longitudinal do ramo D, representado na figura 29, com a sua rasante representada.

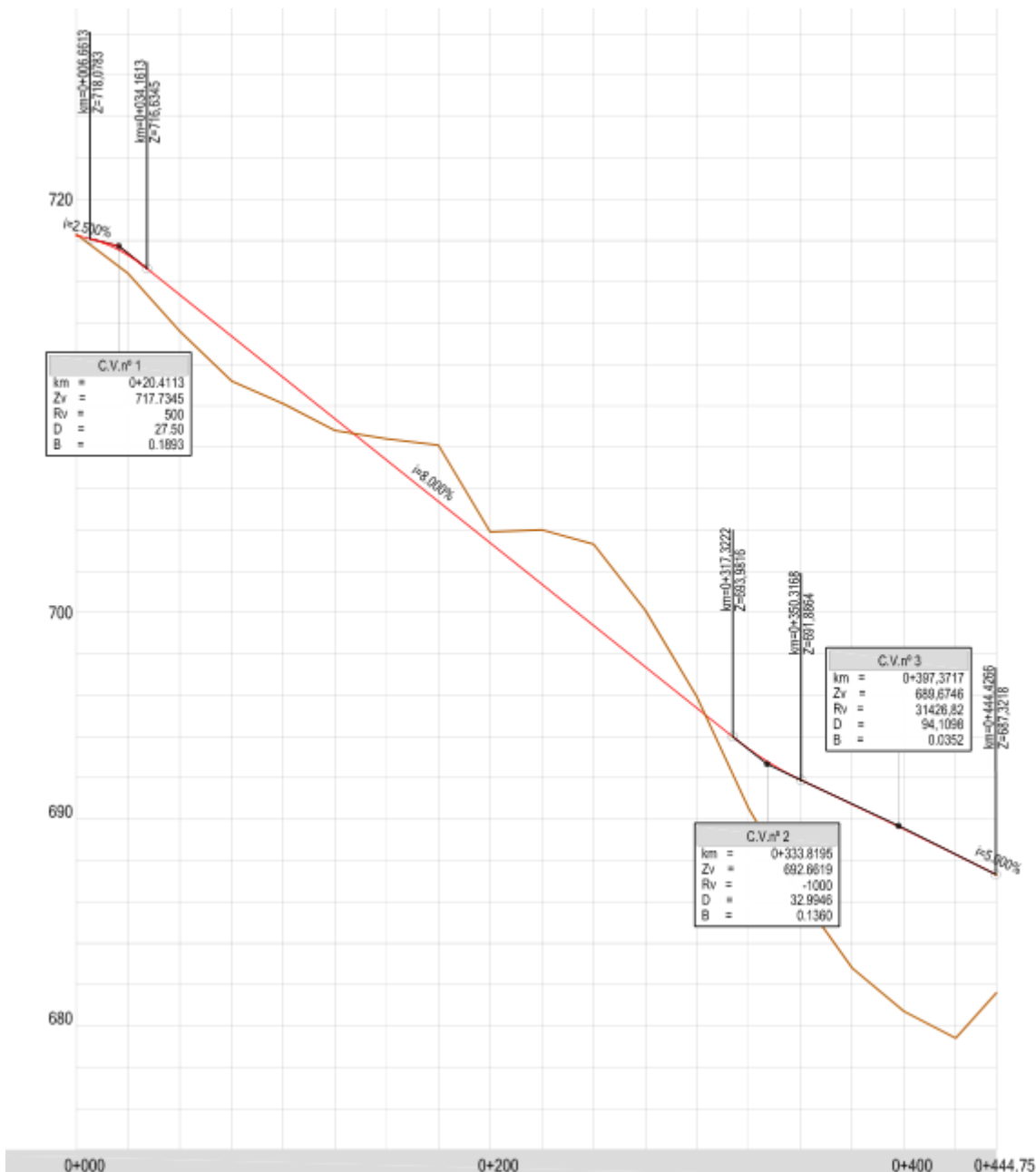


Figura 27 - Perfil longitudinal do ramo D

Segundo o definido na tabela 4, e tendo em conta que o trainel intermédio do perfil longitudinal do ramo D tem uma inclinação de 8%, este ramo deveria ser constituído não por uma mas sim por duas vias na zona em trainel de inclinação de 8%, sendo essa segunda via uma via de lentos. Sendo que este ramo, como todos os ramos, é unidirecional e a referida inclinação é em declive, o autor opta por prescindir do dimensionamento de uma via de lentos já que não se coloca o problema de dificuldade de manter a velocidade num longo trainel muito inclinado por veículos mais lentos neste ramo.

Sendo este um ramo de saída, a jusante do ponto final do ramo deve ser dimensionada uma via de aceleração. Dada a proximidade do final deste ramo com o viaduto referido no ponto 2.2 do capítulo 2 e representado na figura 10, e tendo em conta que esse viaduto já prevê uma 3ª via para cada sentido com a função de via de lentos, a via de aceleração prevista será então ligada a essa 3ª via, não sendo necessário dimensionar um *taper* que faça transição de três para duas vias na estrada principal.

Mostra-se contudo necessário dimensionar uma transição em *taper* para a berma exterior em plena via, sendo que esta mede 2,5m em todo o seu desenvolvimento exceto na zona em viaduto, onde passa a medir 1,1m. Na figura 30 é representado o esquema de cálculo de um *taper* em alinhamento reto, sendo as equações 19 e 20 utilizadas nessa definição.

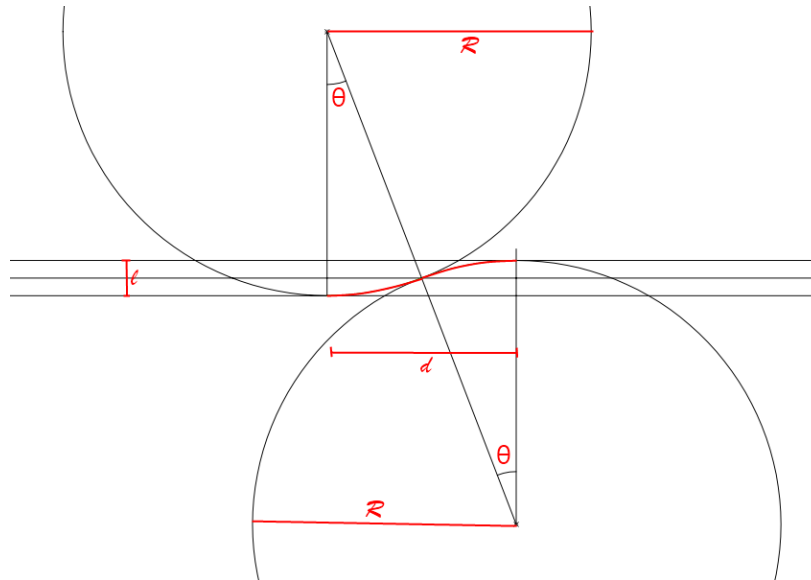


Figura 28 - Esquema para a definição de um “taper” em alinhamento reto

$$2 * R = \frac{d}{\text{sen}(\theta)} \quad (19)$$

$$\theta = 2 * \text{arctan}\left(\frac{l}{d}\right) \quad (20)$$

A distância entre o final do ramo D e o início da zona com berma direita de 1,1m é de 26,3521m. Como será a apresentado no ponto 3.4.3 acerca do ramo C, o raio obtido para a definição do *taper* é de 402,6607m , para um desenvolvimento definido nas normas espanholas de 75m. Utilizando esse mesmo raio para calcular qual o desenvolvimento necessário para uma largura não de 3,5m como no ramo C mas de 2,5-1,1=1,4m , é obtido um desenvolvimento de 47,4651m, maior que a distância disponível. Assim sendo, e para que esta transição comece a ser feita no limite no ponto final do ramo, o autor opta por utilizar a distância de 36,3521 como desenvolvimento do *taper*. Na tabela 18 são apresentados os valores utilizados e obtidos nesta definição.

Tabela 18 - dados do *taper* da transição da berma exterior após o ramo D

<i>taper</i> (m)	l (m)	θ	2R	R
36,3521	1,4	0,0770	472,6566	236,3283

$$\Delta X = X m_G + X m_P \quad (20)$$

$$\Delta Y = (R_P + \Delta R_P) + (R_G + \Delta R_G) \quad (21)$$

$$\theta = \arctan\left(\frac{\Delta X}{\Delta Y}\right) \quad (22)$$

$$D = \sqrt{\Delta X^2 + \Delta Y^2} \quad (23)$$

As figuras 32 e 33 ilustram a geometria dos ramos A e B, respetivamente, e nas tabelas 19 e 20 são apresentadas as coordenadas e quilometragem dos pontos notáveis na diretriz dos mesmos ramos pela mesma ordem.

Tabela 19 - Coordenadas do Ramo A

Ponto	Km	M(m)	P(m)	Designação	
Início	0+ 000,0000	2962,8035	1685,1546	Cl1	
P ₁					
O ₁ e O ₂	0+ 003,7988	2960,4253	1682,1924	Cl2	
P ₂	0+ 039,8522	2935,7647	1656,0192		
P' ₂	0+ 042,5091	2933,6292	1654,4386	Cc1	Cl'2
O' ₂	0+ 078,5624	2901,3930	1638,5008	AR1	
Fim	0+ 170,2698	2816,1966	1604,5625		

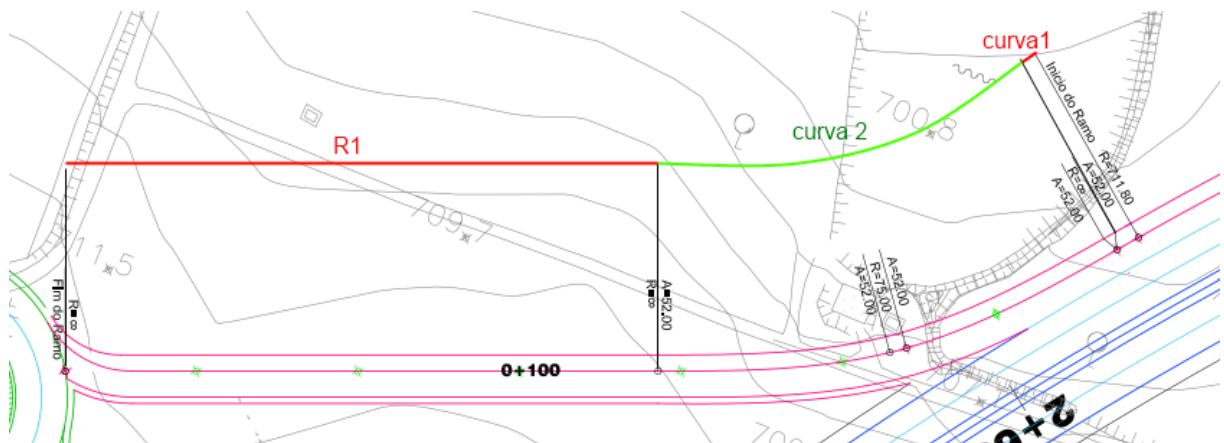


Figura 30 - Componentes em planta do Ramo A

Tabela 20 - Coordenadas do Ramo B

Ponto	Km	M(m)	P(m)	Designação	
Início	0+	000,0000	2806,9375	1571,9008	AR1
O ₁	0+	024,3526	2821,4658	1552,3565	
P ₁	0+	060,4059	2840,5419	1521,8724	Cc1
P' ₁	0+	095,0424	2846,2812	1488,0261	
O' ₁ e O ₂	0+	131,0957	2838,3206	1452,9574	CI'1
Fim	0+	134,8945	2837,1893	1449,3310	CI2
P ₂					

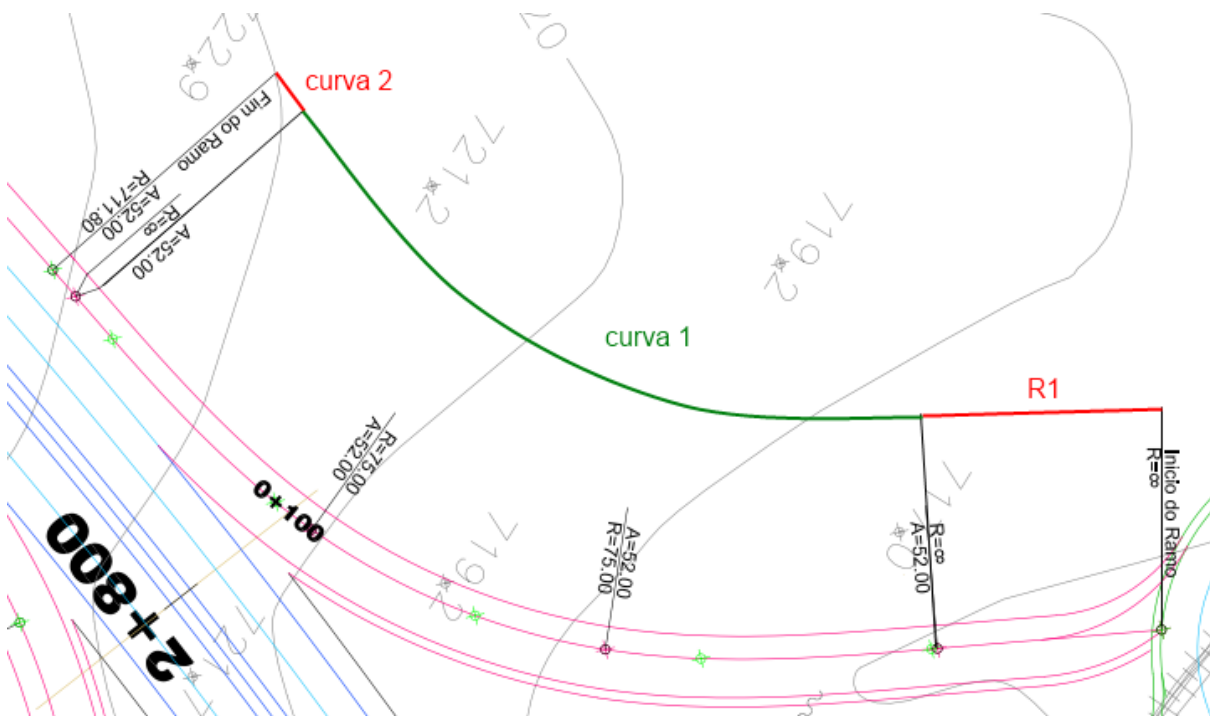


Figura 31 - Componentes em planta do Ramo B

A compatibilização da zona pavimentada comum entre a estrada principal e os ramos é neste caso mais complicada, como referido no ponto 2.2. do capítulo 2. A sobreelevação em plena via é de sentido contrário a que seria prevista na aproximação de uma curva a direita, no caso do ramo. A sobreelevação em plena via é de 5,5% e, definindo como 5% a diferença máxima entre inclinações transversais de modo a evitar desconforto para o condutor, a sobreelevação da zona pavimentada comum será de 0.5%. Para além destas condicionantes quanto a sobreelevação, o procedimento para a definição da compatibilização desta zona comum para estes dois é idêntico ao apresentado para o ramo D, sendo apresentadas em anexo tabelas detalhadas desses cálculos e os perfis transversais destes ramos.

Relativamente as vias auxiliares, sendo que o sentido da estrada principal ao qual estes ramos se ligam se encontra em rampa com um trainel de inclinação 5% , e o viaduto a montante desta zona já prevê uma terceira via para lentos, não haverá aqui também a definição de uma solução em *taper* de forma a fazer a transição de duas para 3 vias . Mantem-se contudo igual necessidade, como no ramo D, de transição na zona em viaduto da berma direita de 1,1 metros para 2.5 metros. O cálculo é idêntico ao definido para o referido ramo, mas neste caso não há uma distância limite entre o fim do viaduto e o único do ramo de saída A que se lhe segue. Assim sendo é utilizado o raio referido anteriormente para um desenvolvimento de 75 de *taper* para uma largura de 3,5 metros de via, sendo esse raio de 402,6607m.

3.4.3. RAMO C

A definição geométrica do ramo C colocou algumas dificuldades acrescidas. Tendo em conta a opção tomada pela autor resultar num ramo bastante curto, nomeadamente com um desenvolvimento de cerca de 130metros inicialmente. Neste caso, e apesar do desenvolvimento citado ser até idêntico ao do ramo C, o facto de o ponto inicial deste ramo de saída ter cota inferior a do ponto final do ramo, conjugado com a inclinação inicial em declive de 5% e a inevitável concordância convexa mesmo depois de bastantes ajustes da sobrelevação no ramo, provocou a necessidade de redefinição do ramo. Inicialmente tinham sido utilizados exatamente os mesmos valores de raio e parâmetro da clotóide iguais aos dos ramos A e B, sendo que após a redefinição foi mantido o raio do ramo, mas o parâmetro da clotóide foi aumentado de 52 para 60. Esta redefinição apenas aumentou o desenvolvimento do ramo em cerca de 6metros, mas esse acréscimo foi suficiente para permitir fazer proceder à citada concordância convexa, uma concordância concava de raio 400 metros tangente a uma rampa de inclinação 9% . Estes valores são bastante extremos mas dado o facto de se tratar de um ramo de saída e ainda por cima de ligação a uma rotunda onde será necessário parar ou entrar a muito baixas velocidades, o autor considera estes valores aceitáveis.

A definição deste ramo difere da dos três ramos anteriores devido a intersectar a estrada principal não em alinhamento reto nem no extradorso de uma curva circular, mas sim no intradorso da mesma curva circular referida para o ramo A e B. Assim sendo, o Raio do bordo da principal onde se inicia o ramo é o resultado não do raio do eixo da principal somado de 11,800 metros, mas sim subtraído desse valor, assumindo o valor de 688,200m. A curva de transição entre este rio maior e o raio menor de 75 será feita seguindo os paramentos de uma curva ovoide, esquematizados na figura 34. As equações 22, 23, 24 e 25 indicam a forma de cálculo das quatro componentes desta curva ainda não indicados.

$$\Delta X = X m_P - X m_G \quad (24)$$

$$\Delta Y = (R_G + \Delta R_G) - (R_P + \Delta R_P) \quad (25)$$

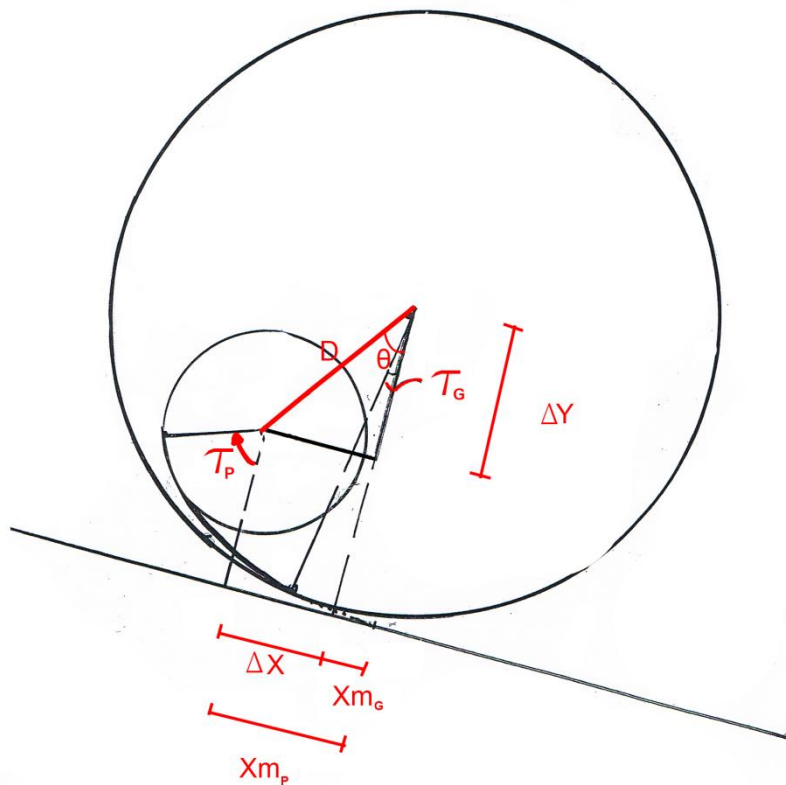


Figura 32 – Esquema de cálculo de uma curva ovoide [7]

A figura 35 ilustra a geometria do ramo C, e na tabela 21 são apresentadas as coordenadas e quilometragem dos pontos notáveis na diretriz do ramo.

Tabela 21 - Coordenadas do Ramo C

Ponto	Km	M(m)	P(m)	Designação	
Início	0+ 000,0000	2855,2134	1427,1552	CI1	Cc1
O ₁	0+ 042,7690	2870,2599	1464,5388		
P ₁	0+ 056,1670	2879,9783	1476,8653	CI'1	AR1
P' ₁	0+ 104,1670	2923,5158	1505,1657		
Fim	0+ 140,4415	2955,7186	1521,8635		

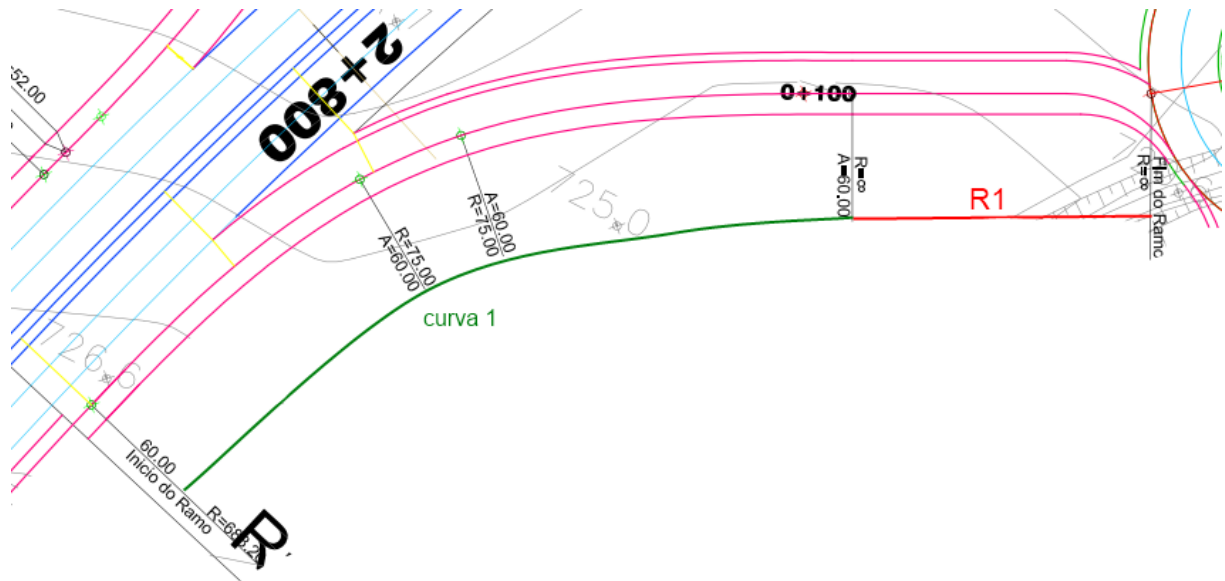


Figura 33 - Componentes em planta do Ramo C

Como referido anteriormente, foram feitas varias tentativas de forma a compatibilizar da melhor forma a zona pavimentada comum entre a estrada principal e o ramo C. Apesar do estrada principal ter nesta zona uma sobreelevação de valor $-5,5\%$, favorável a necessária para a aproximação do ramo a curva a curva 1 representada na figura 35, este teve de ser reduzida até ao valor de 3% de forma a conseguir obter uma concordância vertical que permitisse as condições de perfil longitudinal anteriormente referidas. Exclusivamente neste ramo, foi necessária alterar a inclinação transversal das bermas, sendo também neste caso admitido um limite máximo de 5% para a diferença de sobreelevação. Deste modo a inclinação das bermas comuns entre a principal e o ramo D foi considerada de $-0,5\%$.

Neste caso, encontrando-se a estrada principal em declive, o autor opta por não dimensionar uma terceira via para lentos, pelo que se define uma via de abrandamento. Pela observação das tabelas das normas espanholas, a via de abrandamento para o caso de uma estrada principal na qual se circula a uma velocidade de 100km/h e um ramo de velocidade específica de 50km/h deve ter 95 metros de desenvolvimento, dos quais 75m serão em *taper*. Este valor de 95 deve ser multiplicado por um fator de $1,35$ devido a principal estar nesta zona em declive de 5% , sendo o desenvolvimento total da via de abrandamento de $128,25\text{m}$. Esta definição coloca novas dificuldades de aplicação do *taper*. É possível dimensionar um *taper* em alinhamento reto como anteriormente exemplificado, e é também possível dimensionar um *taper* em curva. Contudo, neste caso, cerca de metade dos 75 metros de desenvolvimento previsto pro *taper* encontra-se em alinhamento reto, enquanto o restante se encontra em clotóide. Não há forma de fazer um dimensionamento rigoroso nesta situação, sendo que o autor optou por alongar a via de abrandamento, mantendo um desenvolvimento de 75 metros para o *taper*, mas dimensionando-o de forma a que este se encontre todo em alinhamento reto.

4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O desenvolvimento de um projeto deste género exige bastante trabalho, atenção ao pormenor e uma boa dose de paciência, principalmente nos casos em que são necessárias varias tentativas, como na compatibilização das zonas pavimentadas comuns aos ramos e a estrada principal. Ao longo da realização do projeto foram encontradas varias dificuldades. Inicialmente a falta de experiência do autor na utilização de funções mais avançadas do *software* Autocad provocou alguma demora na realização das funções necessárias, mas com o passar do tempo e alguma pesquisa a utilização deste software foi-se tornando mais fluida.

As normas a cumprir neste tipo de projeto são de facto muito uteis no que diz respeito essencialmente à garantia de um determinado nível segurança e conforto para os condutores. Contudo, essas mesmas normas restringem muito a liberdade do projetista tanto na definição em planta como em perfil longitudinal, sendo até em alguns casos impossível encontrar uma solução que consiga satisfazer ao mesmo tempo todas as condicionantes normativas para essa situação, sendo também devido a esses casos que existem alguns valores não obrigatórios ou proibidos, mas sim excepcionais ou meramente aconselhados.

Assim sendo, o autor considera que cumpriu os objetivos propostos para o projeto. Naturalmente este não é um projeto que se possa dizer tenha apenas uma solução ótima, sendo que ao longo do mesmo há muitas opções tomadas, boa parte das quais não são necessariamente corretas ou erradas. Apenas com o aumento de experiência do projetista é desenvolvida uma maior sensibilidade para essas opções, havendo assim uma melhor noção das opções mais adequadas a cada situação. As opções tomadas parecem adequadas a situação, sendo que boa parte delas poderiam ser alteradas. Por exemplo os ramos A e B poderiam ser dimensionados de forma a intersectarem a estrada principal numa zona que não fosse no extradorso de uma curva circular. Contudo essa opção, apesar de permitir uma sobrelevação mais coerente com a geometria do ramo e uma inclinação longitudinal mais suave, provocaria um ramo exageradamente longo, com cerca do dobro do desenvolvimento obtido na presente opção, o que o autor considera ser um desperdício de recursos neste caso.

Como nota final quanto a possíveis melhoramentos, caso houvesse a possibilidade de alterar alguns valores da solução da estrada principal fornecida, seria benéfica a este projeto a diminuição da sobrelevação na curva circular da principal, sendo que seria assim possível dimensionar os ramos A e B, no extradorso dessa curva, com sobrelevações mais concordantes com os movimentos destes ramos.

BIBLIOGRAFIA

- [1] US Department of Transportation - Federal Highway Administration <http://www.fhwa.dot.gov/publications/research/safety/04091/10.cfm> . Data de acesso:
- [2] US Department of Transportation - Federal Highway Administration <http://safety.fhwa.dot.gov/intersection/resources/needsidrpt/sect01.cfm.Data> de acesso:
- [3] ENGIVIA, Laboratório Nacional de Engenharia Civil, Norma de Traçado Revisão. Novembro de 2010.
<http://www.inir.pt/portal/LinkClick.aspx?fileticket=I%2BmqF3AOYtM%3D&tabid=111&mid=482&language=pt-PT>
- [4] FRANÇA, Prof. Dr. Adalberto, Sebenta de Vias de Comunicação 1. Faculdade de Engenharia, 1995.
- [5] FRANÇA, Prof. Dr. Adalberto, Sebenta de Vias de Comunicação 2. Faculdade de Engenharia.
- [6] Junta Autónoma de Estradas, 1990 – Norma de Nós de Ligação, JAE.
- [7] FRANÇA, Prof. Dr. Adalberto, Tópicos de Resumos de Complementos de Estradas e Aeródromos.
- [8] Junta Autónoma de Estradas, 1990 – Norma de Intersecções, JAE.
- [9] <http://www.alltravels.com/portugal/braganca/caravelas/photos/current-photo-35405733>

ANEXOS

ANEXOS A1 – ESTUDO DO TRAÇADO EM PLANTA

ANEXOS A2 – ESTUDO DO TRAÇADO EM PERFIL LONGITUDINAL

ANEXOS A3 – DEFINIÇÃO DOS RESTABELECIMENTOS

PEÇAS DESENHADAS

ANEXOS A1 – ESTUDO DO TRAÇADO EM PLANTA

A1.1 - RAMO A

Tabela A1.1.1 - Estudo das curvas para o Ramo A

	Curva do ramo	Curva da principal
τ (rad)	0,2404	0,0027
τ (gr)	15,3015	0,1699
Rmin	75,0000	711,8000
A	52,0000	52,0000
L	36,0533	3,7988
X	35,8456	3,7988
Y	2,8766	0,0034
ΔR	0,7206	0,0008
R+ ΔR	75,7206	711,8008
Xm	17,9920	1,8994
ΔX		19,8914
ΔY		787,5215
D		787,7727
θ (rad)		0,0253
θ (gr)		1,6076
Angulo Cc	2,2553	
L	2,6569	

Tabela A1.1.2 - Coordenadas do ramo A (de 25 em 25 metros e pontos notáveis)

Pk (m)	M	P	Designação	
0+ 000,0000	2962,8035	1685,1546	Cl1	
0+ 003,7988	2960,4253	1682,1924		
0+ 025,0000	2946,7183	1666,0266		Cl2
0+ 039,8522	2935,7647	1656,0192	Cc1	
0+ 042,5091	2933,6292	1654,4386		
0+ 050,0000	2927,3366	1650,3790		Cl'2
0+ 075,0000	2904,7015	1639,8217		
0+ 078,5624	2901,3930	1638,5008		
0+ 100,0000	2881,4775	1630,5673	AR1	
0+ 125,0000	2858,2524	1621,3155		
0+ 150,0000	2835,0273	1612,0637		
0+ 170,2698	2816,1966	1604,5625		

Tabela A1.1.3 - Azimutes dos alinhamentos retos do ramo A

Azimute AR1	Azimute de D	Azimute intermedia
75,8666	141,4007	43,0083

A1.2 - RAMO B

Tabela A1.2.4 - Estudo das curvas para o Ramo B

	Curva do ramo	Curva da principal
τ (rad)	0,2404	0,0027
τ (gr)	15,3015	0,1699
Rmin	75,0000	711,8000
A	52,0000	52,0000
L	36,0533	3,7988
X	35,8456	3,7988
Y	2,8766	0,0034
ΔR	0,7206	0,0008
R+ ΔR	75,7206	711,8008
Xm	17,9920	1,8994
ΔX		19,8914
ΔY		787,5215
D		787,7727
θ (rad)		0,0253
θ (gr)		1,6076
Angulo Cc	29,4003	
L	34,6364	

Tabela A1.2.5 - Coordenadas do ramo B (de 25 em 25 metros e pontos notáveis)

Pk (m)	M	P	Designação
0+ 000,0000	2806,9375	1571,9008	AR1
0+ 024,3526	2821,4658	1552,3565	
0+ 025,0000	2821,8520	1551,8369	CI1
0+ 050,0000	2835,9103	1531,1839	
0+ 060,4059	2840,5419	1521,8724	
0+ 075,0000	2844,8700	1507,9590	
0+ 095,0424	2846,2812	1488,0261	Cc1
0+ 100,0000	2845,8136	1483,0913	
0+ 125,0000	2840,1279	1458,7790	CI'1
0+ 131,0957	2838,3206	1452,9574	
0+ 134,8945	2837,1893	1449,3310	
			CI2

Tabela A1.2.6 - Azimutes dos alinhamentos retos do ramo B

Azimute AR1	Azimute de D	Azimute intermedia
159,3050	320,9160	19,3084

A1.3 - RAMO C

Tabela A1.3.7 - Estudo das curvas para o Ramo C

	Curva do ramo	Curva da principal
τ (rad)	0,3200	0,0038
τ (gr)	20,3718	0,2419
Rmin	75,0000	688,2000
A	60,0000	60,0000
L	48,0000	5,2310
X	47,5108	5,2310
Y	5,0827	0,0066
ΔR	1,2753	0,0017
R+ ΔR	76,2753	688,2017
Xm	23,9183	2,6155
ΔX		21,3028
ΔY		611,9263
D		612,2970
θ (rad)		0,0348
θ (gr)		2,2153
Angulo Cc	11,3726	
L	13,3980	

Tabela A1.3.8 - Coordenadas do ramo C (de 25 em 25 metros e pontos notáveis)

Pk (m)	M	P	Designação
0+ 000,0000	2855,2134	1427,1552	Cl1
0+ 025,0000	2863,1837	1450,8334	
0+ 042,7690	2870,2599	1464,5388	Cc1
0+ 050,0000	2874,2346	1470,2358	
0+ 056,1670	2879,9783	1476,8653	Cl'1
0+ 075,0000	2894,4879	1488,8214	
0+ 100,0000	2919,8166	1503,2475	
0+ 104,1670	2923,5158	1505,1657	AR1
0+ 125,0000	2942,0104	1514,7555	
0+ 140,4415	2955,7186	1521,8635	

Tabela A1.3.9 - Azimutes dos alinhamentos retos do ramo C

Azimute AR1	Azimute de D	Azimute intermedia
69,5470	319,6461	17,4308

A1.4 - RAMO D

Tabela A1.4.10 - Estudo das curvas para o Ramo D

	curva 1	curva 2	curva 3
β (gr)	136,3801	188,4856	188,4856
Ω (gr)	63,6199	11,5144	11,5144
R (m)	45,0000	550,0000	550,0000
A	36,0000	184,0000	184,0000
Lcl (m)	28,8000	61,5564	61,5564
τ (rad)	0,3200	0,0560	0,0560
X (m)	28,5065	61,5371	61,5371
Y (m)	3,0496	1,1480	1,1480
ΔR (m)	0,7652	0,2870	0,2870
R+ ΔR (m)	45,7652	550,2870	550,2870
Xm (m)	14,3510	30,7750	30,7750
$\Omega-2*\tau$ (rad)	0,3593	0,0689	0,0689
Lcc (m)	16,1703	37,9207	37,9207

Tabela A1.4.11 - Coordenadas do ramo D (de 25 em 25 metros e pontos notáveis)

	Pk (m)	M	P	Designação	
0+	000,0000	2969,3267	1556,9024	AR1	CI1
0+	015,0618	2966,0913	1571,6126		
0+	025,0000	2964,0801	1581,3445	Cc1	CI1'
0+	043,8618	2962,9464	1600,1087		
0+	050,0000	2963,9943	1606,1520	AR2	CI2
0+	060,0321	2967,4401	1615,5516		
0+	075,0000	2975,8746	1627,8707	Cc2	CI2'
0+	088,8321	2985,3839	1637,9110		
0+	100,0000	2993,2606	1645,8280	AR3	CI3
0+	117,2601	3005,4341	1658,0638		
0+	125,0000	3010,8915	1663,5524	Cc3	CI3'
0+	150,0000	3028,4026	1681,3947		
0+	175,0000	3045,4766	1699,6545	AR3	CI3'
0+	178,8164	3048,0224	1702,4977		
0+	200,0000	3061,7916	1718,5942	Cc3	CI3'
0+	216,7372	3072,2261	1731,6798		
0+	225,0000	3077,2316	1738,2538	AR3	CI3'
0+	250,0000	3091,9056	1758,4931		
0+	275,0000	3106,1540	1779,0351	Cc3	CI3'
0+	278,2935	3108,0192	1781,7496		
0+	283,7174	3111,0906	1786,2201	AR3	CI3'
0+	300,0000	3120,3285	1799,6284		
0+	325,0000	3134,7518	1820,0476	Cc3	CI3'
0+	345,2738	3146,8837	1836,2899		
0+	350,0000	3149,7897	1840,0171	AR3	CI3'
0+	375,0000	3165,6875	1859,3084		
0+	383,1945	3171,0873	1865,4720	Cc3	CI3'
0+	400,0000	3182,4283	1877,8732		
0+	425,0000	3199,7722	1895,8776	AR3	CI3'
0+	444,7509	3213,6756	1909,9059		

Tabela A1.4.12 - Azimutes dos alinhamentos retos do ramo D

Azimute AR1	Azimute AR2	Azimute AR3	Azimute EP
186,2176	49,8375	38,3232	49,8375

**ANEXOS A2 – ESTUDO DO
TRAÇADO EM PERFIL
LONGITUDINAL**

A2.1 - RAMO A

Tabela A2.1.1 – Resultados da compatibilização da zona pavimentada comum do ramo A

Ponto	1	2	3
Zep	704,4393	705,5191	706,5
a (m)	8,0	8,0	10,5
Zi	704,8793	705,9591	707,0775
Se (%)	0,055	0,055	0,055
B (m)	3,5	4,138974	5,3
Se 3ª via	0,005	0,015	0,005
Z	704,8968	706,0212	707,104
Km ramo	0,0000	21,6254	40,6904
X (m)		19,04746	
Rv (m)		-4206,27	-4206,27

Tabela A2.1.2 – Coordenadas da Rasante do Ramo A (25 em 25 metros e pontos notáveis)

	Pk (m)	Cota (m)
0+	000,0000	704,8968
0+	002,5779	705,0257
0+	025,0000	706,2066
0+	038,1124	706,8024
0+	049,6644	707,6945
0+	050,0000	707,7179
0+	075,0000	709,4679
0+	100,0000	711,2179
0+	125,0000	712,9679
0+	129,3857	713,2749
0+	147,3857	714,1299
0+	150,0000	714,1953
0+	170,2698	714,7020

Tabela A2.1.3 – Características das concordâncias verticais do Ramo A

Trainel	1	2	3	4
i (%)	5%	5,845%	7%	3%
Rv (m)		-4206,27	-1000	400
D (m)		35,5345	11,5520	18,0000

A2.1 - RAMO B

Tabela A2.2.1 – Resultados da compatibilização da zona pavimentada comum do ramo B

Ponto	1	2	3
Zep	717,6546	716,5744	715,6074
a (m)	8,00	8,00	10,50
Zi	718,0946	717,0144	716,1849
Se (%)	0,055	0,055	0,055
B (m)	3,5	4,139548	5,3
Se 3ª via	0,005	0,005	0,005
Z	718,1121	717,0351	716,2114
Km ramo	0	21,6362	40,4804
X (m)		4,6284	
Rv (m)		-2234,79	-2234,79

Tabela A2.2.2 – Coordenadas da Rasante do Ramo B (25 em 25 metros e pontos notáveis)

	Pk (m)	Cota (m)
0+	000,0000	715,7607
0+	025,0000	715,5107
0+	041,4864	715,3459
0+	050,0000	715,2970
0+	075,0000	715,5723
0+	090,9832	716,0759
0+	094,4141	716,2114
0+	100,0000	716,4390
0+	117,8867	717,2617
0+	125,0000	717,6174
0+	134,8945	718,1121

Tabela A2.2.3 – Características das concordâncias verticais do Ramo B

Trainel	1	2	3
i (%)	-1%	3,9497%	5%
Rv (m)		-1000	-2234,79
D (m)		49,4967	23,4725

A2.3 - RAMO C

Tabela A2.3.1 – Resultados da compatibilização da zona pavimentada comum do ramo C

Ponto	1	2	3
Zep	718,4621	717,2152	716,132
a (m)	8,00	8,00	8,00
Zi	718,0221	716,7752	715,6795
Se (%)	0,055	0,055	0,055
B (m)	3,5	4,213282	4,3
Se 3ª via	0,055	0,04	0,03
Z	717,8296	716,6066	715,5455
Km ramo	00,0000	24,1999	44,6455
X (m)	20,5132		
Rv (m)	16180,41		

Tabela A2.3.2 – Coordenadas da Rasante do Ramo C (25 em 25 metros e pontos notáveis)

	Pk (m)	Cota (m)
0+	000,0000	717,8296
0+	003,6867	717,6453
0+	025,0000	716,5656
0+	044,6455	715,5455
0+	050,0000	715,3001
0+	075,0000	715,1027
0+	100,0000	716,4678
0+	101,6580	716,6136
0+	125,0000	718,7144
0+	128,9651	719,0713
0+	138,7151	719,6319
0+	140,4415	719,6750

Tabela A2.3.3 – Características das concordâncias verticais do Ramo C

Trainel	1	2	3	4
i (%)	-5%	-5,2531%	9%	3%
Rv (m)		16180,41	-400	150
D (m)		40,9588	57,0126	9,7500

A2.4 - RAMO D

Tabela A2.4.1 – Resultados da compatibilização da zona pavimentada comum do ramo D

Ponto	1	2	3
Zep	687,6806	690,0164	692,4239
a (m)	8	8	10,5
Zi	687,4806	689,8164	692,1614
Se (%)	-2,5	-2,5	-2,5
B (m)	3,5	4	5
Se 3ª via	-5,5%	-5,378%	-5,5%
Z	687,3056	689,6012	691,8864
Km ramo	000,0000	46,59373	94,43408
X (m)		46,2694	
Rv (m)		31426,82	31426,82

Tabela A2.4.2 – Coordenadas da Rasante do Ramo D (25 em 25 metros e pontos notáveis)

	Pk (m)	Cota (m)
0+	000,0000	718,2448
0+	006,6613	718,0783
0+	025,0000	717,2835
0+	34,1613	716,6345
0+	050,0000	715,3674
0+	075,0000	713,3674
0+	100,0000	711,3674
0+	125,0000	709,3674
0+	150,0000	707,3674
0+	175,0000	705,3674
0+	200,0000	703,3674
0+	225,0000	701,3674
0+	250,0000	699,3674
0+	275,0000	697,3674
0+	300,0000	695,3674
0+	317,3222	693,9816

0+	325,0000	693,3969
0+	350,0000	691,9013
0+	350,3168	691,8864
0+	350,3168	691,8864
0+	375,0000	690,7165
0+	400,0000	689,5117
0+	425,0000	688,2871
0+	444,4266	687,3218
0+	444,7509	687,3056

Tabela A2.4.3 – Características das concordâncias verticais do Ramo D

Trainel	1	2	3	4
i (%)	-3%	-8%	-4,7005%	-5%
Rv (m)		500	-1000	31426,82
D (m)		27,5	32,9946	94,1098

ANEXOS A3 – DEFINIÇÃO DOS RESTABELECIMENTOS

Tabela A3.1 – Definição em Planta do restabelecimento A

ponto	M	P	az (rad)	az (grad)	Designação	Raio		Distância	
inicial	2786,1801	1612,9507	5,8113	369,9579	AR1			41,19414	6,3627
inicio curva 1	2767,4540	1649,6426				Cc1	50		
fim curva 1	2764,9296	1655,4784	5,93854	378,0592	AR2			57,9880	
fim	2745,3376	1710,0565							

Tabela A3.2 – Definição em Planta do restabelecimento B

ponto	M	P	az (rad)	az (grad)	Designação	Raio		Distância	
inicial	2776,3606	1581,6049	4,220652	268,6951	AR1			15,35741	30,0118
inicio curva 1	2762,8228	1574,3538				Cc1	50		
fim curva 1	2733,8005	1568,7235	4,820889	306,9074	AR2			76,77016	
fim	2657,4818	1577,0368							

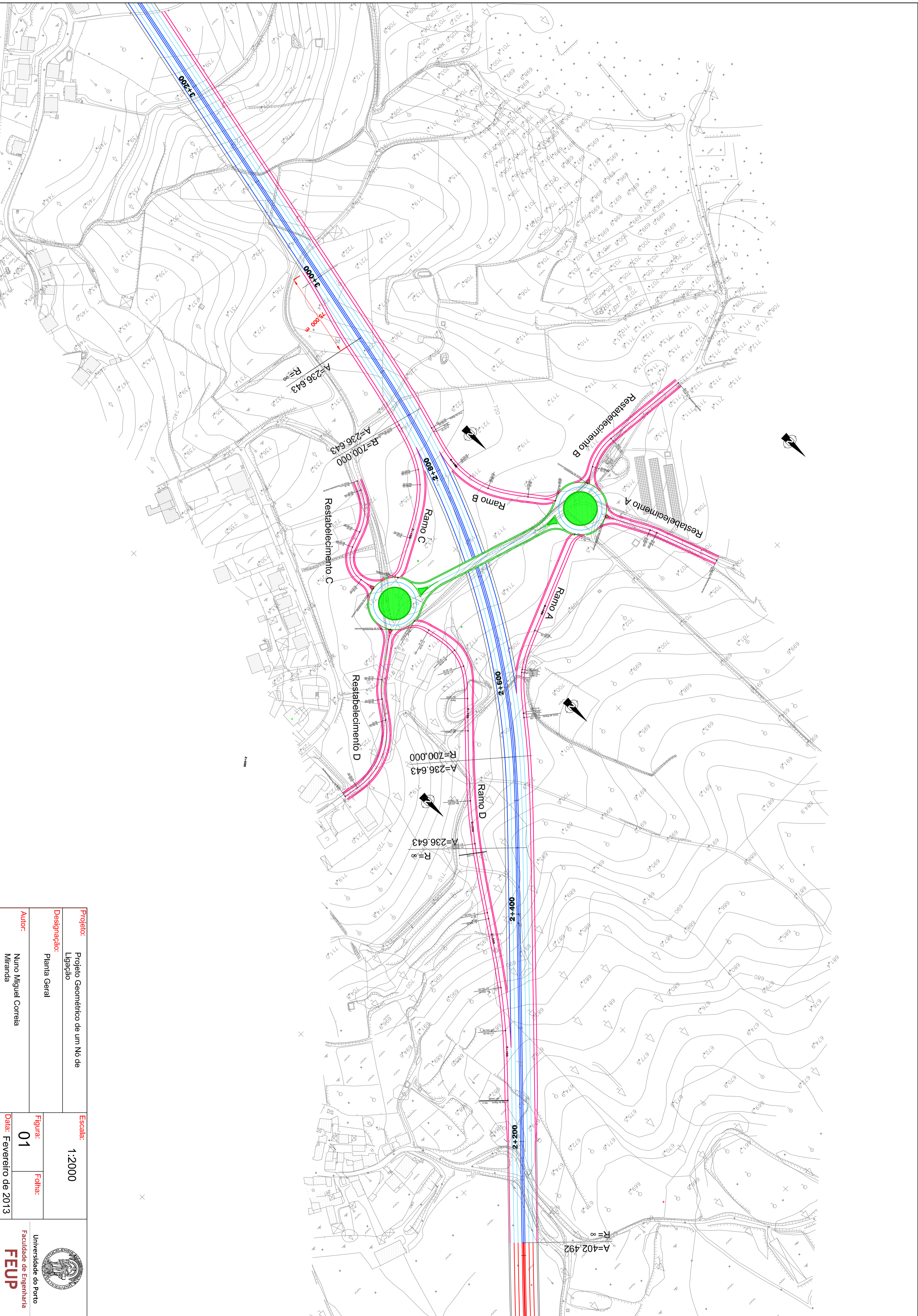
Tabela A3.3 – Definição em Planta do restabelecimento C


ponto	M	P	az (rad)	az (grad)	designação	raio		distância	
inicial	2973,8885	1511,2064	2,984283	189,9854	AR1			13,3318	32,1659
inicio curva 1	2975,9771	1498,0392				Cc1	23		
fim curva 1	2960,7051	1472,6739	4,382802	279,0179	AR2			14,63523	37,9504
inicio curva 2	2946,8576	1467,9372				Cc2	46		
fim curva 2	2919,6566	1442,9744	3,556938	226,4417	AR3			8,682184	
fim	2916,1533	1435,0304							

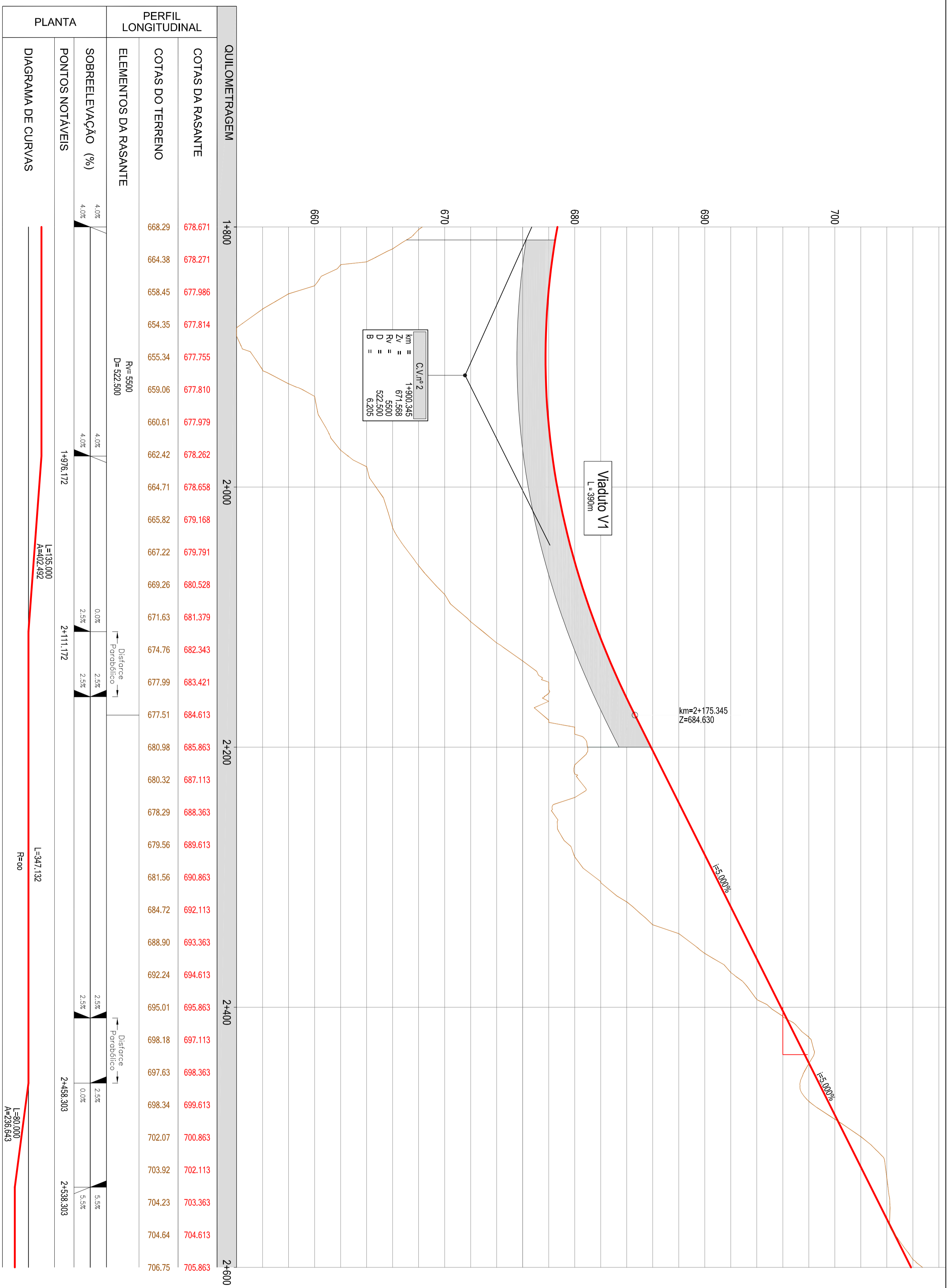
Tabela A3.4 – Definição em Planta do restabelecimento D

ponto	M	P	az (rad)	az (grad)	designação	raio		distância	
inicial	2989,2163	1546,9845	0,9668	61,5500	AR1			44,81894	17,1196
inicio curva 1	3026,1061	1572,4379				Cc1	23		
fim curva 1	3038,2751	1584,3603	0,6244	39,7526	AR2			18,73079	67,9396
inicio curva 2	3049,2258	1599,5565				Cc2	46		
fim curva 2	3108,9971	1623,4438	1,7568	111,8388	AR3			13,25372	
fim	3122,0223	1620,9932							

PEÇAS DESENHADAS



Projeto:	Projeto Geométrico de um Nó de Ligação	Escala:	1:2000
Designação:	Planta Geral	Figura:	01
Autor:	Nuno Miguel Correia Miranda	Folha:	
		Data:	Fevereiro de 2013
			



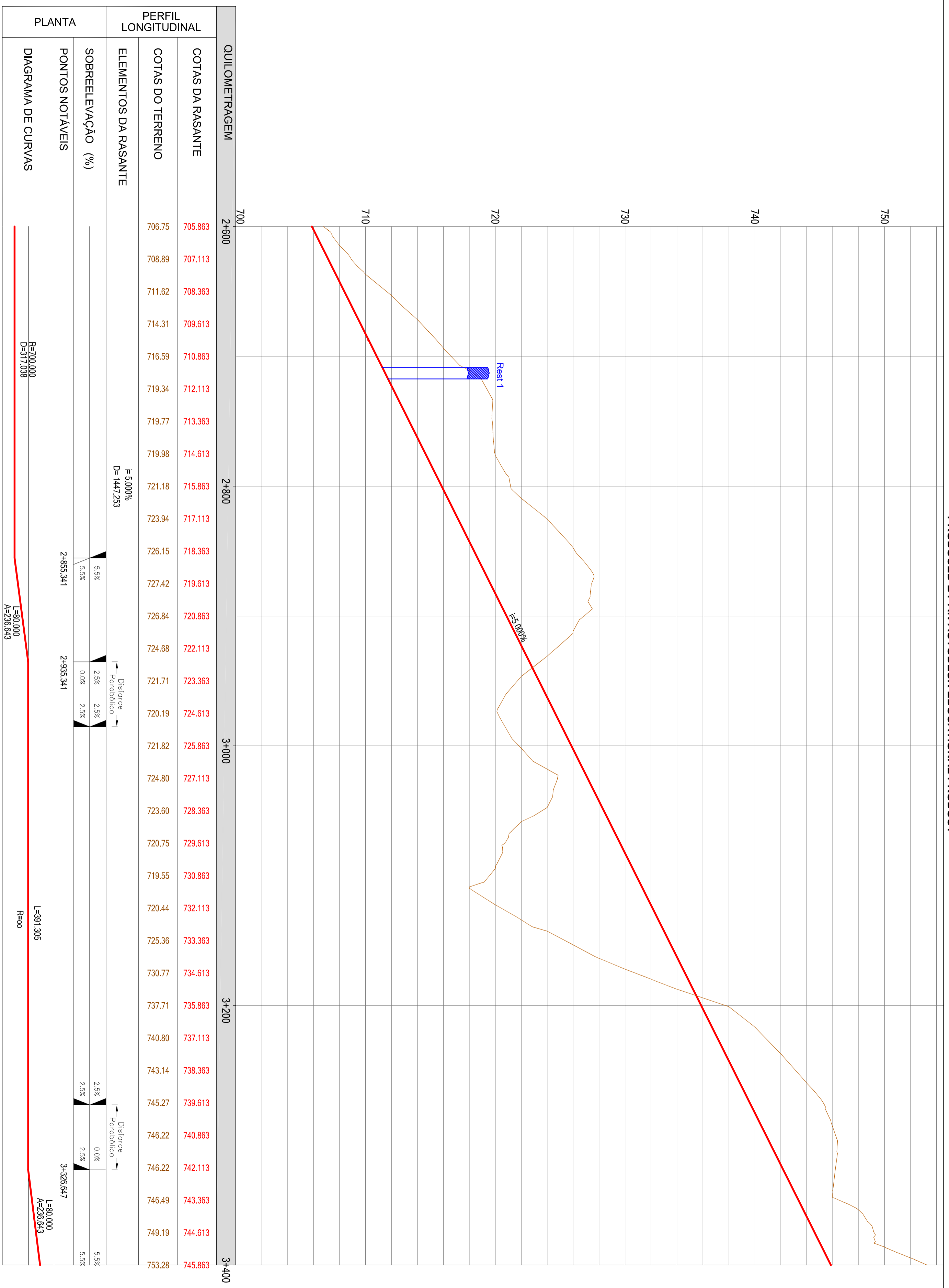
C.V. nº 2
 km = 1+900,345
 Zv = 671,568
 Rv = 5500
 D = 522,500
 B = 6,205

Viaduto V1
 L = 390m

km=2+175,345
 Z=684,630

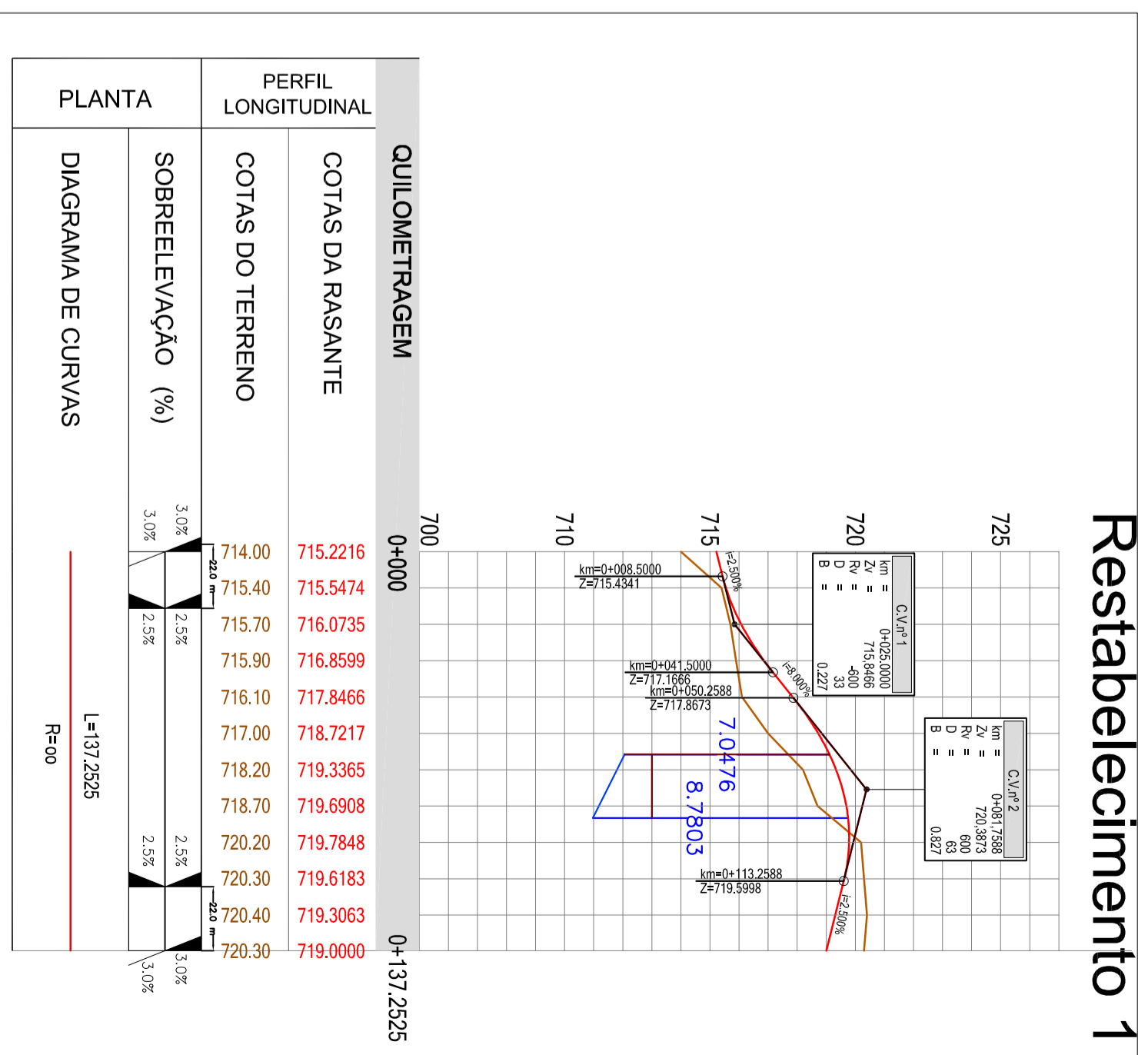
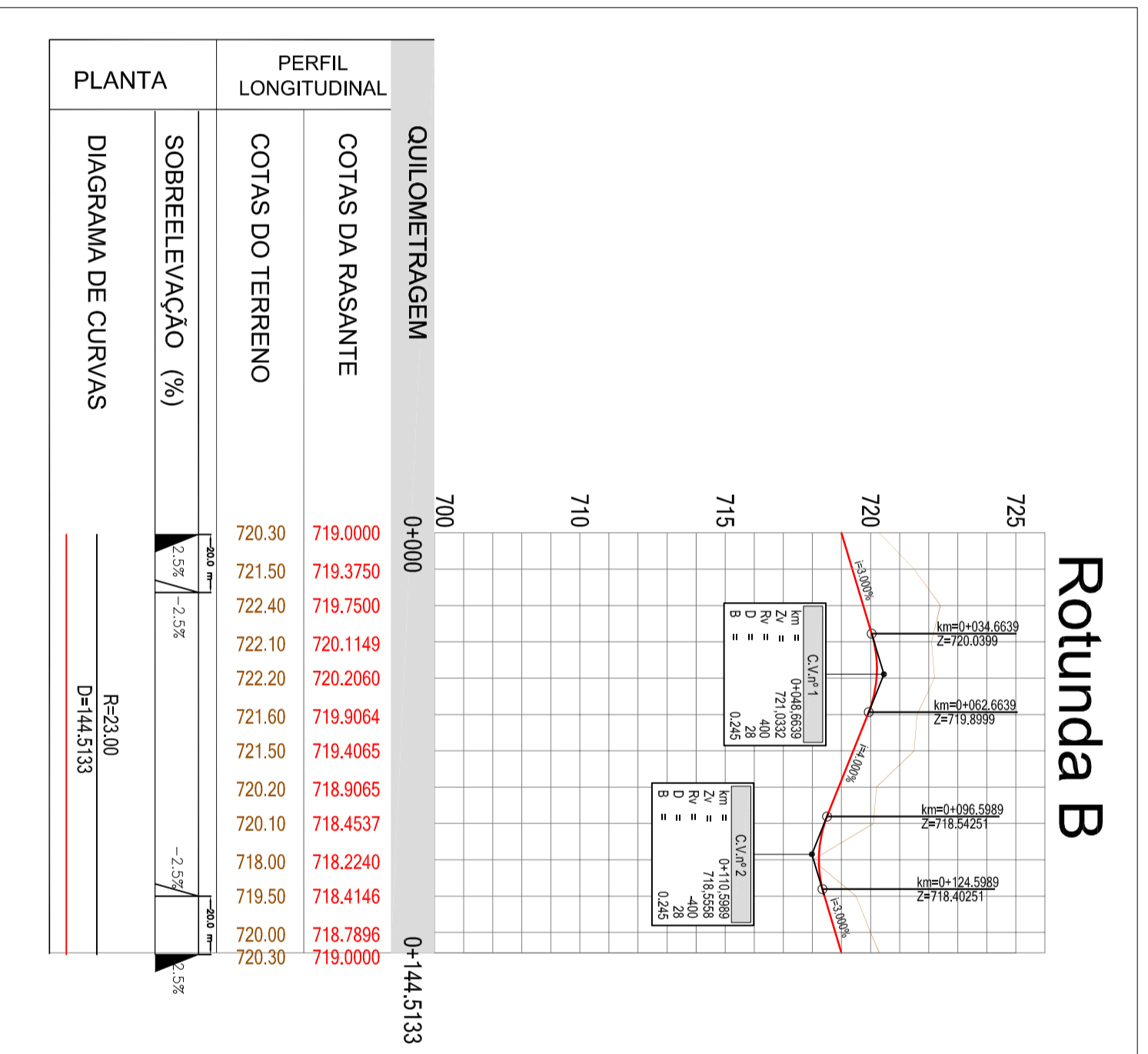
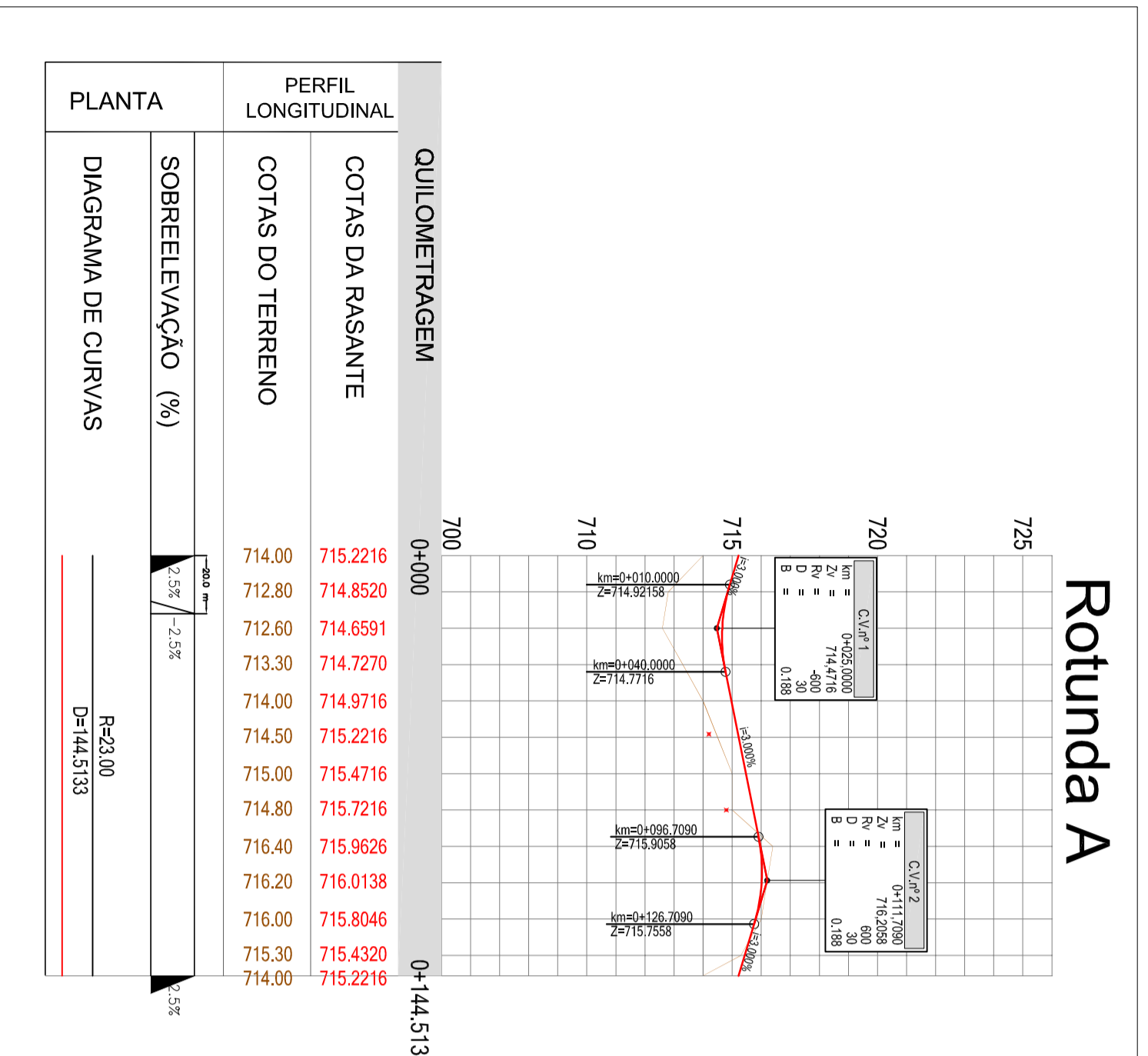
Projeto: Projeto Geométrico de um Nó de Ligação	Escala: H - 1:2000 V - 1:200
Designação: Perfil Longitudinal do IP2 km 1+800 a 2+600	Figura: 02
Autor: Nuno Miguel Correia Miranda	Folha:
Data: Fevereiro de 2013	





Projeto:	Projeto Geométrico de um Nó de Ligação	Escala:	H - 1:2000 V - 1:200
Designação:	Perfil Longitudinal do IP2 km 2+600 a 3+400	Figura:	03
Autor:	Nuno Miguel Correia Miranda	Folha:	
Data:	Fevereiro de 2013		





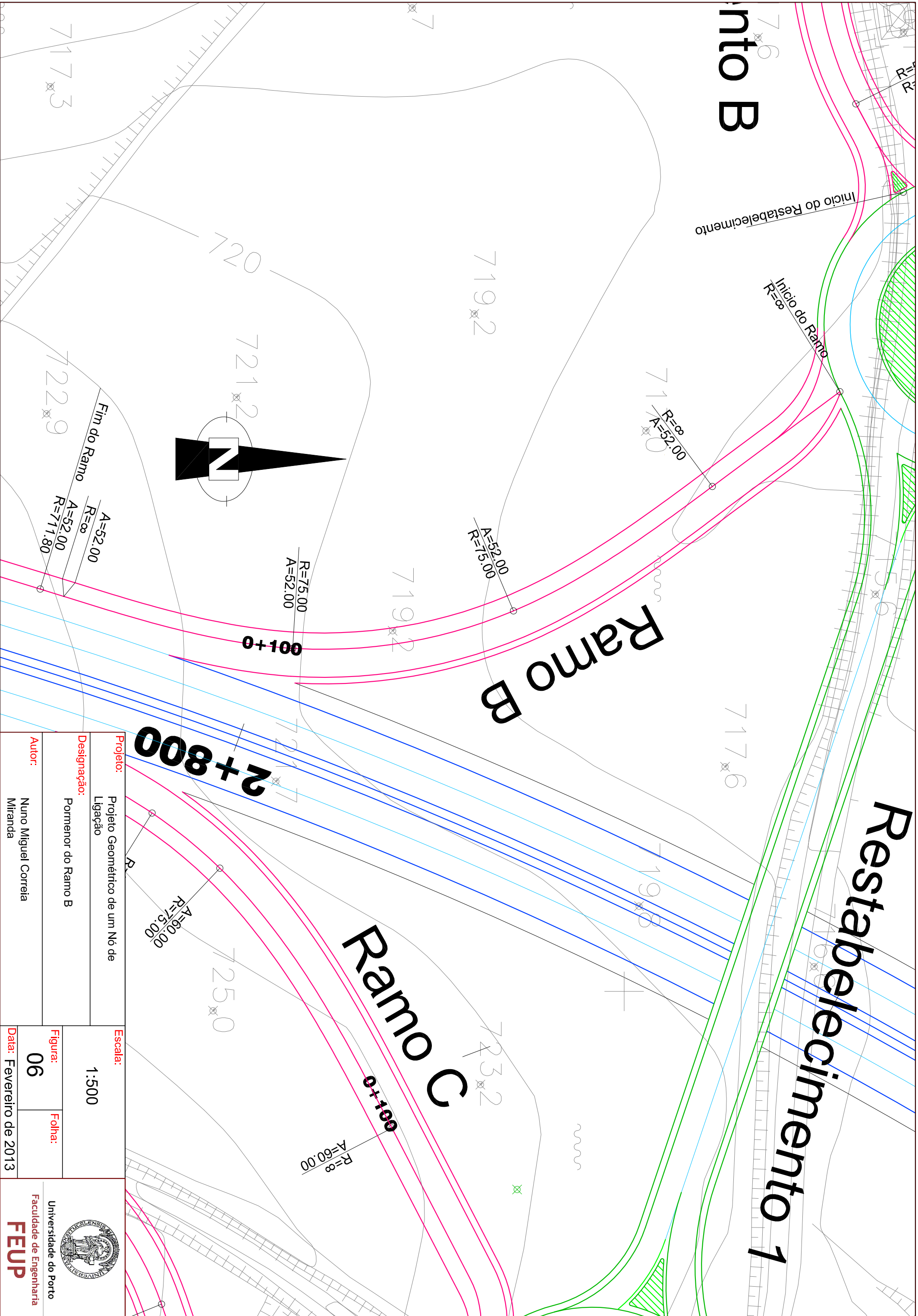
Pormenor das Rotundas A e B e Restabelecimento 1


escala - 1:500

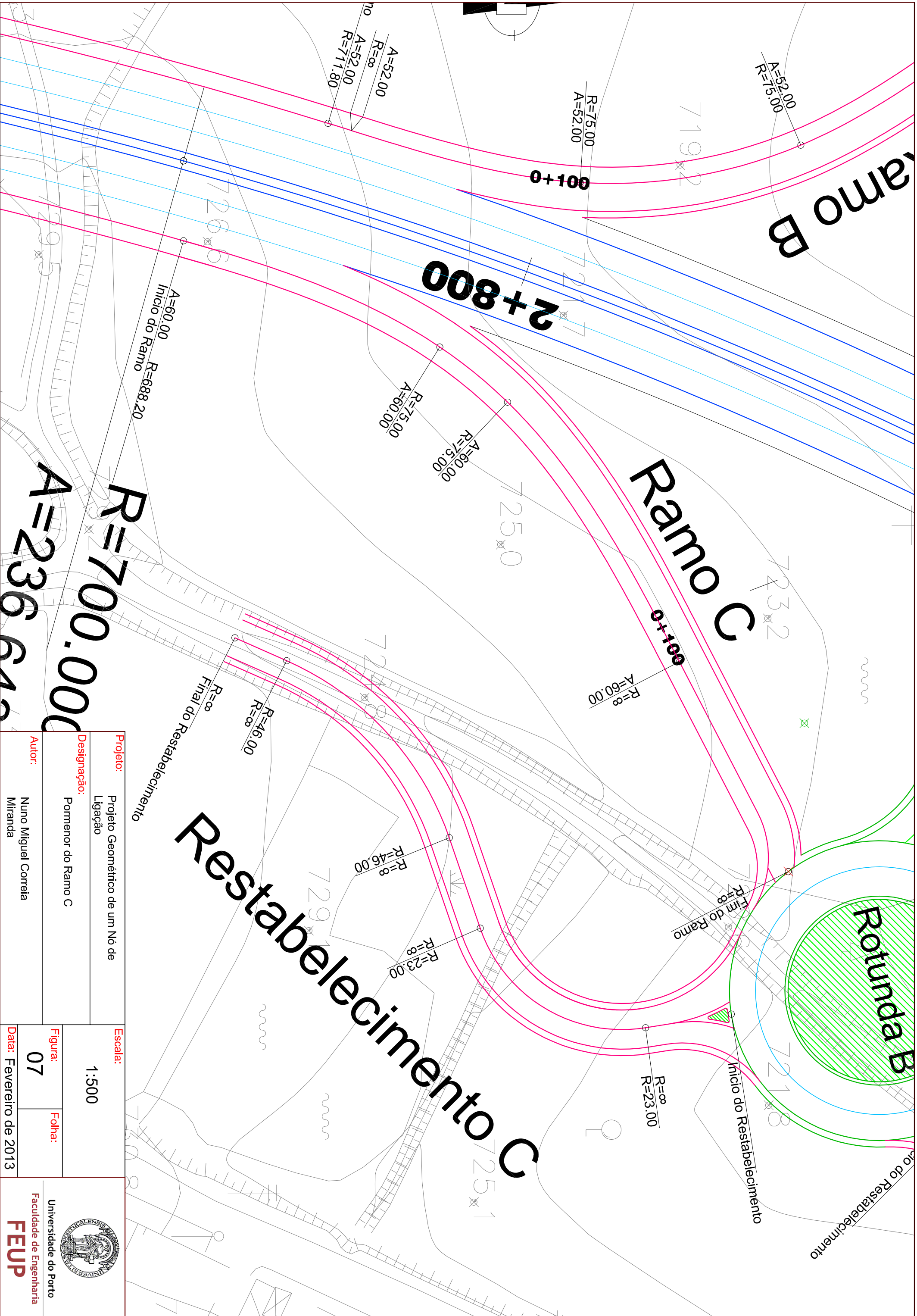



Projeto:	Projeto Geométrico de um Nó de Ligação	Escala:	H - 1:2000 V - 1:200
Designação:	Perfis Longitudinais e Pormenor em Planta das rotundas A e B e do restabelecimento 1	Folha:	04
Autor:	Nuno Miguel Correia Miranda	Data:	Fevereiro de 2013





Projeto: Projeto Geométrico de um Nó de Ligação		Escala: 1:500	
Designação: Pormenor do Ramo B		Figura: 06	Folha:
Autor: Nuno Miguel Correia Miranda		Data: Fevereiro de 2013	
 Universidade do Porto Faculdade de Engenharia FEUP			



Projeto: Projeto Geométrico de um Nó de Ligação	Escala: 1:500	 Universidade do Porto Faculdade de Engenharia FEUP
Designação: Pormenor do Ramo C	Figura: 07	
Autor: Nuno Miguel Correia Miranda	Folha:	
Data: Fevereiro de 2013		

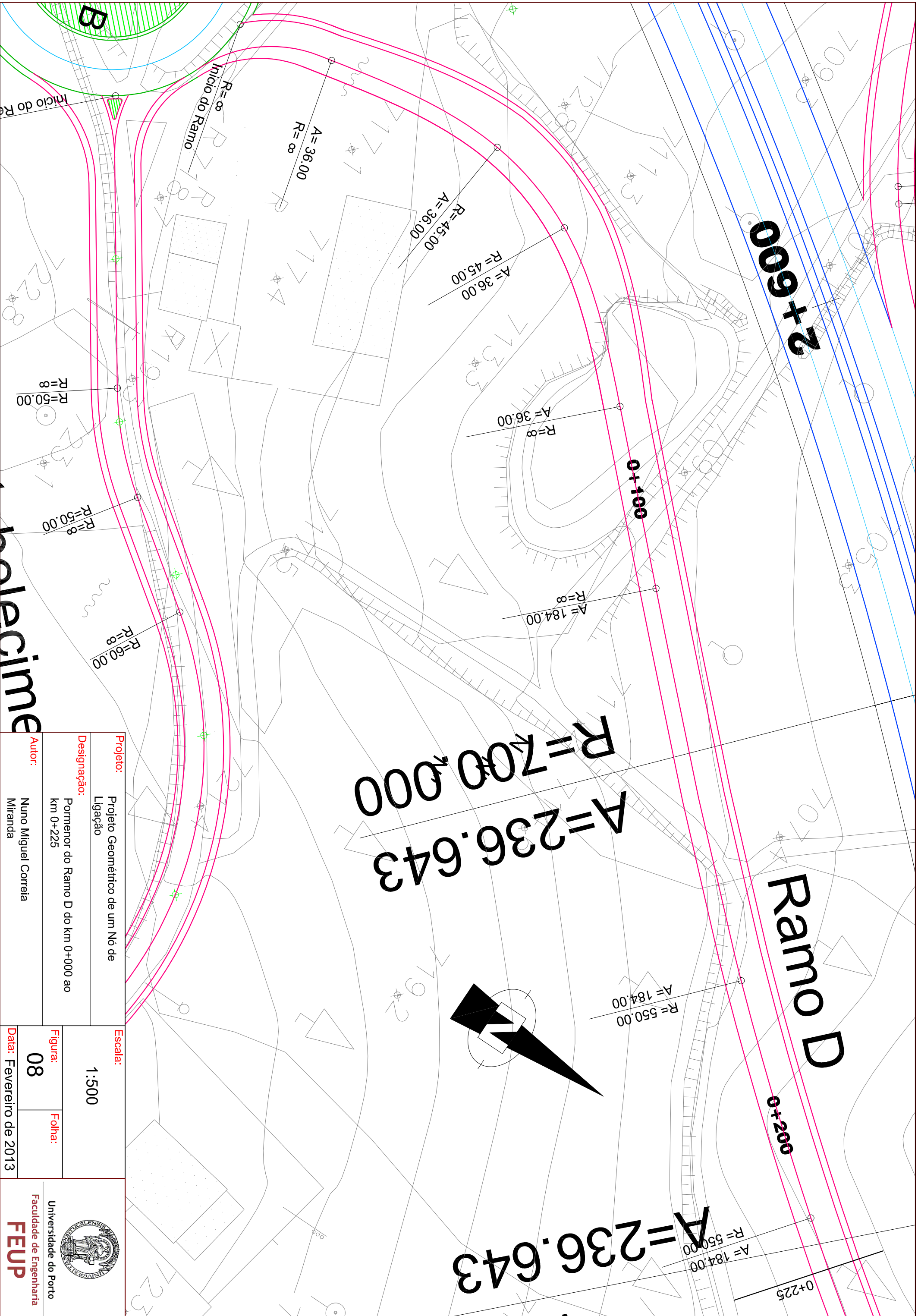
R=700.00
A=236.64

Restabelecimento C

Ramo C

Ramo B

Rotunda B



A=236.643
R=700.000

A=236.643
R=550.00
R=184.00

Ramo D

009+2

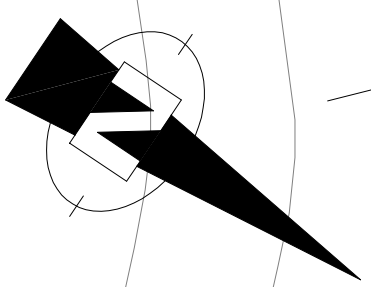
0+100


0+200

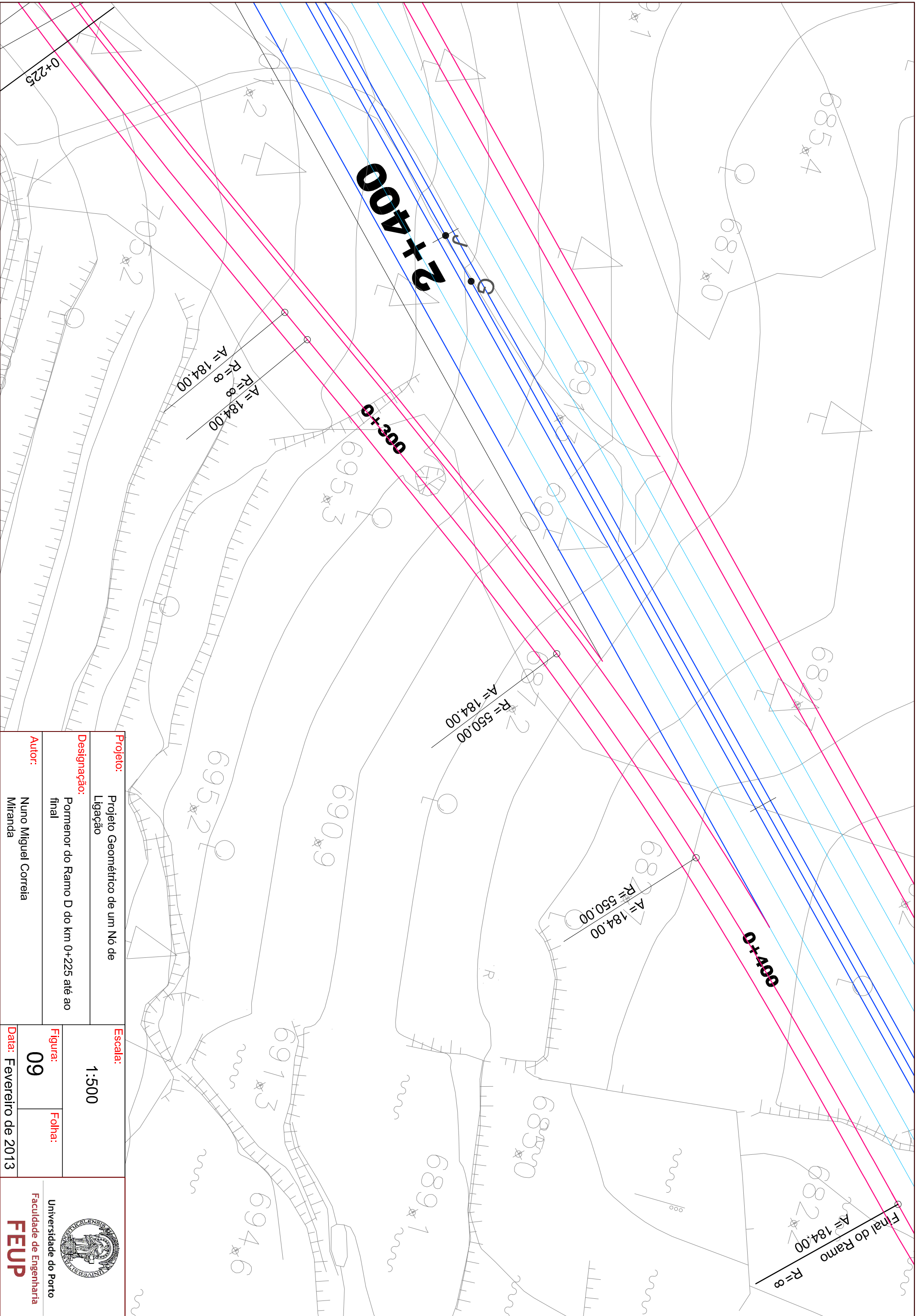
0+225

Início do Ramo

B



Projeto:	Projeto Geométrico de um Nó de Ligação	
Designação:	Pormenor do Ramo D do km 0+000 ao km 0+225	
Autor:	Nuno Miguel Correia Miranda	
Escala:	1:500	
Figura:	08	Folha:
Data:	Fevereiro de 2013	
 Universidade do Porto Faculdade de Engenharia FEUP		



Projeto: Projeto Geométrico de um Nó de Ligação

Ligação

Designação:

Pormento do Ramo D do km 0+225 até ao final

Autor:

Nuno Miguel Correia
Miranda

Escala:

1:500

Figura:

09

Folha:

Data: Fevereiro de 2013



Universidade do Porto
Faculdade de Engenharia

FEUP



C.V.nº 1	
km =	0+20.4113
Zv =	717.7345
Rv =	500
D =	27.50
B =	0.1893

C.V.nº 3	
km =	0+397.3717
Zv =	689.6746
Rv =	31426.82
D =	94.1098
B =	0.0352

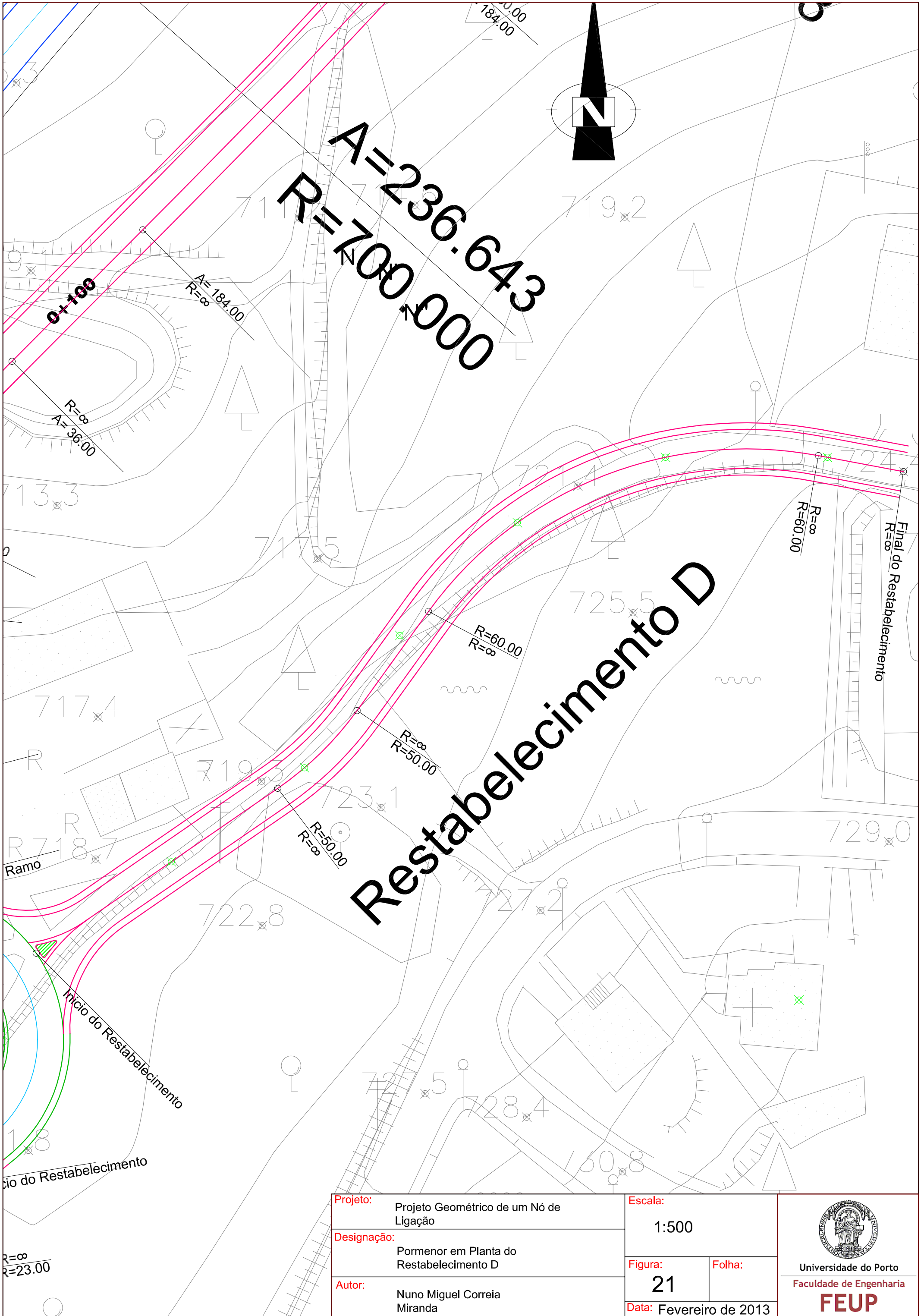
C.V.nº 2	
km =	0+333.8195
Zv =	692.6619
Rv =	-1000
D =	32.9946
B =	0.1360

QUILOMETRAGEM		0+000	0+200										0+400				0+444.75					
PERFIL LONGITUDINAL	COTAS DA RASANTE	718.2448	717.2838	715.3674	713.3674	711.3674	709.3674	707.3674	705.3674	703.3674	701.3674	699.3674	697.3674	695.3674	693.3969	691.9013	690.7165	689.5117	688.2871	687.3056		
	COTAS DO TERRENO	718.3	716.4	713.6	711.2	710.1	708.8	708.4	708.1	703.9	704.0	703.3	700.1	695.9	690.5	686.3	682.8	680.7	679.4	681.6		
ELEMENTOS DA RASANTE		i=-2.500% D=6.6613		R=500 D=27.5000		i=-8.000% D=283.1609										R=1000 D=33.9946		R=31426.81 D=94.1098				
PLANTA	SOBREELEVAÇÃO (%)	2.5%		6%		6%		0.0%		-5.5%		-5.5%		0.0%		0.0%		5.5%		5.5%		5.0%
	PONTOS NOTÁVEIS	0+015.0618	0+043.8618	0+060.0321	0+088.8321	0+117.2601	0+178.8164	0+216.7372	0+278.2935	0+283.7274	0+345.2738	0+383.1945										
	DIAGRAMA DE CURVAS	L=15.0618 R=∞	L=28.80 R=45.00 D=16.1703	L=28.80 R=∞	L=28.4280 R=∞	L=61.5564 R=∞ A=184.00	L=61.5564 R=550.00 D=37.9207	L=61.5564 R=∞ A=184.00	L=61.5564 R=∞ A=184.00	L=61.5564 R=∞ A=184.00	L=5.4239 R=∞	L=61.5564 R=550.00 D=37.9207	L=61.5564 R=∞ A=184.00	L=61.5564 R=∞ A=184.00								

Projeto: Projeto Geométrico de um Nó de Ligação
Designação: Perfil Longitudinal do Ramo D
Autor: Nuno Miguel Correia Miranda

Escala:
 H - 1:2000
 V - 1:200
Figura: 13
Folha:
Data: Fevereiro de 2013





Projeto:	Projeto Geométrico de um Nó de Ligação
Designação:	Pormenor em Planta do Restabelecimento D
Autor:	Nuno Miguel Correia Miranda

Escala:	1:500
Figura:	21
Folha:	
Data:	Fevereiro de 2013

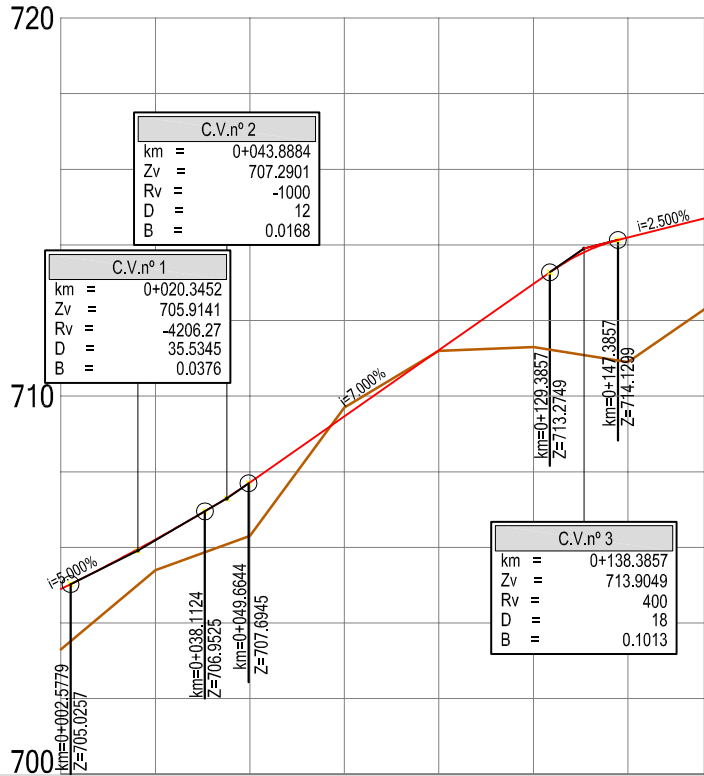


Universidade do Porto
Faculdade de Engenharia
FEUP

PRODUCED BY AN AUTODESK EDUCATIONAL PRODUCT

PRODUCED BY AN AUTODESK EDUCATIONAL PRODUCT

Ramo A



QUILOMETRAGEM		0+000		0+170.2698					
PERFIL LONGITUDINAL	COTAS DA RASANTE	704.8968	706.2066	707.7179	709.4679	711.2179	712.9679	714.1953	714.7020
	COTAS DO TERRENO	703.3	705.4	706.3	709.7	711.2	711.3	710.9	712.3
	ELEMENTOS DA RASANTE	i=5.0% R=4206.27 D=35.5345		R=-1000 D=12.00		i=7.000% D=79.6189		R=400 D=18.00	i=2.500% D=22.9865
PLANTA	SOBREELEVAÇÃO (%)	-0.5%	-1.5%	-0.5%	2.5%		tangente 1.3%		
	PONTOS NOTÁVEIS	0+003.7988	0+042.5091	0+039.8522	0+078.5624				
	DIAGRAMA DE CURVAS	L=3.7988 A=52.00	L=36.0533 A=52.00	R=75.00 D=2.6569	L=36.0533 A=52.00	L=91.7074	R=00		

Projeto: Projeto Geométrico de um Nó de Ligação

Designação: Perfil Longitudinal do Ramo A

Autor: Nuno Miguel Correia
Miranda

Escala:
H - 1:2000
V - 1:200

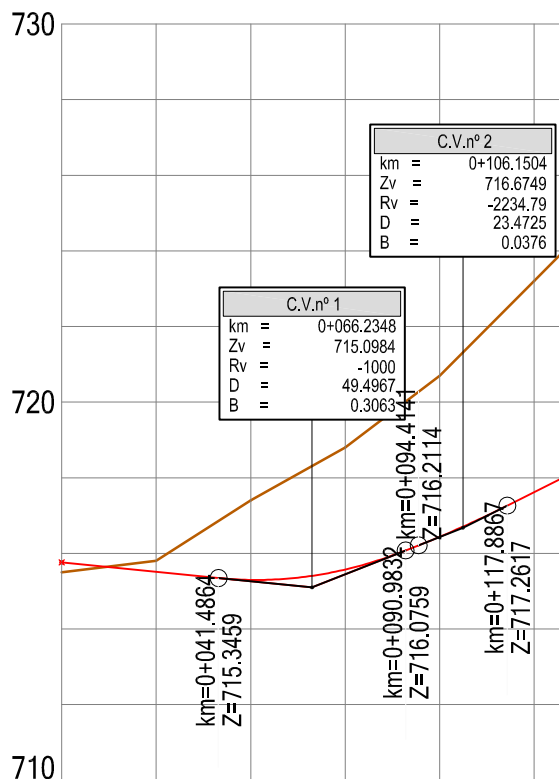
Figura: 10

Folha:

Data: Fevereiro de 2013



Ramo B



QUILOMETRAGEM		0+000		0+134.8945				
PERFIL LONGITUDINAL	COTAS DA RASANTE	715.7607	715.5107	715.2970	715.5723	716.4390	717.6174	718.1121
	COTAS DO TERRENO	715.5	715.8	717.4	718.8	720.7	723.2	724.2
	ELEMENTOS DA RASANTE	i = -1.000% D = 41.4864		R = -1000 D = 49.4967		R = -2234.79 D = 23.4725		i = 5.000% D = 17.0078
PLANTA	SOBREELEVAÇÃO (%)	-3.0%		4%		-0.5%		-0.5%
	PONTOS NOTÁVEIS	0+024.3526		0+060.4059		0+095.0424		0+134.0957
	DIAGRAMA DE CURVAS	L=24.3526 R=∞		L=36.0533 A=52.00		R=75.00 D=34.6364		L=3.7988 A=52.00

Projeto: Projeto Geométrico de um Nó de Ligação

Designação: Perfil Longitudinal do Ramo B

Autor: Nuno Miguel Correia
Miranda

Escala:
H - 1:2000
V - 1:200

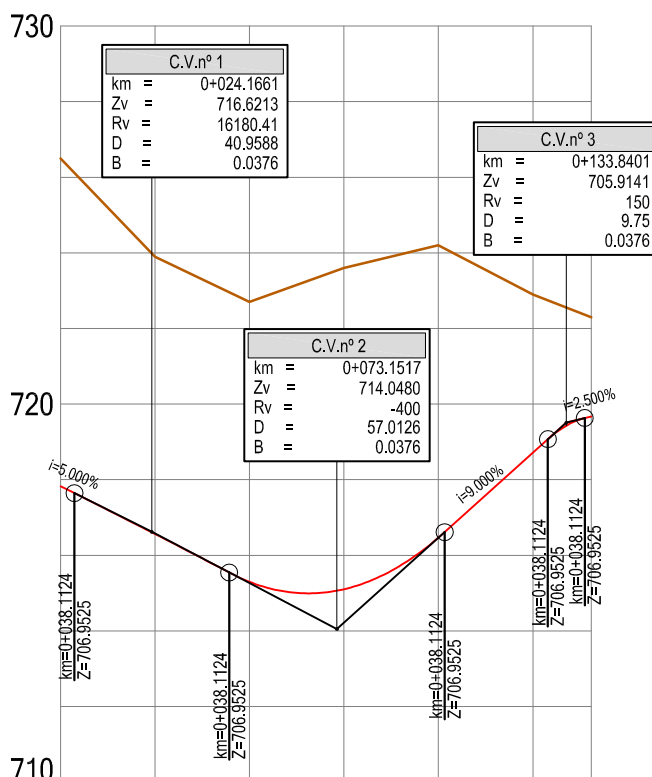
Figura: 11
Folha:

Data: Fevereiro de 2013



Universidade do Porto
Faculdade de Engenharia
FEUP

Ramo C



QUILOMETRAGEM		0+000		0+140.4415				
PERFIL LONGITUDINAL	COTAS DA RASANTE	717.8296	716.5656	715.3001	715.1027	716.4678	718.7144	719.6750
	COTAS DO TERRENO	726.5	723.9	722.7	723.6	724.2	722.9	722.3
	ELEMENTOS DA RASANTE	$d=3.6867$ $i=-5.000\%$	$R=16180.41$ $D=40.9588$	$R=-400$ $D=57.0126$	$i=9.000\%$ $D=27.3071$	$R=150.00$ $D=9.7500$	$i=2.500\%$	$i=-3.000\%$
PLANTA	SOBREELEVAÇÃO (%)	5.5%	3.0%	3.0%		2.5%		-3.0%
	PONTOS NOTÁVEIS		0+056.1670	0+042.7690		0+0104.1670		
	DIAGRAMA DE CURVAS	$L=42.7690$ $A=60.00$	$R=75.00$ $D=13.3980$	$L=48.00$ $A=60.00$		$L=36.2745$ $R=00$		

Projeto: Projeto Geométrico de um Nó de Ligação

Designação: Perfil Longitudinal do Ramo C

Autor: Nuno Miguel Correia
Miranda

Escala:
H - 1:2000
V - 1:200

Figura: 12

Folha:

Data: Fevereiro de 2013

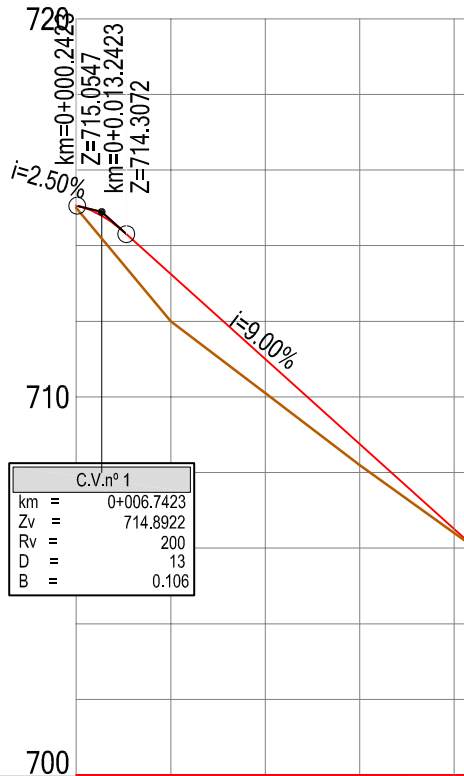


Universidade do Porto
Faculdade de Engenharia
FEUP

PRODUCED BY AN AUTODESK EDUCATIONAL PRODUCT

PRODUCED BY AN AUTODESK EDUCATIONAL PRODUCT

Restabelecimento A



PERFIL LONGITUDINAL		QUILOMETRAGEM	0+000				0+087.8467
	COTAS DA RASANTE		715.0608	713.2490	710.9990	708.7490	706.4990
	COTAS DO TERRENO		715.0	712.0	710.1	708.2	706.4
							706.0000

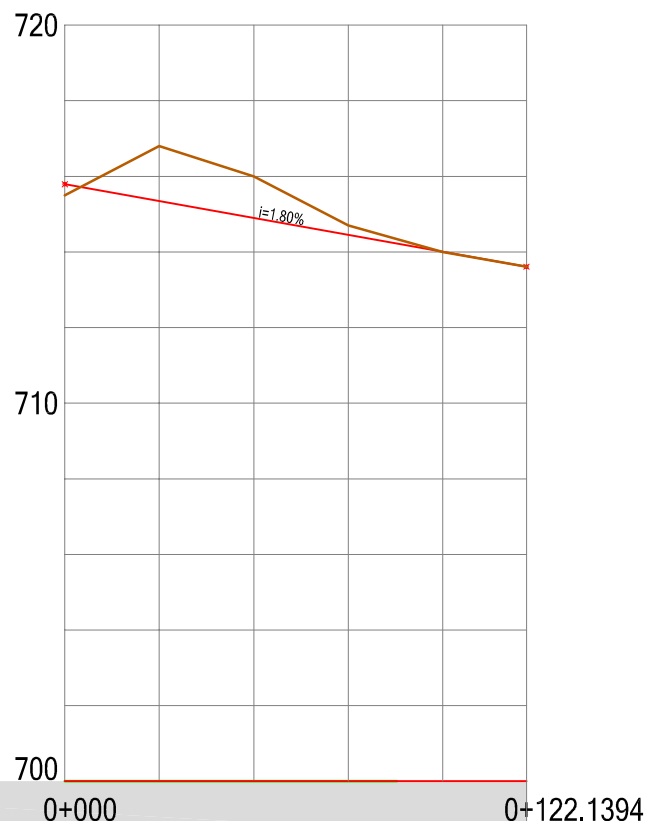
Projeto:	Projeto Geométrico de um Nó de Ligação
Designação:	Perfil Longitudinal do Restabelecimento A
Autor:	Nuno Miguel Correia Miranda

Escala:	
H - 1:2000	
V - 1:200	
Figura:	Folha:
14	
Data: Fevereiro de 2013	




Universidade do Porto
Faculdade de Engenharia
FEUP

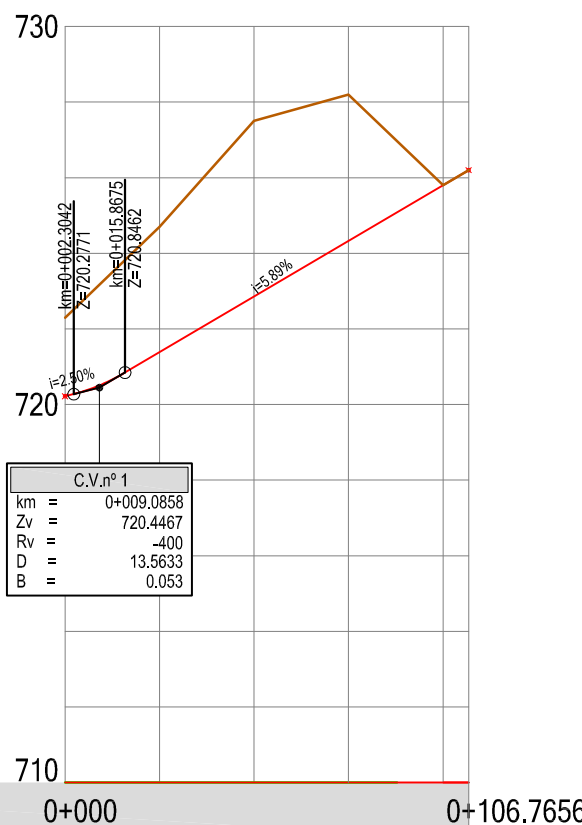
Restabelecimento B



QUILOMETRAGEM		0+000					0+122.1394
PERFIL LONGITUDINAL	COTAS DA RASANTE	715.7925	715.3437	714.8950	714.4462	713.9974	713.6000
	COTAS DO TERRENO	715.5	716.8	716.0	714.7	714.0	713.6


Projeto: Projeto Geométrico de um Nó de Ligação	Escala: H - 1:2000 V - 1:200	 Universidade do Porto Faculdade de Engenharia FEUP	
Designação: Perfil Longitudinal do Restabelecimento B	Figura: 15		Folha:
Autor: Nuno Miguel Correia Miranda	Data: Fevereiro de 2013		

Restabelecimento C

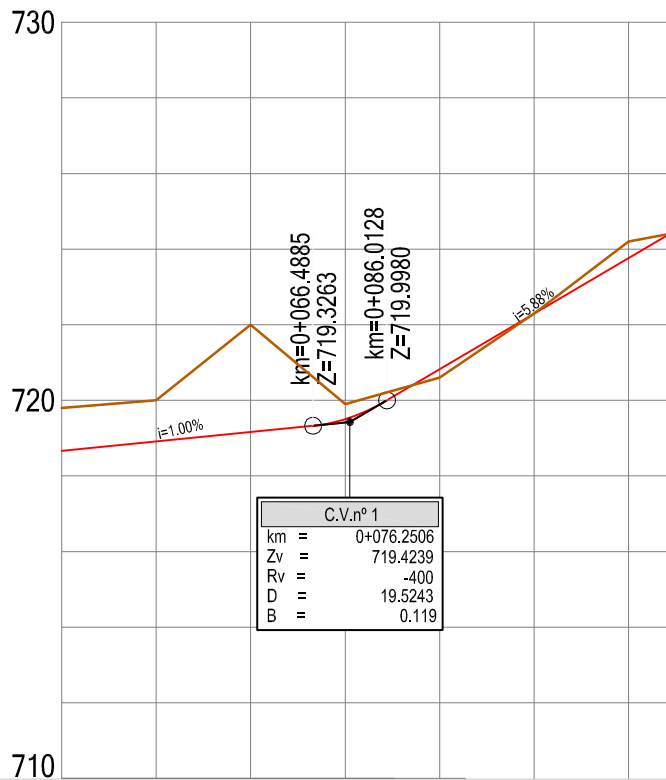


C.V.nº 1	
km =	0+009.0858
Zv =	720.4467
Rv =	-400
D =	13.5633
B =	0.053


		QUILOMETRAGEM		0+000		0+106.7656	
PERFIL LONGITUDINAL	COTAS DA RASANTE	720.2195	721.3841	722.8568	724.3296	725.8023	726.2000
	COTAS DO TERRENO	722.3	724.7	727.5	728.2	725.9	726.2

Projeto: Projeto Geométrico de um Nó de Ligação	Escala: H - 1:2000 V - 1:200	 Universidade do Porto Faculdade de Engenharia FEUP	
Designação: Perfil Longitudinal do Restabelecimento C	Figura: 16		Folha:
Autor: Nuno Miguel Correia Miranda	Data: Fevereiro de 2013		

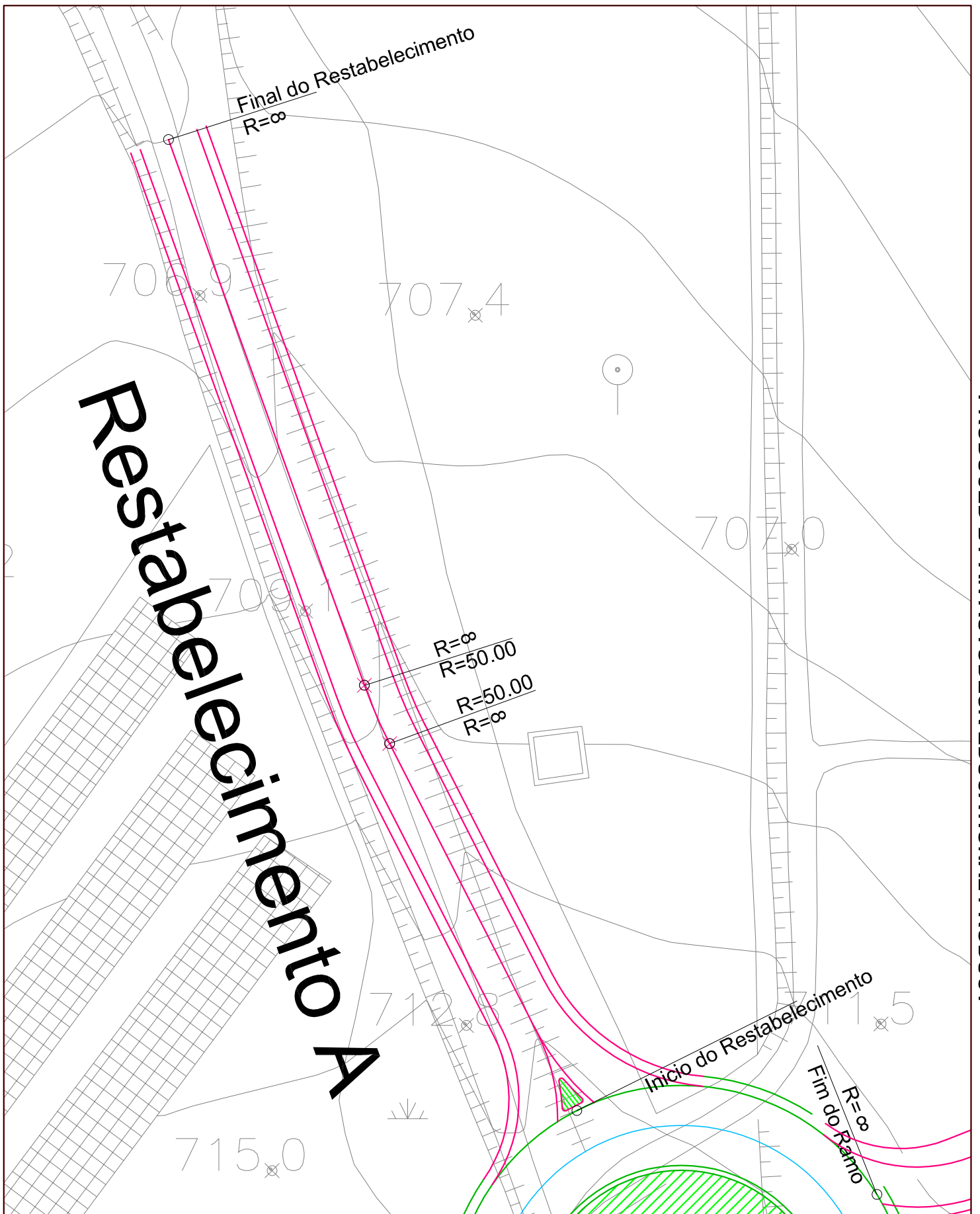
Restabelecimento D



PERFIL LONGITUDINAL		QUILOMETRAGEM	0+000						0+161.8627	
	COTAS DA RASANTE		718.6614	718.9114	719.1614	719.5020	720.8206	722.2909	723.7612	724.4000
	COTAS DO TERRENO		719.8	720.0	722.0	719.9	720.6	722.3	724.2	724.4

Projeto: Projeto Geométrico de um Nó de Ligação	Escala: H - 1:2000 V - 1:200		 Universidade do Porto Faculdade de Engenharia FEUP
	Designação: Perfil Longitudinal do Restabelecimento D	Figura: 17	
Autor: Nuno Miguel Correia Miranda	Data: Fevereiro de 2013		

Restabelecimento A



Projeto: Projeto Geométrico de um Nó de Ligação

Designação: Pormenor em Planta do Restabelecimento A

Autor: Nuno Miguel Correia
Miranda

Escala:
1:500

Figura:
18

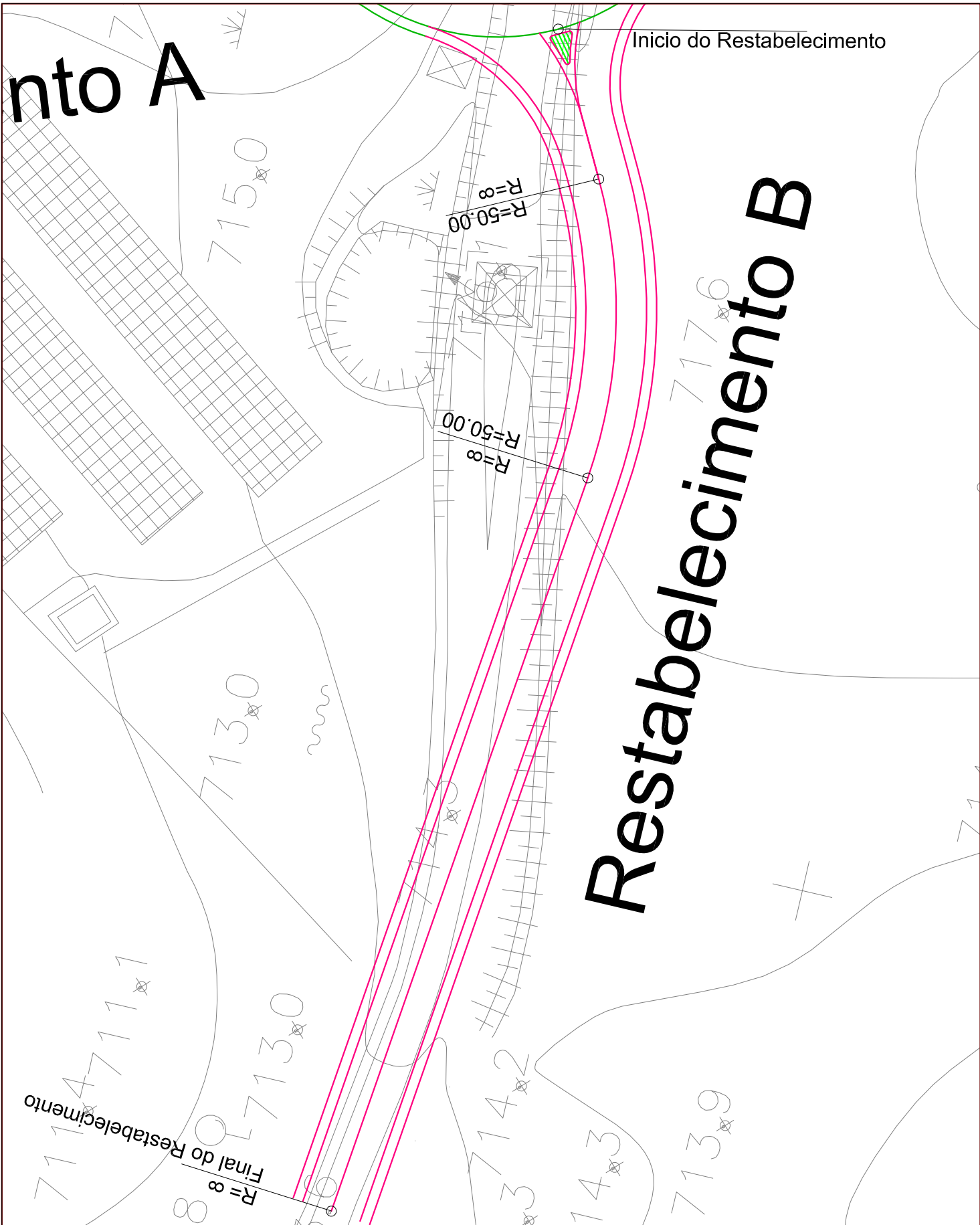
Folha:

Data: Fevereiro de 2013



Universidade do Porto
Faculdade de Engenharia

FEUP



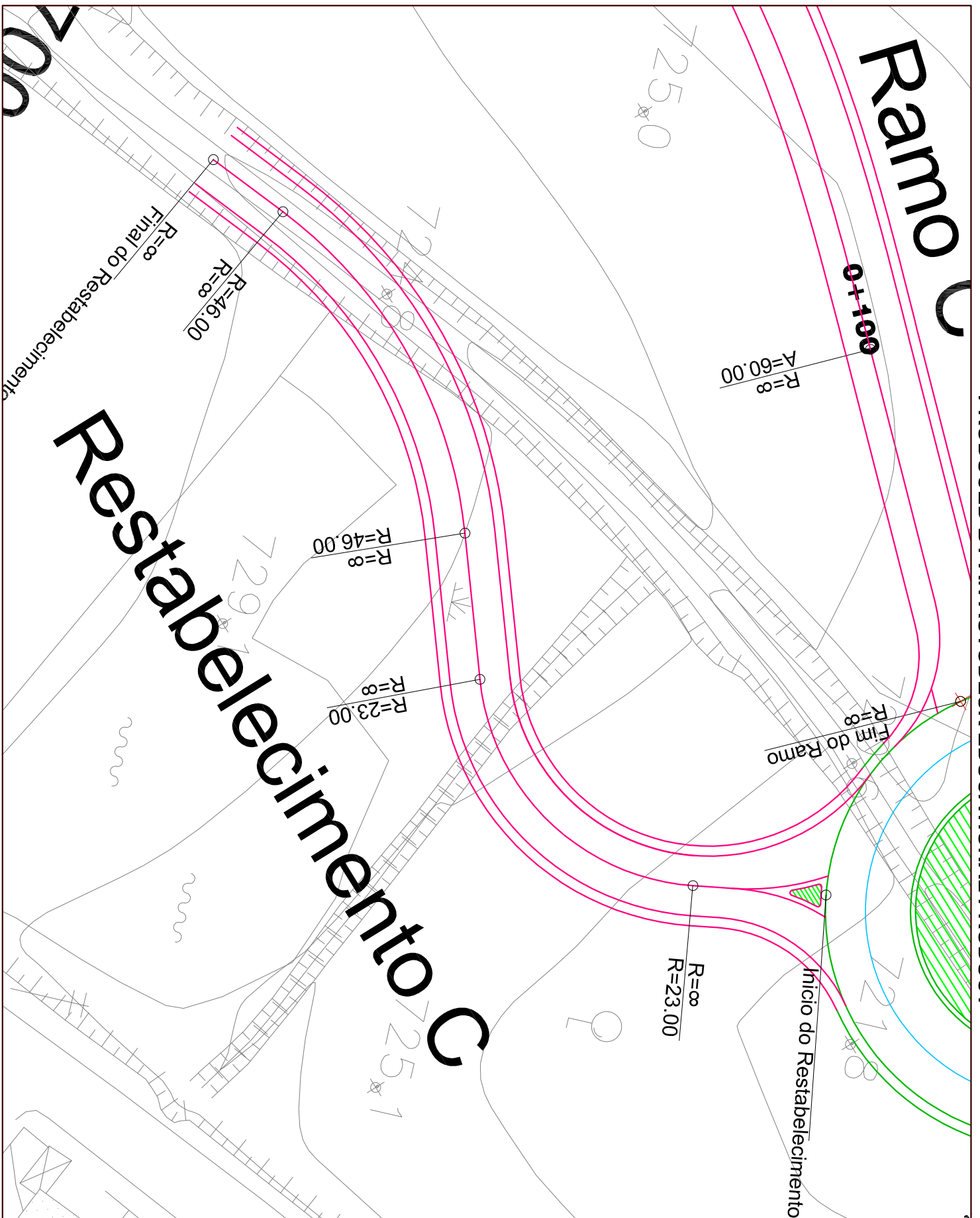
PRODUCED BY AN AUTODESK EDUCATIONAL PRODUCT

PRODUCED BY AN AUTODESK EDUCATIONAL PRODUCT

Projeto:	Projeto Geométrico de um Nó de Ligação	Escala:	1:500	
Designação:	Pormenor em Planta do Restabelecimento B	Figura:	19	Folha:
Autor:	Nuno Miguel Correia Miranda	Data:	Fevereiro de 2013	



Universidade do Porto
Faculdade de Engenharia
FEUP



Projeto: Projeto Geométrico de um Nó de Ligação

Designação: Pormenor em Planta do Restabelecimento C

Autor: Nuno Miguel Correia
Miranda

Escala:
1:500

Figura:
20

Folha:

Data: Fevereiro de 2013



Universidade do Porto
Faculdade de Engenharia

FEUP