

ESTUDO DA LOCALIZAÇÃO IDEAL DOS PONTOS DE CONTROLE DAS TERRAPLENAGENS PARA DIFERENTES PLATAFORMAS

RICARDO TAVEIRA LISBOA

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

SETEMBRO DE 2012

MESTRADO INTEGRADO EM ENGENHARIA CIVIL 2011/2012

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 - 2011/2012 - Departamento de Engenharia Civil, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Porto, Portugal, 2012.*

As opiniões e informações incluídas neste documento representam unicamente o ponto de vista do respectivo 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 electrónica fornecida pelo respectivo Autor.

AGRADECIMENTOS

À instituição que disponibilizou meios para a realização do estudo, assim como ao professor Adalberto França pela orientação e conhecimentos dados ao longo do semestre nas várias etapas da realização da tese.

Agradeço também o apoio dado pela família e amigos no decurso deste semestre.

RESUMO

Sabendo-se que a localização dos pontos de controle das terraplenagens não era um assunto muito explorado, foi proposta a procura da sua localização ideal para diferentes plataformas, com o intuito de economizar os custos nos materiais granulares que perfazem a camada de transição.

Tendo como base o método de um trabalho previamente realizado pelos professores Adalberto França e António Vasconcelos, aplicou-se o princípio desse método como base de investigação para novos métodos nesta dissertação.

Criaram-se novas soluções para estradas de 1 e 2 faixas, os métodos propostos, onde se explorou uma melhor posição dos pontos de controle das terraplenagens, conjugados com a possibilidade de aumentar as fronteiras drenantes da camada de transição.

Iniciou-se o trabalho pela explicação da razão pela qual existe a discrepância que origina a camada de enchimento, parte da camada de transição, cujo volume se pretende minimizar. Seguida da exposição teórica dos métodos criados e existentes para a definição da posição do ponto de controle.

Depois foi necessário deduzir as expressões que determinam as áreas dos perfis transversais ao longo da camada de transição, assim como as posições do ponto de controle respectivas.

Foi decidido determinar os valores das áreas para espaçamentos correspondentes a variações de 0,10% de inclinação transversal da superfície do pavimento (desde reta a curva circular), em todos os métodos, para que no passo seguinte, que diz respeito às determinações dos volumes da camada de transição, os mesmos fossem bastante próximos do seu valor real.

Por fim criou-se um cenário fictício com custos usuais de material granular e condutas, para se ter a noção de como os métodos propostos se comportam numa situação que possa ser representativa. Para ter a noção onde a sua utilização possa ser vantajosa.

Atingiram-se os objectivos iniciais de se criarem soluções que proporcionam a possibilidade de economizar custos nas camadas de transição à custa da melhor localização dos pontos de controle, contudo, para cada projecto será necessário rever os custos materiais granulares e condutas extraordinárias necessárias, refazendo os passos relativos ao penúltimo capítulo desta dissertação, para se determinar onde e quais os métodos mais vantajosos de aplicar.

PALAVRAS-CHAVE: Pontos de controle, terraplenagens, economizar, camada de transição, métodos propostos

ABSTRACT

Knowing that the place where the apex point of the earthworks is throughout the road wasn't a very explored subject, it was proposed the search of its ideal places considering different platforms. The objective is to save the filler (sand, gravel...) that occupies what will be called "the transition layer".

Using as basis a method previously created in a study done by professors Adalberto França and António Vasconcelos, it was applied the principle of that method in the investigation of new methods as showed in this thesis.

There were created new solutions to platforms with 1 or 2 tracks, designated the proposed methods, where it was explored a better localization for the apex points of the earthworks, combined with the possibility of increasing the drainage borders of the transition layer.

The study was started by explaining the reason why there is the discrepancy that originates the "filling layer", part of the transition layer, of which the volume needs to be minimized. Followed by the theoretic explanation of the created and existing methods to define the local of the apex point.

Therefore it was needed to deduct the mathematical equations that determine the cross-cut profile areas in the transition layer length, as well as the respective apex points positions.

It was decided to calculate the values of the areas, for spacing corresponding to 0,10% cross-cut inclination variations of the pavement surface (since the straight until the circular curve), in all methods, so that in the next step, which is about determining the volumes of the transition layer, the volumes would be rather close to their real value.

To end it all, it was made an example, where it was given prices to the fillers and drainage conducts, just to have the notion of how the proposed methods behave comparing with the other referred methods.

The main objectives of creating new solutions that may be helpful in reducing costs of the equipment associated to transition layer (and the layer itself), by improving the place where the apex point is located, were fulfilled. Notwithstanding, for each project it will be necessary to review the costs of the gravel, and extra conducts needed, redoing the steps related to the penultimate chapter of this thesis, to determine where and what are the best methods to apply.

KEYWORDS: Apex points, earthworks, economize, transition layer, proposed methods.

ÍNDICE GERAL

AGRADECIMENTOS	i
RESUMO	iii
ABSTRACT	v

1. INTRODUÇÃO 1

1.1. CONTEXTO.....	1
--------------------	---

1.2. OBJECTIVOS.....	2
----------------------	---

1.3. ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO	2
-------------------------------------	---

2. DRENAGEM 3

2.1. INTRODUÇÃO	3
-----------------------	---

2.2. DRENAGEM PELA SUPERFÍCIE DAS TERRAPLENAGENS	3
--	---

2.2.1. INTRODUÇÃO	3
-------------------------	---

2.2.2. PRÉ E PÓS CONSTRUÇÃO DO PAVIMENTO	3
--	---

2.2.3. PERCOLAÇÃO	4
-------------------------	---

2.2.4. LEI DE DARCY.....	4
--------------------------	---

2.2.5. COEFICIENTE DE PERMEABILIDADE.....	5
---	---

2.2.6. DETERMINAÇÃO DOS CAUDAIS ESCOADOS PARA DIFERENTES COEFICIENTES DE PERMEABILIDADE.....	7
--	---

3. PONTOS DE CONTROLE DAS TERRAPLENAGENS 9

3.1. INTRODUÇÃO	9
-----------------------	---

3.2. EM ESTRADAS COM UMA FAIXA DE RODAGEM	10
---	----

3.2.1. DEFINIÇÃO.....	10
-----------------------	----

3.2.2. MÉTODO CLÁSSICO	10
------------------------------	----

3.2.3. MÉTODOS PROPOSTOS	12
--------------------------------	----

3.2.3.1. Plataformas com duas fronteiras drenantes.....	13
---	----

3.2.3.2. Plataformas com três fronteiras drenantes	14
--	----

3.3. ESTRADAS COM DUAS FAIXAS DE RODAGEM E COM SEPARADOR CENTRAL	16
--	----

3.3.1. DEFINIÇÃO.....	16
-----------------------	----

3.3.2. MÉTODO CLÁSSICO.....	17
-----------------------------	----

3.3.3. MÉTODO DO PROFESSOR FRANÇA	18
---	----

3.3.4. MÉTODO PROPOSTO	21
------------------------------	----

3.4. PIQUETAGEM DOS PONTOS DE CONTROLE DAS TERRAPLENAGENS	23
---	----

4. DEDUÇÃO DAS SOLUÇÕES PROPOSTAS 25

4.1. SOLUÇÕES PROPOSTAS PARA ESTRADAS COM UMA FAIXA DE RODAGEM	25
4.1.1. INTRODUÇÃO	25
4.1.2. ESTRADAS DE 1 FAIXA DE RODAGEM COM 2 FRONTEIRAS DRENANTES	25
4.1.2.1. Dedução da formula geral da área	25
4.1.2.2. Distância “x”, do ponto de controle ao eixo da faixa de rodagem	26
4.1.2.3. Localização do ponto de controle em planta para o método proposto com 2 fronteiras drenantes	27
4.1.2.4. Valores das áreas dos perfis da camada de transição.....	28
4.1.3. ESTRADAS DE 1 FAIXA DE RODAGEM COM 3 FRONTEIRAS DRENANTES	29
4.1.3.1. Introdução	29
4.1.3.2. Perfil transversal da camada de transição sob as vias de intradorso	30
4.1.3.2.1. Dedução da formula geral da área do perfil transversal, “A1”, da camada de transição sob as vias de intradorso.....	30
4.1.3.2.2. Distância “x1”, do ponto de controle das terraplenagens ao eixo da faixa de rodagem	30
4.1.3.3. Perfil transversal da camada de transição sob as vias de extradorso	31
4.1.3.3.1. Dedução da formula geral da área do perfil transversal, “A2”, da camada de transição sob as vias de extradorso.....	31
4.1.3.3.2. Distância “x2”, do ponto de controle das terraplenagens ao eixo da faixa de rodagem	31
4.1.3.4. Localização dos pontos de controle em planta para o método proposto com 3 fronteiras drenantes	32
4.1.3.5. Valores da área dos perfis transversais da camada de transição.....	33
4.1.3.6. Compatibilização de cotas da superfície de terraplenagem entre vias de intradorso e extradorso ao longo do dreno central	35
4.1.3.6.1. Em alinhamento recto, excluindo zona de disfarce de sobrelevação	37
4.1.3.6.2. Em alinhamento recto, em zona de disfarce de sobrelevação	37
4.1.3.6.3. Em curva composta.....	37
4.1.3.7. Reajuste do valor da área	38
4.1.4. COMPARAÇÃO DOS VALORES DA ÁREA DOS PERFIS TRANSVERSAIS PARA TODOS OS MÉTODOS REFERIDOS PARA ESTRADAS DE 1 FAIXA DE RODAGEM.....	39
4.2. SOLUÇÃO PROPOSTA PARA ESTRADAS COM 2 FAIXAS DE RODAGEM	41
4.2.1. DRENAGEM SOB O EIXO DE CADA FAIXA DE RODAGEM	41
4.2.1.1. Introdução.....	41
4.2.1.2. Dedução da formula geral da área da camada de transição	41
4.2.1.2.1. Introdução.....	41

4.2.1.2.2. Fórmula geral das áreas $A1/A3$ e $A2/A4$ e respectivas localizações dos pontos de controle $x1/x3$ e $x2/x4$	42
4.2.1.2.3. Dedução das formulas gerais das áreas “A1” e “A3”	42
4.2.1.2.4. Localizações dos pontos de controle das terraplenagens - distâncias “x1” e “x3”	43
4.2.1.2.5. Dedução das formulas gerais das áreas “A2” e “A4”	44
4.2.1.2.6. Localizações dos pontos de controle das terraplenagens - distâncias “x2” e “x4”	44
4.2.1.3. Problema do ponto de controle poder tomar posição sob o separador central na faixa de intradorso ($x2 < 0$)	45
4.2.1.4. Localização dos pontos de controle de terraplenagens em planta para o método proposto para estradas de 2 faixas de rodagem.....	46
4.2.1.5. Valor es das áreas dos perfis transversais da camada de transição para o método proposto para estradas de 2 faixas de rodagem.....	48
4.2.1.6. Compatibilização de cotas no método proposto para estradas de 2 faixas de rodagem	51
4.2.6. COMPARAÇÃO DAS FUNÇÕES ÁREA PARA OS MÉTODOS REFERIDOS	61
5. DETERMINAÇÃO DOS VOLUMES DA CAMADA DE TRANSIÇÃO	65
5.1. INTRODUÇÃO	65
5.2. VOLUME DOS MÉTODOS ADMITIDOS PARA ESTRADAS COM 1 FAIXA DE RODAGEM	65
5.2.1. VOLUME DA CAMADA DE TRANSIÇÃO UTILIZANDO O MÉTODO CLÁSSICO PARA ESTRADAS DE 1 FAIXA DE RODAGEM.....	65
5.2.2. VOLUME DA CAMADA DE TRANSIÇÃO NO MÉTODO PROPOSTO COM 2 FRONTEIRAS DRENANTES PARA ESTRADAS DE 1 FAIXA DE RODAGEM.....	67
5.2.3. VOLUME DA CAMADA DE TRANSIÇÃO NO MÉTODO PROPOSTO COM 3 FRONTEIRAS DRENANTES PARA ESTRADAS DE 1 FAIXA DE RODAGEM.....	69
5.3. COMPARAÇÃO DOS VOLUMES DA CAMADA DE TRANSIÇÃO ENTRE OS MÉTODOS CONSIDERADOS PARA ESTRADAS DE 1 FAIXA DE RODAGEM	71
5.3.1. COMPARAÇÃO DOS MÉTODOS PROPOSTOS COM O MÉTODO CLÁSSICO	71
5.3.1.1. Comparação do volume da camada de transição do método proposto com 2 fronteiras drenantes com o método clássico.....	71
5.3.1.2. Comparação do volume da camada de transição do método proposto com 3 fronteiras drenantes com o método clássico.....	72
5.3.2. COMPARAÇÃO DO VOLUME DA CAMADA DE TRANSIÇÃO ENTRE OS 2 MÉTODOS PROPOSTOS	72
5.4. VOLUME DOS MÉTODOS ADMITIDOS PARA ESTRADAS COM 2 FAIXAS DE RODAGEM	75
5.4.1. DETERMINAÇÃO DO VOLUME DA CAMADA DE TRANSIÇÃO SEGUNDO O MÉTODO CLÁSSICO	75
5.4.2. DETERMINAÇÃO DO VOLUME DA CAMADA DE TRANSIÇÃO SEGUNDO O MÉTODO DO PROFESSOR FRANÇA.....	78
5.4.3. DETERMINAÇÃO DO VOLUME DA CAMADA DE TRANSIÇÃO SEGUNDO O MÉTODO DO PROPOSTO.....	81

5.4.4. COMPARAÇÃO DO VOLUME DA CAMADA DE TRANSIÇÃO ENTRE OS MÉTODOS CONSIDERADOS PARA ESTRADAS DE 2 FAIXAS DE RODAGEM	84
---	----

5.4.4.1. Comparação do volume da camada de transição dos métodos clássico com o proposto	84
--	----

5.4.4.2. Comparação do volume da camada de transição do método do professor França com o método proposto	87
--	----

6. DETERMINAÇÃO E COMPARAÇÃO DE CUSTOS APROXIMADOS RELACIONADOS COM OS MÉTODOS DESCRITOS	91
---	-----------

6.1. INTRODUÇÃO	91
------------------------------	-----------

6.2. DETERMINAÇÃO DO CUSTO APROXIMADO DOS DRENOS LONGITUDINAIS	91
---	-----------

6.2.1. INTRODUÇÃO	91
-------------------------	----

6.2.2. DETERMINAÇÃO DOS DIÂMETROS DE CONDUTA E CUSTOS ASSOCIADOS	92
--	----

6.3. DETERMINAÇÃO DOS CUSTOS APROXIMADOS DA CAMADA DE TRANSIÇÃO (INCLUINDO OS ELEMENTOS ASSOCIADOS AOS MÉTODOS PROPOSTOS COM MAIS DRENOS)	93
--	-----------

6.3.1. CUSTOS DA CAMADA DE TRANSIÇÃO MAIS DRENOS, NAS ESTRADAS COM 1 FAIXA DE RODAGEM	93
---	----

6.3.2. CUSTOS DA CAMADA DE TRANSIÇÃO MAIS DRENOS NAS ESTRADAS COM 2 FAIXAS DE RODAGEM	96
---	----

7. ANÁLISE DE RESULTADOS E CONCLUSÕES	103
--	------------

7.1. ANÁLISE E INTERPRETAÇÃO DOS RESULTADOS OBTIDOS	103
--	------------

7.2. CONCLUSÕES SOBRE O TEMA DE DISSERTAÇÃO	107
--	------------

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 2.1 – Experiência de Darcy [extraído de “Ground Water Resources of British Columbia”, Ministério do Ambiente].....	4
Figura 3.1 - Ponto de controle de terraplenagem	10
Figura 3.2 - Planta da estrada de uma 1 faixa de rodagem para o método clássico, com sobrelevação superior a 6%.....	11
Figura 3.3 – Perfil transversal tipo da camada de transição para estradas com 1 faixa de rodagem e 2 fronteiras drenantes em que “x” toma os valores correspondentes às posições fixas do método clássico.....	11
Figura 3.4 Planta tipo para sobrelevações iguais ou superiores a 6% no método proposto para estradas de 1 faixa de rodagem e 2 fronteiras drenantes	13
Figura 3.5 – Planta tipo para sobrelevações inferiores a 6% no método proposto para estradas de 1 faixa de rodagem e 2 fronteiras drenantes	13
Figura 3.6 – Perfil Transversal da camada de transição para o método proposto para estradas de 1 faixa de rodagem e 2 fronteiras drenantes, com “x” variável.....	14
Figura 3.7 – Planta tipo para sobrelevações iguais ou superiores a 6%, utilizando o método proposto com 3 fronteiras drenantes para estradas de 1 faixa de rodagem	15
Figura 3.8 – Planta tipo para sobrelevações inferiores a 6%, utilizando o método proposto com 3 fronteiras drenantes para estradas de 1 faixa de rodagem	15
Figura 3.9 – Perfil transversal da camada de transição utilizando o método proposto para estradas de 1 faixa de rodagem com 3 fronteiras drenantes.....	16
Figura 3.10 – Método Clássico com faixas separadas e dreno sob o separador central, planta (para $Se > 6\%$).....	17
Figura 3.11 – Planta para sobrelevações iguais ou superiores a 6%, utilizando o método do professor França para estradas com 2 faixas de rodagem e dreno sob o separador central	19
Figura 3.12 – Planta para sobrelevações inferiores a 6%, utilizando o método do professor França para estradas com 2 faixas de rodagem e dreno sob o separador central	19
Figura 3.13 – Perfil transversal tipo da camada de transição, representação de uma das duas semi-plataformas.....	20
Figura 3.14 – Planta tipo para sobrelevações iguais ou superiores a 6%, utilizando o método proposto para estradas de 2 faixas de rodagem com 5 fronteiras drenantes	22
Figura 3.15 – Planta tipo para sobrelevações inferiores a 6%, utilizando o método proposto para estradas de 2 faixas de rodagem com 5 fronteiras drenantes	22
Figura 3.16 – Perfil transversal tipo da camada de transição para o método proposto para estradas de 2 faixas de rodagem e 5 fronteiras drenantes – representação de uma das faixas	23
Figura 4.1 – Perfil transversal da camada de transição considerado para o método proposto para estradas de 1 faixa de rodagem – representa a área a minimizar	25

Figura 4.2 – Planta com a posição do ponto de controle no método proposto para estradas de 1 faixa de rodagem com 2 fronteiras drenantes – para $Se \geq 6\%$	27
Figura 4.3 – Planta com a posição do ponto de controle no método proposto para estradas de 1 faixa de rodagem com 2 fronteiras drenantes – para $Se < 6\%$	27
Figura 4.4 – Perfil transversal da camada de transição, separação pelo eixo da faixa de rodagem nas áreas A1 e A2.	29
Figura 4.5 – Perfil transversal da camada de transição no método proposto com 3 fronteiras drenantes na semi-plataforma de intradorso	30
Figura 4.6 – Perfil transversal da camada de transição no método proposto com 3 fronteiras drenantes na semi-plataforma de extradorso	31
Figura 4.7 – Planta com a posição do ponto de controle ao longo das zonas da estrada consideradas para o método proposto com 3 fronteiras drenantes, $Se > 6\%$	33
Figura 4.8 – Planta com a posição do ponto de controle ao longo das zonas da estrada consideradas, para o método proposto com 3 fronteiras drenantes, $Se < 6\%$	33
Figura 4.9 – Perfil transversal da camada de transição da estrada com 3 fronteiras drenantes e representação dos pontos relevantes	35
Figura 4.10 – Corte Transversal da plataforma da estrada, representação do perfil transversal da camada de transição para o método proposto para estradas de 2 faixas de rodagem	41
Figura 4.11 – Perfil Transversal da camada de transição associada à semi-plataforma tipo utilizada para a determinação do método proposto para estradas de 2 faixas de rodagem	42
Figura 4.12 – Perfil transversal da área A2 da camada de transição, localizada sob a semi-plataforma interior	46
Figura 4.13 – Planta com a posição dos pontos de controle das terraplenagens ao longo da estrada de 2 faixas de rodagem, para $ Se > 6\%$	47
Figura 4.14 – Planta com a posição dos pontos de controle das terraplenagens ao longo da estrada de 2 faixas de rodagem, para $Se < 6\%$	48
Figura 4.15 – Perfil transversal da camada de transição da plataforma de estradas com 2 faixas de rodagem com referência dos vértices da camada de transição e das variáveis alteradas para compatibilização de cotas	52

ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 2.1 – Permeabilidade de materiais granulares e solos	6
Tabela 2.2 – Permeabilidade de tipos de solo	7
Tabela 2.3 – Caudais escoados pela superfície de terraplenagens	8
Tabela 4.1 – Valores da inclinação da faixa de intradorso, $i1$, para os quais a posição do ponto de controle, $x2$, é igual a zero	48
Tabela 5.1 – Valores dos volumes (m^3/km) da camada de transição para 1 faixa com o método clássico em alinhamento recto	65
Tabela 5.2 - Valores dos volumes (m^3/km) da camada de transição para 1 faixa com o método proposto para 2 fronteiras drenantes	67
Tabela 5.3 - Valores dos volumes (m^3/km) da camada de transição para estradas de 1 faixa de rodagem utilizando o método proposto para 3 fronteiras drenantes	69
Tabela 5.4 – Relação dos volumes (%) da camada de transição entre o método clássico e o método proposto de 2 fronteiras drenantes, para 2 vias e 4 vias	71
Tabela 5.5 - Relação dos volumes (%) da camada de transição entre o método clássico e o método proposto de 3 fronteiras drenantes, para 2 vias e 4 vias.	72
Tabela 5.6 - Relação dos volumes (%) da camada de transição entre o método proposto de 2 fronteiras drenantes e o método proposto de 2 fronteiras drenantes, para 2 vias e 4 vias.	74
Tabela 5.7 - Valores dos volumes (m^3/km) da camada de transição para estradas com 2 faixas de rodagem no método clássico	75
Tabela 5.8 - Valores dos volumes (m^3/km) da camada de transição para estradas com 2 faixas de rodagem no método do professor França	78
Tabela 5.9 - Valores dos volumes (m^3/km) da camada de transição para estradas com 2 faixas de rodagem no método proposto	81
Tabela 5.10 – Relações percentuais dos volumes da camada de transição em alinhamento recto, entre os métodos proposto e clássico para estradas de 2 faixas de rodagem	85
Tabela 5.11 – Relação entre os volumes da camada de transição para alinhamento recto, dos métodos proposto e do professor França, em estradas de 2 faixas de rodagem	87
Tabela 6.1 – Custos em €/m de desenvolvimento de estrada, em alinhamento recto, para os métodos referidos para estradas de 1 faixa de rodagem	93
Tabela 6.2 – Custos em €/m da camada de transição mais drenos, em alinhamento recto para estradas com 2 faixas de rodagem	97

ÍNDICE DE GRÁFICOS

Gráfico 4.1 – Evolução aproximada da área dos perfis transversais da camada de transição no método proposto com 2 fronteiras drenantes ao longo das diferentes componentes da estrada em estudo para 2 vias.	28
Gráfico 4.2 – Evolução aproximada da área dos perfis transversais da camada de transição no método proposto com 2 fronteiras drenantes, ao longo das diferentes componentes da estrada em estudo para 4 vias.	29
Gráfico 4.3 – Valores da área do perfil transversal da camada de transição da estrada com 2 vias e 3 fronteiras drenantes.	34
Gráfico 4.4 – Valores da área do perfil transversal da camada de transição da estrada com 4 vias e 3 fronteiras drenantes.	34
Gráfico 4.5 – Alteração da inclinação transversal da superfície de terraplenagens.....	38
Gráfico 4.6 – Área dos perfis transversais da camada de transição após compatibilização de cotas em estradas com 2 vias	39
Gráfico 4.7 – Área dos perfis transversais da camada de transição após compatibilização de cotas em estradas com 4 vias	39
Gráfico 4.8 – Comparação das áreas dos perfis transversais da camada de transição para os métodos referidos para estradas de 2 vias	40
Gráfico 4.9 – Comparação das áreas dos perfis transversais da camada de transição para dos métodos referidos para estradas de 4 vias	40
Gráfico 4.10 – Áreas dos perfis transversais da camada de transição da semi-plataforma de intradorso com 2 ou 3 vias, para o método proposto.....	49
Gráfico 4.11 – Áreas dos perfis transversais da camada de transição da semi-plataforma de extradorso com 2 ou 3 vias, para o método proposto.....	50
Gráfico 4.12 – Área dos perfis transversais da camada de transição ao longo da estrada com 2+2 vias e Se=7%.....	51
Gráfico 4.13 - Área dos perfis transversais da camada de transição ao longo da estrada com 3+3 vias e Se = 7%.....	51
Gráfico 4.14 – Variação do módulo da inclinação j1 ao longo de estradas de 2+2 vias para compatibilizar cotas utilizando o método proposto	54
Gráfico 4.15 – Variação do módulo da inclinação j1 ao longo de estradas de 3+3 vias para compatibilizar cotas utilizando o método proposto	55
Gráfico 4.16 – Variação do módulo da inclinação j4 ao longo de estradas de 2+2 vias para compatibilizar cotas utilizando o método proposto	56
Gráfico 4.17 – Variação do módulo da inclinação j4 ao longo de estradas de 3+3 vias para compatibilizar cotas utilizando o método proposto	56
Gráfico 4.18 – Variação do módulo da inclinação j3 ao longo de estradas de 2+2 vias para compatibilizar cotas utilizando o método proposto	57

Gráfico 4.19 – Variação do módulo da inclinação j_3 ao longo de estradas de 3x3 vias para compatibilizar cotas utilizando o método proposto	58
Gráfico 4.20 – Área dos perfis transversais da camada de transição na semi-plataforma em intradorso para o alinhamento recto na zona de L_d	59
Gráfico 4.21 – Área dos perfis transversais da camada de transição, na semi-plataforma em intradorso, para curva no método proposto para estradas com 2 faixas de rodagem	59
Gráfico 4.22 – Área dos perfis transversais da camada de transição, na semi-plataforma em extradorso, ao longo de qualquer componente do traçado, no método proposto para estradas com 2 faixas de rodagem	60
Gráfico 4.23 – Áreas dos perfis transversais da camada de transição da estrada para 2+2 vias com $Se=7\%$ no método proposto para estradas com 2 faixas de rodagem	60
Gráfico 4.24 – Áreas dos perfis transversais da da camada de transição da estrada para 3+3 vias com $Se=7\%$ no método proposto para estradas com 2 faixas de rodagem	61
Gráfico 4.25 – Comparação das Áreas dos perfis transversais da camada de transição nos 3 métodos considerados para a semi-plataforma de intradorso.	62
Gráfico 4.26 - Comparação das áreas dos perfis transversais da camada de transição nos 3 métodos considerados para a semi-plataforma de extradorso	62
Gráfico 4.27 - Áreas perfis transversais da camada de transição dos métodos proposto, clássico e do professor França para estradas de 2 faixas de rodagem com 2x2 vias com $Se=7\%$	63
Gráfico 4.28 - Áreas perfis transversais da camada de transição dos métodos proposto, clássico e do professor França para estradas de 2 faixas de rodagem com 3x3 vias com $Se=7\%$	63
Gráfico 5.1 – Volume [m^3/km] da camada de transição, em clotóide e curva circular, para uma dada sobreelevação, para estradas de 1 faixa de rodagem e 2 vias – Método Clássico	66
Gráfico 5.2 – Volume [m^3/km] da camada de transição, em clotóide e curva circular, para uma dada sobreelevação, para estradas de 1 faixa de rodagem e 4 vias no Método Clássico	66
Gráfico 5.3 - Volume [m^3/km] da camada de transição, em clotóide e curva circular, para uma dada sobreelevação, para estradas de 1 faixa de rodagem e 2 vias no Método Proposto para 2 fronteiras drenantes.	68
Gráfico 5.4 – Volume [m^3/km] da camada de transição, em clotóide e curva circular, para uma dada sobreelevação, para estradas de 1 faixa de rodagem e 4 vias no Método Proposto para 2 fronteiras drenantes.	68
Gráfico 5.5 – Volume [m^3/km] da camada de transição, em clotóide e curva circular, para uma dada sobreelevação, para estradas de 1 faixa de rodagem com 2 vias no Método Proposto para 3 fronteiras drenantes.	69
Gráfico 5.6 – Volume [m^3/km] da camada de transição, em clotóide e curva circular, para uma dada sobreelevação, para estradas de 1 faixa de rodagem com 4 vias no Método Proposto para 3 fronteiras drenantes.	70
Gráfico 5.7 – Relação percentual dos volumes do método proposto para 2 fronteiras drenantes com o método clássico, para estradas de 1 faixa e 2 vias, em curva, em função da sobreelevação.	71

Gráfico 5.8 – Relação percentual dos volumes do método proposto para 2 fronteiras drenantes com o método clássico, para estradas de 1 faixa e 4 vias, em curva, em função da sobrelevação.	72
Gráfico 5.9 – Relação percentual dos volumes do método proposto para 3 fronteiras drenantes com o método clássico, para estradas de 1 faixa e 2 vias, em curva, em função da sobrelevação.	73
Gráfico 5.10 – Relação percentual dos volumes do método proposto para 3 fronteiras drenantes com o método clássico, para estradas de 1 faixa e 2 vias, em curva, em função da sobrelevação.	73
Gráfico 5.11 – Relação percentual dos volumes do método proposto para 2 fronteiras drenantes com o método proposto para 3 fronteiras drenantes, para estradas de 1 faixa e 2 vias, em curva, em função da sobrelevação.	74
Gráfico 5.12 – Relação percentual dos volumes do método proposto para 2 fronteiras drenantes com o método proposto para 3 fronteiras drenantes, para estradas de 1 faixa e 4 vias, em curva, em função da sobrelevação.	74
Gráfico 5.13 – Volume da camada de transição sob a semi-plataforma de intradorso para estradas de 2 faixas de rodagem e 2 vias por faixa, no método clássico para determinada sobrelevação.	76
Gráfico 5.14 – Volume da camada de transição sob a semi-plataforma de intradorso para estradas de 2 faixas de rodagem e 3 vias por faixa, no método clássico para determinada sobrelevação.	76
Gráfico 5.15 – Volume da camada de transição sob a semi-plataforma de extradorso para estradas de 2 faixas de rodagem e 2 vias por faixa, no método clássico para determinada sobrelevação.	77
Gráfico 5.16 – Volume da camada de transição sob a semi-plataforma de extradorso para estradas de 2 faixas de rodagem e 3 vias por faixa, no método clássico para determinada sobrelevação.	77
Gráfico 5.17 – Volume da camada de transição sob a semi-plataforma de intradorso para estradas de 2 faixas de rodagem e 2 vias por faixa, no método do professor França para determinada sobrelevação.	79
Gráfico 5.18 – Volume da camada de transição sob a semi-plataforma de intradorso para estradas de 2 faixas de rodagem e 3 vias por faixa, no método do professor França para determinada sobrelevação.	79
Gráfico 5.19 – Volume da camada de transição sob a semi-plataforma de extradorso para estradas de 2 faixas de rodagem e 2 vias por faixa, no método do professor França para determinada sobrelevação.	80
Gráfico 5.20 – Volume da camada de transição sob a semi-plataforma de extradorso para estradas de 2 faixas de rodagem e 3 vias por faixa, no método do professor França para determinada sobrelevação.	80
Gráfico 5.21 – Volume da camada de transição sob a semi-plataforma de intradorso para estradas de 2 faixas de rodagem e 2 vias por faixa, no método do proposto para determinada sobrelevação.	82
Gráfico 5.22 – Volume da camada de transição sob a semi-plataforma de intradorso para estradas de 2 faixas de rodagem e 3 vias por faixa, no método do professor proposto para determinada sobrelevação.	82
Gráfico 5.23 – Volume da camada de transição sob a semi-plataforma de extradorso para estradas de 2 faixas de rodagem e 2 vias por faixa, no método proposto para determinada sobrelevação.	83
Gráfico 5.24 – Volume da camada de transição sob a semi-plataforma de extradorso para estradas de 2 faixas de rodagem e 3 vias por faixa, no método proposto para determinada sobrelevação.	83

Gráfico 5.25 – Proporção do volume da camada de transição dos métodos proposto em função do clássico em curva, para estradas de 2 faixas de rodagem e 2 vias por faixa na semi-plataforma de intradorso para determinada sobrelevação.	85
Gráfico 5.26 - Proporção do volume da camada de transição dos métodos proposto em função do clássico em curva, para estradas de 2 faixas de rodagem e 3 vias por faixa na semi-plataforma de intradorso para determinada sobrelevação.	86
Gráfico 5.27 - Proporção do volume da camada de transição dos métodos proposto em função do clássico em curva, para estradas de 2 faixas de rodagem e 2 vias por faixa na semi-plataforma de extradorso para determinada sobrelevação.	86
Gráfico 5.28 - Proporção do volume da camada de transição dos métodos proposto em função do clássico em curva, para estradas de 2 faixas de rodagem e 2 vias por faixa na semi-plataforma de extradorso para determinada sobrelevação.	87
Gráfico 5.29 - Proporção do volume da camada de transição dos métodos proposto em função do professor França em curva, para estradas de 2 faixas de rodagem e 2 vias por faixa na semi-plataforma de intradorso para determinada sobrelevação.	88
Gráfico 5.30 - Proporção do volume da camada de transição dos métodos proposto em função do professor França em curva, para estradas de 2 faixas de rodagem e 3 vias por faixa na semi-plataforma de intradorso para determinada sobrelevação.	88
Gráfico 5.31 - Proporção do volume da camada de transição dos métodos proposto em função do professor França em curva, para estradas de 2 faixas de rodagem e 2 vias por faixa na semi-plataforma de extradorso para determinada sobrelevação.	89
Gráfico 5.32 - Proporção do volume da camada de transição dos métodos proposto em função do professor França em curva, para estradas de 2 faixas de rodagem e 3 vias por faixa na semi-plataforma de extradorso para determinada sobrelevação.	89
Gráfico 6.1 – Custos, em euros por metro de estrada, da camada de transição para cada um dos métodos referidos para estradas de 1 faixa de rodagem, o custo do método proposto 1 já inclui o custo do dreno.	94
Gráfico 6.2 - Custos, em euros por metro de estrada, da camada de transição para cada um dos métodos referidos para estradas de 1 faixa de rodagem, o custo do método proposto 1 já inclui o custo do dreno.	95
Gráfico 6.3 – Custos das camadas de transição dos métodos referidos, incluindo o custo dos drenos, no caso do método proposto, na semi-plataforma interior, para estradas de 2 faixas de rodagem e 2+2 vias.	97
Gráfico 6.4 – Custos das camadas de transição dos métodos referidos, incluindo o custo dos drenos, no caso do método proposto, na semi-plataforma interior, para estradas de 2 faixas de rodagem e 3+3 vias.	98
Gráfico 6.5 – Custos das camadas de transição dos métodos referidos, incluindo o custo dos drenos, no caso do método proposto, na semi-plataforma exterior, para estradas de 2 faixas de rodagem e 3+3 vias	98
Gráfico 6.6 – Custos das camadas de transição dos métodos referidos, incluindo o custo dos drenos, no caso do método proposto, na semi-plataforma exterior, para estradas de 2 faixas de rodagem e 3+3 vias	99

SÍMBOLOS E ABREVIATURAS

Geral:

JAÉ – Junta Autónoma de Estradas

ST – Superfície das terraplenagens

Se [] – Sobreelevação

AR – Alinhamento recto

e [m] – Espessura da camada de transição

i [] – Inclinação transversal da faixa de rodagem

j [] – inclinação transversal da superfície da terraplenagem

EP – Estradas de Portugal

Comprimento/zona de Ld – Comprimento/zona de disfarce de sobreelevação

l [m] – Largura da faixa de rodagem + bermas

x [m] – Distância do ponto de controle das terraplenagens ao eixo da estrada

A [m²] – Área do perfil transversal da camada de transição

γ [] – Valor Absoluto da inclinação transversal da superfície de terraplenagens

L [m] – Desenvolvimento da clotóide

Δi1 [%] – Variação da inclinação da faixa de intradorso

Δi2 [%] – Variação da inclinação da faixa de extradorso

Específica do Capítulo 2:

Q_{in} [m³/s] – Entrada do caudal a ser percolado

Q_{out} [m³/s] – Saída do caudal após percolação

Cross Section A [m²] – Secção Transversal “A”

Δl [m] – Comprimento a percorrer pela água

h_f [m] – Carga hidráulica no fim da percolação

h_i [m] – Carga hidráulica antes da percolação

Δh [m] – Perda de carga

Q [m³/s] – Caudal que atravessa por percolação o maciço terroso

k [m/s] – Coeficiente de permeabilidade do solo

i [] – Gradiente hidráulico

S [m²] – Área da secção transversal por onde se processa o fluxo

Δh [m] - Perda de carga entre os pontos final e inicial

Δl [m] – Distância percorrida entre os pontos final e inicial

C1 – Valor variável, mas admitido muitas vezes um valor médio de 10000 (Lambe & Whitman, 1979).

D10 [m] – Diâmetro do agregado correspondente ao percentil 10% de passados num peneiro (diâmetro efectivo).

e [] – Índice de vazios

D10 [m] – Diâmetro do agregado correspondente ao percentil 10% de passados num peneiro (diâmetro efectivo).

C1 [] – Factor de forma;

Cf [] – Factor de forma;

D10 [m] – Diâmetro efectivo das partículas;

K0 [m/s] – Factor de forma dos poros;

K1[m/s] – Factor relacionado com a porosidade;

Ss [m²] – Superfície específica por unidade de volume;

n [] – Porosidade;

η [m²/s] – Viscosidade dinâmica da água.

Específica do Capítulo 3:

- Simbologia específica para estradas de 1 faixa de rodagem:

i1 [] – Inclinação transversal da superfície do pavimento num dos sentidos

i2 [] – Inclinação transversal da superfície do pavimento no outro sentido

x1 [m] – Distância do ponto de controle localizado sob as vias de intradorso ao eixo da faixa de rodagem

x2 [m] – Distância do ponto de controle localizado sob as vias de extradorso ao eixo da faixa de rodagem

- Simbologia específica para estradas de 2 faixas de rodagem:

A1 [m²] – Área do perfil transversal da camada de transição, sob a semi-plataforma de intradorso

A2 [m²] – Área do perfil transversal da camada de transição, sob a semi-plataforma de extradorso

i1[] – Inclinação transversal da faixa de intradorso

i2[] – Inclinação transversal da faixa de extradorso

d [m] – Largura do separador central

b[m] – Largura da berma exterior

bi[m] – Largura da berma interior

x1 [m] – Distância do ponto de controle ao limite do separador central, na semi-plataforma interior

x2 [m] – Distância do ponto de controle ao limite do separador central, na semi-plataforma exterior

x_i [m] – distância do ponto de controle “i” ao referencial respectivo.

A [m²] –Área do perfil transversal da camada de transição da semi-plataforma da estrada

Específica do Capítulo 4:

- Simbologia específica para estradas de 2 faixas de rodagem:

A_1 [m²] - Área do perfil transversal da camada de transição, desde do eixo da faixa de intradorso até ao limite interior da berma exterior da semi-plataforma de intradorso.

A_2 [m²] - Área do perfil transversal da camada de transição desde o eixo da faixa de intradorso até ao eixo do separador central.

A_3 [m²] - Área do perfil transversal da camada de transição desde o eixo da faixa de extradorso até ao limite exterior da berma exterior da semi-plataforma de extradorso.

A_4 [m²] - Área do perfil transversal da camada de desde o eixo da faixa de extradorso até ao eixo do separador central.

x_1 [m] – Distância do ponto de controle ao eixo da faixa de intradorso.

x_2 [m] – Distância do ponto de controle ao limite do separador central da faixa de intradorso.

x_3 [m] - Distância do ponto de controle ao eixo da faixa de extradorso.

x_4 [m] - Distância do ponto de controle ao limite do separador central da faixa de extradorso.

k [] – Razão da largura da faixa de rodagem + bermas pela largura do separador central

s [m] – Desenvolvimento da clotóide para o qual x_2 se anula

γ_1 até γ_6 – Valores absolutos das inclinações transversais das terraplenagens, correspondentes a j_1 até j_6 , na figura 4.15

h_A até h_N [m]– Cotas dos pontos desde A a N, por ordem alfabética, respectivamente.

h_{E1} [m] – Cota do ponto E a ajustar, dependendo de γ_1

h_{E2} [m]– Cota do ponto E a ajustar, dependendo de γ_2

h_{G1} [m]– Cota do ponto G a ajustar, dependendo de γ_3

h_{G2} [m]– Cota do ponto G a ajustar, dependendo de γ_6

h_{I1} [m]– Cota do ponto I a ajustar, dependendo de γ_4

h_{I1} [m]– Cota do ponto I a ajustar, dependendo de γ_5

- Simbologia específica para estradas de 1 faixa de rodagem:

J_1 [] – Inclinação da superfície de terraplenagens ajustada

J_2 [] – Inclinação da superfície de terraplenagens ajustada

γ_1 [] –Valor absoluto da inclinação da superfície de terraplenagens ajustada ($|J_1|$).

γ_2 [] - Valor absoluto da inclinação da superfície de terraplenagens ajustada (J_2).

h_A a h_E [m] – Cotas dos pontos A até E, respectivamente

h_{E1} [m] – Cota do ponto é pelo intradorso

h_{E2} [m] – Cota do ponto é extradorso

Específica do capítulo 6:

Q [m^3/s] – Caudal escoado

K_s [$m^{(1/3) * s^{(-1)}}$] – Coeficiente de rugosidade de Manning-Strickler do betão

R [m] – Raio hidráulico da secção

P [m] – Perímetro da secção molhada

S [m^2] – Área da secção

i [] – inclinação da conduta

d [m] – Diâmetro mínimo necessário para escoar o caudal nas condições determinadas no dimensionamento.

1

INTRODUÇÃO

1.1. CONTEXTO

Todas as rodovias terrestres, não apoiadas em obras de arte, como pontes, interseções desniveladas e viadutos, estão sujeitas a um trabalho de terraplenagem, movimentação e formatação de terras associadas à fundação do pavimento, que resiste todo o material que sobre esta se coloca. Este trabalho é realizado previamente à construção do pavimento da estrada propriamente dita e é de extrema importância no que respeita à esperança de vida de uma estrada.

Os trabalhos de terraplenagem são vitais no conjunto da obra, não só porque garantem suporte à estrada, e ao futuro tráfego automobilístico, mas também por causa dos meios logísticos a mobilizar para a sua construção, a nível de maquinaria, tempo e mão de obra, e consequente orçamento necessário. Em fase de projeto é necessário avaliar a qualidade das terras disponíveis, recorrendo a ensaios geotécnicos e a sua quantidade (mediante o que for escavado e aterrado), para verificar a necessidade de recorrer a manchas de empréstimo e ainda definir todo o trabalho de adequação da superfície do terrapleno em si.

Para proporcionar boas condições de circulação por longos períodos de tempo numa estrada, se possível durante todo o tempo para a qual foi projetada, quando se realizam as terraplenagens, deve -- se assegurar uma inclinação para a sua superfície que torne viável a construção da estrada e ao mesmo tempo assegure também a durabilidade desta quando estiver construída.

Antes da realização do pavimento, as terraplenagens estarão desprotegidas e sujeitas à agressividade do ambiente da região, nomeadamente intempéries, que podem originar mantos de água, sobre a sua superfície, que dificultam a realização do posterior do pavimento.

Durante a vida útil estrada, é necessário assegurar que uma quota parte da drenagem profunda das águas infiltradas através da superfície do pavimento, que nunca é totalmente impermeável, se escoar, para evitar altos teores de humidade nas fundações quando estas são constituídas por solos finos.

Como a inclinação da superfície das terraplenagens origina um desfasamento com a superfície do pavimento, que obedece a normas/princípios de construção que se orientam para a segurança e comodidade de circulação, cria-se uma falta de paralelismo, entre a superfície inferior das camadas betuminosas, e a superfície das terraplenagens.

Esse volume, é determinante para o custo de uma via de comunicação, por causa da necessidade de o preencher com materiais granulares que bastante permeáveis e que ofereçam resistência mecânica de modo a contribuir de forma positiva para o problema de drenagem acima referido.

Assim, pretende-se dentro do que é uma situação admissível de construção, ou seja, tomando como objeto de estudo plataformas comuns de uma e duas faixas de rodagem, estudar a melhor forma a definição da superfície das terraplenagens de modo a criar uma alternativa aos modelos “estandardizados” (modelos comuns de a definir), com o objetivo último de se a minimizar esse volume, denominado camada de transição.

1.2. OBJETIVOS

A investigação de posicionamentos alternativos, que se designarão de métodos propostos dos pontos de controle de terraplenagens para plataformas de estradas de uma e duas faixas de rodagem de forma a tentar minimizar o volume de material granular, necessário a ocupar a camada de transição, e consequentemente, tentar-se diminuir os custos da sua construção.

A análise comparativa entre os volumes obtidos para a camada de transição utilizando os Métodos Propostos com os designados de Métodos Clássicos e outros existentes, em estradas de uma e duas faixas de rodagem para as situações em alinhamento reto e curva composta.

Determinação dos custos aproximados utilizando cada método referido, para se ter uma noção em que troços cada método será o menos dispendioso.

Neste trabalho admitiram-se as divisões e subdivisões necessárias para troços específicos do alinhamento reto e da curva composta.

1.3. ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO

Este trabalho de investigação está dividido nos seguintes capítulos:

- **1.INTRODUÇÃO**, onde se pretende introduzir o tema sem demasiada especificidade e anunciar os objetivos fulcrais da dissertação;
- **2.DRENAGEM**, onde se analisa sumariamente as principais teorias de solos relacionadas com a percolação da água nas camadas granulares, como é o caso da camada de transição;
- **3.PONTOS DE CONTROLE DE TERRAPLENAGENS**, conceito e exposição teórica do que se pretende fazer para encontrar as melhores posições dos pontos de controle, para cada situação a investigar, assim como a exposição de outros métodos existentes;
- **4.DEDUÇÃO DAS SOLUÇÕES PROPOSTAS**, apresentação do trabalho de investigação elaborado para determinar as posições dos pontos de controle para cada caso;
- **5.DETERMINAÇÃO DOS VOLUMES DA CAMADA DE TRANSIÇÃO**, apresentação do método de cálculo de volumes para cada situação, assim como a sua concretização;
- **6.DETERMINAÇÃO E COMPARAÇÃO DE CUSTOS APROXIMADOS RELACIONADOS COM OS MÉTODOS DESCRITOS**, determinação dos custos aproximados da camada de transição e elementos associados e comparações entre todos os métodos abordados nesta dissertação;
- **7.ANÁLISE DE RESULTADOS E CONCLUSÕES**, onde se analisarão os resultados obtidos e se tirarão conclusões dos mesmos.

2

DRENAGEM

2.1. INTRODUÇÃO

O projeto de uma estrada, tanto em termos dos materiais a usar, como nas inclinações escolhidas, transversal e longitudinalmente, para os diversos componentes da plataforma, tem em conta a necessidade de drenagem, por causa de essencialmente dois fenómenos: a expulsão das águas superficiais durante a vida da obra, relacionada com a inclinação da superfície do pavimento, e a fissuração e rutura da estrutura do pavimento, ocasionada por futuras infiltrações de águas pluviais e seu alojamento na interface pavimento/parte superior do aterro ou terreno natural quando este é formado por solos finos. Esta alteração de teores de humidade nesses solos de fundação contribuiria para uma redução da capacidade de suporte da estrutura.

2.2. DRENAGEM PELA SUPERFÍCIE DAS TERRAPLENAGENS

2.2.1. INTRODUÇÃO

A drenagem pela superfície das terraplenagens acontece no topo das mesmas até às fronteiras drenantes existentes, através da utilização de drenos coletores longitudinais.

Os problemas de drenagem, apesar de sempre existirem, são mais prováveis quando as terraplenagens se realizam numa estrada em escavação, porque o terreno natural pode corresponder a solos mais impermeáveis, e não está sujeito a alterações. Quando a estrada se realiza em aterro, já existe possibilidade de utilizar materiais mais permeáveis facilitando o escoamento das águas que se infiltram.

2.2.2. PRÉ E PÓS CONSTRUÇÃO DO PAVIMENTO

Existem duas perspetivas que levam à adoção da inclinação transversal atualmente utilizada para as superfícies das terraplenagens, de valor maior ou igual a 6% (anteriormente este valor era de 4%).

Numa primeira perspetiva pensou-se na drenagem pela superfície das terraplenagens logo após estas serem concluídas, ou seja, garantir que no espaço de tempo entre o fim dos trabalhos de terraplenagens e a construção das camadas inferiores do pavimento, a água que pudesse eventualmente depositar-se sobre o terraplano não ficasse aí retida, prejudicando a futura pavimentação. Existe aqui a maior preocupação com o término da obra do que com o olhar para a vida da mesma. [1]

Numa outra, mais a longo prazo, pensou-se no que aconteceria, após concluída a obra (após pavimentação), à água que se infiltraria pelo pavimento até uma fronteira não drenante (admitida a

superfície das terraplenagens). Qual seria então a melhor forma de atenuar esse problema, aplicando uma inclinação transversal tal, que facilitasse o escoamento dessa água. [2]

Fortuitamente, ambas as perspectivas, coincidem, atualmente, num valor de 6% atribuído para a inclinação transversal da superfície das terraplenagens (correspondente à superfície do leito do pavimento/, ou seja, em aterro a última camada do aterro, ou em escavação a superfície de escavação).

2.2.3. PERCOLAÇÃO

“ Em numerosas situações a água livre ou gravítica presente nos maciços terrosos não se encontra em equilíbrio hidrostático mas em movimento. Ao movimento da água nos maciços terrosos chama-se percolação. (..) a água nos solos move-se quando ocorrem diferenças de carga hidráulica entre diversas regiões e o movimento é dirigido para os pontos de menor carga hidráulica.

Essas diferenças de carga hidráulica podem resultar de condições de fronteira impostas por obras de engenharia (...).” (Manuel Matos Fernandes, 2006) [3]

O fenómeno de percolação corresponde ao que vai ocorrer acima da superfície das terraplenagens até às “fronteiras impostas” na forma de coletores longitudinais.

2.2.4. LEI DE DARCY

“ A lei que rege o movimento de água num meio terroso é a lei de Darcy (1856)” (Manuel Matos Fernandes, 2006) [3]

A figura 2.1 ilustra a experiência realizada por Darcy a que deu origem a lei com o seu nome:

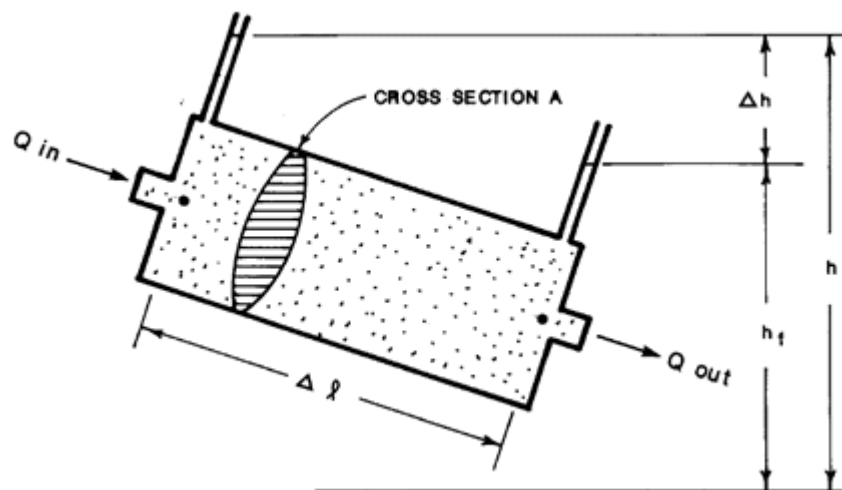


Figura 2.1 – Experiência de Darcy [4]

Q_{in} [m³/s] – Entrada do caudal a ser percolado

Q_{out} [m³/s] – Saída do caudal após percolação

Cross Section A [m²]– Secção Transversal “A”

Δl [m]– Comprimento a percorrer pela água

h_f [m]– Carga hidráulica no fim da percolação

h_i [m]– Carga hidráulica antes da percolação

Δh [m]– Perda de carga

A lei de Darcy tem o enunciado e formulação conhecidos:

$$Q = k \times i \times S \quad [3] \quad (2.1)$$

Onde:

Q [m^3/s] – Caudal que atravessa por percolação o maciço terroso

k [m/s] – Coeficiente de permeabilidade do solo

i [] – Gradiente hidráulico

S [m^2] – Área da secção transversal por onde se processa o fluxo

E,

$$i = \frac{\Delta h}{\Delta l} \quad [3] \quad (2.2)$$

Com:

Δh [m]– Perda de carga entre os pontos final e inicial

Δl [m]– Distância percorrida entre os pontos final e inicial

2.2.5. COEFICIENTE DE PERMEABILIDADE

“ k é uma constante de proporcionalidade denominada de coeficiente de permeabilidade do solo. Quanto maior o valor de k , maior vai ser a facilidade encontrada pela água para fluir através dos vazios do solo. O coeficiente de permeabilidade, k , tem dimensão de velocidade (L(m)/T(s)), e pode ser definido como a velocidade de percolação da água no solo para um gradiente hidráulico unitário.”[5]

O coeficiente de permeabilidade, “ k ”, é um valor que pode ser obtido através da realização de ensaios ou de forma menos rigorosa através de expressões semiempíricas. É o caso das de:

- Allen Hazen:

$$k(m/s) = C_1 \times D_{10}^2 \quad (2.3)$$

C_1 – Valor variável, mas admitido muitas vezes um valor médio de 10000 (Lambe & Whitman, 1979).

D_{10} [m]– Diâmetro do agregado correspondente ao percentil 10% de passados num peneiro (diâmetro efetivo).

- Carl Terzaghi:

$$k(m/s) = 20000 * e^2 * D_{10}^2 \quad (2.4)$$

e [] – Índice de vazios

D10 [m]– Diâmetro do agregado correspondente ao percentil 10% de passados num peneiro (diâmetro efetivo).

- Kozeny – Carman:

$$k = \frac{1}{K_0 * K_1 * S_s^2} * \frac{n^3}{(1-n)^2} * \frac{\gamma_w}{\eta} \quad (2.5)$$

- Taylor:

$$k = C_f * d_{10}^2 * \frac{\gamma_w}{\eta} * \frac{e^3}{1+e} \quad (2.6)$$

- Casagrande:

$$k = 1,4 * K_{0,85} - x * e^2 \quad (2.7)$$

Simbologia:

C_1 []– Fator de forma;

C_f []– Fator de forma;

D10 [m]– Diâmetro efetivo das partículas;

e []– Índice de vazios;

K_0 [m/s]– Fator de forma dos poros;

K_1 [m/s]– Fator relacionado com a porosidade;

S_s (m^2)– Superfície específica por unidade de volume;

n []– Porosidade;

η [m^2/s]– Viscosidade dinâmica da água.

Os valores médios do coeficiente de permeabilidade para diferentes tipos de solos e materiais granulares (Terzaghi e Peck, 1967) são as constantes da tabela 2.1 [3]

Tabela 2.1 – Permeabilidade de materiais granulares e solos

Material Granular ou solo	Coeficiente de permeabilidade – k [cm/s]
Cascalho	>1
Areia Grossa	0,1 a 1
Areia Média	0,01 a 0,1
Areia Fina	0,001 a 0,01
Areia siltosa	0,0001 a 0,001
silte	0,00001 a 0,0001

Na tabela 2.2 são valorados os diferentes coeficientes de permeabilidade tendo em conta o grau de permeabilidade de diferentes tipos de solo.

Tabela 2.2 – Permeabilidade de tipos de solo [6]

Tipo de Solo	Coeficiente de permeabilidade – k [cm/s]
Alta permeabilidade	>0,1
Média permeabilidade	0,1 a 0,001
Baixa permeabilidade	0,001 a 0,00001
Muito baixa permeabilidade	0,00001 a 0,0000001

2.2.6. DETERMINAÇÃO DOS CAUDAIS ESCOADOS PARA DIFERENTES COEFICIENTES DE PERMEABILIDADE

Vão ser determinados os caudais escoados para diferentes valores do coeficiente de permeabilidade, considerando as larguras maiores e menores das plataformas em estudo (1 faixa com 2 vias e 2 faixas com 3+3 vias) abrangendo ainda diferentes materiais constituintes das terraplenagens.

Para o cálculo de “k” selecionaram-se estas duas expressões de entre as cinco atrás expostas utilizando valores aceitáveis para as variáveis:

- Hazen:

$$D_{10} = 0,10\text{mm}$$

$$C_1 = 10000$$

$$k = 0,0001\text{ m/s}$$

- Terzaghi:

$$D_{10} = 0,10\text{mm}$$

$$e = 40\%$$

$$k = 0,000032\text{ m/s}$$

- Valores extraídos das tabelas 2.1 e 2.2, para os materiais granulares areia média e areia siltosa e tipos de solo de média e baixa permeabilidade.

Areia Média – solo de média permeabilidade:

$$k = 5 * 10^{-4}\text{m/s}$$

Areia siltosa – solo de baixa permeabilidade:

$$k = 5 * 10^{-6}\text{m/s}$$

Verifica-se que o coeficiente de permeabilidade determinado nas expressões de Terzaghi e Hazen se situará entre o de areia média e de areia siltosa, no primeiro caso e correspondendo ao “k” da areia fina no segundo caso.

Na tabela 2.3 testar-se-á o caudal percolado usando diferentes coeficientes de permeabilidade, supondo a camada percolada com a espessura de 30cm, valor igual espessura mínima das camadas betuminosas do pavimento [1], correspondente à espessura mínima da camada de transição, por metro de comprimento.

Tabela 2.3 – Caudais escoados pela superfície de terraplenagens

l (m)	i (ST)	l real (m)	Δh (m)	i	k (m/s)	S (m²)	Q (l/s)	Q (l/dia)
12,25	6%	12,272	1,035	0,084338	0,0001	0,3	0,002530144	218,604
					0,000032		0,005060287	69,953
					0,0005		0,012650719	1093,022
					0,000005		0,000126507	10,930
					0,0001		0,002245961	194,051
					0,000032		0,004491922	62,096
20		20,036	1,5	0,074865	0,0005		0,011229805	970,255
					0,000005		0,000112298	9,702

l [m] – largura da faixa mais bermas

i (ST) – inclinação transversal da superfície das terraplenagens

i [] – Gradiente hidráulico

k [m/s] – Coeficiente de permeabilidade

S – Área da superfície transversal percolada por metro de desenvolvimento da estrada

Q [l/s] – Caudal percolado pela camada de transição nas condições consideradas

Pode-se constatar que o material ou tipo de solo que compõe a camada de transição da estrada tem uma relevância muito grande na capacidade de escoamento subterrânea.

Valores estes que serão por norma menores nas estradas em escavação por não haver grande capacidade de se contornar o terreno natural do local, nesses casos, no limite, poder-se-á escavar a maior profundidade do que necessária para depois se poder aterrar com material granular mais permeável, ou ponderar soluções com dreno transversais, como geotêxteis.

3

PONTOS DE CONTROLE DAS TERRAPLENAGENS

3.1. INTRODUÇÃO

Designa-se por ponto de controle das terraplenagens, o ponto, no plano transversal à estrada, de cota mais elevada da superfície da terraplenagem, localizado entre 2 fronteiras drenantes, sendo que, por isso, existem sempre “(n-1)” pontos de controle de terraplenagens para “n” fronteiras drenantes. Pelos pontos de controle das terraplenagens são divididas as águas que se infiltram pelo pavimento e o atravessam. O ponto de controle das terraplenagens está localizado abaixo do pavimento e das camadas granulares de menor qualidade que se encontram por cima da superfície das terraplenagens. Espessura essa que será admitida neste estudo de valor igual ao mínimo referido no caderno de encargos das Estradas de Portugal [1].

A figura 3.1 esclarece a relação entre a superfície de terraplenagem (limite superior da zona acastanhada da figura) e a superfície inferior das camadas betuminosas do pavimento, com destaque para a localização do ponto de controle.

O volume dos materiais granulares ou solos que estão entre a superfície inferior das camadas betuminosas do pavimento e a superfície das terraplenagens, compõe a Camada de Transição.

“(…) É generalizadamente recomendada uma inclinação transversal que nunca de ser em absoluto inferior a 4%. Indicações mais recentes apontam para uma inclinação transversal mínima de 6%, a qual é aqui aceite sem discussão. Esta premissa conduz inevitavelmente, pelo menos em reta, a uma ausência de paralelismo entre a superfície do pavimento e a superfície de terraplenagem. (...)”

Então, no sentido de manter uma espessura constante e igual ao valor considerado no dimensionamento do pavimento para as camadas betuminosas, de custo mais elevado, resta a alternativa de proceder às devidas adaptações na camada de base granular inferior” – a sub-base do pavimento – “ou no denominado leito do pavimento.

Note-se que, em qualquer dos casos, esta camada que se designará a partir daqui como “de transição”, deverá manter uma espessura igual ou superior ao previsto no projeto, em toda a extensão da plataforma”. [2]

Então em perfil transversal a camada de transição, corresponde à área, entre a superfície de terraplenagens e a superfície inferior da parte betuminosa do pavimento. Área essa que se pode dividir em duas partes, uma igual à mínima necessária a conferir resistência mecânica ao pavimento, localizada sob o mesmo e paralela a este. Outra que corresponde ao enchimento, que é necessário para compensar a diferença de inclinações transversais entre a superfície do pavimento e a superfície das terraplenagens.

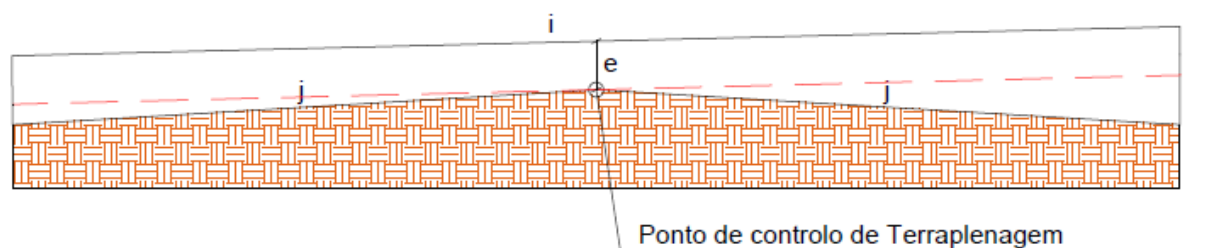


Figura 3.1 – Ponto de controle de terraplenagem

i [°] – Inclinação transversal da faixa de rodagem

j [°] – inclinação transversal da superfície da terraplenagem

e [m] – Espessura da camada de transição com valor definido em projecto

3.2. EM ESTRADAS COM UMA FAIXA DE RODAGEM

3.2.1. DEFINIÇÃO

São estradas sem separador físico entre os 2 sentidos de tráfego.

As mais correntes são as de 1+1 vias, uma via por sentido de tráfego, logo serão estas o objeto de estudo. No entanto considerar-se-ão ainda as estradas do tipo 2+2 vias (desprovidas de separador).

3.2.2. MÉTODO CLÁSSICO

Embora a ex-Junta Autónoma de Estradas (JAE) não defina especificamente a posição recomendada para o ponto de controle das terraplenagens, nem nas normas do traçado, nem no caderno de encargos, existe um método que se utiliza por norma e que se tornou “standard” para as estradas de faixa única, para definir essa posição. Será aqui denominado por Método Clássico.

Esse Método admite essencialmente 3 posições fixas em planta para o ponto de controle das terraplenagens, tendo em conta a zona da estrada em causa:

- Em alinhamento reto, fora da zona de disfarce de sobreelevação;
- Em alinhamento reto, na zona de disfarce de sobreelevação;
- E em curva.

Em Alinhamento Reto, fora da zona vulgarmente denominada como L_d , o ponto de controle de terraplenagens encontra-se no plano vertical que contém o eixo da estrada (sob o eixo da estrada). A superfície das terraplenagens tem por isso um posicionamento, que coincide em termos de planta com o da superfície do pavimento quanto à separação das águas.

Em alinhamento reto, já na zona do comprimento dado para o disfarce de sobreelevação (zona de L_d), pode-se dividir em duas secções. A primeira, que vai desde o começo da zona de L_d , até meio da mesma, local em que o ponto de controle de terraplenagens passa da posição referida acima para uma outra a meio das vias de extradorso. Na segunda parte da zona de L_d , o ponto de controle de terraplenagens mantém a posição precedente.

Em Curva, é admitido que o ponto de controle das terraplenagens parte da posição a meio da via extradorso, para progressivamente se aproximar do bordo dessa via, até o atingir quando o valor da inclinação transversal do pavimento for igual a 6%, mantendo-se a partir daí o paralelismo entre o terrapleno e o pavimento. Isto para o caso da sobrelevação ser igual ou superior a 6%.

Quando a sobrelevação for inferior a 6% a posição do ponto de controle em curva circular é determinada por uma relação de proporções entre a sobrelevação usada e a sobrelevação de 6% para qual o ponto de controle é conhecido.

A Figura 3.2 esclarece a divisão das águas superficialmente, na camada de desgaste do pavimento, e subterraneamente, na superfície de terraplenagens, representada a tracejado. Verifica-se também o comportamento linear em planta da posição do ponto de controle, na aproximação da curva e na sua extensão.

A figura 3.3 representa o corte transversal genérico para estradas de 1 faixa de rodagem e duas fronteiras drenantes, onde se insere o método clássico.

No método clássico “x” tem então os valores fixos mencionados anteriormente que variam linearmente entre eles, em planta.

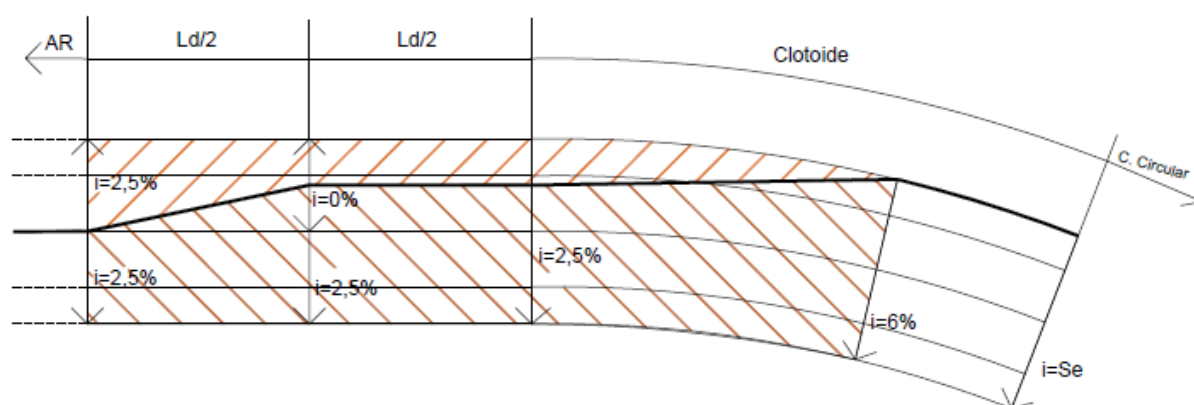


Figura 3.2 – Planta da estrada de uma 1 faixa de rodagem para o método clássico, com sobrelevação superior a 6%

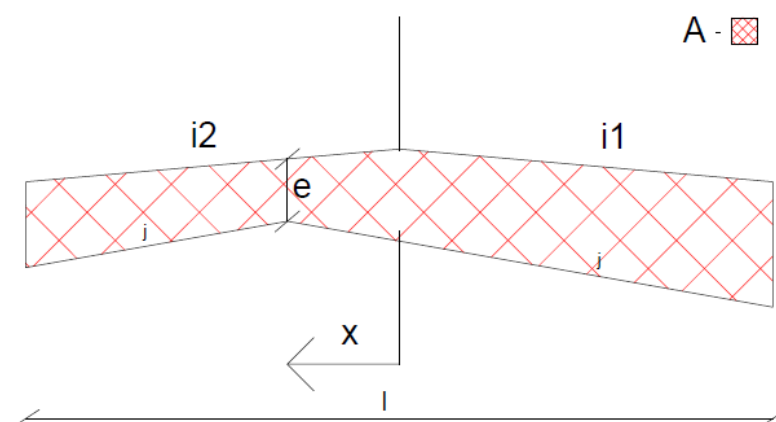


Figura 3.3 – Perfil transversal tipo da camada de transição para estradas com 1 faixa de rodagem e 2 fronteiras drenantes em que “x” toma os valores correspondentes às posições fixas do método clássico.

Legenda:

$i1 []$ – Inclinação transversal da superfície do pavimento num dos sentidos

$i2 []$ – Inclinação transversal da superfície do pavimento no outro sentido

$j []$ – Inclinação da superfície de terraplenagem

$e [m]$ – Espessura da camada de transição com valor definido em projecto

$l [m]$ – Largura da faixa de rodagem mais bermas

$x [m]$ – Distância do ponto de controle ao eixo da estrada

As áreas dos perfis transversais fixos no método são definidas pelas seguintes expressões:

Em alinhamento reto:

$$A = e * l + \frac{l^2}{4} * (\gamma + i2) \quad (3.1)$$

A meio do comprimento da zona de Ld e no ponto osculador alinhamento reto/curva:

$$A = e * l + \frac{l^2}{8} * \left(\frac{5}{2} * \gamma - i1\right) \quad (3.2)$$

Na curva quando $Se \geq 6\%$:

$$A = e * l \quad (3.3)$$

$A [m^2]$ – Área do perfil transversal da camada de transição

$l [m]$ – Largura da faixa de rodagem mais bermas

$e [m]$ – Espessura da camada de transição de valor igual à espessura das camadas betuminosas do pavimento

$\gamma []$ – Valor Absoluto da inclinação transversal da superfície de terraplenagens

$$\gamma = |j|$$

$i1 []$ – Inclinação transversal da superfície do pavimento nas vias de intradorso

$i2 []$ – Inclinação transversal da superfície do pavimento nas vias de extradorso

3.2.3. MÉTODOS PROPOSTOS

Abordam-se dois modos possíveis de encarar o problema. Mantendo-se a estrada no seu formato mais comum com duas fronteiras drenantes, iguais às do método clássico. Ou cria-se uma terceira fronteira drenante localizada segundo o eixo da estrada, sob o pavimento, por meio de um dreno, coletor longitudinal. Esta alternativa será, como se verá, mais aplicável nas mais raras estradas de faixa única mas 2+2 vias.

3.2.3.1. Plataformas com duas fronteiras drenantes

Propõe-se a otimização da solução clássica no que se refere à posição do ponto de controle das terraplenagens.

Para isso, através das características geométricas do perfil transversal da estrada, que delimitam a área entre a superfície do pavimento e das terraplenagens, pretende-se determinar e minimizar a área, em função da posição do ponto de controle.

Derivando-se a função área em ordem à distância do ponto de controle a um plano referencial, e igualando a zero, determina-se a localização do ponto de controle que minimiza a área em função das características geométricas.

As Figuras 3.4 e 3.5 apresentam as plantas tipo para as soluções propostas, referenciando-se as componentes da estrada tidas em conta, assim como as inclinações relevantes, e as separações causadas pela posição do ponto de controle no escoamento das águas sobre a superfície da terraplenagem.

Na figura 3.6 realçam-se, através dum corte transversal à estrada, as características geométricas relevantes na determinação da posição do ponto de controle. Adiante se apresentarão os cálculos que sustentam as opções desenhadas e os valores exatos de “x” em localizações notáveis.

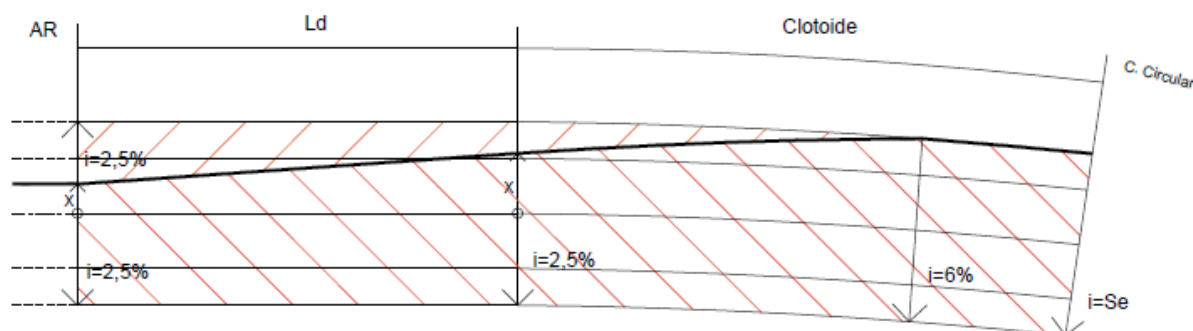


Figura 3.4 - Planta tipo para sobreelevações iguais ou superiores a 6% no método proposto para estradas de 1 faixa de rodagem e 2 fronteiras drenantes.

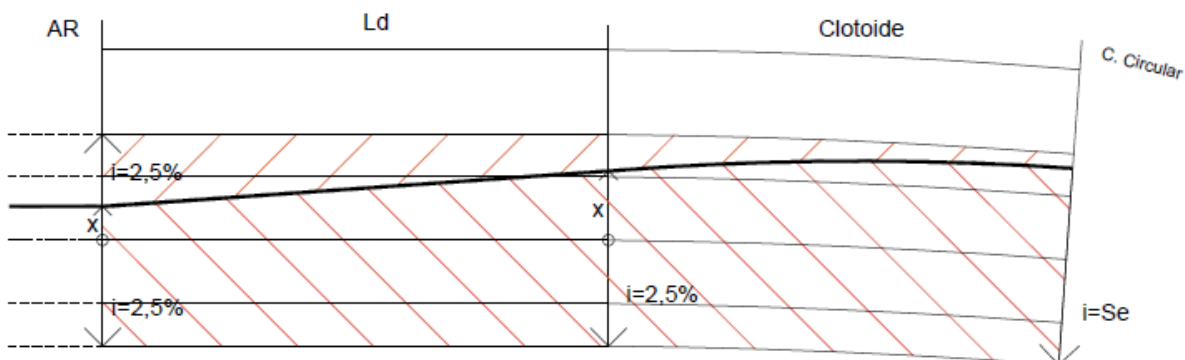


Figura 3.5 – Planta tipo para caso particular sobreelevações inferiores a 6% no método proposto para estradas de 1 faixa de rodagem e 2 fronteiras drenantes.

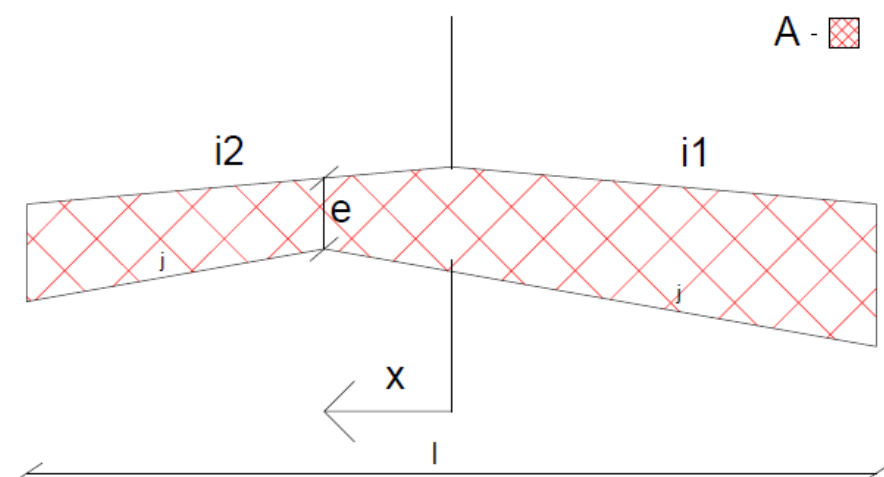


Figura 3.6 – Perfil Transversal da camada de transição para o método proposto para estradas de 1 faixa de rodagem e 2 fronteiras drenantes, com “x” variável.

$A [m^2]$ – Área do perfil transversal da camada de transição

$i2 [^\circ]$ – Inclinação transversal das vias de extradorso

$i1 [^\circ]$ – Inclinação transversal das vias de intradorso

$e [m]$ – Espessura da camada de transição com valor definido em projecto

$j [^\circ]$ – Inclinação transversal da superfície da terraplenagem

$x [m]$ – Distância do ponto de controle das terraplenagens ao eixo da faixa de rodagem

$l [m]$ – Largura da faixa de rodagem mais bermas

3.2.3.2. Plataformas com três fronteiras drenantes

A solução consiste na minimização do percurso da água, incluindo-se um dreno, coletor longitudinal, colocado sob o eixo da estrada, ligeiramente abaixo da cota das superfícies terraplenagens, criando-se assim uma terceira fronteira drenante.

Ou seja, consiste da otimização da localização do ponto de controle, ao longo de todas as zonas da estrada, teoricamente ponto a ponto, conjugada com o aumento de uma fronteira drenante.

A criação dessa nova fronteira drenante justifica-se quando a largura da plataforma é tal, que o ganho (ou melhor, poupança em agregados destinados à parte do enchimento da camada de transição), se possa sobrepor ao investimento, em condutas, drenos, etc.

Nas Figuras 3.7 e 3.8 encontram-se as plantas tipo representativas deste Método Proposto, onde se verifica que o escoamento pela superfície das terraplenagens se realiza a 4 águas, e se toma como indeterminado a posição dos 2 pontos de controle existentes, um para a(s) via(s) extradorso e outro para as vias intradorso, tomando como plano de referência o plano vertical que contém o eixo da faixa de rodagem. Diferenciam-se pelo facto de numa a sobrelevação ser superior a 6% e noutra ser inferior.

No capítulo 4 serão apresentadas as deduções necessárias às localizações exatas do ponto de controle.

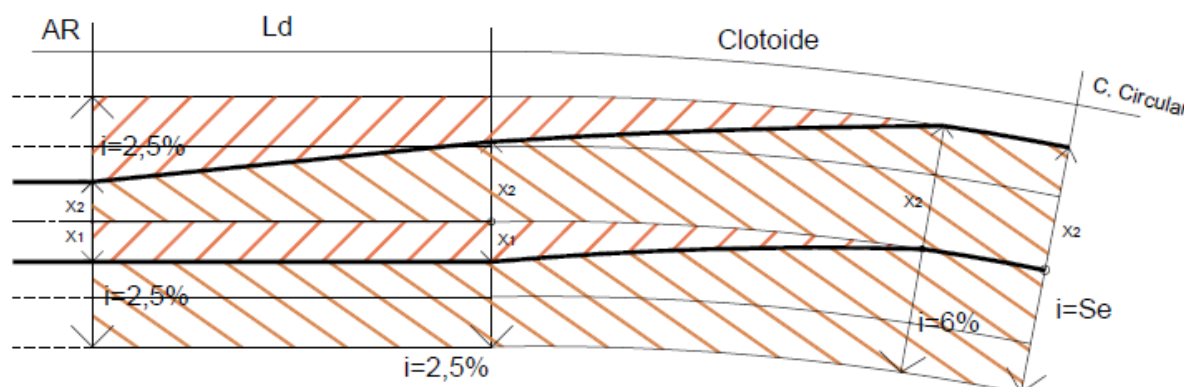


Figura 3.7 – Planta tipo para sobrelevações iguais ou superiores a 6%, utilizando o método proposto com 3 fronteiras drenantes para estradas de 1 faixa de rodagem.

Para isso, o processo utilizado para a localização dos pontos de controle, consiste na minimização da função área (dependente de inclinações, espessuras e comprimentos dos elementos que delimitam a camada de transição), em função de $x1$ para o intradorso e de $x2$ para o extradorso. Ou seja, derivando a função área em ordem à distancias $x1$ e $x2$ e igualando a derivada a zero, pretende-se obter a função $x1$ e $x2$ que otimiza as áreas do perfil transversal da camada de transição ao longo da faixa de rodagem.

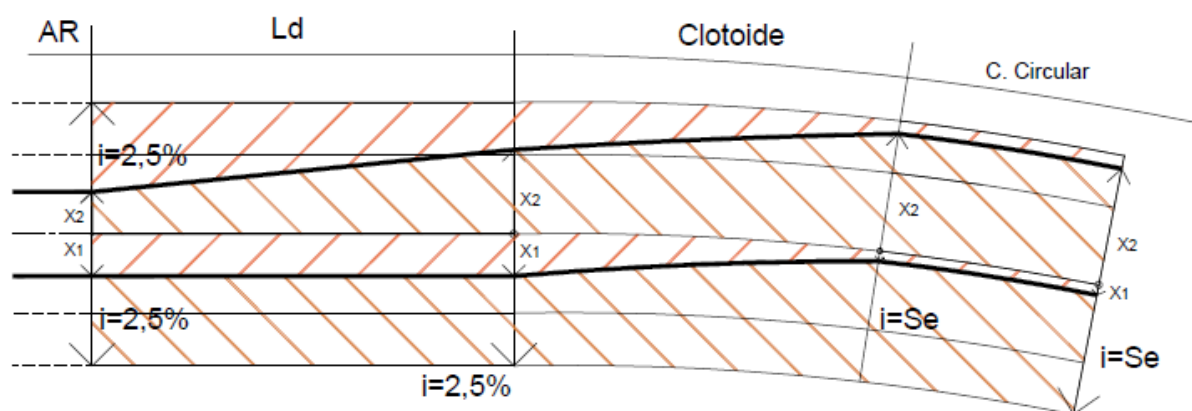


Figura 3.8 – Planta tipo para caso particular sobrelevações inferiores a 6%, utilizando o método proposto com 3 fronteiras drenantes para estradas de 1 faixa de rodagem.

A figura 3.9 ilustra o perfil transversal da camada de transição e todas as componentes geométricas variáveis utilizando o método proposto para estradas de 1 faixa de rodagem e 3 fronteiras drenantes.

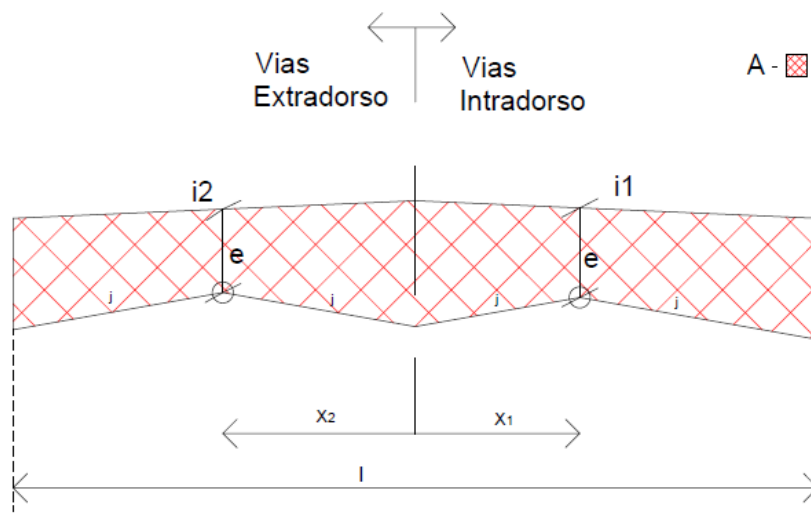


Figura 3.9 – Perfil transversal da camada de transição utilizando o método proposto para estradas de 1 faixa de rodagem com 3 fronteiras drenantes.

$A[m^2]$ – Área do perfil transversal da camada de transição

$x_1 [m]$ – Distância do ponto de controle localizado sob as vias de intradorso ao eixo da faixa de rodagem

$x_2 [m]$ – Distância do ponto de controle localizado sob as vias de extradorso ao eixo da faixa de rodagem

$e []$ – Espessura da camada de transição com valor definido em projecto

$i_1 []$ – Inclinação transversal da superfície do pavimento nas vias de intradorso

$i_2 []$ – Inclinação transversal da superfície do pavimento nas vias de extradorso

$j []$ – Inclinação transversal da superfície das terraplenagens

$l [m]$ – Largura da faixa de rodagem mais bermas

3.3. ESTRADAS COM DUAS FAIXAS DE RODAGEM E COM SEPARADOR CENTRAL

3.3.1. DEFINIÇÃO

As mais comuns são os itinerários principais e itinerários complementares com 2x2 ou 3x3 vias.

Assim, serão estas o objeto de estudo considerando a colocação de drenos sob o eixo do separador central.

Enquanto que para uma faixa de rodagem a superfície do pavimento rodava segundo o ponto desta que se encontrava a meio da faixa de rodagem, ou seja, obrigava uma inclinação transversal igual em curva para extradorso e intradorso.

Com duas faixas de rodagem existem 2 pontos de rotação da superfície do pavimento (localizados nos bordos interiores das faixas de rodagem), o que permite abordagens diferentes nos comportamentos de inclinações entre a faixa de intradorso e extradorso.

Neste caso as inclinações ao entrar na clotóide são de 0% para a faixa do extradorso e de 2,5% para a de intradorso, sendo a inclinação, para ambos os casos, igual à sobrelevação quando se chega à curva circular.

3.3.2. MÉTODO CLÁSSICO

A este método corresponde a localização normalmente utilizada para o ponto de controle das terraplenagens. [2]

Na figura 3.10 realça-se a posição dada em planta para as localizações dos pontos de controle de terraplenagens para as faixas de intradorso e extradorso.

Na faixa de intradorso, o ponto de controle encontra-se ao longo de toda a estrada sob a linha interior da berma esquerda, tanto em alinhamento reto como em curva composta.

Na faixa de extradorso, o ponto de controle toma posições variáveis ao longo da estrada.

Tem uma posição simétrica em relação ao eixo do separador central na faixa de intradorso para alinhamento reto, exceto na zona de Ld (neste caso onde a sobreelevação passa de -2,5% para zero).

Ao longo da zona de Ld, passa do limite exterior da berma interior para o meio da faixa de extradorso da plataforma, variando linearmente.

Em clotoide o ponto de controle passa do meio da faixa de rodagem de extradorso para o limite interior da berma direita, sendo que o atinge quando a inclinação transversal da superfície do pavimento iguala 6%. Manter-se-á assim até que essa inclinação iguala a sobreelevação (corresponde ao começo da curva circular).

Se a sobreelevação for inferior a 6%, a posição do ponto de controle é determinada de forma análoga às estradas de 1 faixa de rodagem, por interpolação entre as posições do ponto de controle conhecidas e as relações entre a sobreelevações que se pretende com a sobreelevação de 6%.

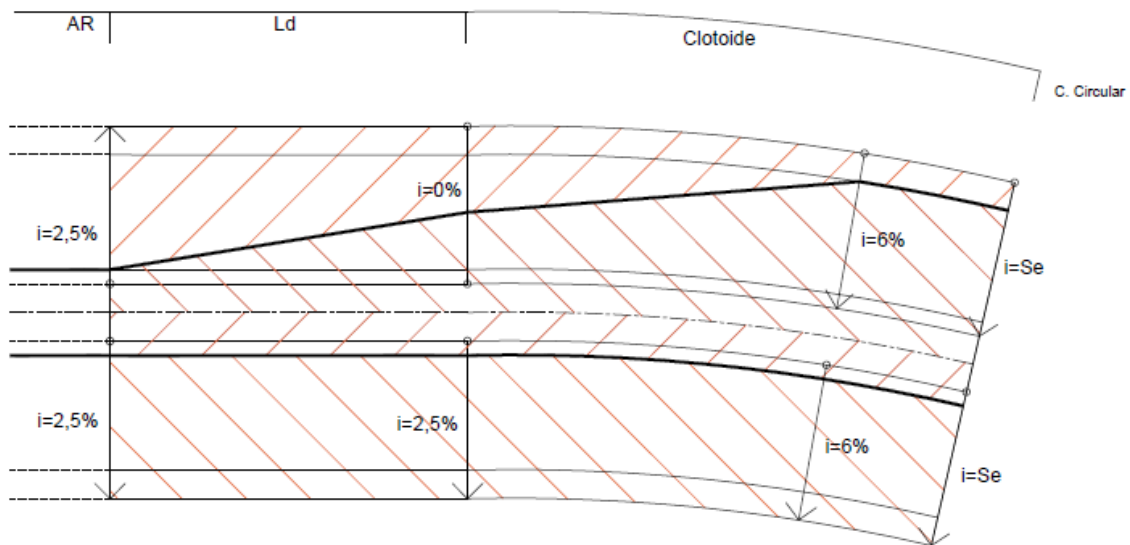


Figura 3.10 – Método Clássico com faixas separadas e dreno sob o separador central, planta (para Se>6%)

As áreas dos perfis transversais da camada de transição, fixos no método são definidas pelas seguintes expressões:

Em alinhamento reto:

Expressão da área da camada de transição para a semiplataforma de intradorso:

$$A1 = \left[e * \left(l + \frac{d}{2} \right) + \frac{d^2}{8} * \gamma \right] + \frac{(\gamma + i1) * (l - bi)^2}{2} + \frac{(\gamma - i1) * bi^2}{2} + (\gamma - i1) * bi * \frac{d}{2} \quad (3.4)$$

Expressão da área da camada de transição para a semiplataforma de extradorso:

$$A2 = [e * \left(l + \frac{d}{2}\right) + \frac{d^2}{8} * \gamma] + \frac{(\gamma+i2)*(l-bi)^2}{2} + \frac{(\gamma-i2)*bi^2}{2} + (\gamma - i2) * bi * \frac{d}{2} \quad (3.5)$$

No ponto osculador alinhamento reto/curva:

Expressão da área da camada de transição para a semiplataforma de intradorso:

A1 é igual a (3.4)

Expressão da área da camada de transição para a semiplataforma de extradorso:

$$A2 = [e * \left(l + \frac{d}{2}\right) + \frac{d^2}{8} * \gamma] + \frac{(\gamma+i2)*\left(l-\frac{l}{2}\right)^2}{2} + \frac{(\gamma-i2)*\frac{l^2}{2}}{2} + (\gamma - i2) * \frac{l}{2} * \frac{d}{2} \quad (3.6)$$

Na curva quando a sobrelevação é igual ou superior a 6%:

Expressão da área da camada de transição para a semiplataforma de intradorso:

A1 é igual a (3.4)

Expressão da área da camada de transição para a semiplataforma de extradorso:

$$A2 = [e * \left(l + \frac{d}{2}\right) + \frac{d^2}{8} * \gamma] + \frac{(\gamma+i2)*(l-(l-b))^2}{2} + \frac{(\gamma-i2)*(l-b)^2}{2} + (\gamma - i2) * (l - b) * \frac{d}{2} \quad (3.7)$$

A1 [m²] – Área do perfil transversal da camada de transição, sob a semiplataforma de intradorso

A2 [m²] – Área do perfil transversal da camada de transição, sob a semiplataforma de extradorso

e [m] – Espessura da camada de transição com valor definido em projecto

l [m] – Largura da faixa de rodagem mais berma

d [m] – Largura do separador central

b[m] – Largura da berma exterior

bi[m] – Largura da berma interior

γ [] – Valor absoluto da inclinação transversal da superfície de terraplenagens

i1[] – Inclinação transversal da faixa de intradorso

i2[] – Inclinação transversal da faixa de extradorso

3.3.3. MÉTODO DO PROFESSOR FRANÇA

Este método foi retirado de um trabalho realizado pelos professores Adalberto França e António Vasconcelos, foi-lhe dado este nome (Professor França) ao longo da dissertação por simplificação. [2]

De notar que princípio de otimização utilizado nesse trabalho é base para a otimização utilizada nos métodos propostos, tanto para estradas de uma como de duas faixas.

Este método consiste na minimização da área dos perfis transversais da camada de transição, para ambas as semiplataformas. Admitindo condições de drenagem iguais às do método clássico.

Tomando como referência a berma interior de ambas as faixas de rodagem, em função de todos os elementos geométricos que definem a área (inclinações transversais, largura das faixas, largura do separador central, espessura do pavimento..), otimiza-se a posição dos pontos de controle e minimiza-

se a área dos perfis transversais da camada de transição derivando a sua expressão em ordem à distância dos pontos de controle aos planos de referência.

Nas figuras 3.11, 3.12 e 3.13 estão presentes os elementos utilizados na conceção do método, para a determinação da expressão da área dos perfis transversais da camada de transição e consequentemente para a determinação da posição ótima do ponto de controle ao longo das zonas da estrada, em planta e em corte transversal, respetivamente.

Entre a figura 3.11 e 3.12 faz-se a separação entre os casos em que a sobrelevação é superior e sobrelevação inferior à inclinação da superfície de terraplenagens (vulgo 6%). Na figura 3.13 mostra-se uma secção transversal representativa da área do perfil transversal da camada de transição.

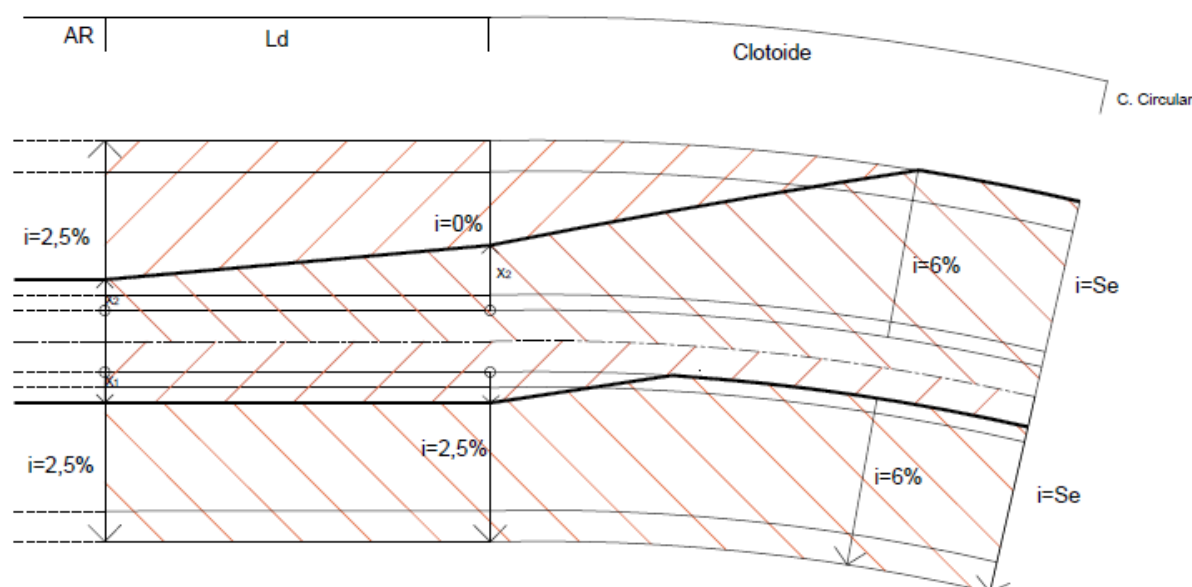


Figura 3.11 –Planta para sobrelevações iguais ou superiores a 6%, utilizando o método do professor França para estradas com 2 faixas de rodagem e dreno sob o separador central.

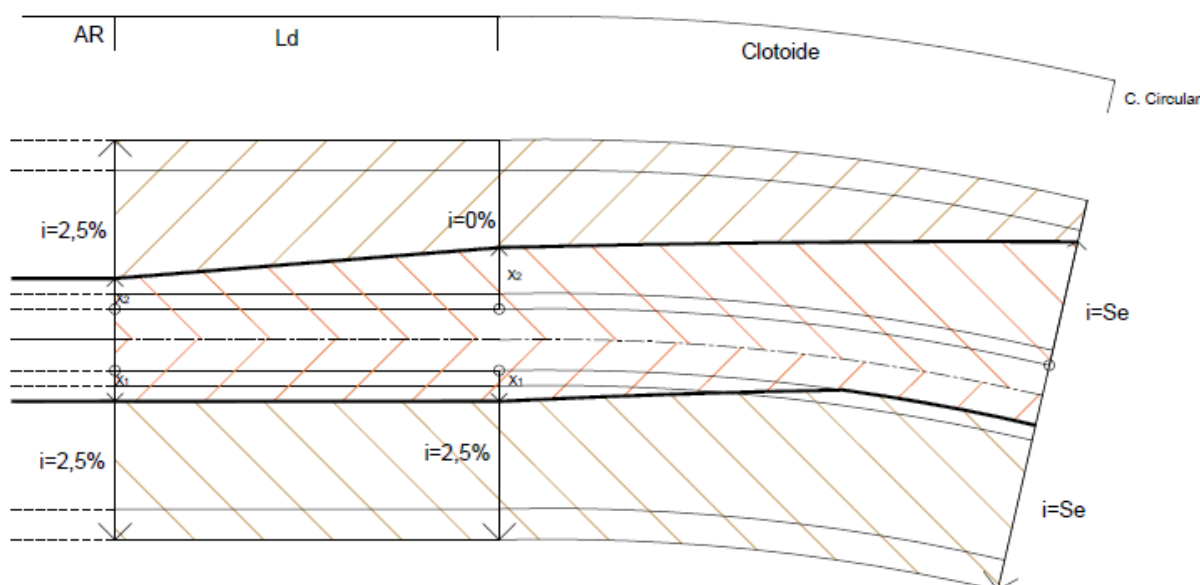


Figura 3.12 – Planta para caso particular com sobrelevações inferiores a 6%, utilizando o método do professor França para estradas com 2 faixas de rodagem e dreno sob o separador central.

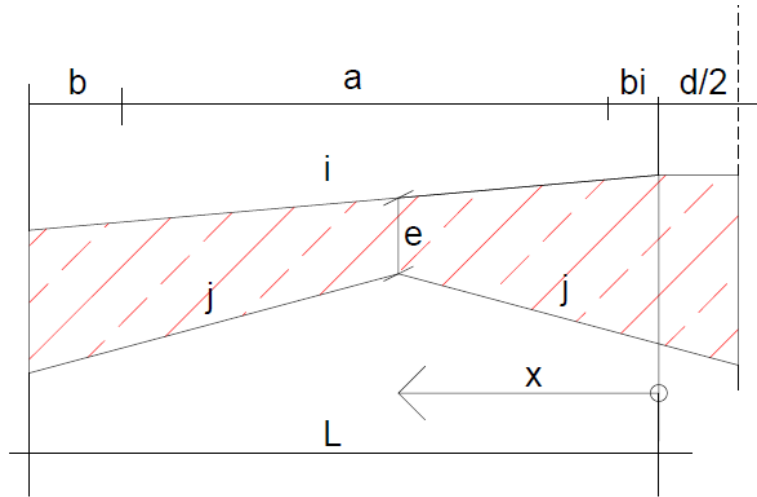


Figura 3.13 – Perfil transversal tipo da camada de transição, representação de uma das duas semi-plataformas

Expõem-se de seguida as expressões para o cálculo da área dos perfis transversais da camada de transição e correspondentes expressões para a determinação da posição do ponto de controle, segundo este método (com uma pequena adaptação para separar as expressões para das semi-plataformas de intradorso e extradorso):

$$A = \left(e * \left(l + \frac{d}{2} \right) + \frac{d^2}{8} * \gamma \right) + \frac{(\gamma+i)*(l-x)^2}{2} + \frac{(\gamma-i)*x^2}{2} + (\gamma - i) * x * \frac{d}{2} \quad (3.8)$$

Nova expressão da área dos perfis transversais da semi-plataforma de intradorso:

$$A1 = \left(e * \left(l + \frac{d}{2} \right) + \frac{d^2}{8} * \gamma \right) + \frac{(\gamma+i1)*(l-x1)^2}{2} + \frac{(\gamma-i1)*x1^2}{2} + (\gamma - i1) * x1 * \frac{d}{2} \quad (3.9)$$

Nova expressão da área dos perfis transversais da semi-plataforma de extradorso:

$$A2 = \left(e * \left(l + \frac{d}{2} \right) + \frac{d^2}{8} * \gamma \right) + \frac{(\gamma+i2)*(l-x2)^2}{2} + \frac{(\gamma-i2)*x2^2}{2} + (\gamma - i2) * x2 * \frac{d}{2} \quad (3.10)$$

Expressão para a determinação da posição do ponto de controle:

$$x = \frac{(\gamma+i)*l}{2\gamma} - \frac{(\gamma-i)*d}{4\gamma} \quad (3.11)$$

Nova expressão para a determinação da posição do ponto de controle na semi-plataforma de intradorso:

$$x1 = \frac{(\gamma+i1)*l}{2\gamma} - \frac{(\gamma-i1)*d}{4\gamma} \quad (3.12)$$

Nova expressão para a determinação da posição do ponto de controle na semi-plataforma de extradorso:

$$x2 = \frac{(\gamma+i2)*l}{2\gamma} - \frac{(\gamma-i2)*d}{4\gamma} \quad (3.13)$$

- A1 [m²] – Área do perfil transversal da semi-plataforma interior, incluindo parte do separador central
A2 [m²] – Área do perfil transversal da semi-plataforma exterior, incluindo parte do separador central
x1 [m] – Distância do ponto de controle ao limite do separador central, na semiplataforma interior
x2 [m] – Distância do ponto de controle ao limite do separador central, na semiplataforma exterior
e [m] – Espessura da camada de transição com valor definido em projecto
l [m] – Largura da faixa de rodagem bermas
d [m] – Largura do separador central
b[m] – Largura da berma exterior
bi[m] – Largura da berma interior
 γ [°] – Valor absoluto da inclinação transversal da superfície de terraplenagens
i1 [°] – Inclinação transversal da faixa de intradorso
i2 [°] – Inclinação transversal da faixa de extradorso

3.3.4. MÉTODO PROPOSTO

À semelhança do método proposto para estradas de 1 faixa de rodagem com 3 fronteiras drenantes, parte-se da ideia de explorar a possibilidade de aumentar o número de fronteiras drenantes existentes na estrada.

Neste caso, para além das 3 fronteiras drenantes, consideradas para os métodos (3.3.1) e (3.3.2), criam-se mais duas fronteiras drenantes, localizadas sob os eixos das faixas de rodagem.

Aproveitando o facto de cada uma das faixas ter, pelo menos, a largura de toda a faixa de uma estrada de 2 vias de 2 sentidos, faz-se esta correspondência com o método proposto com 3 drenos para estradas de uma faixa de rodagem.

Admitem-se assim a existência de 4 pontos de controle na totalidade da estrada.

Portanto, salvaguardando-se as diferenças na geometria do traçado, no comportamento da inclinação superficial entre uma estrada com uma faixa e com duas faixas de rodagem, assim como a existência do separador central e o facto de as bermas exteriores terem larguras diferentes das interiores, representam-se nas figuras 3.14, 3.15 e 3.16, as plantas tipo para $S_e \geq 6\%$, $S_e < 6\%$ e o perfil transversal tipo da camada de transição.

Os pontos de controle das terraplenagens determinar-se-ão pelo mesmo princípio do método proposto para uma faixa de rodagem, ou seja, minimizar a função área, otimizando a posição dos pontos de controle ao longo da estrada em relação a um plano referencial, determinando X_i derivando a função área em ordem a X_i e igualando a zero.

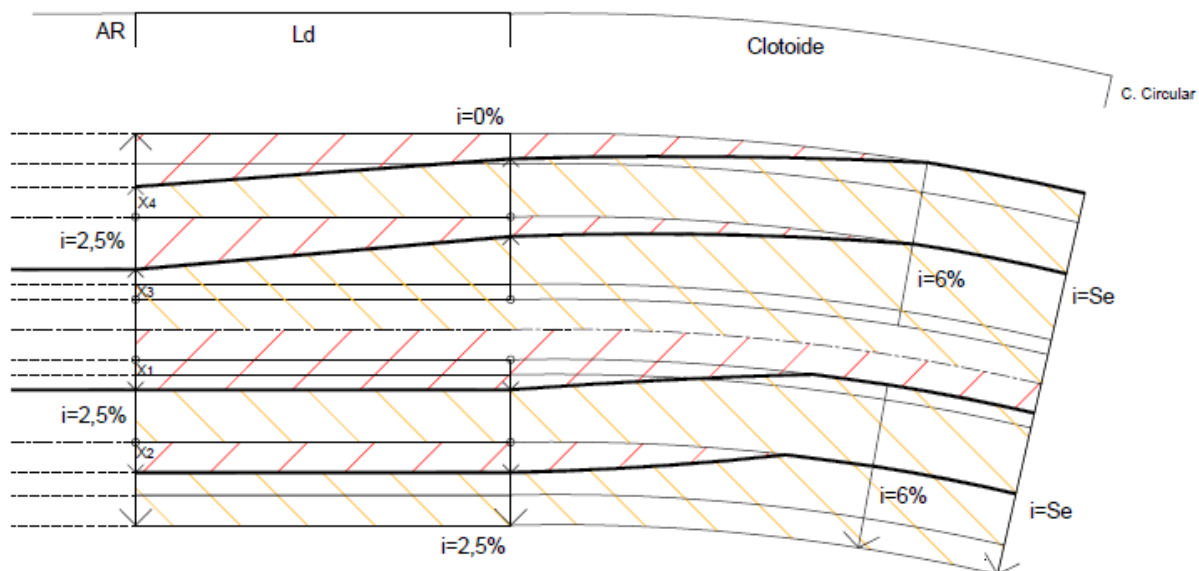


Figura 3.14 – Planta tipo para sobrelevações iguais ou superiores a 6%, utilizando o método proposto para estradas de 2 faixas de rodagem com 5 fronteiras drenantes.

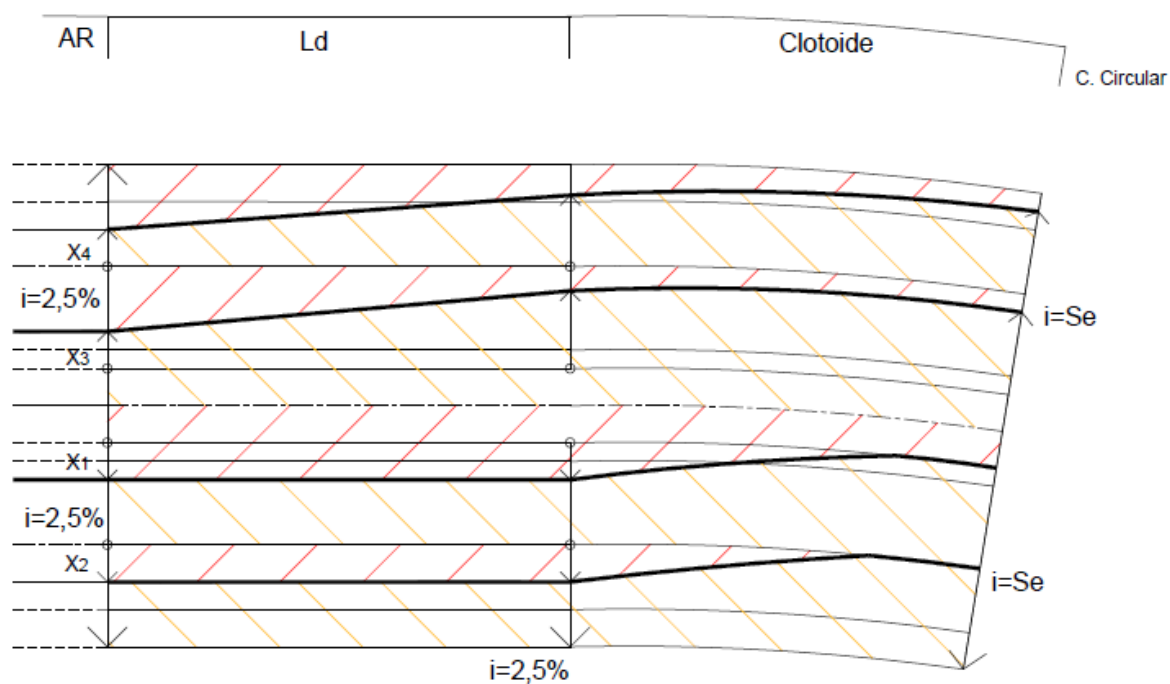


Figura 3.15 – Planta tipo para caso particular com sobrelevações inferiores a 6%, utilizando o método proposto para estradas de 2 faixas de rodagem com 5 fronteiras drenantes.

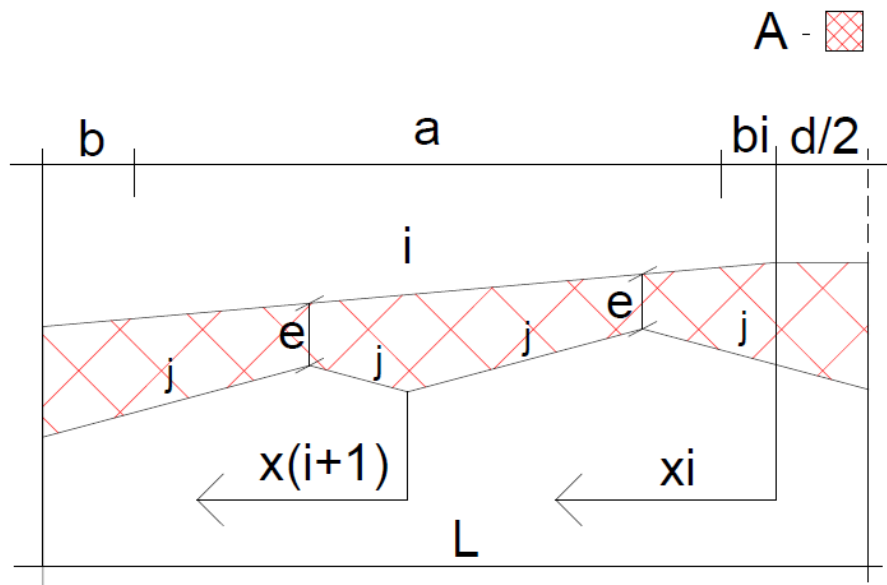


Figura 3.16 – Perfil transversal tipo da camada de transição para o método proposto para estradas de 2 faixas de rodagem e 5 fronteiras drenantes – representação de uma das faixas

$A[m^2]$ – Área do perfil transversal da camada de transição da semiplataforma da estrada

$x_i [m]$ – distância do ponto de controle “i” ao referencial respetivo.

$e [m]$ – Espessura da camada de transição com valor definido em projecto

$l [m]$ – Largura da faixa de rodagem bermas

$d [m]$ – Largura do separador central

$b[m]$ – Largura da berma exterior

$bi[m]$ – Largura da berma interior

$\gamma []$ – Valor absoluto da inclinação transversal da superfície de terraplenagens

$i []$ – Inclinação transversal da faixa de rodagem

3.4. PIQUETAGEM DOS PONTOS DE CONTROLE DAS TERRAPLENAGENS

A implantação dos pontos de controle de terraplenagens faz-se facilmente para os métodos clássicos, já que nestes métodos o ponto de controle têm um comportamento linear em planta.

Logo, nestes casos, trata-se duma simples união de pontos (planta), realizada segundo os pontos notáveis, isto é, sempre que há transições nas componentes da estrada.

Nos métodos propostos não se vai ter em conta a necessidade de piquetar a linha definida pela posição do ponto de controle da estrada de “x em x” metros, porque na prática, seria o que se realizaria, mas pode prejudicar os resultados dos métodos propostos .

Pretende-se assim obter um valor bastante próximo do possível com a utilização dos métodos propostos (como se se piquetasse uma linha continua).

Se a linha definida pelo ponto de controle for reta como nos casos clássicos não haverá qualquer “desotimização” provocada pela piquetagem nestes métodos. No caso de ser curva, o ideal seria definir o maior número de pontos da curva no terreno para não diferenciar muito do definido nos métodos propostos.

4

DEDUÇÃO DAS SOLUÇÕES PROPOSTAS

4.1. SOLUÇÕES PROPOSTAS PARA ESTRADAS COM UMA FAIXA DE RODAGEM

4.1.1. INTRODUÇÃO

Começa-se pela determinação/dedução analítica das expressões da área dos perfis transversais da camada de transição ao longo da estrada para os métodos propostos relativos a estradas de 1 faixa de rodagem com duas fronteiras drenantes ao qual se seguirá o estudo de idêntica plataforma com 3 fronteiras drenantes.

Concluído este assunto, dedicar-se-á atenção às estradas com duas faixas de rodagem.

4.1.2. ESTRADAS DE 1 FAIXA DE RODAGEM COM 2 FRONTEIRAS DRENANTES

4.1.2.1. Dedução da formula geral da área

Determinar-se-á a função da área, suscetível de ser usada para todas as estradas com os elementos representados na figura 4.1, correspondentes ao perfil transversal que é normalmente utilizado em estradas de uma faixa de rodagem.

A inclinação positiva é a admitida para as vias de intradorso, ou seja, a inclinação das vias de intradorso são sempre positivas e a inclinação das vias de extradorso são negativas até assumirem uma inclinação com o sinal das vias de intradorso.

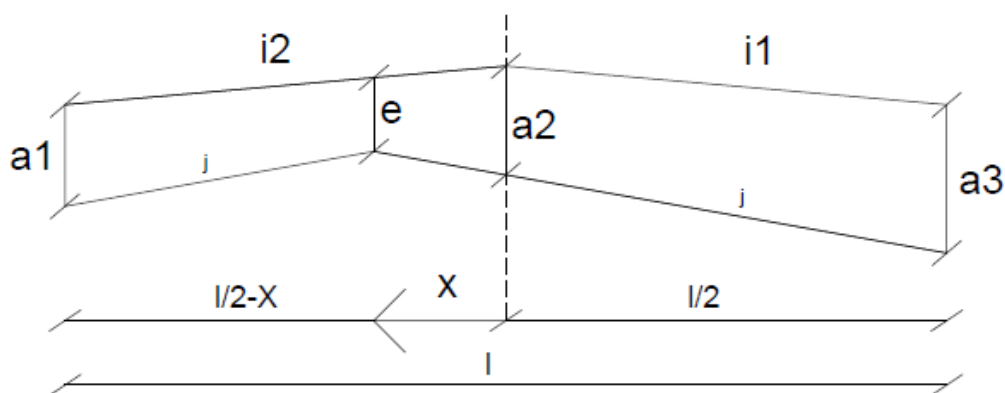


Figura 4.1 – Perfil transversal da camada de transição considerado para o método proposto para estradas de 1 faixa de rodagem – representa a área a minimizar

$$a1 = e + \left(\frac{l}{2} - x\right) * (\gamma + i2) \quad (4.1)$$

$$a2 = e + x * (\gamma - i2) \quad (4.2)$$

$$a3 = e + x * (\gamma - i2) + \frac{1}{2} * (\gamma - i1) \quad (4.3)$$

$$A = \frac{a1 + e}{2} * \left(\frac{l}{2} - x\right) + \frac{e + a2}{2} * x + \frac{a3 + a2}{2} * l/2$$

$$A = e * \frac{l}{2} + \frac{l^2}{8} * (\gamma - i1) + \frac{l}{2} * x * (\gamma - i2) + \frac{x^2 * (\gamma - i2)}{2} + \frac{\left(\frac{l}{2} - x\right)^2 * (\gamma + i2)}{2}$$

$$A = e * l + \frac{l^2}{8} * (2 * \gamma - i1 + i2) - l * x * i2 + x^2 * \gamma \quad (4.4)$$

A função da área é uma função parabólica de concavidade voltada para cima, de valor constante em alinhamento reto, fora da zona de Ld, já que os perfis transversais são iguais ao longo deste desenvolvimento da estrada, mas cujo valor começará a variar desde a osculação da zona corrente do alinhamento reto com a zona de Ld até entrar na curva circular, sendo constante em curva circular, já que serão constantes os perfis transversais ao longo da curva circular.

4.1.2.2. Distância “x”, do ponto de controle ao eixo da faixa de rodagem

Distância em planta do ponto de controle ao plano de referência, correspondente ao eixo da faixa:

$$\begin{aligned} \frac{dA}{dx} &= 0 \\ (=) -l * i2 + 2 * x * \gamma &= 0 \end{aligned}$$

Resolvendo-se em ordem a “x” vem:

$$x = \frac{l * i2}{2\gamma} \quad (4.5)$$

Simbologia:

A [m²]- Área do perfil transversal da camada de transição entre as superfícies da terraplenagem e o pavimento

i2 [] – Inclinação transversal das vias de extradorso

i1 [] – Inclinação transversal das vias de intradorso

e [m] – Espessura da camada de transição com valor definido em projecto

x [m] – Distância do ponto de controle das terraplenagens ao eixo da faixa de rodagem

l [m] – Largura da faixa de rodagem mais bermas

j [] – Inclinação transversal da superfície da terraplenagem

γ [] - Valor absoluto da inclinação transversal da superfície de terraplenagens

4.1.2.3. Localização do ponto de controle em planta para o método proposto com 2 fronteiras drenantes

Nas Figuras 4.2 e 4.3 apresentam-se as posições que o ponto de controle assume ao longo da estrada. Realçando as posições e determinando os valores deste nos perfis osculadores entre fases, para isso assume-se para “ i_2 ” os seguintes valores na expressão (4.5) :

$$i_2 = -2,50\%, \text{ em AR exceto zona de } L_d$$

$$-2,50\% < i_2 < 2,50\%, \text{ em AR, na zona de } L_d$$

$$2,50\% < i_2 < Se, \text{ Para } Se < 6\%, \text{ em Curva Composta, na Clotoide (fig. 4.3)}$$

$$2,50\% < i_2 < 6\%, \text{ Para } Se > 6\%, \text{ em Curva Composta, na Clotoide (com } X = \frac{l}{2} \text{ para:}$$

$$6\% < i_2 < Se) \text{ (fig. 4.2)}$$

$$i_2 = Se, \text{ em Curva Composta, na Curva Circular}$$

$$\text{Com } \gamma = \text{constante e igual a } 6\%$$

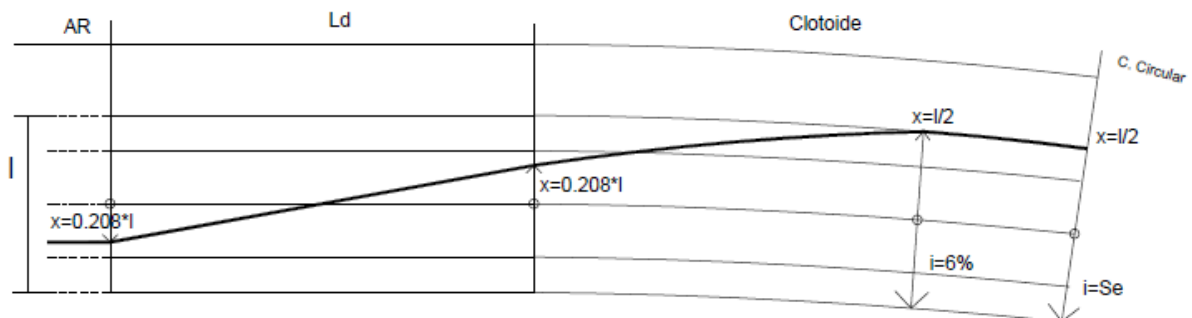


Figura 4.2 – Planta com a posição do ponto de controle no método proposto para estradas de 1 faixa de rodagem com 2 fronteiras drenantes – para $Se \geq 6\%$

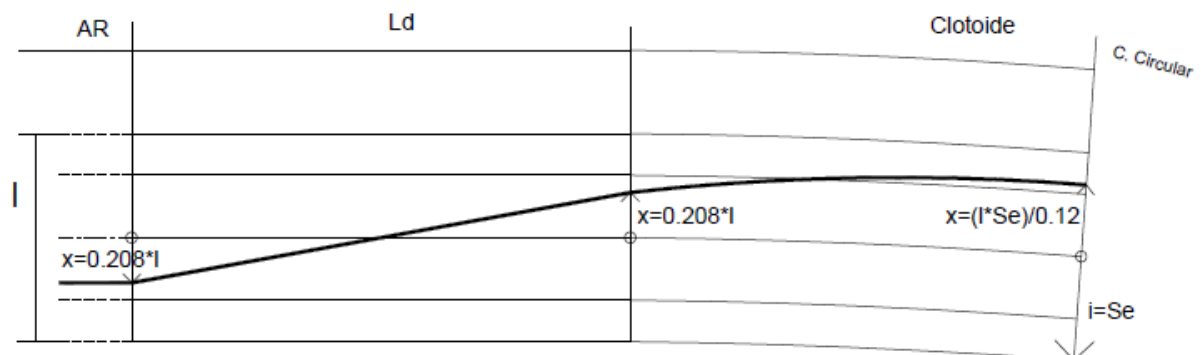


Figura 4.3 –Planta com a posição do ponto de controle no método proposto para estradas de 1 faixa de rodagem com 2 fronteiras drenantes – para $Se < 6\%$

Substituindo-se na função da área, o valor de “x” ao longo das zonas da estrada em estudo (alinhamento reto, corrente e em zona de Ld, Clotóide e Curva Circular) para as inclinações transversais das vias de intradorso e extradorso pretendidas, determina-se o valor da área dos perfis transversais da camada de transição.

4.1.2.4. Valores da área dos perfis transversais da camada de transição

Os gráficos 4.1 e 4.2 representam a evolução dos mínimos da função área para faixas de 1+1 e 2+2 vias, neste método, com larguras de plataforma de 12,5m e 20m respectivamente. [7]

Estes gráficos apresentam a evolução dos valores mínimos da função área dos perfis transversais da camada de transição, tendo como variável nos eixo das abcissas a inclinação das vias de extradorso (i_2), já que esta inclinação faz a correspondência direta entre as componentes analisadas e no eixo das ordenadas estão os valores correspondentes das áreas dos perfis.

A função representada no gráfico é uma aproximação parabólica com dois ramos, um para a zona de disfarce de sobrelevação e outro para a curva, aos valores da área da camada de transição determinados para variações (incrementos) de 0,10% na inclinação transversal do pavimento, este meio de aproximação da função área será o utilizado para todos os métodos relativos a estradas com 1 faixa de rodagem.

A área dos perfis transversais da camada de transição em alinhamento reto antes da zona de Ld é constante e igual à área do primeiro perfil da zona de Ld, com i_2 igual a -2,5%.

Está também representada a evolução do valor da área desde esse primeiro perfil transversal, até um perfil transversal correspondente a uma sobrelevação máxima de 7% [7], sendo que, nos casos em que a sobrelevação for inferior a esse valor, a área do último perfil da clotóide será a correspondente a uma inclinação “ i_2 ” igual a “ Se ” inferior a 7%, que será igual ao último perfil da clotóide e constante ao longo da curva circular.

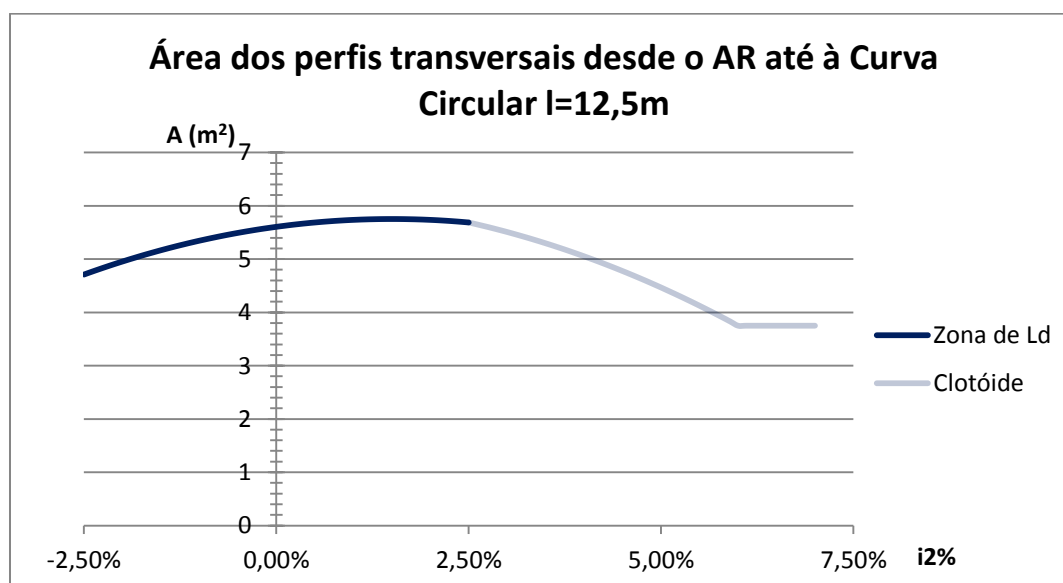


Gráfico 4.1 – Evolução aproximada da área dos perfis transversais da camada de transição no método proposto com 2 fronteiras drenantes ao longo das diferentes componentes da estrada em estudo para 2 vias.

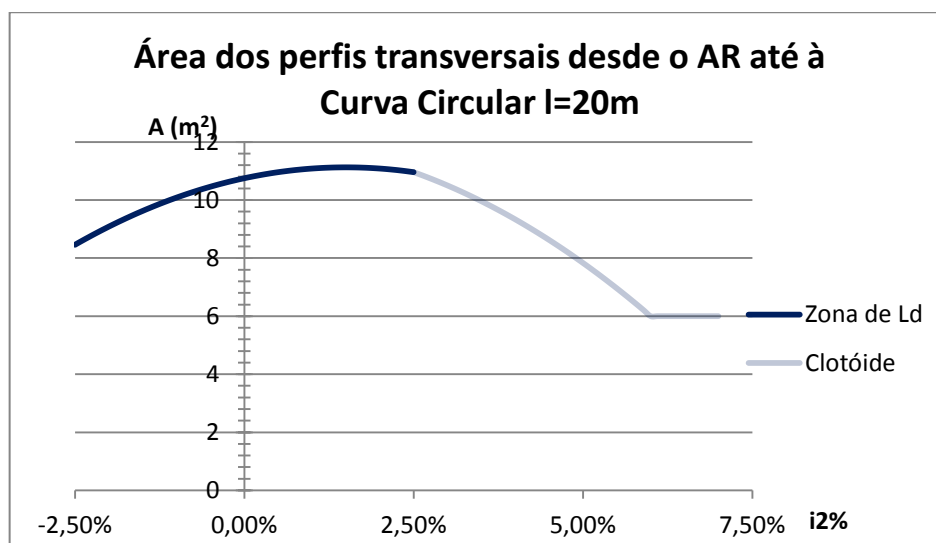


Gráfico 4.2 – Evolução aproximada da área dos perfis transversais da camada de transição no método proposto com 2 fronteiras drenantes, ao longo das diferentes componentes da estrada em estudo para 4 vias.

4.1.3. ESTRADAS DE 1 FAIXA DE RODAGEM COM TRÊS FRONTEIRAS DRENANTES

4.1.3.1. Introdução

A introdução de um terceiro dreno sob a superfície das terraplenagens, origina a necessidade da separação entre as vias de intradorso e de extradorso, porque nesta situação existem dois pontos de controle das terraplenagens, logo vai-se otimizar a posição dos pontos de controle separadamente, minimizando a área da total da camada de transição, através da minimização das duas áreas afetas às vias de intradorso e de extradorso.

Na figura 4.4 realçam-se as áreas dos perfis transversais da camada de transição, $A1$ e $A2$, localizadas sob as vias de intradorso e extradorso, respetivamente, que se pretendem ver minimizadas.

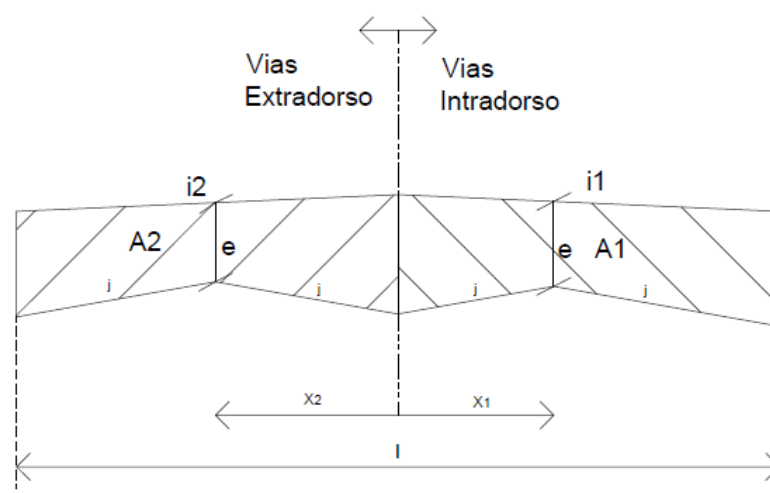


Figura 4.4 – Perfil transversal da camada de transição, separação pelo eixo da faixa de rodagem nas áreas $A1$ e $A2$.

4.1.3.2. Perfil transversal da camada de transição sob as vias de intradorso

A figura 4.5 contém os elementos geométricos, específicos do perfil transversal da camada de transição, sob as vias de intradorso, considerados na realização deste método proposto.

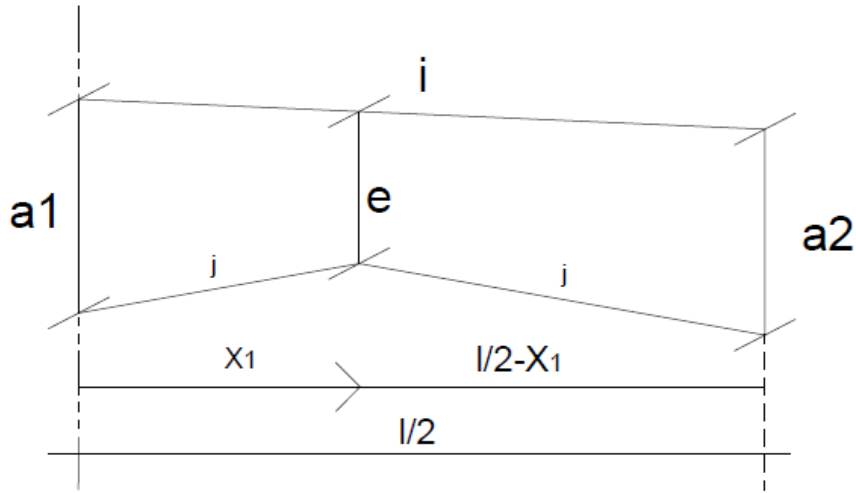


Figura 4.5 – Perfil transversal da camada de transição no método proposto com 3 fronteiras drenantes na semiplataforma de intradorso

4.1.3.2.1. Dedução da formula geral da área do perfil transversal, "A1", da camada de transição sob as vias de intradorso

$$a1 = e + x1 * (\gamma + i) \quad (4.6)$$

$$a2 = e + \left(\frac{l}{2} - x1\right) * (\gamma - i) \quad (4.7)$$

$$A1 = \frac{a1+e}{2} * x1 + \frac{e+a2}{2} * \left(\frac{l}{2} - x1\right) \quad (4.8)$$

$$A1 = e * \frac{l}{2} + \frac{x1^2 * (\gamma + i1)}{2} + \frac{\left(\frac{l}{2} - x1\right)^2 * (\gamma - i1)}{2}$$

$$A1 = \frac{l}{2} * \left(e + \frac{l}{4} * (\gamma - i1)\right) - \frac{x1 * l * (\gamma - i1)}{2} + x1^2 * \gamma \quad (4.9)$$

4.1.3.2.2. Distância "x1", do ponto de controle das terraplenagens, ao eixo da faixa de rodagem

$$\frac{dA1}{dx1} = 0$$

$$-\frac{l * (\gamma - i1)}{2} + 2 * x1 * \gamma = 0$$

$$x1 = \frac{l * (\gamma - i1)}{4 * \gamma} \quad (4.10)$$

4.1.3.3. Perfil transversal da camada de transição sob as vias de extradorso

A figura 4.6 corresponde à representação da área da camada de transição sob as vias de extradorso, contendo as características do perfil transversal da plataforma necessárias à determinação segundo o método proposto para 3 fronteiras drenantes.

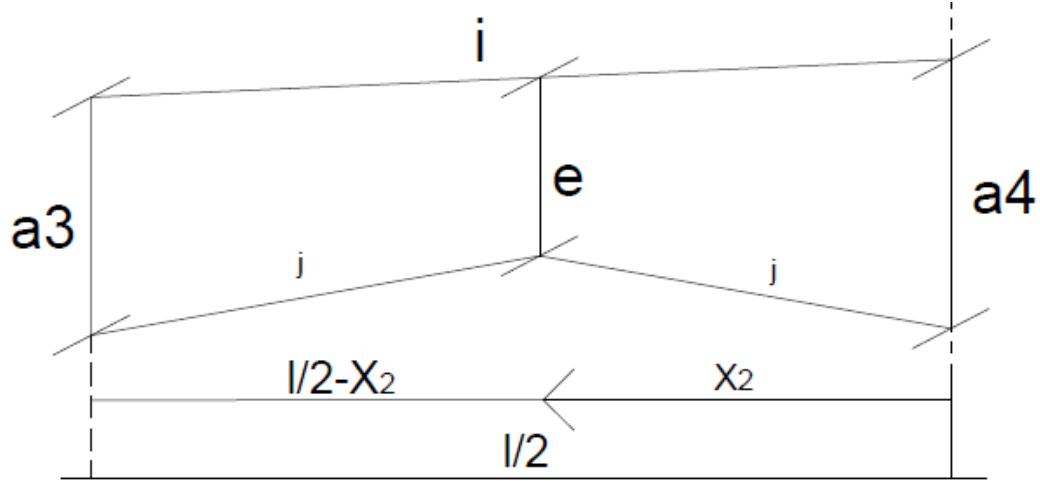


Figura 4.6 – Perfil transversal da camada de transição no método proposto com 3 fronteiras drenantes na semiplataforma de extradorso

4.1.3.3.1. Dedução da formula geral da área do perfil transversal, "A2", da camada de transição sob as vias de extradorso

$$a3 = e + \left(\frac{l}{2} - x2\right) * (\gamma + i2) \quad (4.11)$$

$$a4 = e + x2 * (\gamma - i2) \quad (4.12)$$

Então:

$$A2 = \frac{a3+e}{2} * \left(\frac{l}{2} - x\right) + \frac{e+a4}{2} * x2 \quad (4.13)$$

$$A2 = e * \frac{l}{2} + \frac{\left(\frac{l}{2} - x2\right)^2 * (\gamma + i2)}{2} + \frac{x2^2 * (\gamma - i2)}{2}$$

$$A2 = \frac{l}{2} * \left(e + \frac{l}{4} * (\gamma + i2)\right) - x2 * \frac{l}{2} * (\gamma + i2) + x2^2 * \gamma \quad (4.13)$$

4.1.3.3.2. Distância "x2", do ponto de controle das terraplenagens ao eixo da faixa de rodagem

$$\frac{dA2}{dx2} = 0$$

$$-\frac{l}{2} * (\gamma + i2) + 2 * x2 * \gamma = 0$$

$$x2 = \frac{l * (\gamma + i2)}{4 * \gamma} \quad (4.14)$$

Simbologia:

$A1[m^2]$ – Área do perfil transversal da camada de transição associada à semiplataforma de intradorso

$A2[m^2]$ - Área do perfil transversal da camada de transição associada à semiplataforma de extradorso

$x1 [m]$ – Distância do ponto de controle, localizado sob as vias de intradorso, ao eixo da faixa de rodagem

$x2 [m]$ – Distância do ponto de controle, localizado sob as vias de extradorso, ao eixo da faixa de rodagem

$e [m]$ – Espessura da camada de transição com valor definido em projecto

$l [m]$ – Largura da faixa de rodagem mais bermas

$i1 []$ – Inclinação transversal da superfície do pavimento das vias de intradorso

$i2 []$ – Inclinação transversal da superfície do pavimento das vias de extradorso

$j []$ – Inclinação transversal da superfície das terraplenagens

$\gamma []$ - Valor absoluto da inclinação transversal da superfície de terraplenagens

4.1.3.4. Localização dos pontos de controle em planta para o método proposto com 3 fronteiras drenantes

Nas Figuras 4.7 e 4.8 apresentam-se as posições dos pontos de controle de terraplenagem em planta, assim como, a marcação dos valores da distância destes ao eixo, para as vias de intradorso e extradorso, em locais de transição entre fases da estrada e outros relevantes.

Então com sendo $i1$ e $i2$ a inclinação para as vias de intradorso e extradorso, respetivamente, tomaram-se os seguintes valores correspondentes aos pontos notáveis na realização das plantas:

$$i1 = 2,5\% \text{ em AR}$$

$$2,5\% \leq i1 \leq 6\% \text{ em clotoide, com } Se \geq 6\% \text{ e } X1 = 0 \text{ para: } 6\% \leq i1 \leq Se \text{ (fig. 4.7).}$$

$$2,5\% \leq i1 \leq Se \text{ em clotóide, com } Se \leq 6\% \text{ (fig. 4.8)}$$

$$i1 = Se \text{ em Curva Circular}$$

$$\gamma = 6\% \text{ para todo o traçado}$$

$$i2 = -2,5\% \text{ em AR, exceto zona de Ld}$$

$$-2,5\% \leq i2 \leq 2,5\%, \text{ em AR, na zona de Ld}$$

$$2,5\% \leq i2 \leq 6\% \text{ em clotoide, com } Se \geq 6\% \text{ e } X2 = \frac{l}{2}$$

$$\text{para: } 6\% \leq i2 \leq Se \text{ (fig. 4.7)}$$

$$2,5\% \leq i2 \leq Se \text{ em clotóide, com } Se \leq 6\% \text{ (fig. 4.8)}$$

$$i2 = Se \text{ em Curva Circular}$$

$$\gamma = 6\% \text{ para todo o traçado}$$

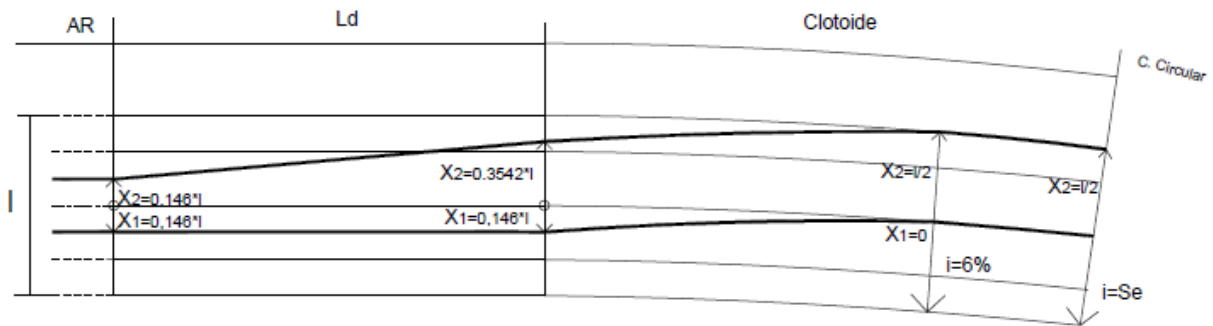


Figura 4.7 – Planta com a posição do ponto de controle ao longo das zonas da estrada consideradas para o método proposto com 3 fronteiras drenantes, $Se > 6\%$

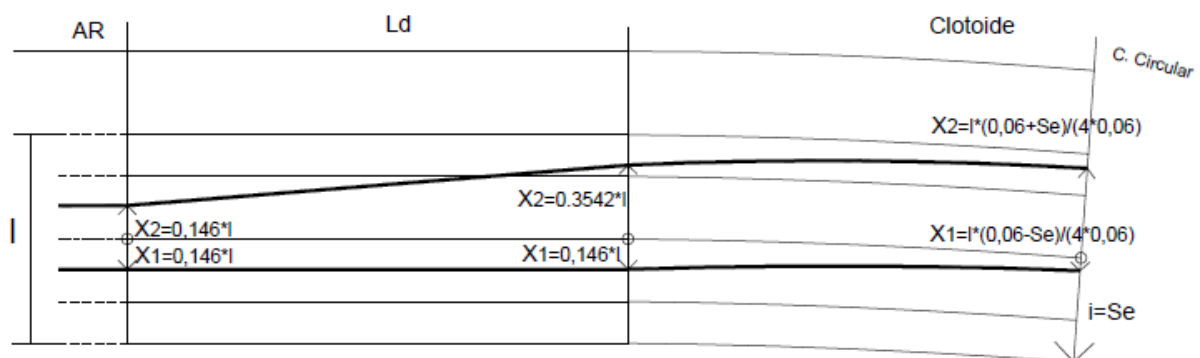


Figura 4.8 – Planta com a posição do ponto de controle ao longo das zonas da estrada consideradas, para o método proposto com 3 fronteiras drenantes, $Se < 6\%$

4.1.3.5. Valores da área dos perfis transversais da camada de transição

Nos gráficos 4.3 e 4.4 apresenta-se a evolução da área dos perfis transversais neste método, para 2 e 4 vias, ao longo da estrada, sendo que está feita a separação entre alinhamento reto, na zona de Ld e Curva Composta. No eixo das abscissas tem-se como variável a inclinação das vias de extradorso, já que a variação dessa inclinação, define com clareza as fases em estudo da estrada em planta.

$$i_2 = -2,5\%, \text{ para Alinhamento Reto em zona corrente}$$

$$-2,5\% < i_2 < 2,5\%, \text{ para Alinhamento Reto em zona de Ld}$$

$$2,5 < i_2 < Se, \text{ para Clotóide}$$

$$i_2 = Se, \text{ para curva Circular}$$

No eixo das ordenadas representam-se os valores da área do perfil transversal da camada de transição para a estrada, ao longo das varias componentes, somando as áreas correspondentes às semiplatformas de intradorso e extradorso, que são determinadas independentemente.

A área dos perfis transversais da camada de transição em alinhamento reto antes da zona de Ld é constante e igual à área do primeiro perfil da zona de Ld, com i_2 igual a $-2,5\%$.

Está também representada a evolução do valor da área desde esse primeiro perfil transversal até um perfil transversal correspondente a uma sobreelevação máxima de 7% , sendo que, nos casos em que a sobreelevação for inferior a esse valor, a área do último perfil da clotóide será a correspondente a uma

inclinação “ i_2 ” igual a “ Se ” inferior a 7%, e mantem-se com esse valor constante ao longo da curva circular.

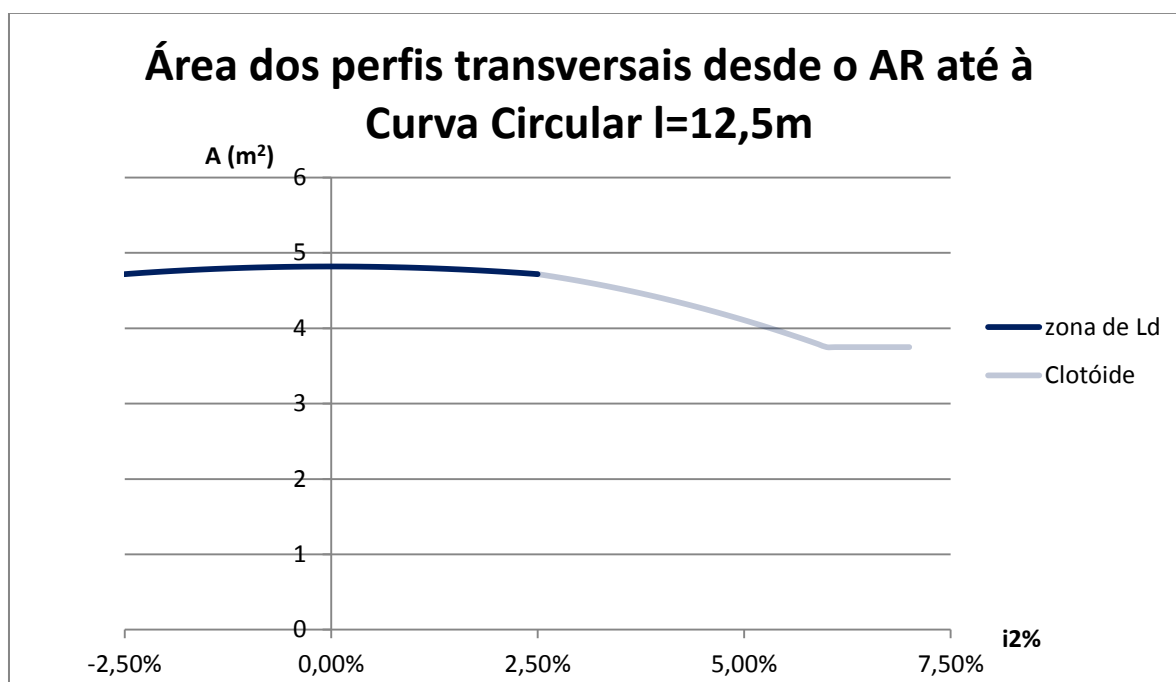


Gráfico 4.3 – Valores da área do perfil transversal da camada de transição da estrada com 2 vias e 3 fronteiras drenantes.

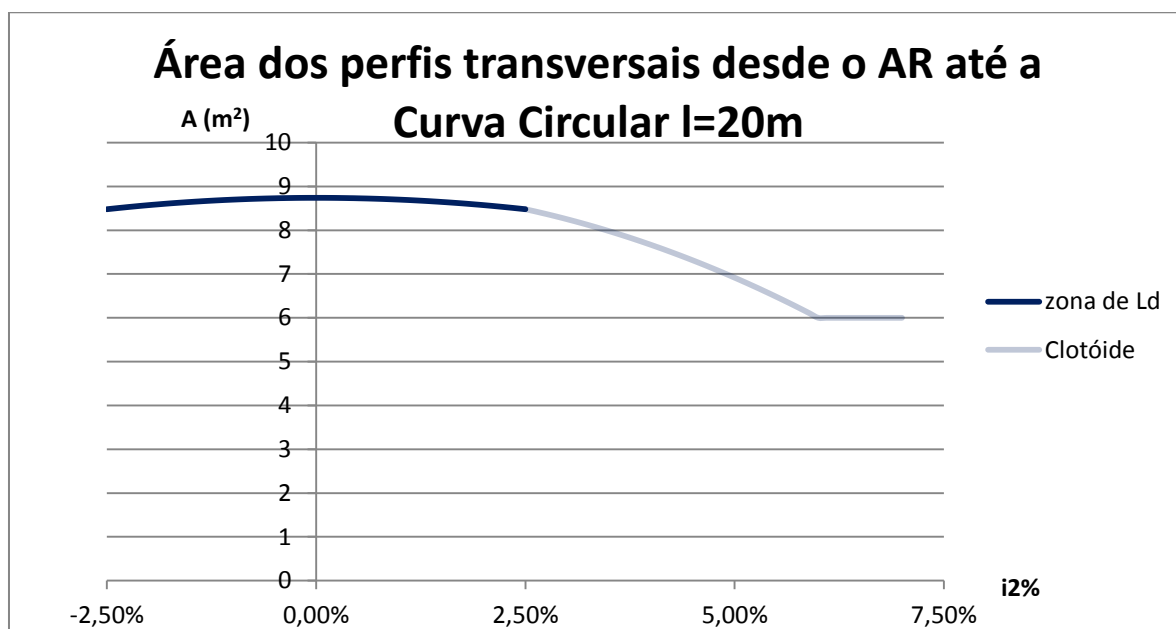


Gráfico 4.4 – Valores da área do perfil transversal da camada de transição da estrada com 4 vias e 3 fronteiras drenantes.

4.1.3.6. Compatibilização de cotas da superfície de terraplenagem entre vias de intradorso e extradorso ao longo do dreno central

Existindo um dreno, coletor longitudinal, sob o eixo da faixa de rodagem, cria-se a necessidade de que, tanto as superfícies de terraplenagem que ficam para o interior como para exterior da plataforma tenham a mesma cota quando atingem o dreno central, para que não haja desfasamentos e se inviabilize a drenagem.

Então torna-se fulcral compatibilizar as cotas da superfície de terraplenagem associada às vias intradorso com as da superfície de terraplenagem associada às vias de extradorso.

Para isso, tem que se alterar o valor da inclinação da superfície das terraplenagens forçando-se a que a cota sobre o dreno central seja a mesma num lado e no outro.

A figura 4.9 destaca os pontos cujas cotas são relevantes.

Tomar-se-á como referência a cota do ponto A, na cotagem no plano transversal.

Repare-se que será feito um ajuste de inclinações na superfície de terraplenagens diretamente ligada ao órgão de drenagem, contudo não é mandatário que assim seja, podendo-se reajustar as inclinações mais exteriores simultaneamente, desde que a cota do ponto E e outros que sejam alterados estejam corretamente definidas, simplesmente é mais fácil desta forma.

Neste caso procura-se forçar $j1$ ou $j2$ a ser igual a 6%, determinando a outra inclinação em função disso. Sendo que será forçado a ser igual a 6% a inclinação que das duas for a menor, nas diferentes fases da estrada, para se manter uma superfície de terraplenagem com a inclinação transversal de pelo menos 6% em todo o seu percurso.

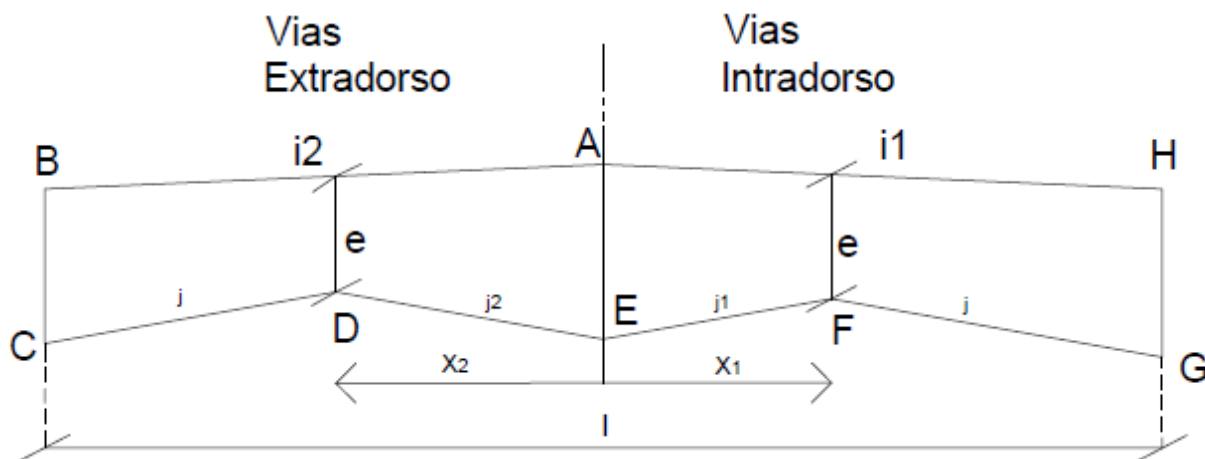


Figura 4.9 – Perfil transversal da camada de transição da estrada com 3 fronteiras drenantes e representação dos pontos relevantes

$J1$ [] – Inclinação da superfície de terraplenagens ajustada

$J2$ [] – Inclinação da superfície de terraplenagens ajustada

$\gamma1$ [] – Valor absoluto da inclinação da superfície de terraplenagens ajustada ($|J1|$).

$\gamma2$ [] – Valor absoluto da inclinação da superfície de terraplenagens ajustada ($|J2|$).

Cotas relativas dos pontos:

Vias de Extradorso:

$$hA = hA \quad (4.15)$$

$$hB = hA + i2 * \frac{l}{2} \quad (4.16)$$

$$hC = hB - \left[e + \left(\frac{l}{2} - x2 \right) * (\gamma + i2) \right] \quad (4.17)$$

$$hD = hA + i2 * x2 - e \quad (4.18)$$

$$hE2 = hA - [e + x2 * (\gamma2 - i2)] \quad (4.19)$$

Vias de Intradorso:

$$hE1 = hA - [e + x1 * (\gamma1 + i1)] \quad (4.20)$$

$$hF = hA - x1 * i1 - e \quad (4.21)$$

$$hH = hA - i1 * \frac{l}{2} \quad (4.22)$$

$$hG = hH - \left[e + \left(\frac{l}{2} - x1 \right) * (\gamma - i1) \right] \quad (4.23)$$

hA a hE [m]– Cotas dos pontos A até E, respetivamente

hE1 [m] – Cota do ponto é pelo intradorso

hE2 [m] – Cota do ponto é pelo extradorso

Como se pode verificar, em causa está a cota do ponto E, que terá que tomar valores iguais tanto tomando como referência o Intradorso (hE1) e o Extradorso (hE2), fazendo-se variar o valor de $\gamma1$ ou $\gamma2$.

Esta compatibilização ter-se-á que realizar separando-se a estrada nas diferentes componentes em análise, ou seja, dividindo em alinhamento reto, excluindo zona de Ld; alinhamento reto, na zona de Ld e clotóide/curva circular.

Determinando-se a relação entre $\gamma1$ e $\gamma2$:

Relação entre $x1$ (4.10) e $x2$ (4.14):

$$\frac{x1}{x2} = \frac{l * \frac{\gamma - i1}{4 * \gamma}}{l * \frac{\gamma + i2}{4 * \gamma}}$$

$$x1 = \frac{\gamma - i1}{\gamma + i2} * x2 \quad (4.24)$$

Igualando as cotas do intradorso com o extradorso:

$$\begin{aligned} hE1 &= hE2 \\ x1 * (\gamma1 + i1) &= x2 * (\gamma2 - i2) \end{aligned} \quad (4.25)$$

Substituindo $x1$ pela equação (4.24) obtém-se a equação que relaciona $\gamma1$ com $\gamma2$:

$$(\gamma - i1)(\gamma1 + i1) = (\gamma + i2) * (\gamma2 - i2)$$

$$\gamma1 = \frac{\gamma2 * (\gamma + i2) - i2 * (\gamma + i2)}{\gamma - i1} - i1 \quad (4.26)$$

4.1.3.6.1. Em alinhamento reto, excluindo zona de disfarce de sobrelevação
Neste caso:

$$i1 = 2,5\%$$

$$i2 = -2,5\%$$

$$\gamma = 6\%$$

Resultando segundo a equação dos (4.26) e substituindo os valores acima:

$$\gamma1 = \gamma2 = 6\%$$

Então não se verifica a necessidade de alterar a inclinação da superfície das terraplenagens em Alinhamento Reto, fora da zona de Ld, aliás à imagem do que se esperava devido à simetria entre o intradorso e extradorso em relação ao eixo da estrada.

4.1.3.6.2. Em alinhamento reto, em zona de disfarce de sobrelevação

Aqui tem-se:

$$i1 = 2,5\%$$

$$-2,5\% \leq i2 \leq 2,5\%$$

$$i1 \geq |i2|$$

Recorrendo à equação dos (4.26) e substituindo os valores acima:

$$\gamma1 \geq \gamma2$$

Neste caso, a inclinação $\gamma1$ é superior à inclinação $\gamma2$, em toda a zona de Ld, excetuando o seu ponto inicial e final, onde $\gamma1$ é igual a $\gamma2$.

4.1.3.6.3. Em curva composta

Entrando na curva composta vem:

$$i1 = i2 = i$$

$$2,5\% \leq i \leq 5\%$$

Recorrendo à equação dos (4.26) e substituindo os valores acima:

$$\gamma1 = \gamma2 = \gamma = 6\%$$

Em curva volta a não haver problema de ajuste de inclinações para compatibilizar cotas.

4.1.3.7. Reajuste do valor da área

Tanto em alinhamento reto, excepto zona de Ld, como em curva não é necessário alterar a inclinação da superfície das terraplenagens, dado que não ocorrem descontinuidades de cotas entre intradorso e extradorso.

No entanto, em alinhamento reto, na zona de Ld, o ajuste é necessário, tomando-se:

$$\gamma_2 = 6\%$$

Para que os valores da inclinação sejam sempre superiores a 6% como se havia dito.

O gráfico 4.5 demonstra a alteração da inclinação γ_1 ao longo da zona de Ld, correspondente à evolução de i_2 definida em abcissas.

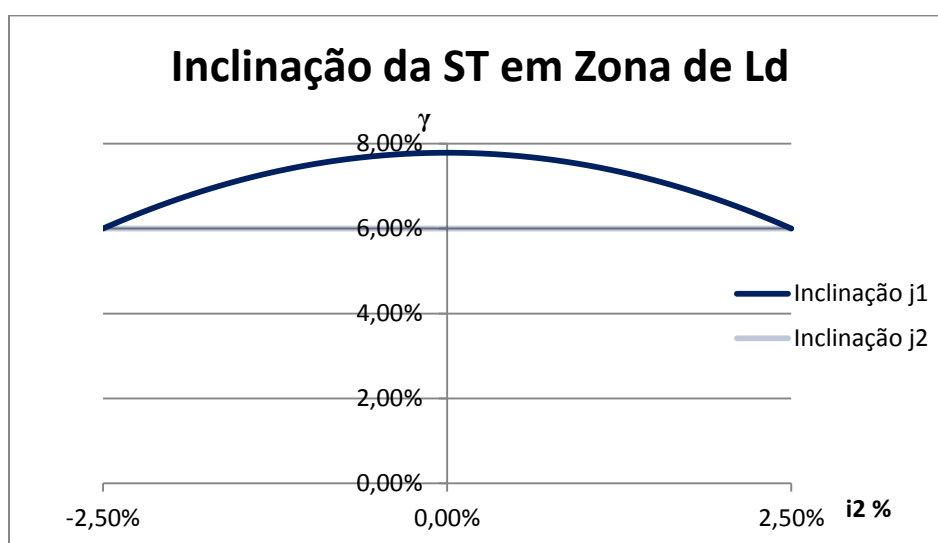


Gráfico 4.5 – Alteração da inclinação transversal da superfície de terraplenagens

Legenda:

ST - Superfície de terraplenagem

Inclinação j1 = inclinação γ_1

Inclinação j2 = inclinação γ_2

Consequentemente há um aumento da área dos perfis transversais da camada de transição da semi-plataforma de intradorso na zona de Ld, devido à necessidade de compatibilizar as cotas. Incorporando γ_1 na função da área (4.9) vem:

$$A1 = e * \frac{l}{2} + \frac{x1^2 * (\gamma_1 + i_1)}{2} + \frac{\left(\frac{l}{2} - x1\right)^2 * (\gamma_1 - i_1)}{2} \quad (4.27)$$

Com as alterações da função área dos perfis transversais da camada de transição para o comprimento Ld, esta toma os novos valores mínimos representados nos gráficos 4.6 e 4.7:

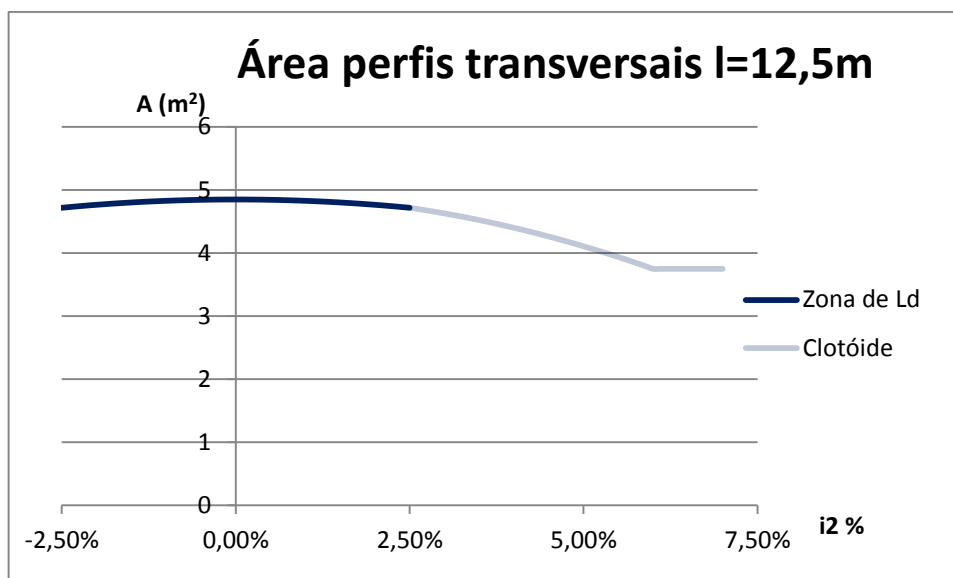


Gráfico 4.6 – Área dos perfis transversais da camada de transição após compatibilização de cotas em estradas com 2 vias

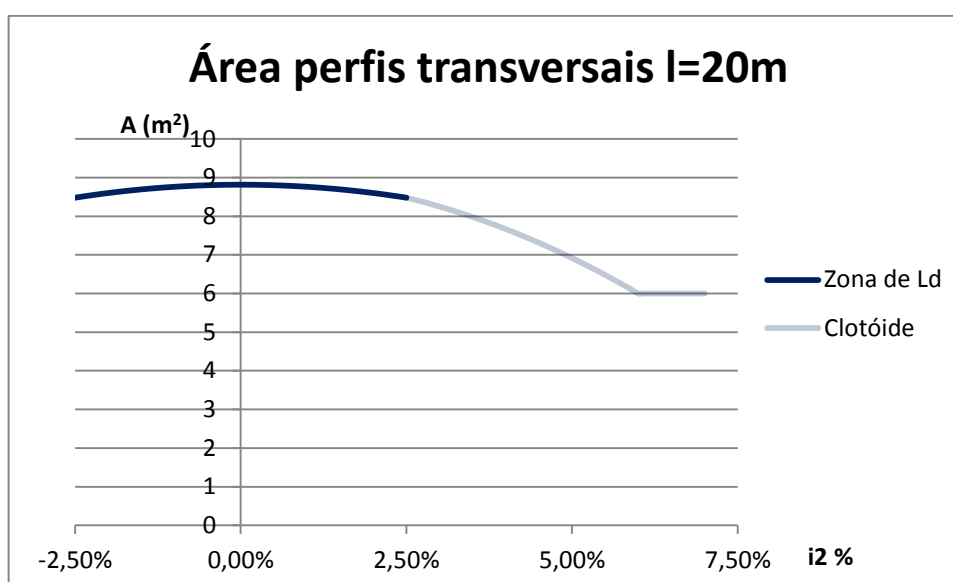


Gráfico 4.7 – Área dos perfis transversais da camada de transição após compatibilização de cotas em estradas com 4 vias

Como se pode verificar a alteração provocada pela compatibilização de cotas não é significativa neste método proposto com 3 fronteiras drenantes.

4.1.4. COMPARAÇÃO DOS VALORES DA ÁREA DOS PERFIS TRANSVERSAIS PARA TODOS OS MÉTODOS REFERIDOS PARA ESTRADAS DE 1 FAIXA DE RODAGEM

Finaliza-se comparando os valores áreas dos perfis transversais da camada de transição obtidos para estradas de uma faixa de rodagem.

Os gráficos 4.8 e 4.9 expõem todos os métodos, para ser mais fácil comparar os valores das áreas dos perfis transversais da camada de transição correspondentes ao método clássico, e aos dois métodos propostos para estradas de 1 faixa de rodagem, com 2 e 3 fronteiras drenantes.

A figura 4.8 é referente às mais comuns estradas de 2 vias, e portanto de maior referência, e a figura 4.9 às estradas de 4 vias, pouco correntes.

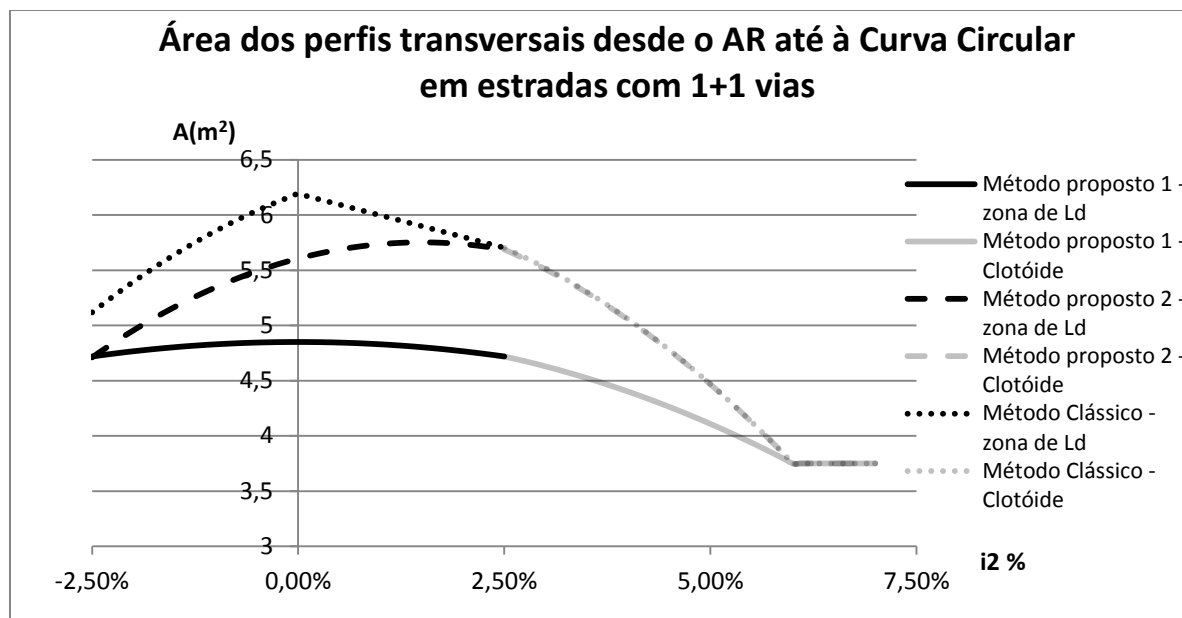


Gráfico 4.8 – Comparação das áreas dos perfis transversais da camada de transição para os métodos referidos para estradas de 2 vias

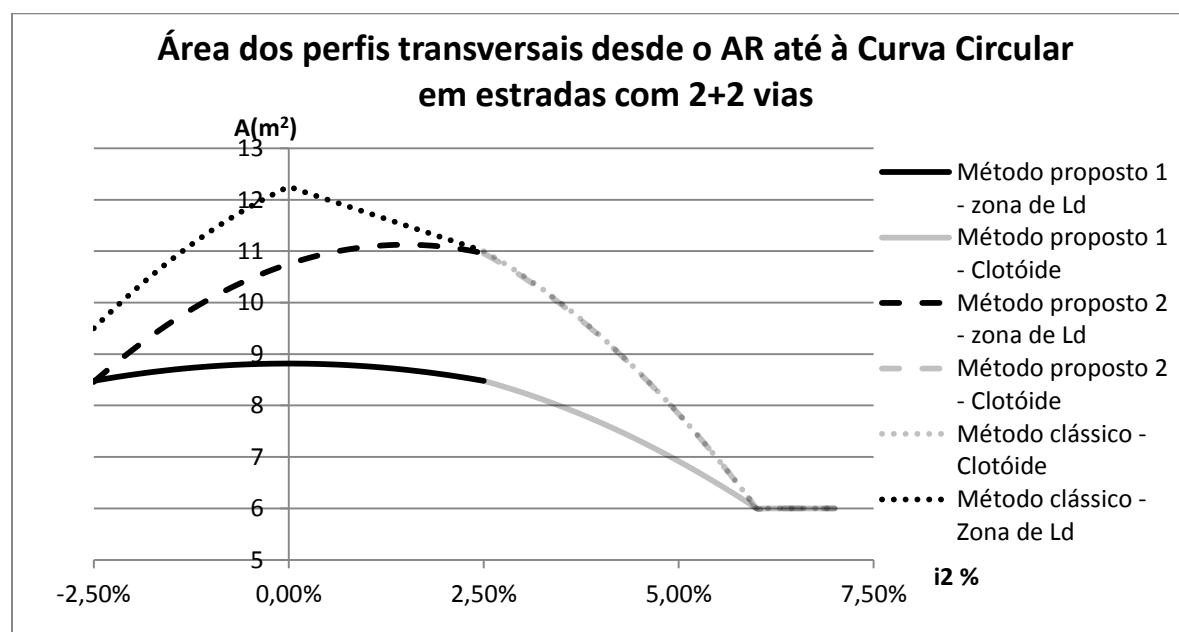


Gráfico 4.9 – Comparação das áreas dos perfis transversais da camada de transição para dos métodos referidos para estradas de 4 vias

Legenda dos gráficos 4.8 e 4.9:

Método proposto 1 – Áreas dos perfis transversais da camada de transição pelo Método proposto para estradas de 1 faixa de rodagem com 3 fronteiras drenantes

Método proposto 2 - Áreas dos perfis transversais da camada de transição pelo Método proposto para estradas de 1 faixa de rodagem com 2 fronteiras drenantes

4.2. SOLUÇÃO PROPOSTA PARA ESTRADAS COM 2 FAIXAS DE RODAGEM

4.2.1. DRENAGEM SOB O EIXO DE CADA FAIXA DE RODAGEM

4.2.1.1. Introdução

Vai-se começar por ilustrar todos elementos geométricos necessários à realização deste método. Assim como as divisões do perfil transversal da camada de transição em secções, áreas, que serão otimizadas separadamente na sua formulação geral. Estas múltiplas áreas determinam-se porque devido, à semelhança do método proposto para 1 faixa com drenagem ao centro, a existência dos drenos longitudinais cria novas fronteiras drenantes que obrigam à divisão do perfil transversal da camada de transição em várias áreas a otimizar separadamente.

A figura 4.10 representa a plataforma da estrada, limitada à camada de transição, em corte transversal por inteiro, ou seja, nela estão representadas as inclinações associadas às 2 faixas da estrada, assim como o separador central, e bermas interior e exterior.

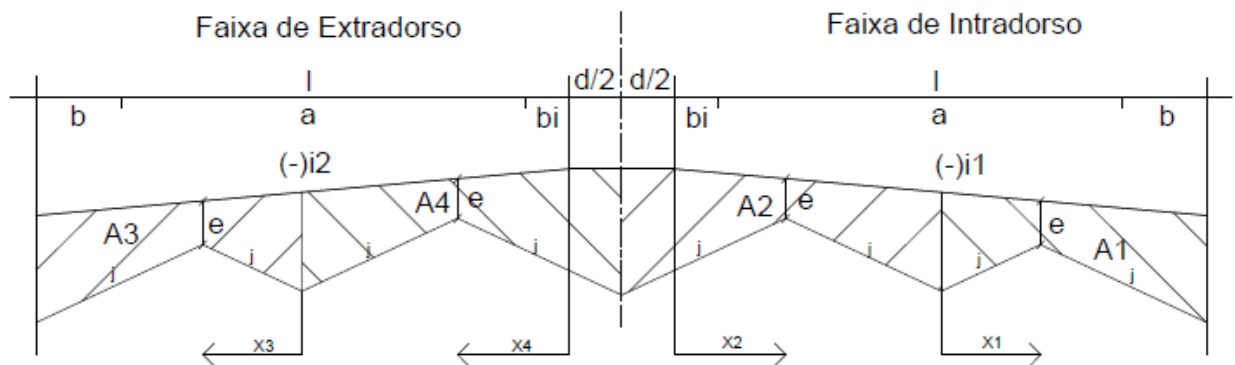


Figura 4.10 – Corte Transversal da plataforma da estrada, representação do perfil transversal da camada de transição para o método proposto para estradas de 2 faixas de rodagem

4.2.1.2. Dedução da formula geral da área da camada de transição

4.2.1.2.1. Introdução

Para o método proposto em estradas com 2 faixas de rodagem, as inclinações transversais do pavimento, seja na faixa de intradorso ou de extradorso, têm ambas o mesmo sinal em reta, sendo esse negativo. Isto porque a rotação das faixas é realizada em torno de pontos diferentes. Esses pontos são coincidentes com os limites exteriores do separador central.

Com isto, ao realizar-se a dedução da equação geral das áreas parciais do perfil transversal da camada de transição, associadas e delimitadas pelas fronteiras drenantes, acima designadas por A1 e A2, está-se automaticamente a realizar a dedução para A3 e A4, por razões de simetria da plataforma, claro que é necessária a alteração das incógnitas correspondentes às semiplataformas interior e exterior da estrada.

4.2.1.2.2.Fórmula geral das áreas A1/A3 e A2/A4 e respectivas localizações dos pontos de controle x_1/x_3 e x_2/x_4

Procedendo-se ao isolamento de uma das faixas da estrada tem-se o exposto na figura 4.11, assim como, os elementos geométricos necessários ao método proposto. A inclusão dos índices “n” e “n+1” existe nas deduções das área só para que não haja falta de correspondência com a figura 4.11, no que toca à separação das áreas transversais localizadas nas semiplataformas interior e exterior.

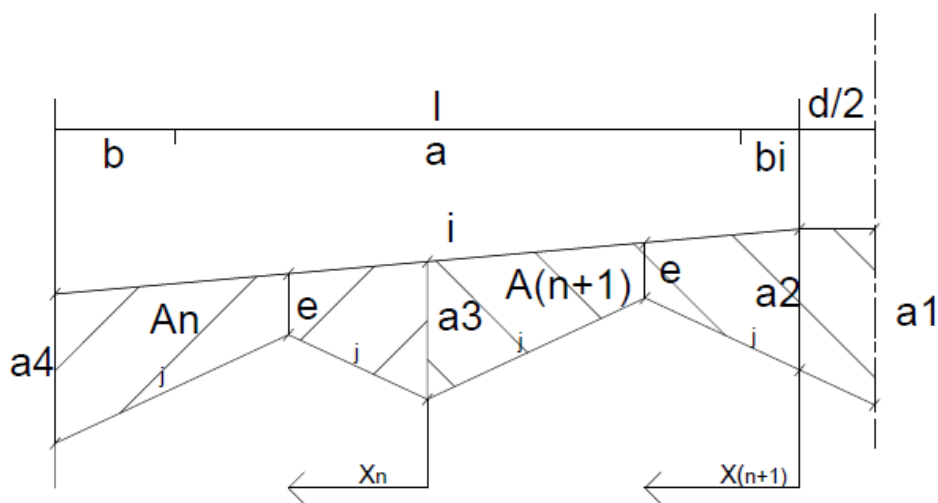


Figura 4.11 – Perfil Transversal da camada de transição associada à semiplataforma tipo utilizada para a determinação do método proposto para estradas de 2 faixas de rodagem.

4.2.1.2.3.Dedução das formulas gerais das áreas “A1” e “A3”

Serão utilizados no desenvolvimento do cálculo da área $A_n = A$, $X_n = x$, por simplificação.

$$a_3 = e + x * (\gamma - i) \quad (4.28)$$

$$a_4 = e + \left(\frac{l}{2} - x\right) * (\gamma + i) \quad (4.29)$$

$$A = \frac{a_3 + e}{2} * x + \frac{e + a_4}{2} * \left(\frac{l}{2} - x\right)$$

$$A = \frac{e + e + x * (\gamma - i)}{2} * x + \frac{e + e + \left(\frac{l}{2} - x\right) * (\gamma + i)}{2} * \left(\frac{l}{2} - x\right)$$

Simplificando vem:

$$A = e * \frac{l}{2} + \frac{\left(\frac{l}{2} - x\right)^2 * (\gamma + i)}{2} + \frac{x^2 * (\gamma - i)}{2} \quad (4.30)$$

Adotando as incógnitas definidas para as semiplataformas de intradorso e de extradorso vem, respectivamente:

$$A1 = \frac{l}{2} * \left(e + \frac{l}{4} * (\gamma + i1) \right) - \frac{l}{2} * (\gamma + i1) * x1 + x1^2 * \gamma \quad (4.31)$$

$$A3 = \frac{l}{2} * \left(e + \frac{l}{4} * (\gamma + i2) \right) - \frac{l}{2} * (\gamma + i2) * x3 + x3^2 * \gamma \quad (4.31)$$

4.2.1.2.4. Localizações dos pontos de controle das terraplenagens - distâncias “x1” e “x3”

Seguindo o princípio base dos métodos propostos para a obtenção de “x” tem-se:

$$\begin{aligned} \frac{dA}{dx} &= 0 \\ -\frac{l}{2} * (x + i) + 2 * x * \gamma &= 0 \\ x &= \frac{l * (\gamma + i)}{4 * \gamma} \end{aligned} \quad (4.32)$$

Substituindo pelas incógnitas dadas para as semiplataformas de intradorso e de extradorso, obtém-se, respectivamente:

$$x1 = \frac{l * (\gamma + i1)}{4 * \gamma} \quad (4.33)$$

$$x3 = \frac{l * (\gamma + i2)}{4 * \gamma} \quad (4.34)$$

4.2.1.2.5. Dedução das formulas gerais das áreas “A2” e “A4”

Serão utilizados no desenvolvimento do cálculo da área $A_{(n+1)} = A$ e $X_{(n+1)} = x$, por simplificação.

$$a1 = e + x * (\gamma - i) + \frac{d}{2} * \gamma \quad (4.35)$$

$$a2 = e + x * (\gamma - i) \quad (4.36)$$

$$a3 = e + \left(\frac{l}{2} - x \right) * (\gamma + i) \quad (4.37)$$

$$\begin{aligned} A &= \frac{a1 + a2}{2} * \frac{d}{2} + \frac{a2 + e}{2} * x + \frac{e + a3}{2} * \left(\frac{l}{2} - x \right) \\ A &= e * \left(\frac{l}{2} + \frac{d}{2} \right) + \frac{d^2}{8} * \gamma + x^2 * \frac{\gamma - i}{2} + \left(\frac{l}{2} - x \right)^2 * \frac{\gamma + i}{2} + x * (\gamma - i) * \frac{d}{2} \end{aligned} \quad (4.38)$$

Adotando as incógnitas definidas para as semiplataformas de intradorso e de extradorso vem, respectivamente:

$$A2 = \frac{d}{2} * \left(e + \frac{d}{4} * \gamma \right) + \frac{l}{2} * \left(e + \frac{l}{4} * (\gamma + i1) \right) + x2 * \left(\frac{d}{2} * (\gamma - i1) - \frac{l}{2} * (\gamma + i) \right) + x2^2 * \gamma \quad (4.39)$$

$$A4 = \frac{d}{2} * \left(e + \frac{d}{4} * \gamma \right) + \frac{l}{2} * \left(e + \frac{l}{4} * (\gamma + i2) \right) + x4 * \left(\frac{d}{2} * (\gamma - i2) - \frac{l}{2} * (\gamma + i) \right) + x4^2 * \gamma \quad (4.40)$$

4.2.1.2.6. Localizações dos pontos de controle das terraplenagens - distâncias “x2” e “x4”

Seguindo então o princípio base dos métodos propostos para a obtenção de “x” tem-se:

$$\frac{dA}{dx} = 0$$

$$\frac{d}{2} * (\gamma - i) - \frac{l}{2} * (\gamma + i) + 2 * \gamma * x = 0$$

$$x = \frac{l * (\gamma + i) - d * (\gamma - i)}{4\gamma} \quad (4.41)$$

Substituindo pelas incógnitas dadas para as semiplatformas de intradorso e de extradorso, obtém-se, respetivamente:

$$x_2 = \frac{l * (\gamma + i_1) - d * (\gamma - i_1)}{4\gamma} \quad (4.42)$$

$$x_4 = \frac{l * (\gamma + i_2) - d * (\gamma - i_2)}{4\gamma} \quad (4.43)$$

Simbologia:

A1 [m²] - Área do perfil transversal da camada de transição, desde do eixo da faixa de intradorso até ao limite interior da berma exterior da semiplatforma de intradorso.

A2 [m²] - Área do perfil transversal da camada de transição desde o eixo da faixa de intradorso até ao eixo do separador central.

A3 [m²] - Área do perfil transversal da camada de transição desde o eixo da faixa de extradorso até ao limite exterior da berma exterior da semiplatforma de extradorso.

A4 [m²] - Área do perfil transversal da camada de desde o eixo da faixa de extradorso até ao eixo do separador central.

x1 [m] – Distância do ponto de controle ao eixo da faixa de intradorso.

x2 [m] – Distância do ponto de controle ao limite do separador central da faixa de intradorso.

x3 [m] - Distância do ponto de controle ao eixo da faixa de extradorso.

x4 [m] - Distância do ponto de controle ao limite do separador central da faixa de extradorso.

l [m] – Largura da faixa de rodagem mais berma

d [m] – Largura do separador central.

e [m] – Espessura da camada de transição com valor definido em projecto

i1 [°] – Inclinação transversal da faixa de intradorso.

i2 [°] – Inclinação transversal da faixa de extradorso.

j [°] – Inclinação da superfície de terraplenagens.

γ [°] – Valor absoluto da inclinação da superfície de terraplenagens.

4.2.1.3. Problema do ponto de controle poder tomar posição sob o separador central na faixa de intradorso ($x_2 < 0$)

Vai-se analisar agora se é razoável ou não ter o ponto de controle correspondente à área transversal “A2” sob o separador central.

Este problema só se coloca para a semiplataforma de intradorso, já que, na semiplataforma de extradorso os pontos de controle se afastam em direção às fronteiras drenantes exteriores.

Na génese deste problema está o facto de haver uma quebra de inclinação e falta de simetria, entre a faixa de intradorso e o separador central, sendo a inclinação transversal da faixa de intradorso variável, com valores que estão entre -2,50% e -7,0%, e a inclinação transversal do separador central ser constante e igual a 0%.

Isto faz com que o referencial escolhido para determinar a função “A2” dependente de “X2”, tenha influência nessa determinação. Ou seja, originalmente escolheu-se um “X2” positivo no sentido do bordo exterior da faixa de intradorso, e localizado sob o limite do separador central, coincidente com a transição de inclinações transversais, mas dependendo primordialmente de i_1 (inclinação transversal da faixa de intradorso).

Isto levou-nos à fórmula de determinação de x_2 (4.42).

Mas mudando o referencial ter-se-á uma expressão diferente para x_2 otimizado.

No método proposto com o x_2 igual à expressão dada por (4.42) atrás definido tem-se para uma faixa com 2 vias e 3 vias, com larguras de 12,25 e 16 metros [7], respetivamente, e largura do separador central, d , igual a 4 metros [7]:

$$x_2 < 0$$

Quando:

$$i_1 < \frac{\gamma \cdot (d-l)}{l+d} \quad (4.44)$$

$$i_1 < -3,05\% \text{ (2 vias)}$$

$$i_1 < -3,6\% \text{ (3 vias)}$$

Ou seja, como $-2,5\% < i_1 < -7,0\%$, será sensato analisar se se justifica x_2 “negativo”, colocando o ponto de controle das terraplenagens sob o separador central, para tal vai-se adotar o perfil transversal tipo, definido na figura 4.12.

Incluem-se também os valores de “x” para pontos notáveis.

Verifica-se a necessidade de proceder à determinação da inclinação do intradorso, $i1$, para a qual o valor de $x2$ se anula, esta inclinação é variável já que não se permite que $x2$ tenha valores negativos, e consequentemente o ponto de controle nunca se localiza sob o ponto mais exterior da secção considerada.

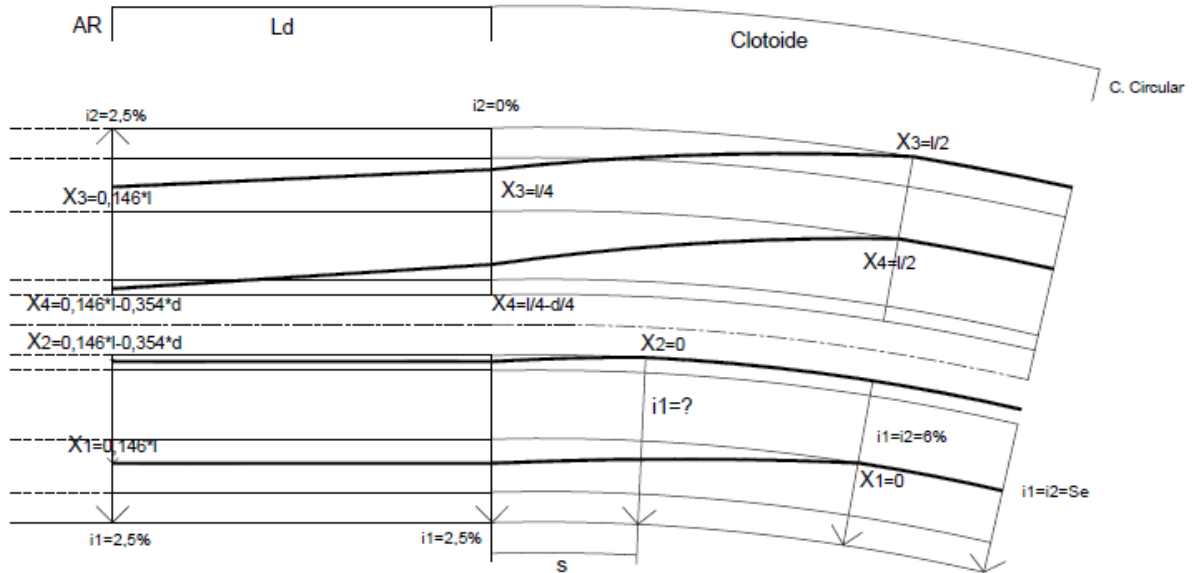


Figura 4.13– Planta com a posição dos pontos de controle das terraplenagens ao longo da estrada de 2 faixas de rodagem, para $|Se| > 6\%$

Igualando $x2$ a zero:

$$x2 = 0$$

$$Vem, i1 = \frac{\gamma * (d-l)}{l+d}$$

Admitindo, $k = \frac{l}{d}$

Então,

$$i1 = \gamma * \frac{1-k}{k+1} \quad (4.50)$$

A que corresponde um desenvolvimento da clotoide de valor “s”:

$$s = \frac{(|i1| - 0,025)}{|Se| - 0,025} * L \quad (4.51)$$

k [] – Razão da largura da faixa de rodagem mais bermas pela largura do separador central

s [m] – Desenvolvimento da clotoide para o qual $x2$ se anula

L [m] – Desenvolvimento da clotoide

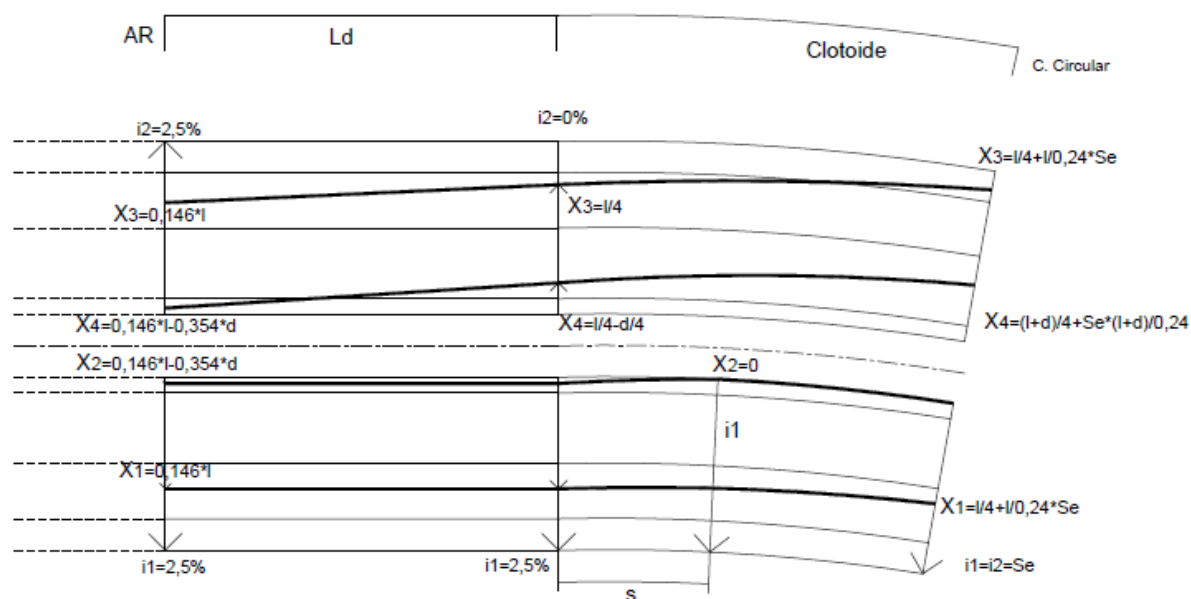


Figura 4.14 – Planta com a posição dos ponto de controle das terraplenagens ao longo da estrada de 2 faixas de rodagem, para $Se < 6\%$

Não se considerou uma sobreelevação menor que a correspondente a (4.49) na realização de plantas para demonstração dos valores de “x2”.

Já que isso como se pode ver na tabela seguinte corresponde, para as larguras de faixa e largura do separador central utilizados normalmente, a sobreelevações muito pequenas e assim facilita-se os termos comparativos com os outros métodos.

Tabela 4.1 – Valores da inclinação da faixa de intradorso, $i1$, para os quais a posição do ponto de controle, $x2$, é igual a zero.

l	d	γ	$i1$
12,25	4	6%	-3,06%
16			-3,6%

No entanto ficam aqui as expressões de $x2$ para sobreelevações inferiores a $i1$ (tabela 4.1):

$$x2 = \frac{l * (0,06 + Se) - 4 * (0,06 - Se)}{0,24}$$

4.2.1.5. Valores das áreas dos perfis transversais da camada de transição para o método proposto para estradas de 2 faixas de rodagem

Para proceder à determinação das áreas dos perfis transversais da camada de transição em estradas com 2 faixas de rodagem vai-se separar em dois a plataforma da estrada, nas semiplataformas associadas à faixa de intradorso e outra à faixa de extradorso.

Isto é necessário já que as inclinações transversais das faixas de intradorso e de extradorso são diferentes quando se inicia a curva. Sendo “0%” para a faixa extradorso e “-2,5%” para a faixa intradorso.

Como a inclinação transversal das faixas atinge o valor da sobrelevação no mesmo perfil transversal, correspondente à osculação entre clotóide e curva circular, necessariamente a variação das inclinações transversais das faixas por metro de traçado têm que ser diferentes.

A seguinte expressão dá a relação das variações de inclinações transversais entre faixas de intradorso e extradorso, dado um intervalo de inclinações transversais desejado ao a essas mesmas faixas e o valor absoluto da sobrelevação:

$$\Delta i1 = - \frac{Se - 0,025}{Se} * \Delta i2 \quad (4.52)$$

$\Delta i1$ [%] – Variação da inclinação da faixa de intradorso

$\Delta i2$ [%] – Variação da inclinação da faixa de extradorso

Se [] – Sobrelevação

Os perfis transversais correspondentes para a semiplataforma de intradorso e extradorso têm então correspondência, ou seja, pertencem ao mesmo perfil transversal de toda a plataforma, mediante incrementos de relacionados, dados pela expressão (4.52).

Os gráficos 4.10 e 4.11 mostram os valores área dos perfis transversais obtidos para as duas semiplataformas consideradas com faixas de 2 e 3 vias por sentido.

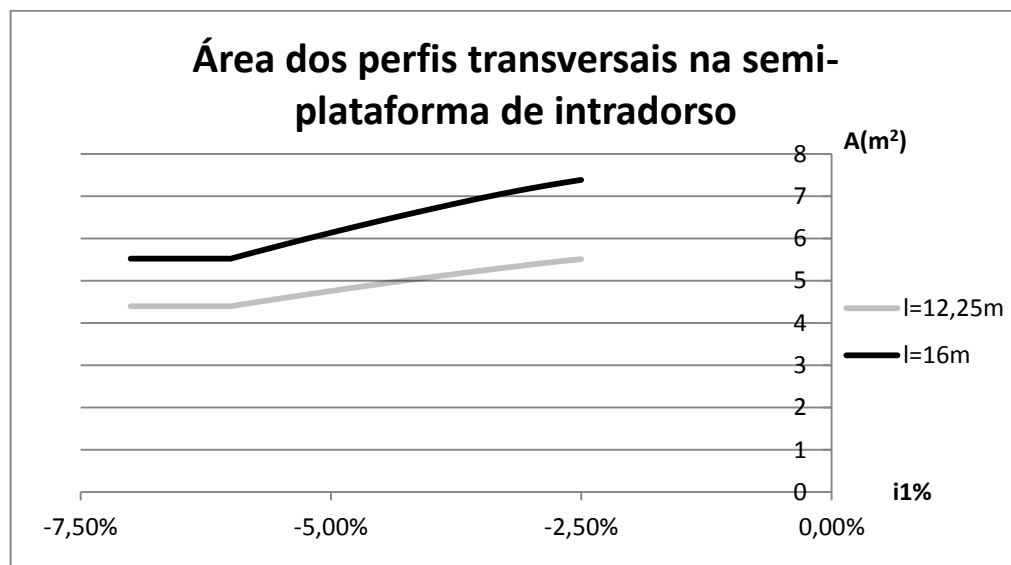


Gráfico 4.10 – Áreas dos perfis transversais da camada de transição da semiplataforma de intradorso com 2 ou 3 vias, para o método proposto

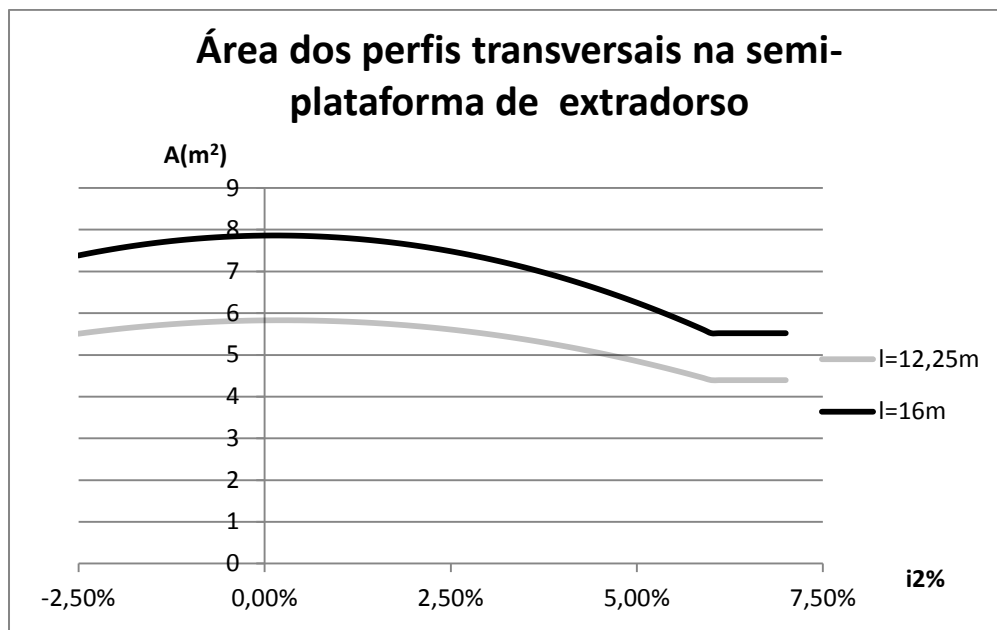


Gráfico 4.11 – Áreas dos perfis transversais da camada de transição da semiplataforma de extradorso com 2 ou 3 vias, para o método proposto

No exemplo seguinte, que será utilizado para estradas de 2 faixas ao longo da dissertação, determinaram-se os gráficos das áreas dos perfis transversais para toda a plataforma correspondentes a uma sobrelevação de 7% para uma variação de inclinação Δi_2 igual a 0,10%.

Da expressão (4.52) vem:

$$\Delta i_1 = 0,0643\%$$

Apresentam-se assim os gráficos 4.12 e 4.13, onde se representam as áreas dos perfis transversais da camada de transição ao longo da estrada, portanto, somando as áreas dos perfis transversais das semiplataformas interior e exterior correspondentes ao mesmo perfil transversal da plataforma (“emparelhando” os perfis das semiplataformas por incrementos Δi_2 e Δi_1 ao longo da clotóide). Dispondo os eixos coordenados com a inclinação da faixa de extradorso nas abcissas e as áreas nas ordenadas. O uso da inclinação da faixa de extradorso nas abcissas tem por base tornar simples a leitura da zona da estrada a que cada perfil corresponde.

$$i_2 = -2,50\% \text{ para alinhamento reto, zona corrente}$$

$$-2,50\% < i_2 < 0\% \text{ para Alinhamento reto, zona de } L_d$$

$$0\% < i_2 < Se \text{ para clotóide}$$

$$i_2 = Se \text{ para Curva circular}$$

Um dos gráficos corresponde a uma estrada 2x2 vias (com a largura igual a 12,25m por faixa mais bermas e outra a 3x3 vias com largura igual a 16m por faixa mais bermas [7])

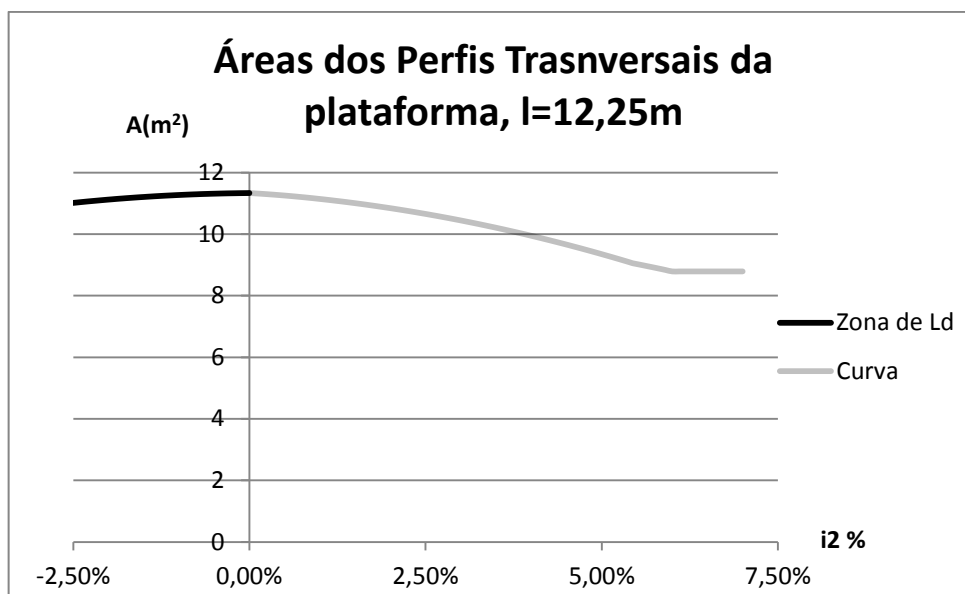


Gráfico 4.12 – Área dos perfis transversais da camada de transição ao longo da estrada com 2x2 vias e $Se=7\%$

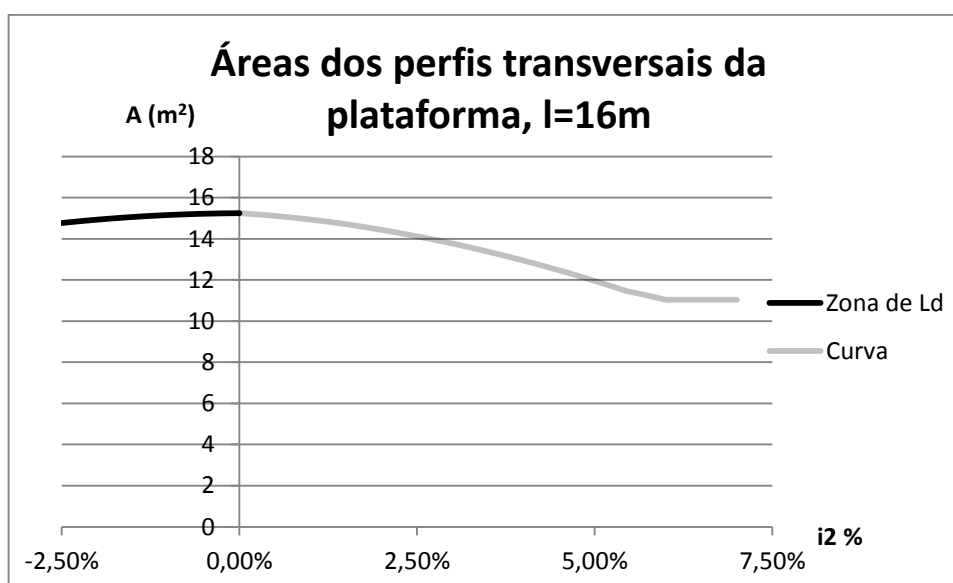


Gráfico 4.13 - Área dos perfis transversais da camada de transição ao longo da estrada com 3x3 vias e $Se = 7\%$

4.2.1.6. Compatibilização de cotas no método proposto para estradas de 2 faixas de rodagem

A compatibilização de cotas é também necessária em todas as estradas de 2 faixas de rodagem já que estas têm necessariamente pelo menos um dreno longitudinal sob o eixo de simetria do separador central.

Neste método proposto, como já se referiu, para além desse dreno, existem também drenos que se encontram sob as faixas de rodagem, sob o eixo destas. O que exige que, para além da compatibilização de cotas sob o eixo do separador central, se compatibilizem cotas sob os eixos das duas faixas de rodagem.

Para se efetuar a compatibilização de cotas procede-se primeiramente á cotagem dos vértices da camada de transição, representados na figura 4.15:

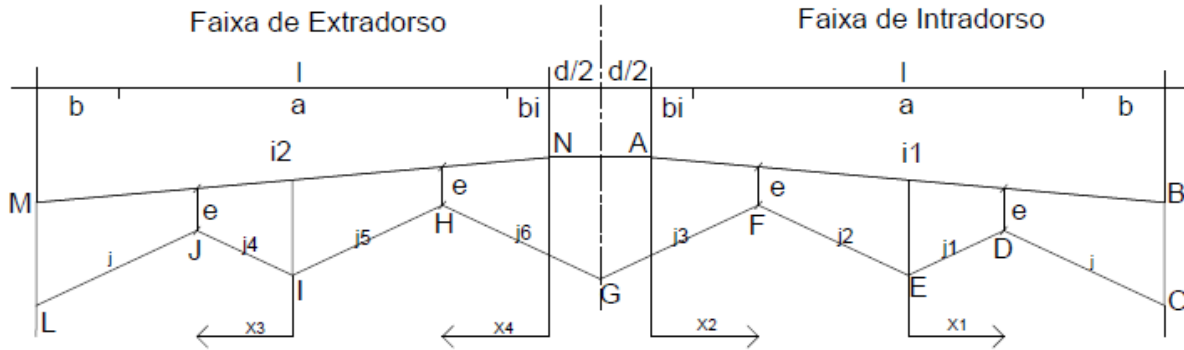


Figura 4.15 – Perfil transversal da camada de transição plataforma de estradas com 2 faixas de rodagem com referência dos vértices da camada de transição e das variáveis alteradas para compatibilização de cotas

Denote-se que para se possibilitar a compatibilização de cotas são necessárias alterações nas inclinações transversais da superfície da terraplenagem que estão diretamente ligadas a drenos longitudinais. As inclinações passíveis de alteração estão indicadas na figura 4.15 com as variáveis j_1 a j_5 .

Cotagem dos vértices:

Na semiplataforma de intradorso:

$$hA = hA \quad (4.53)$$

$$hB = hA + l * i1 \quad (4.54)$$

$$hC = hB - \left[e + \left(\frac{l}{2} - x1 \right) * (\gamma + i1) \right] \quad (4.55)$$

$$hD = hA + i * \left(\frac{l}{2} + x1 \right) - e \quad (4.56)$$

$$hE1 = hA + i1 * \frac{l}{2} - [e + x1 * (\gamma1 - i1)] \quad (4.57)$$

$$hE2 = hA + i1 * \frac{l}{2} - \left[e + \left(\frac{l}{2} - x2 \right) * (\gamma2 + i1) \right] \quad (4.58)$$

$$hF = hA + i1 * x2 - e \quad (4.59)$$

$$hG1 = hA - \left[e + x2 * (\gamma3 - i1) + \frac{d}{2} * \gamma3 \right] \quad (4.60)$$

Na semiplataforma de extradorso:

$$hG2 = hA - \left[e + x4 * (\gamma6 - i2) + \frac{d}{2} * \gamma6 \right] \quad (4.61)$$

$$hH = hA + i2 * x4 - e \quad (4.62)$$

$$hI1 = hA + i2 * \frac{l}{2} - [e + x3 * (\gamma4 - i2)] \quad (4.63)$$

$$hI2 = hA + i2 * \frac{l}{2} - \left[e + \left(\frac{l}{2} - x4 \right) * (\gamma5 + i2) \right] \quad (4.64)$$

$$hJ = hA + i * \left(\frac{l}{2} + x3\right) - e \quad (4.65)$$

$$hL = hM - [e + \left(\frac{l}{2} - x3\right) * (\gamma + i2)] \quad (4.66)$$

$$hM = hA + l * i2 \quad (4.67)$$

$$hA = hM \quad (4.68)$$

Simbologia:

$\gamma1$ até $\gamma6$ [°] – Valores absolutos das inclinações transversais das terraplenagens, correspondentes a $j1$ até $j6$, na figura 4.15

hA até hN [m] – Cotas dos pontos desde A a N, por ordem alfabética, respetivamente.

$hE1$ [m] – Cota do ponto E a ajustar, dependendo de $\gamma1$

$hE2$ [m] – Cota do ponto E a ajustar, dependendo de $\gamma2$

$hG1$ [m] – Cota do ponto G a ajustar, dependendo de $\gamma3$

$hG2$ [m] – Cota do ponto G a ajustar, dependendo de $\gamma6$

$hI1$ [m] – Cota do ponto I a ajustar, dependendo de $\gamma4$

$hI2$ [m] – Cota do ponto I a ajustar, dependendo de $\gamma5$

A compatibilização ocorre entre $hE1$ e $hE2$, $hG1$ e $hG2$, $hI1$ e $hI2$, pontos esses dependentes e associados às inclinações transversais da superfície das terraplenagens $\gamma1$, $\gamma2$, $\gamma3$, $\gamma6$, $\gamma4$, $\gamma5$, respetivamente.

Começa-se então por compatibilizar $hE1$ com $hE2$, relacionados, respetivamente, com $\gamma1$ e $\gamma2$, ou seja o ponto sob o centro da faixa de intradorso:

$$hE1 = hE2$$

$$hA + i1 * \frac{l}{2} - [e + x1 * (\gamma1 - i1)] = hA + i1 * \frac{l}{2} - \left[e + \left(\frac{l}{2} - x2 \right) * (\gamma2 + i1) \right]$$

Resolvendo-se em ordem a $\gamma1$:

$$\gamma1 = \frac{\left(\frac{l}{2} - x2\right) * (\gamma2 + i1)}{x1} + i1 \quad (4.69)$$

Em que $x1$ e $x2$ são como determinados por (4.33) e (4.42).

Como se pode verificar $\gamma1$ é dependente de $i1$, $\gamma2$, mas também de $x1$, $x2$ e da largura da faixa mais bermas, isto, faz com que seja necessário fazer ajustes diferentes às inclinações transversais da superfície das terraplenagens consoante as duas larguras aqui consideradas.

Admitindo-se:

$$\gamma2 = 6\%$$

E fazendo a largura de faixa mais bermas variar assim como determinando os valores de $x1$, $x2$ e $i1$ associados para cada largura, obtêm-se os gráficos 4.14 e 4.15.

Ao longo de toda a estrada exceto em curva com sobrelevações iguais ou superiores a 6% é necessário aumentar a inclinação de γ_1 , para compatibilizar cotas no dreno sob o centro da faixa de intradorso.

De reparar também, que como se vê na expressão acima (4.69), quando x_1 toma o valor zero esta fica indefinida, mas esse ponto corresponde ao ponto em que i_1 é igual a -6,00%, logo a partir daí, para sobrelevações iguais ou superiores a 6%, poderá forçar-se um paralelismo entre as superfícies de terraplenagem considerada e do pavimento (e consequentemente inclinações transversais iguais), resultando no patamar que se verifica nos gráficos 4.12 e 4.13.

Os valores de i_1 são os definidos no eixo das abscissas já que se está a analisar exclusivamente a faixa de intradorso:

$$i_1 = -2,50\% \text{ para alinhamento reto}$$

$$-2,50\% < i_1 < \text{Se em clotóide}$$

$$i_1 = \text{Se em curva circular}$$

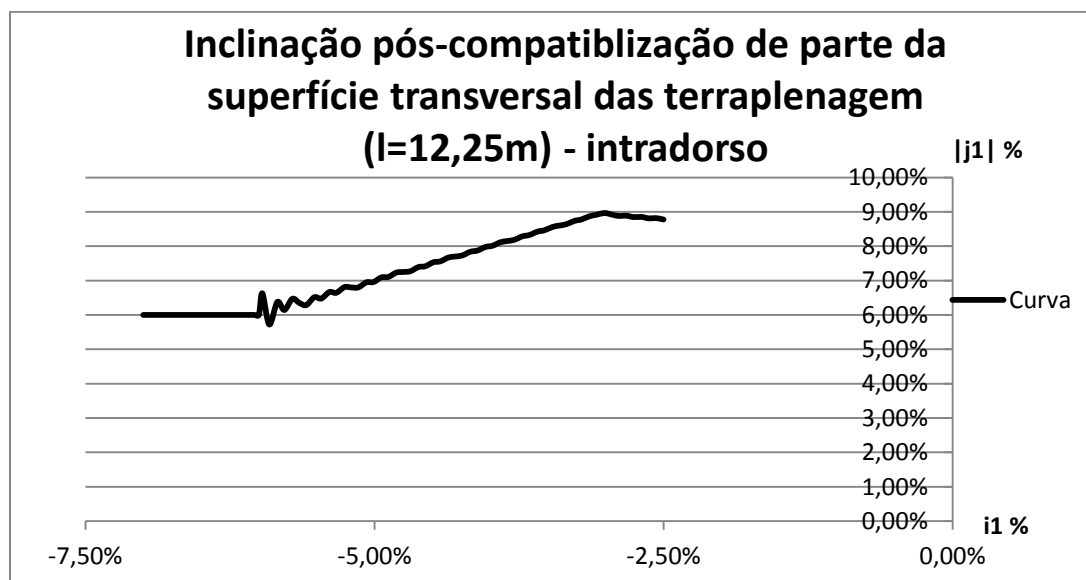


Gráfico 4.14 – Variação do módulo da inclinação j_1 ao longo de estradas de 2x2 vias para compatibilizar cotas utilizando o método proposto

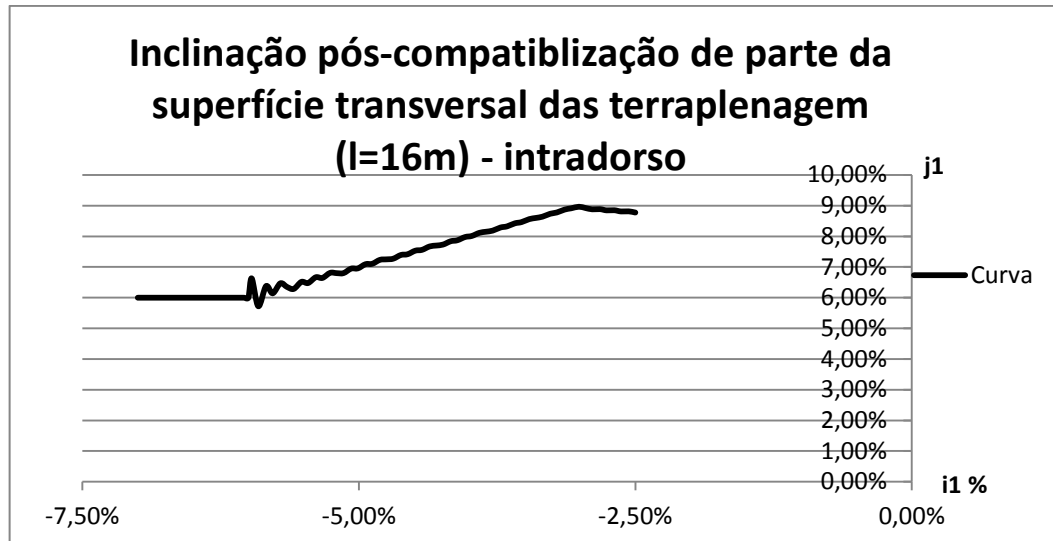


Gráfico 4.15 – Variação do módulo da inclinação j_1 ao longo de estradas de 3x3 vias para compatibilizar cotas utilizando o método proposto

Neste caso a largura da faixa de rodagem mais bermas não influencia a compatibilização da inclinação desta porção da superfície de terraplenagens.

Segue-se a compatibilização da superfície de terraplenagens sob a faixa de extradorso no ponto de cota I , em $hI1$ e $hI2$ dependentes das inclinações transversais das terraplenagens γ_4 e γ_5 , respetivamente:

$$hI1 = hI2$$

$$hA + i2 * \frac{l}{2} - [e + x3 * (\gamma_4 - i2)] = hA + i2 * \frac{l}{2} - \left[e + \left(\frac{l}{2} - x4 \right) * (\gamma_5 + i2) \right]$$

Resolvendo-se em ordem a γ_4 :

$$\gamma_4 = \frac{\left(\frac{l}{2} - x4 \right) * (\gamma_5 + i2)}{x3} + i2 \quad (4.70)$$

Em que $x3$ e $x4$ são determinados como em (4.34) e (4.42).

Admitindo um valor fixo igual a 6% para γ_5 determinam-se os valores de γ_4 que compatibilizam as cotas dos dois lados do dreno longitudinal localizado sob a faixa de extradorso.

Os gráficos 4.16 e 4.17 abaixo mostram a variação de γ_4 ao longo da estrada desde o alinhamento reto até à curva circular, novamente, só se atinge uma situação em que γ_4 e γ_5 são ambos de valor igual a 6% na presença de uma curva em que a sobrelevação atinja valores iguais ou superiores a 6%.

Como estamos na semiplataforma de extradorso, a inclinação transversal $i2$ é a superficial variável

$$i2 = -2,50\% \text{ em alinhamento reto, zona corrente}$$

$$-2,50\% < i2 < 2,50\% \text{ em alinhamento reto, zona de } Ld$$

$$2,50\% < i2 < Se \text{ em clotóide}$$

$$i2 = Se \text{ em curva circular}$$

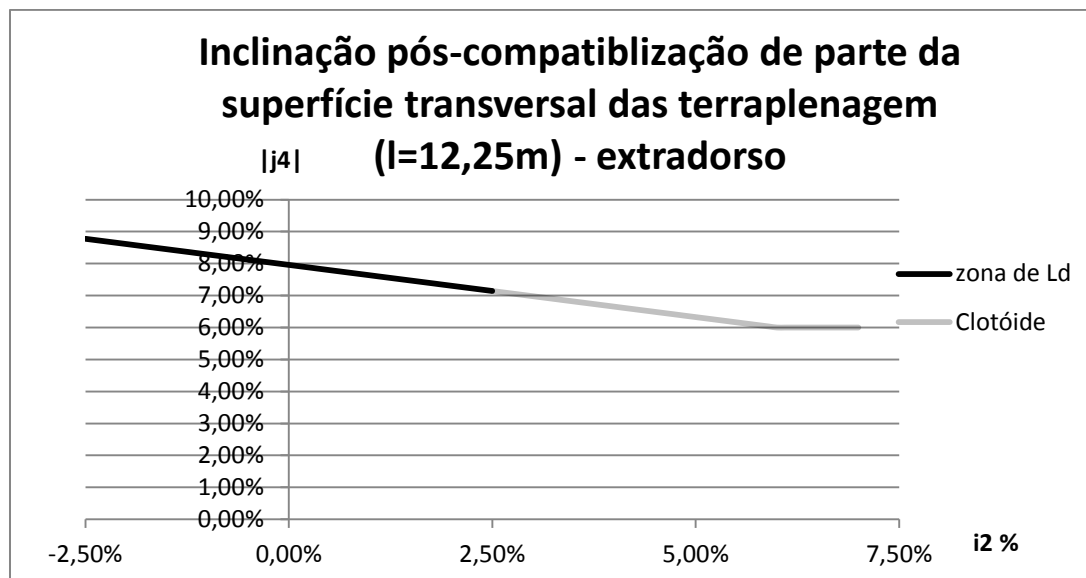


Gráfico 4.16 – Variação do módulo da inclinação j4 ao longo de estradas de 2+2 vias para compatibilizar cotas utilizando o método proposto

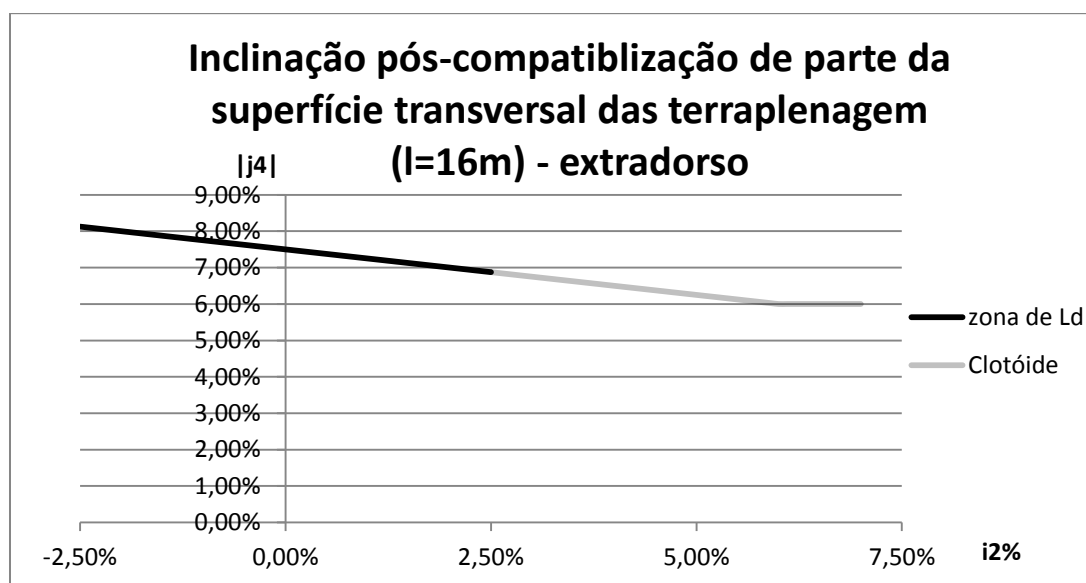


Gráfico 4.17 – Variação do módulo da inclinação j4 ao longo de estradas de 3+3 vias para compatibilizar cotas utilizando o método proposto

Por fim resta ajustar as cotas no ponto G , ou seja, de $hG1$ com $hG2$, sob o eixo do separador central através de alterações nas inclinações transversais correspondentes a $\gamma3$ e $\gamma6$.

$$hG1 = hG2$$

$$hA - \left[e + x2 * (\gamma3 - i1) + \frac{d}{2} * \gamma3 \right] = hA - \left[e + x4 * (\gamma6 - i2) + \frac{d}{2} * \gamma6 \right]$$

Resolvendo-se em ordem a γ_3 vem:

$$\gamma_3 = \frac{\gamma_6 * \left(x_4 + \frac{d}{2}\right) + x_2 * i_1 - x_4 * i_2}{x_2 + \frac{d}{2}} \quad (4.71)$$

Os gráficos 4.18 e 4.19 mostram a variação de γ_3 nas diversas componentes da estrada para um valor fixo de γ_6 igual a 6%.

Neste caso está-se perante a junção da plataforma da estrada do intradorso com o extradorso. Como a inclinação transversal da faixa de extradorso é a que nos dá informação sobre a posição de todas as fases da estrada, foi esta a utilizada como referência no eixo das abcissas.

Sendo:

$i_2 = -2,50\%$ em alinhamento reto, zona corrente

$-2,50\% < i_2 < 2,50\%$ em alinhamento reto, zona de L_d

$2,50\% < i_2 < Se$ em clotóide

$i_2 = Se$ em curva circular

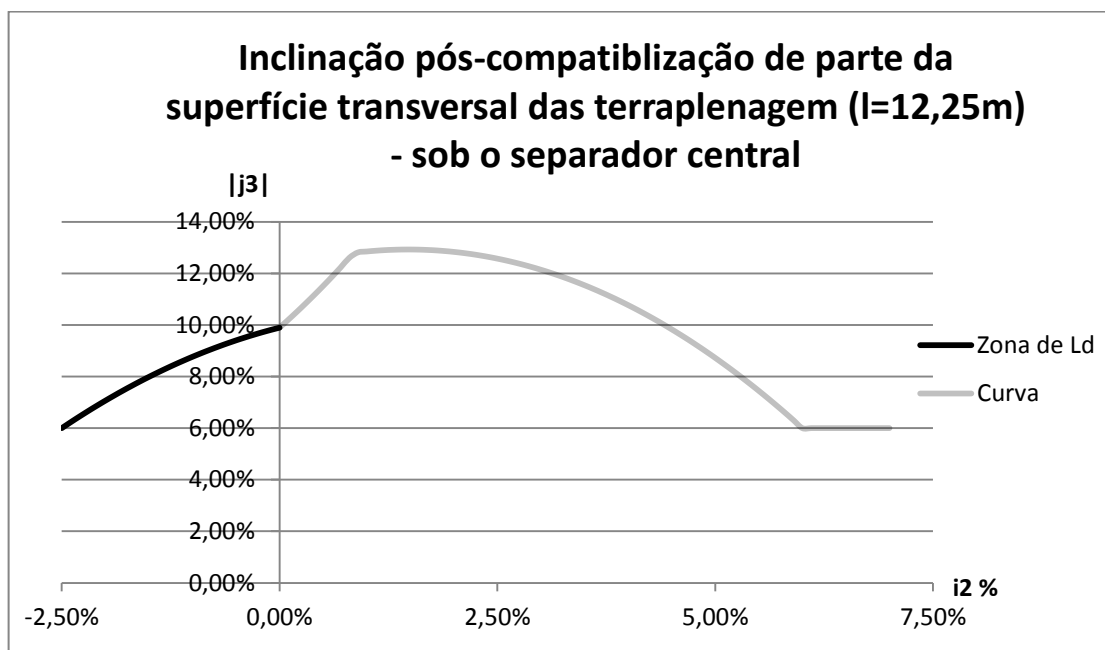


Gráfico 4.18 – Variação do módulo da inclinação j_3 ao longo de estradas de 2x2 vias para compatibilizar cotas utilizando o método proposto

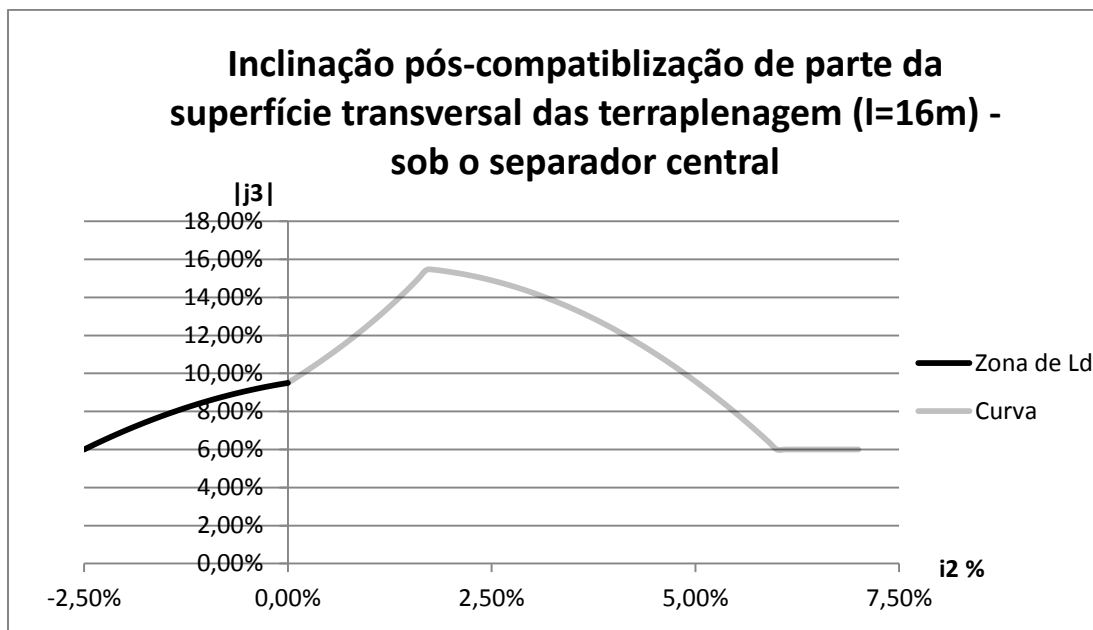


Gráfico 4.19 – Variação do módulo da inclinação j3 ao longo de estradas de 3x3 vias para compatibilizar cotas utilizando o método proposto

Assim sendo, as áreas entre as superfícies de terraplenagens e o pavimento sofrerão alterações, pelo que se vai proceder às modificações necessárias aos gráficos das áreas da camada de transição previamente realizados, para incorporar as novas inclinações.

Adaptações das funções das áreas parciais dos perfis transversais da camada de transição para incorporar a compatibilização de cotas:

$$A1 = e * \frac{l}{2} + \frac{\left(\frac{l}{2} - x1\right)^2 * (\gamma + i1)}{2} + \frac{x1^2 * (\gamma1 - i1)}{2} \quad (4.72)$$

$$A2 = e * \left(\frac{l}{2} + \frac{d}{2}\right) + \frac{d^2}{8} * \gamma3 + \frac{x2^2 * (\gamma3 - i2)}{2} + \frac{\left(\frac{l}{2} - x2\right)^2 * (\gamma2 + i2)}{2} + x2 * (\gamma3 - i2) * \frac{d}{2} \quad (4.73)$$

$$A3 = e * \frac{l}{2} + \frac{\left(\frac{l}{2} - x3\right)^2 * (\gamma + i2)}{2} + \frac{x3^2 * (\gamma4 - i2)}{2} \quad (4.74)$$

$$A4 = e * \left(\frac{l}{2} + \frac{d}{2}\right) + \frac{d^2}{8} * \gamma6 + \frac{x4^2 * (\gamma6 - i2)}{2} + \frac{\left(\frac{l}{2} - x4\right)^2 * (\gamma5 + i2)}{2} + x4 * (\gamma6 - i2) * \frac{d}{2} \quad (4.75)$$

Os gráficos 4.20, 4.21 e 4.22 fazem a distinção entre áreas dos perfis transversais da camada de transição das semiplataformas de intradorso e de extradorso como é mandatário em estradas de 2 faixas de rodagem.

De notar que, novamente, não se vão fazer as modificações dos posicionamentos dos pontos de controle em reta para não tornar ainda mais complicada a sua marcação, no entanto fica a ressalva de que se o fizesse, poder-se-ia otimizar um pouco mais as áreas.

Com a compatibilização de cotas, a área dos perfis transversais da camada de transição da semiplataforma de intradorso altera-se mesmo em alinhamento recto, na zona de disfarce de sobrelevação, por causa da variação da inclinação transversal da superfície das terraplenagens sob

esta faixa que por sua vez resulta da variação da inclinação transversal da faixa de extradorso na zona de Ld.

Torna-se necessário fazer a separação dos gráficos dedicados ao intradorso em dois, um para a zona de Ld e outro para curva. Isto porque a variável do eixo das abcissas é diferente, sendo i_2 para possibilitar distinção da zona de Ld, e i_1 em curva como anteriormente realizado.

Naturalmente, a área do primeiro perfil transversal da camada de transição correspondente a i_2 e i_1 igual a -2,50% é igual em todo o alinhamento reto, na sua zona corrente.

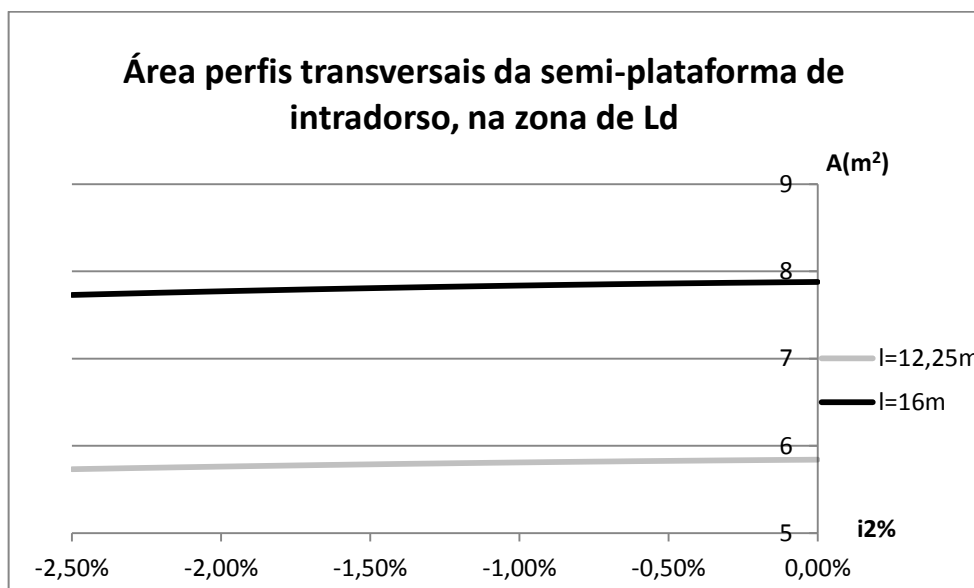


Gráfico 4.20 – Área dos perfis transversais da camada de transição na semiplataforma em intradorso para o alinhamento recto na zona de Ld

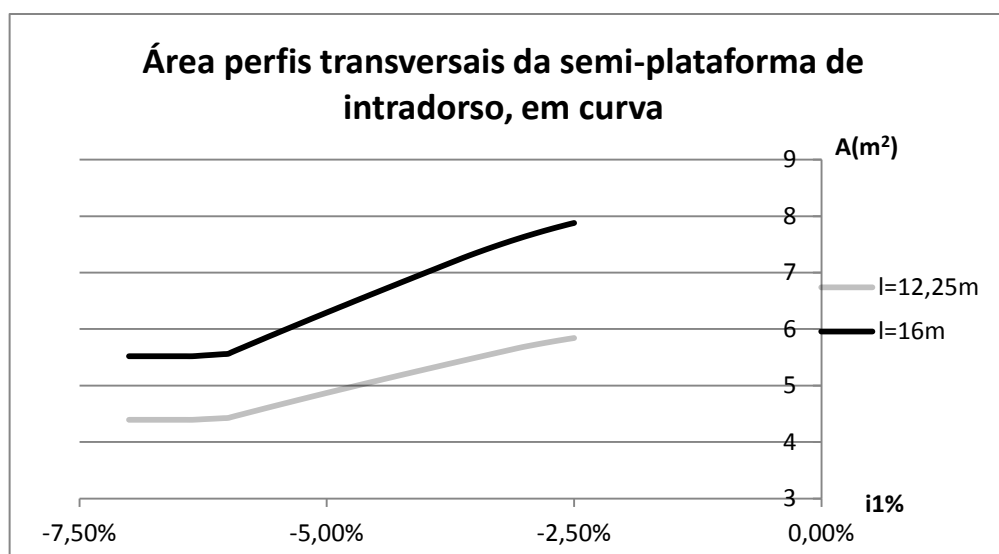


Gráfico 4.21 – Área dos perfis transversais da camada de transição, na semiplataforma em intradorso, para curva no método proposto para estradas com 2 faixas de rodagem

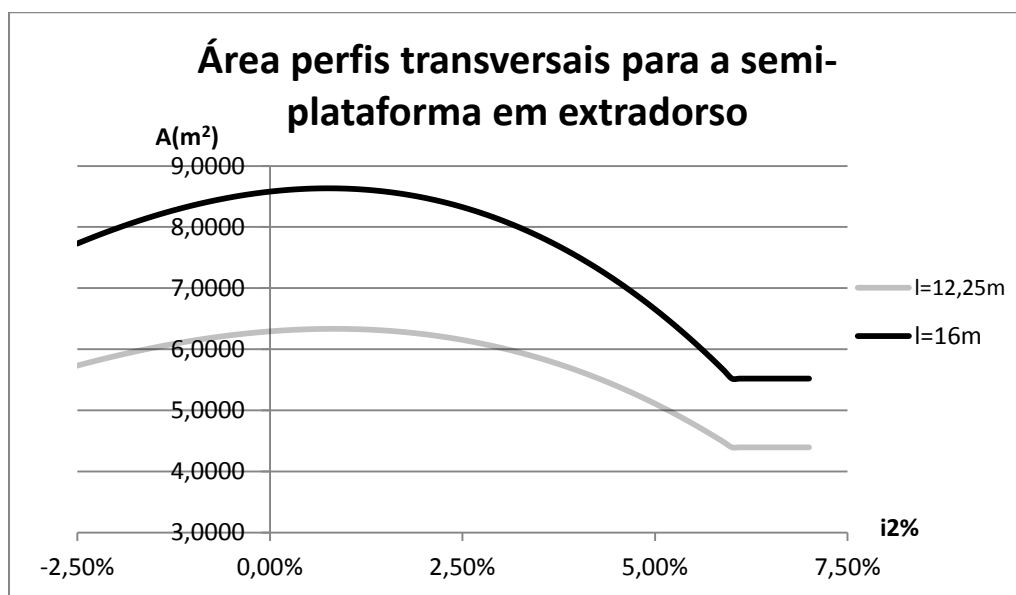


Gráfico 4.22 – Área dos perfis transversais da camada de transição, na semiplataforma em extradorso, ao longo de qualquer componente do traçado, no método proposto para estradas com 2 faixas de rodagem

Os gráficos 4.23 e 4.24 representam a evolução das áreas dos perfis transversais da camada de transição após esta compatibilização de cotas para sobrelevações iguais a 7% (correspondente ao valor máximo para a sobrelevação [7]), em continuação do exemplo anteriormente criado para estradas de 2 faixas de rodagem.

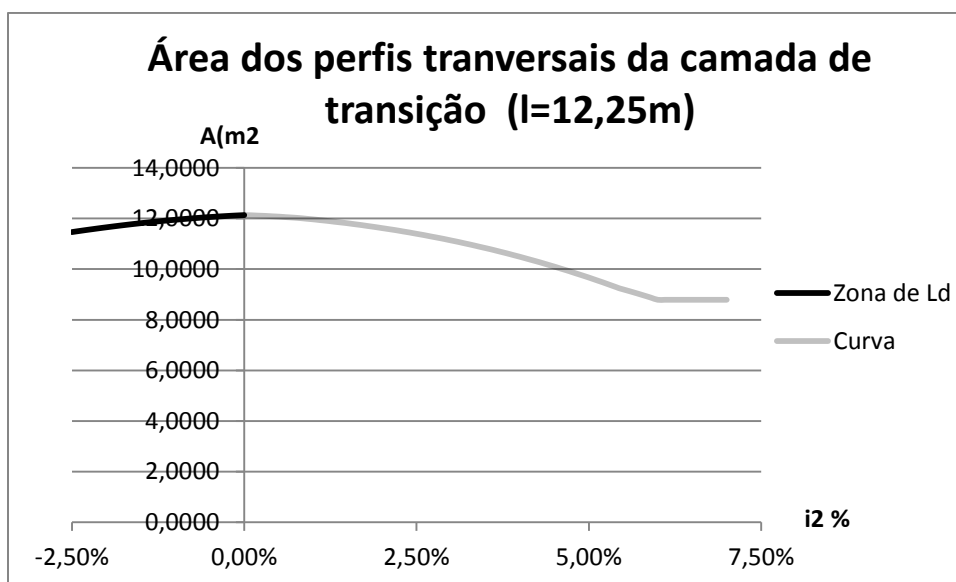


Gráfico 4.23 – Áreas dos perfis transversais da camada de transição da estrada para 2x2 vias com Se=7% no método proposto para estradas com 2 faixas de rodagem

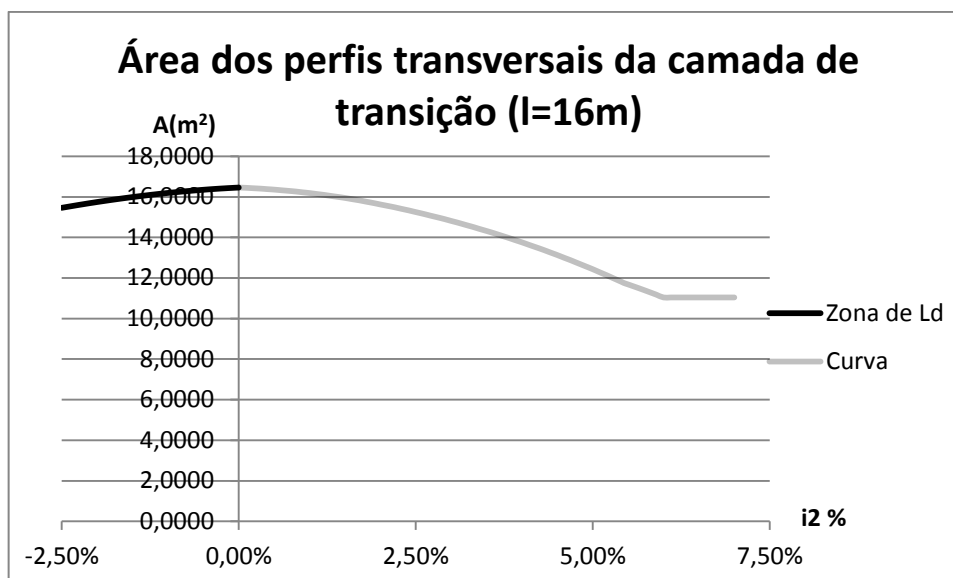


Gráfico 4.24 – Áreas dos perfis transversais da camada de transição da estrada para 3x3 vias com $Se=7\%$ no método proposto para estradas com 2 faixas de rodagem

4.2.6. COMPARAÇÃO DOS VALORES DAS ÁREAS PARA OS MÉTODOS REFERIDOS

Tendo determinado as áreas os perfis transversais da camada de transição para o método proposto, vai-se comparar as mesmas com os denominados métodos clássico e método do professor França.

No método clássico aqui considerado, como a posição do ponto de controle não está sujeita a nenhuma expressão analítica, embora esteja implícita, admitiu-se portanto funções lineares para x em alinhamento reto e em curva tendo-se usado para sua determinação as localizações dos pontos notáveis presentes no método.

Os gráficos 4.25 e 4.26 fazem as divisões entre as áreas dos perfis transversais da camada de transição para as semiplataformas de intradorso e de extradorso.

Não há necessidade de fazer divisões para a faixa de intradorso em alinhamento reto, na zona de L_d e curva, já que como se vê no gráfico 4.22, a área do último perfil transversal é a mais elevada, isto é, no ponto osculador alinhamento reto/curva composta e o aumento de área não é significativo ao longo do comprimento L_d para ser notório graficamente.

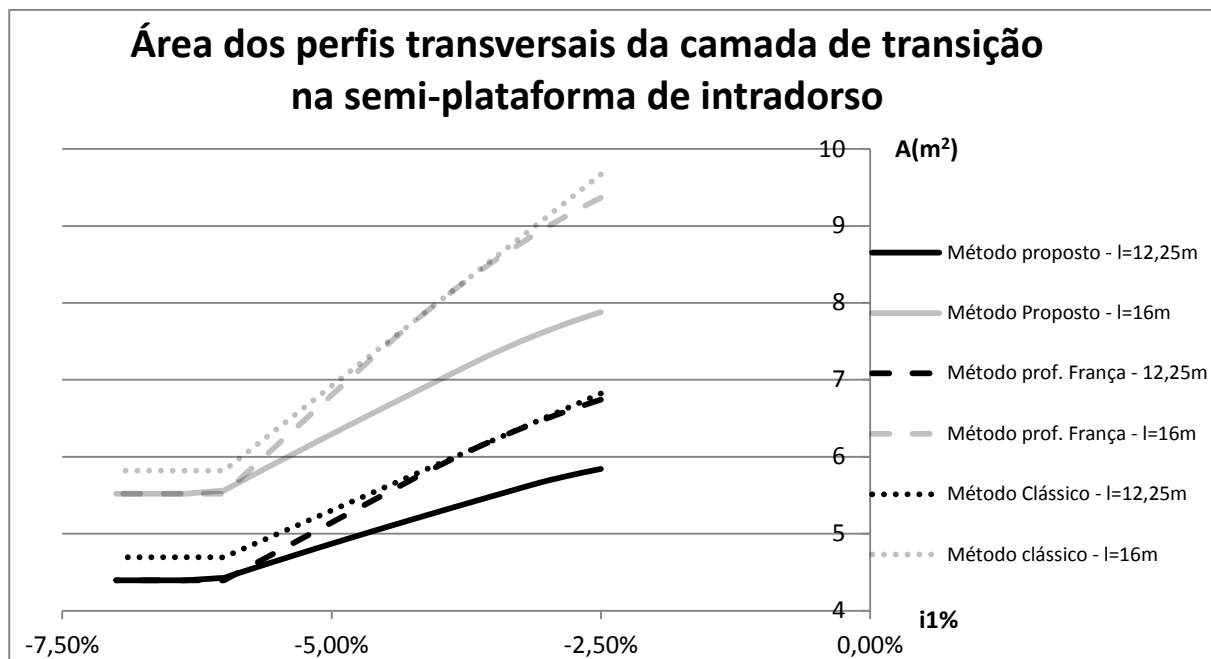


Gráfico 4.25 – Comparação das Áreas dos perfis transversais da camada de transição nos 3 métodos considerados para a semiplataforma de intradorso.

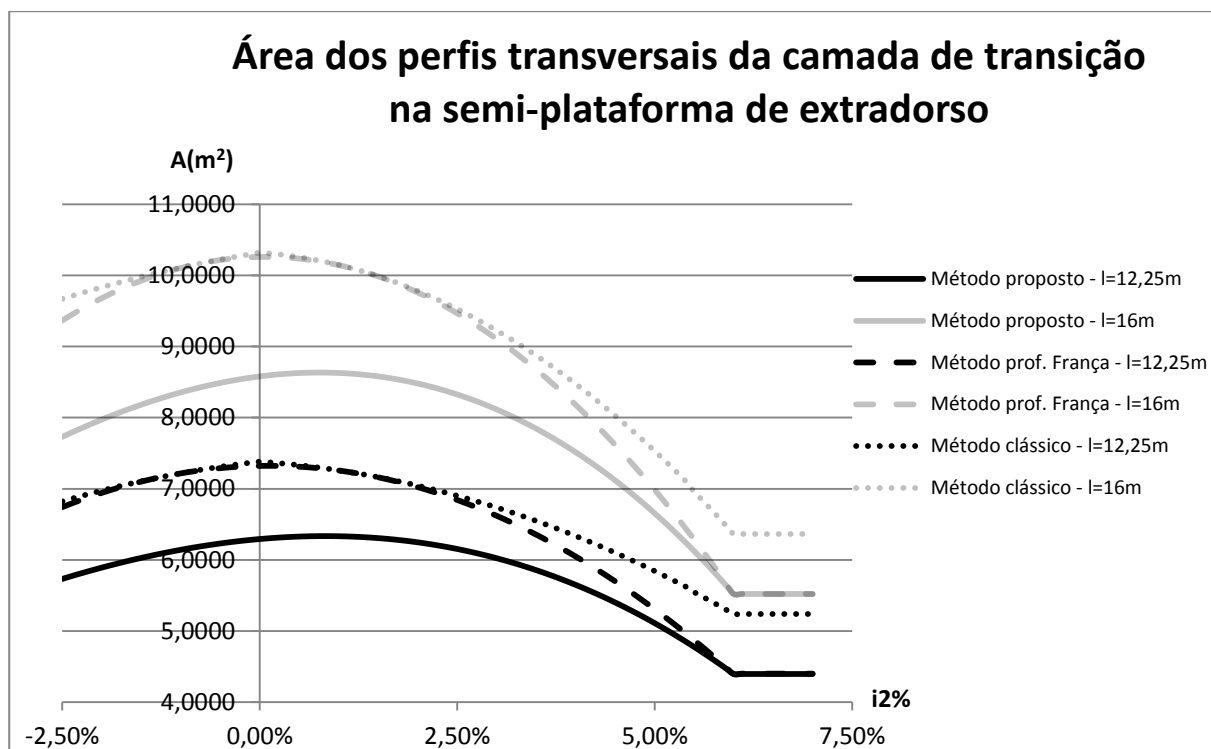


Gráfico 4.26 - Comparação das áreas dos perfis transversais da camada de transição nos 3 métodos considerados para a semiplataforma de extradorso

Os gráficos 4.26 e 4.27 exibem os valores das áreas dos perfis transversais da camada de transição de toda a plataforma para sobrelevações iguais a 7% seguindo o exemplo dado anteriormente para estradas de 1 faixa de rodagem.

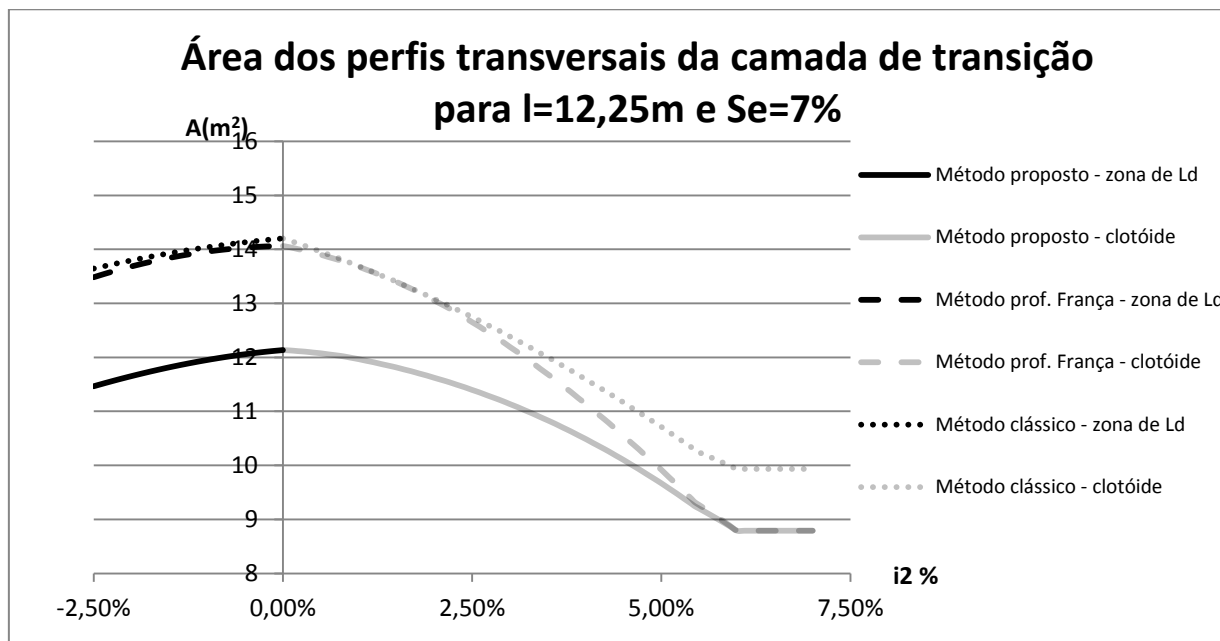


Gráfico 4.27 – Áreas perfis transversais da camada de transição dos métodos proposto, clássico e do professor França para estradas de 2 faixas de rodagem com 2+2 vias com $Se=7\%$

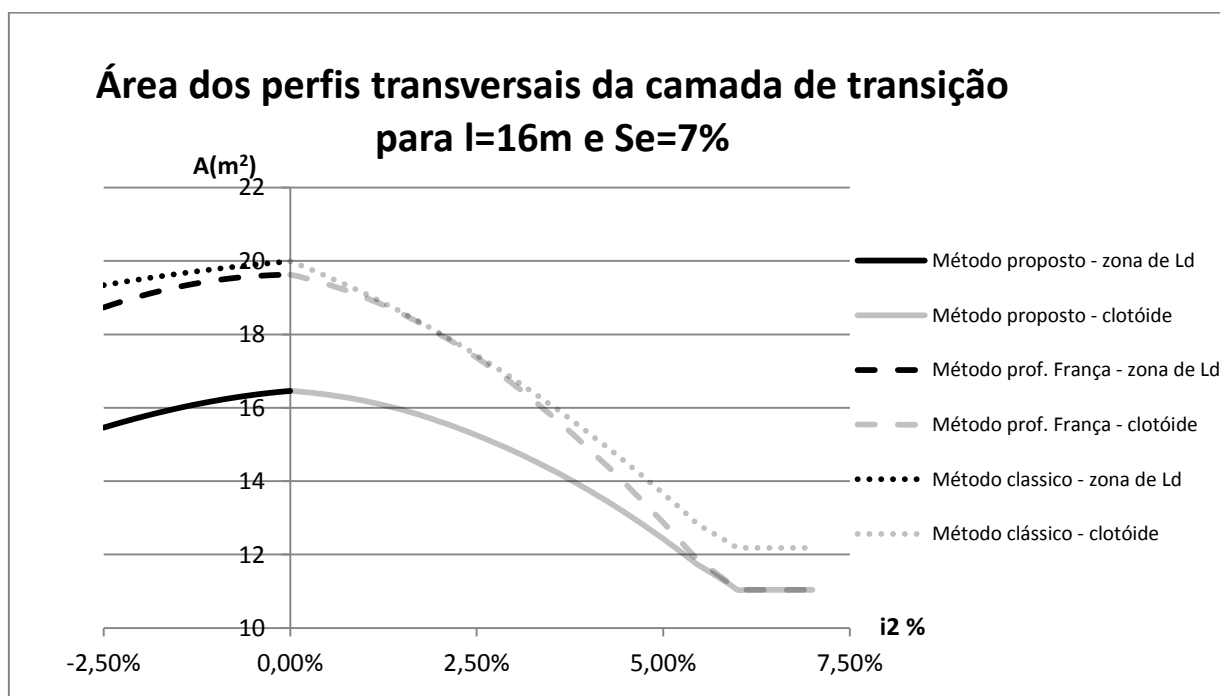


Gráfico 4.28 - Áreas perfis transversais da camada de transição dos métodos proposto, clássico e do professor França para estradas de 2 faixas de rodagem com 3x3 vias com $Se=7\%$

5

DETERMINAÇÃO DO VOLUME DA CAMADA DE TRANSIÇÃO

5.1. INTRODUÇÃO

Tendo-se determinado os valores das áreas dos perfis transversais da camada de transição para todos os métodos mencionados, vai-se calcular em função dessas áreas, o volume da camada de transição correspondente a cada método. Seguido das determinações das relações de volumes entre cada método referido para estradas com 1 faixa de rodagem e 2 faixas de rodagem.

Para se calcular os volumes das camadas de transição com bastante precisão, vão-se determinar os volumes para intervalos de 0,10% de variação nas inclinações transversais do extradorso,

$$\Delta i_2 = 0,10\%$$

Recorrendo aos valores das áreas como definidos para cada método ao longo do capítulo 4, até se atingir o valor da sobreelevação “Se”. Ou seja, fazem-se divisões em trapézios (isto pelos gráficos dos mínimo das funções das áreas, na camada de transição esta divisão corresponde a prismas irregulares) de altura “h” correspondente a variações de 0,10%, somando-os mas fazendo a distinção entre volumes para alinhamento reto, zona corrente e zona de Ld, e em curva para clotóide e curva circular. As unidades dos volumes serão metros cúbicos por quilómetro.

Dar-se-á também os valores dos volumes concretos do caso de exemplo com “Se” igual a 7%, tanto para estradas de 1 faixa como de 2 faixas.

5.2. VOLUMES DOS MÉTODOS ADMITIDOS PARA ESTRADAS COM 1 FAIXA DE RODAGEM

5.2.1. VOLUME DA CAMADA DE TRANSIÇÃO UTILIZANDO O MÉTODO CLÁSSICO PARA ESTRADAS DE 1 FAIXA DE RODAGEM

Apresentam-se na tabela 5.1 os valores dos volumes das camadas de transição correspondentes ao alinhamento reto para 2 e 4 vias.

Tabela 5.1 – Valores dos volumes (m³/km) da camada de transição para 1 faixa com o método clássico em alinhamento reto

Volumes	2 vias (l=12,5m)	4 vias (l=20m)
AR, zona corrente	5117	9500

AR, zona de Ld	5833	11333
----------------	------	-------

Em curva já não é possível apresentar valores diretos, porque a sobrelevação varia dependendo do raio da curva que por sua vez está condicionado pelas velocidades base do projeto.

Assim sendo, vão-se apresentar os gráficos 5.1 e 5.2, em que está determinado o volume em metros cúbicos por quilómetro em clotóide e em curva circular, para qualquer sobrelevação dependendo da largura da faixa de rodagem mais as bermas.

De notar que como foi referido acima a precisão com que foi realizado o gráfico corresponde à variação (incrementos partindo de 2,50% até 7%) de 0,10% da inclinação transversal da faixa do extradorso.

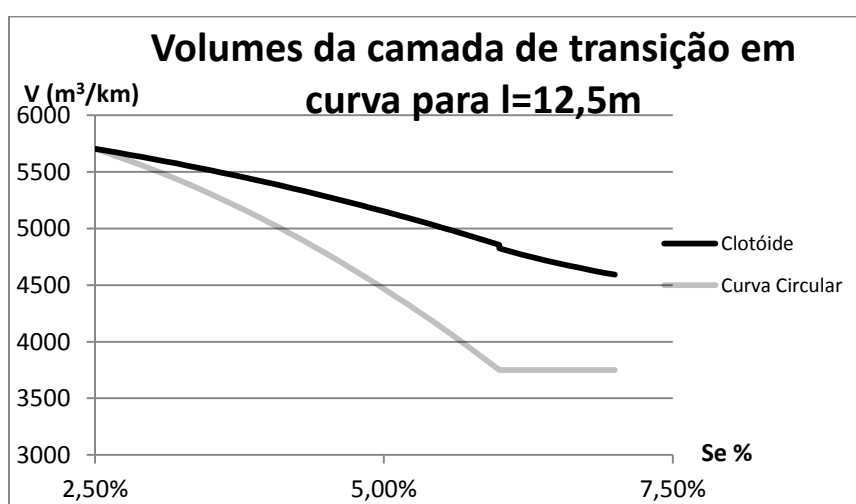


Gráfico 5.1 – Volume [m^3/km] da camada de transição, em clotóide e curva circular, para uma dada sobrelevação, para estradas de 1 faixa de rodagem e 2 vias – Método Clássico

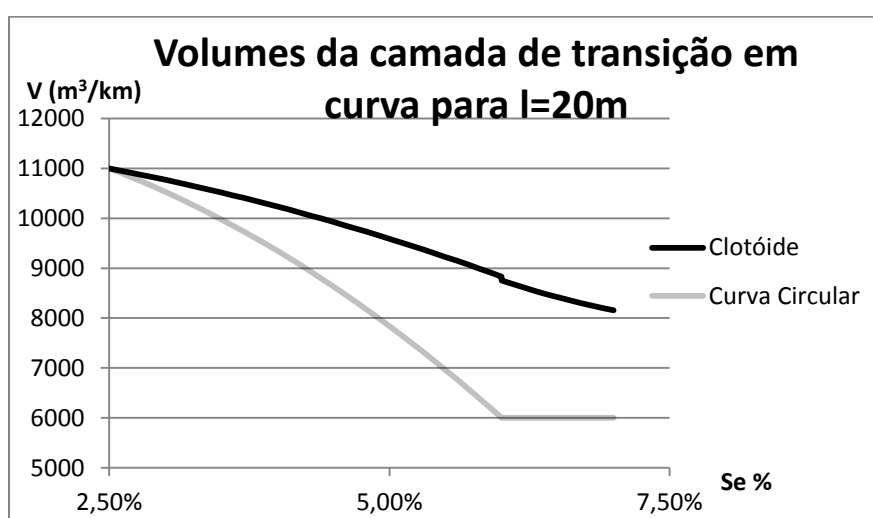


Gráfico 5.2 – Volume [m^3/km] da camada de transição, em clotóide e curva circular, para uma dada sobrelevação, para estradas de 1 faixa de rodagem e 4 vias no Método Clássico

Exemplo:

Determinação dos volumes da camada de transição para uma sobrelevação igual a 7%:

$$Se = 7\%$$

Uma Faixa – 2 vias (pelo gráfico 5.1):

- Clotóide:

$$V \cong 4600 \text{ m}^3/\text{km}$$

- Curva Circular:

$$V \cong 3750 \text{ m}^3/\text{km}$$

Uma Faixa – 4 vias (pelo gráfico 5.2):

- Clotóide:

$$V \cong 8200 \text{ m}^3/\text{km}$$

- Curva circular:

$$V \cong 6000 \text{ m}^3/\text{km}$$

5.2.2.VOLUME DA CAMADA DE TRANSIÇÃO NO MÉTODO PROPOSTO COM 2 FRONTEIRAS DRENANTES PARA ESTRADAS DE 1 FAIXA DE RODAGEM

A tabela 5.2 contém os valores dos volumes da camada de transição para estradas de 2 vias e 4 vias em alinhamento reto

Tabela 5.2 - Valores dos volumes (m^3/km) da camada de transição para 1 faixa com o método proposto para 2 fronteiras drenantes

Volumes	2 vias (l=12,5m)	4 vias (l=20m)
AR, zona corrente	4710	8458
AR, zona de Ld	5470	10403

Nos gráficos 5.3 e 5.4 podem-se determinar os volumes da camada de transição neste método proposto para qualquer sobrelevação, do mesmo modo do método clássico.

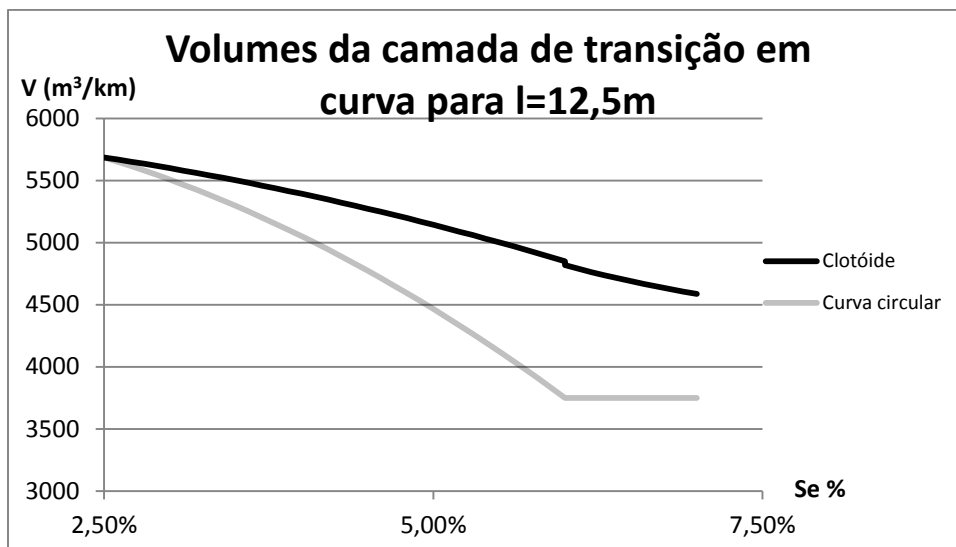


Gráfico 5.3 - Volume [m³/km] da camada de transição, em clotóide e curva circular, para uma dada sobrelevação, para estradas de 1 faixa de rodagem e 2 vias no Método Proposto para 2 fronteiras drenantes.

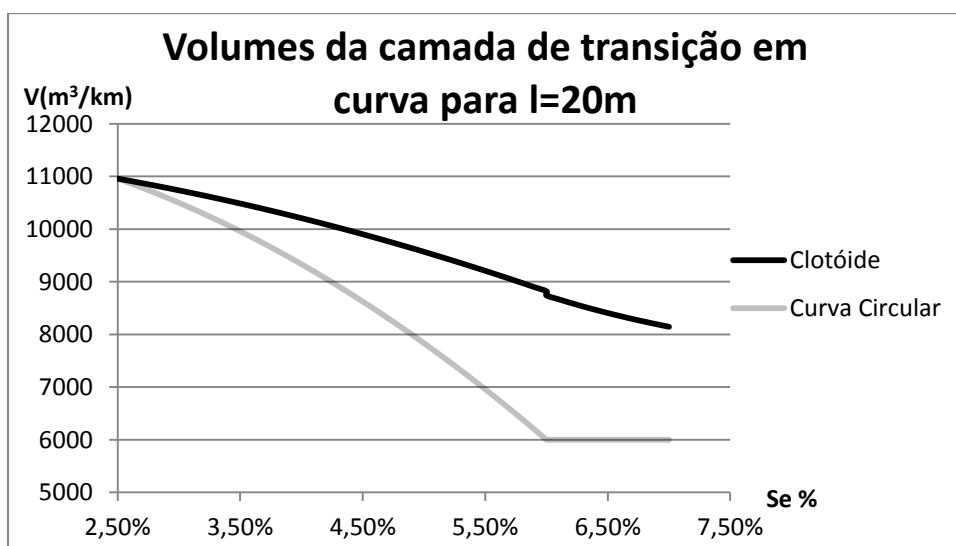


Gráfico 5.4 – Volume [m³/km] da camada de transição, em clotóide e curva circular, para uma dada sobrelevação, para estradas de 1 faixa de rodagem e 4 vias no Método Proposto para 2 fronteiras drenantes.

Exemplo:

Determinação dos volumes da camada de transição para uma sobrelevação igual a 7%:

$$Se = 7\%$$

Uma Faixa – 2 vias (pelo gráfico 5.3):

- Clotóide:

$$V \cong 4600 \text{ m}^3/\text{km}$$

- Curva Circular:

$$V \cong 3750 \text{ m}^3/\text{km}$$

Uma Faixa – 4 vias (pelo gráfico 5.4):

- Clotóide:

$$V \cong 8150 \text{ m}^3/\text{km}$$

- Curva circular:

$$V \cong 6000 \text{ m}^3/\text{km}$$

5.2.3.VOLUME DA CAMADA DE TRANSIÇÃO NO MÉTODO PROPOSTO COM 3 FRONTEIRAS DRENANTES PARA ESTRADAS DE 1 FAIXA DE RODAGEM

A tabela 5.3 contém os valores dos volumes da camada de transição para estradas de 2 vias e 4 vias em alinhamento reto.

Tabela 5.3 - Valores dos volumes (m³/km) da camada de transição para estradas de 1 faixa de rodagem utilizando o método proposto para 3 fronteiras drenantes

Volumes	2 vias (l=12,5m)	4 vias (l=20m)
AR, zona corrente	4718	8479
AR, zona de Ld	4806	8703

Nos gráficos 5.5 e 5.6 podem-se determinar os volumes da camada de transição neste método proposto para qualquer sobrelevação, procedendo da mesma forma que métodos anteriores.

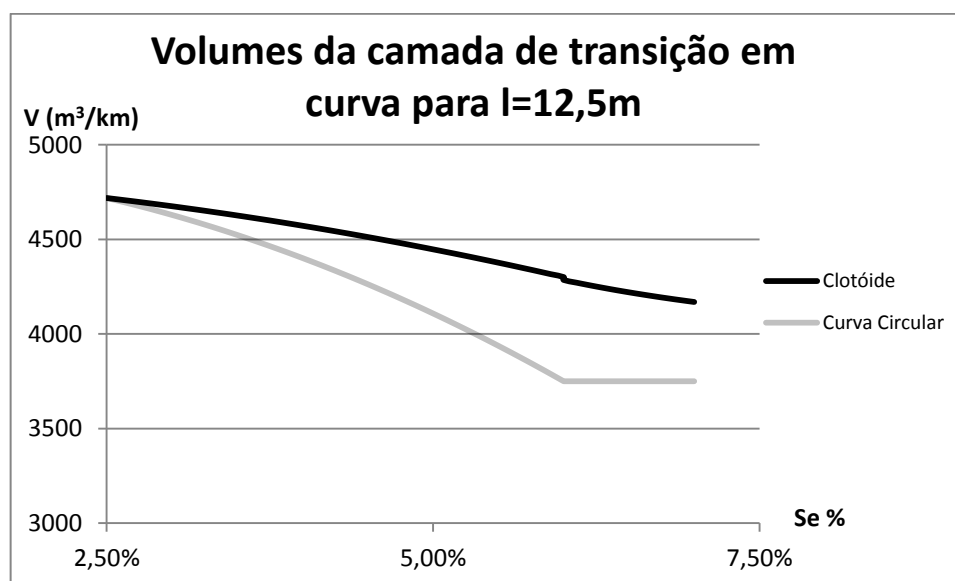


Gráfico 5.5 – Volume [m³/km] da camada de transição, em clotóide e curva circular, para uma dada sobrelevação, para estradas de 1 faixa de rodagem com 2 vias no Método Proposto para 3 fronteiras drenantes.

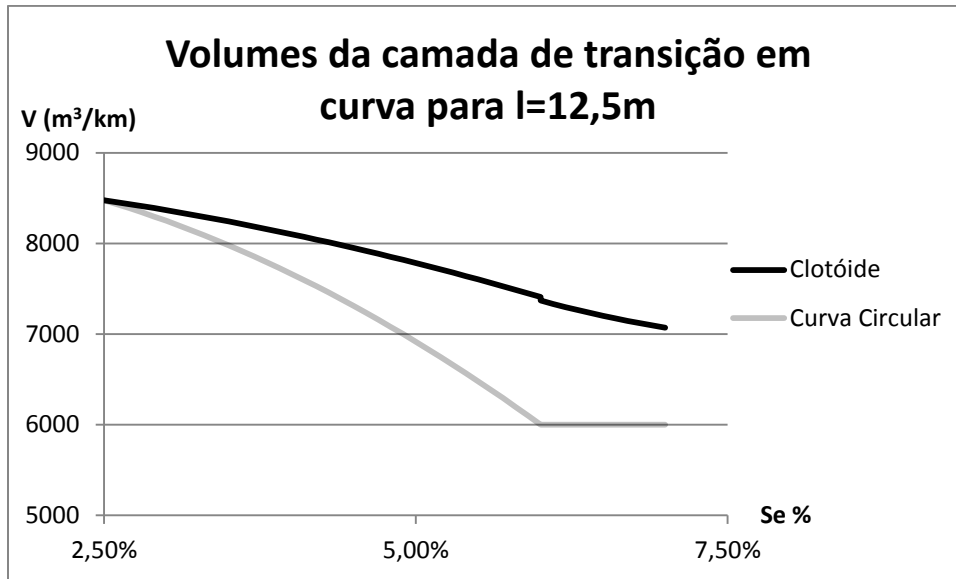


Gráfico 5.6 – Volume [m³/km] da camada de transição, em clotóide e curva circular, para uma dada sobrelevação, para estradas de 1 faixa de rodagem com 4 vias no Método Proposto para 3 fronteiras drenantes.

Exemplo:

Determinação dos volumes da camada de transição para uma sobrelevação igual a 7%:

$$Se = 7\%$$

Uma Faixa – 2 vias (pelo gráfico 5.5):

- Clotóide:

$$V \cong 4200 \text{ m}^3/\text{km}$$

- Curva Circular:

$$V \cong 3750 \text{ m}^3/\text{km}$$

Uma Faixa – 4 vias (pelo gráfico 5.6):

- Clotóide:

$$V \cong 7050 \text{ m}^3/\text{km}$$

- Curva circular:

$$V \cong 6000 \text{ m}^3/\text{km}$$

5.3.COMPARAÇÃO DOS VOLUMES DA CAMADA DE TRANSIÇÃO ENTRE OS MÉTODOS CONSIDERADOS PARA ESTRADAS DE 1 FAIXA DE RODAGEM

5.3.1.COMPARAÇÃO DOS MÉTODOS PROPOSTOS COM O MÉTODO CLÁSSICO

Determinação das relações dos volumes entre os métodos propostos e o método clássico.

Tomando o método clássico como referência. Quanto menor for a relação, melhor é, já que menor é o volume em relação ao normalmente utilizado.

$$\% Vol = \frac{Vol.Met.proposto}{Vol.Met.Clássico} * 100 \quad (5.1)$$

5.3.1.1.Comparação do volumes da camada de transição do método proposto com 2 fronteiras drenantes com o método clássico

A tabela 5.4 para alinhamento reto e os gráficos 5.7 e 5.8 para curvas compostas, dão-nos as relações pretendidas entre os volumes das camadas de transição do método proposto com 2 fronteiras drenantes e o método clássico.

Tabela 5.4 – Relação dos volumes (%) da camada de transição entre o método clássico e o método proposto de 2 fronteiras drenantes, para 2 vias e 4 vias.

Volume	2 vias l=12,5m	4 vias l=20m
AR, zona corrente	92,05%	89,04%
AR, zona de Ld	93,77%	91,79%

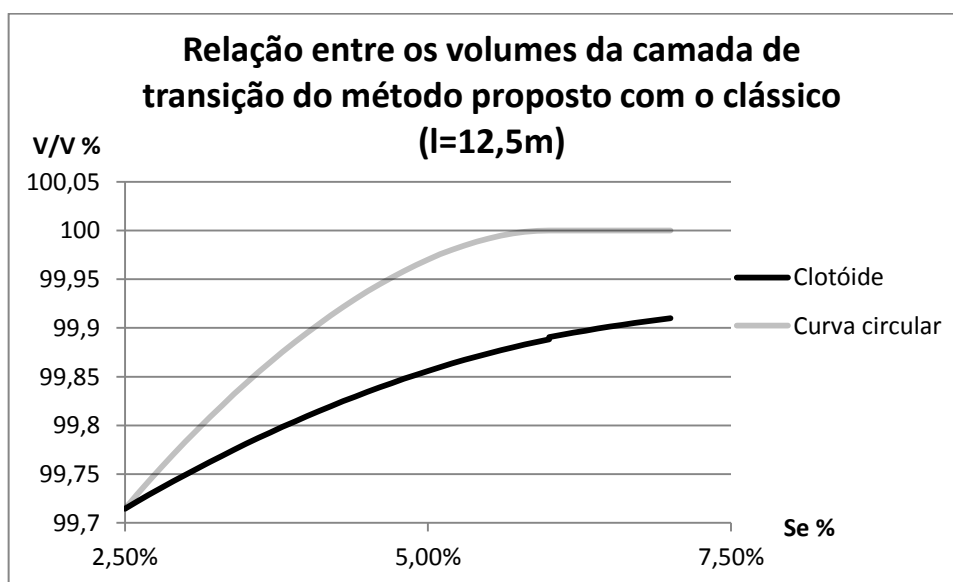


Gráfico 5.7 – Relação percentual dos volumes do método proposto para 2 fronteiras drenantes com o método clássico, para estradas de 1 faixa e 2 vias, em curva, em função da sobrelevação.

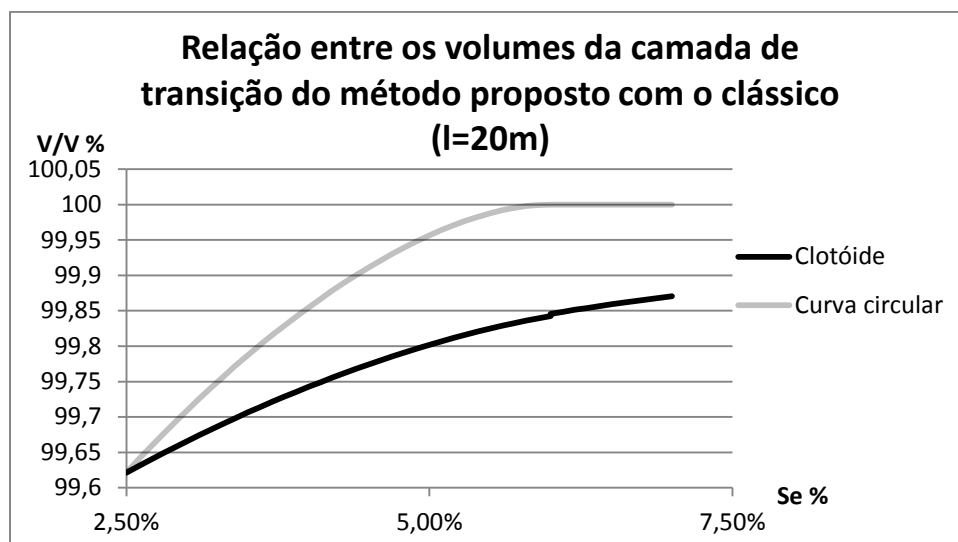


Gráfico 5.8 – Relação percentual dos volumes do método proposto para 2 fronteiras drenantes com o método clássico, para estradas de 1 faixa e 4 vias, em curva, em função da sobrelevação.

5.3.1.2. Comparação do volumes da camada de transição do método proposto com 3 fronteiras drenantes com o método clássico

A tabela 5.5 para alinhamento reto e os gráficos 5.9 e 5.10 para curvas compostas, dão-nos as relações percentuais pretendidas entre os volumes da camada de transição no método proposto com o método clássico.

Tabela 5.5 - Relação dos volumes (%) da camada de transição entre o método clássico e o método proposto de 3 fronteiras drenantes, para 2 vias e 4 vias.

Volume	2 vias l=12,5m	4 vias l=20m
AR, zona corrente	92,21%	89,25%
AR, zona de Ld	82,39%	76,79%

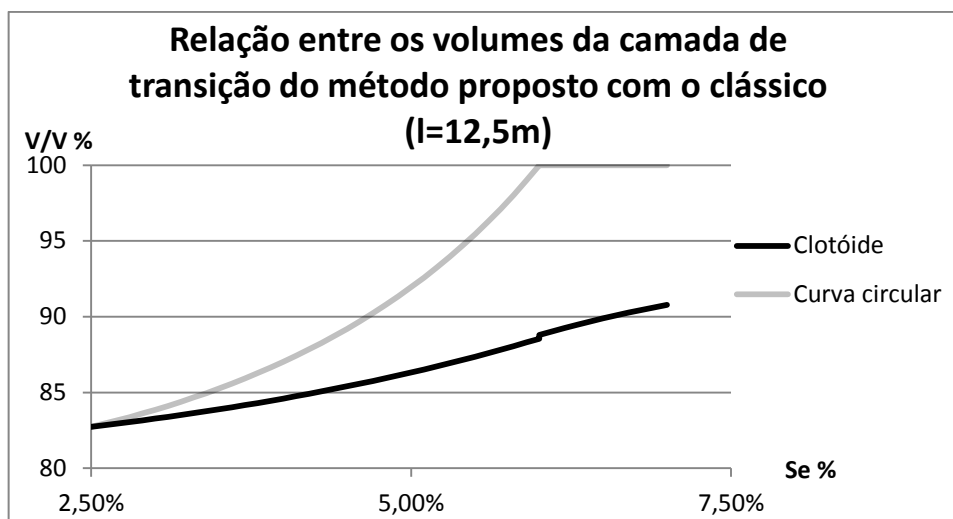


Gráfico 5.9 – Relação percentual dos volumes do método proposto para 3 fronteiras drenantes com o método clássico, para estradas de 1 faixa e 2 vias, em curva, em função da sobrelevação.

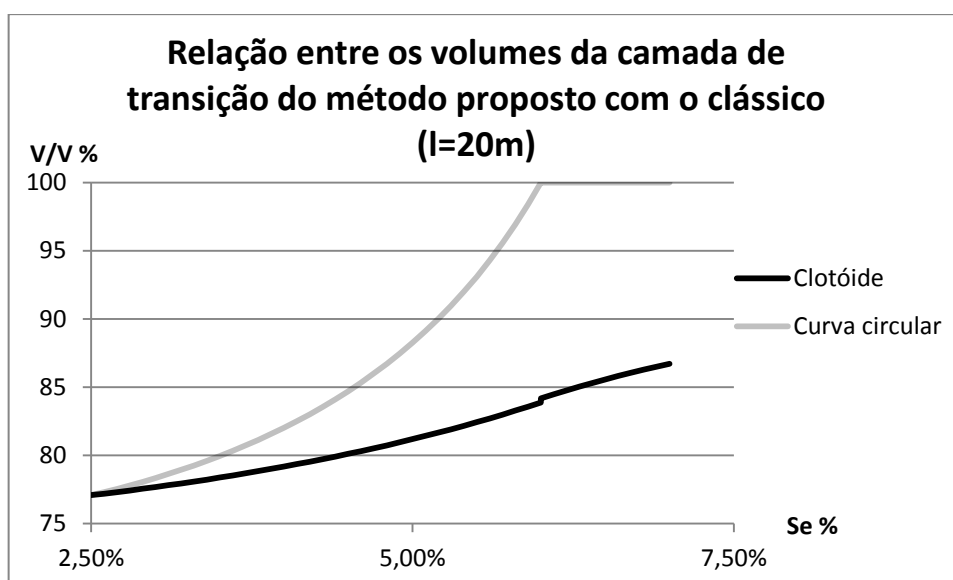


Gráfico 5.10 – Relação percentual dos volumes do método proposto para 3 fronteiras drenantes com o método clássico, para estradas de 1 faixa e 2 vias, em curva, em função da sobrelevação.

5.3.2.COMPARAÇÃO DO VOLUMES DA CAMADA DE TRANSIÇÃO ENTRE OS 2 MÉTODOS PROPOSTOS

Resta determinar como é que se relacionam os volumes dos métodos propostos.

Para isso, vão-se determinar as relações ao longo da estrada utilizando o método de 2 fronteiras drenantes como referência.

$$\% Vol. = \frac{Vol.Mét.2 fronteiras}{Vol.Mét.3 fronteiras} * 100 \quad (5.2)$$

Na tabela 5.6 e figuras 5.11 e 5.12 encontram-se os resultados obtidos para os volumes da camada de transição do método proposto com 3 fronteiras drenantes e o método proposto para 2 fronteiras drenantes.

Tabela 5.6 - Relação dos volumes (%) da camada de transição entre o método proposto de 2 fronteiras drenantes e o método proposto de 2 fronteiras drenantes, para 2 vias e 4 vias.

Volume	2 vias (l=12,5m)	4 vias(l=20m)
AR, zona corrente	100,17 %	100,25 %
AR, zona de Ld	87,86 %	83,67 %

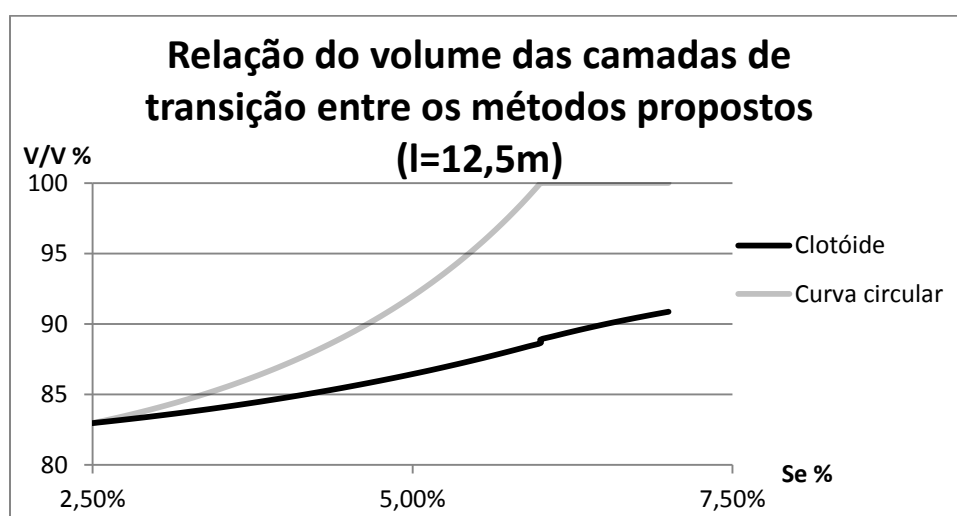


Gráfico 5.11 – Relação percentual dos volumes do método proposto para 2 fronteiras drenantes com o método proposto para 3 fronteiras drenantes, para estradas de 1 faixa e 2 vias, em curva, em função da sobrelevação.

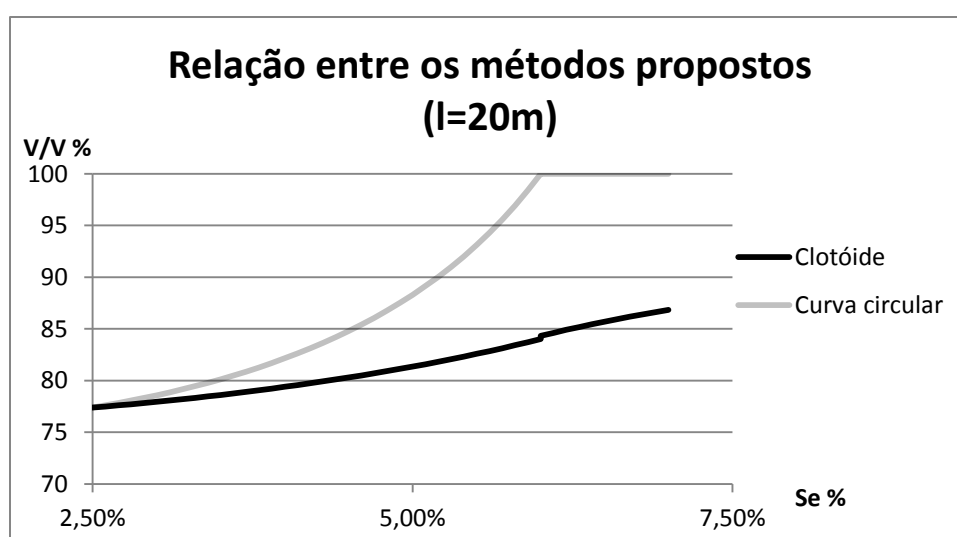


Gráfico 5.12 – Relação percentual dos volumes do método proposto para 2 fronteiras drenantes com o método proposto para 3 fronteiras drenantes, para estradas de 1 faixa e 4 vias, em curva, em função da sobrelevação.

5.4.VOLUMES DOS MÉTODOS ADMITIDOS PARA ESTRADAS COM 2 FAIXAS DE RODAGEM

Para estradas com duas faixas de rodagem vão-se apresentar as tabelas e gráficos dos volumes em metros cúbicos por quilómetro à semelhança do que se fez para estrada de uma só faixa.

No entanto, serão divididos os resultados nas semiplataforma interior e exterior quando nos encontramos em curva, porque as inclinações transversais das faixas de intradorso e extradorso são diferentes até se atingir a osculação da clotóide com a curva circular.

Em alinhamento reto, não é necessário essa divisão já que apesar das inclinações transversais das faixa de rodagem também serem diferentes na zona de disfarce de sobrelevação, nesta zona inclinação transversal da faixa de intradorso tem um valor fixo, logo não há problema ao “emparelhar” perfis da camada de transição da semiplataforma exterior com a interior.

Vai-se continuar a exemplificar com os volumes da camada de transição para uma sobrelevação de 7%.

5.4.1.DETERMINAÇÃO DO VOLUME DA CAMADA DE TRANSIÇÃO SEGUNDO O MÉTODO CLÁSSICO

A tabela 5.7 contém os valores dos volumes da camada de transição em metros cúbicos por quilómetro utilizando o método clássico, isto em alinhamento reto.

Tabela 5.7 - Valores dos volumes (m^3/km) da camada de transição para estradas com 2 faixas de rodagem no método clássico

Volumes	2 vias por faixa	3 vias por faixa
AR, zona corrente	13645	19340
AR, zona de Ld	13966	19700

Abaixo, nos gráficos 5.13 a 5.16, podem-se determinar volumes de camadas de transição para quaisquer sobrelevações utilizando o método clássico.

Os gráficos para além das divisões por larguras de faixa mais bermas interior e exterior, estão também divididos por semiplataformas de intradorso e extradorso, pelos motivos apontados anteriormente.

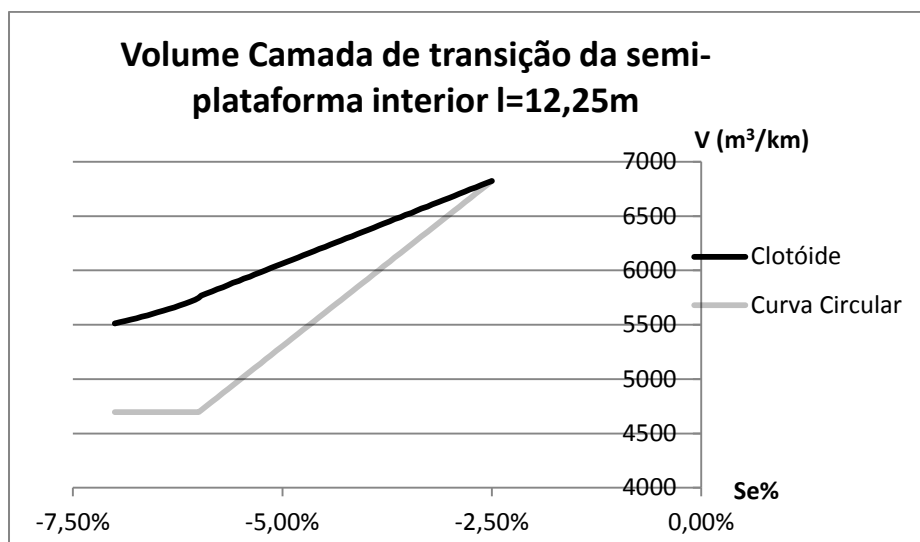


Gráfico 5.13 – Volume da camada de transição sob a semiplataforma de intradorso para estradas de 2 faixas de rodagem e 2 vias por faixa, no método clássico para determinada sobreelevação.

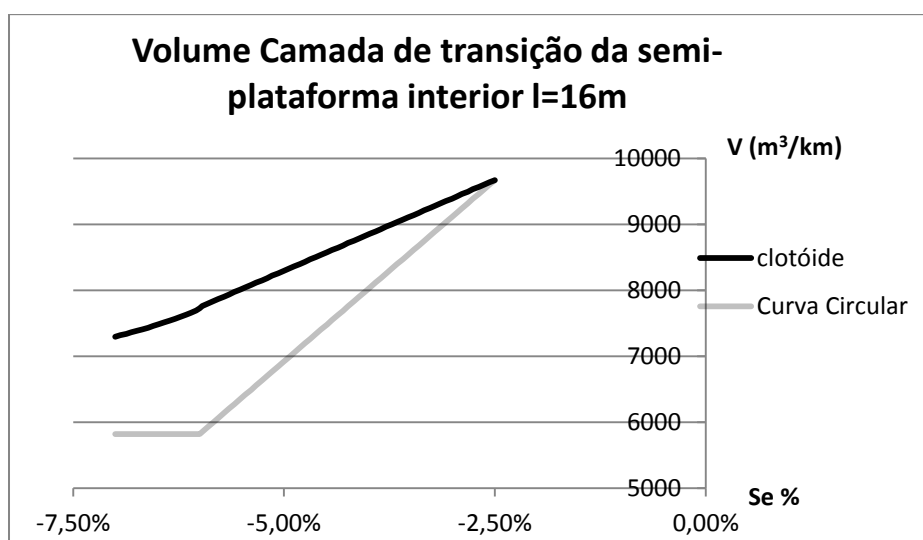


Gráfico 5.14 – Volume da camada de transição sob a semiplataforma de intradorso para estradas de 2 faixas de rodagem e 3 vias por faixa, no método clássico para determinada sobreelevação.

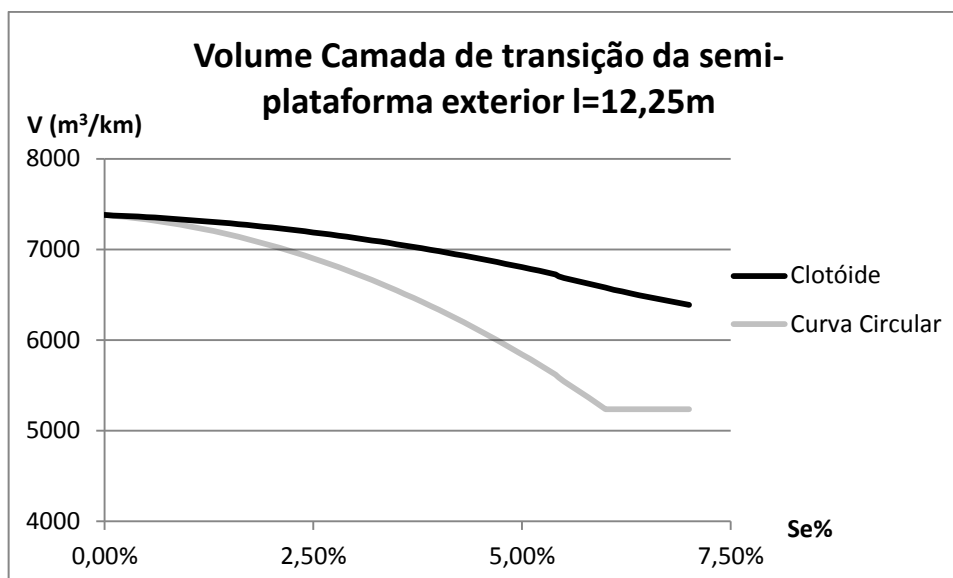


Gráfico 5.15 – Volume da camada de transição sob a semiplataforma de extradorso para estradas de 2 faixas de rodagem e 2 vias por faixa, no método clássico para determinada sobrelevação.

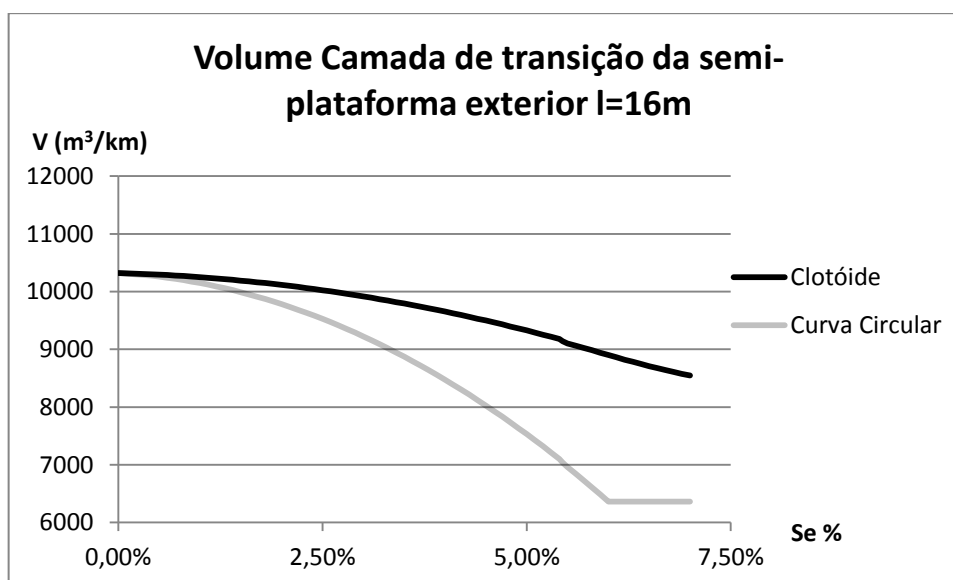


Gráfico 5.16 – Volume da camada de transição sob a semiplataforma de extradorso para estradas de 2 faixas de rodagem e 3 vias por faixa, no método clássico para determinada sobrelevação.

Exemplo:

Determinação dos volumes da camada de transição para uma sobrelevação igual a 7%:

$$Se = 7\%$$

Estradas de duas Faixas com 2 vias por faixa:

- Na Clotóide:

- Semi-plataforma de intradorso (através do gráfico 5.13):

$$V \cong 5500 \text{ m}^3/\text{km}$$

- Semiplataforma de extradorso (através do gráfico 5.15):

$$V \cong 6400 \text{ m}^3/\text{km}$$

- Na Curva Circular:

- Semiplataforma de intradorso (através do gráfico 5.13):

$$V \cong 4700 \text{ m}^3/\text{km}$$

- Semiplataforma de extradorso (através do gráfico 5.15):

$$V \cong 5250 \text{ m}^3/\text{km}$$

Estradas de duas Faixas com 3 vias por faixa:

- Na Clotóide:

- Semiplataforma de intradorso (através do gráfico 5.14):

$$V \cong 7300 \text{ m}^3/\text{km}$$

- Semiplataforma de extradorso (através do gráfico 5.16):

$$V \cong 8600 \text{ m}^3/\text{km}$$

- Na curva circular:

- Semiplataforma de intradorso (através do gráfico 5.14):

$$V \cong 5850 \text{ m}^3/\text{km}$$

- Semiplataforma de extradorso (através do gráfico 5.16):

$$V \cong 6350 \text{ m}^3/\text{km}$$

5.4.2.DETERMINAÇÃO DO VOLUME DA CAMADA DE TRANSIÇÃO SEGUNDO O MÉTODO DO PROFESSOR FRANÇA

Na tabela 5.8 estão os valores dos volumes da camada de transição em $[\text{m}^3/\text{km}]$ em alinhamento reto, com a separação em zona corrente e zona de disfarce de sobrelevação.

Tabela 5.8 - Valores dos volumes (m^3/km) da camada de transição para estradas com 2 faixas de rodagem no método do professor França

Volumes	Estrada com 2 vias por faixa	Estrada com 3 vias por faixa
AR, zona corrente	13484	18733
AR, zona de Ld	13862	19320

Nos gráficos 5.17 a 5.20 estão determinados os volumes da camada de transição para qualquer sobrelevação.

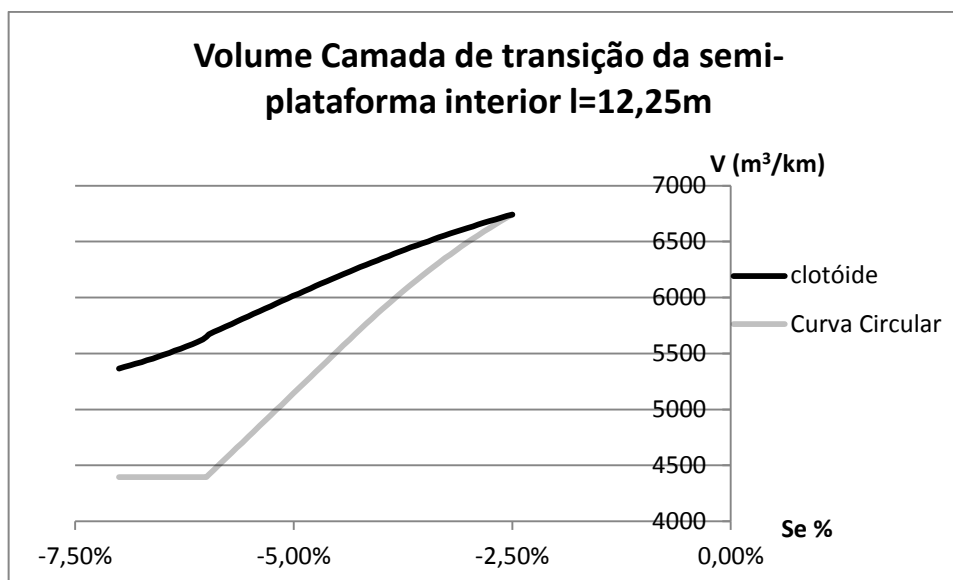


Gráfico 5.17 – Volume da camada de transição sob a semiplataforma de intradorso para estradas de 2 faixas de rodagem e 2 vias por faixa, no método do professor França para determinada sobrelevação.

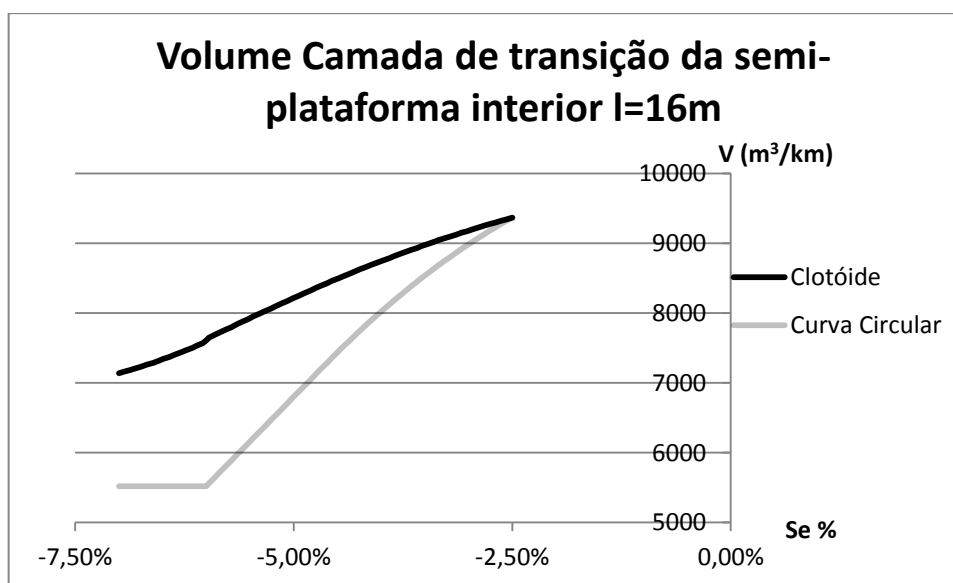


Gráfico 5.18 – Volume da camada de transição sob a semiplataforma de intradorso para estradas de 2 faixas de rodagem e 3 vias por faixa, no método do professor França para determinada sobrelevação.

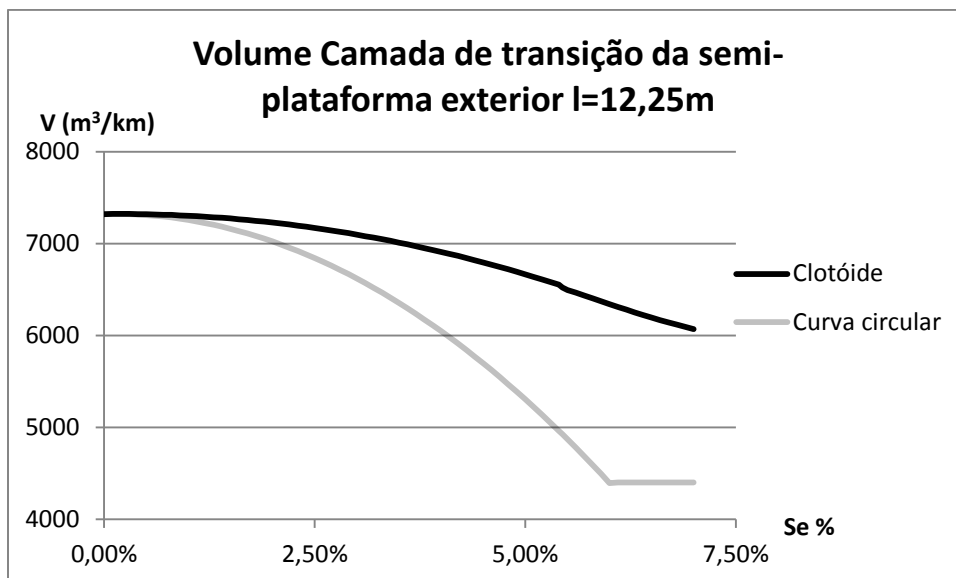


Gráfico 5.19 – Volume da camada de transição sob a semiplataforma de extradorso para estradas de 2 faixas de rodagem e 2 vias por faixa, no método do professor França para determinada sobrelevação.

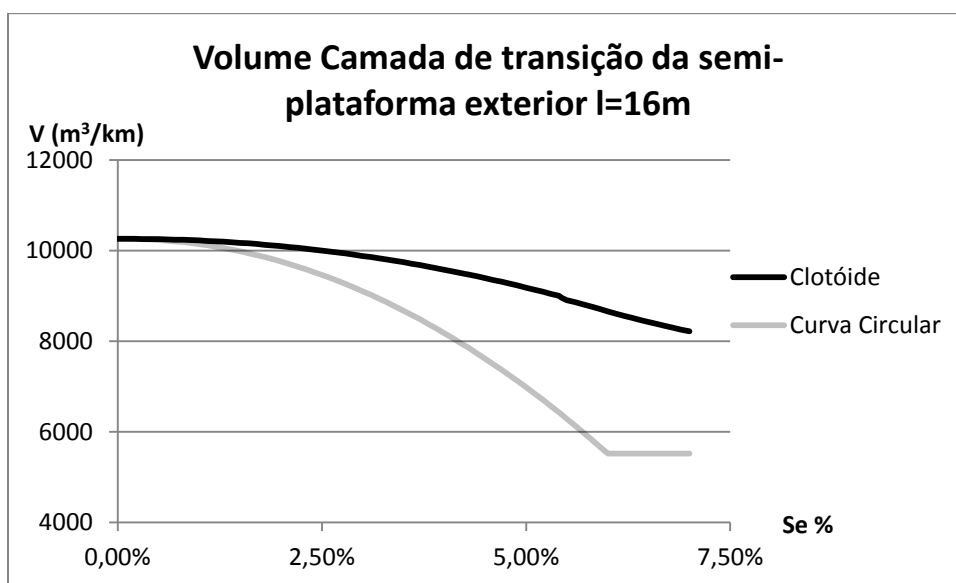


Gráfico 5.20 – Volume da camada de transição sob a semiplataforma de extradorso para estradas de 2 faixas de rodagem e 3 vias por faixa, no método do professor França para determinada sobrelevação.

Exemplo:

Determinação dos volumes da camada de transição para uma sobrelevação igual a 7%:

$$Se = 7\%$$

Estradas de duas Faixas com 2 vias por faixa:

- Na Clotóide:

- Semiplataforma de intradorso (através do gráfico 5.17):

$$V \cong 5350 \text{ m}^3/\text{km}$$

- Semiplataforma de extradorso (através do gráfico 5.19):

$$V \cong 6050 \text{ m}^3/\text{km}$$

- Na Curva Circular:

- Semiplataforma de intradorso (através do gráfico 5.17):

$$V \cong 4400 \text{ m}^3/\text{km}$$

- Semiplataforma de extradorso (através do gráfico 5.19):

$$V \cong 4400 \text{ m}^3/\text{km}$$

Estradas de duas Faixas com 3 vias por faixa:

- Na Clotóide:

- Semiplataforma de intradorso (através do gráfico 5.18):

$$V \cong 7200 \text{ m}^3/\text{km}$$

- Semiplataforma de extradorso (através do gráfico 5.20):

$$V \cong 8200 \text{ m}^3/\text{km}$$

- Na curva circular:

- Semiplataforma de intradorso (através do gráfico 5.18):

$$V \cong 5500 \text{ m}^3/\text{km}$$

- Semiplataforma de extradorso (através do gráfico 5.20):

$$V \cong 5500 \text{ m}^3/\text{km}$$

5.4.3.DETERMINAÇÃO DO VOLUME DA CAMADA DE TRANSIÇÃO SEGUNDO O MÉTODO DO PROPOSTO

Na tabela 5.9 estão os valores dos volumes da camada de transição utilizando o método proposto, em $[\text{m}^3/\text{km}]$ em alinhamento reto, com a separação em zona corrente e zona de disfarce de sobrelevação.

Tabela 5.9 - Valores dos volumes (m^3/km) da camada de transição para estradas com 2 faixas de rodagem no método proposto

Volumes	Estrada com 2 vias por faixa	Estrada com 4 vias por faixa
AR, zona corrente	11465	15460
AR, zona de Ld	11858	16051

Nos gráficos 5.21 a 5.24 estão determinados os volumes da camada de transição no método proposto para qualquer sobrelevação.

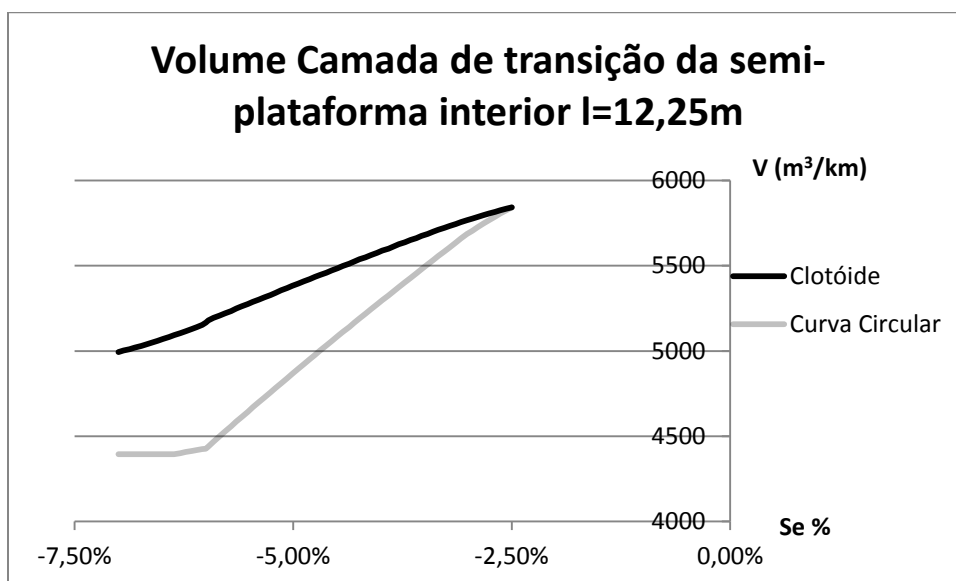


Gráfico 5.21 – Volume da camada de transição sob a semiplataforma de intradorso para estradas de 2 faixas de rodagem e 2 vias por faixa, no método do proposto para determinada sobrelevação.

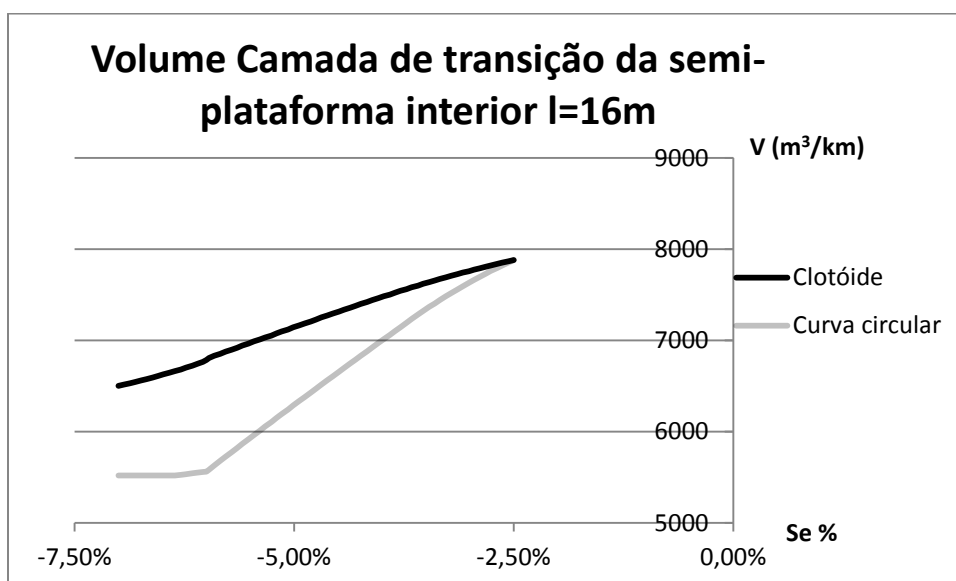


Gráfico 5.22 – Volume da camada de transição sob a semiplataforma de intradorso para estradas de 2 faixas de rodagem e 3 vias por faixa, no método do professor proposto para determinada sobrelevação.

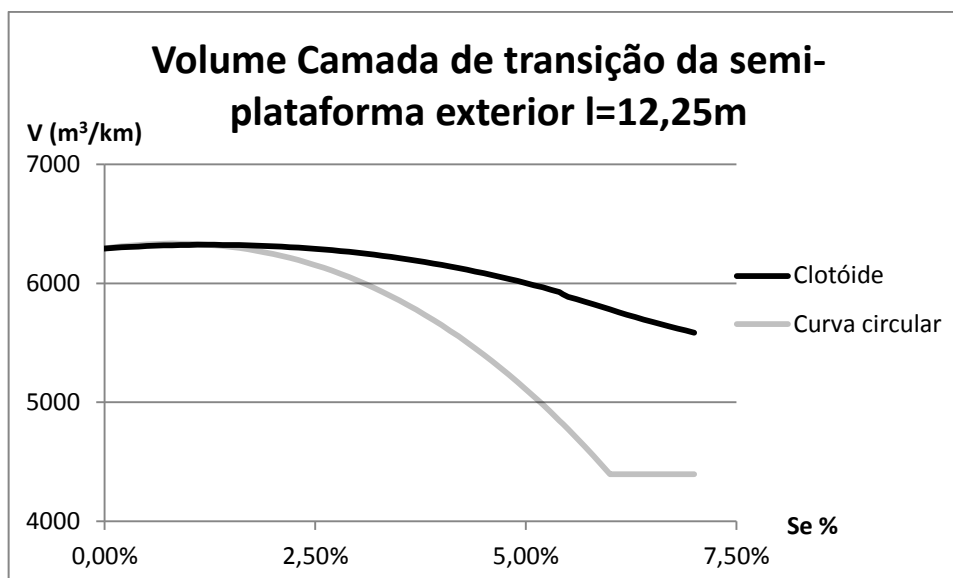


Gráfico 5.23 – Volume da camada de transição sob a semiplataforma de extradorso para estradas de 2 faixas de rodagem e 2 vias por faixa, no método proposto para determinada sobrelevação.

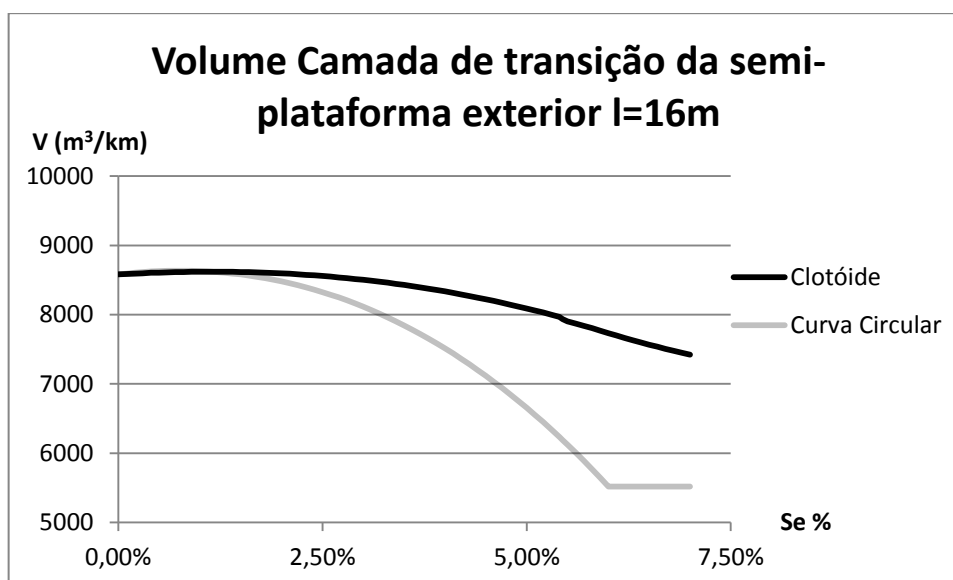


Gráfico 5.24 – Volume da camada de transição sob a semiplataforma de extradorso para estradas de 2 faixas de rodagem e 3 vias por faixa, no método proposto para determinada sobrelevação.

Exemplo:

Determinação dos volumes da camada de transição para uma sobrelevação igual a 7%:

$$Se = 7\%$$

Estradas de duas Faixas com 2 vias por faixa:

- Na Clotóide:

- Semiplataforma de intradorso (através do gráfico 5.21):

$$V \cong 5000 \text{ m}^3/\text{km}$$

- Semiplataforma de extradorso (através do gráfico 5.23):

$$V \cong 5600 \text{ m}^3/\text{km}$$

- Na Curva Circular:

- Semiplataforma de intradorso (através do gráfico 5.21):

$$V \cong 4400 \text{ m}^3/\text{km}$$

- Semiplataforma de extradorso (através do gráfico 5.23):

$$V \cong 4400 \text{ m}^3/\text{km}$$

Estradas de duas Faixas com 3 vias por faixa:

- Na Clotóide:

- Semiplataforma de intradorso (através do gráfico 5.22):

$$V \cong 6500 \text{ m}^3/\text{km}$$

- Semiplataforma de extradorso (através do gráfico 5.24):

$$V \cong 7450 \text{ m}^3/\text{km}$$

- Na curva circular:

- Semiplataforma de intradorso (através do gráfico 5.22):

$$V \cong 5500 \text{ m}^3/\text{km}$$

- Semiplataforma de extradorso (através do gráfico 5.24):

$$V \cong 5500 \text{ m}^3/\text{km}$$

5.4.4.COMPARAÇÃO DO VOLUME DA CAMADA DE TRANSIÇÃO ENTRE OS MÉTODOS CONSIDERADOS PARA ESTRADAS DE 2 FAIXAS DE RODAGEM

À semelhança do realizado para estradas de 1 faixa de rodagem, vai-se agora comparar os resultados obtidos para o método proposto com aqueles determinados para os demais métodos.

Esta comparação dá-nos rapidamente a sensação da solução mais eficiente na poupança, ou melhor, no menor gasto de materiais/solos para a realização da camada de transição.

Vão-se dividir as estradas mediante a localização em alinhamento reto ou curva, sendo que o tratamento gráfico para o alinhamento reto será diferente por neste ser mais direta a comparação do que em curva.

5.4.4.1.Comparação do volume da camada de transição dos métodos clássico com o proposto

Na tabela 5.10 estão determinadas as relações entre os volumes das camadas de transição para alinhamento reto, do método clássico para estradas de 2 faixas de rodagem com o método proposto.

Estas proporções são determinadas segundo a expressão (5.1), resultando numa relação percentual de volumes entre os métodos proposto e clássico. Optou-se por esta via já que se pensou ser menos abstrata do que determinar diferenças de volumes por quilómetro de estrada.

Tabela 5.10 – Relações percentual dos volumes da camada de transição para alinhamento reto, entre os métodos proposto e clássico para estradas de 2 faixas de rodagem

Volumes	2 vias por sentido l=12,25m	3 vias por sentido l=16m
AR, zona corrente	84,03 %	79,94 %
AR, zona de Ld	84,91 %	81,48 %

Nos gráficos seguintes (5.25 a 2.28) está determinada a evolução em curva (tanto em clotóide como em curva circular) da relação dos volumes da camada de transição dos métodos proposto com o clássico, realizando a separação entre semiplataformas de intradorso e extradorso pelos motivos relacionados com as inclinações transversais das faixas de rodagem, anteriormente referidos.

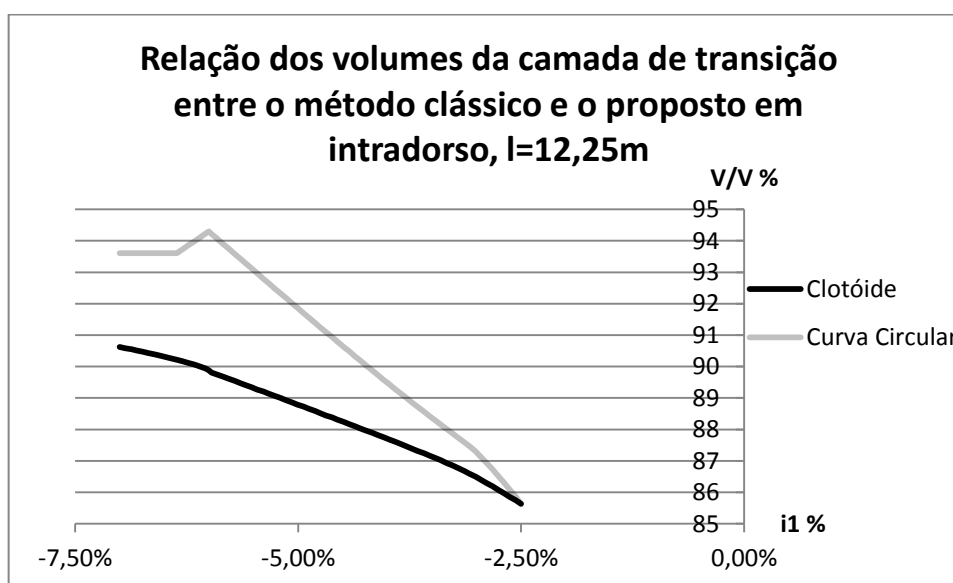


Gráfico 5.25 – Proporção do volume da camada de transição dos métodos proposto em função do clássico em curva, para estradas de 2 faixas de rodagem e 2 vias por faixa na semiplataforma de intradorso para determinada sobrelevação.

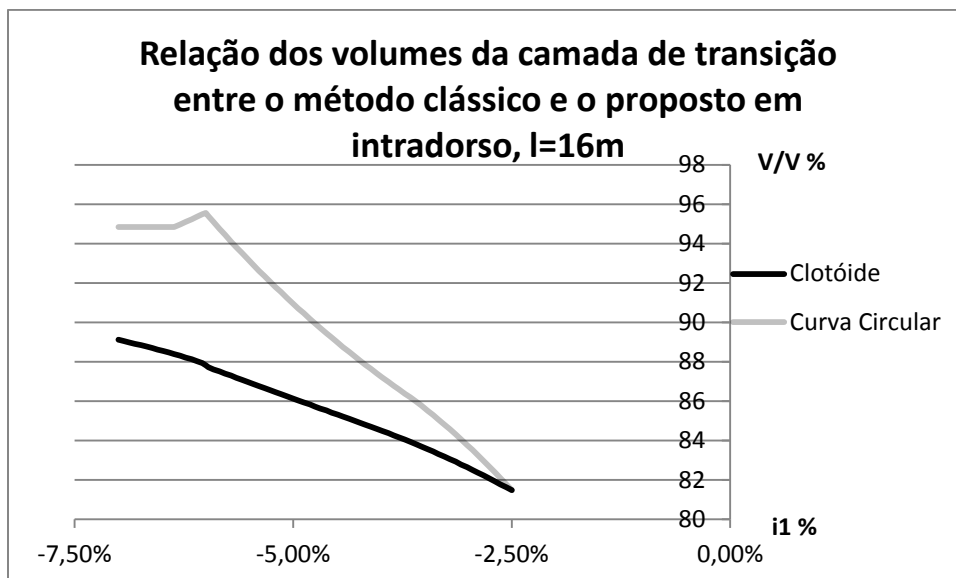


Gráfico 5.26 - Proporção do volume da camada de transição dos métodos proposto em função do clássico em curva, para estradas de 2 faixas de rodagem e 3 vias por faixa na semiplataforma de intradorso para determinada sobrelevação.

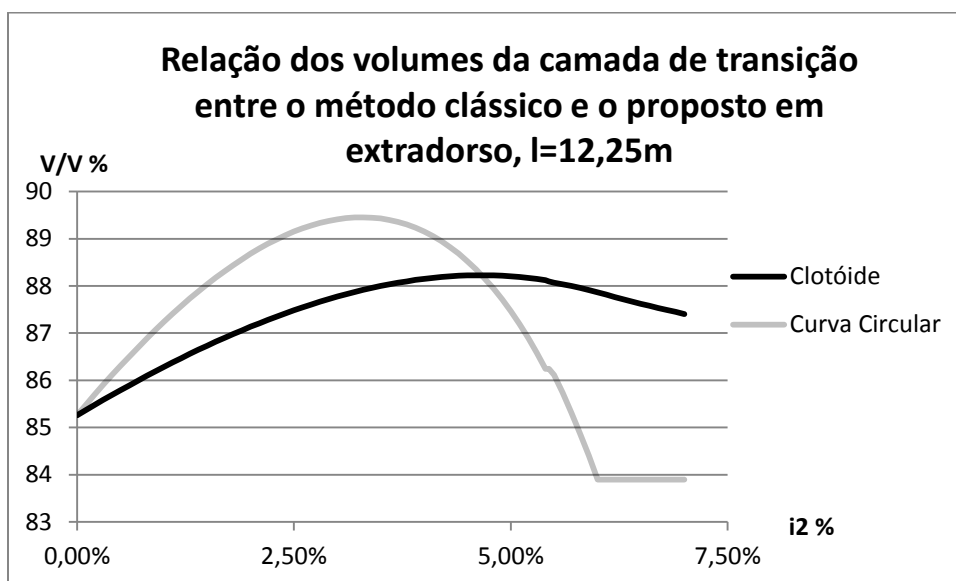


Gráfico 5.27 - Proporção do volume da camada de transição dos métodos proposto em função do clássico em curva, para estradas de 2 faixas de rodagem e 2 vias por faixa na semiplataforma de extradorso para determinada sobrelevação.

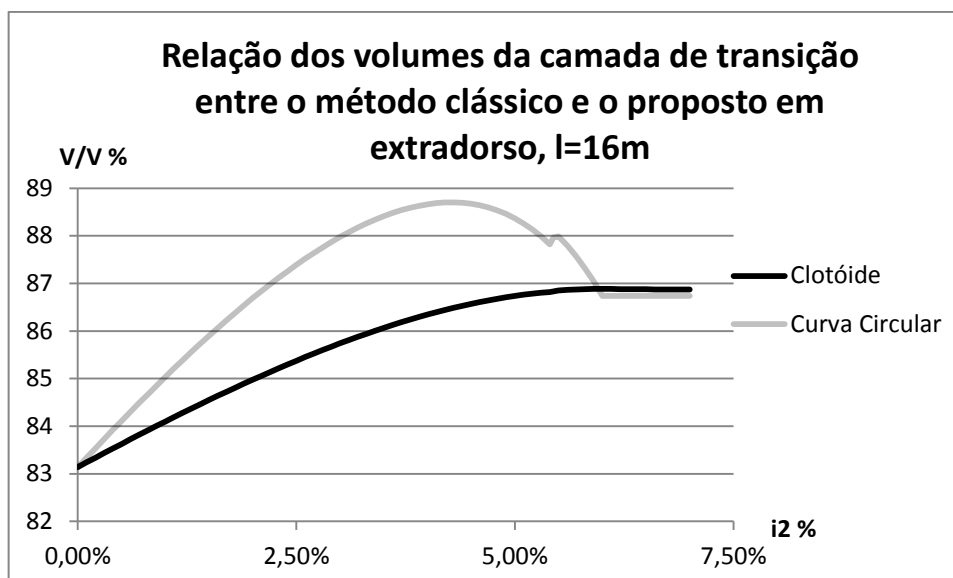


Gráfico 5.28 - Proporção do volume da camada de transição dos métodos proposto em função do clássico em curva, para estradas de 2 faixas de rodagem e 2 vias por faixa na semiplataforma de extradorso para determinada sobrelevação.

5.4.4.2. Comparação do volume da camada de transição do método do professor França com o método proposto

A determinação desta comparação vai ser realizada com recurso à expressão seguinte:

$$\% \text{ volume} = \frac{\text{Vol. Método Proposto}}{\text{Vol. Método Prof. França}} \times 100 \quad (5.3)$$

A tabela 5.11 dá-nos as relações entre os métodos do professor França e o proposto em alinhamento reto, sendo o método proposto, uma extensão do método do professor França (aliás como o são os métodos propostos presentes nesta dissertação) em termos de princípio de dedução, adaptado a diferentes condições de drenagem.

Tabela 5.11 – Relação entre os volumes da camada de transição para alinhamento reto, dos métodos proposto e do professor França, em estradas de 2 faixas de rodagem e 2 ou 3 vias por sentido.

Volumes	2 vias por sentido, l=12,25m	3 vias por sentido, l=16m
AR, zona corrente	85,03 %	82,53 %
AR, zona de Ld	85,55 %	83,08 %

De seguida apresentam-se os gráficos 5.29 a 5.32, onde se estabelecem as proporções volumétricas da camada de transição em curva para estradas de 2 faixas entre o método proposto e o método do professor França, trata-se no fundo de uma situação análoga aos métodos propostos para estradas de 1 faixa de rodagem, devido ao seu modo de dedução e diferenças somente no número de fronteiras drenantes existentes.

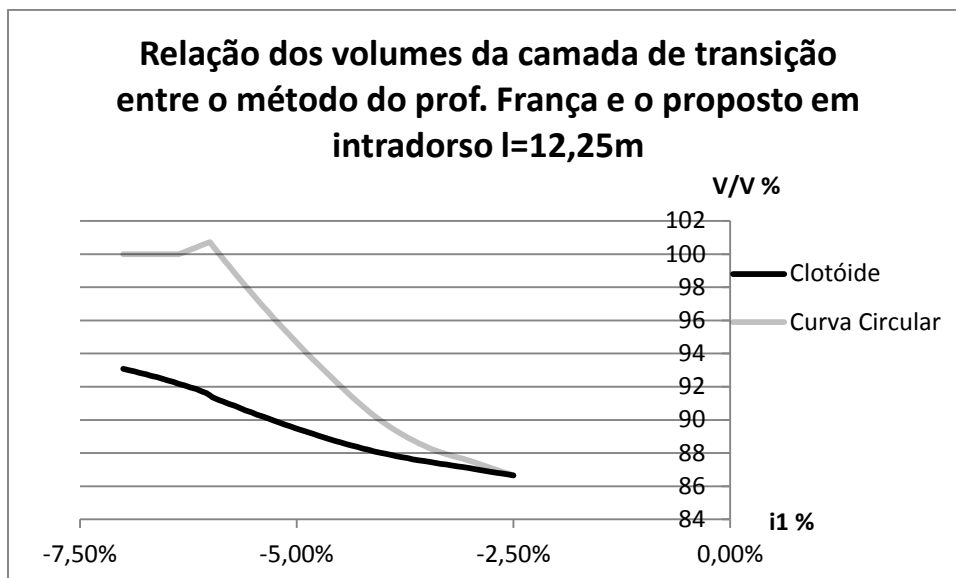


Gráfico 5.29 - Proporção do volume da camada de transição dos métodos proposto em função do do professor França em curva, para estradas de 2 faixas de rodagem e 2 vias por faixa na semiplataforma de intradorso para determinada sobrelevação.

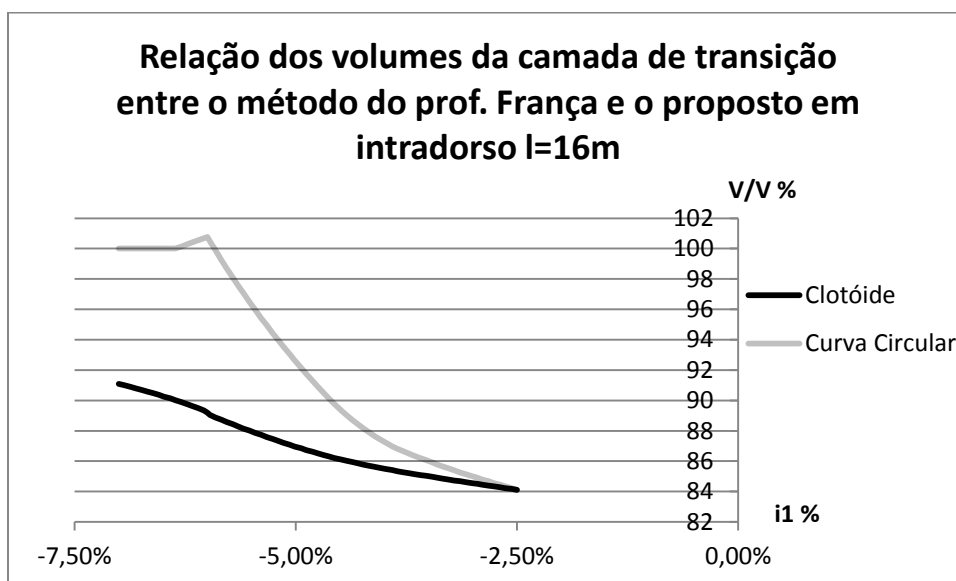


Gráfico 5.30 - Proporção do volume da camada de transição dos métodos proposto em função do professor França em curva, para estradas de 2 faixas de rodagem e 3 vias por faixa na semiplataforma de intradorso para determinada sobrelevação.

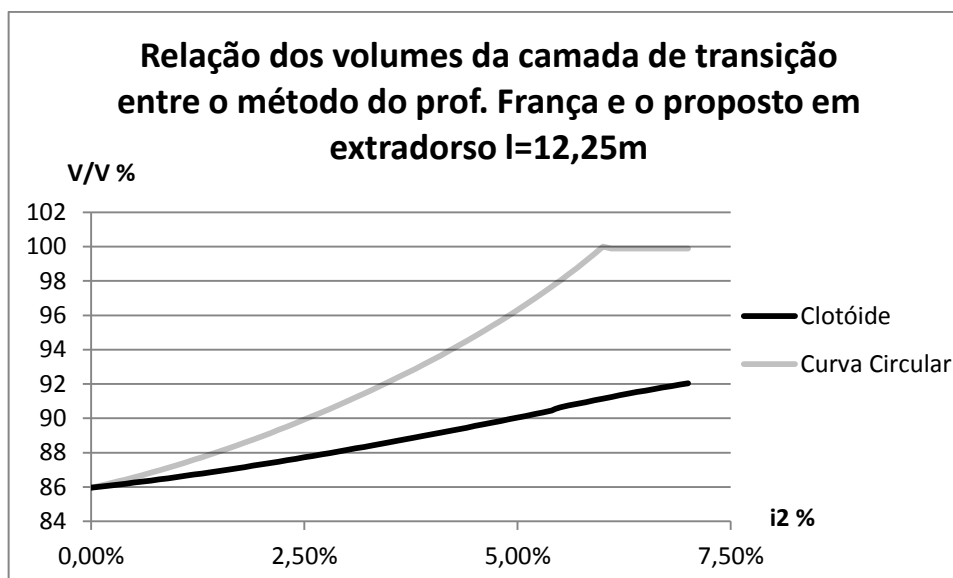


Gráfico 5.31 - Proporção do volume da camada de transição dos métodos proposto em função do professor França em curva, para estradas de 2 faixas de rodagem e 2 vias por faixa na semiplataforma de extradorso para determinada sobrelevação.

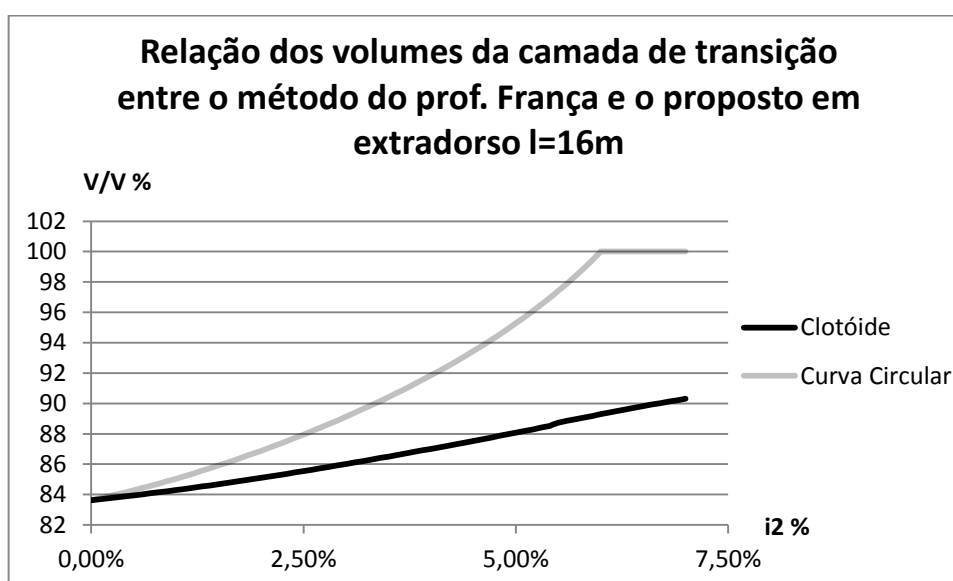


Gráfico 5.32 - Proporção do volume da camada de transição dos métodos proposto em função do professor França em curva, para estradas de 2 faixas de rodagem e 3 vias por faixa na semiplataforma de extradorso para determinada sobrelevação.

6

DETERMINAÇÃO E COMPARAÇÃO DE CUSTOS APROXIMADOS RELACIONADOS COM OS MÉTODOS DESCRITOS

6.1.INTRODUÇÃO

Os volumes da camada de transição, como se pôde ver no capítulo 5, são diferentes entre os métodos considerados para as estradas de 1 e 2 faixas e variam consoante a localização na estrada.

No entanto, não basta saber o volume de terras necessário para a camada de transição, para se responder à questão de qual será o método mais económico para a solução pretendida. Isto acontece porque nos métodos propostos para estradas de 1 faixa com 3 fronteiras drenantes e para estradas de 2 faixas, existem custos adicionais relativos aos drenos colocados sob o pavimento.

Drenos estes que podem ser realizados em diversos materiais como PVC, PEAD, betão simples ou armado (poroso ou perfurado), metálicos, entre outros.

O primeiro passo será então determinar os custos aproximados relativos aos coletores utilizados na drenagem subterrânea para se acrescer esse custo aos métodos propostos que recorrem a drenos “extra”. Seguida da determinação de um custo aproximado por quilómetro de desenvolvimento de estrada, realizando as separações devidas consoante a zona da estrada em que se localiza a camada de transição.

6.2.DETERMINAÇÃO DO CUSTO APROXIMADO DOS DRENOS LONGITUDINAIS

6.2.1.INTRODUÇÃO

Como o custo do tubo para além do material de que é feito, depende também do seu diâmetro, vão-se dimensionar diâmetros de uma forma relativamente simples, para os drenos a utilizar.

Naturalmente, a escolha do diâmetro de um coletor depende do caudal escoado que entre neste. Assim sendo, parte-se do princípio que o solo/material que compõe a camada de transição está saturado e recorre-se à tabela 2.3 para saber os caudais que cada solo/material é capaz de escoar, utilizando dessa amplitude de valores, aquele que levará ao diâmetro de conduta mais elevado, ou seja, o maior dos caudais calculados.

6.2.2.DETERMINAÇÃO DOS DIÂMETROS DE CONDUTA E CUSTOS ASSOCIADOS

Utilizando-se a fórmula de Manning-Strickler, e admitindo que o material das condutas é o PVC temos a seguinte expressão e dados associados:

Equação de Mannnig-Strickler:

$$Q = Ks * R^{\frac{2}{3}} * S * i^{\frac{1}{2}} \quad (6.1)$$

Onde:

$Q [m^3/s]$ – Caudal escoado

$Ks [m^{\frac{1}{3}} * s^{-1}]$ – Coeficiente de rugosidade de Manning-Strickler do betão

$$Ks = 80 \text{ a } 100 m^{\frac{1}{3}} * s^{-1}$$

$R [m]$ – Raio hidráulico da secção

$$R = \frac{S}{P} \quad (6.2)$$

$P [m]$ – Perímetro da secção molhada

$S [m^2]$ – Área da secção

$i []$ – inclinação da conduta

$$i = 0,50\% \left(\begin{array}{l} \text{inclinação longitudinal mínima em estradas,} \\ \text{representando a pior condição de escoamento} \end{array} \right)$$

Para o dimensionamento do diâmetro mínimo foi ainda considerada meia secção molhada, sendo que isso levará aos seguintes valores do raio hidráulico e da área de secção, utilizando as expressões 6.3 e 6.4:

$$R = \frac{1}{4} * \left(1 - \frac{\sin\theta}{\theta} \right) * d \quad (6.3)$$

$$S = \frac{1}{8} * (\theta - \sin\theta) * d^2 \quad (6.4)$$

Substituindo θ por π :

$$R = \frac{d}{4}$$

$$S = \frac{\pi}{8} * d^2$$

$d [m]$ – Diâmetro mínimo necessário para escoar o caudal nas condições determinadas no dimensionamento.

Substituindo as incógnitas na expressão 6.1 pelos valores admitidos, determinou-se o diâmetro, d :

$$d = 0,015m$$

Segundo o trabalho referido em [8], os diâmetros mínimos aceitáveis, para condutas de drenagem são de 150mm a 200mm, será admitido o de 200mm por ser referenciado no caderno de encargos das EP.

Conduatas de PVC com 200mm têm um custo que rondará os 15€/m [10]).

Portanto será esse o valor do custo acrescentado nos métodos propostos que recorrem à aplicação de mais drenos.

Sabendo que, para total exatidão seria necessário considerar a mão de obra associada, assim como o enchimento granular, necessário em torno do dreno, para não permitir entrada de sedimentos no tubo.

6.3.DETERMINAÇÃO DOS CUSTOS APROXIMADOS DA CAMADA DE TRANSIÇÃO (INCLUINDO OS ELEMENTOS ASSOCIADOS AOS MÉTODOS PROPOSTOS COM MAIS DRENOS)

A camada de transição que é admitida para a comparação de preços é composta por material granular grosseiro (brita/cascalho), bastante permeável. Material cujo custo varia de local para local, normalmente entre os 20 e 40€/m³ [11]), pelo que será adotado o valor médio aproximado de 30€/m³.

6.3.1.CUSTOS DA CAMADA DE TRANSIÇÃO + DRENOS, NAS ESTRADAS COM 1 FAIXA DE RODAGEM

Vão-se iniciar as determinações do custo em estradas de 1 faixa de rodagem, para os materiais referidos acima, segundo os métodos clássico, proposto com 2 fronteiras drenantes e proposto com 3 fronteiras drenantes.

Para isso recorrem-se aos volumes da camada de transição, calculados no capítulo 5.

Será realizada a divisão das estradas por zonas, alinhamento reto e curva, para que com os dados disponíveis se possa esclarecer da melhor forma qual o método potencia menor custo, ressalvando que os preços variam dependendo do local da obra e obviamente do fornecedor, logo, na prática estes cálculos deverão ser realizados caso a caso.

A exposição dos dados será realizada de forma diferente para alinhamento reto e curva, sendo que os custos serão tabelados quando nos encontramos em alinhamento recto, e serão exibidos graficamente quando nos encontramos em curva.

A tabela 6.1 tem os custos para alinhamento reto, diferenciando a sua zona corrente da zona de disfarce de sobrelevação, custos estes determinados em euros por metro de estrada, consoante os métodos para estradas de 1 faixa de rodagem. Sendo que para os métodos clássico e proposto com duas fronteiras drenantes este custo se refere à camada de transição, enquanto que para o método proposto com três fronteiras drenantes, se inclui também o custo do coletor longitudinal.

Tabela 6.1 – Custos em €/m de desenvolvimento de estrada, em alinhamento reto, para os métodos referidos para estradas de 1 faixa de rodagem.

	Custos €/m	2 vias (l=12,5m)	4 vias (l=20m)
Método Clássico	AR, zona corrente	153,52	285,00
	AR, zona de Ld	175,00	340,00
Método Proposto c/ 2 fronteiras drenantes	AR, zona corrente	141,31	253,75
	AR, zona de Ld	164,09	312,08
Método Proposto c/ 3 fronteiras drenantes	AR, zona corrente	156,55	269,38
	AR, zona de Ld	159,18	276,10

Os gráficos 6.1 e 6.2 exibem os custos associados a cada método referido para estradas de 1 faixa de rodagem, em curva. Em função dos volumes determinados no capítulo 5, para variações, correspondentes a um incremento de 0,10% na inclinação transversal até se atingir a sobrelevação desejada. Dão-nos de forma aproximada os custos em clotóide e curva circular para qualquer sobrelevação utilizada no traçado da curva em questão.

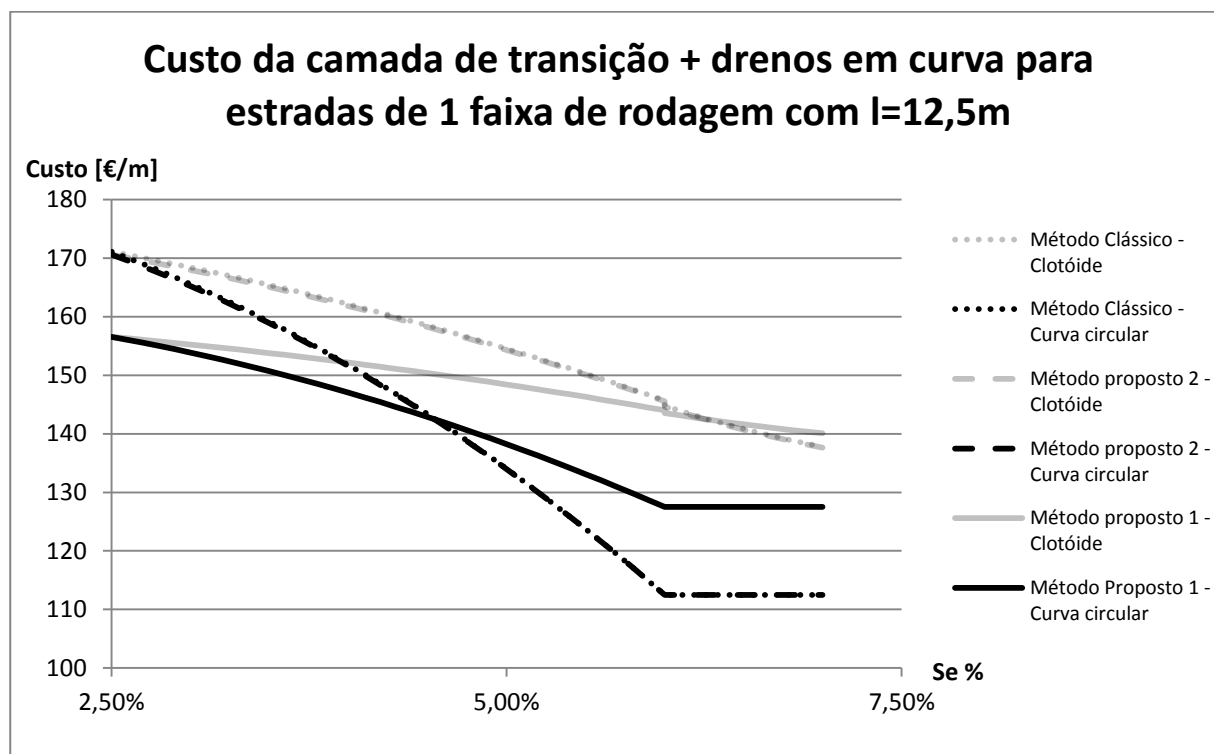


Gráfico 6.1 – Custos, em euros por metro de estrada, da camada de transição para cada um dos métodos referidos para estradas de 1 faixa de rodagem, o custo do método proposto 1 já inclui o custo do dreno.

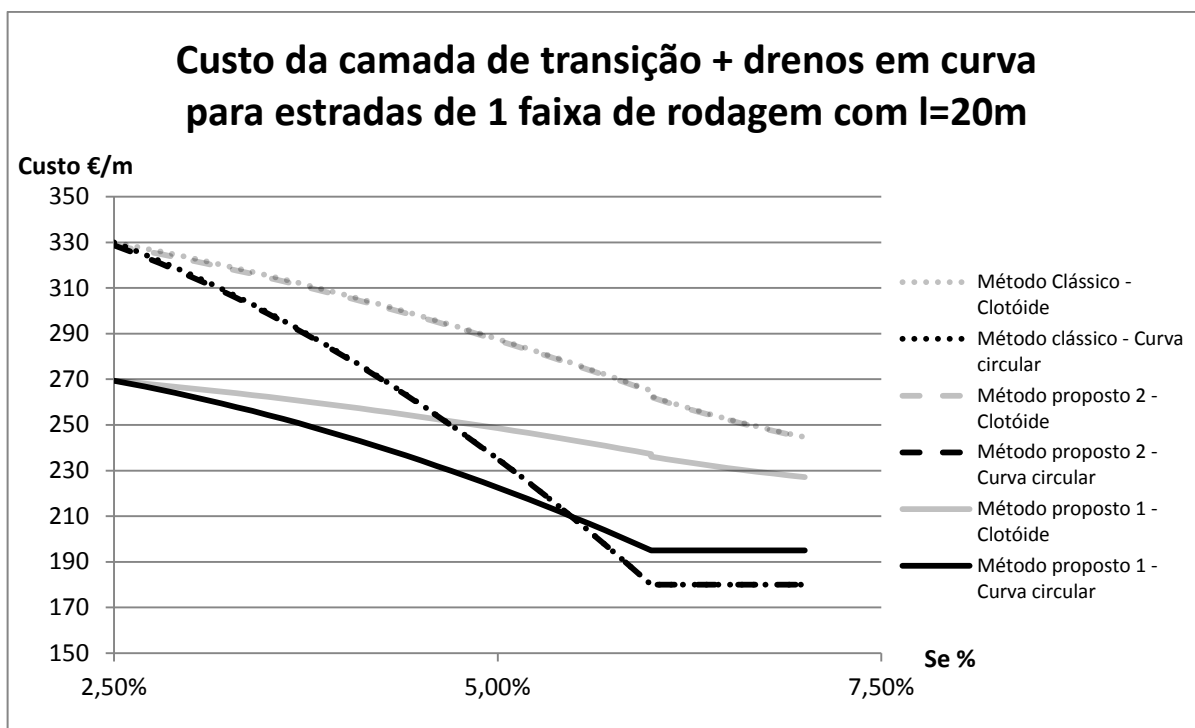


Gráfico 6.2 - Custos, em euros por metro de estrada, da camada de transição para cada um dos métodos referidos para estradas de 1 faixa de rodagem, o custo do método proposto 1 já inclui o custo do dreno.

Legenda referente aos gráficos 6.1 e 6.2:

Método proposto 1 – Método proposto para estradas de 1 faixa de rodagem com 3 fronteiras drenantes

Método proposto 2 – Método proposto para estradas de 1 faixa de rodagem com 2 fronteiras drenantes

Vai-se determinar o custo associado a cada método, para uma sobreelevação de 7%, dando continuidade ao exemplo utilizado em capítulos anteriores.

Em alinhamento reto, sabendo-se o preço do material utilizado na camada de transição e do dreno necessário para o método proposto com 3 fronteiras drenantes, imediatamente temos um custo fixo aproximado, quer para zona corrente ou zona de Ld.

Neste caso os métodos mais económicos seriam o método proposto com 2 fronteiras drenantes em alinhamento recto, na zona corrente, e o método proposto com 3 fronteiras drenantes em alinhamento reto, na zona de Ld (tabela 6.1).

Em curva para uma sobreelevação de 7%, temos os seguintes valores aproximados:

Para estradas de 1+1 vias (Gráfico 6.1):

- Em clotóide:

- Método clássico:

$$Custo \cong 138 \text{ €/m}$$

- Método Proposto com 2 fronteiras drenantes:

$$Custo \cong 138 \text{ €/m}$$

-Método proposto com 3 fronteiras drenantes:

$$Custo \cong 140 \text{ €/m}$$

- Em Curva circular:

- Método clássico:

$$Custo \cong 112 \text{ €/m}$$

- Método Proposto com 2 fronteiras drenantes:

$$Custo \cong 112 \text{ €/m}$$

-Método proposto com 3 fronteiras drenantes:

$$Custo \cong 128 \text{ €/m}$$

Para estradas de 2+2 vias (Gráfico 6.2):

- Em clotoíde:

- Método clássico:

$$Custo \cong 245 \text{ €/m}$$

- Método Proposto com 2 fronteiras drenantes:

$$Custo \cong 245 \text{ €/m}$$

-Método proposto com 3 fronteiras drenantes:

$$Custo \cong 228 \text{ €/m}$$

- Em Curva circular:

- Método clássico:

$$Custo \cong 180 \text{ €/m}$$

- Método Proposto com 2 fronteiras drenantes:

$$Custo \cong 180 \text{ €/m}$$

-Método proposto com 3 fronteiras drenantes:

$$Custo \cong 195 \text{ €/m}$$

6.3.2.CUSTOS DA CAMADA DE TRANSIÇÃO MAIS DRENOS NAS ESTRADAS COM 2 FAIXAS DE RODAGEM

À semelhança das estradas com 1 faixa de rodagem, vão-se determinar os custos para estradas com 2 faixas de rodagem. Neste caso, é necessário quando nos localizamos em curva, pelas razões mencionadas nos capítulos 4 e 5, efectuar a divisão nas semiplataformas interior e exterior.

Em alinhamento reto não há essa necessidade já que os volumes da camada de transição são possíveis de definir concretamente, tanto em zona corrente, como em zona de disfarce de sobreelevação.

A divisão nas semiplataformas cria, portanto, a impossibilidade, de se poder avaliar graficamente qual das soluções é a mais económica para determinada sobreelevação, sendo necessário somar os resultados de custos de cada semiplataforma posteriormente à consulta dos gráficos.

A tabela 6.2 apresenta os custos em euros por metro da camada de transição e drenos a acrescentar no caso do método proposto, em alinhamento reto, para toda a plataforma, de todos os métodos referidos para estradas de 2 faixas de rodagem.

Tabela 6.2 – Custos em €/m da camada de transição mais drenos, em alinhamento reto para estradas com 2 faixas de rodagem

	Custos €/m	2+2vias (l=12,25m)	3+3vias (l=16m)
Método clássico	AR, zona corrente	409,34	580,20
	AR, zona de Ld	418,97	591,00
Método Professor França	AR, zona corrente	404,53	561,98
	AR, zona de Ld	415,85	579,60
Método Proposto (com 2 drenos)	AR, zona corrente	373,96	493,80
	AR, zona de Ld	385,75	511,53

Dos gráficos 6.3 a 6.6 estão os custos associados a cada método para estradas com 2 faixas de rodagem, em curva, para clotóide e curva circular. Fazendo a diferenciação por semiplataforma e largura da faixa mais bermas interior e exterior.

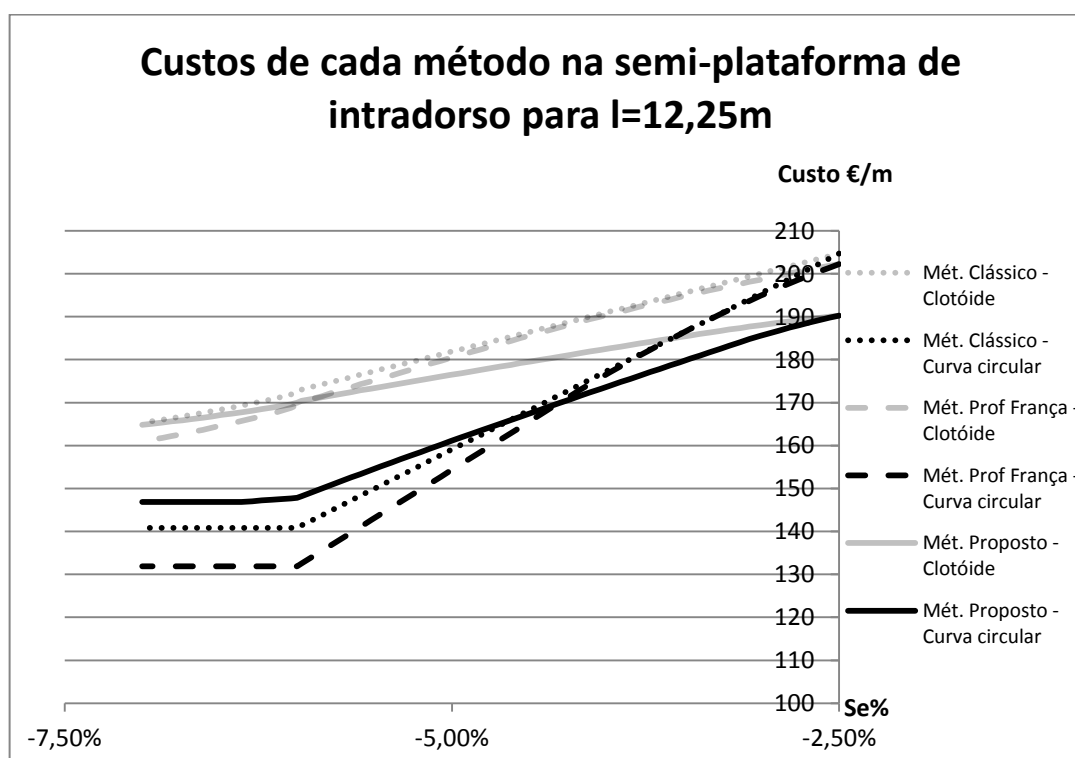


Gráfico 6.3 – Custos das camada de transição dos métodos referidos, incluindo o custo dos drenos, no caso do método proposto, na semiplataforma interior, para estradas de 2 faixas de rodagem e 2+2 vias

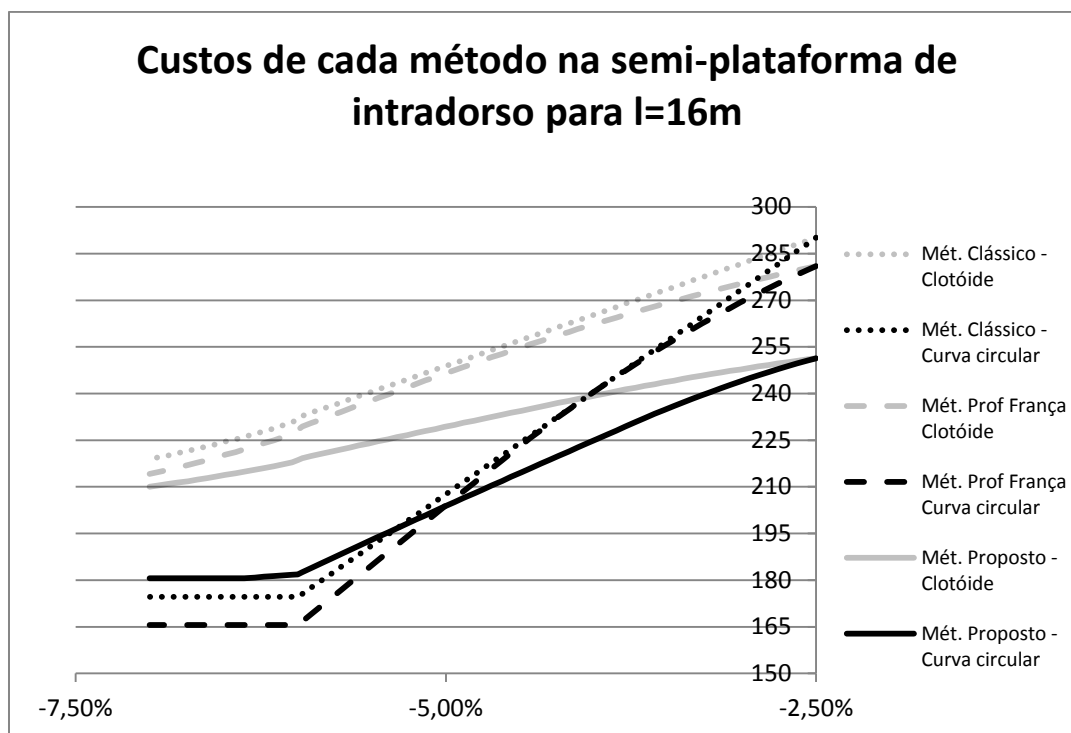


Gráfico 6.4 – Custos das camada de transição dos métodos referidos, incluindo o custo dos drenos, no caso do método proposto, na semiplataforma interior, para estradas de 2 faixas de rodagem e 3+3 vias

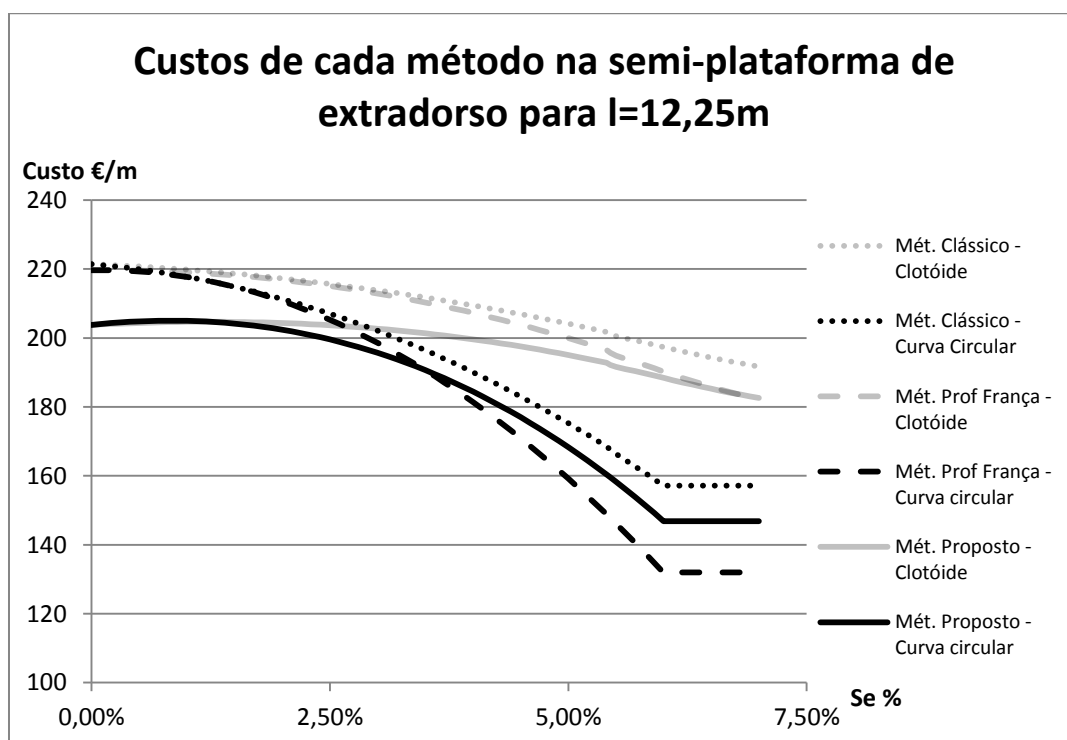


Gráfico 6.5 – Custos das camada de transição dos métodos referidos, incluindo o custo dos drenos, no caso do método proposto, na semiplataforma exterior, para estradas de 2 faixas de rodagem e 3+3 vias

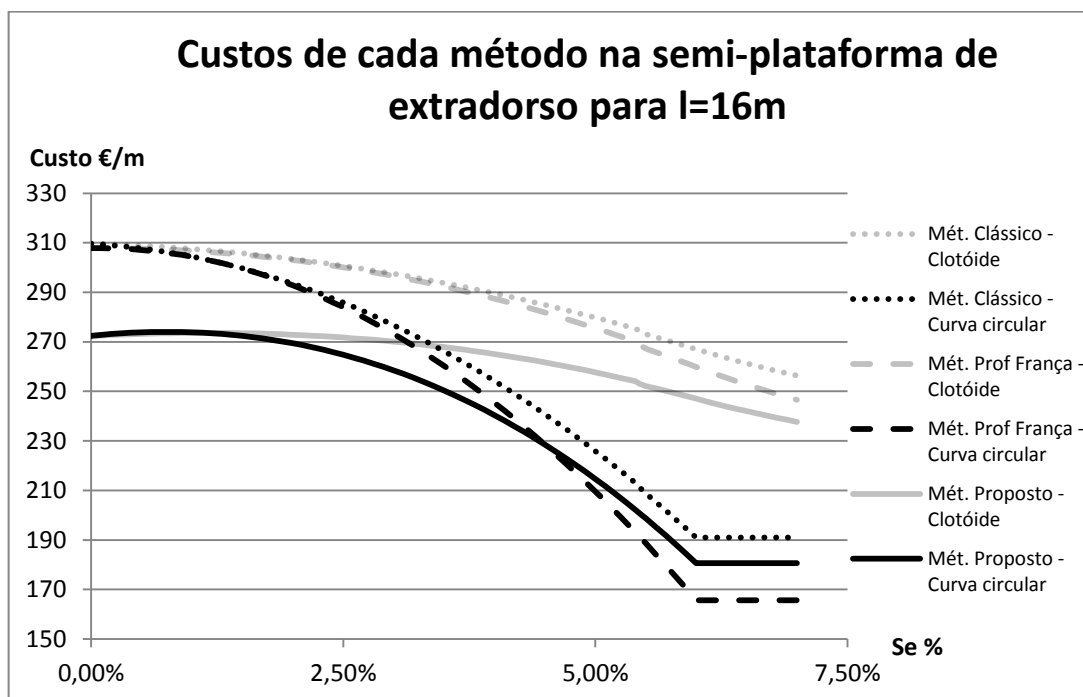


Gráfico 6.6 – Custos das camada de transição dos métodos referidos, incluindo o custo dos drenos, no caso do método proposto, na semiplataforma exterior, para estradas de 2 faixas de rodagem e 3+3 vias

Segue-se a determinação dos custos para uma sobreelevação de 7%, à imagem do que se tem realizado ao longo da dissertação.

Mais uma vez, em alinhamento reto os custos são iguais aos calculados na tabela 6.2, valores esses que para os custos dos materiais considerados são sempre constantes.

Em curva, é necessário através dos gráficos 6.3 a 6.6, determinar os custos para a semiplataforma de intradorso e extradorso, para o número de vias correspondente, somando-os para obter o custo total para toda a plataforma da estrada.

Nas estradas de 2 vias por faixa tem-se os seguintes custos aproximados:

Na clotóide:

- Utilizando o método clássico:

- Semi-plataforma de intradorso:

$$Custo \cong 165 \text{ €/m}$$

- Semi-plataforma de extradorso:

$$Custo \cong 192 \text{ €/m}$$

-Somando os anteriores para se obter o valor em toda a plataforma:

$$Custo \cong 357 \text{ €/m}$$

- Utilizando o método do professor França:

- Semiplataforma de intradorso:

$$Custo \cong 160 \text{ €/m}$$

- Semiplataforma de extradorso:

$$Custo \cong 182 \text{ €/m}$$

-Somando os anteriores para se obter o valor em toda a plataforma:

$$Custo \cong 342 \text{ €/m}$$

- Utilizando o método proposto:

- Semiplataforma de intradorso:

$$Custo \cong 165 \text{ €/m}$$

- Semiplataforma de extradorso:

$$Custo \cong 182 \text{ €/m}$$

-Somando os anteriores para se obter o valor em toda a plataforma:

$$Custo \cong 347 \text{ €/m}$$

Na curva circular:

- Utilizando o método clássico:

- Semiplataforma de intradorso:

$$Custo \cong 141 \text{ €/m}$$

- Semiplataforma de extradorso:

$$Custo \cong 157 \text{ €/m}$$

-Somando os anteriores para se obter o valor em toda a plataforma:

$$Custo \cong 298 \text{ €/m}$$

- Utilizando o método do professor França:

- Semiplataforma de intradorso:

$$Custo \cong 132 \text{ €/m}$$

- Semiplataforma de extradorso:

$$Custo \cong 132 \text{ €/m}$$

-Somando os anteriores para se obter o valor em toda a plataforma:

$$Custo \cong 264 \text{ €/m}$$

- Utilizando o método proposto:

- Semiplataforma de intradorso:

$$Custo \cong 147 \text{ €/m}$$

- Semiplataforma de extradorso:

$$Custo \cong 147 \text{ €/m}$$

-Somando os anteriores para se obter o valor em toda a plataforma:

$$Custo \cong 294 \text{ €/m}$$

Procedendo de forma análoga para estradas com 3 vias por faixa, recorrendo aos gráficos 6.4 e 6.6, ao invés dos gráficos 6.3 e 6.5, chegar-se-iam ao custos desse caso específico para os métodos abordados.

7

ANÁLISE DE RESULTADOS E CONCLUSÕES

7.1. ANÁLISE DE RESULTADOS OBTIDOS E CONCLUSÕES

Ainda antes da análise propriamente dita, nunca é demais referir que os resultados aqui obtidos são meramente indicativos, já que só representam as plataformas com as características definidas ao longo do capítulo 4.

No entanto dadas as expressões deduzidas para as áreas e volume, assim como para as posições do ponto de controle para os métodos propostos, ou as definidas nos restantes métodos para esses mesmos parâmetros, bastará introduzir as características geométricas da plataforma, para se obterem os dados referentes a qualquer plataforma.

Como a base de dados (em folhas de Excel) criada e utilizada para determinar os valores e consequentes tabelas e gráficos ao longo da tese, é demasiado extensa para ser prática de colocar em anexos, decidiu-se disponibilizar o ficheiro para consulta através de <https://feupload.fe.up.pt/get/DdDsykBAzQ4PJ3W>.

Começando pelo capítulo 2 referente à capacidade de drenagem da camada de transição é de notar que esta varia tremendamente dependendo do material que a constitui. Consultando a tabela 2.3 verifica-se que os caudais escoados através da camada de transição para os materiais referidos podem oscilar entre 10 e 1000 l/dia, de uma areia siltosa a areia média, portanto a escolha do material granular terá que ter em conta não só as propriedades mecânicas que se desejem conferir ao pavimento, mas também as condições meteorológicas das regiões onde se realizarão as estradas, isto conjugado com o custo que implica a compra dos materiais que compõem a camada de transição.

Sobre o terceiro capítulo faz-se só o reparo de que as expressões referidas para os métodos clássicos foram determinadas a partir dos métodos propostos, fixando as posições do ponto do controle como definidas nas plantas dos métodos clássicos.

Passa-se então, à análise dos gráficos que nos dão os valores aproximados das áreas dos perfis transversais consecutivos da camada de transição, desde o alinhamento reto até à curva de sobreelevação pretendida.

Em estradas de 1 faixa de rodagem através dos gráficos 4.8 e 4.9 verifica-se que no alinhamento reto, em zona corrente, as áreas dos perfis transversais nos métodos propostos de 2 e 3 fronteiras drenantes têm valores semelhantes, cerca de $4,75\text{m}^2$ e $8,5\text{m}^2$ dependendo da estradas ter uma ou duas vias por sentido. Já no método clássico os valores das áreas correspondentes são de aproximadamente $5,2\text{m}^2$ e $9,5\text{m}^2$.

Quando se faz a aproximação à curva, ou seja, na zona de disfarce de sobrelevação, correspondente à variação da inclinação transversal das vias de extradorso de -2,50% para 2,50%, os métodos analisados têm comportamentos distintos. Sendo que as áreas dos perfis transversais do método proposto com 2 fronteiras drenantes tendem a aproximar-se das do método clássico, tomando valores semelhantes à entrada da curva, na ordem dos 5,7m² e 11m², contra os 4,7m² e 8,75m² do método proposto com 3 fronteiras drenantes. Como se previa a disparidade entre o método com dreno sob o eixo e os outros é maior quando se aumenta a largura da plataforma da estrada, já que o dreno ao centro permite uma maior aproximação da superfície das terraplenagens ao pavimento.

Em curva as áreas dos perfis transversais da camada de transição dos 3 métodos vão se aproximando convergindo quando a inclinação transversal da superfície do pavimento atinge os 6%, com valores iguais a 3,75m² e 6m², consoante a largura da plataforma, mantendo-se iguais para sobrelevações superiores a 6%.

Olhando agora para as estradas com 2 faixas de rodagem, a análise será realizada com separação em semiplataformas de intradorso e extradorso quando em curva, já que em termos não definidos, isto é, sem se saber a sobrelevação desejada, é impossível agrupar as áreas correspondentes à parte interior e exterior da estrada, porque a evolução das inclinações transversais das faixas de intradorso de extradorso em curva é escalonada diferentemente consoante a sobrelevação.

No entanto, em alinhamento reto pode-se agrupar a área secção transversal de toda a plataforma, somando os valores dos gráficos 4.25 e 4.26, verifica-se que as áreas da secção transversal da camada de transição são para 2 e 3 vias por faixa, aproximadamente:

$$(6,8 + 6,8) = 13,6m^2 \text{ e } (9,7 + 9,7) = 19,4m^2 \text{ no método clássico}$$

$$(6,70 + 6,70) = 13,4m^2 \text{ e } (9,4 + 9,4) = 18,8m^2 \text{ no método do professor França}$$

$$(5,8 + 5,8) = 11,6m^2 \text{ e } (7,9 + 7,8) = 15,7m^2 \text{ no método proposto}$$

Em alinhamento recto, na zona de Ld, verifica-se um falso “paralelismo” entre as funções correspondentes a cada método, pelo que as diferenças entre as áreas dos perfis transversais da camada de transição são semelhantes às encontradas em zona corrente (entre 3 e 4m²).

Em curva, as funções tendem a aproximar-se até se atingir uma inclinação transversal da superfície do pavimento de 6%, mantendo um valor constante para sobrelevações superiores a 6%. Os métodos do professor França e proposto têm o mesmo valor final de área de acordo com o esperado, já que a partir dos 6% o paralelismo entre a superfície do pavimento e das terraplenagens anula o efeito dos dreno sob os eixos das faixas de rodagem. Utilizando o método clássico obtém-se um valor mais elevado de áreas, por não permitir que o ponto de controle passe os limites interiores das bermas.

Em termos de volumes da camada de transição, estes foram determinados por quilómetro para cada parte da estrada, para se determinar os volumes reais seria necessário multiplicar os volumes por quilómetro pelos quilómetros de desenvolvimento da estrada. Para se ter melhor sensação das relações dos volumes entre métodos decidiu-se determinar relações percentuais de volumes das camadas de transição dos métodos clássicos com os outros métodos referidos, ao invés de diferenças de volumes em valor absoluto.

Então começando pelas estradas de uma faixa de rodagem, relacionou-se o método clássico com os propostos e os propostos entre eles (ver gráficos 5.7 a 5.12 e tabelas 5.4 a 5.6)

Com o método proposto com 2 fronteiras drenantes, obtém-se volumes de camada de transição em reta menores em cerca de 10% relacionando com o volume do método clássico, sendo que em curva esses ganhos são menores, na ordem dos 0 a 0,4%. Quando relacionado com o método proposto com 3

fronteiras drenantes verifica-se uma igualdade de volumes em zona corrente do alinhamento reto, sendo que em zona de Ld o método com 3 drenos proporciona uma camada de transição cerca de 13 a 17% menos volumosa. Em curva a tendência é de aproximação dos valores dos volumes com o aumento das sobreelevações, mas sempre com vantagem para o método com 3 drenos (de 10 a 20% em clotóide e 0 a 20% em curva circular), excluindo para curvas circulares com sobreelevações maiores que 6%, já que aí devido ao paralelismo entre superfícies de pavimento e de terraplenagens os volumes são iguais.

Os volumes da camada de transição são sempre menores para o método proposto com 3 fronteiras drenantes do que para o clássico. Em alinhamento reto, zona corrente, estas diferenças rondam os 10%, enquanto que em zona de Ld, estão entre os 18 e os 23%.

Em curva observa-se uma aproximação dos volumes, sendo que em clotóide os do método clássico são cerca de 10 a 20%, maiores e em curva circular são 0% a 20% maiores dependendo da sobreelevação e aproximando-se com o aumento da mesma.

Passando às estradas de 2 faixas de rodagem, o modo como se relacionou os volumes foi o mesmo das estradas de 1 faixa de rodagem, com a diferença de que em curva é necessário fazer a separação entre semiplataformas de intradorso e extradorso, pelas razões anteriormente referidas.

Consultando os gráficos 5.25 a 5.32 e tabelas 5.10 e 5.11 podem-se recolher alguns dados sobre estas relações.

Começando pelas relações dos métodos proposto com o clássico, em alinhamento reto verifica-se que o volume da camada de transição utilizando o método proposto é 15 a 20% menor do que com o clássico sendo 15 a 20% menor, na zona de disfarce de sobreelevação. Em curva e em clotóide, na semiplataforma de intradorso a poupança é de 10 a 18% do volume do clássico, dependendo da largura de faixa e da sobreelevação, em curva circular, como seria de esperar, por causa do paralelismo entre superfícies de pavimento e terraplenagens, quando a sobreelevação é igual ou superior a 6%, o método proposto obtém uma menor margem para o clássico situando-se nos 5% de diferença de volumes.

Na semiplataforma de extradorso em curva, a proporção dos volumes do método proposto em ordem ao clássico oscila em clotóide entre os 83% e os 88%, fazendo variar sobreelevações e números de vias por faixa, são valores que refletem poupanças de 10 a 15% de material granular. Em curva circular, os gráficos evoluem de uma forma “curiosa”, sendo aproximadamente parabólicos com concavidade voltada para baixo. Ou seja, o volume da camada de transição utilizando o método clássico é para sobreelevações de 2,5%, cerca de 15% superior, sendo que se aproxima do volume do método proposto para sobreelevações de 3,5 a 4% (sendo 10% superior), atingindo para Se maior que 6%, um volume 10 a 15% superior.

Entre os métodos proposto e do professor França as diferenças de volumes são menores, ou inexistentes. Na semiplataforma de intradorso, em clotóide, essa diferença situa-se entre os 5 e 15%, enquanto que em curva circular se situa entre os 0 e os 15%, sendo que a diferença diminui com o aumento da sobreelevação. Em extradorso acontece o mesmo que em intradorso, ou seja, ganhos que vão dos 0 aos 15%, em curva circular, e dos 10 aos 15%, em clotóide.

Portanto em termos brutos, analisando unicamente os volumes de materiais granulares que compõem a camada de transição, com os métodos propostos de uma forma geral, obtêm-se volumes consideravelmente menores do que com os métodos designados clássicos.

Resta-nos analisar o comportamento destes métodos quando lhes são adicionados os custos acrescidos dos drenos a aplicar. Com a atenção de que não foram consideradas mão de obra associada e os custos da brita/areia e condutas são aproximados, no que diz respeito ao efectuado ao longo do capítulo 6.

Começando pelas estradas de 1 faixa de rodagem, na tabela 6.1 encontram-se os custos por metro de estrada em alinhamento reto para os 3 métodos considerados, fazendo a separação em estradas de 2 e 4 vias.

Em alinhamento reto na zona corrente, verifica-se que o método proposto com 2 fronteiras drenantes se apresenta como a melhor solução. Atentando às estradas comuns de 2 vias, a sua diferença para o método clássico situa-se nos 12,2€/m, que são 12200€ por quilómetro de estrada, ou seja, algo bastante significativo. Nas menos comuns de 4 vias, essa diferença é bastante superior, na ordem dos 31750€ por quilómetro. Nesta situação, o método com 3 fronteiras drenantes é o mais dispendioso, já que o dreno inflaciona o seu custo, este método não deverá ser considerado nesta situação.

Na zona de disfarce de sobrelevação, o método proposto com 2 fronteiras drenantes apresenta um custo inferior em cerca de 11€/m que o clássico, admitindo que esta zona tem um comprimento de 25 metros, são 275€ poupados. Aqui o método com 3 fronteiras drenantes tem um custo 15€/m inferior ao clássico, no entanto, não é uma situação clara de qual seria o mais vantajoso, já que o custo do dreno é variável, e havia a ser considerada mão de obra, por exemplo. Em estradas de 4 vias, a situação é semelhante.

Em alinhamento reto, no seu todo, pode-se concluir que o mais viável seria o método proposto com 2 fronteiras drenantes.

Em curva, consultando os gráficos 6.1 e 6.2, verifica-se que em clotóide, os métodos proposto de 2 fronteiras e o clássico acarretam custos semelhantes, ligeiramente mais elevados para o clássico. No entanto o método com 3 fronteiras torna-se digno de ponderar, já que os seus custos são mais baixos que os outros métodos até uma sobrelevação na ordem dos 6% para estradas de 2 vias e são sempre menores para estradas de 4 vias.

Na curva circular, os métodos proposto com 2 fronteiras drenantes e clássico voltam a ter custos semelhantes, enquanto que o método proposto com 3 fronteiras drenantes volta a ter uma “janela” de custo inferior aos demais, até sobrelevações na ordem dos 4%, isto em estradas de 2 vias. Nas de quatro vias o método proposto com 3 fronteiras drenantes é menos custoso até sobrelevações na ordem dos 5,5%.

Portanto, em curva a utilização do método proposto com 2 ou 3 fronteiras drenantes é função da sobrelevação necessária. Um mais adequado a menores e o outro a maiores sobrelevações.

Centramo-nos agora na análise dos custos dos métodos referidos para estradas com 2 faixas de rodagem.

Através da tabela 6.2 pode-se observar os custos da camada de transição em alinhamento reto para toda a plataforma da estrada. O método proposto é cerca de 35€/m (2x2 vias) ou 85€/m (3x3 vias) mais barato que o método clássico, e cerca de 30€/m (2x2 vias) ou 68€/m (3x3 vias) menos custoso que o método do professor França em zona corrente do AR. São valores extremamente significativos, já que as estradas deste tipo (IP's e IC's) são bastante longas.

Em curva, a análise na prática tem que ser realizada caso a caso, para se poder somar os custos das duas semiplataformas. Sem conhecimento de uma sobrelevação, não se pode considerar a plataforma toda, vão-se analisar as semiplataformas separadamente, utilizando os gráficos 6.3. a 6.6, tentando pelo menos, ficar com a noção se o método proposto poderá ser aplicável em curva.

Na semiplataforma de intradorso em clotóide o método proposto, é o mais económico até sobrelevações de 5,5 a 6% para 2x2 vias, em 3x3 vias, o método proposto ainda torna-se mais viável, sendo mais económico mesmo na sobrelevação máxima de 7%, aliás, respeitando o esperado, que

quanto mais larga for a plataforma, melhores os custos relativos dos métodos propostos com drenos extra.

Em curva circular o método proposto é mais barato para sobrelevações até 4 a 5% (consoante estradas de 2x2 ou 3x3 vias), pelo que a sua viabilidade pode ser posta em causa, mediante um aumento não muito elevado (no caso das estradas de 2x2 vias) no custo dos drenos e tarefas associadas.

Em extradorso a situação é em tudo semelhante ao intradorso, com ligeiras alterações. Em clotoide o método proposto é comporta-se ligeiramente melhor que em intradorso, só sendo inviável (mais dispendioso) para sobrelevações superiores a 6-6,5% (2x2 vias) e em nenhuma sobrelevação com 3x3 vias.

Mas em curva circular é menos viável em extradorso que em intradorso, sendo menos custos até sobrelevações de 3% em estradas de 2x2 vias e 4 a 4,5% em estradas de 3x3 vias.

Existe uma analogia, esperada, já que o processo de dedução é igual, para os métodos propostos que acrescentam drenos aos habitualmente tidos, sendo que as melhores soluções serão uma combinação dos métodos propostos com 2 e 3 fronteiras drenantes em estradas de 1 faixa, e uma combinação dos métodos proposto e do professor França para estradas de 2 faixas de rodagem. Necessitando-se de uma determinação de custos caso a caso para total precisão.

7.2.COMENTÁRIO GERAL SOBRE O TEMA DA DISSERTAÇÃO E PROPOSTAS CRIADAS

A posição do ponto de controle das terraplenagens ao longo de uma estrada não é algo que esteja presentemente em normas ou no caderno de encargos das Estradas de Portugal, sendo que teoricamente poderia tomar qualquer posição, de livre arbítrio.

Isto proporciona a elaboração de estudos à semelhança dos desta dissertação, no sentido de se tentar otimizar o volume da camada de transição da plataforma de estrada, para economizar a construção da mesma. Como essa economização pode ascender, dependendo das circunstâncias, a valores avultados, fica assim facilmente e positivamente justificado o estudo teórico desta dissertação.

Claro que há algumas limitações a colocar nos valores aqui obtidos, passando da teoria à prática, que se prendem com o facto de na prática a execução da superfície das terraplenagens, não ser realizada ponto a ponto, logo seria necessário efetuar correções dependendo das distâncias de piquetagem do ponto de controle em curvas onde apesar da função que determina a posição do ponto de controle ser linear, como o referencial a partir do qual esta posição se determina é a curva em si, esta posição torna-se curvilínea em planta, já nas retas a posição do ponto de controle varia linearmente.

A viabilidade de aplicação prática dos métodos aqui propostos, tem que ser determinada caso a caso, dependendo dos comprimentos das componentes da estrada a realizar. Por exemplo, poderia não ser viável ou possível colocar drenos, se pela utilização de um dos métodos propostos que envolvam drenos adicionais, estes tivessem comprimentos pequenos, que não se ajustassem às infraestruturas de escoamento de águas previamente existentes ou não fossem superiores a um mínimo comprimento que as condutas necessitam ter, por causa das caixas de visita ou limpeza. Em estradas municipais talvez este problema surja com maior frequência por haver muitas interseções de estradas e estas serem mais curtas e as infraestruturas já estarem criadas.

Atingiu-se pelo menos o objetivo de alertar que são possíveis e exequíveis, outros modos de definir as superfícies de terraplenagens em relação aos mais vulgarmente utilizados, e que mediante as especificidades dos projetos a realizar poderão ser economizados tanto materiais, como dinheiro.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS E BIBLIOGRAFIA CONSULTADA

- [1] Estradas de Portugal. *Caderno de Encargos Tipo Obras (CETO)* - Versão Preliminar de Fev. 2009
- [2] Trabalho realizado pelos professores doutores Adalberto França e António Vasconcelos. 19XX.
- [3] Manuel de Matos Fernandes. *Mecânica dos Solos. Conceitos e Princípios Fundamentais* – Volume I. Feup Edições, Porto, 2006.
- [4] M. Wei. *Ground Water Resources of British Columbia*. http://www.env.gov.bc.ca/wsd/plan_protect_sustain/groundwater/gwbc/C02_origin.html. 03/2012.
- [5] Sandro Lemos Machado, Miriam de Fátima C. Machado. *MECÂNICA DOS SOLOS II - Conceitos introdutórios*. Universidade Federal da Bahia. Bahia, 2011.
- [6] Paulo Inácio. *Mecânica dos Solos I – Matéria teórica*. Instituto Politécnico De Tomar. Tomar, 2010.
- [7] Junta Autónoma de Estradas. *Normas do Traçado*. Jeronimus, 1994.
- [8] Elisabete Maria Duarte Silva, *Drenagem subterrânea em Estradas*. Dissertação de Mestrado Integrado em engenharia civil, FEUP, 2009.
- [9] Departamento de Engenharia Civil, secção de hidráulica. *Anexo 2.1 – Trabalho práctico 1*. FEUP, 2011.
- [10] <http://forumdacasa.com/discussion/3905/precos-de-britas-e-areias/>. 5/2012.
- [11] DEC, secção de Vias de Comunicação. *Apontamentos de Complementos de Estradas e Aeródromos*, 2011.
- [12] DEC, secção de Vias de Comunicação. *Sebenta de Vias de Comunicação 1*, 2009.

