



MANUAL DE PROJETO DE RODOVIAS DO PROJETO PONTO DE PARTIDA 2024/1



MANUAL DE PROJETO DE RODOVIAS DO PROJETO PONTO DE PARTIDA 2024/1

Daniel Sergio Presta García
Emanuel Salvador Caldeira
Gabriel Warken
Isadora Santin Fochi
Júlia Martins Rodríguez de Azevedo
Laura Beatriz Silva Rössler
Luiz Fernando Garcez Scherer
Magno Vargas Bertoglio
Rodrigo Heitor Viana dos Santos

DADOS INTERNACIONAIS PARA CATALOGAÇÃO NA PUBLICAÇÃO (CIP)

P964

Manual de projeto de rodovias do Projeto Ponto de Partida 2024/1 [recurso eletrônico] / Daniel Sergio Presta Garcia ... [et al.] - Porto Alegre: UFRGS, 2024.

223 p. : il.

ISBN 978-65-5973-338-5

1. Rodovias. 2. Engenharia de transportes. 3. Ensino e aprendizagem. 4. Sistemas de transportes. I. Garcia, Daniel Sergio Presta. II. Caldeira, Emanuel Salvador. III. Warken, Gabriel. IV. Fochi, Isadora Santin. V. Azevedo, Júlia Martins Rodriguez de VI. Rössler, Laura Beatriz Silva. VII. Scherer, Luiz Fernando Garcez. VIII. Bertoglio, Magno Vargas. IX. Santos, Rodrigo Heitor Viana dos.

CATALOGAÇÃO NA FONTE: AMANDA DE ABREU GULARTE CRB10/2500

SUM - SUMÁRIO

SUM - SUMÁRIO.....	3
ET1 – INTRODUÇÃO: DISCIPLINA E PROJETO	11
Objetivos	11
Contextualização.....	11
O Projeto Ponto de Partida	12
Objetivo.....	13
Referencial teórico.....	13
Project-Based Learning – PBL.....	14
Team-Based Learning – TBL.....	14
Game-Based Learning – GBL.....	15
Sala de Aula Invertida.....	15
Avaliação 360° e Entre Pares.....	15
Metodologia.....	16
ET2 – SIG (GIS): CONCEITOS BÁSICOS	18
Objetivos	18
Geomorfologia	18
Superfícies geodésicas	18
Sistema de Coordenadas Geográficas.....	19
Latitude	19
Longitude	19
Sistemas de Projeção	20
Projeção cilíndrica de Mercator.....	20
Projeção cilíndrica de Peters.....	21
UTM (Sistema Universal Transverso de Mercator).....	22
Zonas UTM – Brasil.....	22
UTM x RTM x LTM	22
Sistema de Informação Geográfica (SIG)	23
Relevo (Modelo Digital de Elevação – MDE).....	24
Imagens de satélite	24
Cadastro	25
Atividades práticas no <i>software</i> QGIS.....	25
ET3 – ESTUDO DE TRAÇADO: CONCEITOS E CONDICIONANTES	27
Objetivos	27
Georreferenciamento e sistemas de coordenadas geográficas	27
Relevo.....	29
Sistema de projeções cotadas.....	29
Propriedade da RMD no plano	35
Tipos de relevo.....	35

Demais condicionantes	43
Condicionantes geológicas.....	43
Condicionantes hidrológica.....	43
Condicionantes do uso do solo	44
Outras condicionantes	44
Atividades práticas no <i>software</i> QGIS.....	45
ET4 – DIRETRIZES: NOMENCLATURAS, NORMAS E MANUAIS	47
Objetivos	47
Transporte viário.....	47
Nomenclaturas usuais.....	48
Vista planimétrica	49
Perfil longitudinal.....	50
Seções transversais	51
Normas de projeto	54
Região.....	56
Classes de projeto	56
Velocidades	57
Veículo de projeto.....	58
Elementos de projeto.....	59
Escolas e condicionantes de traçado	60
Estudos e projetos.....	62
Reconhecimento	62
Exploração.....	63
Anteprojeto, projeto básico ou EVTEA	63
Estudos de Campo.....	64
Projeto final.....	64
Projeto <i>As Built</i>	65
PG1 - PLANIMETRIA: POLIGONAL ABERTA	67
Objetivos	67
Definição e cálculo dos elementos de uma poligonal aberta	67
Coordenadas dos vértices	68
Projeções dos alinhamentos	68
Comprimento dos alinhamentos	69
Rumo e azimute	70
Deflexões.....	71
Método de cálculo programável	72
Planilha da poligonal aberta	74
Exercício Resolvido.....	74
Exercícios.....	78
Atividades práticas no <i>software</i> SAEPRO.....	78
PG2 – PROJETO PLANIMÉTRICO: CURVAS HORIZONTAL	80
Objetivos	80

Tipos de Curvas	80
Recomendações para projeto	81
Curva circular simples	83
Desenho da curva.....	83
Pontos Fundamentais	83
Elementos Principais	83
Elementos Secundários.....	84
Projeto e Cálculo da Curva Circular Simples	84
Curva com transição.....	85
Circunstâncias para aplicação	86
Desenho da curva.....	86
Pontos fundamentais	86
Projeto e cálculo da curva com transição	87
Análise das inconformidades planimétricas	88
Erros	88
Alertas	89
Exercícios.....	90
PG3 – PROJETO PLANIMÉTRICO: PLANILHA DE COORDENADAS.....	92
Objetivos	92
Cálculo do estaqueamento	92
Estaqueamento	92
Cálculo do estaqueamento	93
Planilha de coordenadas.....	94
Elementos planimétricos de uma estaca qualquer	95
Desenho planimétrico	100
Exercícios.....	101
PG4 – PROJETO ALTIIMÉTRICO: CONDICIONANTES DE PROJETO.....	104
Objetivos	104
Projeto altimétrico: condicionantes	104
1º Minimizar as inclinações	105
2º Rampa máxima	105
3º Rampa mínima.....	105
4º Curvas côncavas em cortes? NÃO!.....	105
5º Terrenos alagadiços.....	106
6º Otimização das massas.....	106
7º Cortes e aterros altos	106
8º Bueiros.....	107
9º Perfil geológico	107
10º Impulso	108
11º Conforto	108
12º Perfil de terraplenagem	108
13º Harmonia entre projeto vertical e horizontal	108

14º Pontos de passagem obrigatória.....	110
15º Visibilidade	110
Curva de concordância vertical.....	111
Desenho da curva.....	111
Pontos fundamentais.....	111
Elementos principais.....	111
Análise da distância de visibilidade de parada	112
Exercícios.....	113
PG5 – PROJETO ALTIIMÉTRICO: PERFIL DE PROJETO – GREIDE.....	116
Objetivos	116
Cálculo do greide.....	116
Elementos das rampas.....	116
Elementos da curva de concordância vertical	117
Cálculo do greide.....	118
Relatório de Altimetria.....	120
Cotas características	121
Determinação das cotas máximas e mínimas locais.....	121
Análise das inconformidades altimétricas	122
Erros	122
Alertas	122
Desenho altimétrico.....	123
Exercícios.....	124
PG6 – PROJETO PLANIALTIMÉTRICO: CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS.....	126
Objetivos	126
Tipos.....	126
Características planimétricas	126
Acréscimo sobre a diretriz	126
Tortuosidade.....	127
Tortuosidade em uma curva circular simples.....	127
Tortuosidade em curva de transição.....	127
Tortuosidade total	127
Tortuosidade média.....	128
Características altimétricas	128
Comprimento virtual.....	128
Identificando os dados	130
Exercícios Resolvidos.....	131
PG7 – PROJETO DE SEÇÕES TRANSVERSAIS: PROJETO.....	141
Objetivos	141
Seções transversais de terreno.....	141
Seções de projeto.....	141
Largura da plataforma de terraplenagem	142
Declividade da faixa de rolamento e dos acostamentos.....	144
Inclinação dos taludes.....	144

Inconformidades	144
Desenhos.....	145
Áreas das seções transversais.....	146
PG8 – PROJETO DE SEÇÕES TRANSVERSAIS: SUPERELEVAÇÃO E SUPERLARGURA	148
Objetivos	148
Origens da Super elevação e Superlargura	148
Super elevação – Cálculo e Distribuição	149
Passo a passo para o cálculo:.....	149
Passo a passo para a distribuição	150
Para curvas com transição	151
Para curvas circulares simples	153
Casos que podem ocorrer ao distribuir a Super Elevação	156
Caso I – Intertangente suficiente	156
Caso II – Intertangente insuficiente e curvas reversas	157
Caso III – Intertangente insuficiente e curvas concordantes.....	158
Correção da cota do eixo – CC	159
Superlargura.....	159
Cálculo da superlargura	160
Distribuição	160
PT1 – PROJETO DE TERRAPLENAGEM: MACIÇOS	162
Objetivos	162
Cálculo dos volumes de corte e aterro	162
Identificação dos maciços	162
Método das duplas áreas.....	163
Cálculo do centro de massa	166
Média aritmética dos limites do maciço.....	166
Interpolação visual.....	166
Localização da estaca mais próxima à metade do volume do maciço	167
Localização pelo cálculo dos momentos de inércia ou média ponderada	168
Fatores de conversão	169
Resumo dos volumes	171
Exercícios.....	171
PT2 – PROJETO DE TERRAPLENAGEM: DISTRIBUIÇÃO DE MATERIAIS.....	175
Objetivos	175
Distribuição dos materiais.....	175
Distância média de transporte (DMT).....	178
Quadro origem-destino (ROD)	179
Esquema Linear de terraplenagem	186
Exercícios.....	187
PT3 – PROJETO DE TERRAPLENAGEM: ORÇAMENTO	189
Objetivos	189
Orçamento de obras e SICRO.....	189

Relatório Analítico de Composições de Custos.....	190
Sistema de Custos Rodoviários – Sicro 2	191
PS1 – PROJETO DE SINALIZAÇÃO: NOÇÕES DE PROJETO	194
Objetivos	194
Sinalização viária: regulamentação.....	194
O código	194
As atividades	194
Os órgãos e entidades.....	194
As normas.....	195
A classificação dos sinais.....	195
A responsabilidade.....	195
Sinalização viária: fundamentos	195
Função.....	195
Como atingir o objetivo?.....	195
Fatores envolvidos	196
Aspectos a serem considerados.....	196
Bibliografia	196
CONTEÚDO DAS AULAS ET1, ET2, ET3 e ET4	198
Projeções cotadas	198
Coordenadas geográficas.....	198
Características da rodovia com base na classe e no relevo.....	199
CONTEÚDO DAS AULAS PG1, PG2 e PG3	200
Alinhamentos	200
Rumos e azimutes	200
Deflexão e determinante de um triângulo	201
Representação das curvas horizontais.....	201
Estaqueamento	202
Parâmetros da curva	202
Coordenadas dos pontos notáveis.....	205
Coordenadas de estacas quaisquer	206
CONTEÚDO DAS AULAS PG4 e PG5	209
Representação das curvas verticais	209
Pontos característicos	209
Elementos altimétricos em curva	210
Elementos altimétricos em rampa.....	211
Elementos altimétricos de estacas quaisquer	212
CONTEÚDO DAS AULAS PG6, PG7 e PG8	214
Acréscimo sobre a diretriz	214
Tortuosidade	214
Comprimento virtual.....	215
Superelevação	216
Superlargura.....	217

CONTEÚDO DAS AULAS PT1, PT2 e PT3	218
Volume dos maciços	218
Determinação do centro de massa dos maciços	218
Planilha de dupla área.....	219
Fatores de conversão	220
Quadro de origem e destino (ROD)	221



ET1 - INTRODUÇÃO

DISCIPLINA E PROJETO

ET1 – INTRODUÇÃO: DISCIPLINA E PROJETO

OBJETIVOS

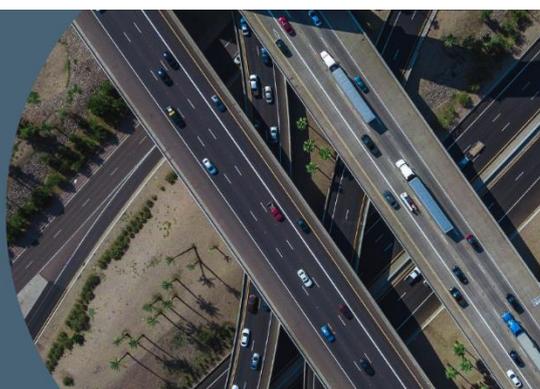
1. Receber boas-vindas
2. Familiarizar-se com o Sistema de Gerenciamento
3. Entender funcionamento da disciplina de Rodovias
 - a. Estrutura
 - b. Critérios de Avaliação
4. Entender o funcionamento do Projeto Ponto de Partida - PPP
5. Informar-se sobre a edição corrente do PPP (lançamento do edital)
6. Reconhecer os membros da sua equipe

CONTEXTUALIZAÇÃO

Os padrões de ensino-aprendizagem no nível superior vêm mudando constantemente nos últimos anos no Brasil, incorporando desafios e oportunidades para o desenvolvimento de aptidões nos acadêmicos e para a implementação de estratégias e recursos a serem utilizados pelos docentes em sala de aula. Da mesma maneira, no momento atual, **exige-se dos alunos novas capacidades para alcançar os conhecimentos necessários nas diferentes disciplinas e cursos**, tanto pelo seu desempenho diário quanto pela preocupação de obter uma formação adequada ao seu futuro profissional.

Em uma sociedade que se desenvolve cada vez mais rapidamente, **é imprescindível que existam profissionais capazes de lidar com as novas tecnologias e recursos que surgem constantemente**. O caráter eminentemente prático de algumas profissões, como as agrupadas na categoria das engenharias, torna indispensável que o ensino nesses cursos combine de forma apropriada os conceitos teóricos com sua aplicação prática, acompanhando a evolução da técnica e dos problemas que devem ser estudados e resolvidos. Assim, o mercado de trabalho na área de engenharia é afetado periodicamente por essas mudanças, **o que nos leva a questionar se os futuros engenheiros estarão aptos a assumir tamanhas responsabilidades**.

**A ENGENHARIA
como ela é.**



Além do conhecimento específico na área e das competências técnicas, o mercado exige do profissional de engenharia diversos outros atributos, como flexibilidade, resiliência e capacidade de trabalhar em equipes e de liderá-las. Levando isso em consideração, percebe-se que o ensino tradicional não vem oferecendo instrumentos para o amplo desenvolvimento dos alunos de engenharia, abrindo espaço para iniciativas baseadas na Aprendizagem Ativa.

O PROJETO PONTO DE PARTIDA

A atividade de ensino tradicional, baseada exclusivamente em aulas expositivas, vem transformando os alunos em meros expectadores do processo ensino-aprendizagem (Belhot et al., 2001). No sentido inverso, a utilização de *Game-Based Learning* – GBL (jogos educacionais) vem assumindo um papel de destaque em disciplinas de graduação, no Brasil e no mundo (Savi e Ulbricht, 2008), como atividade propulsora deste processo (Prensky, 2001 e Garris et al., 2002). O conhecimento, como resultante da interação aluno com ambiente, está na base do construtivismo (Macedo, 2002; Goulart, 2004 e Moretto, 2006). Na aprendizagem lúdica a transmissão de conhecimentos dá-se pelo processo de elaboração de situações didático-pedagógicas que facilitam a aprendizagem e não pela transmissão de “verdades prontas” (Moretto, 2006).



No ensino de engenharia a utilização de problemas e cenários reais proporciona um melhor entendimento sobre o conteúdo, e a “ludificação” motiva os alunos no desenvolvimento do melhor projeto possível.

Através do PBL (real-didático), busca-se oferecer ao aluno a possibilidade de atuar como um verdadeiro engenheiro (coordenando, realizando estudos, projetos e fiscalizando) em um cenário real. A utilização de TBL e GBL - jogos educacionais (lúdico-didático) acontece no momento em que são formadas equipes que atuam como empresas concorrentes, em busca do melhor projeto de rodovias, que é definido ao final do semestre em uma concorrência pública.

A proposta didática contempla atividades de COLABORAÇÃO & COMPETIÇÃO. Colaborar na construção de um resultado. Competir na obtenção do melhor resultado.

O **Projeto Ponto de Partida - PPP** consiste na união de técnicas de ensino-aprendizagem como o *Project-Based Learning* – PBL, *Team-Based Learning* – TBL e *Game-Based Learning* – GBL (Jogos Educacionais), e é caracterizado como uma proposta **Lúdico-Real-Didática**, com o objetivo de oferecer ao aluno de graduação da disciplina de Rodovias da Universidade Federal do Rio Grande do Sul - UFRGS (e disciplinas afins das Instituições Parceiras) um ambiente que o qualifique segundo as expectativas do mercado, para com o profissional de engenharia.

Objetivo

O Projeto Ponto de Partida tem por propósito a formação e capacitação de alunos de graduação para a área de infraestrutura viária a partir de uma proposta pedagógica **Lúdico-Real-Didática**. Tal proposta está alicerçada em três metodologias ativas de ensino-aprendizagem: (i) *Project-Based Learning* – PBL, (ii) *Team-Based Learning* – TBL e (iii) *Game-Based Learning* – GBL.

Referencial teórico

Os padrões de ensino-aprendizagem no nível superior vêm mudando constantemente nos últimos anos no Brasil, incorporando desafios e oportunidades para o desenvolvimento de aptidões nos acadêmicos e para a implementação de estratégias e recursos a serem utilizados pelos docentes em sala de aula. Da mesma maneira, no momento atual, exige-se dos alunos novas capacidades para alcançar os conhecimentos necessários nas diferentes disciplinas e cursos, tanto pelo seu desempenho diário quanto pela preocupação de obter uma formação adequada ao seu futuro profissional.

Em uma sociedade que se desenvolve cada vez mais rapidamente, é imprescindível que existam profissionais capazes de lidar com as novas tecnologias e recursos que surgem constantemente. O caráter eminentemente prático de algumas profissões, como as agrupadas na categoria das engenharias, torna indispensável que o ensino nesses cursos combine de forma apropriada os conceitos teóricos com sua aplicação prática, acompanhando a evolução da técnica e dos problemas que devem ser estudados e resolvidos. Assim, o mercado de trabalho na área de engenharia é afetado periodicamente por essas mudanças, o que nos leva a questionar se os futuros engenheiros estarão aptos a assumir tamanhas responsabilidades.

Além do conhecimento específico na área e das competências técnicas, o mercado exige do profissional de engenharia diversos outros atributos, como flexibilidade, resiliência e capacidade de trabalhar em equipes e de liderá-las. Levando isso em consideração, percebe-se que o ensino tradicional não vem oferecendo instrumentos para o amplo desenvolvimento dos alunos de engenharia, abrindo espaço para iniciativas baseadas na Aprendizagem Ativa.



São apresentadas, a seguir, as metodologias ativas de ensino-aprendizagem que fundamentam o Projeto Ponto de Partida:

Project-Based Learning – PBL

Project-Based Learning – PBL ou Aprendizagem Baseada em Projetos, é um método de aprendizagem onde os alunos são expostos a projetos cujas tarefas são caracterizadas como complexas ou desafiadoras, dando oportunidade aos estudantes de trabalharem na tomada de decisão em situações que se assemelham às que serão vivenciadas futuramente na vida profissional (THOMAS, 2000).

Ao falarmos em PBL, essa sigla contempla tanto o termo em inglês *Problem-Based Learning* quanto *Project Based Learning*. Para que não haja confusão, é necessário diferenciar ambos os métodos. No *Problem-Based Learning*, os alunos devem adquirir conhecimento para resolver um problema em particular, enquanto no *Project-Based Learning* o foco é voltado para a aplicação de conhecimento existente em novas situações (ROJTER, 2009).

Amplamente utilizada no ensino da medicina, a metodologia começa a ganhar espaço também na área de engenharia. Para Thomas (2000), apesar das pesquisas sobre PBL como método de ensino e aprendizado serem muito dispersas, existem evidências sobre os benefícios de sua aplicação no que se refere ao conhecimento e habilidades adquiridos pelos alunos, se comparados aos resultados do método de ensino tradicional. Conforme explica Schmidt (1993), isso também se deve ao fato do método PBL desafiar os alunos a se depararem com descrição de fenômenos ou eventos observados na vida real, como uma simulação do que enfrentarão ao ingressarem no mercado de trabalho.

Segundo Ribeiro (2005), o uso de práticas de aprendizagem relacionadas ao PBL é oportuno tanto para os alunos dos cursos de engenharia – pelo desenvolvimento de habilidades que lhes serão úteis na sua vida acadêmica e profissional – quanto para os docentes que ministram disciplinas nesses cursos. O professor, ao reconhecer o funcionamento do raciocínio dos seus alunos e seus respectivos interesses e dificuldades, pode melhorar a didática, adequando-se assim à realidade dos discentes e aproveitando ao máximo os seus potenciais.

Team-Based Learning – TBL

Team-Based Learning – TBL ou Aprendizagem Baseada em Equipes, tem como objetivo o envolvimento dos alunos em trabalhos colaborativos. Conforme Michaelsen et al. (2004), o TBL tem como foco melhorar a aprendizagem de conteúdos e desenvolver habilidades de trabalho em equipe através de uma estrutura que envolve, entre outras atividades, resolução de problemas. Os alunos se envolvem em atividades de preparação individual e em equipe, que consistem em estudo prévio extraclasse, resolução de questões conceituais em sala de aula e realização de tarefas de aplicação dos conceitos em equipe, também em classe.

A diversidade de membros na equipe beneficia os alunos avançados, os quais potencializam a sua aprendizagem ensinando, e também auxilia àqueles com maior dificuldade, que aprendem com seus colegas e agregam à discussão geral entre todos os membros da equipe (OLIVEIRA et al., 2016). A ideia central é que os alunos se sintam responsáveis pela própria aprendizagem e pela dos colegas, desenvolvendo e gerenciando equipes de trabalho, avaliando os trabalhos de todos e comprometendo-se individualmente para o sucesso da equipe (MICHAELSEN et al., 2004).

Game-Based Learning – GBL

A utilização de jogos com cenários planejados teve origem no meio militar (Van der Heijden, 1996 e Schoemaker, 1993). Com o advento de novas mídias e com o acesso a novas tecnologias, a utilização de ambientes lúdicos tornou-se mais fácil de ser implementado, contudo o lúdico continua, geralmente, associado à educação infantil, sendo raras as iniciativas registradas no ensino superior.

Embora ainda pouco utilizadas, algumas abordagens lúdicas são empregadas em instituições de ensino superior e, em particular, em alguns cursos de engenharia. Um case de sucesso refere-se às competições de Pontes de Espaguete (González et al. 2005). Esse modelo de competição, inicialmente realizada em 1983, no Okanagan College, na Colúmbia Britânica, popularizou-se e foi adotado por diversas instituições de ensino superior em todo o mundo.

No Brasil, a Universidade Federal do Rio Grande do Sul foi pioneira na competição, tendo realizado sua primeira edição em 2004. Outros exemplos de atividades lúdicas que fazem parte do currículo de disciplinas de Engenharia Civil e de Produção de algumas instituições de ensino superior são a Fábrica de Casas Lego, o Jogo do Abajur e o LEAPCON (Ozelkan et al., 2007; Sacks et al., 2007). Entre os objetivos dessas atividades está a comparação das diferenças existentes entre os métodos de produção e a comparação de desempenho entre a construção convencional e enxuta.

Sala de Aula Invertida

O método da Sala de Aula Invertida, também conhecido como inverted/flipped classroom, no qual o aluno estuda previamente o tema da aula, foi utilizado pela primeira vez em uma disciplina do curso de Economia na Miami University (Ohio, EUA), em 1996. No estudo de Lage et al. (2000), os alunos faziam uma leitura prévia do assunto a ser discutido em livros didáticos, vídeos de palestra e apresentações online. Posteriormente, o professor solicitava uma resolução de exercícios baseados no tema, enquanto utilizava o tempo em sala de aula para aplicar os princípios da disciplina, reforçando o conteúdo visto anteriormente. O conteúdo também foi ministrado de modo tradicional em outra disciplina, e na comparação entre os dois métodos, os estudantes que passaram pela experiência da Sala de Aula Invertida estavam mais motivados a aprender do que os estudantes que passaram pela experiência do modo tradicional.

Avaliação 360° e Entre Pares

A avaliação entre pares é tão relevante que, por vezes, é considerada como um critério de avaliação em separado da avaliação 360 graus. Nesta, indivíduos com competências semelhantes, produzem e avaliam trabalhos. Tal técnica tem por objetivo a manutenção de padrões de qualidade, a melhoria do desempenho e a garantia de credibilidade. É amplamente utilizada no meio acadêmico na revisão de artigos científicos.

A metodologia de avaliação 360 graus surgiu da necessidade de se possuírem diferentes opiniões a respeito de um processo de gestão por competências, diminuindo a ocorrência de equívocos na avaliação (PAGÈS et al., 1993). O retorno, conforme Baldão (2018), envolve necessariamente os superiores, os pares, os subordinados e a própria autoavaliação do participante, fazendo com que vários pontos de vista sejam apresentados de uma só vez, agilizando a tomada de decisão e a mudança de comportamento necessária para se atingir os objetivos.

Metodologia

O Projeto Ponto de Partida foi concebido de forma a **simular atividades desenvolvidas por engenheiros em projetos de infraestrutura de transportes**. Com a finalidade de garantir o aprimoramento contínuo das edições sucessivas do Projeto, as etapas e atividades, que caracterizam o projeto, foram agrupadas no método iterativo de gestão de quatro fases do Ciclo PDCA.

A escolha por agrupar as atividades em um Ciclo PDCA decorre do entendimento do conceito do **processo na gestão do conhecimento** para cada edição do Projeto Ponto de Partida, conforme preconizado por Walasek et al. (2011).

Tenha mais informações sobre o projeto no site www.projetopontodepartida.com.br



ET2 – SIG (GIS)

CONCEITOS BÁSICOS

ET2 – SIG (GIS): CONCEITOS BÁSICOS

OBJETIVOS

1. Compreender a relevância da Geomorfologia;
2. Resgatar conceitos de posicionamento geográfico;
3. Aprender sobre noções básicas de sistemas de projeção;
4. Entender a importância de Sistemas de Informação Geográfica - SIG (GIS):
 - a. QGIS;
 - b. Bases de dados vetoriais e *raster*;
 - c. Construção do cenário.

GEOMORFOLOGIA

A Geomorfologia é o campo de estudo que se interessa pelas formas de relevo da superfície terrestre, assim como os processos envolvidos para a sua formação. É o aspecto visível dessa superfície que caracteriza o modelado topográfico de uma área. O termo é originado do grego: **geos** (Terra), **morfé** (forma) e **logos** (estudo, conhecimento).

CHRISTOFOLETTI, Antonio. Geomorfologia. Editora Blucher, 1974.

Superfícies geodésicas

O termo geodésia foi utilizado pela primeira vez na Grécia Antiga, quando Aristóteles estabeleceu que seu significado era “divisões geográficas da Terra” ou ainda, “o ato de dividir a Terra”. Hoje em dia, a geodésia é a ciência que estuda as formas, dimensões e campo gravitacional terrestre. O estudo geodésico proporcionou grandes avanços quanto o mapeamento de vastas regiões, tendo inclusive, proporcionado a criação do Sistema de Posicionamento Global (GPS). No Brasil, o principal agente de georreferenciamento é o Sistema Geodésico Brasileiro (SGB) tendo sua base de dados consultada para grande parte das obras de engenharia.

Porém, o mapeamento da superfície terrestre, e sua fiel representação, são dificultados graças a sua grande extensão e, principalmente, por causa da imensa quantidade de diferentes configurações de relevo. A geodésia, então, divide a Terra em três tipo de superfícies: a **superfície física terrestre**, o **geoide** e o **elipsoide**.

- **Superfície Física:** É uma superfície extremamente difícil de se modelar matematicamente, pois possui uma quantidade infinita de reentrâncias e saliências e um modelo matemático para modelar esta superfície é atualmente inconcebível;
- **Geoide:** É uma superfície que possui uma propriedade especial. No geoide o valor da aceleração da gravidade é igual em todos os pontos (o que não acontece na superfície física terrestre, pois também possui uma quantidade infinita de reentrâncias e saliências. Pode ser considerada como a superfície de nível médio dos mares, supostamente prolongada por sob os continentes;

- **Elipsoide:** Foi a única maneira de se representar geometricamente a Terra. Ele é uma figura geométrica tridimensional que é definido por um semieixo maior (a) e um semieixo menor (b), os geodestas definem o elipsoide pelo semieixo maior (a) e o achatamento f.

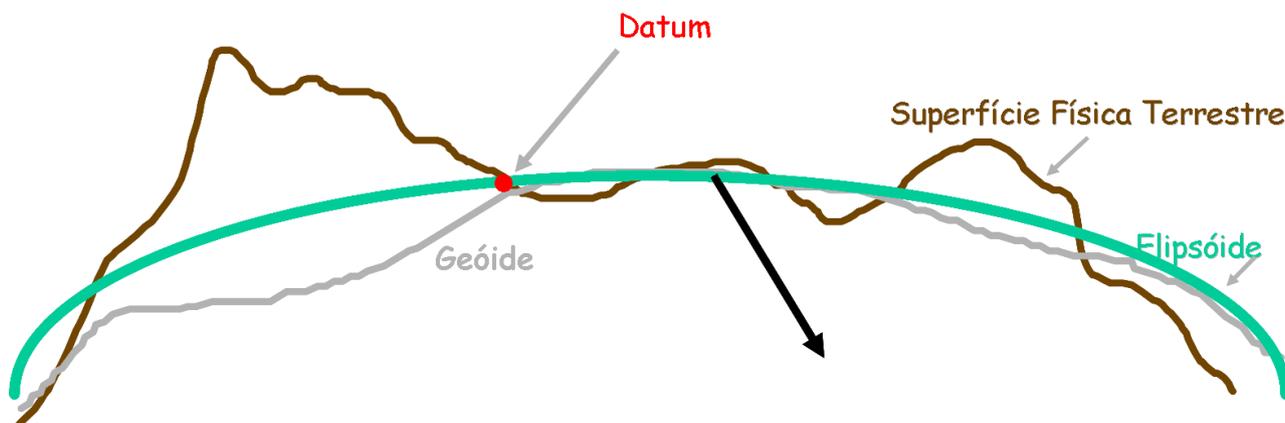


Figura 1 – Comparação entre as superfícies geodésicas

<https://mundoeducacao.uol.com.br/geografia/geodesia.htm>

<https://comunica.ufu.br/noticia/2020/05/geodesia-e-forma-da-terra>

Material de aula Prof^a Andréa R. Jelinek

SISTEMA DE COORDENADAS GEOGRÁFICAS

A localização de pontos sob uma determinada área é de extrema importância para o projeto e obras de engenharia. Para que essa representação seja eficiente, ela deve atender a dois requisitos: que esse ponto seja único e que esteja identificado o sistema de projeção utilizado para localizar aquele ponto. O Sistema de Coordenadas Geográficas é uma das formas de identificar a localização desse ponto. Esse tipo de sistema se preocupa em representar a Terra como uma esfera tridimensional, de forma que, possa ser dividida em “gomos” (meridianos) e em “fatias” (paralelos). Como a representação é feita a partir de um objeto esférico, esse sistema utiliza um **par de ângulos** para determinar um ponto nessa superfície.

Esse par de ângulos é composto pela latitude (ϕ) e longitude (λ)

Latitude

A latitude é o ângulo de inclinação medido a partir de um plano que “corta” a Terra no paralelo do Equador (0°) e a reta que liga o centro da Terra com o ponto de interesse. Sua variação é, portanto de 0° até 90° N, quando o ponto está acima da linha do Equador ou de 0° até 90° S quando o ponto está abaixo da linha do Equador.

Longitude

A longitude é o ângulo de inclinação medido a partir de um diedro formado pelo plano que “corta” a Terra no meridiano de Greenwich (0°) e o plano que contém o ponto de interesse. Sua variação é de 0° até 180° W (oeste), quando o ponto está à esquerda do meridiano zero ou de 0° até 180° E (leste) quando o ponto está à direita do meridiano zero.

Utilizando o Sistema de Coordenadas Geográficas para identificar a posição do ponto P na imagem abaixo, expressamos como a latitude desse ponto o ângulo formado pelos pontos AÔP. A longitude, por outro lado é expressada pelo ângulo entre os pontos AÔB.

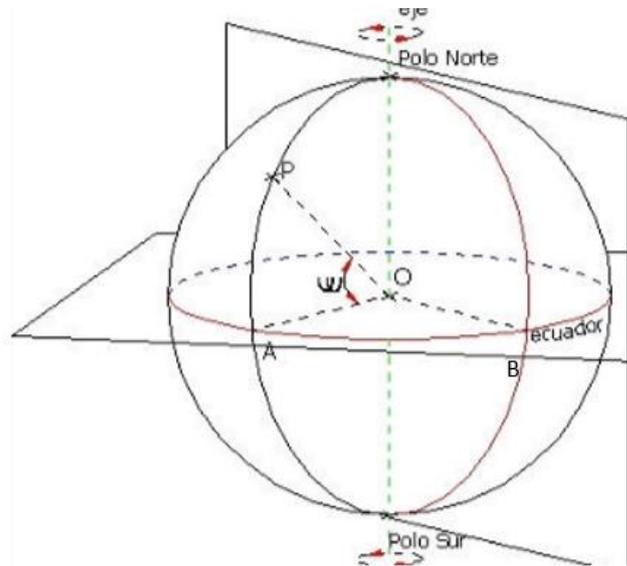


Figura 2 – Representação das coordenadas geográficas

FERNÁNDEZ-COPPEL, Ignacio Alonso. *Las Coordenadas Geográficas*. 2010.

Dessa forma, podemos representar a localização de qualquer ponto na superfície terrestre sem que haja a necessidade de planificação da superfície.

Entretanto, nas etapas de estudos e projetos de engenharia, utilizar esse tipo de representação não é interessante. Em vez disso, utilizam-se os sistemas cartesianos de projeção, que visam a planificação da área de estudo.

SISTEMAS DE PROJEÇÃO

Conforme mostrado no tópico anterior, o sistema de coordenadas geográficas trata a Terra como uma esfera. Porém, em obras de engenharia de infraestrutura, a etapa de projetos “simplifica” a superfície terrestre para que ela seja tratada como uma superfície plana.

Para isso, diferentes projeções cartográficas foram desenvolvidas para permitir a representação da esfericidade terrestre em um plano. A escolha de determinado sistema de projeção depende da finalidade do projeto, pois cada tipo de sistema prioriza algum aspecto da representação do globo.

Projeção cilíndrica de Mercator

A Projeção Cilíndrica de Mercator é uma tentativa de planificação do globo terrestre desenvolvida por Gerhard Mercator durante o século XVI, no período da expansão e colonização europeia. Seu objetivo principal era aperfeiçoar as tecnologias de navegação existentes à época para facilitar as longas viagens transatlânticas. Por isso, era muito importante que as formas dos países fossem devidamente representadas, sem grandes distorções. Em consequência disso, a real dimensão dos territórios é alterada.

Nessa projeção, os meridianos são planificados, na forma de linhas retas paralelas verticais que são horizontalmente equidistantes, ao passo que os paralelos são planificados na forma de linhas retas

paralelas horizontais, de modo que a distância vertical entre dois paralelos sucessivos é tão **menor** quanto mais próximos esses paralelos estiverem da linha do equador. Em razão disso, países mais distantes da linha do equador ficam maiores, enquanto os mais próximos conservam seu tamanho.



Figura 3 – Projeção cilíndrica de Mercator

Projeção cilíndrica de Peters

A projeção de Peter, assim como a de Mercator, é uma projeção do tipo cilíndrica. A principal diferença entre elas é que a Projeção de Peters busca preservar a real proporcionalidade entre as extensões territoriais, em detrimento do formato dos continentes e países. Essa projeção serve não apenas para os interesses geográficos, mas também para os sociais, já que o historiador alemão Arno Peters procurou dar ênfase aos países do hemisfério sul que, em sua maioria, são subdesenvolvidos. Nessa projeção, os meridianos são linhas retas paralelas entre si e equidistantes enquanto os paralelos são linha retas paralelas horizontais, de modo que a distância vertical entre dois paralelos sucessivos é tão **maior** quanto mais próximos esses paralelos estiverem da linha do equador.

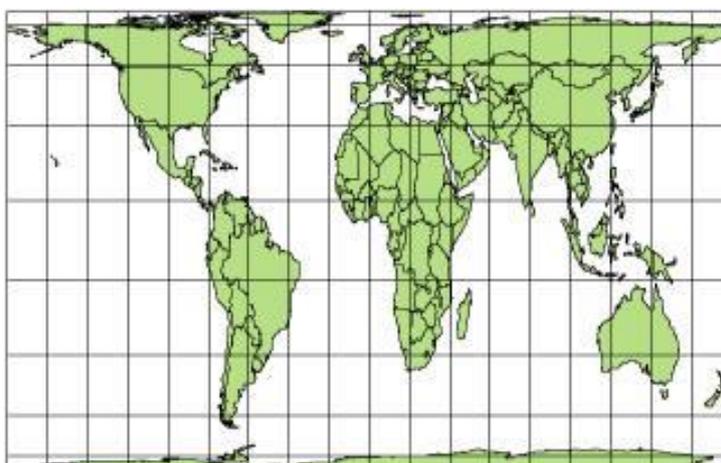


Figura 4 – Projeção cilíndrica de Peters

<https://brasilescola.uol.com.br/geografia/projecao-peters.htm>
<https://brasilescola.uol.com.br/geografia/projecao-mercator.htm>

UTM (SISTEMA UNIVERSAL TRANSVERSO DE MERCATOR)

O sistema Universal Transverso de Mercator é outra forma de localizar um ponto na superfície terrestre. Ele se diferencia do sistema de coordenadas geográficas por se tratar de coordenadas retangulares, ou seja, mede a superfície terrestre em metros e não mais em ângulos.

Para que isso seja possível, o globo terrestre é dividido em **60 fusos de 6° de longitude**. Esses fusos são numerados de 1 a 60, começando no fuso 180° a 174° W e continuando a Leste. Cada fuso, na linha do equador, apresenta, aproximadamente, **670 km** de extensão Leste-Oeste.

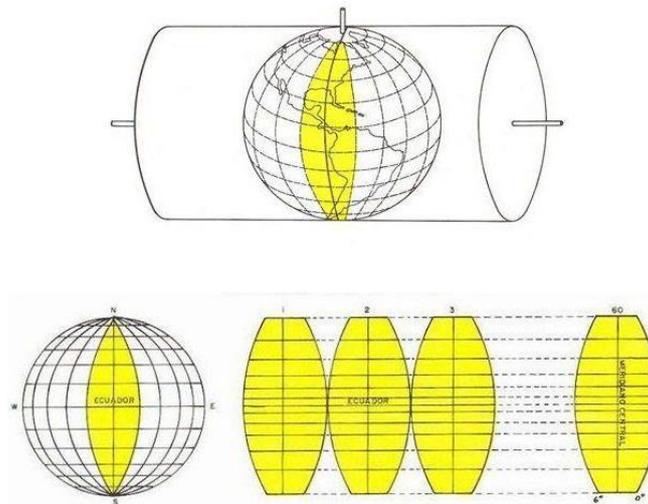


Figura 5 – Sistema Universal Transverso de Mercator (UTM)

ZONAS UTM – BRASIL

Datum é uma palavra que tem origem do latim e significa “detalhe”. Mas na engenharia, Datum é o que define o Sistema Geodésico de Referência (SRG). Quando dois engenheiros utilizam o mesmo Datum, significa que estão se comunicando no mesmo “idioma”. A utilização de Data diferentes pode causar erros significativos nas locações e construções de obras de infraestrutura. Por isso, deve-se garantir que, os dados utilizados para a realização de um projeto de engenharia estejam no mesmo sistema de referência, ou ainda, no mesmo Datum. Atualmente, o Brasil utiliza o Datum SIRGAS 2000, mas já utilizou os Data Córrego Alegre (entre as décadas de 50 e 70) e o SAD69 (década de 70). O SIRGAS 2000 utiliza a planificação do Brasil através do Sistema Universal Transverso de Mercator (UTM), portanto, suas coordenadas são retangulares.

Existem outros tipos de Datum, sendo que, várias bases de dados utilizam o Datum **WGS 84** (*World Geodetic System*). Esses dados podem ser utilizados em um projeto que tem como sistema de referência o SIRGAS 2000, desde que haja a conversão entre sistemas. Se isso não for feito pelo projetista, muitos softwares GIS tem dificuldade de manusear arquivos em sistemas diferentes.

UTM X RTM X LTM

A planificação em coordenadas UTM está sujeita a distorções, visto que, zonas de arco 6° (arco de fuso) são projetadas resultando em uma redução da área representada no meridiano central e em uma ampliação nos meridianos limites. Logo, obras de infraestrutura que tenham uma extensão muito longa, como é o caso de empreendimentos rodoviários, podem enfrentar problemas quanto

a precisão das medidas, podendo causar erros na etapa de execução. Uma alternativa para minimizar tais distorções decorre da utilização da planificação em coordenadas **Regionais (RTM)** ou em coordenadas **Locais (LTM)**. Essas planificações utilizam arcos menores, de 2° e 1° respectivamente. Dessa forma a região dentro do fuso não fica tão distorcida, havendo a redução de imprecisões de medidas.

Geralmente, na etapa de estudos de projeto, se utiliza coordenadas em UTM, pois não há tanto rigor quanto à precisão do estaqueamento. Quando se inicia a etapa do Projeto Geométrico, há a necessidade de converter os dados que uma vez estavam em UTM para LTM.

TM	Arco de Fuso	Origem	Falso Norte	Falso Leste	K ₀	K _{máximo}
UTM	6°	MC e Equador	10.000 km	500 km	0,9996	1,00097
RTM	2°	MC e Equador	5.000 km	400 km	0,999995	1,000152
LTM	1°	MC e Equador	5.000 km	200 km	0,999995	1,000037

Figura 6 – Comparação entre as coordenadas transversas de Mercator

SISTEMA DE INFORMAÇÃO GEOGRÁFICA (SIG)

Antigamente, os engenheiros deveriam realizar estudos e projetos de determinada região a partir de cartas disponibilizadas pelo exército e órgãos governamentais. Isso tornava o trabalho difícil e com maior propensão a ocorrer erros humanos, já que o processamento dos dados obtidos a partir dos mapas físicos era feito “a mão”. Com o passar dos anos, surgiram novas formas de obtenção e tratamento de dados para aperfeiçoar o trabalho do engenheiro.

Informações Geográficas são dados que dizem respeito a tudo aquilo que se refere a Terra. Isso pode ser informações estacionárias da superfície terrestre, como conhecimento sobre relevo, geológico e hidrográfico; ou ainda informações socio-geográficas, como a densidade demográfica de um país ou índices de desenvolvimento humano.

Foram desenvolvidas várias **tecnologias para obtenção de informações**, principalmente as geográficas. As mais conhecidas na área de engenharia de infraestrutura são por meio do Sistema de Satélite de Navegação Global (GNSS) e do Sensoriamento Remoto. Os dados obtidos através dessas tecnologias são utilizados amplamente nos softwares GIS, sendo que são constantemente atualizadas e monitoradas. Dessa forma, é possível que haja a informação de congestionamento de tráfego em determinada via, por exemplo.

O **Sistema de Informação** é um conjunto formado por pessoas, software, hardware, procedimentos e dados que pode utilizar, gerenciar e manipular os dados obtidos através de algum meio de cadastramento. Dessa forma, um **Sistema de Informação Geográfico** permite e facilita a análise, gestão ou representação do espaço terrestre e dos fenômenos que nele ocorrem. Existem vários programas para GIS (*Geographic Information System*) que tem a capacidade de ler mapas e imagens da superfície terrestre. Nesse curso será utilizado o QGIS, o link para download do software em português pode ser acessado em: https://www.qgis.org/pt_BR/site/forusers/download.html

A base de dados necessária para construção do cenário de estudo é composta por: relevo, imagens de satélite e cadastro (sistema viário, edificações, vegetação e hidrografia).

Relevo (Modelo Digital de Elevação – MDE)

GeoTIFF é um padrão de metadados de domínio público o qual permite embutir informações das coordenadas geográficas em um arquivo TIFF (*Tag Image File Format*). A informação adicional potencial inclui projeções cartográficas, sistema de coordenadas, elipsoides, data e mais o necessário para estabelecer a referência espacial exata no arquivo.

Modelos Digitais de Elevação são arquivos no formato TIFF que tem, além da imagem, dados associados a elevação daquela região. É importante destacar que, os arquivos TIFF são imagens *raster*. Isso significa que os dados são compostos por linhas horizontais e verticais de pixels. Cada pixel armazena o dado característico daquela região que o pixel representa. Portanto, não são dados contínuos de altitude utilizados em modelos digitais de elevação. Isso pode causar problemas de condições de contorno nos bordos da imagem após tratamento no software. Deve-se sempre prestar atenção para dados discrepantes de elevação.

Existem diversas bases de dados GeoTIFF para construções de MDE. Destacam-se:

- **SRTM:** Missão Topográfica Radar Shuttle (SRTM em inglês). Uma missão espacial para obter um modelo digital do terreno da zona da Terra entre 56°S e 60°N, de modo a gerar uma base completa de cartas topográficas digitais terrestres de alta resolução;
- **ASTER:** Radiômetro de Emissão Térmica e Reflexão Avançado (ASTER em inglês). Sua primeira versão foi lançada em junho de 2009, foi gerada utilizando imagens de par estéreo coletadas pelo ASTER. A cobertura vai de 83°N a 83°S, abrangendo 99% da massa de terra da Terra;
- **Topodata:** O projeto Topodata oferece o Modelo Digital de Elevação (MDE) e suas derivações locais básicas em cobertura nacional, elaborados a partir dos dados SRTM disponibilizados pelo USGS, na rede mundial de computadores (degradado para 90 metros). Topodata foi lançado em agosto de 2008. Os dados estão estruturados em quadrículas de 1° de latitude por 1,5° de longitude. Na versão atual, os arquivos estão nomeados seguindo-se uma única notação para cada conjunto de uma mesma folha. As folhas estão identificadas seguindo o prefixo de 6 letras LAHLON em que LA é a latitude do canto esquerdo superior da quadrícula, H refere-se ao hemisfério desta posição (S, Sul ou N, Norte) e LON sua longitude, na segunda notação: nn5 quando longitude for nn graus e 30' e nn quando a coordenada for nn graus inteiros.

Imagens de satélite

A obtenção de imagens de satélite popularizou-se com a utilização de softwares como o Google Earth, Google Maps e Bing Maps. Nestes é possível observar com boa resolução detalhes de rodovias, ruas, praças, edificações, matas, rios, plantações, etc. Existem diversas bases de dados com imagens de satélite gratuitas. Também existem diferentes processos para acesso às mesmas. Dentre estes, dois se destacam:

- Acesso dinâmico (exemplo: complemento QuickMapServices para o QGIS);
- Download de mosaico de imagens (exemplo: software SAS.Planet).

Cadastro

O cadastro para a fase de estudos é uma base de dados em formato Shapefiles que fornece informação das diversas valências necessárias para a construção do cenário. Dentre as informações mais relevantes estão: informações sobre a malha viária, rede elétrica, mata nativa, hidrografia e edificações existentes.

Uma ótima forma de obtenção das informações de cadastro é através do OpenStreetMap, um mapa editável que é alimentado por voluntários. Este recurso fornece diversas informações além do sistema viário existente. Ele pode ser acessado no software QGIS através do complemento OSMDownloader.

Quanto mais completo o cenário na etapa de estudos, menos inconvenientes surgiram na etapa do projeto geométrico, pois imprevistos serão minimizados já que as interferências foram consideradas na etapa de estudos.

FERREIRA, Nilson Clementino. Apostila de sistema de informações geográficas. Goiânia: Centro Federal de Educação Tecnológica de Goiás, 2006.

O'BRIEN, James A. Sistemas de informação. São Paulo: Saraiva, p. 18, 2004.
https://docs.qgis.org/2.8/pt_BR/docs/gentle_gis_introduction/raster_data.html

ATIVIDADES PRÁTICAS NO SOFTWARE QGIS

As etapas de reconhecimento e exploração serão desenvolvidas, no **Trabalho de Rodovias**, utilizando-se o *software* QGIS. Para utilizar o *software*, recomenda-se a capacitação dos alunos, através do material produzido e disponibilizado na plataforma NOTION.



ET3 – ESTUDO DE TRAÇADO

CONCEITOS E CONDICIONANTES

ET3 – ESTUDO DE TRAÇADO: CONCEITOS E CONDICIONANTES

OBJETIVOS

1. Compreender a representação planejada por Projeções Cotadas;
2. Identificar tipos de relevos;
3. Avaliar condicionantes de traçado:
 - a. relevo;
 - b. hidrológicas/hidrográficas;
 - c. geológicas/geotécnicas;
 - d. de ocupação e uso do solo.

GEORREFERENCIAMENTO E SISTEMAS DE COORDENADAS GEOGRÁFICAS

A posição de qualquer ponto da superfície terrestre pode ser expressa através de suas coordenadas em algum sistema de mapeamento, relacionadas a algum referencial.

A rede cartográfica ou geográfica fornece a indicação em um mapa, alinhado com o eixo terrestre, conforme a posição relativa aos referenciais – o paralelo em relação à Linha do Equador e o meridiano em relação a Greenwich. Assim, observando a Figura 7, podemos dizer que o ponto A está a oeste do ponto C, usando a direção referenciada. Se ligarmos esses dois pontos por uma reta, definindo um começo e um fim, passamos a poder indicar um lado relativo, como, por exemplo, que o ponto D está à esquerda da reta AC. Se alterarmos o referencial podemos acabar alterando também a posição relativa.

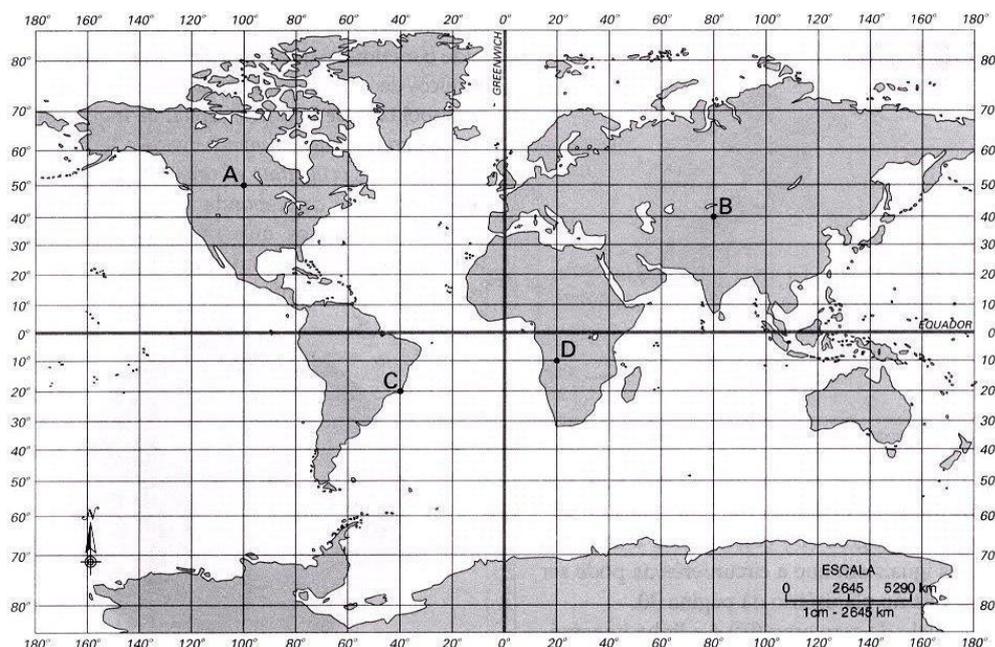


Figura 7 – Sistema de coordenadas geográficas

Contudo, a definição de um referencial começa a ficar complexa quando considerarmos o formato da Terra: ao projetarmos um geóide sobre um plano não temos como preservar ao mesmo tempo verdadeiras grandezas, distâncias, ângulos, áreas e posições relativas.

O Sistema Universal Transverso de Mercator (UTM) é o sistema recomendado para ser utilizado na fase de estudos de um projeto. Utiliza o conceito de projeção em cilindro, concebida inicialmente por Gerhard Kremer Mercator (1512-1594), e busca amenizar as distorções segmentando a face do cilindro em tiras estreitas (fusos de 6° de amplitude – 180 km a leste e a oeste sobre o Equador). O cilindro é então rotacionado de forma que fique perpendicular ao eixo de rotação e secante ao meridiano central do fuso. Isso gera a necessidade de uma terceira coordenada para a geolocalização: além de um X e um Y relativos dentro do fuso, a indicação do próprio fuso em si.

A medida do afastamento da coordenada central, as deformações tornam-se maiores, mesmo com a adoção da UTM. Em obras de engenharia com grandes dimensões – como rodovias – essas distorções podem resultar em conflitos significativos tanto no projeto quanto na execução da obra em si, por isso recomenda-se que, para a etapa de projeto, se utilizem os sistemas LTM ou RTM.

O SIRGAS2000 (Sistema de Referência Geocêntrico para as Américas) foi oficializado como novo referencial geodésico brasileiro em 2005 conforme o IBGE. Para efeitos práticos de cartografia, é considerado idêntico ao WGS84 (*World Geodetic System*, norma adotada pelo GPS – Sistema de Posicionamento Global), sendo que os sistemas anteriores (SAD-69 e Sistemas Córrego Alegre) deixaram de ser utilizados de forma efetiva em 2014.

O estado do Rio Grande do Sul, assim como quase todos os estados brasileiros, está posicionado entre dois desses fusos UTM, o 21 e o 22 – sendo dividido nas proximidades de Santa Maria. A Figura 17 apresenta os fusos UTM que cruzam o Brasil e seus respectivos códigos.



Figura 8 – Fusos UTM que cruzam o Brasil

RELEVO

Obras de engenharia são caracterizadas por apresentarem **projetos complexos e multidisciplinares**. A representação de objetos reais através de modelos vem sendo utilizada, desde o início da civilização, de forma a simplificar seu projeto e construção. Maquetes físicas e virtuais oferecem aos observadores uma perspectiva (do latim *perspicere* - ver através de) das principais características espaciais de uma obra. A representação em perspectiva, já utilizada por gregos e romanos, foi redescoberta pelo arquiteto Filippo Brunelleschi no século XV e é considerada um dos mais importantes avanços da Renascença.

O Desenho Técnico, a partir dos fundamentos propostos por Gaspar Monge, que estabeleceram a Geometria Descritiva no final do século XVIII, consolidou-se como a forma de representação planificada (2D) de objetos tridimensionais (3D). Contemporâneo a este, o **Sistema de Projeções Cotadas**, proposto pelo geógrafo francês **Felipe Buache**, ao realizar o levantamento do canal da Mancha em 1737, é utilizado ainda hoje na representação de superfícies complexas de forma planificada.

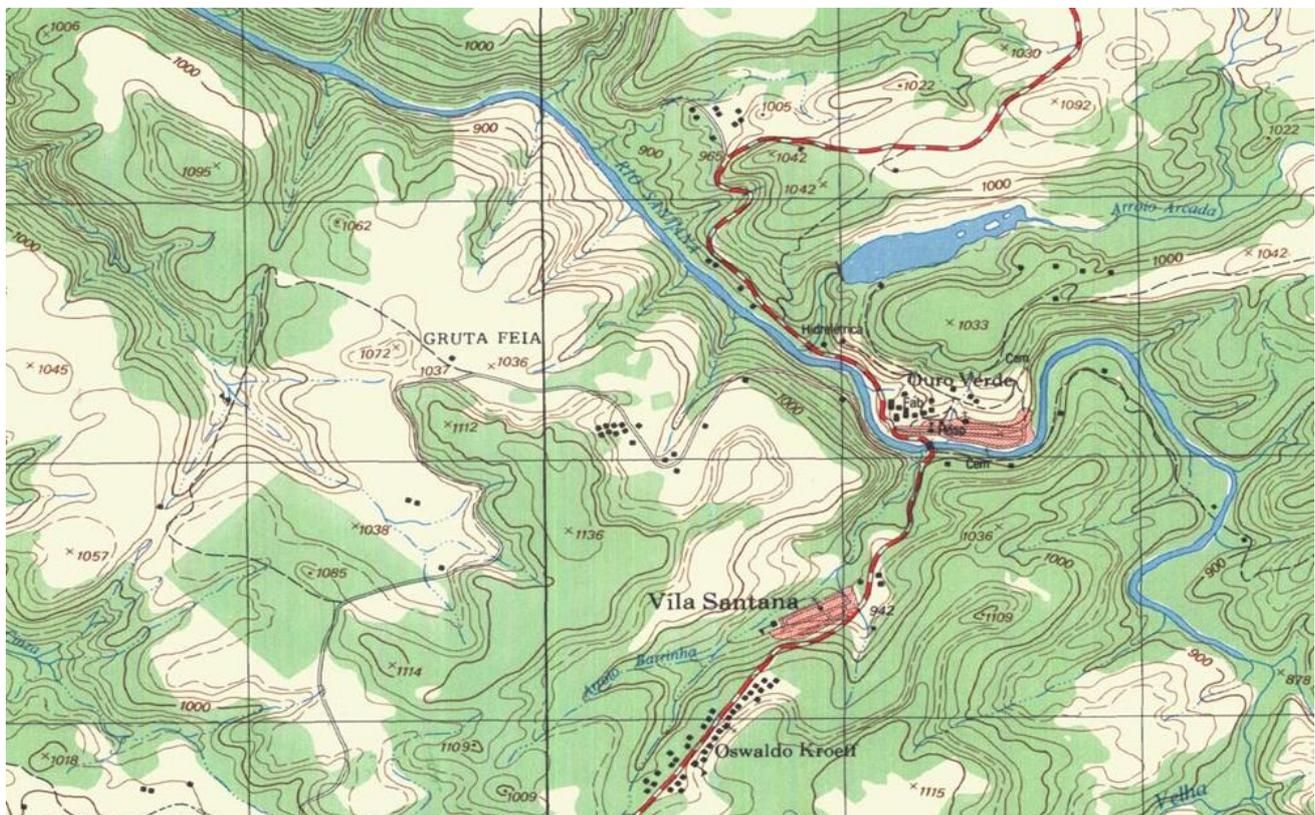


Figura 9 – Recorte de carta do exército

Sistema de projeções cotadas

O Sistema de Projeções Cotadas consiste em representar objetos 3D, através da projeção das características e posicionamento destes, em um plano horizontal (com as coordenadas X e Y). O eixo Z por não poder ser representado de forma direta no plano (horizontal) é expresso de forma numérica, em cotas, é daí que decorre o nome do sistema: Sistema de Projeções (X e Y) Cotadas (Z). Mapas, restituições e cartas utilizam o Sistema de Projeções Cotadas.

O sistema de projeções cotadas consiste em localizar em um uma época de plano pontos, retas e novos plano. Na época horizontal são representadas as projeções perpendiculares ao plano dos pontos (abscissas e afastamentos) e indicadas as cotas.

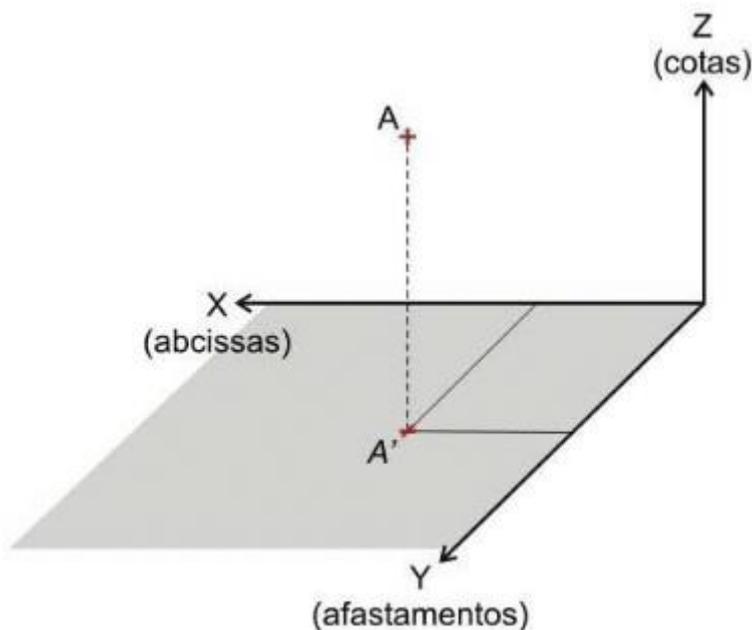


Figura 10 – Localização dos pontos no plano

Um segmento de reta é formado por no mínimo dois pontos e verificaremos suas propriedades através do exemplo:

Determinar as propriedades do segmento de reta formada pelos pontos A (20,10,30) e B (60,40,80).

a) Coordenadas dos pontos - consiste em localizar os pontos no plano XY.

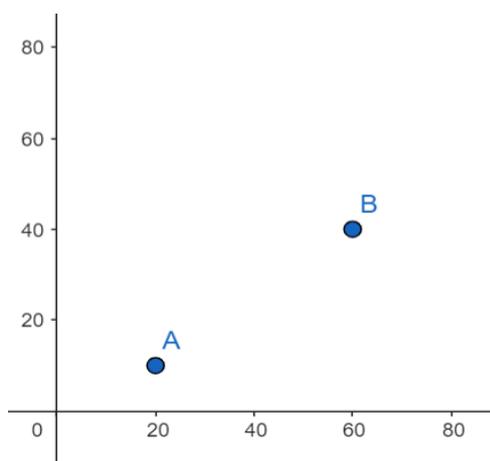


Figura 11 – Localização das coordenadas dos pontos com o uso do software GeoGebra

b) Delta x, y e z - a medição do delta x e do delta y é feita a partir da diferença entre as coordenadas x e y da reta. Para o delta z é preciso traçar uma linha perpendicular às retas em cada um de seus pontos, e marcar nelas, com um círculo de raio igual a cota, o valor por meio da interseção da reta com o círculo. Por exemplo, para o ponto A traça-se um círculo de raio 30 e para o ponto B um círculo de raio 80.

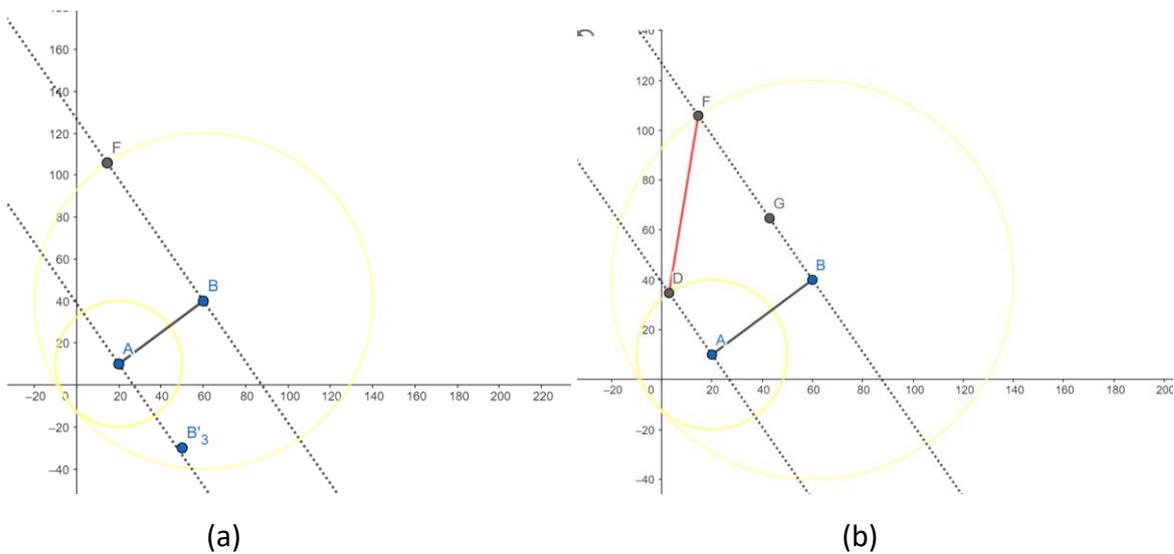


Figura 12 – Traçado dos círculos (a) e desenho da reta (b)

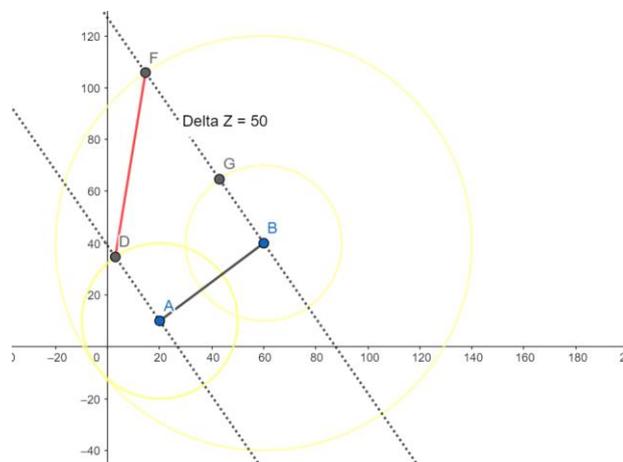


Figura 13 – Delta z calculado através da diferença entre as cotas

- c) **declividade:** é a razão entre a diferença da altura entre dois pontos e a distância horizontal entre esses pontos. No caso do exemplo acima, a declividade é expressa por um ângulo de 45° conforme a figura:

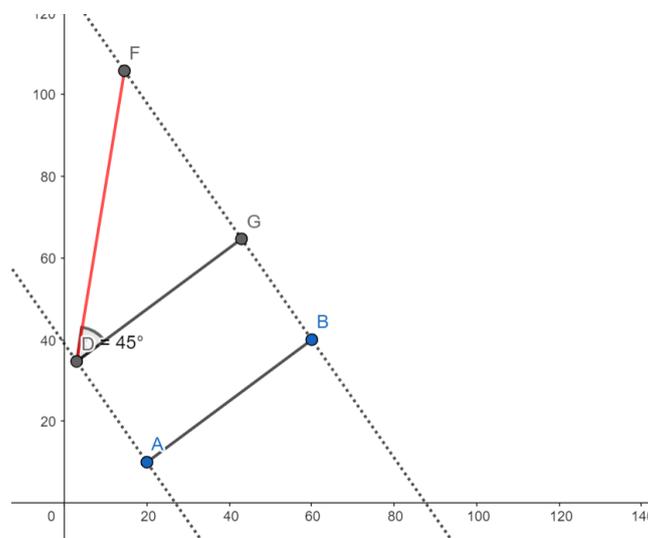


Figura 14 – Representação da declividade

Na etapa de estudos é muito importante que se dê atenção às declividades. Para isso, é necessário compreender o conceito de **curvas de nível**. Uma curva de nível caracteriza-se como uma linha imaginária que une todos os pontos de igual altitude de uma região representada. É chamada de "curva" pois normalmente a linha que resulta do estudo das altitudes de um terreno são em geral manifestadas por curvas. As curvas de nível decorrem das interseções obtidas por **planos horizontais equidistantes entre si** com a superfície do terreno. A maquete da Figura 15 apresenta elevações e depressões em 3D através de planos horizontais (com espessura) sobrepostos. O limite de recorte de cada plano indica a curva de nível. Na Figura 16 temos exemplo no *software* QGIS



Figura 15 – Maquete com a superposição de planos de mesma cota

Através de uma imagem de curvas de nível, podemos entender como é o terreno que está sendo tratado. Por exemplo, quanto mais próximas forem as curvas, maior e mais abrupta é a inclinação do terreno; quanto mais afastadas, a tendência é termos formas de relevo mais planas. Posteriormente trataremos das formas de relevo encontradas e como interpretá-las através das curvas que apresentam. É importante que, na etapa de estudos de traçado, procure-se acompanhar as curvas de nível e evitar cruzá-las de maneira perpendicular.

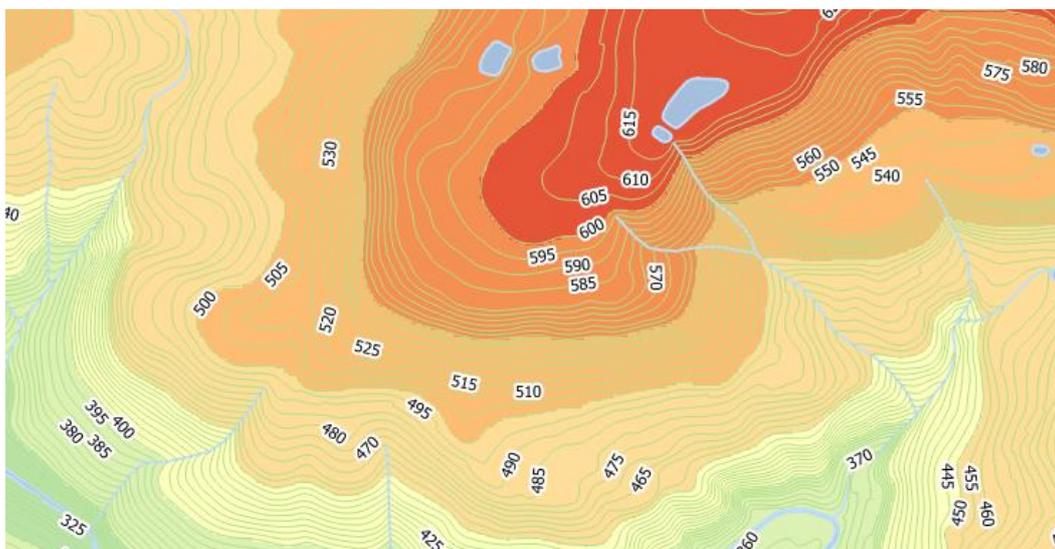


Figura 16 – Representação das curvas de nível no *software* QGIS

Podemos obter a declividade utilizando os dados que as curvas de nível nos apresentam, como por exemplo:

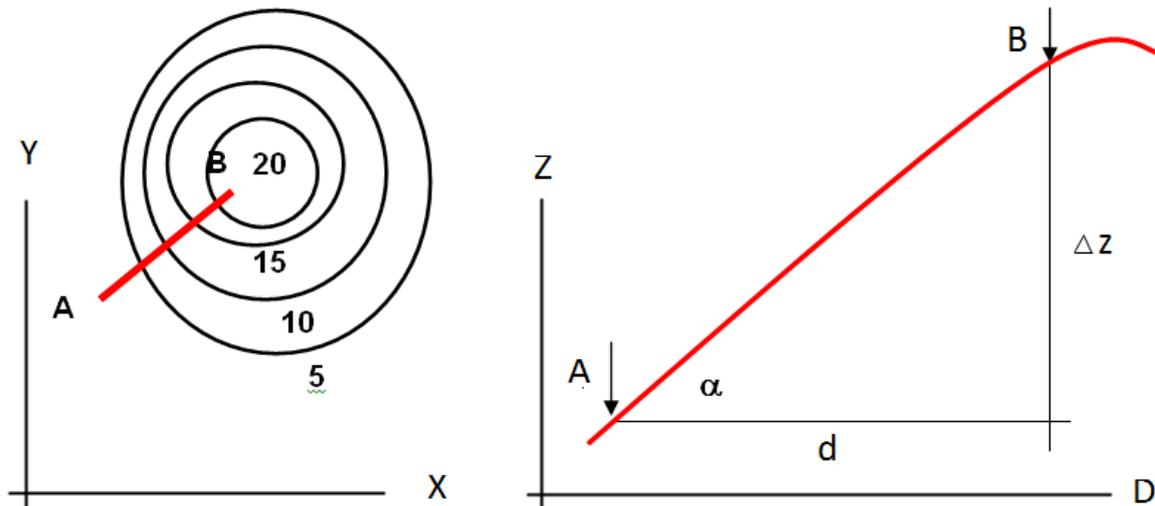


Figura 17 – Declividade do segmento AB

Na figura x, os pontos A e B podem ser observados na representação planimétrica (eixos X e Y) e altimétrica (eixos D e Z). Inicialmente, para determinar a distância (que em topografia **é sempre à distância em projeção horizontal**) utiliza-se a Equação 1.

$$d = \sqrt{\Delta x^2 + \Delta y^2} \quad (1)$$

Onde:

d = distância (m);

Δx = variação no eixo x ($x_p - x_a$) (m);

Δy = variação no eixo y ($y_p - y_a$) (m).

Em rodovias, é comum utilizar o termo inclinação “ i ” para se referir à declividade. A relação pode ser obtida através da Equação 2, e obtemos um dado em porcentagem, por isso a multiplicação por 100:

$$i = \frac{\Delta z}{d} \cdot 100 \quad (2)$$

Onde:

i = inclinação (%);

Δz = variação no eixo z ($z_p - z_a$) (m);

d = distância (m).

Definido um sentido ($A \rightarrow B$ ou $B \rightarrow A$) o sinal da inclinação pode variar entre “+”, “0” e “-”, usualmente indica-se aclives com sinal + e declives com sinal -. O valor percentual não tem limite podendo ir de zero a infinito. Uma inclinação de 100% indica que para uma determinada distância percorrida a diferença de altitude registrada é equivalente. Embora possam existir inclinações de 50%, 200%, 800%, etc. Nestes casos, a representação usual é dada pelo quociente simplificado (vertical/horizontal). No exemplo 1:2, 2:1 e 8:1.

Para fins de ajuste de sensibilidade, a Tabela 1 apresenta inclinações de ruas da cidade de Porto Alegre, reconhecidas pela sua elevada declividade.

Tabela 1 – Trechos de ruas de Porto Alegre com declividade acentuada

Local	Extensão em rampa (m)	Declividade (%)	Revestimento atual
Rua Ernesto Araújo	520,00	21,22	Bloco concreto
Rua Doutor Marchand	60,00	21,30	Paralelepípedo granito
Rua Espírito Santo	35,00	22,80	Paralelepípedo granito
Rua Espírito Santo	160,00	20,30	CBUQ
Rua Dr. Valle	300,00	19,10	CBUQ
Rua Lucas de Oliveira	500,00	22,20	CBUQ
Rua Ramiro Barcelos	370,00	17,80	CBUQ
Rua Cel. João Pinto	135,00	25,20	CBUQ
Rua Gioconda	85,00	21,00	CBUQ
Rua Martins de Lima	150,00	23,20	Bloco concreto
Rua Casca Alpina	270,00	21,42	Bloco concreto
	76,00	28,39	Passeio

- d) rumo e azimute - Os ângulos são lidos como azimutes quando crescem de 0° a 360° no sentido horário, tendo como referência o Norte (ângulo 0°). O rumo, por sua vez, trata do ângulo formado entre o norte verdadeiro e o alinhamento, sendo, portanto, sempre menor que 90°. As relações entre estas propriedades serão estudadas mais a frente quando tratarmos da elaboração do projeto planialtimétrico.
- e) distância em VG - a distância em VG é medida na reta que se obteve com as coordenadas das cotas dos pontos. A Figura 18 apresenta a distância em VG encontrada para o exemplo realizado no *software* GeoGebra:

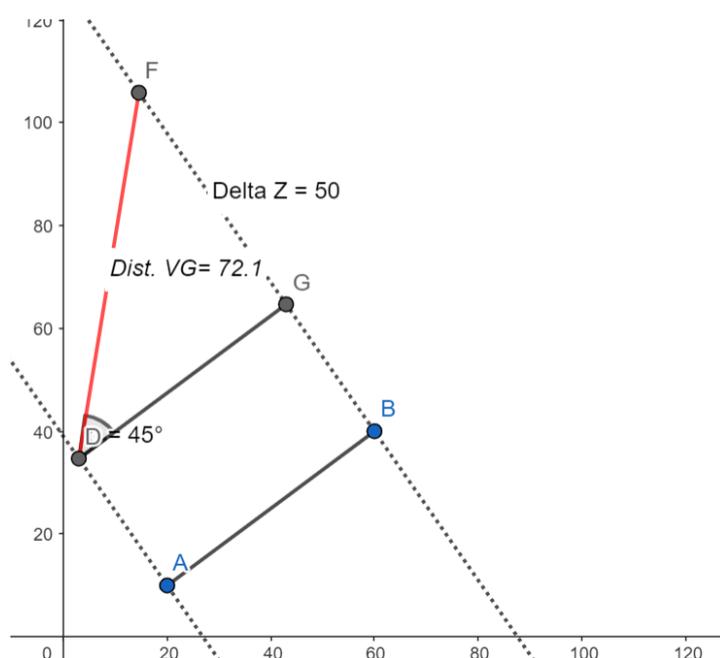


Figura 18 – Distância em verdadeira grandeza

- f) Equidistância entre pontos - é a relação entre a distância e o número de intervalos desejados. Por exemplo, se quisermos 5 intervalos no exemplo acima faremos o seguinte: divide-se a diferença entre cotas igualmente (Figura 19a), rebatem-se os pontos para a reta em VG (Figura 19b) e, por fim, rebate-se para a reta original (Figura 19c).

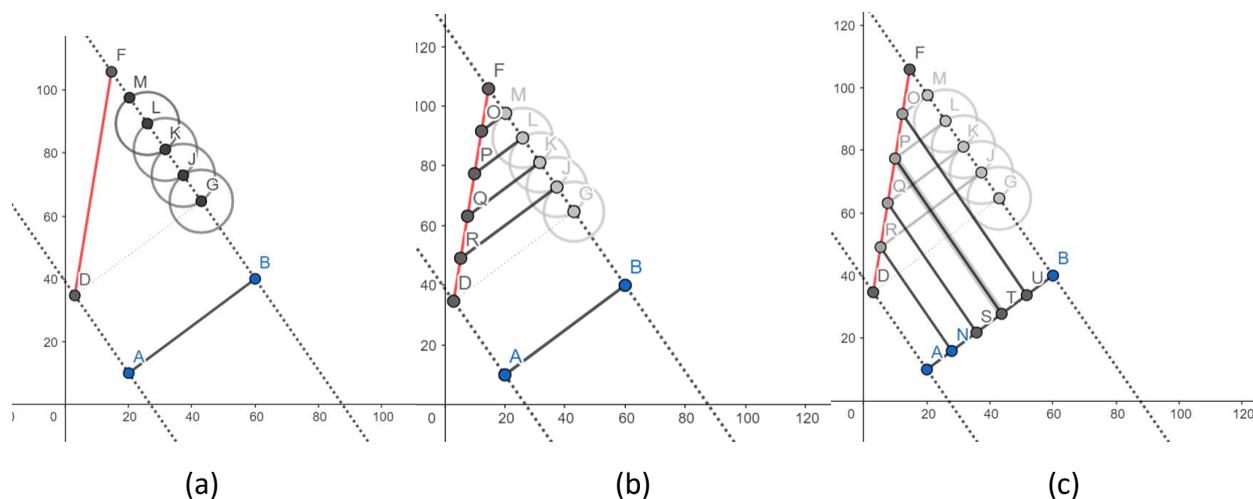


Figura 19 – Execução da divisão da reta em VG

Propriedade da RMD no plano

A reta de maior declive (RMD) é a reta do plano com a maior inclinação. Em um plano, temos diferentes retas com diferentes declividades, contudo, apenas a RMD é perpendicular às retas horizontais. Um plano é dito como representado quando é possível representar uma de suas retas horizontais e por consequência da perpendicularidade entre retas, a reta de maior declive. Através da RMD, é possível classificar a região em que se está projetando entre plana, montanhosa e ondulada, e estas características irão indicar os requisitos da norma para o projeto da rodovia. Na tabela x tem-se a classificação:

Tabela 2 – Classificação da região de acordo com a declividade da RMD

Região	Intervalo Prof. Albano	Intervalo DER/PR
Plana	$RMD \leq 5 \%$	$RMD \leq 10 \%$
Ondulada	$5 \% < RMD \leq 20 \%$	$10 \% < RMD \leq 25 \%$
Montanhosa	$RMD > 20 \%$	$RMD > 25 \%$

Tipos de relevo

As superfícies são classificadas em: planícies, planaltos, encostas, talvegues, divisores d'água, contrafortes e gargantas.

- **Planícies:** são superfícies com baixa declividade e altitude próxima ao nível do mar (cota zero). Como as suas variações de cota são muito pequenas ao longo de uma grande distância, elas podem ser consideradas planas;

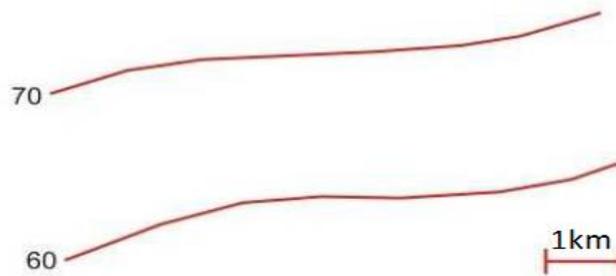


Figura 20 – Representação de uma planície

- **Planalto:** assim como as planícies, possuem uma pequena declividade, se diferenciando apenas na altitude desta superfície. Enquanto que as planícies são superfícies localizadas a uma altitude próxima ao nível do mar (cota zero), os planaltos são superfícies planas a uma grande altitude (cota alta);

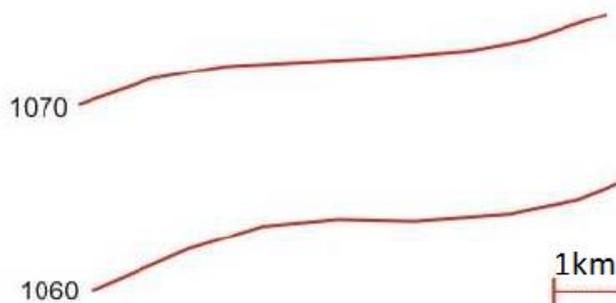


Figura 21 – Representação de um planalto

- **Encosta:** é a superfície do terreno compreendida entre a linha do vértice e a linha da base de um acidente orográfico. As águas pluviais escoam sobre as encostas;

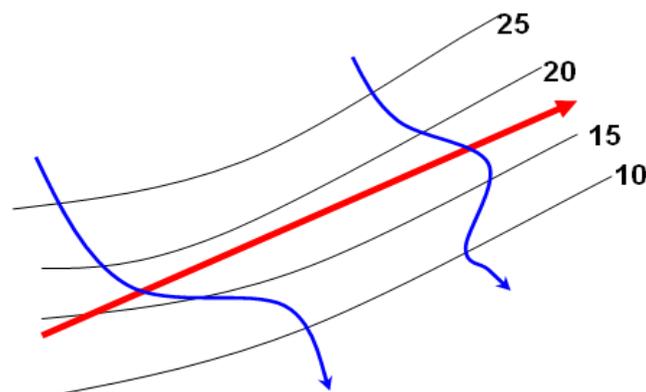


Figura 22 – Representação de uma encosta

Ao subir uma encosta é sempre preferível buscar as áreas nas quais as curvas de nível estejam mais afastadas. Por exemplo na imagem abaixo, onde as curvas de nível estão representadas de 20 em 20m, no lado esquerdo do traçado onde existe uma linha perpendicular ao mesmo, as curvas estão afastadas umas das outras, ocasionando uma baixa declividade transversal ao projeto. Por outro lado, na direita, onde a linha perpendicular ao traçado está em uma parte onde as curvas de nível se acavalam, a declividade transversal é muito maior e pode causar problemas para a rodovia.

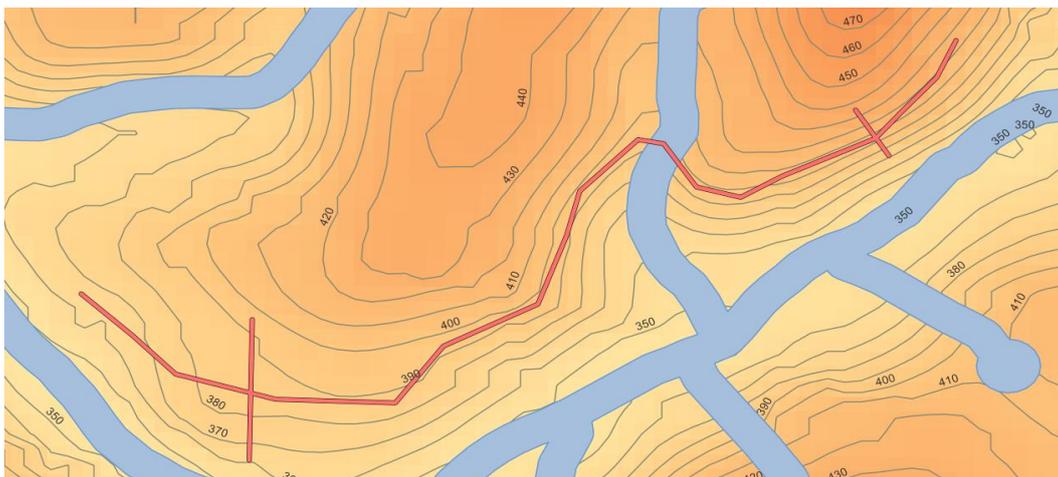


Figura 23 – Traçado ao longo de uma encosta

- **Divisor de águas:** é a interseção de duas encostas, no seu ponto mais alto. Forma uma linha divisora de águas pluviais, fazendo com que as águas sejam orientadas para bacias distintas;

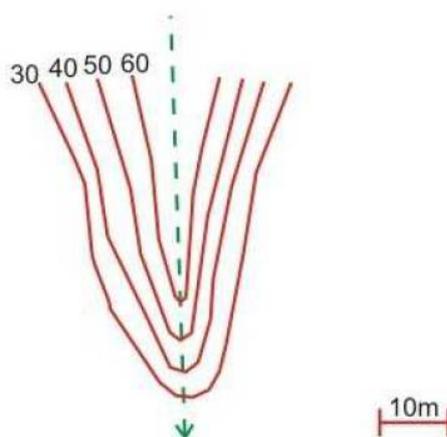


Figura 24 – Divisor de águas

É uma boa região para se usar para um traçado pois evita problemas de drenagem, visto que ela ocorre de maneira natural e evita também mudanças bruscas de altitude, visto que se está numa região alta, mas de mesma cota.

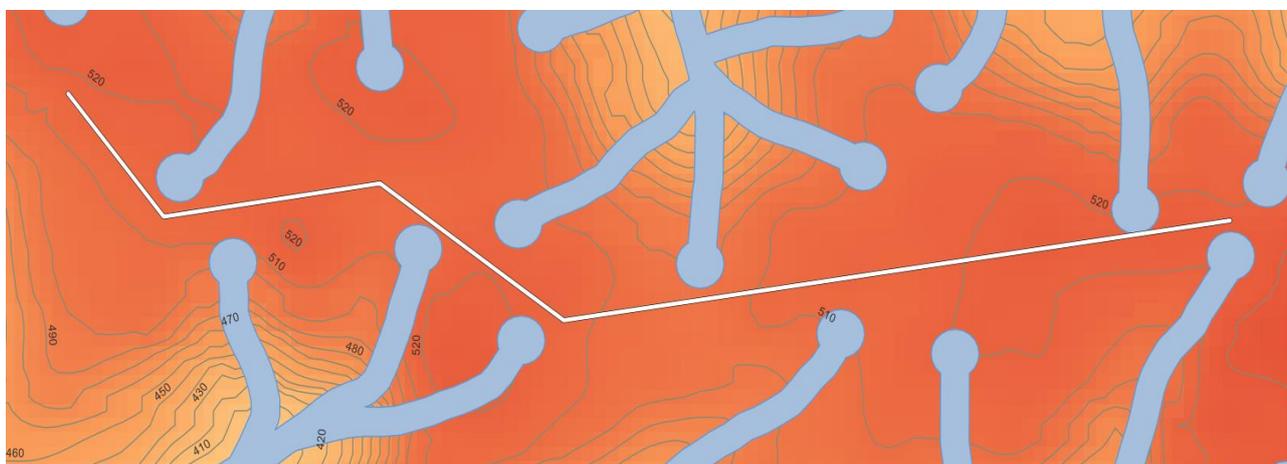


Figura 25 – Traçado passando por divisor de águas

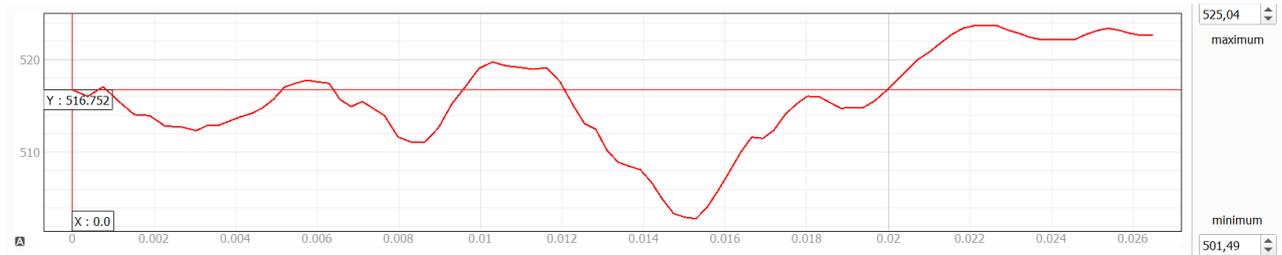


Figura 26 – Perfil gerado pelo traçado através do divisor de águas

- **Vale:** é a superfície côncava ou depressão formada pela união de duas encostas opostas. Pode ser aberto ou fechado. Vales, muitas vezes, configuram a necessidade de uma OAE, uma ponte caso exista um córrego, ou um viaduto para que seja possível atravessá-lo; isso encarece o projeto e por isso esta região não é muito recomendada para uma rodovia.

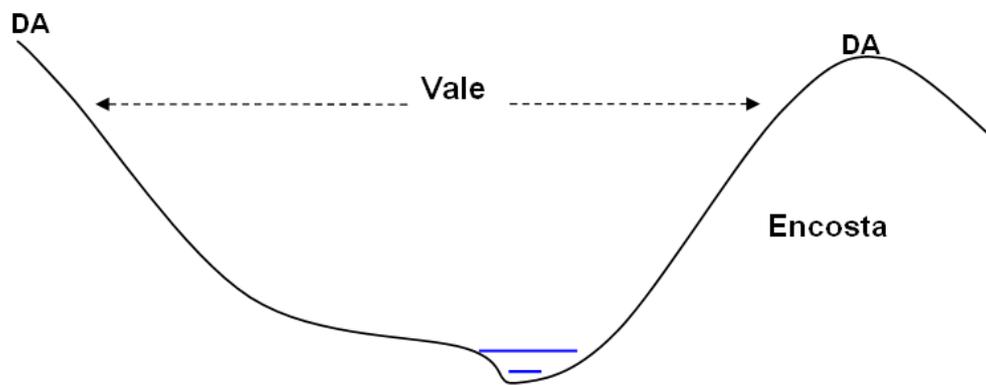


Figura 27 – Representação de um vale

- **Talvegue:** é a linha formada pela sequência dos pontos mais baixos de um vale. É uma linha coletora das águas pluviais.
 - O aclave de um curso d'água cresce de forma contínua da foz até a nascente;
 - O ângulo formado pelos cursos de dois talvegues é, geralmente, inferior a 90°. A confluência apresenta, normalmente, uma inflexão do curso principal em direção ao seu afluente.

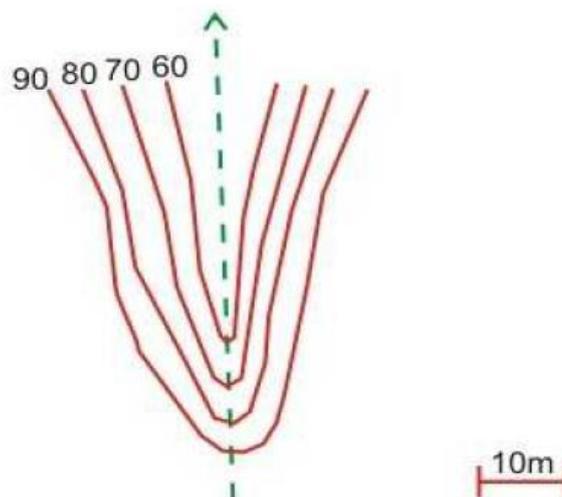


Figura 28 – Representação de um talvegue

Traçados muito próximos a linhas de talvegue não são recomendados pois podem apresentar grande interferência em córregos, matas ciliares e muitos problemas de drenagem, visto que é a área mais baixa de uma região.

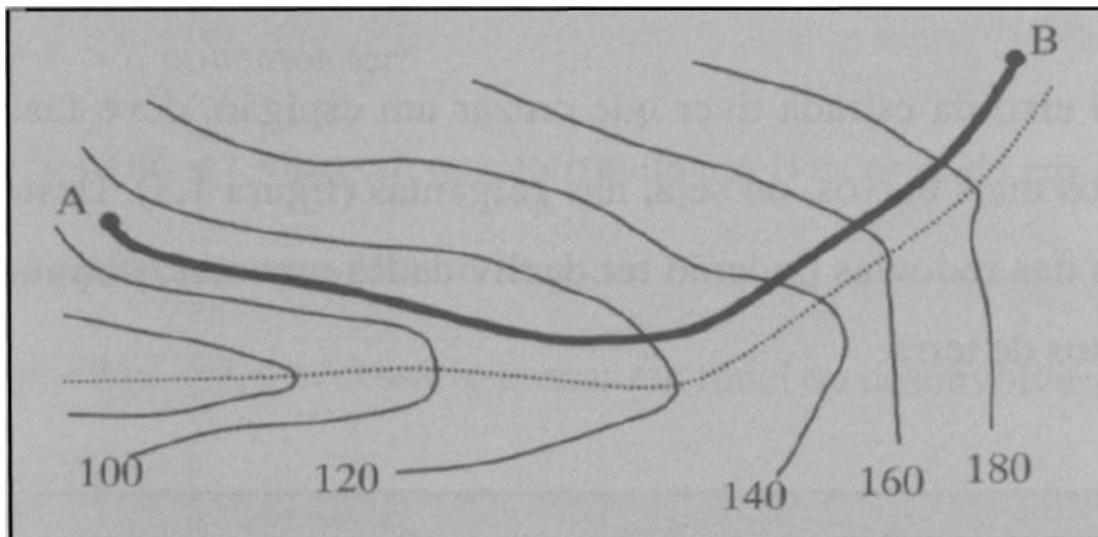


Figura 29 – Traçado junto ao fundo do vale

- **Grota e mata ciliar:** é a área de entorno de um talvegue. Matas ciliares devem sofrer o mínimo possível de interferências pois elas protegem o curso d'água e evitam desmoronamentos das encostas.

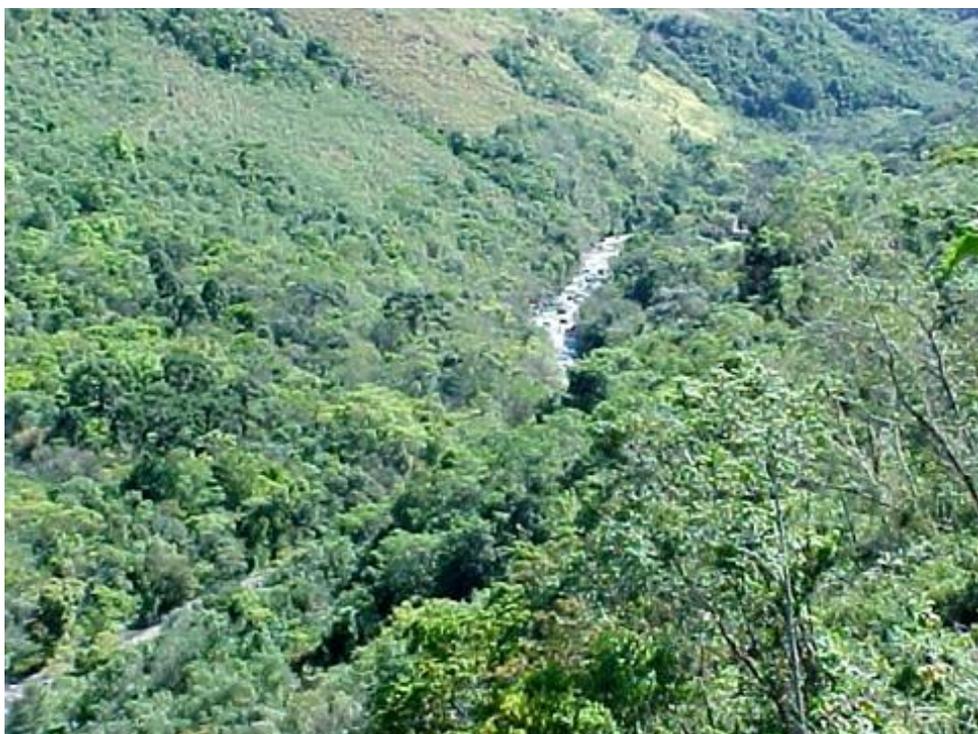


Figura 30 – Grota, talvegue e mata ciliar

- **Serra:** é a denominação genérica de todo terreno significativamente acidentado. Montanha com formas alongadas, onde as partes mais elevadas apresentam a forma de dentes de uma serra;



Figura 31 – Estrada do Rio do Rastro (SC)

- **Arroio:** é um pequeno curso d'água perene;
- **Bacia:** é o conjunto de todos os terrenos cujas águas afluem para um determinado curso d'água ou talvegue. Está delimitada por um divisor de águas;

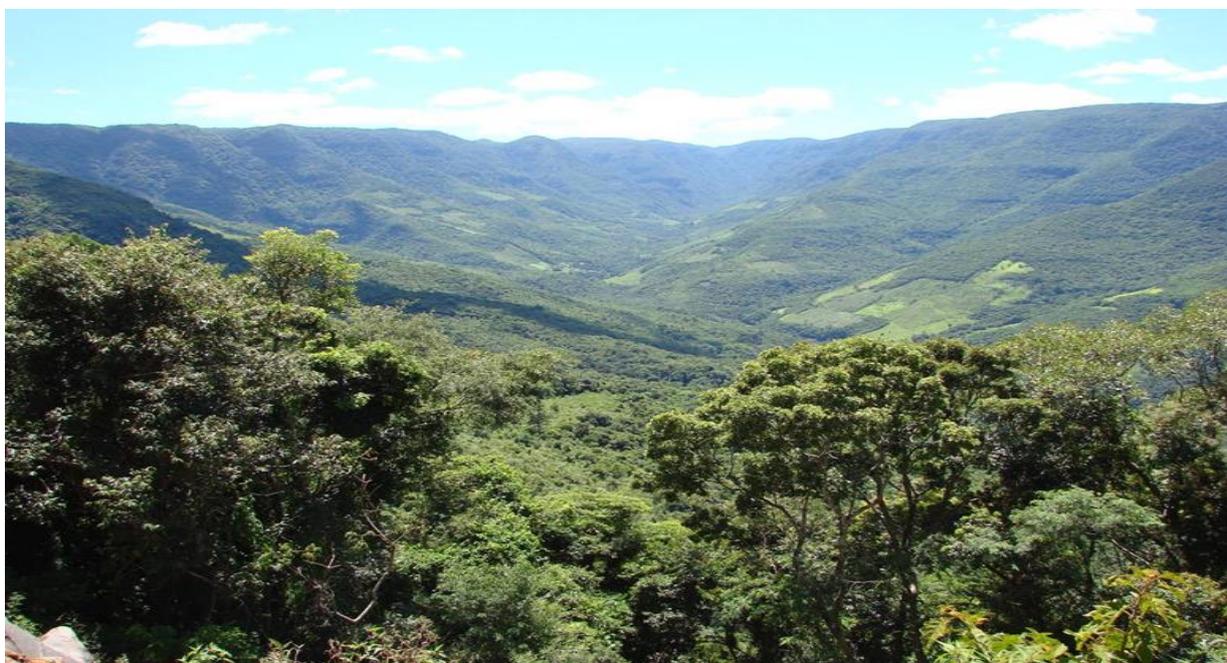


Figura 32 – Bacia junto à Rota do Sol (RS)

- **Contraforte:** é uma ramificação de razoável proporção em direção transversal a uma montanha ou serra. O contraforte é um bom acesso ao divisor de águas;

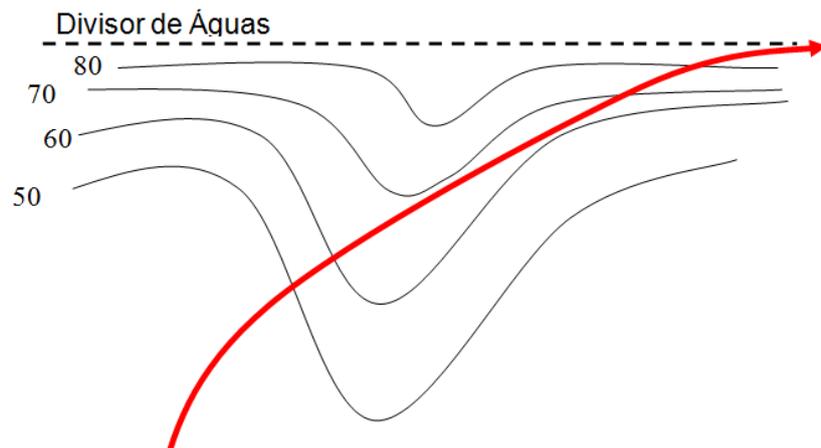


Figura 33 – Configuração de um contraforte

Na ocasião da existência de um traçado em contraforte é importante que se escolha as linhas de menor declive, ou seja, onde as curvas de nível estejam mais espaçadas. Outro ponto válido é não atravessar direto as curvas de nível, aproveitar a declividade delas para que se ganhe mais altitude conforme mais se anda na horizontal, isso ajuda a minimizar declividades anômalas no traçado.

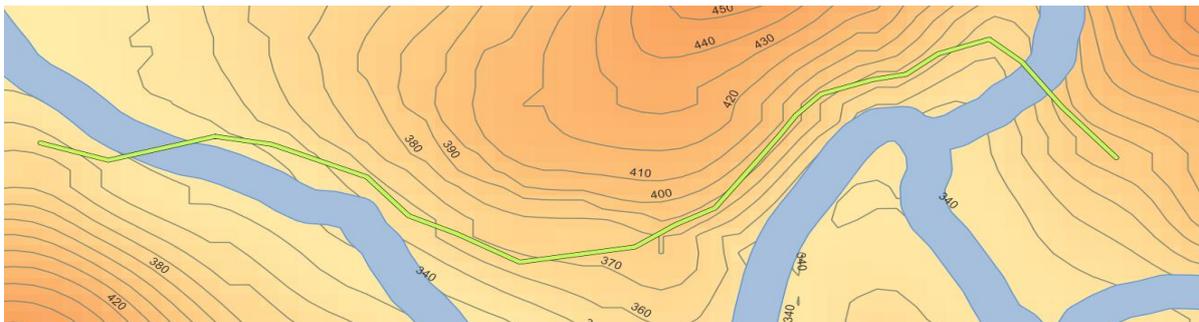


Figura 34 – Exemplo de traçado passando por um contraforte

- **Garganta/sela:** É uma depressão acentuada do divisor de águas de uma montanha ou serra. Através de uma garganta um traçado pode interceptar uma serra, passando de um lado da encosta para o outro.

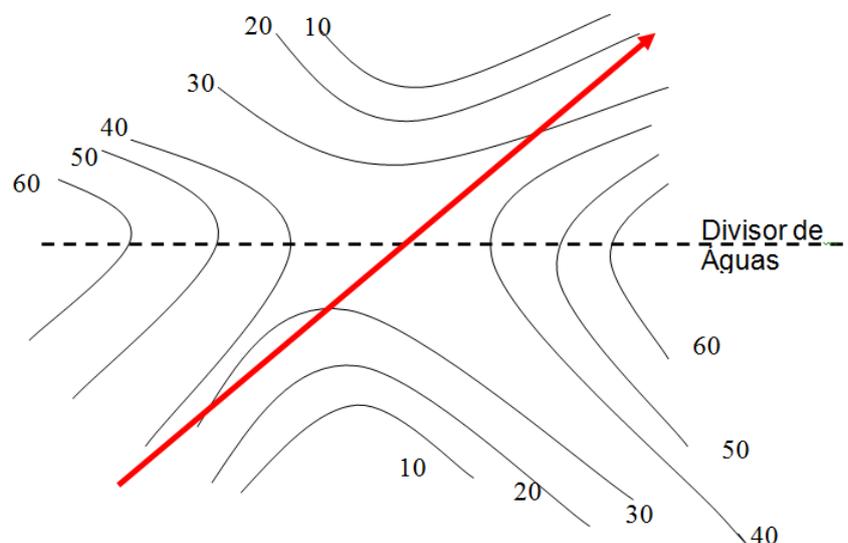


Figura 35 – Configuração em planta de uma garganta

Um ponto de sela é, em outras palavras, o ponto máximo e mínimo de uma região ao mesmo tempo. Na imagem a seguir, é possível perceber que estamos em um divisor de águas numa cota que é a mais alta do relevo no local, contudo, ela é a mais baixa dentre todas as cotas altas.

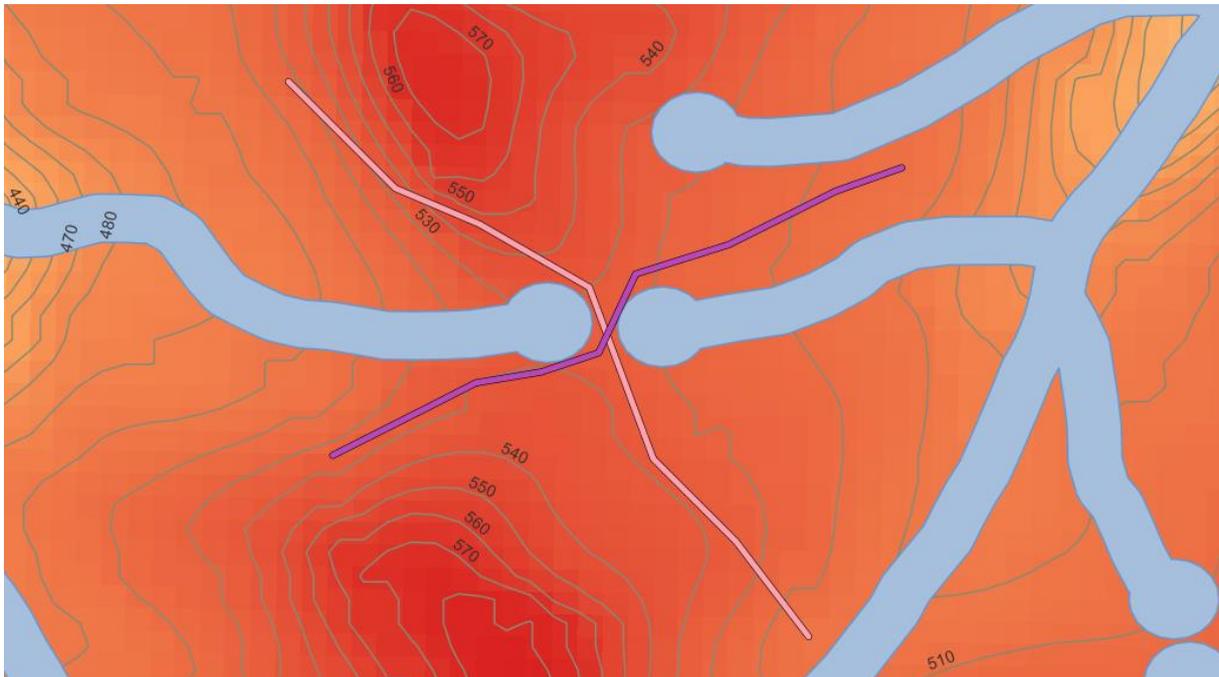


Figura 36 – Traçados atravessando uma garganta

O perfil mostrado abaixo corresponde ao traçado rosa. No ponto onde os eixos estão se encontrando está o ponto de sela. Através disso percebe-se que cruzando a sela de noroeste para sudeste, ela configura um ponto de mínimo.

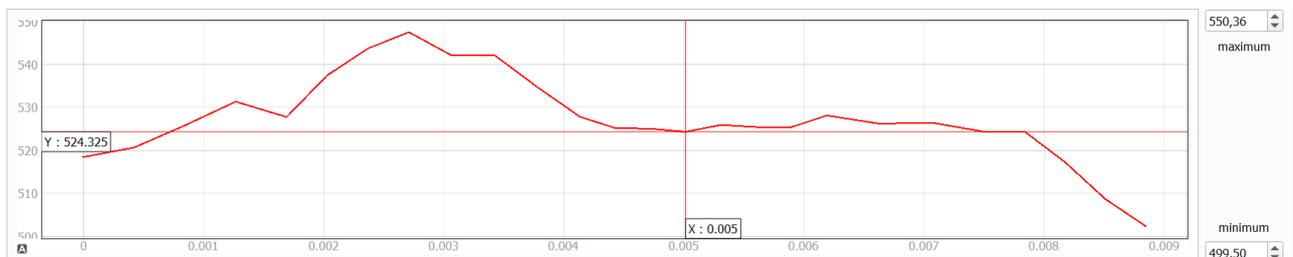


Figura 37 – Perfil longitudinal correspondente ao traçado rosa

O perfil mostrado abaixo corresponde agora ao traçado roxo. Desta vez, o ponto de sela configura um ponto de máximo, portanto mudando a orientação do traçado - desta vez de nordeste para sudoeste, a garganta passa a ser um divisor de águas.



Figura 38 – Perfil longitudinal correspondente ao traçado roxo

O estudo de traçado de uma rodovia deve considerar as limitações impostas pelo relevo e produzir um projeto que respeite a natureza. Em função desta e de outras características, **toda rodovia é única**, o que resulta em muito mais estudo e trabalho.

DEMAIS CONDICIONANTES

Além do relevo, um bom Estudo de Traçado deve considerar também:

- Condicionantes geológicas;
- Condicionantes hidrológicas;
- Condicionantes do uso do solo;
- Outras condicionantes.

Condicionantes geológicas

As condicionantes geológicas tratam do comportamento e das características do solo da região de estudos e como o mesmo tende a se comportar. É importante o conhecimento dos mesmos pois podem influenciar por exemplo no dimensionamento das banquetas de corte ou aterro quando feito o projeto de terraplenagem, ou até mesmo a necessidade de custos de detonação de rocha para a execução do projeto.

- Solos moles e materiais inservíveis;
- Encostas em aluvião (escorregamento);
- Corte em rocha (utilização em aterros altos e descarte em bota-foras – zonas restritas);
- Empréstimos concentrados e empréstimos laterais;
- Índice de Suporte Califórnia (ISC) e expansão (ensaios).

No site do Serviço Geológico do Brasil (<https://geosgb.cprm.gov.br/>) é possível encontrar informações sobre a geologia do país.

Condicionantes hidrológica

As condicionantes hidrológicas tratam dos cursos de água, nascentes e corpos de água que atuam na região do estudo e merecem atenção, principalmente para projetos de drenagem. É importante ressaltar que é proibido que o projeto “passe por cima” de nascentes, pois isso configura um crime ambiental; no Projeto Ponto de Partida, especifica que o corpo da rodovia deve passar em uma área em um raio de 50m longe de qualquer nascente.

Outro ponto importante é o cruzamento com cursos de água. Ao fazê-lo recomenda-se que seja perpendicular ao córrego, a fim de influenciar da menor maneira possível e, se necessária obra de arte especial, ela seja de menor extensão possível; o mesmo raciocínio vale para a colocação de bueiros que, ao serem dimensionados, terão um corpo menor. Abaixo, exemplos de condicionantes hidrológicas que devem ser levadas em consideração:

- Rios e cursos d’água (cota de cheia máxima);
- Altura mínima de recobrimento de bueiros;
- Bacias de contribuição (dimensionamento da vazão);
- Regiões alagadiças (banhado).

Condicionantes do uso do solo

Toda a vez que se projeta uma rodovia é necessário um estudo da área em que a mesma estará alocada, afinal dificilmente ela será “no meio do nada”. Para se executar um bom projeto é necessário levar em consideração áreas que estão previamente ocupadas, como por exemplo:

- Reservas indígenas, quilombolas, assentamentos e invasões;
- Áreas de expansão urbana;
- Áreas de atração (portos secos, ligação a terminais de outros modais).
- Acesso a outras vias rurais (existentes ou projetadas);
- Interferências (pontes, viadutos, túneis, ferrovias, oleodutos, canalizações de fibra-ótica, redes de alta tensão).

A presença destas interferências influencia diretamente no estudo do traçado e no orçamento do mesmo, visto que por se tratarem de áreas ocupadas, deverão ser desapropriadas permanentemente ou momentaneamente para a execução. Estas medidas exigem custos, que devem estar inseridos no levantamento financeiro do projeto. Abaixo consta um exemplo de um mapa de desapropriação, com o quantitativo das áreas e de serviços:



Desapropriações	Quant	Valor/m2	Valor Total
Mata Nativa	8914,971	R\$2,50	R\$22.287,43
Terreno Baldio	0	R\$2,00	R\$0,00
Terreno preparado para lavoura	18366,52	R\$3,50	R\$64.282,82
Terreno em produção de fruticultura	0	R\$5,00	R\$0,00
Açude	0	R\$70,00	R\$0,00
Edificação	120,584	R\$375,00	R\$45.219,00

Figura 39 – Mapa de desapropriação com quantitativos

Outras condicionantes

- Reservas ecológicas (matas nativas e áreas de preservação);
- Árvores nativas com restrição ao corte.

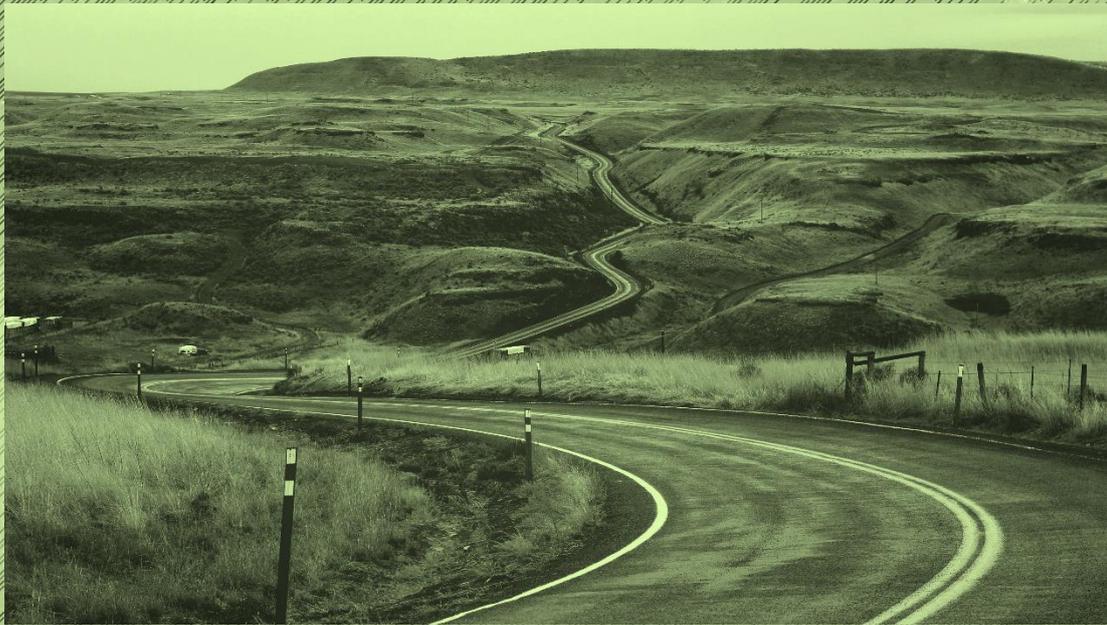
ATIVIDADES PRÁTICAS NO SOFTWARE QGIS

Levando para a prática o conteúdo tratado nesta etapa, recomendamos que os alunos trabalhem no *software* QGIS. O estudo das condicionantes do projeto é essencial para o bom desenvolvimento do mesmo, por isso recomendamos que, acompanhando os vídeos disponibilizados, tentem:

- Gerar o mapa de calor, declividade e as curvas de nível;
- Inserir no QGIS as bases de dados hidrológicas disponibilizadas (verificar o Termo de Referência);
- Identificar as demais condicionantes do projeto e mapeá-las;
- Lançar um traçado.

IMPORTANTE!!!

Estudos de Traçado bem realizados minimizam problemas de projeto em diversas áreas (geométrico, terraplenagem, interseções, drenagem, pavimentação, etc.). Um bom projeto é aquele que se adapta ao terreno e às pessoas, atendendo às suas necessidades!



ET4 – DIRETRIZES NOMENCLATURAS, NORMAS E MANUAIS

ET4 – DIRETRIZES: NOMENCLATURAS, NORMAS E MANUAIS

OBJETIVOS

1. Reconhecer nomenclaturas usuais;
2. Conhecer a estrutura do sistema rodoviário brasileiro;
3. Identificar normas e manuais de projeto;
4. Compreender diferentes escolas de traçado;
5. Reconhecer etapas de um projeto rodoviário.

TRANSPORTE VIÁRIO

Transporte é uma atividade meio que viabiliza deslocamentos para satisfação de necessidades pessoais e coletivas. Os maiores benefícios dos transportes são: **mobilidade** e **acessibilidade** (Figura 40) e os maiores “problemas” são: acidentes, poluição, ruído, congestionamentos, etc.

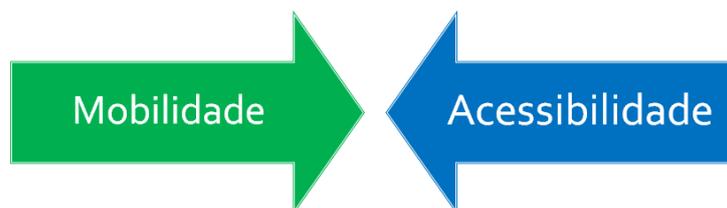


Figura 40 – Confronto entre características de mobilidade e acessibilidade

Toda rodovia apresenta características de mobilidade e acessibilidade. A classificação funcional, no entanto, identifica a priorização destas características. A Figura 41 indica a proporção das características mobilidade e acessibilidade em diferentes sistemas viários.

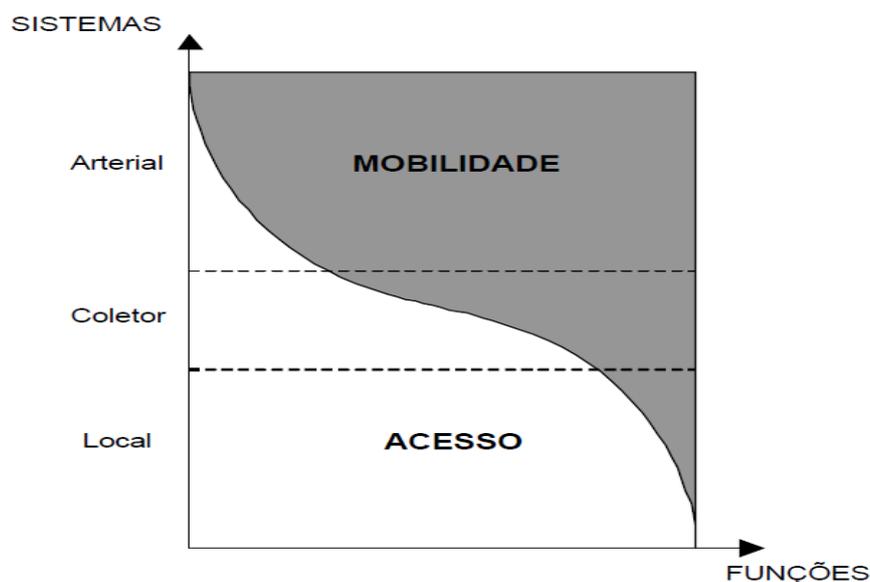


Figura 41 – Classificação funcional

A classificação técnica, estabelecida em norma, deve considerar os seguintes fatores:

- Classificação funcional;
- Volume médio diário de tráfego (VMD);
- Nível de Serviço;
- Natureza do terreno.

O produto final procura atender as necessidades de **segurança** e **conforto** dos usuários (clientes).

- Segurança & conforto ou;
- Segurança X conforto.

Constitui um sistema de transportes os agentes indicados na Figura 42.

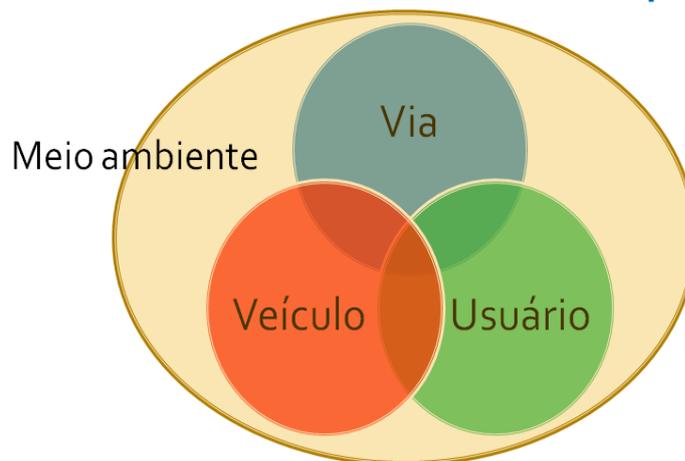


Figura 42 – Agentes de um sistema de transportes

A disciplina de Rodovias (ENG-09029) abrange uma parte da área de transportes: a infraestrutura viária (em particular os estudos e projetos para implantação de uma rodovia). Uma estrada é parte de um contexto e integra uma rede viária. As abordagens possíveis (áreas de atuação) são:

- Planejamento (Estudos e Projetos);
- Construção;
- Manutenção;
- Operação.

NOMENCLATURAS USUAIS

De acordo com a Lei Nº. 9.503, de 23/09/1997 (Código de Trânsito Brasileiro) que entrou em vigor em 8/01/1998, utilizam-se as seguintes definições:

- **ESTRADA** – via rural não pavimentada;
- **RODOVIA** – via rural pavimentada;
- **VIA RURAL** – são as estradas e rodovias.

À forma (composição espacial) assumida por uma rodovia dá-se o nome de “**corpo estradal**” (Figura 43).



Figura 43 – Rodovia com duas pistas, taludes com banquetas e canteiro central

A caracterização (modelagem e projeto) do corpo estradal (3D) é feita através da representação gráfica conforme indicado na Figura 44.

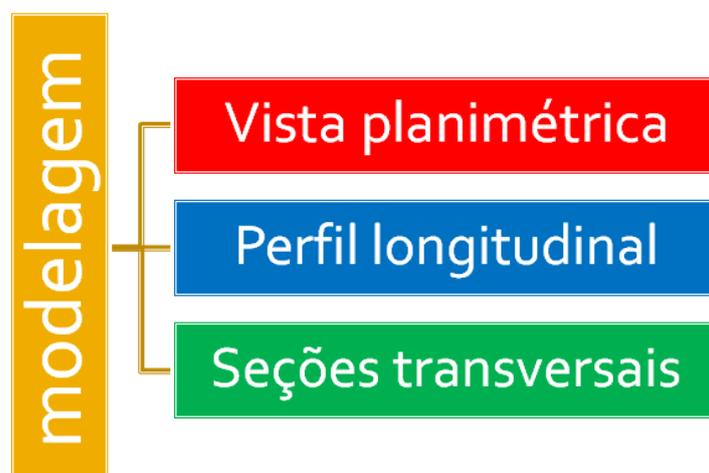


Figura 44 – Elementos que compõem a representação gráfica de um projeto viário

Vista planimétrica

A vista planimétrica, também conhecida por planta baixa, de uma rodovia é a representação em projeção horizontal dos elementos do terreno e projeto. A superfície do terreno é representada pelas curvas de nível. O projeto planimétrico é constituído pelo conjunto dos seguintes elementos:

- **Eixo:** é o alinhamento longitudinal da rodovia. O eixo localiza-se, geralmente, na parte central da plataforma;
- **Estacas:** definem e materializam o eixo. O estaqueamento cresce a partir da origem de 20 em 20m;
- **Alinhamento reto (ou reta):** localizado entre curvas horizontais. É o trecho retilíneo que compõe uma rodovia. Utiliza-se o termo técnico **Intertangente**, para definir o mesmo;
- **Curva de concordância horizontal:** é o arco ou sequência de arcos que concordam geometricamente dois alinhamentos retos sucessivos. A curva é caracterizada pelo valor do

Raio de curvatura. O valor do raio depende do veículo de projeto e da velocidade. As curvas de concordância horizontal podem ser do tipo: (i) curva circular simples, ou (ii) curva composta com transição. Curvas composta com seqüências de raios distintos são mais comuns em interseções.

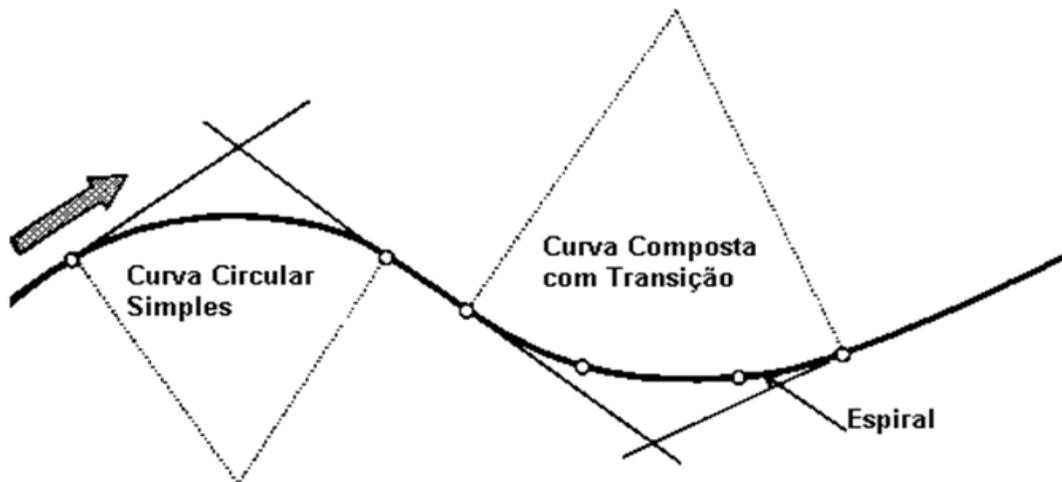


Figura 45 – Eixo da rodovia em planta baixa

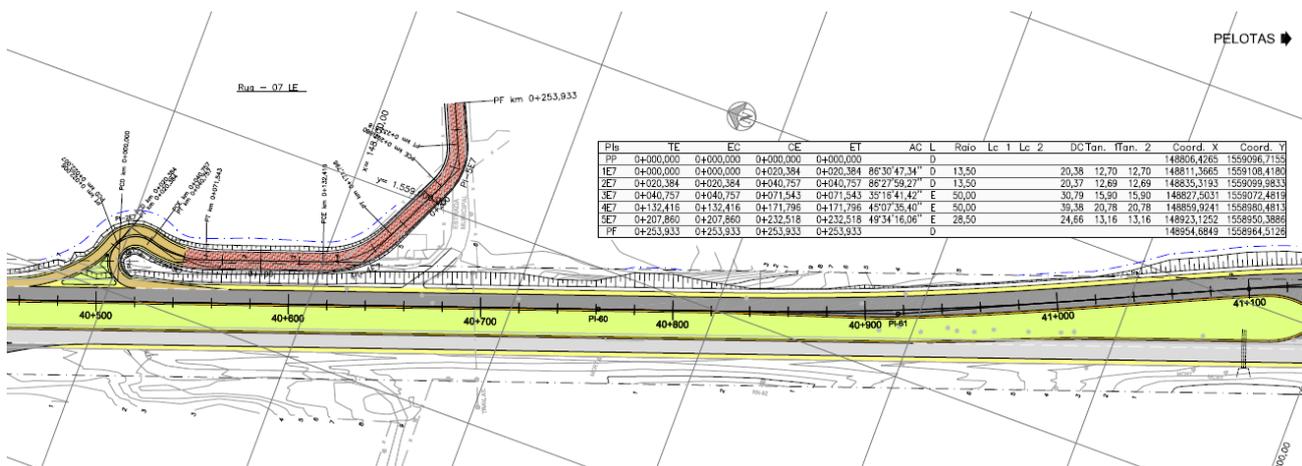


Figura 46 – Vista planimétrica de um projeto rodoviário

Perfil longitudinal

Perfil longitudinal é a representação gráfica de um corte vertical no corpo estradal, através de uma superfície perpendicular e coincidente com o eixo da rodovia. Fazem parte do perfil longitudinal:

- **Linha do terreno natural:** representa a variação do terreno natural através da interseção deste com a superfície vertical que determina o perfil. Deformação do perfil. Utiliza escalas horizontal e vertical deformada, para facilitar a visualização de desníveis.
- **Linha de Projeto ou GREIDE:** é uma linha em perfil longitudinal judiciosamente posicionada em relação ao terreno natural. O posicionamento desta em relação à linha do terreno natural indica a ocorrência de cortes e aterros. A posição é influenciada pela Classe de projeto da rodovia. O perfil é cotado em cada estaca. **O greide é o projeto em perfil;**
- **Declividade:** é a taxa de acréscimo ou decréscimo altimétrico do greide. A declividade pode se apresentar com as seguintes formações:

- **Active ou Em Rampa:** é um trecho ascendente com declividade constante, segundo a origem do estaqueamento;
- **Declive ou Contra Rampa:** é um trecho descendente com declividade constante, segundo a origem do estaqueamento;
- **Em Nível ou Nula:** quando a declividade é igual a zero.
- **Curva de Concordância Vertical:** é a curva que concorda geometricamente duas rampas sucessivas. Normalmente utiliza-se a **parábola do 2º grau**. É caracterizada pela projeção horizontal L. O projeto da curva é definido por condições de visibilidade, custos e operação da via.

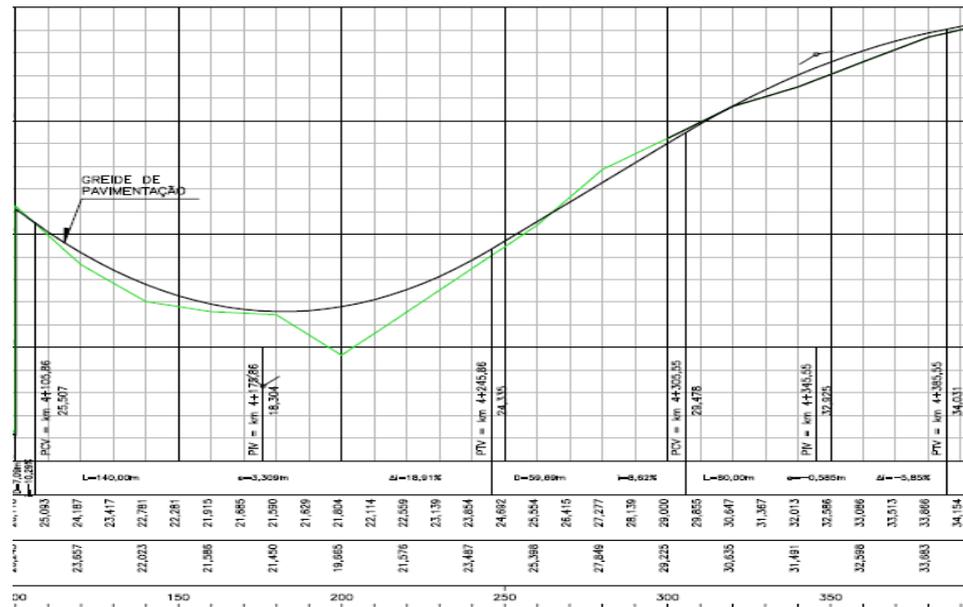


Figura 47 – Perfil longitudinal de uma rodovia

Seções transversais

Obtêm-se as seções transversais a partir da intercessão da superfície do terreno natural com diversos planos verticais, normais e transversais ao eixo da rodovia, posicionados sobre o estaqueamento (20 em 20 metros) e sobre estacas específicas. Uma seção transversal de rodovia é constituída por duas linhas:

- Perfil transversal do terreno natural;
- Perfil transversal de **projeto ou gabarito**.

As seções transversais, quanto a terraplenagem, podem apresentar uma conformação conforme indicado na Figura 48.

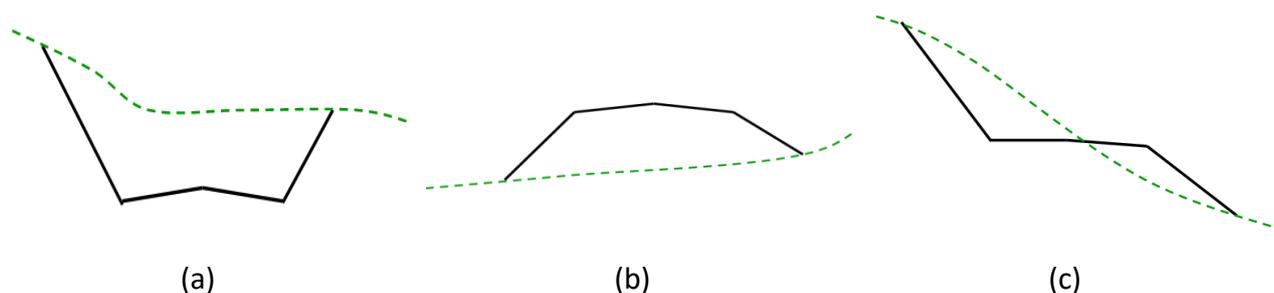


Figura 48 – Seção típica de corte (a), aterro (b) e mista (c)

São componentes geométricos da seção transversal:

- **Taludes:** são superfícies inclinadas que delimitam lateralmente os cortes e aterros. Valores padrões de inclinação: 1:1,5; 1:2; 1,5:1 (sempre vertical/horizontal);
- **Offset:** é a interseção dos taludes de corte e aterro com a superfície do terreno natural (Figura 49). Nos cortes é denominado de crista do corte, nos aterros, pé do aterro;

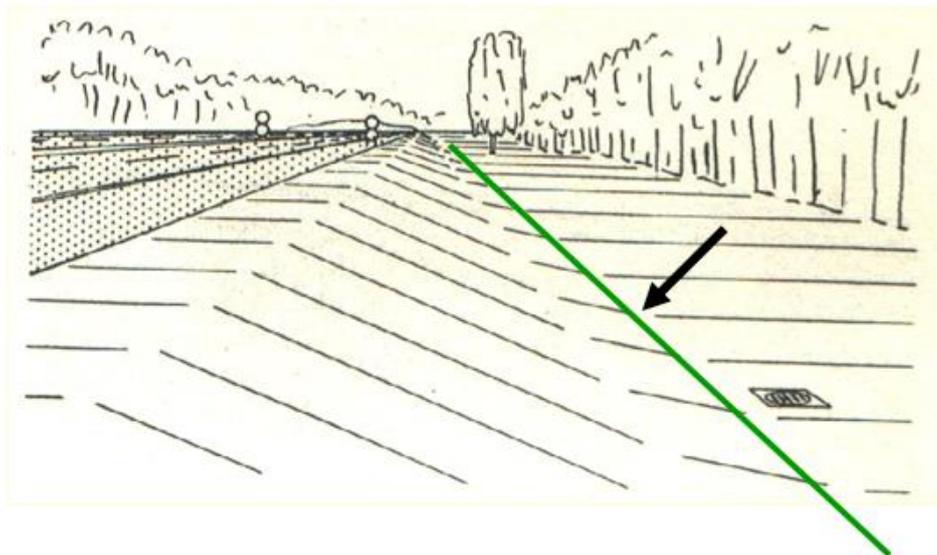


Figura 49 – Talude de aterro e linha de *offset*

- **Plataforma de Terraplenagem:** é a superfície convexa final, construída a partir das operações de terraplenagem, limitada lateralmente por taludes de corte ou aterro. Apresenta as características geométricas apresentadas a seguir:
 - **Largura da plataforma:** é função da hierarquia da rodovia. Geralmente a plataforma de corte apresenta-se maior que a de aterro, em função da necessidade de dimensionamento de sarjetas de drenagem;
 - **Inclinação transversal ou abaulamento:** a inclinação depende da natureza (textura) da superfície de rolamento. Tem a função de retirar a água da plataforma;
 - **Superelevação:** é a inclinação transversal que se dá às plataformas nos trechos curvos a fim de fazer frente à ação da força centrífuga (ou centrípeta) que atua sobre os veículos. O valor da superelevação decorre do raio de curvatura e da velocidade de projeto.
 - **Superlargura:** é a largura adicional que se dá às plataformas nos trechos curvos a fim de melhorar as condições de segurança, particularmente no que se refere à inscrição de veículos longos à curva (Figura 51).

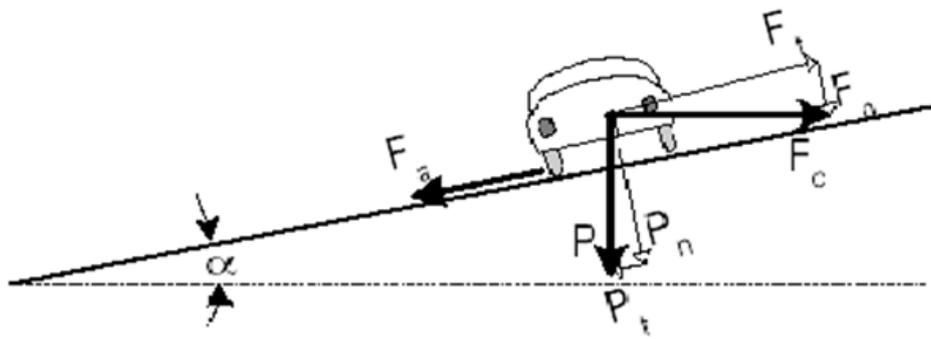


Figura 50 – Representação das forças que atuam em trechos curvos



Figura 51 – Necessidade de superlargura

- **Faixa de Domínio:** é a faixa de terras que contém a rodovia e áreas adjacentes. A Faixa de Domínio é necessária para a segurança dos veículos e pedestres. Possibilita condições para alargamentos, duplicações e obtenção de materiais para uso na construção da estrada. As áreas desta faixa são desapropriadas pelo Estado. A largura é variável em função da classe da rodovia e do relevo da região.
- **Plataforma de Pavimentação:** é a largura superior do pavimento de uma rodovia (Figura 52). Está constituída por:
 - **Pista:** é a parte da plataforma de pavimentação destinada ao tráfego de veículos. Exemplos: (i) pista simples e (ii) duas pistas (ou pista dupla) separadas por um canteiro central ou divisor físico;
 - **Faixa de Tráfego:** é a parte da pista destinada ao fluxo de veículos num mesmo sentido. Cada pista possui duas ou mais faixas;
 - **Terceira Faixa:** é uma faixa adicional utilizada por veículos lentos nas rampas ascendentes muito inclinadas e longas em rodovias de pista simples;
 - **Acostamentos:** são faixas construídas lateralmente às faixas de tráfego com a finalidade de proteger os bordos do pavimento e servir para a parada ocasional dos veículos. Em rodovias de pista simples tem-se, geralmente, um acostamento por sentido. As pistas duplas apresentam, geralmente, acostamentos internos e externos.

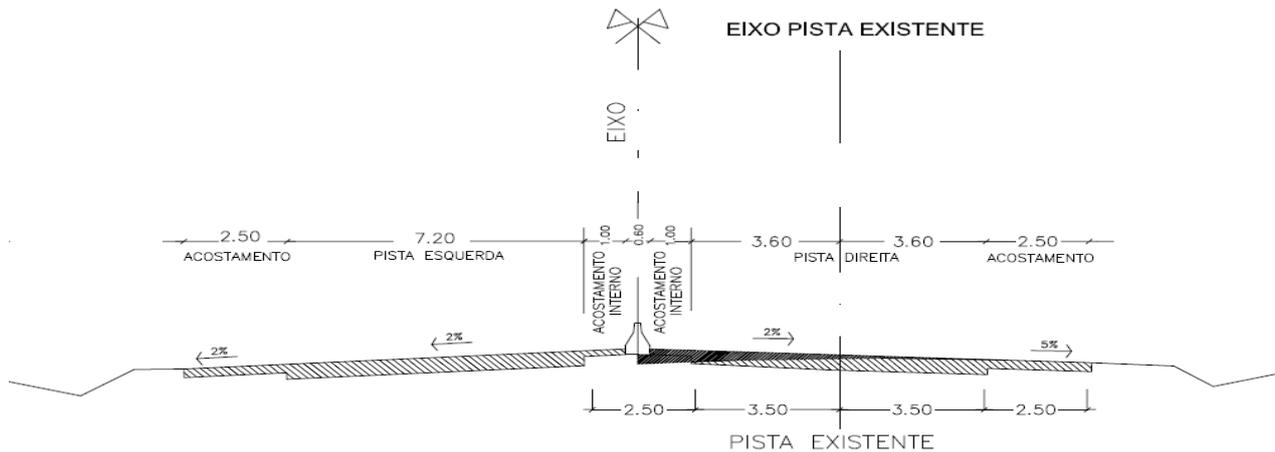


Figura 52 – Composição geométrica da plataforma de pavimentação

NORMAS DE PROJETO

Uma **norma técnica** (ou padrão) é um documento, normalmente produzido por um órgão oficial acreditado para tal, que **estabelece regras, diretrizes, ou características acerca de um material, produto, processo ou serviço**. A obediência a uma norma técnica, tal como norma ISO ou ABNT, quando não referendada por uma norma jurídica, não é obrigatória. A norma técnica costuma reunir o que usualmente denomina-se de “boas práticas”.

Acidentes/fatalidades que venham ocorrer em uma obra que seguiu todos os procedimentos estabelecidos em norma não podem ser imputados aos responsáveis. Obras que não seguirem procedimentos estabelecidos em norma, e que tenham apresentado falhas, podem ocasionar a autuação do responsável técnico com a possibilidade de perda do registro na entidade de classe (CREA). **A norma é dinâmica**, ou seja, ao longo da evolução humana, novos procedimentos e tecnologias são incorporados, fazendo com que ocorra uma quebra de paradigma e novas “boas práticas” se estabeleçam.

O profissional de engenharia tem todas as condições de avaliar se deve ou não seguir uma determinada norma técnica. Para tanto, é fundamental:

- Que ele conheça bem a norma vigente (vantagens, desvantagens, limitações, etc.);
- Que ele avalie os riscos, ao não seguir um procedimento estabelecido na norma;
- Caso opte por não seguir a norma técnica, que fundamente as motivações, justificativas que o levaram a não seguir esta. É importante realizar o memorial de cálculo utilizado no processo proposto e ter o apoio (por escrito) de outros profissionais envolvidos no mesmo problema ou em problemas similares.

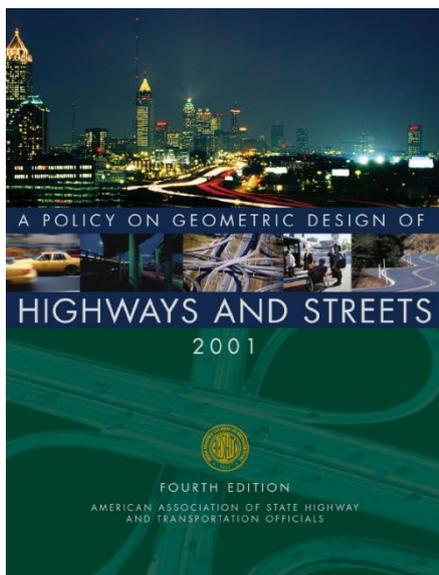
Na dúvida, siga sempre a norma técnica.

A engenharia lida com diversas normas técnicas distintas. Em projetos de rodovias (em particular o Projeto Geométrico de Rodovias) existem três referências chaves para engenheiros formados no Estado do Rio Grande do Sul (Figura 53). A primeira referência “**A Policy on Geometric Design of Highways and Streets**” conhecido como “**Green Book**” publicado pela *American Association of State*

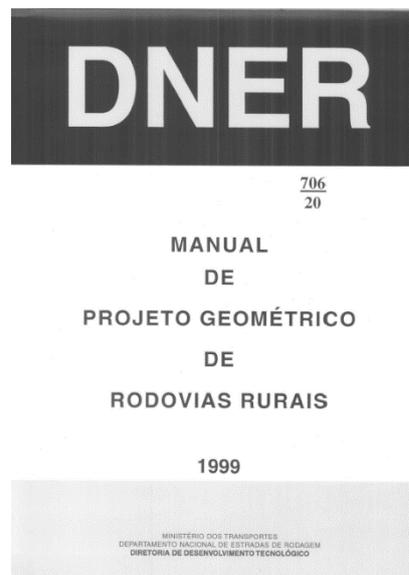
Highway and Transportation Officials (AASHTO) (Figura 53a) é a norma dos Estados Unidos que é utilizada como referência na elaboração das normas brasileiras e gaúcha.

O **Manual de Projeto Geométrico de Rodovias Rurais** (Figura 53b), publicada em 1999 pelo antigo Departamento Nacional de Estradas de Rodagem – DNER, atualmente Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes – DNIT, é a vigente em todo o território nacional para as rodovias federais (BRs).

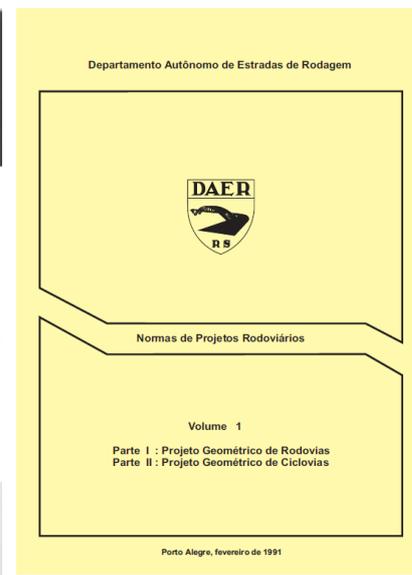
Rodovias estaduais (no caso do Estado do Rio Grande do Sul, denominadas de ERS) geralmente seguem procedimentos próprios estabelecidos pelo Departamento de Estradas de Rodagem (DER). No Rio Grande do Sul o DAER (Departamento Autônomo de Estradas de Rodagem) segue as **Normas de Projetos Rodoviários**, publicada e vigente desde 1991 (Figura 53c).



(a)



(b)



(c)

Figura 53 – Normas técnicas de projeto geométrico de rodovias

Na disciplina de Rodovias (ENG-09029) utilizaremos o Manual de Projeto Geométrico de Rodovias Rurais (DNER, 1999).

A Norma de Projeto Geométrico constitui um instrumento que visa:

- À defesa das condições de segurança e conforto do usuário do sistema;
- O estabelecimento de critérios de projeto compatíveis com a intensidade do uso previsto para a via e;
- Define as responsabilidades dos projetistas, construtores e dos administradores públicos e privados.

Esta define limites para a geometria da via em função da **Região** e da **Classe** para cada projeto específico.

Região

Em rodovias, para fins práticos, a região é classificada em três tipos distintos:

- **Plana:** distâncias de visibilidade permitidas pela geometria da rodovia bastante longas sem maiores dificuldades construtivas ou custos mais elevados;
- **Ondulada:** declividades do terreno natural exigem constantes cortes e aterros para a conformação do perfil da rodovia, com ocasionais inclinações mais acentuadas oferecendo alguma restrição ao desenvolvimento normal dos alinhamentos horizontais e verticais;
- **Montanhosa:** mudanças abruptas de elevações entre o terreno natural e a plataforma da rodovia, tanto longitudinal quanto transversalmente, demandando frequentes aterros e cortes nas encostas para se conformar a geometria horizontal e vertical da rodovia.

A definição do tipo de região é administrativa, baseada na experiência e no histórico de definições. Um critério que pode ser utilizado consiste na determinação da **Reta de Maior Declive (RMD)** representativa de uma região. O Professor João Fortini Albano indica o enquadramento da região em Plana, Ondulada e Montanhosa para valores de inclinações resultantes da média ponderada entre a RMD e a área de atuação desta segundo a Tabela 3.

Tabela 3 – Classificação em regiões segundo intervalos de RMD

Região	Intervalo Prof. Albano	Intervalo DER/PR
Plana	$RMD \leq 5 \%$	$RMD \leq 10 \%$
Ondulada	$5 \% < RMD \leq 20 \%$	$10 \% < RMD \leq 25 \%$
Montanhosa	$RMD > 20 \%$	$RMD > 25 \%$

Classes de projeto

Os critérios de projeto não podem ser uniformes para rodovias que comportem qualquer quantidade de veículos nem para qualquer tipo de relevo sobre o qual deverá estar acomodado o traçado viário.

Por estes motivos, o estabelecimento de diferentes **Classes de projeto** foi a solução encontrada a partir da experiência acumulada com a evolução do uso da malha viária. A definição de diferentes Classes atende à necessidade de adequação, de forma econômica, do volume de tráfego misto previsto para cada situação em particular.

A hierarquia entre diversos projetos materializada através das diferentes Classes considera também as funções exercidas por estradas para cada situação. A estes fatores estão associadas às dificuldades de execução decorrentes da configuração do relevo.

- **Classe 0 ou Especial:** corresponde ao melhor padrão técnico, com características técnicas mais exigentes (critérios de ordem administrativa). Projeto de rodovia em pista dupla, com separação física entre as pistas, interseções em níveis distintos e controle total de acessos, com características de Via Expressa;
- **Classe I:** subdividida nas classes IA e IB. A Classe IA corresponde a projeto de rodovia com pista dupla, admitindo interseções no mesmo nível e com controle parcial de acessos, sendo a definição por esta classe feita com base em estudos de capacidade de rodovias. A Classe IB corresponde a projeto de rodovia em pista simples, indicada para os casos em que a demanda para o 10º ano a atender seja inferior a 5.000 VMD e superior a 1.400 VMD;

- **Classe II:** corresponde a projeto de rodovia em pista simples, cuja adoção é recomendada quando a demanda a atender apresenta VMD entre 700 e 1.400;
- **Classe III:** corresponde a projeto de rodovia em pista simples, sendo recomendada para o projeto de rodovias com VMD entre 300 e 700;
- **Classe IV:** é a classe de projeto mais pobre, correspondendo a projeto de rodovia em pista simples, sendo subdividida nas classes IVA e IVB. A Classe IVA tem sua adoção recomendada para os casos em que a demanda, na data de abertura da rodovia ao tráfego, situa-se entre 50 e 200, sendo a Classe IVB reservada aos casos em que essa demanda resulte inferior a 50.

Velocidades

A velocidade é uma resultante direta da relação **condutor, veículo e rodovia**. É por este motivo que a velocidade de projeto (diretriz) é utilizada no dimensionamento de diferentes dispositivos viários como, por exemplo, a superelevação, a superlargura e as distâncias de visibilidade.

Segundo o Manual de Projeto Geométrico de Rodovias Rurais (DNER, 1999), "velocidades diretrizes elevadas, por mais desejáveis que sejam, requerem características geométricas mais amplas [...] que elevarão o custo de construção substancialmente". Por outro lado, a velocidade diretriz não deve ser inferior às velocidades de operação que efetivamente ocorrem na via.

Neste estudo, por muitas vezes, serão mencionados diferentes tipos de velocidades. Faz-se, então, necessária uma breve descrição com a caracterização de cada um dos tipos de velocidades utilizados no trabalho.

- **Velocidade de Projeto ou Diretriz:** segundo DNER (1999), "a velocidade diretriz é a velocidade selecionada para fins de projeto da via e que condiciona as principais características da mesma, tais como: curvatura, superelevação e distância de visibilidade, das quais depende a operação segura e confortável dos veículos".

A velocidade diretriz representa a maior velocidade a ser atingida por um veículo padrão, em um trecho viário, mantendo-se as condições de segurança dentro de valores pré-estabelecidos no projeto.

No Brasil, a velocidade diretriz é função da classe de projeto e do relevo da região, podendo variar entre o limite máximo de 120 km/h (classe 0 ou especial em região plana) e mínimo de 30 km/h (classe 4 em região montanhosa), conforme Figura 54, extraída da página 42 da norma.

Classe de projeto	Velocidades diretrizes para projeto (km/h)		
	Relevo		
	Plano	Ondulado	Montanhoso
Classe 0	120	100	80
Classe I	100	80	60
Classe II	100	70	50
Classe III	80	60	40
Classe IV	80 - 60	60 - 40	40 - 30

Figura 54 – Velocidade diretriz segundo classe de projeto e região

- **Velocidade Operacional ou V_{85} :** segundo FITZPATRICK et al. (1996), é a velocidade efetivamente observada em veículos em um determinado trecho viário. O percentil 85 (V_{85}) da distribuição de velocidades observadas é, geralmente, adotado como velocidade operacional. A V_{85} , obtida a partir da análise estatística dos dados de velocidade pontual de uma determinada amostra, representa a velocidade característica de uma distribuição de frequência acumulada, onde 85% dos condutores trafegam com velocidades inferiores ou, no máximo, iguais a esta.
- **Velocidade Regulamentada:** também denominada de limite de velocidade, é a velocidade permitida para uma rodovia ou segmentos desta. Limites razoáveis, próximos à velocidade operacional da via, normalmente são bem aceitos, enquanto que limites excessivamente baixos poderão ser ignorados pelos motoristas.

Veículo de projeto

A largura e o comprimento dos veículos influenciam as dimensões da via (faixas de rolamento, acostamentos, ramos, canteiros, faixas de espera, etc.). O veículo de projeto geralmente utilizado é o veículo de carga, por apresentar maiores restrições as condicionantes do projeto. Os veículos de carga podem ser classificados segundo a Tabela 4.

Tabela 4 – Classificação dos principais veículos de carga

Denominação	Dimensões (m)	Desenho
Simplex	2,6 x 14,0 x 4,4m	
Articulados	2,6 x 18,15 x 4,4m	
Reboques	2,6 x 19,8 x 4,4m	

Um exemplo das restrições impostas pela longa parte rígida dos veículos de carga refere-se ao dimensionamento dos raios mínimos. A Figura 55, retirada da página 50 do manual, indica o raio mínimo de giro para um veículo de carga articulado.

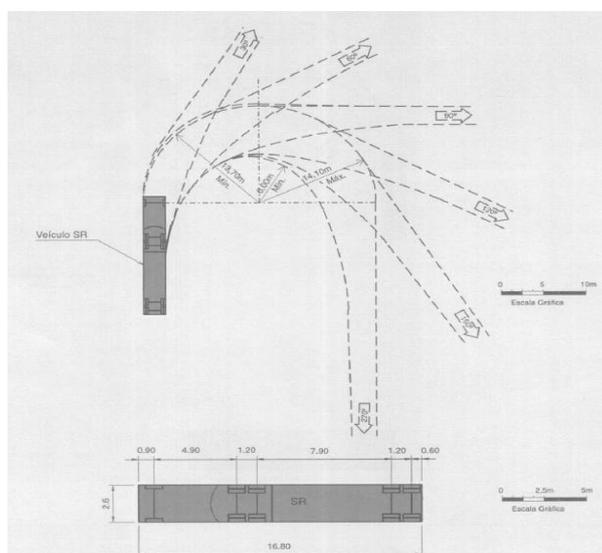


Figura 55 – Raio de giro do veículo de projeto SR

Elementos de projeto

Existem diversos elementos geométricos que definem um projeto. Valores mínimos e máximos, para alguns destes elementos, podem ser observados na Figura 56.

DESCRIÇÃO	UNID.	CLASSE 0			CLASSE I			CLASSE II		
		Plano	Ond.	Mont.	Plano	Ond.	Mont.	Plano	Ond.	Mont.
Velocidade diretriz	km/h	120	100	80	100	80	60	100	70	50
Dist. mínima de visibilidade de parada	m	205	155	110	155	110	75	155	90	60
Dist. mínima de visibilidade de ultrapassagem	m	-	-	-	680	560	420	680	490	350
Raio mínimo (transição)	m	540	345	210	345	210	115	375	170	80
Raio mínimo (simples)	m	2800	1900	1200	1900	1200	700	1900	950	500
Superelevação máxima	%	10	10	10	10	10	10	8	8	8
Rampa máxima	%	3	4	5	3	4,5	6	3	5	7
K mínimo (côncavas)	m	102	58	29	58	29	14	58	20	9
K mínimo (convexas)	m	50	36	24	36	24	15	36	19	11
Largura da faixa de rolamento	m	3,60	3,60	3,60	3,60	3,60	3,60	3,60	3,50	3,30
Largura do acostamento externo	m	3,50	3,00	3,00	3,00	2,50	2,50	2,50	2,50	2,00
Gabarito mínimo vertical (altura livre)	m	5,50	5,50	5,50	5,50	5,50	5,50	4,50	4,50	4,50

DESCRIÇÃO	UNID.	CLASSE III			CLASSE IV A			CLASSE IV B		
		Plano	Ond.	Mont.	Plano	Ond.	Mont.	Plano	Ond.	Mont.
Velocidade diretriz	km/h	80	60	40	80	60	40	60	40	30
Dist. mínima de visibilidade de parada	m	110	75	45	110	75	45	75	45	30
Dist. mínima de visibilidade de ultrapassagem	m	560	420	270	560	420	270	420	270	180
Raio mínimo (transição)	m	230	125	50	230	125	50	125	50	25
Raio mínimo (simples)	m	1200	700	300	1200	700	300	700	300	170
Superelevação máxima	%	8	8	8	8	8	8	8	8	8
Rampa máxima	%	4	6	8	4	6	8	6	8	10
K mínimo (côncavas)	m	29	14	5	29	14	5	14	5	2
K mínimo (convexas)	m	24	15	7	24	15	7	15	7	4
Largura da faixa de rolamento	m	3,50	3,30	3,30	3,00	3,00	3,00	2,50	2,50	2,50
Largura do acostamento externo	m	2,50	2,00	1,50	1,30	1,30	0,80	1,00	1,00	0,50
Gabarito mínimo vertical (altura livre)	m	4,50	4,50	4,50	4,50	4,50	4,50	4,50	4,50	4,50

Figura 56 – Parâmetros mínimos e máximos por classe de projeto

ESCOLAS E CONDICIONANTES DE TRAÇADO

Traçado é a posição que a via ocupa sobre o terreno.

O Estudo de Traçado tem por objetivo delimitar os locais mais convenientes para a passagem da rodovia. Um estudo de traçado leva em consideração a necessidade de adequado padrão técnico, econômico, operacional e de integração com o meio ambiente, tendo em vista as necessidades de segurança, conforto e conveniências do usuário.

Uma vez estabelecido o **Ponto de Partida** (PP) e o **Ponto Final** (PF), o alinhamento limitado por estes dois pontos recebe o nome de **Diretriz**. **A diretriz indica a menor extensão possível entre os pontos** (em projeção horizontal). Mais importante que a extensão é a identificação da direção e sentido. Em um Estudo de Traçado, o objetivo inicial é identificar e posicionar uma série de **Alinhamentos** (linhas contínuas que se interceptam em **Pontos de Inflexão** – PIs) de forma a ir de PP para PF, passando por características de relevo e demais condicionantes favoráveis.

As escolas de traçado podem ser divididas em:

- **Escola Clássica:** remonta ao início da expansão da indústria automotiva, no início do século XX. Baseia-se na alta relação potência do veículo sobre o peso transportado e nas menores distâncias que os segmentos de reta proporcionam. Consiste basicamente na utilização de longos trechos em reta com pouco uso de arcos de curva.

Tabela 5 – Exemplos de trechos retos e longos

Rodovia	Extensão em reta km)
BR/290	18,0
BR/116 Arroio Grande	21,0
Ruta 2 C. del Este – Asunción	25,0
BR/158	25,0
BR/285 São Borja	27,0 e 33,0
BR/471 Quinta – Chuí	38,0
Mendonça	40,0
Frankfurt	60,0
Bariloche – Baia Blanca	152,0
Estrada de Ferro na Austrália	500,0

Críticas à escola clássica: leva o motorista cansado ao sono; ofuscamento à noite; maior custo; sensação de insegurança; facilita o desenvolvimento de grandes velocidades; monotonia e menor prazer ao dirigir. Tangentes longas devem ser evitadas por constituírem elementos com muita rigidez geométrica com pouca adaptabilidade às diversas formas da paisagem. Retas longas são previsíveis e perigosas por oferecer extensões estáticas que convidam ao excesso de velocidade. A reta ou tangente pode ser justificada em regiões muito planas ou em vales onde se encaixa na paisagem natural.



Figura 57 – Traçado retilíneo

- **Escola Moderna:** propõe a eliminação das retas em planta por curvas de grande raio. Recomenda uma melhor adaptação da rodovia ao terreno. Dá ênfase aos problemas de visibilidade.

É o chamado “**Traçado Fluente**”. A curva horizontal é mais interessante por trazer ao campo visual do motorista maior quantidade de áreas marginais. Oferece uma visão variada e dinâmica, estimula o senso de previsão e proporciona melhor condução óptica.

Isto não significa que se devam forçar curvaturas desnecessárias. O DNIT recomenda comprimentos máximos de 3,0 km para tangentes.

Críticas à escola moderna: o exagero de curvas prejudica operações de ultrapassagem; sensação de insegurança e trechos com maior extensão.

Vantagens da escola moderna: menor custo; maior prazer ao dirigir; menor monotonia, etc.



Figura 58 – Traçado fluente

ESTUDOS E PROJETOS

Obras de engenharia caracterizam-se por apresentarem projetos **complexos** e **multidisciplinares**. As etapas usuais que integram um projeto de rodovia são apresentadas a seguir.

Reconhecimento

A etapa do Reconhecimento é constituída por um **estudo primário** da região onde será desenvolvido o Traçado. A finalidade do Reconhecimento é **orientar** o posicionamento da via sobre o terreno.

São utilizadas cartas do Serviço Geográfico do Exército na escala **1:50.000** com curvas de nível afastadas de 20m. Se for o caso, podem ser programados levantamentos aéreos específicos na escala 1:10.000 com curvas de nível afastadas de 10m.

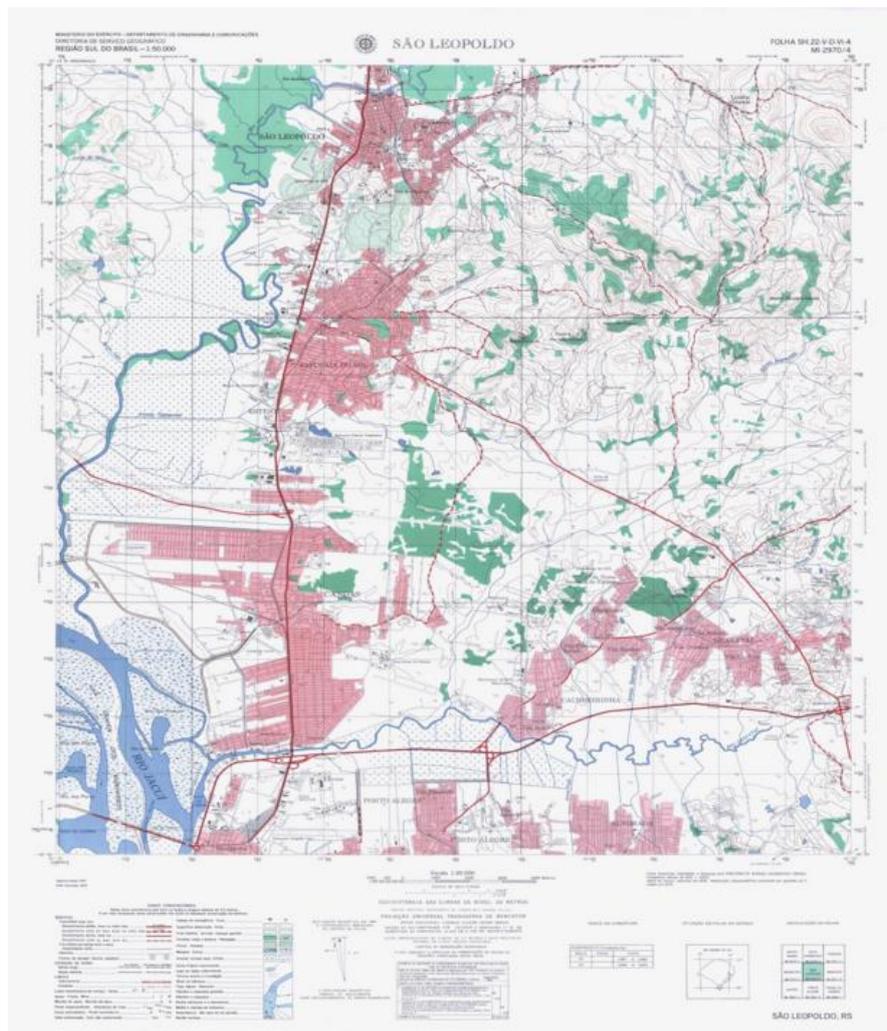


Figura 59 – Carta geográfica da localidade de São Leopoldo

(http://coral.ufsm.br/cartografia/index.php?option=com_content&view=article&id=1&Itemid=47)

Como a carta é um instrumento estático, é importante um reconhecimento *in loco*, por avião ou terra, definindo-se pontos importantes pelos quais deverá passar o trajeto da via. Utilizam-se também fotografias aéreas e imagens do terreno disponibilizado pelo Google Earth. Atualmente, em regiões que disponham de informações georreferenciadas são utilizados **softwares GIS**.

Nesta primeira etapa executam-se os levantamentos e análise de elementos para definição do traçado. Verificam-se os pontos de passagem obrigatória e demais condicionantes. Especial atenção deverá ser dedicada às questões de **preservação ambiental**. Conclui-se pelo melhor **Itinerário** ou **Faixa para Exploração**. É uma **macrolocalização** da via.

Cartas topográficas do exército produzidas pela UFSM podem ser acessadas a partir do link, abaixo: http://coral.ufsm.br/cartografia/index.php?option=com_content&view=article&id=1&Itemid=47

Exploração

É um estudo executado sobre o Itinerário ou **Faixa de Exploração (Plano de Voo)**. Programa-se um **Levantamento Aéreo** para produção de cartas nas escalas 1:5.000 ou 1:2.000 (é melhor). O relevo é representado por curvas de nível com afastamentos de 1,0m ou, no máximo, 5,0m (para região montanhosa) e largura da faixa de exploração de 300 a 400m.

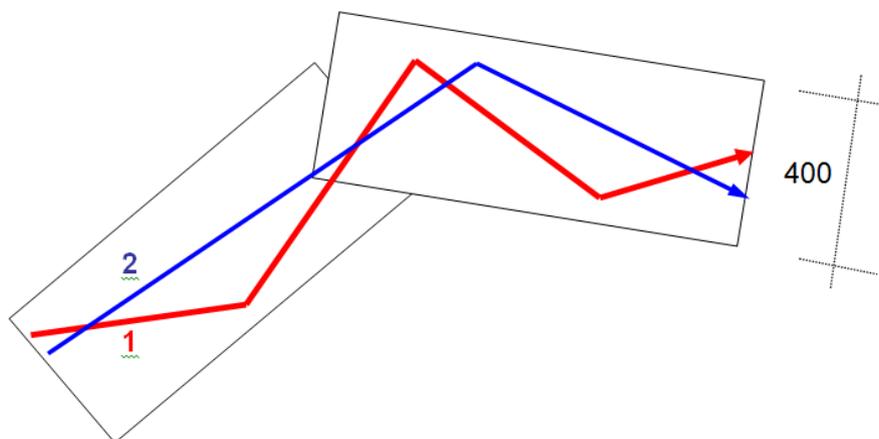


Figura 60 – Faixa do levantamento aéreo

Estuda-se o posicionamento de uma (ou mais) sequência de alinhamentos em planta. Completa-se o estudo com uma **análise do perfil longitudinal**.

As maiores condicionantes consideradas nesta etapa são: relevo, alagadiços, matas nativas e desapropriações.

Produto Final: estabelecimento de uma **Diretriz do Traçado** constituída por uma sequência de alinhamentos cujos parâmetros ficam registrados na Planilha de Coordenadas da Poligonal Aberta.

Anteprojeto, projeto básico ou EVTEA

Nesta fase **define-se a geometria da via**: curvas horizontais e verticais, rampas, questões de visibilidade, largura das faixas de rolamento, greide, estaqueamento, etc. Define-se também um pré-dimensionamento da drenagem e pavimentação. Executa-se um **levantamento de todos os quantitativos** para projetar uma **estimativa do custo da obra**. Definem-se, preliminarmente, todos os elementos técnicos e econômicos do empreendimento.

Com o anteprojeto tem-se a viabilidade técnica da rodovia. Com a estimativa do custo pode-se desenvolver um **Estudo de Viabilidade Técnica, Econômica e Ambiental – EVTEA** e analisar a conveniência de implantação em função de prioridades ou disponibilidade de recursos. O anteprojeto é um importante instrumento de decisão.

Estudos de Campo

Programa-se o deslocamento de equipes técnicas ao campo para execução de **levantamentos específicos, detalhados e completos**. Os principais serviços são:

- **Estudos Topográficos:** levantamento do terreno e locação do eixo de anteprojeto; **ajustes na linha**; levantamento de seções transversais; levantamento de jazidas e pedreiras e cadastro da Faixa de Domínio;
- **Estudos Geológicos e Geotécnicos:** conhecimento da constituição do terreno através de sondagens do subleito; pesquisas e sondagens de jazidas; pedreiras e empréstimos. Ensaios de caracterização dos materiais para verificação das possibilidades de utilização;
- **Estudos Hidrológicos:** coleta de informações sobre bacias, cotas de cheia máxima e travessias de cursos d'água.
- **Estudos de Tráfego:** contagens volumétricas; contagens direcionais para interseções. Análise e projeções do tráfego no horizonte de projeto.

Os dados e informações levantadas no campo são devidamente anotados e registrados em arquivos digitais. Após análise de consistência, os dados levantados são disponibilizados para um Escritório Central onde serão trabalhados com vistas à elaboração do **Projeto Executivo ou Final**.

Projeto final

É o conjunto de informações que possibilitam o entendimento e a construção da rodovia. Os documentos de projeto de rodovia são basicamente:

- Relatório de Projeto;
- Projeto Executivo.

O **Relatório de Projeto** contém textos com a memória descritiva e justificativa dos Estudos e Projetos desenvolvidos. Apresenta-se um orçamento com o custo previsto para o empreendimento.

O **Projeto Executivo** reúne desenhos, detalhes, plantas, planilhas e demais elementos indispensáveis para a visualização, elaboração de proposta executiva, contratação e implantação da obra.

Um **Projeto Final** (além dos Estudos de Campo) está constituído, no mínimo, pelas seguintes partes: Projeto Geométrico; Projeto de Terraplenagem; Projeto de Drenagem; Projeto de Pavimentação; Projeto de Sinalização; Projeto de Interseções; Projeto de Obras Especiais; Projeto de Obras Complementares; Especificações Executivas; Cronograma; Custos e Orçamento.

Na nossa disciplina serão abordados apenas os projetos Geométrico e de Terraplenagem:

- **Projeto Geométrico:** tem a finalidade de estudar e definir a forma da rodovia tais como raios de curva, tangentes, declividades, larguras, distâncias de visibilidade, etc. dentro das normas e padrões de conforto e segurança;
- **Projeto de Terraplenagem:** consiste na determinação dos volumes de escavação e aterros, locais de empréstimos e bota fora, distribuição de materiais e determinação da distância média de transporte.

Atualmente, devido às maiores necessidades de preservação ambiental, também integram o escopo de um Projeto os seguintes serviços:

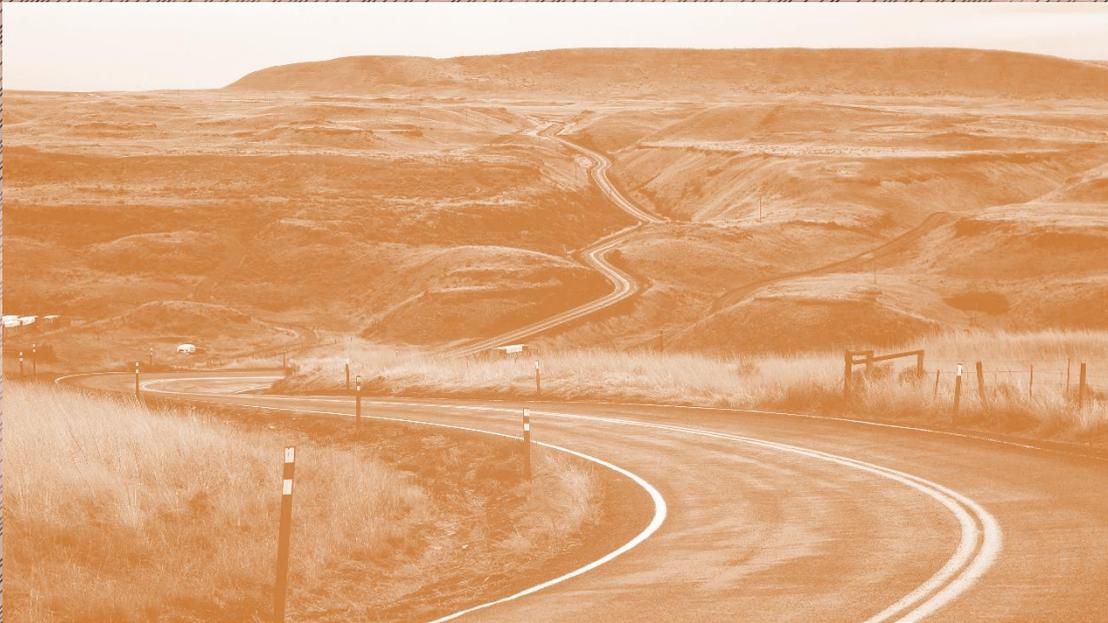
- **Estudo de Impacto Ambiental (EIA):** é executado por uma equipe interdisciplinar. São desenvolvidos estudos e análises técnicas e científicas destinadas a avaliar sistematicamente as consequências da implantação de um projeto sobre o meio ambiente, através de métodos de avaliações próprios e técnicas de previsão dos impactos e o desenvolvimento de medidas específicas de proteção, recuperação e melhorias do meio ambiente, garantindo o mínimo efeito ao ecossistema.
- **Relatório de Impacto Ambiental (RIMA):** é o documento que apresenta os resultados dos estudos técnicos e científicos da avaliação de impacto ambiental. Deve conter o esclarecimento de todos os elementos da proposta em estudo, de modo que possam ser divulgados e apreciados por toda sociedade.

Finalmente, deve ficar evidente que **o Projeto é uma ação de planejamento**. O mesmo deve ser uma primeira e **boa hipótese** de execução da obra.

Projeto As Built

O nome deste projeto deriva da língua inglesa e significa “como construído”. O Projeto *As Built* é, basicamente, o conjunto de informações elaboradas na fase de supervisão e fiscalização das obras que visa registrar as condições físicas e econômicas da execução da obra. Fornece elementos considerados relevantes para subsidiarem futuras intervenções na obra, como: reformas, ampliação e/ou restauração. Ao término da produção e após a entrega da obra, o Projeto *As Built* deve representar fielmente o objeto construído, com registros das alterações verificadas durante a execução.

Não existe empreendimento que não gere passivo ambiental



PG1 – PROJETO PLANIMÉTRICO POLIGONAL ABERTA

PG1 - PLANIMETRIA: POLIGONAL ABERTA

OBJETIVOS

1. Identificar os principais elementos que formam uma poligonal aberta:
 - a. pontos de inflexão – Pis;
 - b. alinhamentos.
2. Aprender a determinar as grandezas envolvidas:
 - a. coordenadas;
 - b. projeções;
 - c. distâncias/comprimentos;
 - d. rumos/azimutes;
 - e. deflexões.
3. Aprender a sistematizar o cálculo em uma planilha: Planilha da Poligonal Aberta.

DEFINIÇÃO E CÁLCULO DOS ELEMENTOS DE UMA POLIGONAL ABERTA

A poligonal aberta é utilizada para representar a **diretriz do traçado**. Composta de alinhamentos sucessivos, ela apresenta uma série de elementos que a caracterizam:

- Coordenadas dos vértices;
- Projeções dos alinhamentos;
- Comprimentos dos alinhamentos;
- Rumos dos alinhamentos;
- Deflexões entre os alinhamentos.

Pode-se considerar que, ao lançarmos a poligonal aberta, estamos definindo o eixo da nossa rodovia com os pontos de inflexão. A partir disso, futuramente, estabeleceremos os demais elementos do nosso traçado como curvas horizontais, intertangentes, curvas verticais entre outros.

Por serem projetos extensos, normalmente a poligonal aberta é apresentada em pranchas individuais, que juntas compõe um mosaico que contém as coordenadas de referência do projeto. As pranchas possuem indicações das estacas de início e fim e para visualizar a poligonal inteira, basta juntá-las. A Figura 61 apresenta um mosaico composto por três pranchas com coordenadas representadas em um reticulado de 200 em 200 metros. O alinhamento das pranchas no mosaico visa o melhor ajuste dos elementos a serem representados. A diretriz do traçado deve ter um sentido definido por um Ponto de Partida (PP) e um Ponto Final (PF). A graficação (desenho) da diretriz do traçado é, usualmente, feita da esquerda para a direita. Este processo altera a posição vertical do Norte.

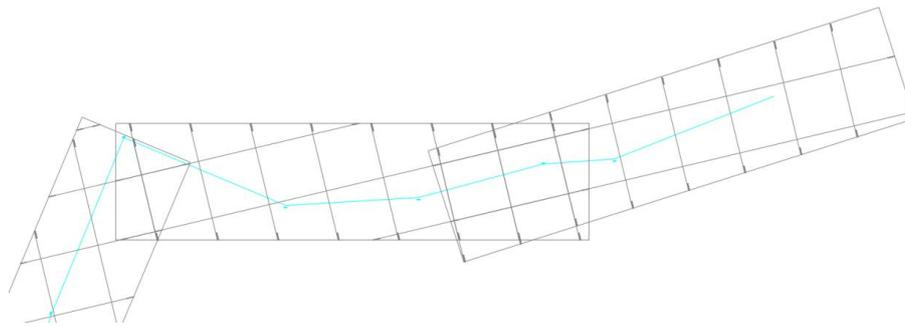


Figura 61 – Mosaico contendo coordenadas de referência e diretriz do traçado

Coordenadas dos vértices

Os vértices dos alinhamentos (extremos dos mesmos) também são denominados de **Pontos de Inflexão (Pis)**, posição na qual um alinhamento se altera de uma direção para outra. Os Pis são elementos importantíssimos para um projeto geométrico, pois eles irão receber as curvas e, portanto, devem estar devidamente espaçados para que se possa enquadrá-las no raio mínimo necessário sem causar problemas de intertangentes insuficientes. Pontos de inflexão muito próximos um do outro podem causar um desconforto para os futuros usuários da rodovia, pois as curvas estariam muito próximas umas das outras, aumentando a tortuosidade da rodovia.

As coordenadas dos vértices são obtidas por leitura direta na carta ou na tela do computador através de programas CAD (*Computer Aided Design*). O terreno está referenciado a um sistema reticulado ortogonal cujos “nós” são pontos de coordenadas conhecidas.

A leitura, interpretação e entendimento dos elementos da carta devem ser feitos com a máxima judiciosidade possível. As escalas usuais são 1:2.000 ou 1:5.000 (em CAD 1:1). Adota-se a precisão de três a quatro casas decimais (décimo de milésimo de metro) para os valores das coordenadas.

Projeções dos alinhamentos

O **sistema de coordenadas cartesiano** da representação planimétrica de uma rodovia (em planta ou planta baixa) tem no eixo x a orientação de Oeste (O ou W) para Leste (L ou E), e no eixo y a orientação de Sul (S) a norte (N). As projeções de um alinhamento qualquer podem ser obtidas através da diferença (Δ) entre sua posição final e inicial, para cada eixo (Figura 62).

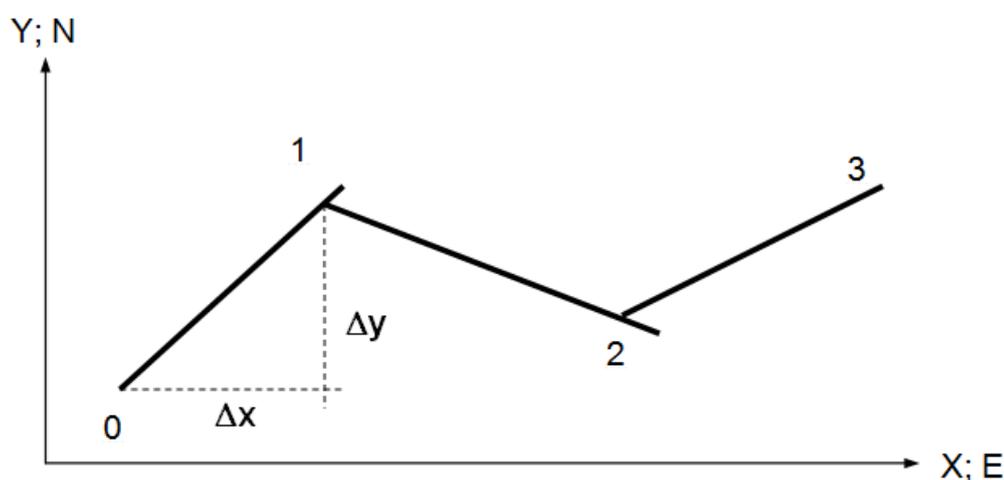


Figura 62 – Projeções Δx e Δy

Calculam-se as projeções a partir das coordenadas dos vértices:

$$\Delta x = x_p - x_a \quad (3)$$

$$\Delta y = y_p - y_a \quad (4)$$

Onde:

$\Delta x, \Delta y$ = projeções no eixo x e y (m);

x_p, y_p = coordenadas finais do alinhamento (m);

x_a, y_a = coordenadas iniciais do alinhamento (m).

A Figura 63 indica o sinal (positivo, nulo ou negativo) dos alinhamentos em função do quadrante ao qual este pertence (NE, SE, NW ou SW). A projeção X nula indica o alinhamento sobre o eixo Y em direção e sentido norte (para projeção Y positiva) ou sul (projeção Y negativa). Para a projeção Y nula tem-se o alinhamento na direção e sentido leste (projeção X positiva) ou oeste (projeção X negativa). Não existe alinhamento com projeções X e Y nulas ao mesmo tempo.

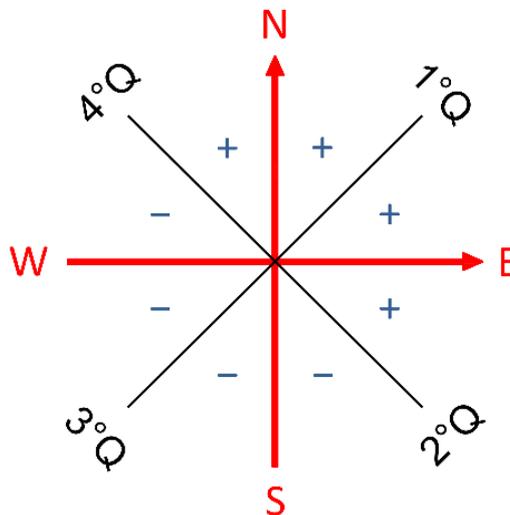


Figura 63 – Quadrantes geográficos

Comprimento dos alinhamentos

A distância entre os vértices que limitam um alinhamento recebe a denominação de *comprimento do alinhamento*. Esta distância é uma distância topográfica, ou seja, **em projeção horizontal**. A Figura 64 apresenta os vértices 0 e 1, de um alinhamento, as projeções (perpendiculares entre si) e a distância. A figura geométrica resultante é a de um triângulo retângulo onde as projeções equivalem aos catetos e a distância a hipotenusa.

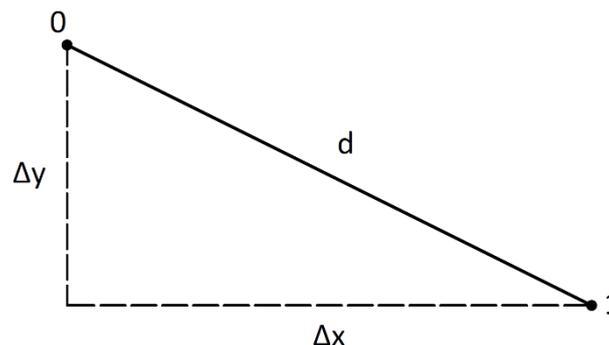


Figura 64 – Comprimento de um alinhamento

$$d = \sqrt{\Delta x^2 + \Delta y^2} \quad (5)$$

Onde:

d = distância (m);

$\Delta x, \Delta y$ = projeções no eixo x e y (m).

Rumo e azimute

Rumo é o **menor** ângulo formado entre o alinhamento e a direção norte-sul. Ele varia de 0° a 90° e deve ser expresso com a indicação do quadrante (NE, SE, NW e SW). Para um alinhamento ter rumo ele, obrigatoriamente, deve ter um sentido. O rumo dos alinhamentos deve ser observado sempre no ponto de partida, no exemplo da figura abaixo em 0, para o alinhamento 0-1 e em 1 para o alinhamento 1-2.

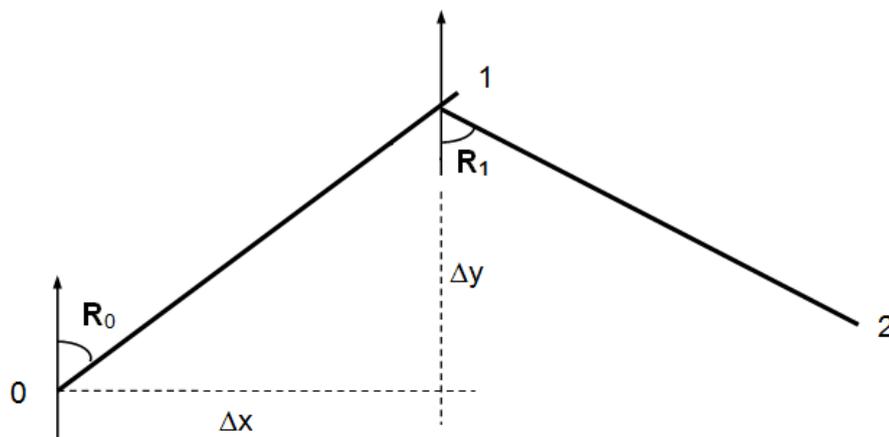


Figura 65 – Rumo de um alinhamento

O valor do ângulo de um rumo pode ser obtido pela Equação 6. Ao calcular o rumo de um alinhamento lembre-se de representá-lo em graus e não em grados ou radianos. É usual a representação dos graus no formato **graus, minutos e segundos** e não decimal.

$$rumo = \arctan\left(\frac{\Delta x}{\Delta y}\right) \quad ; \text{ (NE, SE, NW ou SW)} \quad (6)$$

$$\Delta x = |l \cdot \text{sen}(rumo)| \quad ; \text{ (+) para NE e SE; (-) para NW e SW} \quad (7)$$

$$\Delta y = |l \cdot \text{cos}(rumo)| \quad ; \text{ (+) para NE e NW; (-) para SE e SW} \quad (8)$$

Onde:

rumo = rumo do alinhamento ($^\circ \prime \prime$) seguido do quadrante (NE, SE, NW ou SW);

$\Delta x, \Delta y$ = projeções no eixo x e y (m);

l = comprimento do alinhamento (m).

Exemplificando, para os valores ($\Delta x = -604,772$ e $\Delta y = 177,971$) o rumo resultante é igual a $73^\circ 36' 07''$ NW.

O **azimute** representa o ângulo entre o alinhamento e a direção norte-sul, tendo em norte o valor de 0° e seguindo, sempre, no sentido horário. O azimute varia de 0° a 360° . Figura 66 indica o rumo e azimute para diferentes alinhamentos.

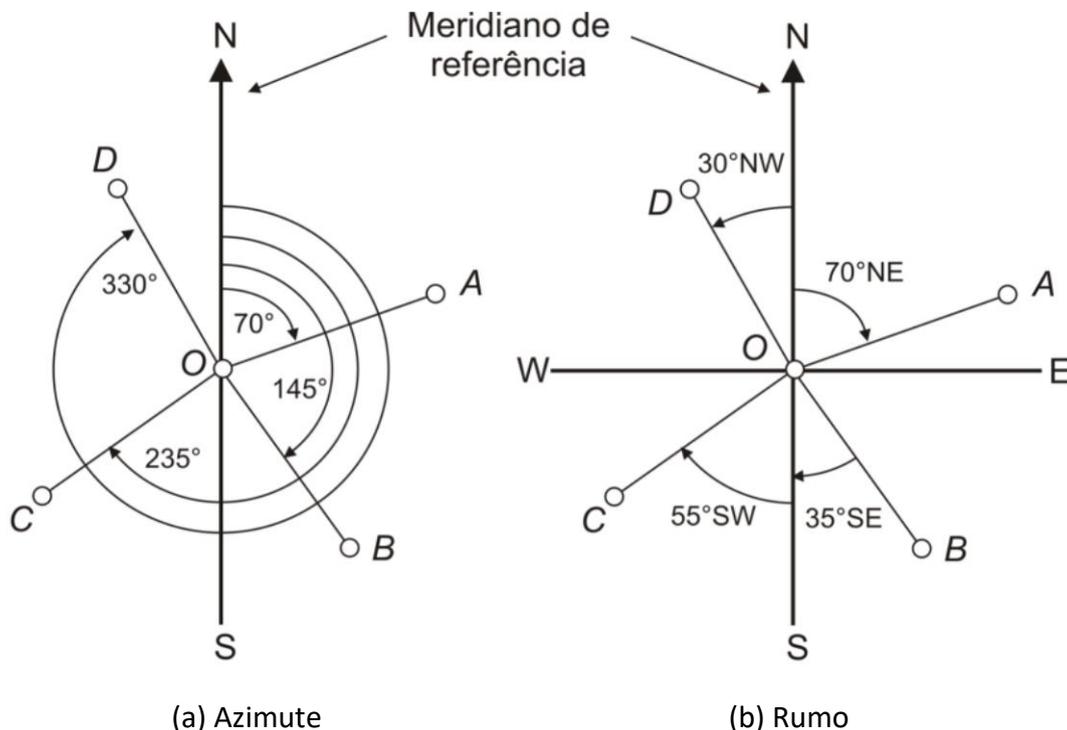


Figura 66 – Referência angular do alinhamento em relação a direção norte-sul

A conversão de rumo em azimute e vice-versa é diferente em cada quadrante. Na dúvida, represente a **rosa dos ventos**, o alinhamento, o rumo e o azimute e identifique a relação entre estes últimos. Abaixo, apresentamos as relações a serem utilizadas para conversão:

Tabela 6 - Conversões entre rumo e azimute

Quadrante	Azimute para rumo	Rumo para azimute
1º – NE (0° a 90°)	$rumo = Az$	$Az = rumo$
2º – SE (90° a 180°)	$rumo = 180^\circ - Az$	$Az = 180^\circ - rumo$
3º – SW (180° a 270°)	$rumo = Az - 180^\circ$	$Az = rumo + 180^\circ$
4º – NW (270° a 360°)	$rumo = 360^\circ - Az$	$Az = 360^\circ - rumo$

Deflexões

Deflexão é o ângulo que mede a mudança de direção entre alinhamentos consecutivos. Considere-se o ângulo formado pelo alinhamento posterior com o prolongamento do anterior (na Figura 67 representada este último de forma tracejada). A origem do ângulo é sempre no prolongamento do alinhamento anterior. Se o ângulo se desenvolver no **sentido horário**, a deflexão é considerada a **direita (D)**, no sentido **anti-horário** a **esquerda (E)**. Deve-se sempre indicar o lado da deflexão.

O cálculo da deflexão decorre da diferença entre rumos ou azimutes consecutivos. A relação pode variar em função dos quadrantes ocupados pelos alinhamentos. Para determinar o valor e o sentido da deflexão recomenda-se a representação gráfica dos alinhamentos. **O intervalo possível de variação é de 0° a 180° .**

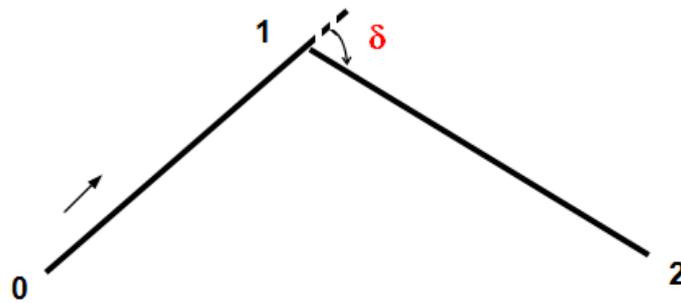


Figura 67 – Deflexão entre dois alinhamentos consecutivos

Exemplificando, se tivermos os rumos de dois alinhamentos sucessivos com os valores $73^{\circ}36'07''\text{NW}$ e $46^{\circ}40'18''\text{NW}$, a deflexão resultante entre os alinhamentos será de $26^{\circ}55'48''\text{D}$.

Método de cálculo programável

O cálculo da deflexão pela diferença de rumos ou azimutes está condicionado à posição que os alinhamentos ocupam nos quadrantes. Nesse sentido, é recomendado o desenho e a análise gráfica da posição dos alinhamentos e da deflexão.

Um método programável, para obtenção da deflexão e seu sentido, utiliza conceitos da geometria analítica e trigonometria bastante comuns: o cálculo da área de um triângulo qualquer através das coordenadas de seus vértices e a lei dos cossenos.

O cálculo da área de um triângulo através das coordenadas de seus vértices pode ser realizado através das equações 7 e 8. Note que o determinante da Equação 8 é utilizado na Equação 7 com o seu valor absoluto (módulo do determinante). A utilização do módulo, para o cálculo da área decorre da possibilidade de o determinante gerar valores positivos e negativos. O valor positivo do determinante decorre da disposição de pontos no sentido anti-horário (Figura 68a) e o valor negativo do sentido horário (Figura 68b).

Para determinar o sentido da deflexão (esquerda ou direita) utilizaremos apenas a Equação 8. Por convenção, consideraremos sempre a sequência de vértices na ordem 0-1-2, tendo como interesse a determinação da deflexão no vértice 1.

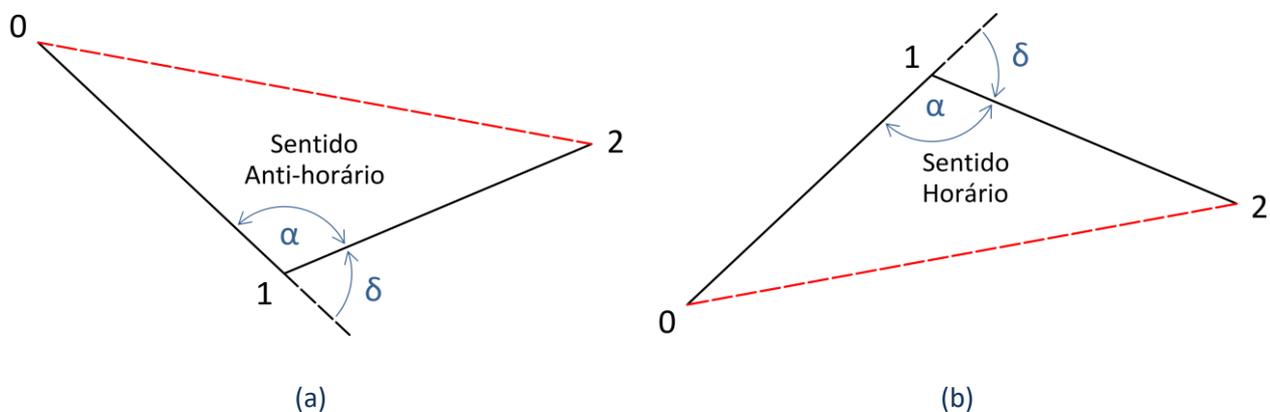


Figura 68 – Deflexão à esquerda (a) e à direita (b)

Para um determinante positivo teremos a deflexão à esquerda, para um valor negativo, deflexão à direita. Ou seja, para saber todas as informações sobre a deflexão é necessário o conhecimento de todas as coordenadas. Desta forma, é possível programar em uma planilha de cálculo ou em linguagem de programação o sentido da deflexão.

$$A = \frac{1}{2} \times |det| \quad (9)$$

$$det = \begin{vmatrix} x_0 & y_0 & 1 \\ x_1 & y_1 & 1 \\ x_2 & y_2 & 1 \end{vmatrix} \quad (10)$$

Onde:

A = área do triângulo (m);

det = determinante da matriz;

x_i e y_i = coordenadas dos vértices (m).

O valor angular da deflexão pode ser obtido através da lei dos cossenos aplicado aos alinhamentos 0=1 e 1=2 e ao alinhamento fictício 0=2, conforme Figura 69 e Equação 11. O valor α representa o ângulo do vértice 1 do triângulo e pode ser obtido através da Equação 10.

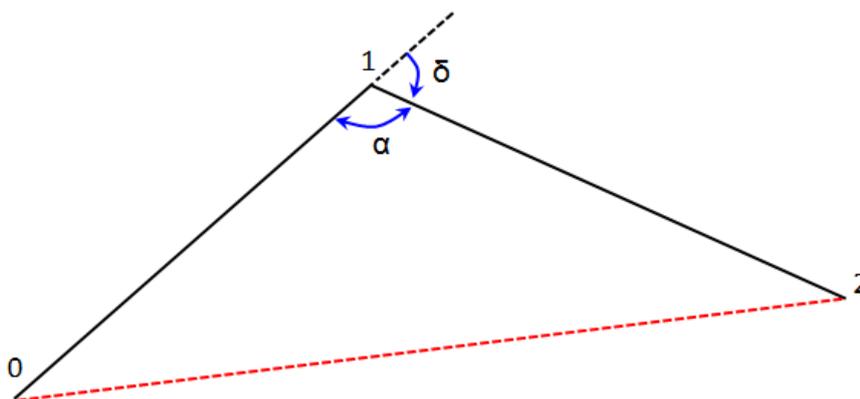


Figura 69 – Representação do triângulo com os alinhamentos

A Equação 13 permite determinar a deflexão (δ) a partir do ângulo do vértice 1 do triângulo (α). O valor deve ser expresso em graus, minutos e segundos.

$$d_{02}^2 = d_{01}^2 + d_{12}^2 - 2 \cdot d_{01} \cdot d_{12} \cdot \cos(\alpha) \quad (11)$$

$$\alpha = \arccos \left(\frac{d_{01}^2 + d_{12}^2 - d_{02}^2}{2 \cdot d_{01} \cdot d_{12}} \right) \quad (12)$$

$$\delta = 180^\circ - \alpha, \text{ E ou D} \quad (13)$$

Onde:

α = ângulo interno do vértice 1 ($^\circ$ ' '');

d_{ij} = distância entre vértices (m);

δ = deflexão entre alinhamentos 0-1 e 1-2 ($^\circ$ ' '');

PLANILHA DA POLIGONAL ABERTA

Uma forma de **sistematizar procedimentos** na engenharia é através da construção e utilização de planilhas. Além de facilitar a visualização e acesso a dados e informações, as planilhas estabelecem um fluxo operacional de fácil compreensão.

A **planilha da poligonal aberta** tem por propósito identificar a posição das estacas dos pontos de inflexão (PIs), bem como a deflexão entre seus alinhamentos (Figura 71). Uma vez vazia, a planilha é iniciada com o preenchimento da identificação dos pontos (primeira coluna da esquerda) e de suas coordenadas X e Y (as duas colunas da direita).

O primeiro procedimento de cálculo tem por objetivo determinar as projeções dos alinhamentos. As projeções são obtidas utilizando-se as equações 3 e 4. Sua posição em uma das colunas decorre do seu sinal. Na Figura 50 é possível observar que a posição vertical das linhas de projeção não está alinhada com a de coordenadas. Este recurso foi utilizado para caracterizar que a projeção não pertence a um ou outro PI e sim, ao alinhamento limitado por estes dois.

A coluna de comprimento do alinhamento é calculada através da Equação 5 e representa a distância entre os PIs. A coluna rumo decorre da aplicação da Equação 6 e o quadrante (Q) do rumo é obtido pela análise das colunas de projeção preenchidas. A coluna azimute decorre da conversão do rumo neste. Para finalizar, sugere-se a representação gráfica dos alinhamentos nos eixos cartesianos X e Y para análise e cálculo da deflexão (valor numérico e lado).

PONTO DE INFLEXÃO				ALINHAMENTO				PROJEÇÕES				COORDENADAS	
Nº	Est. ou km	Deflexão	Lado	Azimute	Rumo	Q	Comp.	Leste (+)	Oeste (-)	Norte (+)	Sul (-)	X	Y
PP	0+000,000											370351,3990	6939134,7610
1	0+880,363	22°53'01"	E	310°54'26"	49°05'33"	NO	880,3630		665,3520	576,4940		369686,0470	6939711,2550
2	1+486,275	99°42'16"	D	288°01'24"	71°58'35"	NO	605,9120		576,1800	187,4730		369109,8670	6939898,7280
3	2+371,733	27°46'55"	E	27°43'40"	27°43'40"	NE	885,4580	411,9800		783,7780		369521,8470	6940682,5060
4	3+102,928	4°05'00"	E	359°56'44"	0°03'15"	NO	731,1950		0,6920	731,1950		369521,1550	6941413,7010
PF	3+850,790			355°51'44"	4°08'15"	NO	747,8620		53,9600	745,9130		369467,1950	6942159,6140

Figura 70 – Planilha da poligonal aberta

EXERCÍCIO RESOLVIDO

Um engenheiro obteve uma planilha da poligonal aberta de um trecho rodoviário projetado em 1957 (figura abaixo). Infelizmente, alguns dados no material impresso não estavam legíveis, por isso, pede-se que se calcule:

- A coordenada x do PI-3;
- O lado da deflexão do PI-5;
- A deflexão do PI-4 e seu lado;
- A extensão total do trecho.

PONTO DE INFLEXÃO				ALINHAMENTO				PROJEÇÕES				COORDENADAS	
Nº	Est. ou km	Deflexão	Lado	Azimute	Rumo	Q	Comp.	Leste (+)	Oeste (-)	Norte (+)	Sul (-)	X	Y
PP	???			293°54'27"	66°05'32"	NO	711,6930		650,6300	288,4240		509.519,1740	6.774.189,1580
1	0+926,853	55°30'54"	E	238°23'32"	58°23'32"	SO	???		523,1870		321,9610	508.868,5440	6.774.477,5820
2	1+541,169	75°22'59"	E	???	???	???	252,4920	???	???	???	???	508.345,3570	6.774.155,6210
3	1+793,661	114°13'39"	D	277°14'12"	82°45'47"	NO	425,9670		422,5740	53,6600		???	???
4	2+219,628	???	???	???	???	???	708,9060		248,1780	664,0450		507.996,5660	6.773.967,8100
5	2+928,534	77°14'01"	???	262°16'24"	82°16'24"	SO	571,4420		???		76,8270	507.748,3870	6.774.631,8550
6	3+499,976	112°16'19"	D	14°32'43"	14°32'43"	NE	224,8930	56,4820		217,6850		???	6.774.555,0280
PF	???											507.238,6150	6.774.772,7130

RESOLUÇÃO

a.

A coordenada x do PI-3 será calculada com base da diferença entre dois PIs consecutivos, neste caso o PI-3 e o PI-4. Utilizando a fórmula a seguir é possível encontrar o Δx :

$$\Delta x = |l \cdot \text{sen}(\text{Rumo})|, \text{ onde}$$

$$\text{Rumo}_{3-4} = 82^\circ 45' 47'' N$$

$$l_{3-4} = 425,9670m$$

Sabendo que o rumo do alinhamento está no sentido NO, a resultante no cálculo deve ser negativa, portanto, adiciona-se o sinal negativo fora do módulo e, calculando, tem-se que:

$$\Delta x = -422,5736m$$

Por fim, para descobrirmos a coordenada x do PI-3 basta aplicar a equação:

$$\Delta x = x_4 - x_3 \rightarrow -422,5736 = 507.996,566 - x_3$$

$$x_3 = 508.419,139m$$

b.

Para que se calcule o lado da deflexão do PI-5 utilizaremos o determinante dos alinhamentos 4-5 e 5-6. Para isso, será necessário conhecermos as coordenadas x e y de todos esses PIs. Da tabela temos:

$$x_4 = 507.996,566m$$

$$y_4 = 6.773.967,810m$$

$$x_5 = 507.748,387m$$

$$y_5 = 6.774.631,855m$$

$$x_6 = ? m$$

$$y_6 = 6.774.555,028m$$

Para calcular o x_6 procede-se o mesmo raciocínio utilizado no item a. para calcular a coordenada x do PI-3:

Rumo₅₋₆ = 82° 16' 24" SO , como a orientação é SO, o Δx deve ser negativo

$$l_{5-6} = 571,442m$$

$$\Delta x = -$$

$$\Delta x = -566,2537m$$

$$\Delta x = x_6 - x_5 \rightarrow -566,2537 = x_6 - 507.748,387$$

$$x_6 = 507.182,134m$$

Agora, tendo em mãos todos os valores necessários calcula-se o determinante:

$$D = \begin{vmatrix} 507.996,57 & 6.773.967,81 & 1,00 \\ 507.748,39 & 6.774.631,86 & 1,00 \\ 507.182,13 & 6.774.555,03 & 1,00 \end{vmatrix}$$

$$D = 395.084,91$$

Com um determinante positivo, pode-se concluir que a deflexão é à esquerda.

c.

Para se calcular a deflexão do PI-4 usaremos a seguinte equação:

$$\delta = 180 - \alpha, \text{ onde } \alpha = \text{acos} \left(\frac{d_{01}^2 + d_{12}^2 - d_{02}^2}{2 \times d_{01} \times d_{12}} \right)$$

Sendo:

$$d_{01} = d_{34} = 425,967 \text{ m}$$

$$d_{12} = d_{45} = 708,906 \text{ m}$$

$$d_{02} = d_{35} = ? \text{ m}$$

Para calcular o d_{35} necessitamos de conhecimento das coordenadas dos PIs 3 e 5. Para tanto, será necessário calcular o único valor que não conhecemos o y_3 , uma vez que calculamos o x_3 no item a. e os demais valores podem ser retirados da tabela.

$$x_3 = 508.419,139m$$

$$x_5 = 507.748,387m$$

$$y_5 = 6.774.631,855m$$

Sabendo da tabela que $\Delta y_{34} = 53,660 \text{ m}$, pode-se facilmente calcular o y_3 através de:

$$53,660 = 6.773.967,810 - y_3$$

$$y_3 = 6.773.914,150m$$

Pode-se calcular d_{35} através de:

$$d_{35} = \sqrt{\Delta x^2 + \Delta y^2}$$

$$d_{35} = 982,3486m$$

Por fim, substituindo-se:

$$\alpha = \text{acos} \left(\frac{d_{01}^2 + d_{12}^2 - d_{02}^2}{2 \times d_{01} \times d_{12}} \right) \rightarrow \alpha = \text{acos} \left(\frac{435,967^2 + 708,906^2 - 982,3486^2}{2 \times 435,967 \times 708,906} \right)$$

$$\alpha = 117^\circ 43' 46,33$$

E para a deflexão:

$$\delta = 180 - \alpha$$

$$\delta = 180 - 117^\circ 43' 46,33$$

$$\delta = 62^{\circ}16'13$$

Para descobrirmos o lado, basta resolver o determinante com as respectivas coordenadas, aos moldes do feito no item b.:

$$D = \begin{vmatrix} 508.419,14 & 6.773.914,150 & 1,00 \\ 507.996,57 & 6.773.967,810 & 1,00 \\ 507.748,39 & 6.774.631,855 & 1,00 \end{vmatrix} \quad D = -267.288,18$$

Com um determinante negativo, conclui-se que a deflexão é à direita.

d.

Por último, a extensão total do trecho é, simplesmente, a diferença entre a estaca do PP e PF, porém precisamos descobrir as estacas destes pontos notáveis. Pela tabela, é fácil perceber que a estaca do PI-3 é a posição da estaca do PI-2 somada ao comprimento do alinhamento 2-3, ou também, a estaca do PI-2 é o valor da estaca do PI-3 diminuído do comprimento do alinhamento 2-3. Portanto:

$$\begin{aligned} EST_{PP} &= EST_{PI-1} - comp_{PP-1} & EST_{PF} &= EST_{PI-6} + comp_{6-PF} \\ EST_{PP} &= 0 + 926,853 - 711,693 & EST_{PF} &= 3 + 499,976 + 224,893 \\ EST_{PP} &= 0 + 215,160 & EST_{PF} &= 3 + 724,869 \end{aligned}$$

A extensão total do trecho é dada por:

$$\begin{aligned} Extensão &= EST_{PF} - EST_{PP} \\ Extensão &= 3 + 724,869 - 0 + 215,160 \\ Extensão &= 3.509,709m \end{aligned}$$

Abaixo disponibilizamos a planilha referente ao exercício completamente resolvida:

PONTO DE INFLEXÃO				ALINHAMENTO				PROJEÇÕES				COORDENADAS	
Nº	Est. ou km	Deflexão	Lado	Azimute	Rumo	Q	Comp.	Leste (+)	Oeste (-)	Norte (+)	Sul (-)	X	Y
PP	0+215,160											509.519,1740	6.774.189,1580
1	0+926,853	55°30'54"	E	293°54'27"	66°05'32"	NO	711,6930		650,6300	288,4240		508.868,5440	6.774.477,5820
2	1+541,169	75°22'59"	E	238°23'32"	58°23'32"	SO	614,3160		523,1870		321,9610	508.345,3570	6.774.155,6210
3	1+793,661	114°13'39"	D	163°00'33"	16°59'26"	SE	252,4920	73,7830			241,4710	508.419,1400	6.773.914,1500
4	2+219,628	62°16'13"	D	277°14'12"	82°45'47"	NO	425,9670		422,5740	53,6600		507.996,5660	6.773.967,8100
5	2+928,534	77°14'01"	E	339°30'26"	20°29'33"	NO	708,9060		248,1780	664,0450		507.748,3870	6.774.631,8550
6	3+499,976	112°16'19"	D	262°16'24"	82°16'24"	SO	571,4420		566,2540		76,8270	507.182,1340	6.774.555,0280
PF	3+724,869			14°32'43"	14°32'43"	NE	224,8930	56,4820		217,6850		507.238,6150	6.774.772,7130

EXERCÍCIOS

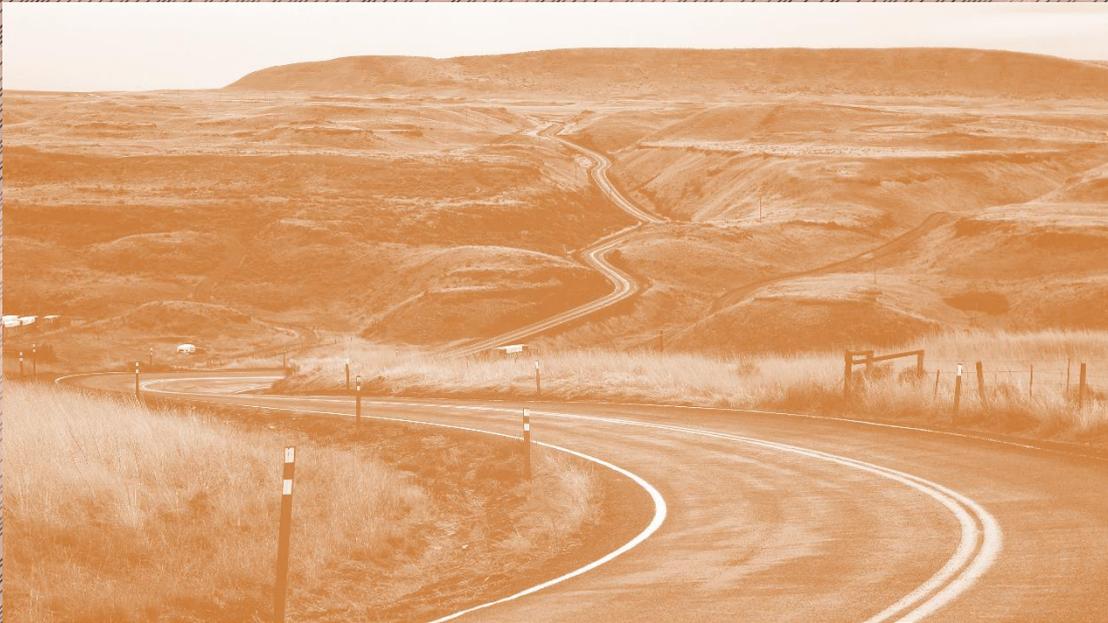
Preencher a planilha da poligonal aberta para os pontos de inflexão da tabela abaixo:

PI	COORDENADAS	
	X	Y
PP	0,000	0,000
1	695,000	750,000
2	1600,000	630,000
3	2100,000	1430,000
PF	1480,000	2060,000

ATIVIDADES PRÁTICAS NO SOFTWARE SAEPRO

Levando para a prática o conteúdo tratado nesta etapa, recomendamos que os alunos trabalhem no *software* SAEPRO e deem início ao projeto geométrico. Para tanto, acompanhe através das videoaulas disponibilizadas no Notion (UFRGS - Área do Aluno > 3 - Capacitação nas ferramentas) e tente:

- Instalar os *softwares* SAEPRO e SAS Planet;
- Exportar os arquivos para criação do cenário (matas nativas, hidrografia, curvas de nível...) no SAEPRO;
- Lançar uma poligonal aberta com os devidos PIs que represente o traçado criado anteriormente.



PG2 – PROJETO PLANIMÉTRICO

CURVAS HORIZONTAIS

PG2 – PROJETO PLANIMÉTRICO: CURVAS HORIZONTAL

OBJETIVOS

1. Identificar tipos de curvas de concordância horizontal;
2. Reconhecer recomendações do manual de projetos DNER, 1999;
3. Aprender a calcular os elementos de projeto de uma curva circular simples;
4. Aprender a calcular os elementos de projeto de uma curva com transição;
5. Reconhecer e avaliar as inconformidades planimétricas.

TIPOS DE CURVAS

Os alinhamentos consecutivos que definem a diretriz de traçado são concordados através de curvas horizontais. As curvas de concordância horizontal podem ser do tipo:

- **Simplex:** quando se emprega o arco de círculo;
- **Compostas com Transição nas extremidades:** quando são empregados segmentos de curva espiral no início e no fim da trajetória curvilínea;
- **Compostas sem Transição:** curvas com a utilização de dois ou mais arcos de círculo com raios de curvatura diferentes. Mais comuns em interseções.

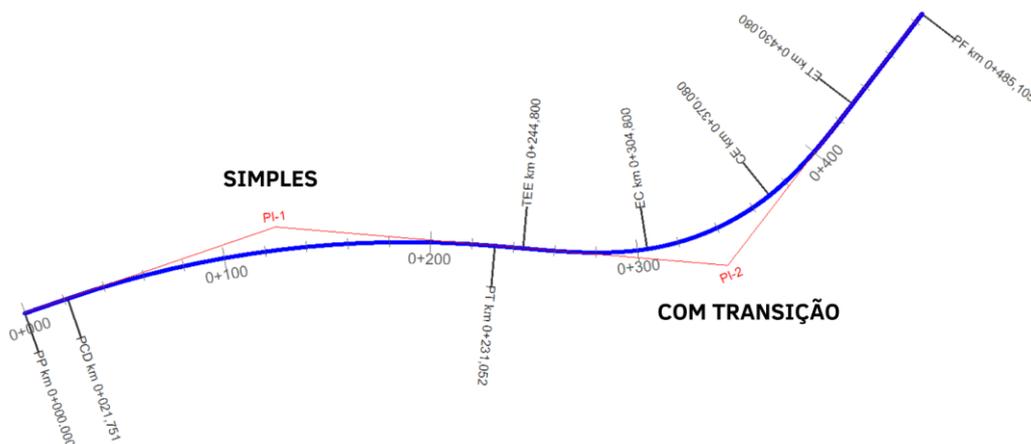


Figura 71 – Trecho com curvas horizontais

Projetar uma curva de concordância horizontal é, essencialmente, **definir o valor do raio de curvatura**, dentro de uma série de condições técnicas, econômicas, estéticas e operacionais. As condições de equilíbrio de um veículo ao percorrer uma curva são dadas pela Equação 14.

$$R = \frac{V^2}{127 \cdot (e + f)} \quad (14)$$

Onde:

R = raio da curva (m);

V = velocidade do veículo (km/h);

e = superelevação adotada (%);

f = coeficiente de atrito transversal entre o pneu e o revestimento do pavimento (**adimensional**).

O valor de f varia conforme a velocidade desenvolvida do veículo. Sendo que, quanto maior a velocidade, menor o valor de f . Dessa forma, deve-se projetar o raio da curva para a velocidade mínima de projeto, já que estaremos dimensionando a curva para o menor raio possível, sendo, portanto, a favor da segurança da via.

V (km/h)	30	40	50	60	70	80	90	100	120
f	0,20	0,18	0,16	0,15	0,15	0,14	0,14	0,13	0,13

Figura 72 – Coeficiente de atrito transversal f

RECOMENDAÇÕES PARA PROJETO

As condicionantes de traçado estudadas para o posicionamento dos alinhamentos em planta continuam valendo no projeto de concordância horizontal. As principais recomendações para escolha do raio são:

- O valor do raio deve ser o **mais amplo possível**, compatibilizando o nível do investimento com imposições do relevo e a operação da via;
- Destaca-se a necessidade de **boa adaptação do trajeto curvilíneo ao terreno natural**;
- A necessidade de **preservação de edificações**, árvores frondosas, capões, açudes, etc. podem influenciar a definição do valor do raio de curvatura;
- O valor do raio **não pode ser menor do que o mínimo estabelecido por Norma** (página 71 de DNER, 1999). Os valores apresentados na Figura 16 estão em função da velocidade diretriz (velocidade de projeto) e da superelevação máxima adotada para o projeto (e_{\max}). Esta última é adotada em 8% para rodovias de classe II, III e IV e em 10% para a classe 0 (especial) e I.

Velocidade diretriz (km/h) \ e_{\max} (%)	30	40	50	60	70	80	90	100	110	120
4	30	60	100	150	205	280	355	465	595	755
6	25	55	90	135	185	250	320	415	530	665
8	25	50	80	125	170	230	290	375	475	595
10	25	45	75	115	155	210	265	345	435	540
12	20	45	70	105	145	195	245	315	400	490

Figura 73 – Raio mínimo para curvas com transição segundo norma DNER, 1999

- A **opção por curva circular simples ou com transição** decorre da Figura 74, retirada da página 105 da norma do DNER, 1999.

V(km/h)	30	40	50	60	70	80	90	100	110	120
R(m)	170	300	500	700	950	1200	1550	1900	2300	2800

Figura 74 – Raios mínimos para curva circular simples

- Por fim, a sequência de curvas deve apresentar uma relação entre si, fazendo com que a variação do raio fique restrita a um intervalo seguro, de forma a não produzir grandes variações na velocidade operacional. A Figura 75, retirada da página 66 do mesmo manual, apresenta os intervalos de escolha de raios sucessivos, exemplificando para um raio de 300m uma sucessão aceitável com intervalo entre 200 m e 480 m.

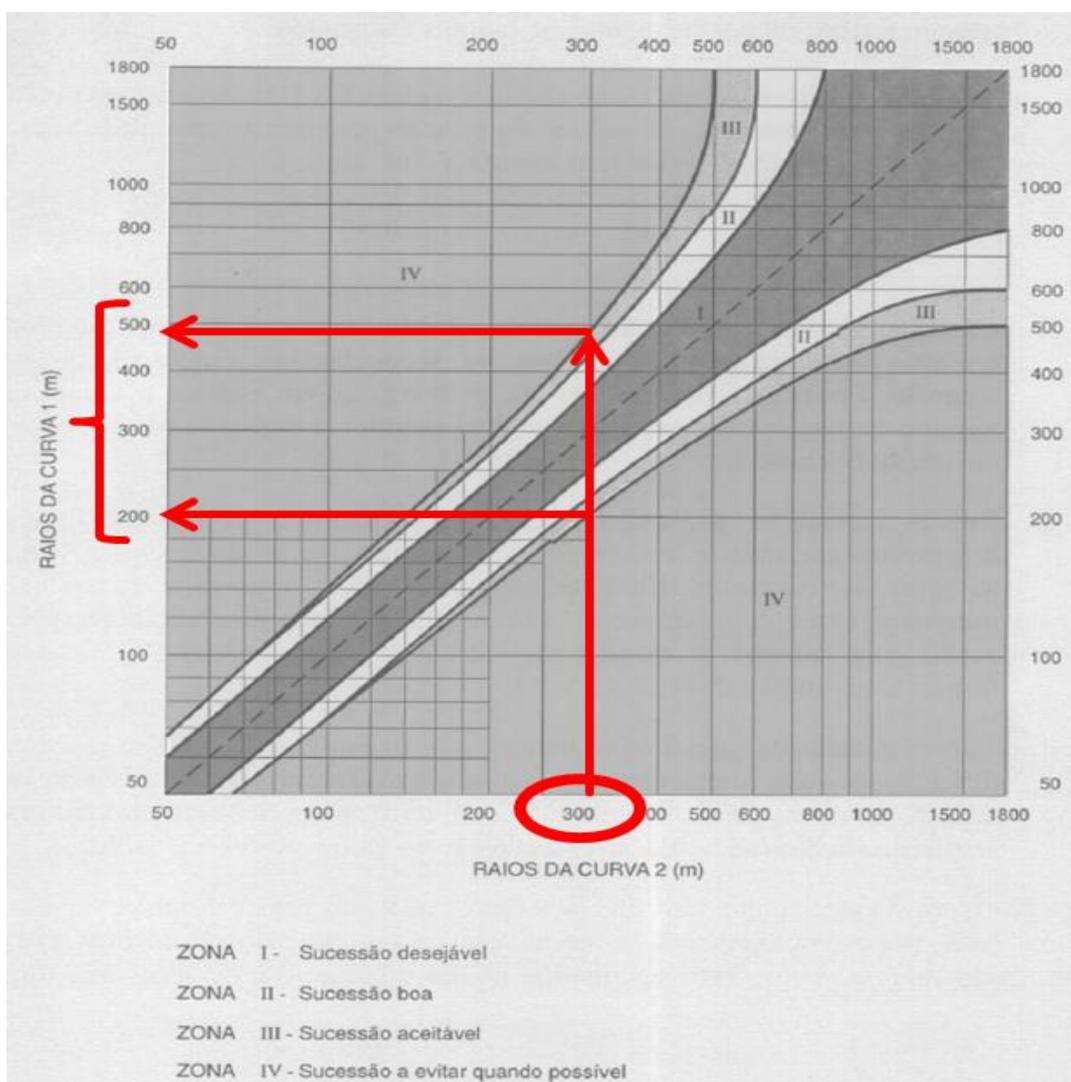


Figura 75 – Critérios desejáveis para orientar a escolha dos raios de curvas sucessivas

A norma do DNER, 1999 estabelece ainda as seguintes considerações para obtenção de um traçado fluente:

- Trechos excessivamente longos são indesejáveis;
- Para um ângulo central pequeno ($AC < 5^\circ$) usar relação $Dc > 30 \cdot (10 - AC)$;

- Não usar raio para $AC < 15'$;
- Preferencialmente usar os extremos com transição;
- É indesejável curvas consecutivas no mesmo sentido. Se estas forem inevitáveis, usar intertangente $IntTan > 4 \cdot V$;
- Curvas com raios muito grandes ($R > 5000$ m) devem ser evitadas.

CURVA CIRCULAR SIMPLES

A curva circular simples utiliza um **arco circular** como concordância entre dois alinhamentos consecutivos. O arco circular será tangente aos alinhamentos no ponto de início da curva (PC) e no seu ponto final (PT). A extensão do arco, em curva, recebe o nome de desenvolvimento. A Figura 76 apresenta os principais elementos da curva circular simples.

Desenho da curva

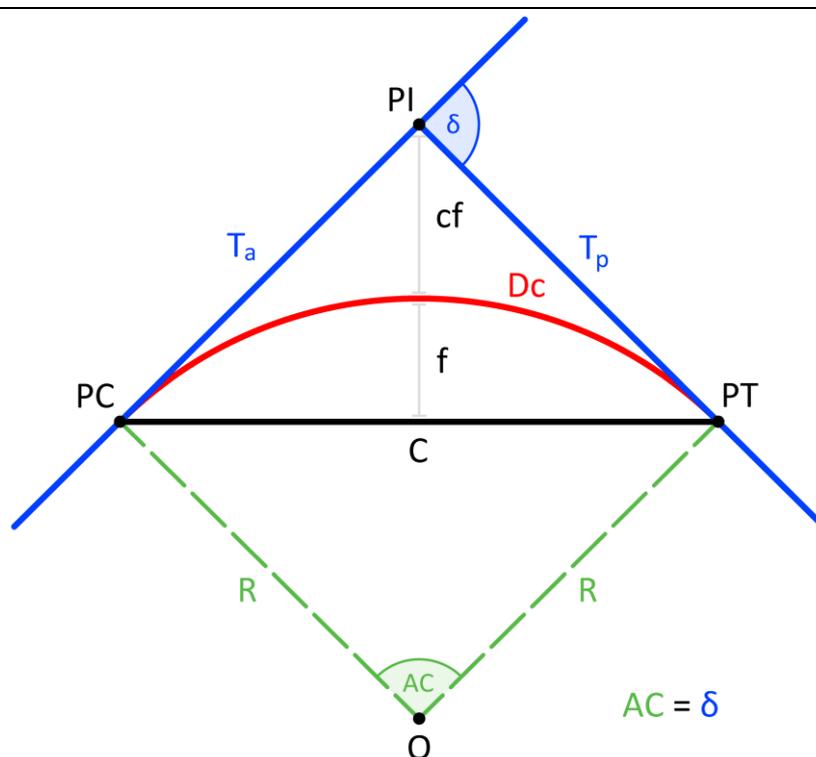


Figura 76 – Curva circular simples

Pontos Fundamentais

- O = centro da curva;
- PI = ponto de inflexão (interseção das tangentes);
- PC (D ou E) = ponto de início de curva (direita ou esquerda);
- PT = ponto de fim da curva (ou início da intertangente).

Elementos Principais

- R = raio da curva (m);
- AC = ângulo central – é igual a deflexão dos alinhamentos ($^{\circ}$ ‘ ‘ ‘ ‘);
- T_a, T_p = tangentes anterior e posterior ao ponto de inflexão (m);
- Dc = desenvolvimento circular (m).

Elementos Secundários

- C = corda (m);
- f = flecha máxima – distância entre o centro do arco e da corda (m);
- cf = contraflecha – distância entre o PI e o centro da curva (m).

Projeto e Cálculo da Curva Circular Simples

A seguir é apresentado o passo a passo do projeto e cálculo da curva de concordância horizontal circular simples:

1. **Ângulo central:** o AC é igual a deflexão (deve-se ter esta informação já disponível);
2. **Raio:** é definido pelo projetista de acordo com recomendações e circunstâncias;
3. **Tangente:** calcula-se a tangente através da Equação 15;

$$T = R \cdot \tan\left(\frac{AC}{2}\right) \quad (15)$$

4. **Desenvolvimento circular:** conforme Equação 16;

$$Dc = R \cdot \left(AC \cdot \frac{\pi}{180}\right) \quad (16)$$

5. **Contraflecha:** segundo Equação 17;

$$cf = R \cdot \left[\frac{1}{\cos\left(\frac{AC}{2}\right)} - 1 \right] \quad (17)$$

6. **Flecha máxima:** através da Equação 18;

$$f = R \cdot \left[1 - \cos\left(\frac{AC}{2}\right) \right] \quad (18)$$

7. **Corda:** segundo Equação 19.

$$C = 2 \cdot R \cdot \sin\left(\frac{AC}{2}\right) \quad (19)$$

Onde:

AC = ângulo central (ver comentário sobre unidade);

R = raio (m);

T = tangente (m);

Dc = desenvolvimento circular (m);

cf = distância entre o PI e o centro da curva (m);

f = flecha máxima (m);

C = corda (m).

IMPORTANTE:

1. o ângulo central nas equações 15, 17, 18 e 19 pode ser utilizado nas unidades graus, grados ou radianos. Para tanto verifique qual a configuração da sua calculadora. Na Equação 16 o AC está na unidade graus decimais, para utilizar em radianos desconsidere a parcela $\frac{\pi}{180}$.
2. Sempre que calcularmos um **ângulo em radianos devemos utilizar seis casas decimais** ou mais.

Uma curva horizontal do tipo Circular Simples estará projetada e calculada quando os seguintes parâmetros estiverem definidos: R , AC , T e D .

CURVA COM TRANSIÇÃO

Na Alemanha, em 1887, Launhardt recomendava em seu livro *Theory of the Alignment* que “para adaptar uma composição férrea às curvas com raios menores, estes deveriam estar precedidos por uma curva com raio de valor $2R$ ou $3R$ ”.

Com a necessidade de estradas para veículos automotores, os estudos para amenizar os efeitos indesejáveis da **força centrífuga (ou centrípeta)** em curvas, evoluíram para a adoção de curvas compostas por segmentos curvilíneos em espiral na entrada e saída e, ao centro, um arco circular.

O ramo de transição possui raio de curvatura variável e decrescente, condição que possibilita uma **adaptação do veículo à curva**.

Utiliza-se a espiral de Cornu, também conhecida como espiral de Euler ou **Clotoide**. Esta curva apresenta uma característica bastante interessante. Ao longo de seu desenvolvimento o raio varia de infinito até um raio determinado (que deve ser equivalente ao raio da parte circular da curva).

A curva com transição é a mais próxima do movimento efetivamente realizado pelo veículo.

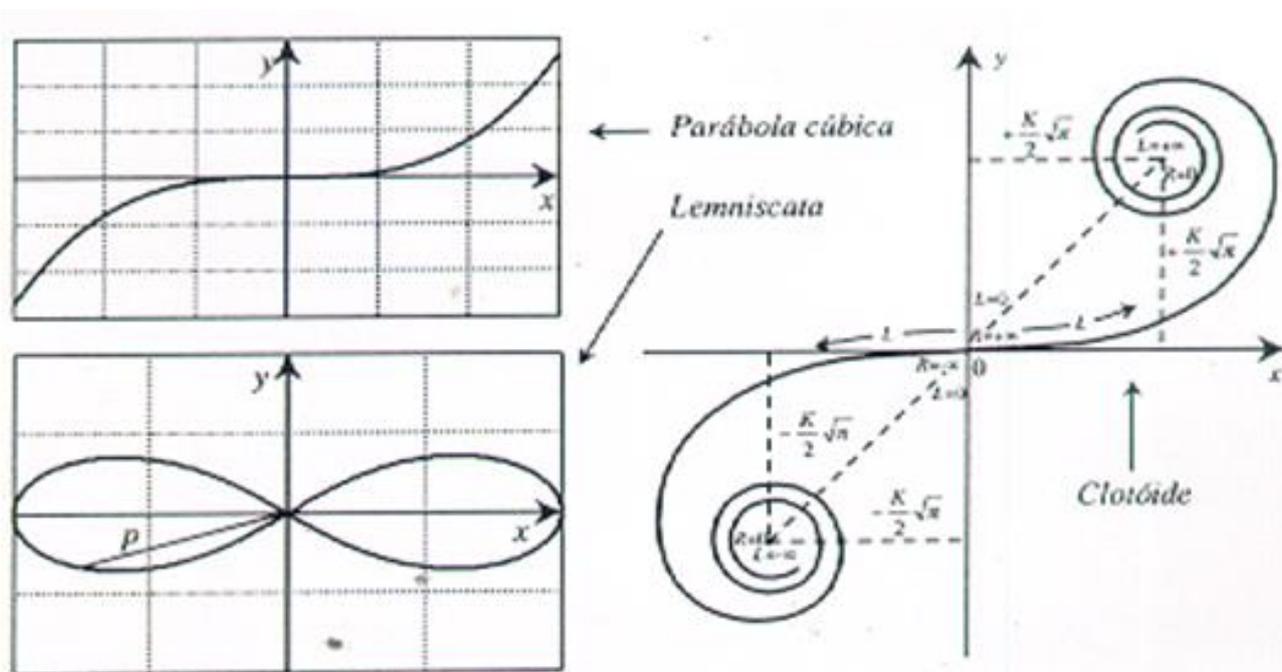


Figura 77 – Espirais usadas na curva de transição

Circunstâncias para aplicação

A curva com transição será sempre adotada para raios inferiores aos apresentados na Figura 16 em respeito a norma. Curvas com raios superiores a estes poderão ser do tipo circular simples ou poderão receber clotoide nas extremidades, tornando-se curvas de transição por opção do projetista.

Interseções geralmente não adotam curvas com transição em espiral. As transições em interseções ocorrem através da concordância de raios circulares diferentes.

Desenho da curva

Para a inserção das espirais de transição numa curva circular, há necessidade de deslocamento da curva em relação à tangente. Este afastamento pode ser obtido pelo **Método do Raio Conservado** onde surgem dois elementos chaves:

- q = recuo para inserção da transição;
- p = afastamento das tangentes.

Os principais elementos da curva com transição são apresentados na Figura 78.

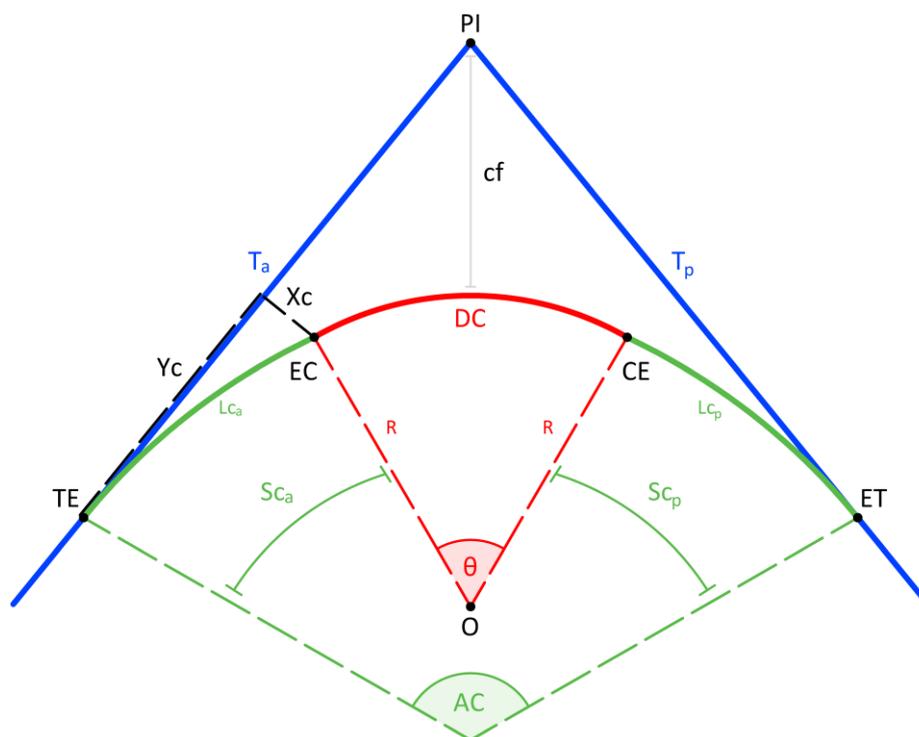


Figura 78 – Curva com transição

Pontos fundamentais

- O = centro do trecho circular;
- PI = ponto de inflexão (interseção das tangentes);
- TE (D ou E) = ponto de fim da intertangente e início da 1ª espiral (direita ou esquerda);
- EC = ponto de fim da 1ª espiral e início da curva circular;
- CE = ponto de fim do trecho circular e início da 2ª espiral;
- ET = ponto de fim da 2ª espiral e início da intertangente.

Projeto e cálculo da curva com transição

A seguir é apresentado o passo a passo do projeto e cálculo da curva de concordância horizontal com transição:

1. **Ângulo central:** o AC é igual a deflexão (deve-se ter esta informação já disponível);
2. **Raio:** é definido pelo projetista de acordo com recomendações e circunstâncias;
3. **Desenvolvimento da espiral de transição – L_c :** A variação da aceleração centrípeta não pode ultrapassar uma taxa máxima para manutenção das condições de conforto e segurança. Determina-se o comprimento de transição para a máxima variação da aceleração cabível. A experiência internacional estabeleceu que o valor mais indicado para a máxima taxa de variação da aceleração centrípeta deve ser $0,6 \text{ m/s}^2/\text{s}$. O comprimento mínimo da transição é dado pelas equações 20 e 21. Geralmente o comprimento é **arredondado para múltiplos de 10** (sempre para cima).

$$a = 1,5 - 0,009 \cdot Vd \quad (20)$$

$$L_{c_{min}} = \frac{Vd^3}{46,656 \cdot R \cdot a} \quad (21)$$

O desenvolvimento adotado (L_c) deverá ser igual ou superior ao valor mínimo, não podendo ser inferior ao apresentado na Figura 79 (página 107 da norma do DNER, 1999).

V (km/h)	40	50	60	70	80	90	100	110	120
L (m)	30	30	30	40	40	50	60	60	70

Figura 79 – $L_{c_{min}}$ segundo a velocidade diretriz

4. **Ângulo das espirais de transição:** conforme Equação 22;

$$S_c = \frac{L_c}{2 \cdot R} \quad (22)$$

5. **Ângulo central do trecho circular:** segundo Equação 23;

$$\theta = \left(AC \cdot \frac{\pi}{180} \right) - 2 \cdot S_c \quad (23)$$

6. **Coordenadas retangulares dos pontos osculadores EC e CE:** equações 24 e 25;

$$Y_c = L_c \cdot \left(1 - \frac{S_c^2}{10} + \frac{S_c^4}{216} \right) \quad (24)$$

$$X_c = L_c \cdot \left(\frac{S_c}{3} - \frac{S_c^3}{42} \right) \quad (25)$$

7. **Desenvolvimento do trecho circular:** Equação 26;

$$D_c = R \cdot \theta \quad (26)$$

8. **Desenvolvimento total da curva:** Equação 27;

$$D_t = D_c + 2 \cdot L_c \quad (27)$$

9. **Recuo para inserção da transição:** Equação 28;

$$q = Yc - R \cdot \text{sen}(Sc) \quad (28)$$

10. **Afastamento das tangentes:** Equação 29;

$$p = Xc - R \cdot [1 - \cos(Sc)] \quad (29)$$

11. **Tangente:** Equação 30;

$$T = q + (R + p) \cdot \tan\left(\frac{AC}{2}\right) \quad (30)$$

12. **Contraflecha da curva de transição:** Equação 31;

$$cf = (R + p) \cdot \sec\left(\frac{AC}{2}\right) - R \quad (31)$$

Onde:

Vd = velocidade diretriz (km/h);

a = taxa de variação da aceleração radial (m/s³);

R = raio da curva (m);

Lc = desenvolvimento da espiral da curva de transição (m);

AC = ângulo central (° ‘ ‘‘);

Sc = ângulo da transição (rad);

θ = ângulo central do trecho circular (rad);

Xc, Yc = Coordenadas retangulares dos pontos osculadores EC e CE (m);

Dc = desenvolvimento circular (m);

Dt = desenvolvimento total da curva (m);

q = recuo para inserção da transição (m);

p = afastamento das tangentes (m);

T = tangente (m);

cf = distância entre o PI e o centro da curva (m).

Uma Curva com Transição está projetada e calculada quando estão definidos: AC, R, Lc, T e Dc.

ANÁLISE DAS INCONFORMIDADES PLANIMÉTRICAS

As inconformidades planimétricas podem ser de dois tipos: (i) erros e (ii) alertas. Enquanto os erros devem ser **obrigatoriamente** corrigidos, os alertas podem ser **corrigidos ou justificados**.

Erros

Erros planimétricos surgem somente ao serem aplicadas as curvas de concordância horizontais. Eles podem se apresentar de duas formas distintas:

- **Intertangente negativa:** ocorre quando duas curvas consecutivas apresentam a soma de suas tangentes ($T_a + T_p$) superior à distância de PI_a a PI_p , neste caso ocorre o “acavalamento” das curvas. A diminuição do raio de uma ou das duas curvas pode corrigir o problema (mudanças nas clotoides podem surtir algum efeito, embora menor). Se os raios

já estiverem com o valor mínimo, será necessário analisar a troca de posição de um, ou de ambos, pontos de inflexão.

- **Desenvolvimento circular negativo:** ocorre apenas em curvas de transição quando o comprimento das clotoides (L_c) reduz o desenvolvimento circular (D_c) a um valor inferior a zero (invertendo as posições das estacas EC e CE). Na maioria dos casos, a diminuição do comprimento das clotoides permite a correção do erro (não é possível utilizar um L_c inferior ao valor mínimo).

Alertas

Os alertas não são erros, eles indicam valores fora de norma. Recomenda-se a adoção de valores em conformidade com a norma. Se isto não for possível, pode-se, mediante justificativa técnica, adotar um valor fora de norma. Sempre ressaltando: neste caso o projetista não estará mais amparado pela **norma**. Os alertas planimétricos podem ser de quatro tipos distintos:

- **Intertangente insuficiente:** decorre da impossibilidade de distribuir a transição da superelevação (SE) das curvas adjacentes. Segundo a norma, a transição da superelevação deve iniciar antes do início da curva e terminar após o fim desta (Figura 80). A necessidade de ter um comprimento em tangente para a distribuição da superelevação, cria a necessidade da intertangente mínima. Esta por sua vez, deve considerar o comprimento necessário para cada uma das curvas adjacentes.

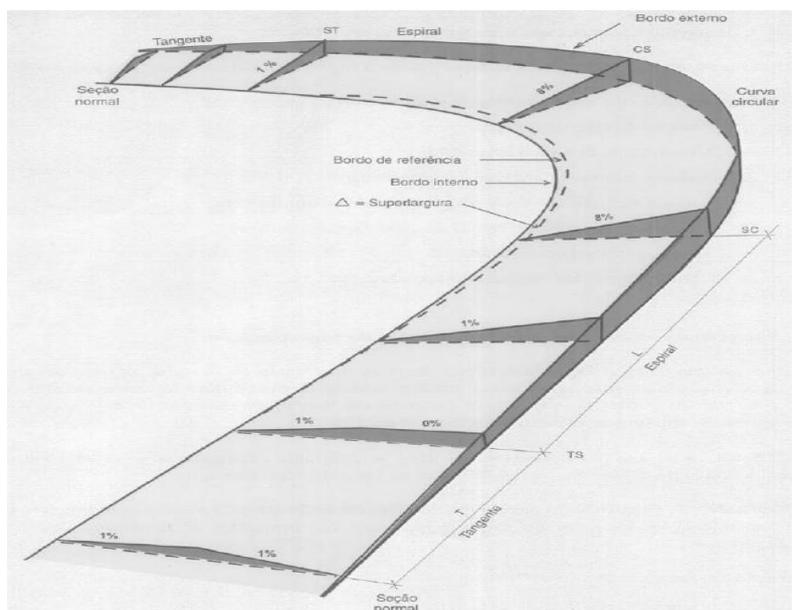


Figura 80 – Transição da superelevação (página 92 de DNER, 1999)

Para determinar a intertangente mínima é necessário primeiro calcular a superelevação das curvas (Equação 32 – página 99 de DNER, 1999) e o desenvolvimento adicional (Equação 33 – página 93 de DNER, 1999).

$$SE_c = SE_p \cdot \left(\frac{2 \cdot R_{min}}{R} - \frac{R_{min}^2}{R^2} \right); SE_c \geq |i| \quad (32)$$

$$D_{ad} = \frac{L_c \times |i|}{SE_c} \quad (33)$$

Em curvas circulares não existem as clotoides (L_c) para a distribuição da superelevação. Nestes casos deve-se adotar **60%** a 70% do comprimento de transição fora da curva (página 114 de DNER, 1999). Embora não esteja claro na norma de onde obter o valor de L_c da Equação 34, é possível estimar o mesmo (L_c virtual ou L_c') através das equações 33. A Equação 34 indica a parcela de transição a ser adotada fora da curva.

$$D_{ad} = \left(Lc' + \frac{Lc' \times |i|}{SE_c} \right) \cdot 0,6 \quad (34)$$

Onde:

SE_c = superelevação da curva (%);

SE_p = superelevação máxima de projeto (%);

R_{min} = raio mínimo de projeto (m);

R = raio da curva (m);

D_{ad} = desenvolvimento adicional necessário além da curva (m);

L_c = desenvolvimento da espiral da curva de transição (m);

i = declividade transversal em tangente – abaulamento (%) [usualmente 2%];

Lc' = desenvolvimento virtual da espiral da curva circular simples (m).

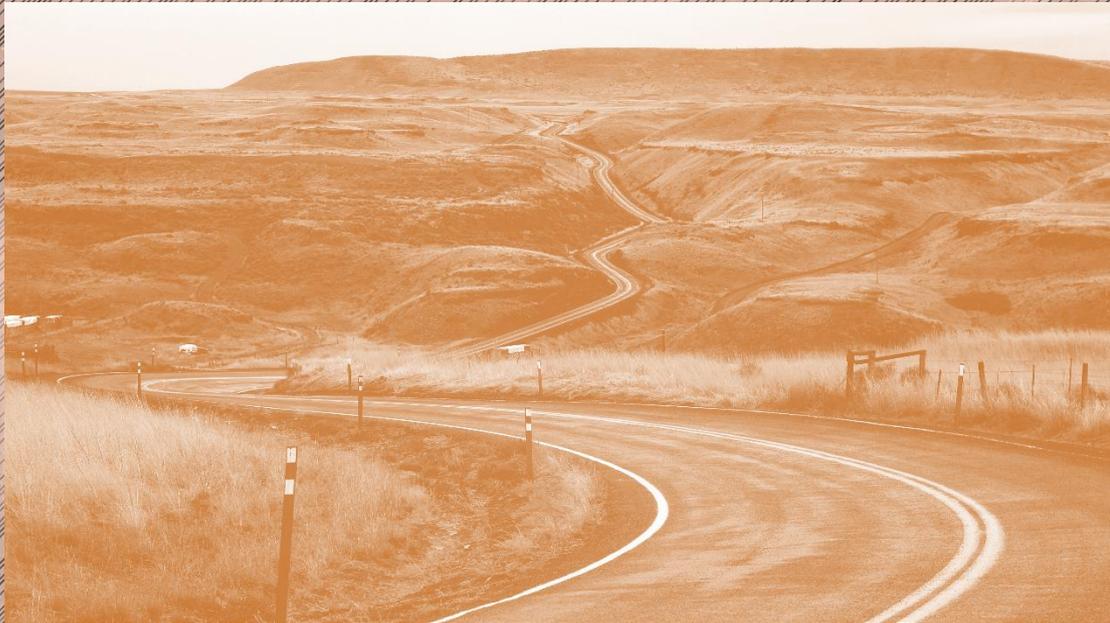
Uma vez calculada as transições em tangente, para cada curva, a intertangente mínima será a soma destas, para cada par de curvas consecutivas.

- **Raio menor que mínimo em curva com transição:** a Figura 74 indica os valores mínimos de raio para curvas com transição. Deve-se evitar valores inferiores ao mínimo. Sem alternativa, justificar.
- **Raio menor que mínimo em curva circular simples:** a Figura 75 indica os valores mínimos de raio para curvas circulares simples. Deve-se evitar valores inferiores ao mínimo. Neste caso é sempre possível reduzir o raio, transformando a curva em curva com transição.
- **L_c menor que mínimo:** altamente **não** recomendável. Um dos problemas associados a saída de pista é a superelevação e/ou transição desta insuficiente, situação que ocorre em curvas com clotoide com valores abaixo do mínimo.
- **Sucessão de curvas na Zona IV:** conforme análise da Figura 18, gera inconsistência geométrica que provoca alterações bruscas na velocidade operacional ao longo da via.

EXERCÍCIOS

Utilizando os dados da Planilha da Poligonal Aberta do exercício anterior, acrescidos das concordâncias horizontais e sabendo que a região é ondulada e a classe da rodovia é III, realizar: (i) o cálculo dos parâmetros de projeto das curvas e (ii) a análise de inconformidade do projeto.

PI	RAIO	L_c	COORDENADAS	
			x	y
PP			0,0000	0,0000
1	860,000		695,0000	750,0000
2	600,000	110,000	1600,0000	630,0000
3	650,000		2100,0000	1430,0000
PF			1480,0000	2060,0000



PG3 – PROJETO PLANIMÉTRICO

PLANILHA DE COORDENADAS

PG3 – PROJETO PLANIMÉTRICO: PLANILHA DE COORDENADAS

OBJETIVOS

1. Reconhecer a importância do endereçamento por estacas;
2. Identificar os elementos de desenvolvimento do eixo planimétrico;
3. Sistematizar o cálculo em uma planilha: Planilha de Coordenadas;
4. Aprender a calcular os elementos planimétricos para uma estaca qualquer;
5. Reconhecer elementos de representação gráfica da planimetria;

CÁLCULO DO ESTAQUEAMENTO

Estaqueamento

Estaqueamento é a divisão do eixo planimétrico da via em segmentos de igual extensão. Normalmente a distância entre das estacas mede 20,0 m. O estaqueamento ordena sequencialmente o eixo e viabiliza a localização de todos os dispositivos de projeto de acordo com o afastamento da origem.



O estaqueamento por número de estacas é utilizado em estudos preliminares (estaqueamento provisório). Atualmente, o estaqueamento em rodovias é caracterizado por um número composto que representa a evolução da quilometragem. Calcular o estaqueamento de um eixo em planta implica na determinação das estacas dos pontos principais das curvas horizontais e o comprimento do trecho projetado (PP, PCs, PTs, TEs, ECs, CEs, ETs e PF).

Para se obter o estaqueamento do eixo de forma completa, é preciso identificar todas as curvas e interagentes que compõe o corpo estradal. Para isso, deve-se amarrar ao terreno os pontos notáveis que compõe esses elementos. Portanto, vamos relembrar o que esses pontos identificam:

- **PP** = É o ponto que indica o início do trecho;
- **PC** = Existe apenas em curvas circulares. Indica o início da curva no sentido do estaqueamento;
- **PT** = Existe apenas em curvas circulares. Indica o final da curva circular no sentido do estaqueamento;
- **TE** = Existe apenas em curvas de transição. Indica o início da clotoide, seu significado é a passagem da tangente (trecho reto) para a curva espiral;

- **EC** = Existem apenas em curvas de transição. Indica o início do trecho circular da curva de transição e final do trecho em espiral;
- **CE** = Existem apenas em curvas de transição. Indica o final da curva circular da curva de transição e o início da segunda curva em espiral;
- **ET** = Existem apenas em curvas de transição. Indica o final da curva espiral e início da tangente (trecho reto).

Cálculo do estaqueamento

O procedimento de cálculo do estaqueamento inicia com a definição da estaca do ponto de partida (PP). Na maioria das vezes o valor desta estaca é zero (km 0 + 000,00) podendo assumir qualquer valor positivo ou mesmo negativo. Para efeitos de cálculo o PP é considerado como o fim de uma curva virtual (assim como o ponto final – PF é considerado o início de uma curva virtual). Com este procedimento a distância entre o PP e o PC ou TE da próxima curva será considerada a intertangente entre a curva “virtual” e a primeira curva. As equações necessárias para o cálculo dos pontos característicos do eixo são apresentadas a seguir:

$$\Delta PI = \sqrt{(x_{PI_p} - x_{PI_a})^2 + (y_{PI_p} - y_{PI_a})^2} \quad (35)$$

$$IntTan = \Delta PI - T_a - T_p \quad (36)$$

$$PC \text{ ou } TE = PT_a \text{ ou } ET_a + IntTan \quad (37)$$

$$PT = PC + Dc \quad (38)$$

$$EC = TE + Lc_a \quad (39)$$

$$CE = EC + Dc \quad (40)$$

$$ET = CE + Lc_p \quad (41)$$

Onde:

ΔPI = distância entre pontos de inflexão (m);

x_{PI_a}, x_{PI_p} = coordenadas x dos pontos de inflexão anterior e posterior (m);

y_{PI_a}, y_{PI_p} = coordenadas y dos pontos de inflexão anterior e posterior (m);

$IntTan$ = intertangente – distância entre o fim da curva (PT ou ET) até o início da curva próxima curva (PC ou TE) (m);

PC ou TE = ponto de início da curva circular ou ponto de início da 1ª espiral (km + m);

PT_a ou ET_a = ponto de fim da curva circular anterior ou ponto de fim da 2ª espiral anterior (km + m);

Dc = desenvolvimento circular (m).

EC, CE = ponto de início do trecho circular e ponto de fim do trecho circular (km + m);

Lc_a, Lc_p = desenvolvimentos anterior e posterior das espirais de transição (m).

PLANILHA DE COORDENADAS

PI	ESTAQUEAMENTO (Est. ou km)					PARÂMETROS DA CURVA						ALINHAMENTO			COORDENADAS			
	PC ou TE	EC	CE	PT ou ET		AC (°'")	R (m)	Lc1 (m)	Lc2 (m)	Dc (m)	T1 (m)	T2 (m)	Az (°'")	IntTan (m)	ΔPI (m)	X (m)	Y (m)	
PP				0+000,000												368722,0000	6947808,0000	
1	0+420,367			0+514,196		53°26'59,54" D	100,580		93,829	50,641	50,641			147°13'17,81"	420,367	471,009	368976,9999	6947411,9896
2	0+597,462	0+637,462	0+830,982	0+870,982		76°01'47,16" E	175,980	40,000	40,000	193,520	157,852	157,852		200°40'17,36"	83,266	291,759	368874,0063	6947139,0142
PF	1+196,929													124°38'30,20"	325,947	483,798	369272,0382	6946864,0024

(a) calculada

PI	ESTAQUEAMENTO (Est. ou km)					PARÂMETROS DA CURVA						ALINHAMENTO			COORDENADAS		
	PC ou TE	EC	CE	PT ou ET		AC (°'")	R (m)	Lc1 (m)	Lc2 (m)	Dc (m)	T1 (m)	T2 (m)	Az (°'")	IntTan (m)	ΔPI (m)	X (m)	Y (m)
PP				0+000,000												368722,0000	6947808,0000
1							100,580									368976,9999	6947411,9896
2							175,980	40,000	40,000							368874,0063	6947139,0142
PF																369272,0382	6946864,0024

(b) dados iniciais

PI	ESTAQUEAMENTO (Est. ou km)					PARÂMETROS DA CURVA						ALINHAMENTO			COORDENADAS		
	PC ou TE	EC	CE	PT ou ET		AC (°'")	R (m)	Lc1 (m)	Lc2 (m)	Dc (m)	T1 (m)	T2 (m)	Az (°'")	IntTan (m)	ΔPI (m)	X (m)	Y (m)
PP				0+000,000												368722,0000	6947808,0000
1						3	100,580			4	5	6	2	7	1	368976,9999	6947411,9896
2							175,980	40,000	40,000							368874,0063	6947139,0142
PF																369272,0382	6946864,0024

(c) etapas de cálculo

Figura 81 – Planilha de coordenadas

ELEMENTOS PLANIMÉTRICOS DE UMA ESTACA QUALQUER

Determinar as coordenadas, azimute e o valor do raio para uma estaca qualquer é fundamental para o projeto geométrico de uma rodovia. Uma das aplicações mais características refere-se à identificação da localização de um pilar de viaduto ou ponte (Figura 82) ou encaixes de ramos distintos de uma interseção (Figura 83).



Figura 82 – Construção do viaduto da BR-448 sobre a BR-290



(a) Atual ponte do Guaíba



(b) Projeto da nova ponte do Guaíba

Figura 83 – Acesso às pontes do Guaíba

A identificação das características de algum elemento no eixo de uma rodovia, implica saber qual o tipo de segmento que ele se localiza e, posteriormente, aplicar um refinamento para identificar, de fato, o valor dessas características.

Por isso, lembre-se que um corpo estradal é composto simplesmente por trechos retos e trechos curvos. Para os retos, o refinamento se baseia apenas em saber o azimute e a sua estaca, pois estará sempre coincidindo com a intertangente e terá o “ângulo central” de 180°, dessa forma, todos os pilares do trecho reto tem o mesmo alinhamento. Isso pode ser observado na figura 84 a qual identifica o alinhamento do viaduto da rodovia BR-448 sobre a BR-290. Já os trechos curvos tem uma constante variação do seu azimute, assim como da estaca, tendo de ser aplicadas várias fórmulas que irão definir sua posição no espaço. Esses procedimentos de cálculo serão explorados nos itens a seguir.

Observe que, na figura 65, o trecho entre a estaca 0 + 000 e a estaca 0 + 138,510, há um trecho reto, portanto, todos os pilares da nova Ponte do Guaíba têm o mesmo azimute (em amarelo na Figura 85) e, conseqüentemente o mesmo alinhamento. Agora, entre os PI-2 e PI-4, observa-se uma sucessão de curvas na qual o azimute varia constantemente (em magenta na Figura 85), assim como a distância entre eles dado o desenvolvimento da rodovia.



Figura 84 – Trecho da BR-448 sobre a BR-290

COORDENADAS E PARÂMETROS POR ESTACAS											
Rodovia: Grupo de Eixos 1											
Trecho: Eixo 1											
Segmento: km: 0+000,00 ao km: 0+423,66											
ESTACA		COORDENADAS CARTESIANAS (m)			COORD. GEOGRÁFICAS (")		PARÂMETROS GEOMÉTRICOS				OBSERVAÇÃO
km	TIPO	X	Y	Z	LATITUDE	LONGITUDE	AZ (")	R (m)	I (%)	SE (%)	
0+000,000		480714,1084	6684381,048		29°58'16,58" S	51°11'59,66" O	157°32'53,65"			-2,00 / -2,00	
0+000,000	PI-0	480714,1084	6684381,048		29°58'16,58" S	51°11'59,66" O	157°32'53,65"			-2,00 / -2,00	R=0,000 /
0+020,000		480721,7465	6684362,564		29°58'17,18" S	51°11'59,37" O	157°32'53,65"				
0+040,000		480729,3846	6684344,08		29°58'17,78" S	51°11'59,09" O	157°32'53,65"				
0+060,000		480737,0227	6684325,596		29°58'18,38" S	51°11'58,80" O	157°32'53,65"				
0+077,863	PI-1	480743,8448	6684309,087		29°58'18,92" S	51°11'58,55" O	157°32'53,65"				R=0,000 / 180°00'00,00"
0+080,000		480744,6608	6684307,112		29°58'18,99" S	51°11'58,52" O	157°32'53,65"				
0+100,000		480752,2989	6684288,628		29°58'19,59" S	51°11'58,24" O	157°32'53,65"				
0+120,000		480759,937	6684270,144		29°58'20,19" S	51°11'57,95" O	157°32'53,65"				
0+138,510	PI-2	480767,0061	6684253,037		29°58'20,74" S	51°11'57,69" O	157°32'53,65"				R=0,000 / 217°52,02"
0+140,000		480767,5195	6684251,639		29°58'20,79" S	51°11'57,67" O	159°50'45,67"				
0+160,000		480774,4103	6684232,863		29°58'21,40" S	51°11'57,42" O	159°50'45,67"				
0+160,214	PCD-3	480779,2032	6684232,662		29°58'21,41" S	51°11'57,41" O	159°50'45,67"				R=110,000 / 56°39'34,73"
0+180,000		480779,5985	6684213,576		29°58'22,03" S	51°11'57,22" O	170°09'07,11"	110			
0+200,000		480781,2139	6684193,669		29°58'22,67" S	51°11'57,16" O	180°34'09,80"	110			
0+220,000		480779,2032	6684173,798		29°58'23,32" S	51°11'57,24" O	190°59'12,49"	110			
0+240,000		480773,6326	6684154,618		29°58'23,94" S	51°11'57,45" O	201°24'15,19"	110			
0+260,000		480764,6857	6684136,762		29°58'24,52" S	51°11'57,78" O	211°49'17,88"	110			
0+268,993	PT-3	480759,6371	6684129,323		29°58'24,76" S	51°11'57,97" O	216°30'20,41"				R=110,000 / AC=56°39'34,73"
0+271,632	PCE-4	480758,0671	6684127,202		29°58'24,83" S	51°11'58,03" O	216°30'20,41"				R=115,000 / 70°30'06,82"
0+280,000		480753,3379	6684120,3		29°58'25,06" S	51°11'58,21" O	212°20'11,24"	115			
0+300,000		480744,1597	6684102,559		29°58'25,63" S	51°11'58,55" O	202°22'19,10"	115			
0+320,000		480738,1898	6684083,497		29°58'26,25" S	51°11'58,78" O	192°24'26,96"	115			
0+340,000		480735,6084	6684063,69		29°58'26,89" S	51°11'58,87" O	182°26'34,82"	115			
0+360,000		480736,4934	6684043,735		29°58'27,54" S	51°11'58,84" O	172°28'42,68"	115			
0+380,000		480740,818	6684024,234		29°58'28,18" S	51°11'58,68" O	162°30'50,54"	115			
0+400,000		480748,4517	6684005,775		29°58'28,78" S	51°11'58,40" O	152°32'58,40"	115			
0+413,138	PT-4	480755,1603	6683994,487		29°58'29,14" S	51°11'58,15" O	146°00'13,58"				R=115,000 / AC=70°30'06,82"
0+420,000		480758,997	6683988,798		29°58'29,33" S	51°11'58,01" O	146°00'13,58"				
0+423,664	PI-5	480761,0456	6683985,761		29°58'29,43" S	51°11'57,93" O	146°00'13,58"				R=0,000 /

Figura 85 – Planilha de Coordenadas do trecho da BR-448 sobre a BR-290

Os elementos dispostos na Planilha de Coordenadas permitem a obtenção das coordenadas, do azimute e do raio pontual para qualquer estaca do eixo. Para tanto, é necessário determinar inicialmente as coordenadas e azimute dos **pontos notáveis** (PC ou TE, EC, CE e PT ou ET) utilizando as equações a seguir:

● **PC ou TE ***

$$AZ_{TE} = AZ_{PI_a} \quad (42)$$

$$x_{TE} = x_{PI} + \frac{(x_{PI_a} - x_{PI}) \cdot T}{\Delta PI_a} \quad (43)$$

$$y_{TE} = y_{PI} + \frac{(y_{PI_a} - y_{PI}) \cdot T}{\Delta PI_a} \quad (44)$$

* Em curva circular substituir TE por PC

● **PT ou ET ***

$$AZ_{ET} = AZ_{PI} \quad (45)$$

$$x_{ET} = x_{PI} + \frac{(x_{PI_p} - x_{PI}) \cdot T}{\Delta PI_p} \quad (46)$$

$$y_{ET} = y_{PI} + \frac{(y_{PI_p} - y_{PI}) \cdot T}{\Delta PI_p} \quad (47)$$

* Em curva circular substituir ET por PT

• EC

$$Az_{EC} = Az_{PI_a} + Lado \cdot Sc \quad (48)$$

$$x_{EC} = x_{TE} + \sqrt{Xc^2 + Yc^2} \cdot \text{sen} \left[Az_{TE} + Lado \cdot \text{arc tan} \left(\frac{Xc}{Yc} \right) \right] \quad (49)$$

$$y_{EC} = y_{TE} + \sqrt{Xc^2 + Yc^2} \cdot \text{cos} \left[Az_{TE} + Lado \cdot \text{arc tan} \left(\frac{Xc}{Yc} \right) \right] \quad (50)$$

• CE

$$Az_{CE} = Az_{PI} - Lado \cdot Sc \quad (51)$$

$$x_{CE} = x_{ET} - \sqrt{Xc^2 + Yc^2} \cdot \text{sen} \left[Az_{ET} - Lado \cdot \text{arc tan} \left(\frac{Xc}{Yc} \right) \right] \quad (52)$$

$$y_{CE} = y_{ET} - \sqrt{Xc^2 + Yc^2} \cdot \text{cos} \left[Az_{ET} - Lado \cdot \text{arc tan} \left(\frac{Xc}{Yc} \right) \right] \quad (53)$$

Onde:

Az = azimute dos pontos notáveis do ponto de inflexão atual (**rad**);

x, y = coordenadas X e Y dos pontos notáveis do PI corrente (**m**);

$\Delta PI_a, \Delta PI_p$ = distância entre o ponto de inflexão anterior e o atual e entre o ponto de inflexão atual e o posterior (**m**);

T = tangente da curva (**m**);

Sc = ângulo da espiral de transição (**rad**);

Xc, Yc = elementos da curva de transição (**m**);

Lado = variável auxiliar com o valor de -1 para inflexões à esquerda e +1 para inflexões à direita.

As coordenadas dos pontos notáveis são reunidas em um relatório específico. A Figura 84 apresenta as coordenadas dos pontos notáveis para a Planilha de Coordenadas da Figura 81.

PI	PC ou TE		EC		PI		CE		PT ou ET	
	x (E)	y (N)								
PP					368.722,00	6.947.808,00				
1	368.949,58	6.947.454,57			368.976,99	6.947.411,99			368.959,12	6.947.364,61
2	368.929,73	6.947.286,70	368.917,04	6.947.248,79	368.874,01	6.947.139,01	368.971,87	6.947.073,24	369.003,87	6.947.049,28
PF					369.272,04	6.946.864,00				

Figura 86 – Planilha de coordenadas dos pontos notáveis

Uma vez obtidas as propriedades dos pontos notáveis, é possível determinar estas para qualquer estaca. Para tanto, deve-se identificar a posição da estaca entre os elementos PC ou TE, EC, CE e PT ou ET, dos diversos PIs. O cálculo será específico para cada posição conforme as equações a seguir:

- **Estaca na intertangente:** $km_{est} \geq km_{ET_a}$ e $km_{est} \leq km_{TE}$ *

$$R_{est} = \infty \quad (54)$$

$$Az_{est} = Az_{TE} \quad (55)$$

$$x_{est} = x_{TE} + (km_{est} - km_{TE}) \cdot \text{sen}(Az_{TE}) \quad (56)$$

$$y_{est} = y_{TE} + (km_{est} - km_{TE}) \cdot \text{cos}(Az_{TE}) \quad (57)$$

* Em curva circular substituir TE por PC

- Estaca no 1º ramo da espiral: $km_{est} < km_{EC}$

$$s = \frac{(km_{est} - km_{TE})^2}{2 \cdot R \cdot Lc} \quad (58)$$

$$x = (km_{est} - km_{TE}) \cdot \frac{s}{3} \cdot \left(1 - \frac{s^2}{14} + \frac{s^4}{440}\right) \quad (59)$$

$$y = (km_{est} - km_{TE}) \cdot \left(1 - \frac{s^2}{10} + \frac{s^4}{216}\right) \quad (60)$$

$$d = \sqrt{x^2 + y^2} \quad (61)$$

$$R_{est} = \frac{R \cdot Lc}{km_{est} - km_{TE}} \quad (62)$$

$$Az_{est} = Az_{TE} + Lado \cdot s \quad (63)$$

$$x_{est} = x_{TE} + d \cdot \sen \left[Az_{TE} + Lado \cdot \arc \tan \left(\frac{x}{y} \right) \right] \quad (64)$$

$$y_{est} = y_{TE} + d \cdot \cos \left[Az_{TE} + Lado \cdot \arc \tan \left(\frac{x}{y} \right) \right] \quad (65)$$

- Estaca na parte circular: $km_{est} < km_{CE}$ (transição) ou $km_{est} < km_{PT}$ (circular) *

$$a = \frac{(km_{est} - km_{PC})}{R} \quad (66)$$

$$d = 2 \cdot R \cdot \sen \left(\frac{a}{2} \right) \quad (67)$$

$$R_{est} = R \quad (68)$$

$$Az_{est} = Az_{TE} + Lado \cdot (Sc + a) \quad (69)$$

$$x_{est} = x_{EC} + d \cdot \sen \left[Az_{EC} + Lado \cdot \left(Sc + \frac{a}{2} \right) \right] \quad (70)$$

$$y_{est} = y_{EC} + d \cdot \cos \left[Az_{EC} + Lado \cdot \left(Sc + \frac{a}{2} \right) \right] \quad (71)$$

* Em curva circular substituir EC e TE por PC (neste caso SC = 0)

- Estaca no 2º ramo da espiral: $km_{ET} < km_{est}$

$$s = \frac{(km_{ET} - km_{est})^2}{2 \cdot R \cdot Lc} \quad (72)$$

$$x = (km_{ET} - km_{est}) \cdot \frac{s}{3} \cdot \left(1 - \frac{s^2}{14} + \frac{s^4}{440}\right) \quad (73)$$

$$y = (km_{ET} - km_{est}) \cdot \left(1 - \frac{s^2}{10} + \frac{s^4}{216}\right) \quad (74)$$

$$d = \sqrt{x^2 + y^2} \quad (75)$$

$$R_{est} = \frac{R \cdot Lc}{km_{ET} - km_{est}} \quad (76)$$

$$Az_{est} = Az_{ET} - Lado \cdot s \quad (77)$$

$$x_{est} = x_{ET} - d \cdot \sen \left[Az_{ET} - Lado \cdot \arc \tan \left(\frac{x}{y} \right) \right] \quad (78)$$

$$y_{est} = y_{ET} - d \cdot \cos \left[Az_{ET} - Lado \cdot \arc \tan \left(\frac{x}{y} \right) \right] \quad (79)$$

Onde:

R = raio da curva ou da estaca de interesse (m);

Az = azimute da estaca ou dos pontos notáveis do PI corrente (rad);

x, y = coordenadas x e y da estaca, dos pontos notáveis ou temporárias (m);

km = posições dos pontos notáveis ou da estaca de interesse no estaqueamento (m);

Sc = ângulo da espiral de transição (rad);

$Lado$ = variável auxiliar com o valor de -1 para inflexões à esquerda e +1 para inflexões à direita;

s = ângulo parcial da espiral de transição do ponto de inflexão atual (rad);

a = variável temporária angular (rad);

d = variável temporária linear (m).

DESENHO PLANIMÉTRICO

O desenho planimétrico, usualmente apresentado na escala 1:2000 (1500 metros em prancha A1) ou 1:1000 (750 metros em prancha A1) também pode ser impresso em folhas formato A3 na metade da escala, mantendo as distâncias mencionadas acima. A Figura 86 apresenta a posição do desenho planimétrico em prancha A1. A Figura 87 o desenho em destaque.

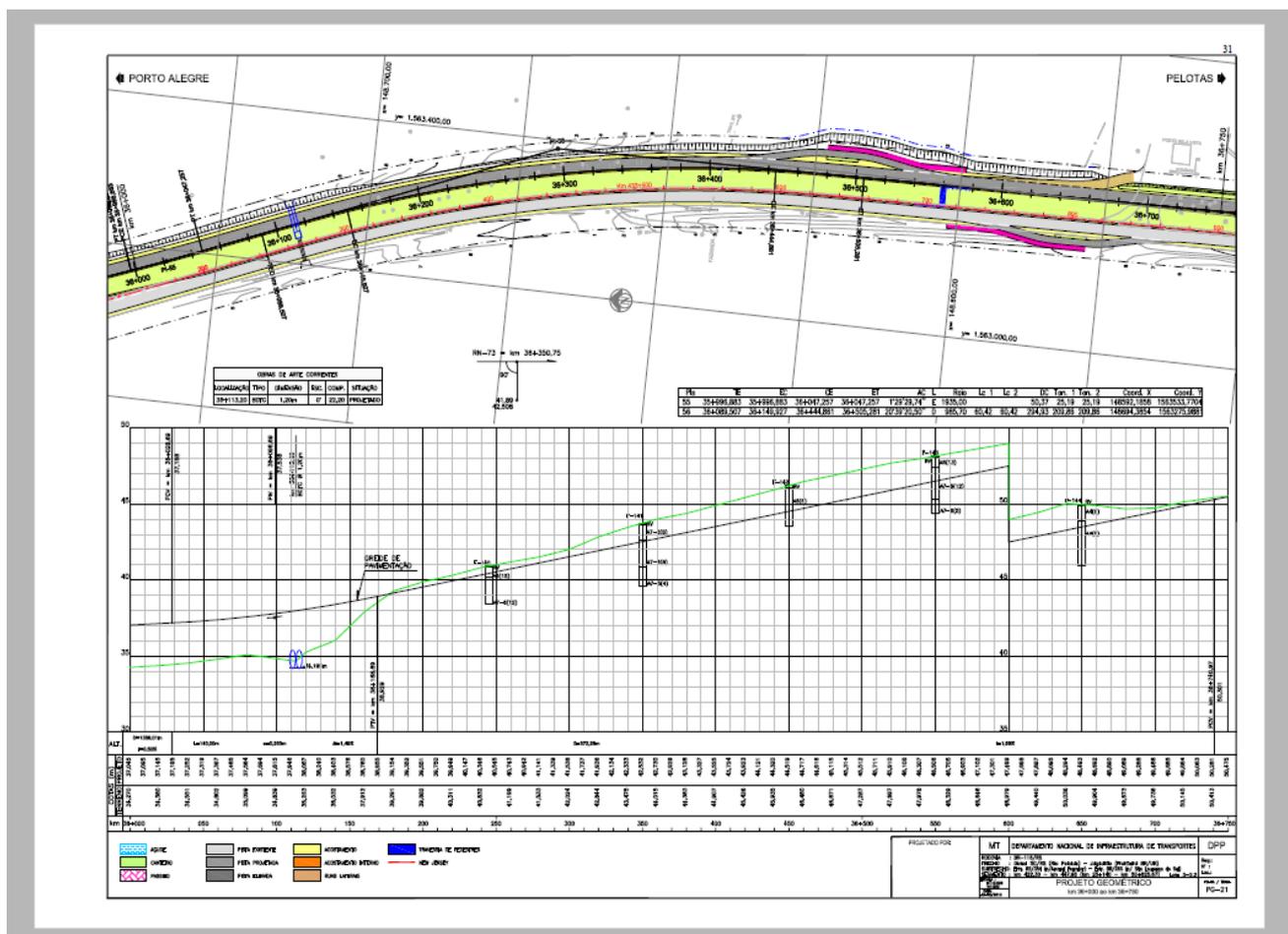


Figura 87 – Desenho planimétrico em prancha A1

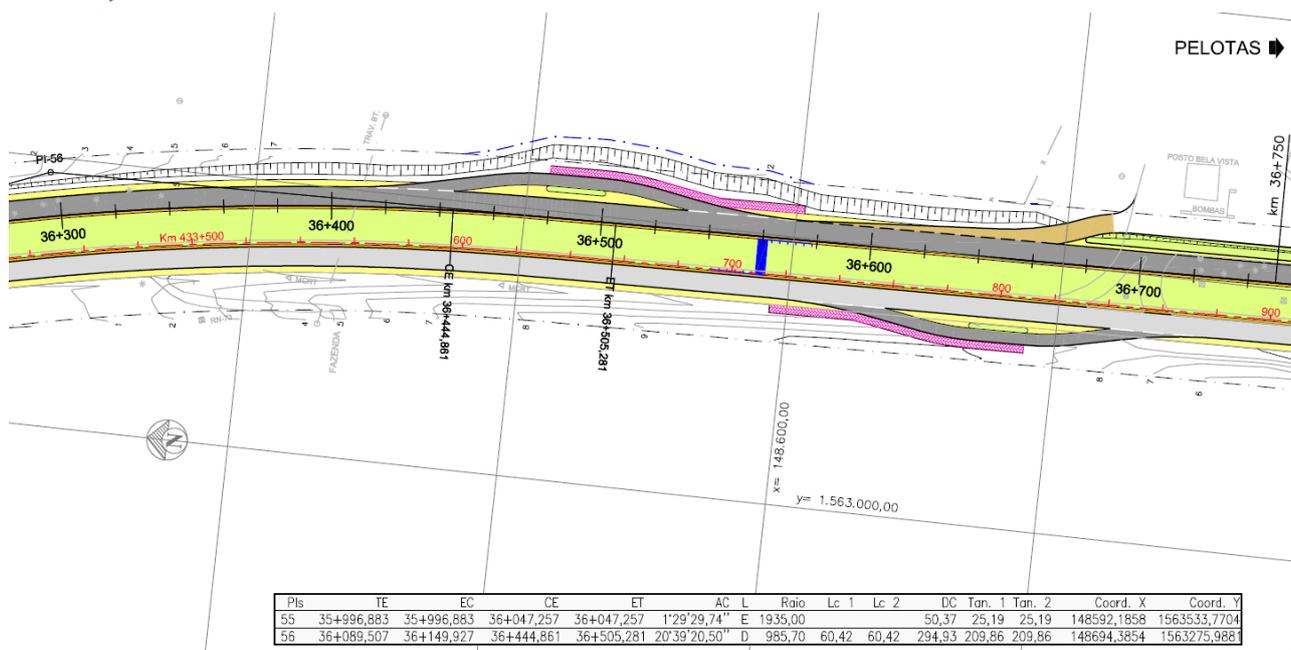


Figura 88 – Desenho planimétrico em destaque

EXERCÍCIOS

Um engenheiro deve recalcular a Planilha de Coordenadas de um projeto antigo utilizando os dados constantes na tabela abaixo. Ele precisa calcular as coordenadas e o azimute de um pilar de uma ponte localizada no km 5+420. Determine o azimute do pilar.

PI	ESTAQUEAMENTO (Est. ou km)				PARÂMETROS DA CURVA					ALINHAMENTO			COORDENADAS	
	PC ou TE	EC	CE	PT ou ET	AC (°'")	R (m)	Lc (m)	Dc (m)	T (m)	Az (°'")	IntT (m)	ΔPI (m)	X (m)	Y (m)
PP				0+000,000									481.652,243	6.677.359,632
1	0+993,853	1+143,853	1+424,650	1+574,650	?	300	150	280,80	339,63	58°21'50,27"	993,85	1.333,48	482.787,563	6.678.059,070
2	?	?	?	?	?	400	150	?	?	?	516,78	1.175,39	?	6.679.133,570
3	3+151,031	3+301,031	3+448,654	3+598,654	42°37'52,81" D	400	150	147,62	231,91	38°34'16,51"	?	?	482.949,752	6.679.934,376
4	3+983,149			4+439,130	52°15'05,74" E	500		455,98	245,23	81°12'09,32"	384,50	861,63	483.801,242	6.680.066,154
5	5+050,252			5+485,656	? E	500		435,40	232,59	28°57'03,58"	611,12	1.088,94	484.328,355	6.681.019,012
PF	6+132,225									?	?	?	?	?

RESOLUÇÃO

Para resolver essa questão é preciso, primeiramente, identificar em qual elemento da rodovia o pilar está. Percebe-se que ele está entre a estaca 5+050,252 e a 5+485,656, ou seja, na parte circular da curva do PI-5.

Para determinar o Azimute de uma estaca em cima de uma curva circular utilizamos a equação:

$$Az_{est} = Az_{pc} + Lado(Sc_{pi} + a)$$

Observe que precisamos das seguintes informações: Azimute do PC do PI-5 e o parâmetro “a” do Km da estaca. O lado é obtido diretamente da tabela, pois está indicado deflexão à esquerda. O Scpi é zero, por se tratar de uma curva circular sem clotóides.

A estaca do PC é dada pela fórmula:

$$Az_{pc} = Az_{pi_{i-1}}$$

Portanto, ele é simplesmente o azimute correspondente ao alinhamento entre o PI da curva de interesse e o anterior, ou seja, o azimute do alinhamento entre o PI-4 e o PI-5, logo:

$$Az_{pc} = 28^{\circ}57'03,58$$

O parâmetro “a” é calculado por:

$$a = \frac{(km_{est} - km_{pc})}{R_{pi}}$$

Substituindo com os valores da tabela:

$$a = \frac{((5 + 420) - (5 + 050,252))}{500}$$

$$a = 0,7394rad$$

O valor de a é dado em radianos, para que ele seja corretamente somado na equação do azimute da estaca, ele deve ser transformado para graus, obtendo-se, portanto:

$$a = 42^{\circ}22'12$$

Finalmente pode-se substituir os valores na equação do azimute da estaca qualquer. Lembrando que para deflexões à direita o lado é positivo e à esquerda o lado é negativo:

$$Az_{est} = 28^{\circ}57'58 + (-1)(0 + 42^{\circ}22'12)$$

$$Az_{est} = -13^{\circ}25'8,42$$

Como não existe azimutes negativos (eles variam de 0° a 360°), deve-se transformar o azimute para o seu intervalo de domínio apenas somando ao valor encontrado 360°:

$$Az_{est} = -13^{\circ}25'8,42 + 360$$

$$Az_{est} = 346^{\circ}34'51,5$$



PG4 – PROJETO ALTIMÉTRICO

CONDICIONANTES DE PROJETO

PG4 – PROJETO ALTIIMÉTRICO: CONDICIONANTES DE PROJETO

OBJETIVOS

1. Identificar os elementos que compõem o projeto altimétrico (greide):
 - a. pontos de inflexão verticais (PIVs);
 - b. rampas;
 - c. curvas de concordância vertical.
2. Reconhecer as principais condicionantes para o projeto altimétrico;
3. Aprender a determinar a garantia de visibilidade de parada em curvas de concordância verticais.

PROJETO ALTIMÉTRICO: CONDICIONANTES

O eixo da via em perfil recebe o nome de **Greide**. Este é o desenvolvimento altimétrico do perfil longitudinal de projeto de uma via.

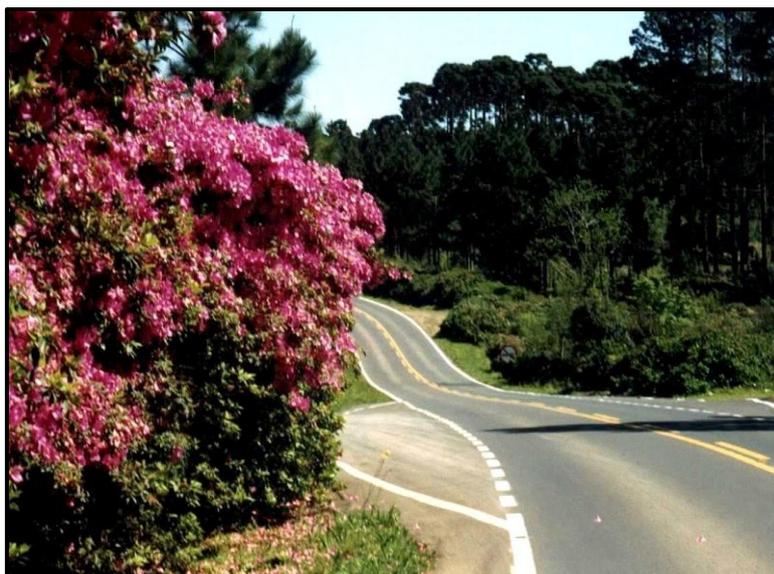


Figura 89 – Trecho da RS/235 na Região das Hortênsias, RS

O greide é constituído por rampas e curvas verticais. As rampas são classificadas, segundo sua declividade (designa genericamente uma inclinação), em três tipos:

- **Aclives:** com sinal positivo (sentido crescente do estaqueamento ou quilometragem);
- **Declives:** com sinal negativo (sentido contrário ao do estaqueamento ou quilometragem);
- **Em nível:** com valor igual a zero.

Principais critérios de projeto: as rampas devem ser posicionadas de forma compatível com a Classe de Projeto, relevo e custos decorrentes.

A seguir são apresentadas 15 regras que devem ser observadas para um bom projeto de greide. É importante ressaltar que algumas das regras podem gerar conflitos na sua aplicação. Um bom projeto deverá ponderar e **otimizar o todo** (conjunto) e não uma ou outra parte.

1º Minimizar as inclinações

Sempre que possível, deve-se utilizar rampas suaves, com taxas compatíveis com a intensidade de uso da via e do nível do investimento.

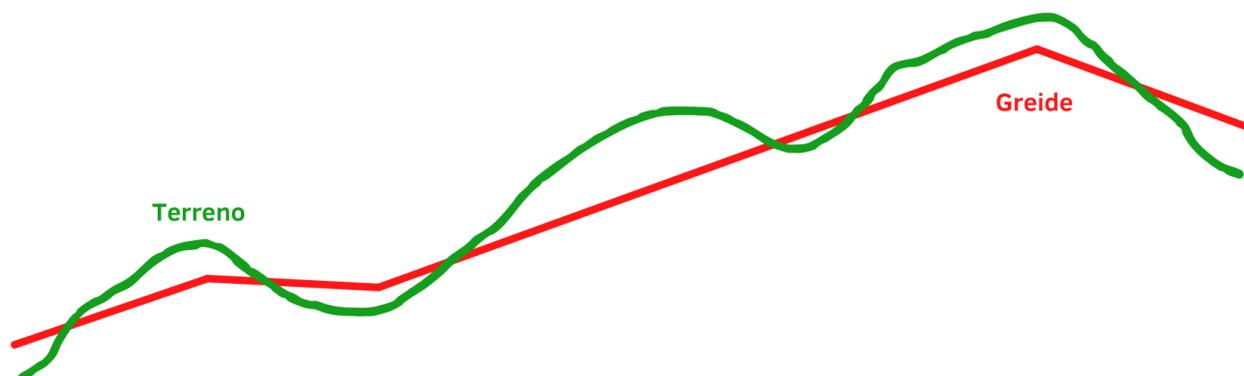


Figura 90 – Greide com rampas suaves

2º Rampa máxima

Define-se a rampa máxima para o veículo de projeto (veículo de carga). O valor da rampa máxima decorre da Classe de Projeto e do relevo. A rampa máxima admissível é 8% para rodovias de Classe III em região montanhosa. Em greides urbanos, a rampa máxima é 15% para via local de acesso domiciliar com predominância de veículos leves (PDDUA de Porto Alegre).

3º Rampa mínima

Nos trechos em corte ou seção mista a rampa mínima desejável é de $\pm 1,0\%$ e a admissível $\pm 0,3\%$ para viabilizar o escoamento natural das águas. No caso de estradas existentes, as inclinações das rampas devem compatibilizar acessos às instalações marginais.

4º Curvas côncavas em cortes? NÃO!

Nas extensões de cortes ou seções mistas é proibido prever curvas côncavas para evitar o acúmulo de água.

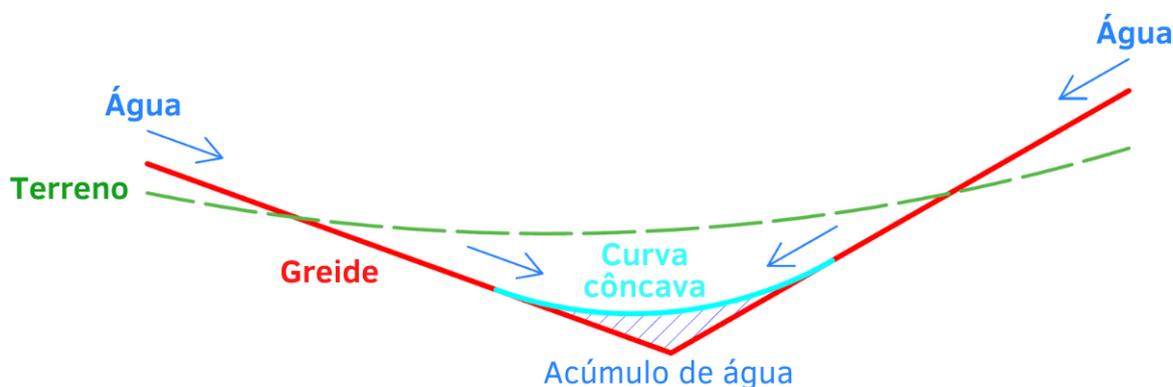


Figura 91 – Acúmulo indesejável de água em curvas côncavas

5º Terrenos alagadiços

Terrenos saturados e extensões com solos moles devem, em princípio, ser evitados. Não sendo possível, prever somente aterros com altura média mínima de 1,50 m para preservar o pavimento da ascensão capilar da água.

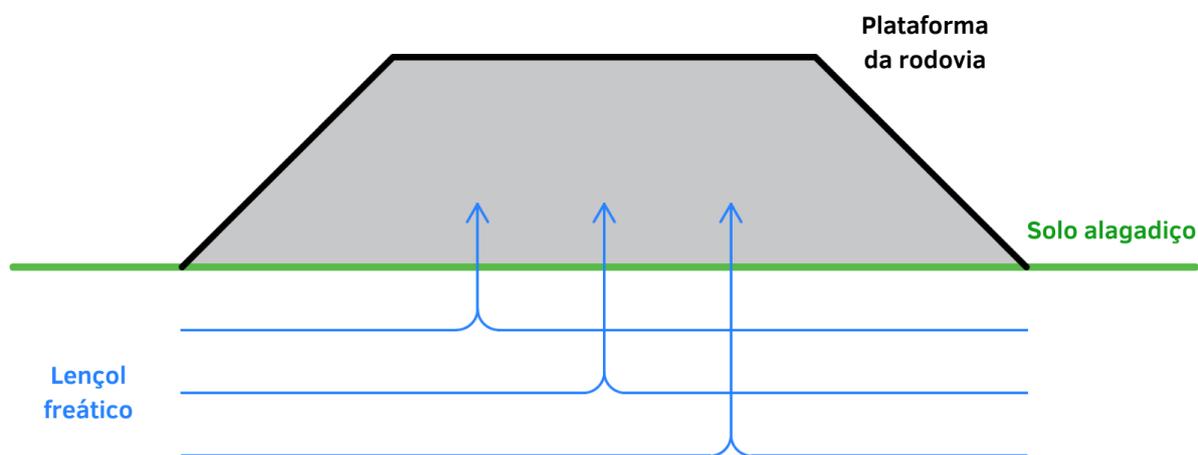


Figura 92 – Aterro sobre solos moles

6º Otimização das massas

Ao posicionar a linha de projeto em perfil, deve-se buscar a melhor compensação entre volumes de corte e aterro. Deve-se considerar os fatores de homogeneização.

O fator de homogeneização decorre da relação entre o volume geométrico no corte e o volume compensado (aterro). Na ausência de maiores informações é comum adotar a seguinte relação: 1,0 m³ de aterro compactado equivale a 1,3 m³ de corte.

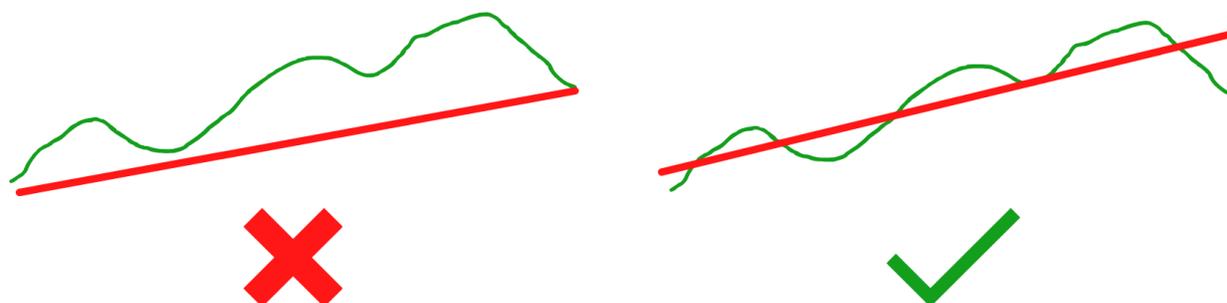


Figura 93 – Linhas de projeto em perfil

7º Cortes e aterros altos

Por necessidade de fundação para os aterros e estabilidade das encostas, recomenda-se não adotar cortes e aterros muito altos.

- **Rodovias de Classe I ou II, região montanhosa:** recomenda-se altura máxima em torno de 18m (outras classes: até 12m).
- **Vias urbanas:** se for o caso, considerar as cotas das soleiras das habitações existentes.

Características específicas de cada projeto, questões econômicas ou ambientais, poderão sugerir a opção por estruturas especiais do tipo viadutos ou túneis.



Figura 94 – Talude de Corte

8º Bueiros

Bueiros tubulares e galerias não devem ter tráfego direto sobre as paredes e lajes de concreto. As estruturas deverão ser recobertas com uma espessura mínima de 50 cm de solo selecionado compactado.

No local do bueiro considerar dimensão do mesmo mais um recobrimento em aterro com espessura $\geq 0,60m$.



Figura 95 e 96 – Inundação de bueiro (esquerda) e bueiro em construção (direita)

9º Perfil geológico

Sondagens preliminares ao longo do eixo permitem conhecer o perfil geológico do traçado. Deve-se tirar partido desses dados, evitando cortes desnecessários em rocha e alteração de rocha.

10º Impulso

Nos aclives longos antecedidos por declives é conveniente dispor as rampas mais íngremes na parte inferior do trecho e, as mais suaves no topo, para tirar proveito do impulso do veículo acumulado no segmento anterior.

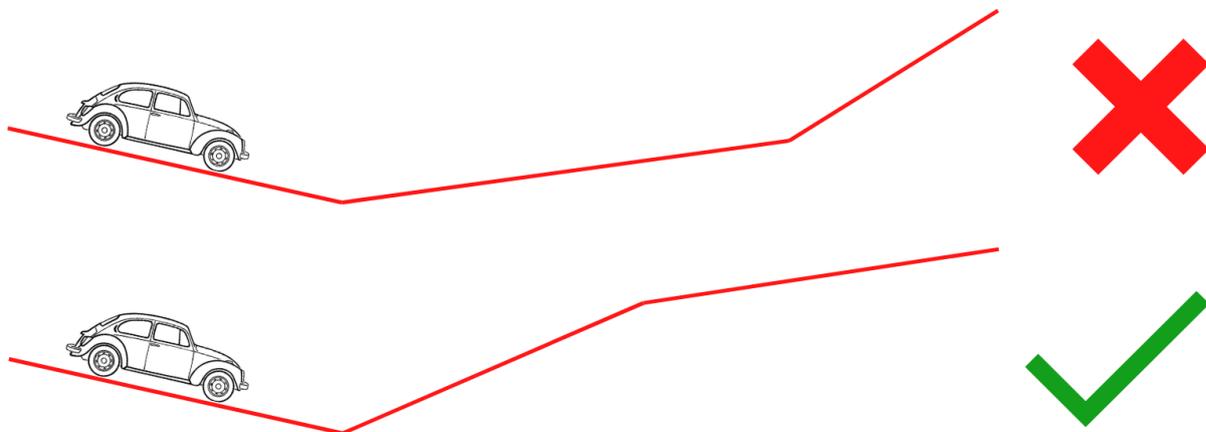


Figura 97 – Diferentes disposições de rampas

11º Conforto

Os trechos com inclinação constante em rampa, sempre que possível, deverão ter comprimento mínimo absoluto de **260 m (III e IV Classe) a 300 m (I e II Classe)** para maior conforto dos usuários. As curvas verticais devem ser suaves e bem concordadas com as tangentes verticais.

12º Perfil de terraplenagem

Considerar no lançamento de rampas e projeto de curvas verticais que a linha de projeto é o perfil de terraplenagem. Sobre esta linha deverá ser projetada e construída a estrutura do pavimento.

13º Harmonia entre projeto vertical e horizontal

Em uma lombada vencida de topo, mesmo quando a curva vertical é bem dimensionada, o motorista sente-se inseguro e é impelido a reduzir a velocidade.

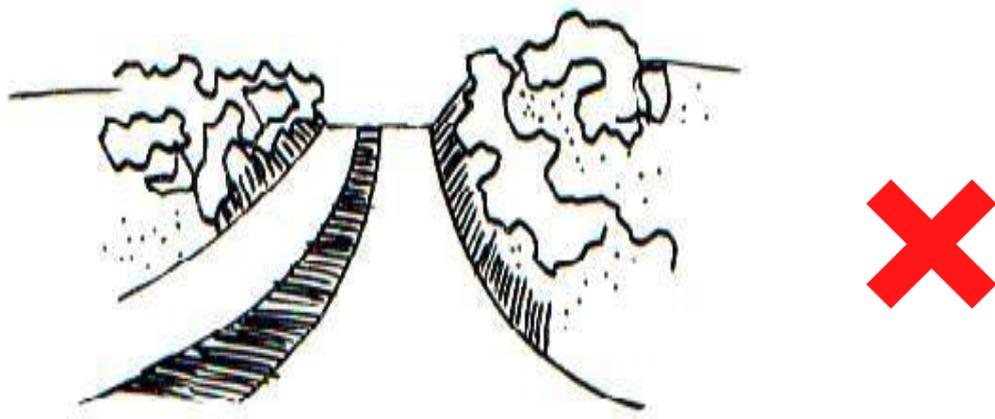


Figura 98 – Lombada

Quando a lombada é vencida por meio de curva horizontal e vertical conjugadas as áreas marginais auxiliam a condução ótica e a leitura da estrada fica facilitada.

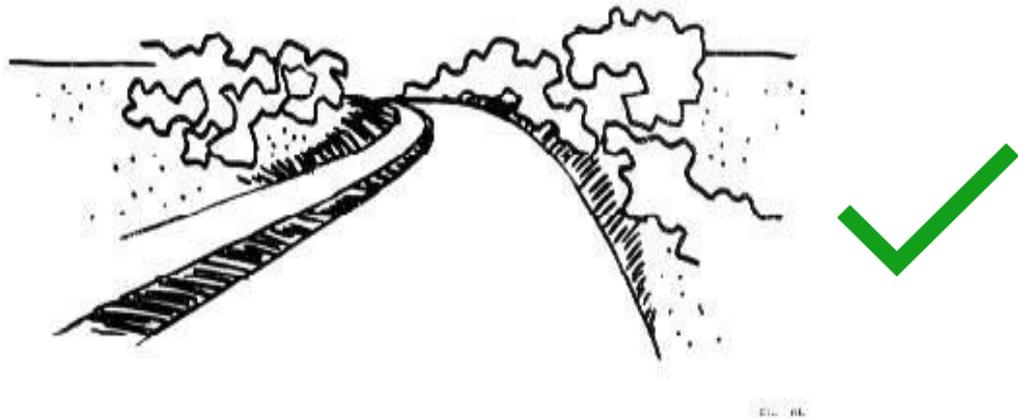


Figura 99 – Curva vertical coincidente com curva horizontal

Portanto, sempre que possível, as curvas verticais devem coincidir com trechos de curvas horizontais (**melhor aspecto estético tridimensional**). Assim, é conveniente que a curva horizontal inicie antes da curva vertical, como que anunciando ao usuário a configuração do traçado.

Os defeitos de traçado podem ser diversos, aqui caracterizaremos os principais defeitos observados na geometria de traçados.

Sem dobra ótica



Com dobra ótica



Mergulho em curva



Abaulamentos



Mergulho profundo



Salto



Tangente pequena entre curvas no mesmo sentido



Mergulho em tangente



Ondulações em curva



Mergulho raso



Salto com deflexão



Início de curva horizontal em curva vertical convexa



Figura 100 – Defeitos de traçado

14º Pontos de passagem obrigatória

Devem ser considerados como condicionantes do projeto altimétrico os pontos de passagem obrigatória, tais como:

- Cruzamento com outras vias ($\pm 1,00$ m);
- Ponte ou viaduto existente;
- Acessos a indústrias, colégios e propriedades em geral;
- Cotas de cheia máxima dos rios ($> 2,50$ m);
- Vão livre de 5,50m para passagem sobre rodovia federal e 7,20 m sobre ferrovia;
- Vão livre em relação a catenária de rede de alta-tensão.

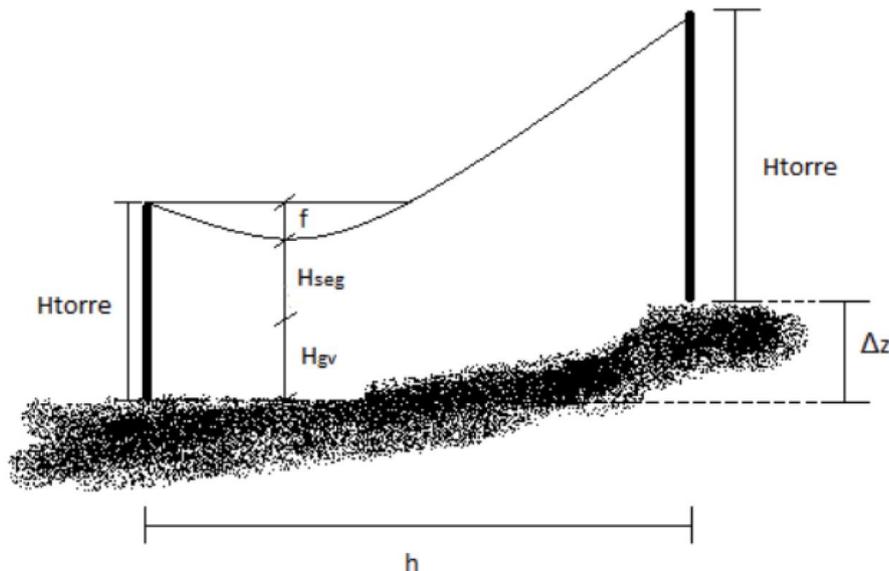


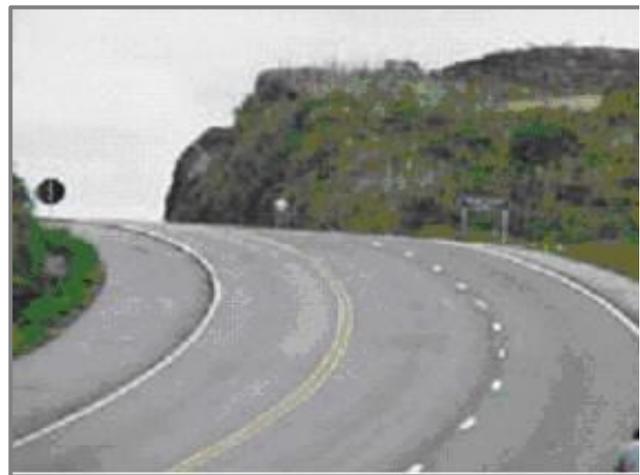
Figura 101 – Catenária de rede de alta-tensão

15º Visibilidade

Deve-se garantir amplas condições de visibilidade. Quanto menor a diferença entre rampas, melhor. No projeto geométrico deverá ser sempre respeitada a **Distância Mínima de Visibilidade de Parada**. Já a **Distância Mínima de Ultrapassagem** nem sempre pode ser garantida no projeto altimétrico. Nesta situação é possível demarcar o trecho viário com restrição a ultrapassagem, no projeto de sinalização.



(a) BR 116 Picada Café



(b) BR 116 Pelotas

Figura 102 – Exemplos de lombada sem (a) e com (b) curva horizontal conjugada

CURVA DE CONCORDÂNCIA VERTICAL

Os alinhamentos (rampas), configurados no perfil longitudinal, são concordados através de curvas verticais. Os tipos de curvas mais utilizadas são: curva circular simples; parábola cúbica; elipse e, atualmente, a **parábola do 2º grau**. Os estudos e pesquisas existentes indicam o uso da parábola do 2º grau como melhor forma para o deslocamento de veículos.

Desenho da curva

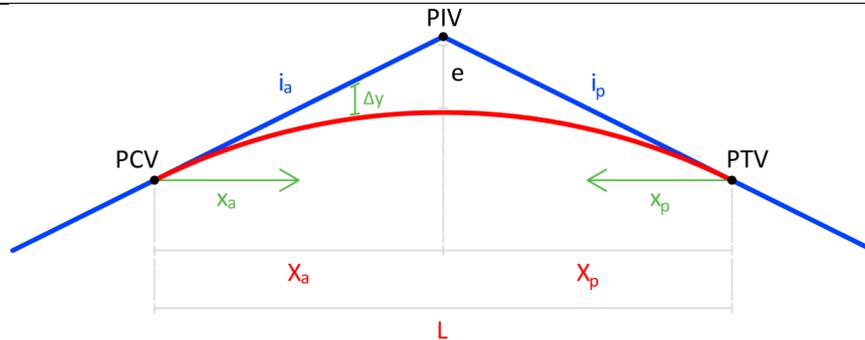


Figura 103 – Curva de concordância vertical: parábola de 2º grau

Pontos fundamentais

- **PIV** = ponto de inflexão vertical (interseção das rampas);
- **PCV** = ponto de início da curva vertical (côncava ou convexa);
- **PTV** = ponto fim da curva (ou início da rampa).

Elementos principais

- **L** = projeção total da curva (m);
- **X_a** = projeção anterior da parábola (m);
- **X_p** = projeção posterior da parábola (m);
- **i_a** = rampa anterior ao ponto de inflexão de interesse (%);
- **i_p** = rampa posterior ao ponto de inflexão de interesse (%);
- **e** = flecha máxima – distância entre o PIV e o centro do arco de parábola (m).

A parábola de 2º grau pode ser **simples ou composta**. Se $X_a = X_p$ a parábola será simples (nestes casos é informado apenas o L). As curvas verticais podem se apresentar na forma côncava ou convexa.

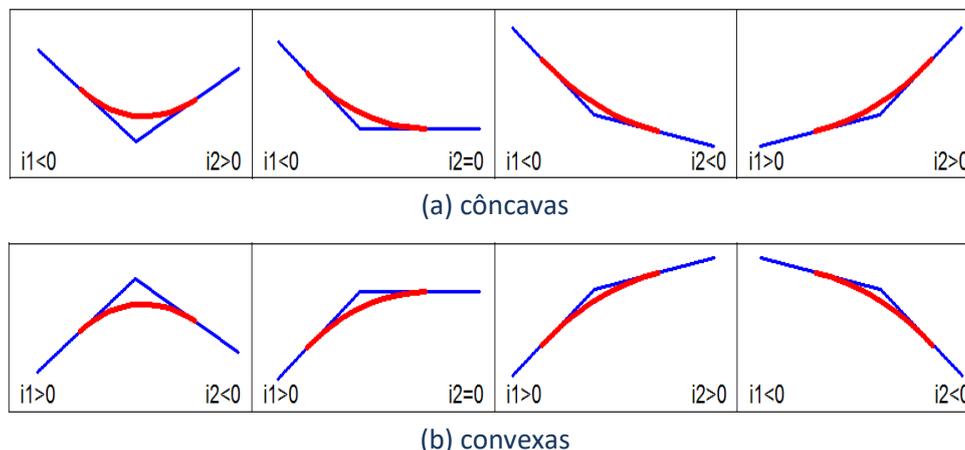


Figura 104 – Curvas de concordância vertical (tipo)

ANÁLISE DA DISTÂNCIA DE VISIBILIDADE DE PARADA

Projetar uma curva de concordância vertical do tipo parábola do 2º grau consiste, fundamentalmente, na definição do valor da projeção horizontal da curva L (ou X_a e X_p para parábola composta). O valor mínimo da projeção deve garantir a **Distância Mínima de Visibilidade de Parada**. A equação retorna a projeção mínima da parábola para garantir esta visibilidade.

$$\Delta i = i_p - i_a \quad (80)$$

$$L_{min} = K_{min} \cdot |\Delta i| \quad e \quad L_{des} = K_{des} \cdot |\Delta i| \quad (81)$$

Onde:

i_a = rampa anterior ao ponto de inflexão de interesse (%);

i_p = rampa posterior ao ponto de inflexão de interesse (%);

Δi = diferença entre rampas (%);

K = parâmetro de curvatura (m);

L_{min}, L_{des} = Projeção mínima e projeção desejável da parábola (m).

Um elemento importante presente em todas as curvas verticais é o parâmetro de curvatura da parábola (K). Ele representa o comprimento da curva para cada variação de 1% na declividade longitudinal. Os valores de K são definidos na norma (DNER, 1999 pg. 128) conforme a velocidade de projeto (diretriz), e a conformação da curva (côncava ou convexa). Os valores da Figura 105 estão separados entre valores mínimos e desejáveis.

Velocidade diretriz (km/h)	30	40	50	60	70	80	90	100	110	120
Curva verticais convexas										
K – Mínimo	2	5	9	14	20	29	41	58	79	102
K – Desejável	2	5	10	18	29	48	74	107	164	233
Curvas verticais côncavas										
K – Mínimo	4	7	11	15	19	24	29	36	43	50
K – Desejável	4	7	12	17	24	32	42	52	66	80

Figura 105 – Valores para o parâmetro K

Identificar se a curva é côncava ou convexa é bastante simples, basta seguir:

- $\Delta i > 0 \rightarrow$ côncava;
- $\Delta i < 0 \rightarrow$ convexa.

A norma (DNER, 1999 pg. 124 a 125) indica ainda os seguintes critérios de análise:

- O valor de L adotado deverá ser superior ao L_{min} e, usualmente, **múltiplo de 20 metros**;
- Diferenças de rampa (Δi) inferiores a 0,5% (em módulo) podem dispensar a curva de concordância vertical;
- Não existe um valor máximo de projeção, contudo a norma indica uma atenção especial na drenagem, para valores de $K \geq 43$ nos casos onde as rampas (anterior e posterior) apresentem sinais diferentes.

EXERCÍCIOS

Uma rodovia Classe II em região ondulada está sendo projetada. Para a sequência de rampas representada na tabela indique: (i) o Δi , (ii) o tipo (côncava ou convexa), (iii) L_{min} , (iv) L_{max} e (v) L adotado.

Rampa	Δi	Tipo	K_{min}	L_{min}	K_{des}	L_{des}	K_{43}	L_{43}	Intervalo	L_{proj}
$i_1 = -3,2\%$										
$i_2 = 5,0\%$										
$i_3 = 4,6\%$										
$i_4 = -2,2\%$										

RESOLUÇÃO

Para resolver essa questão é preciso, primeiramente, calcular o Δi que é a subtração entre i_n e i_{n-1} .

$$\Delta i_{12} = i_2 - i_1 = 5,0\% - (-3,2\%) = 8,20\%$$

$$\Delta i_{23} = i_3 - i_2 = 4,6\% - 5,0\% = -0,40\%$$

$$\Delta i_{34} = i_4 - i_3 = -2,2\% - 4,6\% = -6,80\%$$

Em seguida é preciso identificar o tipo de rampa (côncava ou convexa), sabemos que $\Delta i > 0 \rightarrow$ **côncava** e $\Delta i < 0 \rightarrow$ **convexa**, portanto, Δi_{12} é positiva – côncava, Δi_{23} é negativa – convexa e Δi_{34} é negativa – convexa.

Para descobrirmos o K mínimo e K desejado precisamos analisar as tabelas da norma DNER (1999), apresentada no ET4 e na tabela da Figura 105. Neste exemplo temos uma rodovia Classe II em região ondulada.

Classe de projeto	Velocidades diretrizes para projeto (km/h)		
	Relevo		
	Plano	Ondulado	Montanhoso
Classe 0	120	100	80
Classe I	100	80	60
Classe II	80	70	50
Classe III	60	40	40
Classe IV	40 - 60	30 - 40	30 - 40

Assim, a partir da norma DNER (1999) podemos identificar que a velocidade de diretriz para este projeto é de 70 km/h e com este valor conseguimos identificar que para curvas verticais convexas o K_{min} é de 20 e o K_{des} é de 29, já para as curvas verticais côncavas K_{min} é de 19 e o K_{des} é de 24.

Velocidade diretriz (km/h)	30	40	50	60	70	80	90	100	110	120
Curvas verticais convexas										
K - Mínimo	2	5	9	14	20	29	41	58	79	102
K - Desejável	2	5	10	18	29	48	74	107	164	233
Curvas verticais côncavas										
K - Mínimo	4	7	11	15	19	24	29	36	43	50
K - Desejável	4	7	12	17	24	32	42	52	66	80

Para calcularmos o L_{min} utilizamos as seguintes equações abaixo:

$$L_{min} = K_{min} \cdot |\Delta i| \quad e \quad L_{des} = K_{des} \cdot |\Delta i|$$

$$L_{des23} = 29 \cdot |-0,40| = 11,60$$

$$L_{min12} = 19 \cdot |8,20| = 155,80$$

$$L_{min34} = 20 \cdot |-6,80| = 136,00$$

$$L_{des12} = 24 \cdot |8,20| = 196,80$$

$$L_{des34} = 29 \cdot |-6,80| = 197,20$$

$$L_{min23} = 20 \cdot |-0,40| = 8,00$$

Precisamos ter uma atenção especial na drenagem para valores de $K \geq 43$ nos casos onde as rampas apresentam sinais diferentes (12 e 34). Calculamos o L_{43} a partir da equação:

$$L_{43} = K_{43} \cdot |\Delta i|$$

$$L_{4312} = 43 \cdot |8,20| = 352,60$$

$$L_{4334} = 43 \cdot |-6,80| = 292,40$$

Assim obtemos os intervalos:

Para i_{12} : mínimo = 160, desejado = 200, máximo = 340
 Para i_{23} : mínimo = 20, desejado = 0, máximo = qualquer
 Para i_{34} : mínimo = 140, desejado = 200, máximo = 280

O valor mínimo do intervalo deve ser arredondado para um valor superior e o valor "máximo"/ L_{43} deve ser arredondado para um valor inferior.

E então adotamos um valor de L neste intervalo de:

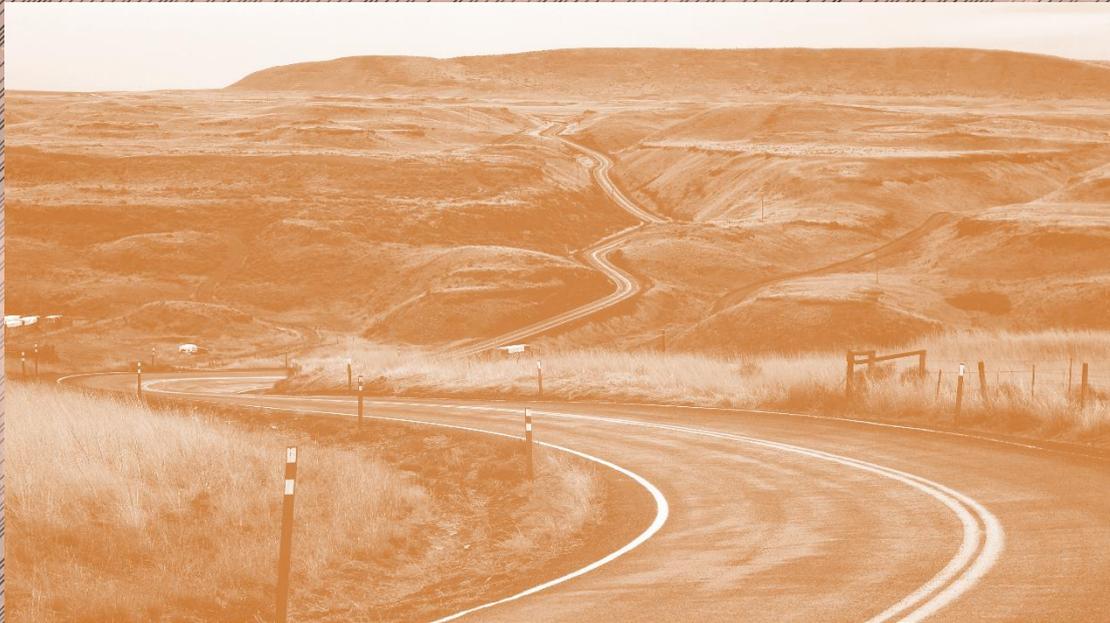
Para i_{12} : 300

Para i_{23} : 0

Para i_{34} : 260

Para o valor de L_{proj} recomenda-se que se adote um valor maior que o mínimo a critério do projetista.

Rampa	Δi	Tipo	K_{min}	L_{min}	K_{des}	L_{des}	K_{43}	L_{43}	Intervalo	L_{proj}
$i_1 = -3,2\%$	8,20%	Côncava	19	155,80	24	196,80	1,00	352,60	min=160, des=200, máx=340	300
$i_2 = 5,0\%$										
$i_3 = 4,6\%$	-0,40%	Convexa	20	8,00	29	11,60	-	-	min=20, des=0, máx=qualquer	0
$i_4 = -2,2\%$	-6,80%	Convexa	20	136,00	29	197,20	1,00	292,40	min=140, des=200, máx=280	260



PG5 – PROJETO ALTIMÉTRICO

PERFIL DE PROJETO – GREIDE

PG5 – PROJETO ALTIIMÉTRICO: PERFIL DE PROJETO – GREIDE

OBJETIVOS

1. Aprender a calcular os elementos de projeto de uma curva altimétrica;
2. Aprender a calcular os elementos altimétricos para uma estaca qualquer;
3. Sistematizar o cálculo em uma planilha: Relatório de Altimetria;
4. Identificar cotas características;
5. Reconhecer e avaliar as inconformidades altimétricas;
6. Reconhecer elementos de representação gráfica da altimetria.

CÁLCULO DO GREIDE

“Greide é o eixo de projeto em perfil longitudinal” ou “é o desenvolvimento altimétrico do perfil longitudinal de projeto da via”. O greide está constituído por **rampas e curvas verticais**.

Calcular o greide implica na definição das estacas e cotas dos pontos fundamentais das curvas verticais e no cálculo das cotas de todas as estacas inteiras (geralmente múltiplas de 20 m).

Elementos das rampas

Os pontos de inflexão verticais (PIVs) definem o posicionamento das rampas no perfil longitudinal. A posição planialtimétrica de um PIV fica definida quando se conhece, respectivamente, sua **estaca e cota**.

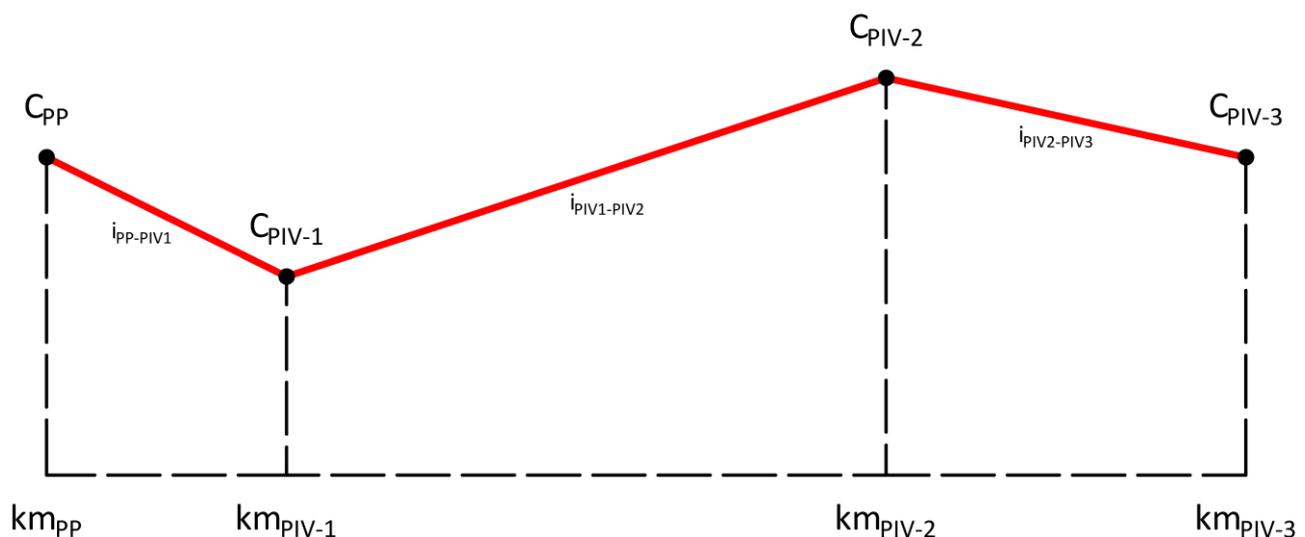


Figura 106 – Perfil altimétrico de uma rodovia

O projetista arbitra, de acordo com os critérios para lançamento de rampas, a estaca e a cota de cada PIV, conforme Figura 25. A cota do ponto de partida (C_{PP}) é um valor previamente conhecido ou arbitrado. A inclinação pode ser calculada pela proporção entre a variação de altura e distância

entre PIVs consecutivos e, geralmente, é representada em valor percentual com precisão de 4 casas decimais (Equação 82).

$$i_a = \frac{C_{PIV} - C_{PIV_a}}{km_{PIV} - km_{PIV_a}} \cdot 100 \quad \text{ou} \quad i_p = \frac{C_{PIV_p} - C_{PIV}}{km_{PIV_p} - km_{PIV}} \cdot 100 \quad (82)$$

Onde:

i_a, i_p = rampas anterior e posterior ao ponto de inflexão de interesse (%);

$C_{PIV}, C_{PIV_a}, C_{PIV_p}$ = cotas dos pontos de inflexão de interesse, anterior e posterior (m).

$km_{PIV}, km_{PIV_a}, km_{PIV_p}$ = estacas dos pontos de inflexão de interesse, anterior e posterior (km + m).

O cálculo da cota da estaca (em rampa) sempre utilizará como referência a estaca e cota do PIV anterior, bem como a rampa que inicia neste (Equação 83). A cota deve ser calculada com precisão milimétrica (3 casas decimais).

$$C_R = C_{PIV} - \frac{i_a}{100} \cdot (km_{PIV} - km_{est}) \quad (\text{quando } km_{est} > km_{PIV})$$

$$C_R = C_{PIV} + \frac{i_p}{100} \cdot (km_{est} - km_{PIV}) \quad (\text{quando } km_{est} < km_{PIV}) \quad (83)$$

Onde:

C_R, C_{PIV} = cota da estaca de interesse em rampa e cota do ponto de inflexão de interesse (m);

i_a, i_p = rampa anterior e posterior ao ponto de inflexão de interesse (%);

km_{PIV}, km_{est} = estaca do ponto de inflexão e da estaca de interesse (m).

Elementos da curva de concordância vertical

A curva de concordância vertical se caracteriza pela estaca e cota do PIV, por suas rampas (anterior e posterior) e pelo comprimento da projeção da parábola de segundo grau (L ou X_a e X_p). Como elementos secundários temos a flecha (e) e o parâmetro de curvatura da parábola (K), conforme Figura 107.

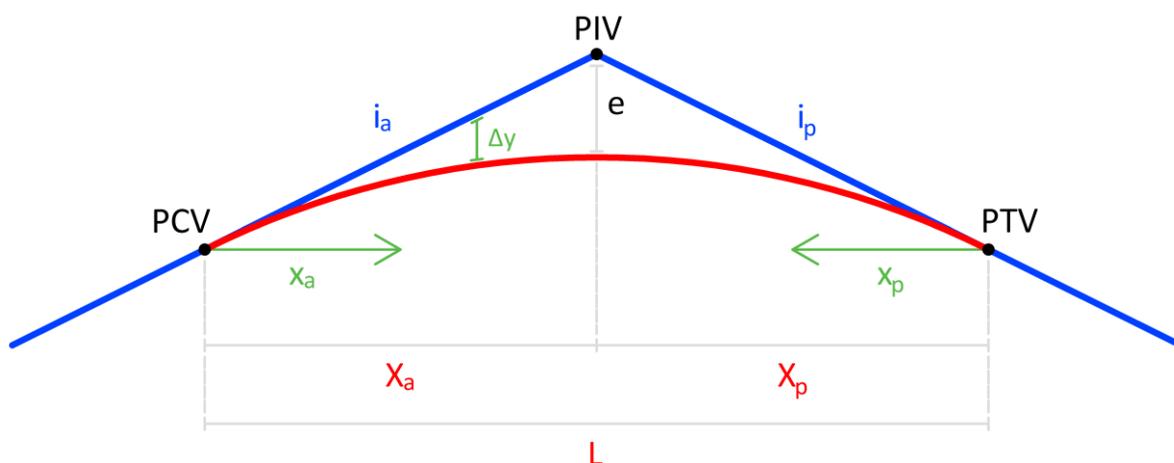


Figura 107 – Elementos da curva vertical

O valor da flecha pode ser obtido através da Equação 84 (parábola simples) ou Equação 85 (parábola composta ou qualquer). O parâmetro de curvatura da parábola (K) pode ser extraído da Equação 81, utilizando-se no lugar de L_{min} a projeção da parábola em questão (L ou X_a e X_p).

$$e = \frac{1}{8} \cdot L \cdot \frac{(i_p - i_a)}{100} \quad (84)$$

$$e = \frac{1}{2} \cdot \frac{X_a \cdot X_p}{(X_a + X_p)} \cdot \frac{(i_p - i_a)}{100} \quad (85)$$

Onde:

e = flecha da parábola (m);

X_a, X_p = projeções anterior e posterior da parábola (m);

i_a, i_p = rampas anterior e posterior ao PIV (%);

L = projeção da parábola simples (m). [somente quando $X_a = X_p$]

O **sinal positivo da flecha** indica uma curva de concordância vertical (parábola) **côncava** , o **sinal negativo indica uma parábola convexa** .

Os pontos de início de curva vertical (PCV) e de fim de curva vertical (PTV) devem ser demarcados através da estaca e cota. As equações 86 e 87 determinam a posição no estaqueamento do PCV e PTV. As cotas são obtidas através das equações 88 e 89.

$$km_{PCV} = km_{PIV} - X_a \quad (86)$$

$$km_{PTV} = km_{PIV} + X_p \quad (87)$$

$$C_{PCV} = C_{PIV} - X_a \cdot \frac{i_a}{100} \quad (88)$$

$$C_{PTV} = C_{PIV} + X_p \cdot \frac{i_p}{100} \quad (89)$$

Onde:

$km_{PCV}, km_{PIV}, km_{PTV}$ = estacas do PCV, do PIV e do PTV (km + m);

X_a, X_p = projeções anterior e posterior da parábola (m);

$C_{PCV}, C_{PIV}, C_{PTV}$ = cotas do PCV, do PIV e do PTV (m);

i_a, i_p = rampas anterior e posterior ao ponto de inflexão de interesse (%).

Cálculo do greide

O cálculo do greide consiste em determinar a cota de projeto para as estacas inteiras e para as estacas de pontos notáveis (PCV e PTV). A cota do greide na estaca do PIV será igual a cota do PIV subtraída a flecha (e).

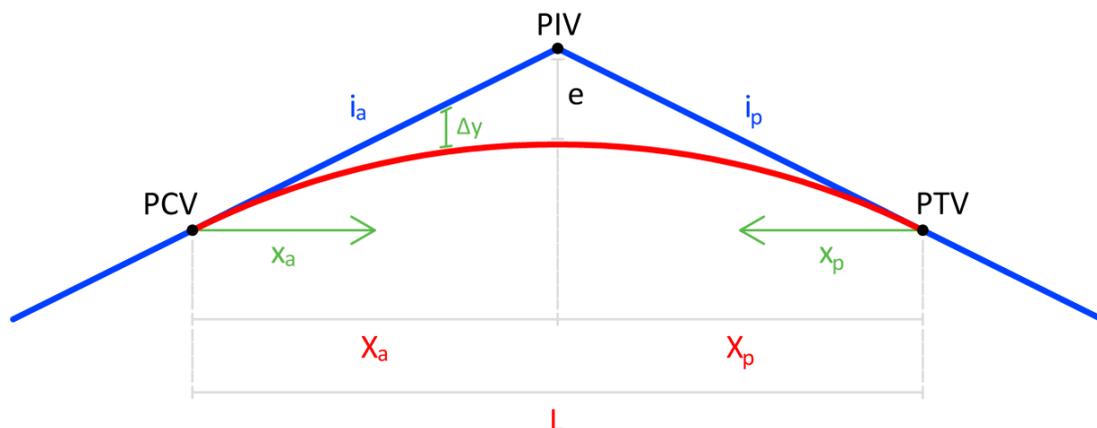


Figura 108 – Cálculo do greide

Para determinar a cota do greide em rampas (segmentos entre o PTV da curva anterior e o PCV da nova curva) basta aplicar a Equação 88 ou 89. Na realidade, **a Equação 88 e 89 é utilizada para determinar a cota, em rampa, de todas as estacas.**

Dentro da curva de concordância vertical, o greide não segue mais as rampas, apresentando uma diferença de altura variável conforme a estaca (Δy). Este **Δy varia entre 0 e a flecha da curva (e) do PCV até o PIV e desta até 0 no PTV.** O Δy pode ser calculado através da Equação 90.

$$\Delta y = e \cdot \frac{x_a^2}{X_a^2} \quad (\text{quando } x_a \leq X_a)$$

$$\Delta y = e \cdot \frac{x_p^2}{X_p^2} \quad (\text{quando } x_p \leq X_p)$$
(90)

Onde:

Δy = variação altimétrica entre a parábola e a rampa (m);

e = flecha da parábola (m);

X_a, X_p = projeções anterior e posterior da parábola (m);

x_a = distância da estaca de interesse até o PCV (m);

x_p = distância da estaca de interesse até o PTV (m).

A variável x_a (minúsculo) indica a distância até o PCV quando a estaca em questão estiver no segmento entre o PCV e o PIV, e a referência se altera para o PTV, quando a estaca estiver entre PIV e PTV. O valor x_i será sempre positivo e variando de 0 até X_a ou X_p (maiúsculo).

Uma vez calculada a variação altimétrica por estaca, a mesma deverá ser adicionada a cota calculada em rampa, para a mesma estaca. O valor positivo ou negativo do Δy é dado pela flecha (e) e deve ser considerado no cálculo do greide.

RELATÓRIO DE ALTIMETRIA

PIV	PONTOS CARACTERÍSTICOS					ELEMENTOS ALTIMÉTRICOS									
	PCV		PIV		PTV	EM CURVA			EM RAMPA						
	Est. ou km	Cota (m)	Est. ou km	Cota (m)	Est. ou km	Cota (m)	e (m)	X1 (m)	X2 (m)	Δi (%)	k (m)	ΔPIV (m)	ΔCota (m)	Comp. (m)	i (%)
PP			0+000,000	93,300								300,000	-15,000	200,000	-5,0000
1	0+200,000	83,300	0+300,000	78,300	0+400,000	80,300	1,750	100,000	100,000	7,0000	28,57	380,000	7,600	180,000	2,0000
2	0+580,000	83,900	0+680,000	85,900	0+780,000	93,900	1,500	100,000	100,000	6,0000	33,33	300,000	24,000	100,000	8,0000
3	0+880,000	101,900	0+980,000	109,900	1+050,000	108,500	-2,059	100,000	70,000	-10,0000	-17,00	216,929	-4,339	146,929	-2,0000
PF			1+196,929	105,561											

(a) calculada

PIV	PONTOS CARACTERÍSTICOS					ELEMENTOS ALTIMÉTRICOS									
	PCV		PIV		PTV	EM CURVA			EM RAMPA						
	Est. ou km	Cota (m)	Est. ou km	Cota (m)	Est. ou km	Cota (m)	e (m)	X1 (m)	X2 (m)	Δi (%)	k (m)	ΔPIV (m)	ΔCota (m)	Comp. (m)	i (%)
PP			0+000,000	93,300											
1			0+300,000	78,300			100,000	100,000							
2			0+680,000	85,900			100,000	100,000							
3			0+980,000	109,900			100,000	70,000							
PF			1+196,929	105,561											

(b) dados iniciais

PIV	PONTOS CARACTERÍSTICOS					ELEMENTOS ALTIMÉTRICOS									
	PCV		PIV		PTV	EM CURVA			EM RAMPA						
	Est. ou km	Cota (m)	Est. ou km	Cota (m)	Est. ou km	Cota (m)	e (m)	X1 (m)	X2 (m)	Δi (%)	k (m)	ΔPIV (m)	ΔCota (m)	Comp. (m)	i (%)
PP			0+000,000	93,300											
1			0+300,000	78,300				100,000	100,000						
2			0+680,000	85,900				100,000	100,000						
3			0+980,000	109,900				100,000	70,000						
PF			1+196,929	105,561											

(c) etapas do cálculo

Figura 109 – Relatório de altimetria

COTAS CARACTERÍSTICAS

O cálculo do greide é realizado para todas as estacas “inteiras” do trecho. Dessa forma, tem-se as cotas de projeto para essas posições de forma a serem utilizadas no canteiro de obras. Além das cotas do estaqueamento e dos elementos que definem o greide (PCV, PIV e PTV) devem ser registradas as cotas características do projeto. As cotas características são divididas em três grupos:

- **Cota inicial e final:** as cotas de início e término do trecho se prestam para caracterizar a tendência de aclave (diferença positiva) ou declive (diferença negativa) do projeto de greide;
- **Cota máxima e mínima do trecho:** são únicas, podendo ser coincidentes com as cotas inicial e final, ou não. A informação de cota máxima e cota mínima permitem identificar a **amplitude de cotas** do trecho;
- **Cotas máximas e mínimas locais:** as curvas de concordância vertical podem produzir cotas mínimas e máximas. Estas cotas, bem como sua posição, são extremamente importantes:
 - cotas mínimas → dispositivos de drenagem
 - cotas máximas → gabarito vertical da seção transversal.

Determinação das cotas máximas e mínimas locais

Nem toda a curva de concordância vertical irá apresentar cota máxima ou mínima local. Para uma curva de concordância vertical ter essa característica é necessário que **as inclinações anterior e posterior tenham sinais contrários**. Nas imagens da Figura 69 apenas a primeira de cada grupo apresenta cota máxima ou mínima. Quando uma das rampas estiver em nível ($i = 0\%$) a cota mínima ou máxima estará fora da curva de concordância vertical, ou seja, sobre **TODO** o trecho em rampa.

Curvas de concordância vertical com inclinações de sinais diferentes serão subdivididas em:

- **Curvas convexas → cota máxima;**
- **Curvas côncavas → cota mínima.**

Para determinar a posição de ocorrência do ponto de cota mínima (ou máxima) devemos relembrar alguns conceitos sobre derivadas (cálculo diferencial) “A derivada pode ser interpretada geometricamente como a inclinação da reta tangente a um ponto da curva.” No ponto onde a inclinação é **igual a zero (ponto de inflexão) tem-se o valor mínimo ou máximo**. A Equação 91 indica o cálculo de uma cota de uma estaca a partir dos elementos da curva.

$$C_G = C_{PCV} + \frac{i_a}{100} \cdot |x_a| + \Delta y \quad \text{ou} \quad C_G = C_{PTV} - \frac{i_p}{100} \cdot |x_p| + \Delta y \quad (91)$$

Substituindo Δy a partir da Equação 91, tem-se a Equação 92.

$$C_G = C_{PCV} + \frac{i_a}{100} \cdot |x_a| + \frac{e \cdot x_a^2}{X_a^2} \quad \text{ou} \quad C_G = C_{PTV} - \frac{i_p}{100} \cdot |x_p| + \frac{e \cdot x_p^2}{X_p^2} \quad (92)$$

Derivando a Equação 92 em função de x tem-se a Equação 93. É importante salientar que a derivada da cota na estaca representa a inclinação pontual nesta estaca.

$$C'_{est} = i_{est} = \left(\frac{i_a}{100} + \frac{2 \cdot e \cdot |x_a|}{X_a^2} \right) \cdot 100 \quad (\text{quando } x_a \leq X_a)$$

$$C'_{est} = i_{est} = \left(\frac{i_p}{100} - \frac{2 \cdot e \cdot |x_p|}{X_p^2} \right) \cdot 100 \quad (\text{quando } x_p \leq X_p) \quad (93)$$

Se substituirmos a distância da estaca até a extremidade da curva (x_a) na equação da declividade da estaca por um novo elemento caracterizado pela distância até a estaca de máximo/mínimo (m_a) e igualarmos esta expressão a zero, podemos isolar esta nova variável e obter uma equação direta para o cálculo das cotas extremas locais, como demonstra a Equação 94.

$$m_a = \left| \frac{i_a \cdot X_a^2}{200 \cdot e} \right| \quad (\text{quando } m_a \leq X_a) \quad (94)$$

Em curvas com **parábola composta** ($X_a \neq X_p$) o valor de m_a deverá ser considerado apenas se seu módulo for menor que X_a (primeiro ramo da parábola). Se este for maior, o encaminhamento deve ser pelo outro ramo da parábola, tendo como referência a estaca do PTV, utilizando-se a Equação 95.

$$m_p = \left| \frac{i_p \cdot X_p^2}{200 \cdot e} \right| \quad (\text{quando } m_p \leq X_p) \quad (95)$$

Uma vez calculada a estaca de cota mínima ou máxima procede-se o cálculo de sua cota conforme visto no capítulo anterior.

Onde:

C_G, C_{PCV}, C_{PTV} = cotas da estaca de interesse no greide, do PCV e do PTV (m);

i_a, i_p = rampas anterior e posterior ao ponto de inflexão de interesse (%);

x_a = distância da estaca até o PCV (m);

x_p = distância da estaca até o PTV (m);

Δy = variação altimétrica entre a parábola e a rampa (m);

e = flecha da parábola (m);

X_a, X_p = projeções anterior e posterior da parábola (m).

ANÁLISE DAS INCONFORMIDADES ALTIMÉTRICAS

As inconformidades altimétricas podem ser de dois tipos: **erros** e **alertas**. Enquanto os erros devem ser **obrigatoriamente** corrigidos, os alertas podem ser **corrigidos ou justificados**.

Erros

Erros altimétricos podem se apresentar de duas formas distintas:

- **Sequência de PIVs fora de ordem:** o estaqueamento dos PIVs deve ser sempre crescente. A ocorrência de um PIV com estaca inferior a um PIV_a anterior é considerada erro grave, devendo ser corrigidos imediatamente.
- **Projeções sobrepostas:** as curvas de concordância verticais iniciam no PCV e se concluem no PTV. É considerado erro grave ter curvas “acavaladas” (sobrepostas) mesmo que parcialmente. Curvas de concordância verticais sucessivas poderão ter estaca de $km_{PTV} = km_{PCV_p}$, neste caso costuma-se denominar este ponto de PCCV (Ponto de Concordância de Curva Vertical).

Alertas

Os alertas não são erros, eles indicam valores fora de norma ou problemas de ordem menor. Recomenda-se a adoção de valores em conformidade com a norma. Se isto não for possível, pode-se, mediante justificativa técnica, adotar um valor fora de norma. Os alertas altimétricos são:

- **km_{PPV} ou km_{PFV} diferentes do km_{PP} ou km_{PF} :** os pontos de início e término de um projeto altimétrico (greide) geralmente correspondem ao início e fim do projeto planimétrico (eixo). Em casos excepcionais (projeto de interseções nos extremos, por exemplo) é possível que estes assumam valores distintos.
- **Rampa máxima além da norma:** rampa incompatível com a classe e região definidos para o projeto. Recomenda-se avaliar alternativas para enquadrar o valor conforme o apresentado na norma. Em condições extremas é possível encaminhar justificativa.
- **Rampa mínima insatisfatória:** a rampa mínima tem por objetivo favorecer a drenagem do corpo estradal, devendo ser respeitada. Em aterros altos é possível praticar rampas em nível (declividade = 0%). Em situações adversas podem ser estudados dispositivos de drenagem para amenizar impactos negativos.
- **Ponto de cota mínima em corte:** embora esteja classificado como alerta e não como erro é considerado pelos projetistas como um “erro” de projeto, devendo ser evitado.
- **Parâmetro K inferior ao mínimo:** valor fora de norma que indica sérios problemas de visibilidade de parada.
- **Parâmetro $K \geq 43$ para curvas verticais com rampas de sinais contrários:** estas curvas terão que, obrigatoriamente, passar pela declividade de 0%. Quando o parâmetro K é igual ou superior a 43, nesta condição, surge um trecho significativamente comprido com declividade próxima a 0%, dificultando a drenagem da via.

DESENHO ALTIMÉTRICO

O desenho altimétrico ocupa, geralmente, a parte inferior da prancha de desenho. Usualmente representado nas escalas horizontais 1:500, 1:1000, 1:2000 ou 1:4000, o desenho altimétrico tem a escala vertical ampliada em 10 vezes (1:50, 1:100, 1:200 ou 1:400) de forma a melhor caracterizar os desníveis do terreno natural (na Figura 27 em verde) e do projeto (preto em destaque). O quadro da altimetria pode variar muito em suas dimensões, mas usualmente se apresenta em prancha formato A1 com extensão de 1500 metros e altura de 40 metros nas escalas H 1:200 e V 1:200. Trechos com fortes aclives ou declives podem ocasionar o transporte de coordenadas que nada mais é do que ajustar novas referências de cota para que o perfil longitudinal possa ser observado dentro do quadro.

Os pontos PCV, PIV e PTV são marcados em destaque com estaca e cota. Na grade de elementos altimétrico são colocadas as informações sobre a curva de concordância vertical (L ou X_a e X_p , e , Δi e K) e da rampa (d e i). Para a marcação quilométrica, existente na parte inferior da grade, há duas outras colunas, uma contendo as cotas de terreno e a outra as cotas de projeto.

Outros elementos, como sondagens, bueiros, perfis geológicos, referências de nível, também são representados. É usual ter uma representação em esquema linear da planimetria sobre a altimetria, visto que a primeira, em função das curvas, não está alinhada com a última.

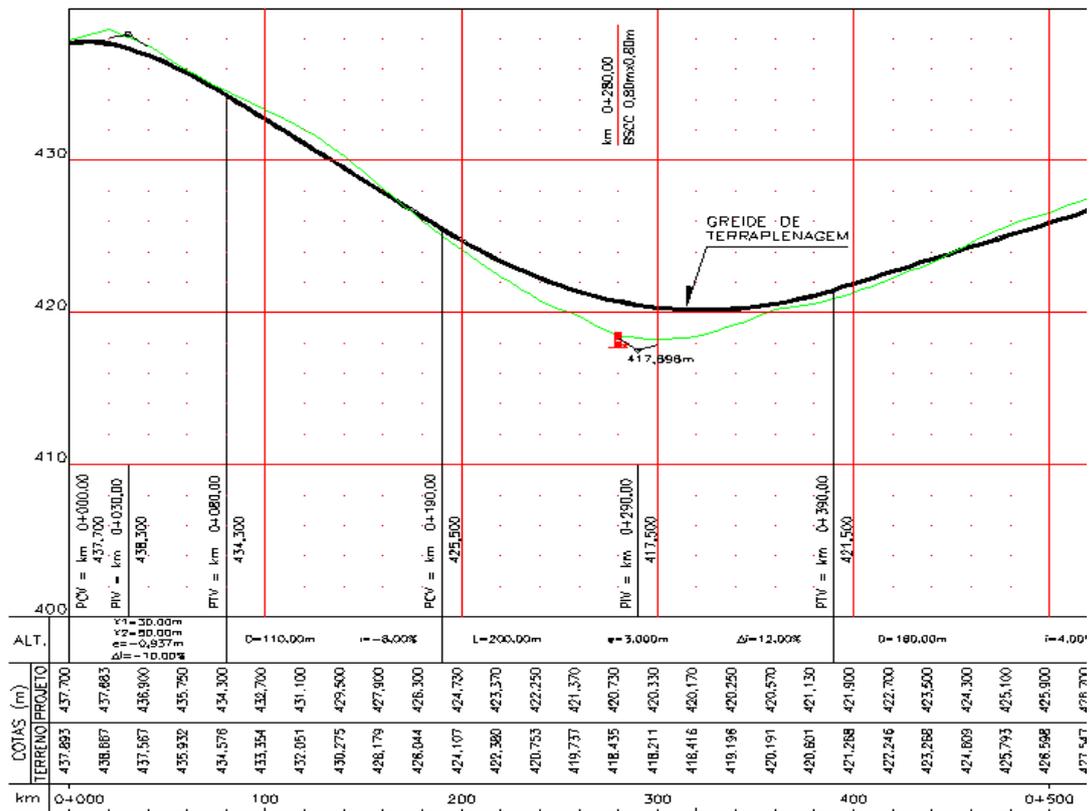


Figura 110 – Desenho altimétrico

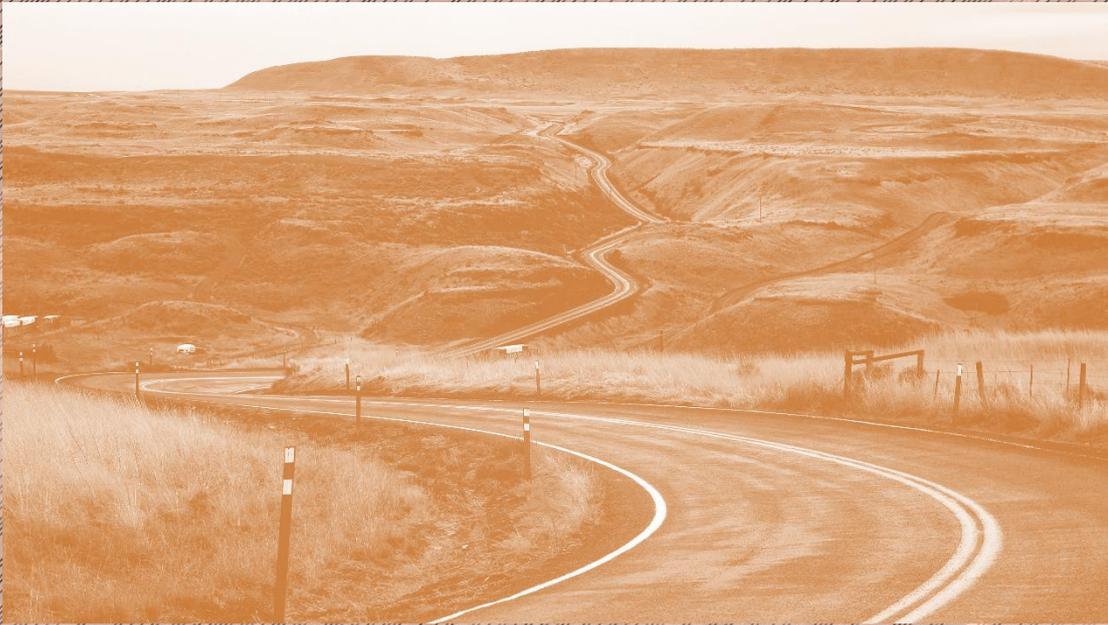
EXERCÍCIOS

Determine com base no relatório de altimetria (RAT) da Figura 28:

1. a cota e inclinação das estacas (a) 0 + 180; (b) 0 + 240; (c) 0 + 760 e (d) 1 + 000;
2. as estacas e cotas das cotas mínimas e máximas locais;
3. as demais cotas características do projeto de greide.

Respostas:

1. (a) 84,300 e $i = -5,00\%$;
(b) 81,580 e $i = -3,60\%$;
(c) 92,360 e $i = 7,40\%$;
(d) 108,450 e $i = 2,20\%$;
2. Cotas características locais:
km 0 + 342,857 cota 79,729 (mínimo local)
km 1 + 026,200 cota 108,738 (máximo local)
3. Demais cotas características:
km 0 + 000,000 cota 93,300 (inicial)
km 1 + 196,929 cota 105,561 (final)
diferença 12,261 m (predominância de acíves)
km 0 + 342,857 cota 79,729 (mínimo global)
km 1 + 026,200 cota 108,738 (máximo global)
amplitude de cotas 29,009 m



PG6 – PROJETO PLANIALTIMÉTRICO CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS

PG6 – PROJETO PLANIALTIMÉTRICO: CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS

OBJETIVOS

1. Reconhecer a importância de indicadores de desempenho de características técnicas;
2. Aprender a determinar indicadores planimétricos:
 - a. acréscimo sobre a diretriz;
 - b. tortuosidade.
3. Aprender a determinar indicadores altimétricos:
 - a. comprimento virtual.
4. Reconhecer outros indicadores.

TIPOS

Não existem duas rodovias iguais. A afirmativa anterior indica a dificuldade em confrontar diferentes traçados. Classificar, agrupar e hierarquizar traçados, através de indicadores, possibilita confrontar diferentes projetos, permitindo a análise e, conseqüente, opção pela melhor alternativa de projeto. Em projetos geométricos os indicadores listados abaixo oferecem uma boa compreensão das características geométricas adotadas:

- Acréscimo sobre a diretriz;
- Tortuosidade;
- Comprimento virtual.

CARACTERÍSTICAS PLANIMÉTRICAS

Acréscimo sobre a diretriz

O acréscimo sobre a diretriz é um valor percentual que indica a proporção entre o desenvolvimento do segmento viário (sua extensão) pela distância em diretriz (distância em linha reta entre as coordenadas x e y do Ponto de Partida – PP e do Ponto Final – PF). Para fins de indicar a parcela de acréscimo apenas, é descontado o valor 1, conforme a Equação 96.

$$A = \left(\frac{E}{D} - 1 \right) \cdot 100 \quad (96)$$

Onde:

A = acréscimo sobre a diretriz (%);

E = extensão do trecho (m);

D = distância em diretriz (m).

A extensão do trecho pode ser obtida através da diferença entre o km do PT do ponto de partida e o km PC do ponto final. A distância em diretriz pode ser obtida através da equação 5, utilizando-se as coordenadas x e y dos pontos inicial e final.

Tortuosidade

É um parâmetro geométrico vinculado ao desenvolvimento horizontal da via (curvas horizontais). A tortuosidade está relacionada com a **segurança e o conforto** do usuário. Através da tortuosidade, pode-se comparar traçados sob o ponto de vista planimétrico.

Do ponto de vista de análise, quanto menor o valor da tortuosidade do trecho, menos sinuoso ele é, portanto, mais confortável e seguro para o condutor.

Conduto, deve-se tomar cuidado para que esta sensação de segurança passada para o motorista não cause no mesmo um relaxamento quanto à atenção ao volante. O relaxamento da atenção pode vir a ocasionar acidentes e fatalidades pela desatenção do motorista.

Tortuosidade em uma curva circular simples

A tortuosidade em curva circular simples pode ser calculada pela Equação 97.

$$T_c = \frac{AC}{R} \quad (97)$$

Onde:

T_c = tortuosidade da curva simples (°/m);

AC = ângulo central (° **decimais**);

R = raio da curva (m).

Pela equação, percebe-se que quanto maior o ângulo central, maior a tortuosidade, e quanto menor o raio, maior a tortuosidade. Isso nos diz que, traçados cujas curvas circulares são “fechadas” possuem uma tortuosidade maior, dando ao usuário um desconforto na hora de realizar a curva e, além disso, tornando esta manobra mais perigosa, exigindo do condutor maior firmeza e atenção na direção.

Tortuosidade em curva de transição

A tortuosidade em curva de transição utiliza como parâmetros de entrada o ângulo da transição (Sc) e o ângulo central do trecho circular (θ). Estas informações podem ser obtidas através das equações 9 e 10, vistas no tópico PG2. É importante ressaltar que essas equações fornecem o ângulo em radianos e o utilizado no cálculo da tortuosidade deve estar em graus decimais (deve-se proceder a conversão). A Equação 98 retorna a tortuosidade da curva de transição.

$$T_t = \frac{\theta + \frac{(Sc_a + Sc_p)}{3}}{R} \quad (98)$$

Onde:

T_t = tortuosidade da curva de transição (°/m);

θ = ângulo central do trecho circular (° **decimais**);

Sc_a, Sc_p = ângulos de transição anterior e posterior à curva (° **decimais**);

R = raio da curva (m).

Tortuosidade total

A tortuosidade total é obtida pelo somatório de todas as tortuosidades das curvas que compõem o projeto geométrico, ou seja, é uma composição dos trechos em curva circular simples e curvas com

transição. O valor obtido pela Equação 99 ainda não é um indicador que permita a comparação entre trechos ou alternativas distintas.

$$T_{TOT} = \sum_{i=0}^n T_{c_i} + \sum_{j=0}^m T_{t_j} \quad (99)$$

Onde:

T_{TOT} = tortuosidade total (°/m);

T_{c_i} = tortuosidade da curva simples (°/m);

T_{t_j} = tortuosidade da curva com transição (°/m).

Tortuosidade média

A tortuosidade média é obtida dividindo-se a tortuosidade total pela extensão do trecho em quilômetros (Equação 100). A unidade resultante será $\frac{^\circ}{m.km}$.

$$T_{MED} = \frac{T_{TOT}}{E} \quad (100)$$

Onde:

T_{MED} = tortuosidade média [°/(m.km)];

T_{TOT} = tortuosidade total (°/m);

E = extensão do trecho (km).

A tortuosidade média permite identificar quão sinuoso é um segmento viário. Para efeitos de comparação, **quanto menor o valor → melhor a alternativa de projeto planimétrico.**

Uma outra maneira mais rápida de se encontrar a tortuosidade de um trecho rodoviário é através da relação entre as somas de todos os ângulos centrais (AC para curvas circulares simples e o termo $\theta + \frac{(Sc1+Sc2)}{3}$ para curvas com transição do trecho e a distância total do mesmo. Contudo, para esta disciplina utilizaremos as equações aqui descritas. A vantagem de utilizá-las é que elas nos permitem saber o valor da tortuosidade de cada curva, e isso pode ser muito útil no projeto pois saberemos onde possuímos margens de alteração para melhorar essa condição do nosso projeto geométrico.

CARACTERÍSTICAS ALTIMÉTRICAS

Comprimento virtual

O comprimento virtual é uma característica que nos permite comparar a altimetria dos traçados. Ele é basicamente sentido pelo consumo do carro, por exemplo, quando você viaja de Porto Alegre, que está numa elevação de 10 m, a Bento Gonçalves, que está numa elevação de 690 m, tanto para ir quanto para voltar a distância entre as duas cidades é a mesma, de aproximadamente 130 km. Contudo, ao fazer esta viagem no sentido Porto Alegre - Bento Gonçalves o carro “sofre” muito mais, pois você tem de vencer uma diferença de altitude de 680 m e por isso, você irá estar subindo a maior parte da viagem, muito provavelmente levará mais tempo e consumirá mais combustível; quando o sentido é o oposto a situação muda, a viagem se torna mais rápida e sua média de combustível pode melhorar, já que você está descendo e, para isso, o esforço do carro é menor.

Comprimento virtual é o comprimento fictício em **reta e nível**, que corresponde ao mesmo trabalho mecânico despendido pelo veículo que percorre a estrada cujo traçado se estuda (Equação 101). Este viabiliza a análise e a comparação entre perfis longitudinais de dois ou mais projetos viários.

$$CV = \sum CV_N + \sum CV_A + \sum CV_D \quad (101)$$

Onde:

CV = comprimento virtual da extensão projetada (**m**);

CV_N = comprimento virtual do trecho em nível (**m**);

CV_A = comprimento virtual do trecho em aclave (**m**);

CV_D = comprimento virtual do trecho em declive (**m**).

Os comprimentos virtuais em nível (CV_N) e declive (CV_D) são considerados iguais ao comprimento real - C_N e C_D (distância obtida entre as estacas dos PIVs para uma determinada rampa). Isso nos mostra que, para o mesmo exemplo da viagem no sentido Bento Gonçalves - Porto Alegre, as parcelas predominantes no cálculo do comprimento virtual serão as de trecho de declive e em nível, ou seja, a distância não sofrerá acréscimos, permanecendo o seu comprimento real.

Nos trechos em aclave, o veículo terá que realizar um trabalho mecânico superior e, portanto, seu comprimento virtual será função do comprimento real, acrescido de taxa em função da declividade da rampa, conforme Equação 102.

$$CV_A = C_A \cdot \left(1 + \frac{i}{100 \cdot r}\right) \quad (102)$$

Onde:

CV_A = comprimento virtual do trecho em aclave (**m**);

C_A = comprimento real do trecho em aclave (**m**);

i = declividade da rampa (%);

r = coeficiente de resistência ao rolamento (**adimensional**). [usualmente 0,02]

Substituindo-se a equação 102 em 101 e desenvolvendo-se tem-se:

$$CV = \sum CV_N + \sum C_A \cdot \left(1 + \frac{i}{100 \cdot r}\right) + \sum CV_D$$

$$CV = \sum CV_N + \sum C_A + \sum C_A \cdot \frac{i}{100 \cdot r} + \sum CV_D$$

como:

$$CV_N = C_N \quad CV_D = C_D \quad C_{TOT} = \sum C_N + \sum C_A + \sum C_D$$

tem-se:

$$CV = C_{TOT} + \sum C_A \cdot \frac{i}{100 \cdot r} \quad (103)$$

CV = comprimento virtual da extensão projetada (**m**);

C_{TOT} = comprimento real total do sentido (**m**);

C_A = comprimento real dos trechos em aclave no sentido calculado (**m**).

Isso nos mostra matematicamente que, na nossa viagem no sentido Porto Alegre - Bento Gonçalves seria como se a distância fosse aumentada, por conta da grande presença de trechos em aclive que acabam adicionando mais termos à soma.

O comprimento virtual do trecho deve considerar os dois sentidos do tráfego. Para tanto, no sentido de ida (sentido do estaqueamento) os aclives sofrerão a correção e, no sentido de volta (sentido contrário) os declives é que passarão a ser considerados aclives. Desta forma, passa-se a ter dois comprimentos virtuais para um trecho viário: o de ida e o de volta. Estes valores podem ser próximos (em trechos onde não há uma diferença muito significativa de cotas entre o PP e o PF) ou bem distintos.

O comprimento virtual de um trecho resulta da média aritmética dos comprimentos virtuais de ida e volta, conforme Equação 104.

$$CV = \frac{CV_{IDA} + CV_{VOLTA}}{2} \quad (104)$$

Onde:

CV = comprimento virtual médio do traçado (**m**);

CV_{IDA} = comprimento virtual no sentido do estaqueamento (**m**);

CV_{VOLTA} = comprimento virtual no sentido contrário ao do estaqueamento (**m**).

IDENTIFICANDO OS DADOS

Com a utilização do software SAEPRO, a obtenção destes dados é facilmente feita. O próprio software emite o Relatório de Características Técnicas que contém estas informações, conforme mostrada na Figura 111, apresentada na página seguinte.

No relatório apresentado, podemos identificar os parâmetros planialtimétricos. A tortuosidade, circulada em verde, é apresentada em total para o trecho e a tortuosidade média, utilizada para comparações. Em verde destacamos a distância em diretriz, o valor utilizado para fins de comparativos é o acréscimo sobre diretriz em porcentagem.

À direita conseguimos observar os parâmetros altimétricos, destacado em ciano encontra-se o comprimento virtual médio do trecho.

CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS										
Rodovia: Grupo de Eixos 1										
Trecho: alinhamento1										
Segmento: km. 0+000,00 ao km. 7+129,33										
CARACTERÍSTICAS GERAIS										
DE PROJETO		PLANALIMÉTRICAS				SEÇÕES TRANSVERSAIS				
NORMA	DNIT	RAIO MIN. COM TRANS.	50,000	K MIN/DÉS CÔNCAVA	7 / 7	LARG. PISTA DE ROL.		PLATAFORMA ATERRO		
CLASSE DA RODOVIA	III	RAIO MIN. SIMPLES	300,000	K MIN/DÉS CONVEXA	5 / 5	LARG. ACOST. INT.		PLATAFORMA CORTE		
RECÍPIO	Montanhosa	RAMPA MÁXIMA	10,000	DIST. VIS. PARADA		LARG. ACOST. EXT.		TALUDE ATERRO		
VELOCIDADE DIRETRIZ	40	RAMPA MÍNIMA	0,300	DIST. VIS. ULTRAP.		ABAULAMENTO		TALUDE CORTE 1ª CAT.		
		EXTENSÃO TOTAL	7129,330	FAIXA DOM. (LE/LD+OFF)	15 / 15 + 5	SUPERELEVÇÃO MÁX.		TALUDE CORTE 3ª CAT.		
PLANIMETRIA					ALTIMETRIA					
DISTRIBUIÇÃO DE CURVAS					VARIAÇÃO ALTIMÉTRICA					
T	RAIOS (m)	FREQ.	Dc (m)	%	Lc1+Lc2 (m)	%				
R	R mínimo = 140,000	1	34,189	0,48	60,000	0,84				
A	140,000 < R ≤ 100,000									
N	100,000 < R ≤ 200,000	5	544,250	7,63	590,000	8,28				
S	200,000 < R ≤ 300,000	11	1547,997	21,71	1180,000	16,55				
I	300,000 < R ≤ 500,000									
C	R > 500,000									
TOTAL EM TRANSIÇÃO		17	2126,436	29,83	1830,000	25,67				
S	RAIOS (m)	FREQ.	Dc (m)	%						
R	R mínimo = 300,000	1	70,618	0,99						
M	300,000 < R ≤ 500,000	3	502,677	7,05						
P	500,000 < R ≤ 700,000									
L	700,000 < R ≤ 1000,000									
E	1000,000 < R ≤ 1500,000									
S	R > 1500,000									
TOTAL SIMPLES		4	573,295	8,04						
TOTAL EM CURVA		21	2699,731	37,87	6656,167	93,36				
EXTENSÃO DAS INTERTANGENTES										
MÍNIMA		MÁXIMA		TOTAL						
EXTENSÃO (m)	%	EXTENSÃO (m)	%	EXTENSÃO (m)	%	EXTENSÃO (m)	%			
21,241	0,30	326,825	4,58	2599,600	36,46					
PARÂMETROS PLANIMÉTRICOS					PARÂMETROS ALTIMÉTRICOS					
TORTUOSIDADE		DISTÂNCIA EM DIRETRIZ			COMPRIMENTO VIRTUAL IDA		COMPRIMENTO VIRTUAL VOLTA		COMPRIMENTO VIRTUAL MÉDIO	
TOTAL (°/m)	MÉDIA (°/m.km)	EXTENSÃO (m)	ACRÉSCIMO (%)	EXTENSÃO (m)	%	EXTENSÃO (m)	%	EXTENSÃO (m)	%	
3,595	0,504	5909,996	20,632	9981,968	140,01	24773,873	347,49	17377,920	243,75	
CARACTERÍSTICAS OPERACIONAIS										
ANO DE ABERTURA	VDM ABERTURA	PARÂMETRO								
ANO FINAL DA VIDA ÚTIL	VDM FINAL									

Figura 111 - Relatório de características técnicas

EXERCÍCIOS RESOLVIDOS

1. Considere que a Planilha de Coordenadas fornecida é de uma rodovia Classe III na Região Montanhosa. Determine o **acréscimo sobre a diretriz** da rodovia.

PI	ESTAQUEAMENTO (Est. ou km)				PARÂMETROS DA CURVA							ALINHAMENTO			COORDENADAS		
	PC ou TE	EC	CE	PT ou ET	AC (°''')	R (m)	Lc1 (m)	Lc2 (m)	Dc (m)	T1 (m)	T2 (m)	Az (°''')	IntTan (m)	ΔPI (m)	X (m)	Y (m)	
PP				?											483660,6205	?	
1	3+701,314	3+761,314	3+874,361	3+934,361	66°05'56,65" D	?	?	?	113,047	128,205	128,205	?	501,314	?	483787,5985	6679711,1701	
2	4+364,100	4+444,100	4+544,539	4+624,539	51°41'31,58" E	?	?	?	100,439	137,474	137,474	234°27'44,36"	429,739	695,418	483221,7136	6679306,9666	
3	4+942,130	5+092,130		?	72°47'00,48" D	250,000	150,000	150,000		?	261,791	261,791	182°46'12,78"	317,591	716,855	483187,0676	6678590,9490
4	5+594,428			5+897,743	57°55'44,05" D	300,000			303,315	166,049	166,049	255°33'13,26"	184,720	612,560	482593,8752	6678438,1318	
5	?	?	6+361,005	6+511,005	72°32'29,84" E	250,000	150,000	150,000		?	260,966	260,966	313°28'57,31"	146,740	573,755	482177,5682	6678832,9520
PF	?												?	370,666	?	?	6678526,1618

RESOLUÇÃO

Calcularemos o acréscimo sobre a diretriz através da equação 94. Mas, para isso, precisamos conhecer antes a extensão do traçado(E) e a distância em diretriz (D). Iniciaremos calculando a extensão do trecho, que é dada por:

$$E = km_{PC - PF} - km_{PT - PP}$$

Para achar a extensão, precisamos antes calcular o km dos dois pontos notáveis. Ambos os valores podem ser rapidamente encontrados através da intertangente. Portanto temos que:

Para o PC do ponto final:

$$km_{PC - PF} = km_{PT - PI 5} + Int.Tan_{5 - PF}$$

$$km_{PC - PF} = 6.511,005 + 370,666$$

$$km_{PC - PF} = 6.881,671$$

Para o PT do ponto de partida:

$$km_{PT - PP} = km_{PC - PI 1} - Int.Tan_{PP - 1}$$

$$km_{PT - PP} = 3.701,314 - 501,314$$

$$km_{PT - PP} = 3.200$$

A extensão do traçado fica, portanto:

$$E = 6.881,671 - 3.200$$

$$E = 3.681,671 \text{ m}$$

Partimos agora para o cálculo da distância em diretriz, que é dada pela distância horizontal entre as coordenadas X e Y do PP e do PF:

$$D = \sqrt{\Delta x^2 + \Delta y^2}$$

A tabela nos fornece parcialmente estes dados, para que seja concluído o cálculo precisamos ainda da coordenada Y do PP e da coordenada X do PF. Para calcular a coordenada Y do PP utilizaremos a relação $\Delta y = |l \cdot \cos(Rumo)|$, que é positivo caso o alinhamento esteja para NE e NO ou negativo para um alinhamento em SE e SO. Calculamos, portanto, o azimute entre o PP e PI-1, pois precisamos dele para o cálculo do rumo. O azimute, neste caso, pode ser calculado a partir da soma ou subtração da deflexão (AC), para o sentido do estaqueamento (do PP ao PF) uma deflexão à esquerda subtrai do azimute anterior e uma deflexão à direita soma.

$$Az_{alinhamento \ de \ interesse} = Az_{alinhamento \ posterior} \pm AC$$

Para calcular o azimute entre o PP e o PI-1 utilizaremos o azimute posterior, ou seja, estaremos voltando no nosso estaqueamento, por esse motivo, por mais que tenhamos uma deflexão à direita, ela deve entrar como uma subtração na nossa relação.

$$Az_{PP - PI 1} = Az_{PI.1 - PI.2} - AC$$

$$Az_{PP - PI 1} = 234^\circ 27' 44,36'' - 66^\circ 05' 56,65''$$

$$Az_{PP - PI 1} = 168^\circ 21' 47,71''$$

O valor entre 90° e 180° nos indica o alinhamento à sudeste, portanto temos um Δy negativo e, aplicando as relações para conversão de azimute para rumo apresentadas no capítulo da PG1, um rumo de $11^\circ 38' 12,29''$.

Para calcular o Δy precisamos ainda do l , que é a distância horizontal do alinhamento. Conhecendo o rumo e a direção do alinhamento e calculado o Δx entre o PP e o PI-1 com os dados

da tabela, aplicamos na equação $\Delta x = |l \cdot \text{sen}(Rumo)|$ e isolando para l , encontramos que a distância horizontal é de 629,51975536 m. Por fim calculamos o Δy , que será negativo pois está no quadrante SE:

$$\Delta y = -629,51975536 \cdot \cos(11^\circ 38' 12,29'')$$

$$y_{PI-1} - y_{PP} = -616,58065969$$

$$6.679.711,1701 - y_{PP} = -616,58065969$$

$$y_{PP} = 6.680.327,75016$$

Faremos o mesmo procedimento para o cálculo da coordenada x_{PF} :

$$Az_{PI5-PF} = Az_{PI4-PI5} - AC$$

Lembrando que aqui o negativo entra por causa de termos uma deflexão à esquerda (estamos agora no sentido do estaqueamento).

$$Az_{PI5-PF} = 313^\circ 28' 57,31'' - 72^\circ 32' 29,84''$$

$$Az_{PI5-PF} = 240^\circ 56' 27,47'' \text{ (SO)}$$

$$R = 60^\circ 56' 27,47'' \text{ (SO)}$$

Conhecendo o rumo e a direção do alinhamento e calculado o Δy entre o PI-5 e o PF com os dados da tabela, aplicamos na equação $\Delta y = |l \cdot \cos(Rumo)|$ e isolando para l , encontramos que a distância horizontal é de 631,631742178 m. Por fim calculamos o Δx , que será negativo pois está no quadrante SO:

$$\Delta x = -631,631742178 \cdot \text{sen}(60^\circ 56' 27,47'')$$

$$x_{PF} - x_{PI-5} = -552,121753701$$

$$x_{PF} - 482.177,5882 = -552,121753701$$

$$x_{PF} = 481.625,446446$$

Agora, tendo todas as coordenadas, calcularemos a distância horizontal entre o PP e o PF:

$$D = \sqrt{\Delta x^2 + \Delta y^2}$$

$$D = 2.781,02432 \text{ m}$$

E por fim, temos que o acréscimo sobre a diretriz é:

$$A = \left(\frac{E}{D} - 1 \right) \times 100$$

$$A = \left(\frac{3.681,671}{2.781,02432} - 1 \right) \times 100$$

$$A = 35,45\%$$

- Com base no relatório de altimetria apresentado abaixo, determine o **comprimento virtual** do trecho.

PIV	PONTOS CARACTERÍSTICOS						ELEMENTOS ALTIMÉTRICOS								
	PCV		PIV		PTV		EM CURVA				EM RAMPA				
	Est. ou km	Cota (m)	Est. ou km	Cota (m)	Est. ou km	Cota (m)	e (m)	X1 (m)	X2 (m)	Δi (%)	k (m)	ΔPIV (m)	$\Delta Cota$ (m)	Comp. (m)	i (%)
PP			0+315,000	46,026											
1	?	?	?	?	?	?	0,850	100,000	100,000	?	?	?	-18,450	925,000	?
2	2+330,000	43,416	?	?	2+530,000	42,516	?	100,000	100,000	-4,100	-48,780	?	17,440	890,000	?
3	2+970,000	31,516	?	?	3+210,000	27,316	?	120,000	120,000	1,500	160,000	660,000	-16,500	440,000	-2,5000
4	3+540,000	24,016	?	?	3+700,000	26,129	?	80,000	80,000	4,641	34,470	530,000	-5,300	330,000	-1,0000
5	?	?	?	?	?	?	-1,425	70,000	70,000	?	?	?	14,565	250,000	?
PF			4+284,607	25,874								?	-11,907	194,607	?

RESOLUÇÃO

Para calcularmos o comprimento virtual do trecho precisamos fazer a média aritmética entre o comprimento virtual de ida e o comprimento virtual de volta, portanto, precisamos calculá-los.

Começaremos pelo cálculo do CV de ida, no sentido do estaqueamento. Para calcular o comprimento virtual em aclive precisamos identificar os trechos que têm inclinação positiva. Uma vez que o ΔPIV entre as estacas é sempre positivo, basta calcularmos as inclinações para aqueles trechos onde o $\Delta Cota$ é positivo, portanto, entre o PIV_{1-2} e PIV_{4-5} .

A inclinação é dada por: $i = \frac{\Delta Cota}{\Delta PIV} \cdot 100$

Portanto, entre o PIV_{1-2} temos um $\Delta Cota = 17,440 m$, e um ΔPIV conforme o seguinte cálculo:

$$PCV_1 = PIV_{PP} + Comp.$$

$$PCV_1 = 315 + 925$$

$$PCV_1 = 1 + 240,000$$

$$PIV_1 = PCV_1 + X_1$$

$$PIV_1 = 1.240,000 + 100$$

$$PIV_1 = 1 + 340,00$$

$$PIV_2 = PCV_2 + X_1$$

$$PIV_2 = 2.330,00 + 100$$

$$PIV_2 = 2 + 430,00$$

$$\Delta PIV_{1-2} = 2430 - 1340$$

$$\Delta PIV_{1-2} = 1090$$

A inclinação é:

$$i_{1-2} = \frac{17,440}{1090} \cdot 100$$

$$i_{1-2} = 1,6\%$$

E o comprimento virtual causado por essa rampa é:

$$CV = CA \cdot \frac{i}{r}$$

$$CV = 1090 \cdot \frac{0,016}{0,02}$$

$$CV = 872 \text{ m}$$

Entre o PIV_{4-5} temos um $\Delta Cota = 14,565\text{m}$, e um ΔPIV conforme o seguinte cálculo:

$$PTV_5 = PIV_{PF} - Comp_{5-PF}$$

$$PTV_5 = 4.284,607 - 194,607$$

$$PTV_5 = 4 + 090,000$$

$$PIV_5 = PTV_5 - X_2$$

$$PIV_5 = 4.090,000 - 70$$

$$PIV_5 = 4 + 020,000$$

$$PIV_4 = PTV_4 - X_2$$

$$PIV_4 = 3.700,000 - 80$$

$$PIV_4 = 3 + 620,00$$

$$\Delta PIV_{4-5} = 4020 - 3620$$

$$\Delta PIV_{4-5} = 400$$

A inclinação é:

$$i_{4-5} = \frac{14,565}{400} \cdot 100$$

$$i_{4-5} = 3,641\%$$

E o comprimento virtual causado por essa rampa é:

$$CV = CA \cdot \frac{i}{r}$$

$$CV = 400 \cdot \frac{0,03641}{0,02}$$

$$CV = 728,25 \text{ m}$$

O comprimento virtual de ida é:

$$CV_{Ida} = C_{Tot} + \sum CA \cdot \frac{i}{r}$$

$$CV_{Ida} = (4284,607 - 315) + (872 + 728,25)$$

$$CV_{Ida} = 5.569,857 \text{ m}$$

Agora precisamos calcular o CV de volta, ou seja, no sentido oposto ao estacionamento. Para isso devemos lembrar que as rampas que estavam em declive antes, devem ser consideradas como acives. Portanto entrarão no cálculo os trechos entre PP e PIV_1 , PIV_2 e PIV_3 , PIV_3 e PIV_4 e entre o PIV_5 e PIV_{PF} . Precisamos calcular as inclinações entre o PP e o $PIV-1$ e entre o $PIV-5$ e o PF , portanto:

$$\Delta PIV_{PP-PIV1} = 1340 - 315 = 1025$$

$$i_{PP-PIV1} = \frac{-18,450}{1025} \cdot 100 = -1,8\%$$

$$\Delta PIV_{PIV5-PF} = 4284,607 - 4020 = 264,607$$

$$i_{PP-PIV1} = \frac{-11,907}{264,607} \cdot 100 = -4,50\%$$

Com todos os dados disponíveis, calcularemos os comprimentos virtuais de cada trecho. Portanto temos:

$$CV_A^{PP-PIV 1} = 1025 \cdot \frac{0,018}{0,020} CV_A^{PP-PIV 1} = 922,5 m \quad CV_A^{PIV 2-PIV 3} = 660 \cdot \frac{0,025}{0,020} CV_A^{PIV 2-PIV 3} = 825 m$$

$$CV_A^{PIV 3-PIV 4} = 530 \cdot \frac{0,01}{0,020} CV_A^{PIV 3-PIV 4} = 265 m \quad CV_A^{PIV 5-PF} = 264,607 \cdot \frac{0,045}{0,020} CV_A^{PIV 5-PF} = 595,36575 m$$

Somando-se os valores acima tem-se que:

$$CV_{Volta} = C_{Tot} + \sum CA \cdot \frac{i}{r}$$

$$CV_{Volta} = (4284,607 - 315) + 2607,86575$$

$$CV_{Volta} = 6.577,473 m$$

E por fim:

$$CV_{Tot} = \frac{CV_{Ida} + CV_{Volta}}{2}$$

$$CV_{Tot} = 6.073,665 m$$

3. Com base na planilha de coordenadas disponibilizada, determine a **tortuosidade média** do trecho.

PI	ESTAQUEAMENTO (Est. ou km)				PARÂMETROS DA CURVA					ALINHAMENTO			COORDENADAS	
	PC ou TE	EC	CE	PT ou ET	AC (°'")	R (m)	Lc (m)	Dc (m)	T (m)	Az (°'")	IntT (m)	ΔPI (m)	X (m)	Y (m)
PP				0+315,000									477.839,9400	6.674.549,6918
1	0+819,750			1+057,998	?	?		?	?		? 504,750	626,181	478.223,3017	6.675.044,8037
2	1+323,421			1+713,233	?	?		?	?		? 265,423	614,766	478.334,7974	6.675.649,3749
3	2+359,520	2+439,520	2+555,731	2+635,731	74°56'49,95" E	150,000	80,000	116,211	156,254		? 646,286	1.030,454	479.361,1683	6.675.741,0152
4	2+914,234	?	?	?	46°58'13,85" E	150,000	60,000		?	9°57'02,26"	278,503	530,327	479.452,8086	6.676.263,3646
5	3+620,008	?	?	?	31°36'57,94" D	200,000	50,000		?	322°58'48,41"	522,805	700,134	479.031,2634	6.676.822,3702
PF	4+379,775									354°35'46,35"	599,406	681,165	478.967,1152	6.677.500,5081

RESOLUÇÃO

A tortuosidade média do trecho é dada por:

$$T_{MED} = \frac{T_{TOT}}{E}$$

Onde E é a extensão do traçado dada por:

$$E = 4.379,775 - 315$$

$$E = 4.064,775 m$$

A tortuosidade total é dada pela soma de todas as tortuosidades das curvas (circular simples e com transição) que compõe o traçado. Para este trecho temos duas curvas circulares simples (PI 1 e PI

2) e três curvas com transição (PI 3, PI 4 e PI 5) precisamos, portanto, calcular a tortuosidade de cada uma das curvas.

Para as curvas circulares simples temos que a tortuosidade é dada pela relação: $Tc = \frac{AC}{R}$, portanto é necessário conhecermos o ângulo central da inflexão. Sabemos que o AC é de mesmo valor da deflexão, então calcularemos a deflexão de cada alinhamento. Temos que:

$$AC = \delta = 180 - \arccos\left(\frac{d_{01}^2 + d_{12}^2 - d_{02}^2}{2 \times d_{01} \times d_{12}}\right)$$

Para o PI 1:

$$\begin{aligned} d_{01} &= \Delta PI_{PP - PI 1} & d_{12} &= \Delta PI_{PI 1 - PI 2} & d_{02} &= \Delta PI_{PP - PI 2} \\ d_{01} &= 626,180474423 \text{ m} & d_{12} &= 614,766319009 \text{ m} & d_{02} &= 1205,896665 \text{ m} \end{aligned}$$

Calculando a deflexão encontramos que:

$$AC = \delta = 27^\circ 18' 11,87''$$

Precisamos agora conhecer o raio, que pode ser obtido pela equação para o desenvolvimento circular:

$$DC = R \times AC \times \frac{\pi}{180}$$

O DC é dado também pela diferença entre o PT e o PC da curva, portanto:

$$DC = 1.057,998 - 819,750 = 238,248 \text{ m}$$

E substituindo na fórmula para o DC, com o AC em $^\circ ' ''$, temos o raio:

$$238,248 = R \times 27^\circ 18' 11,87'' \times \frac{\pi}{180}$$

$$R = 500 \text{ m}$$

Podemos então calcular a tortuosidade da curva do PI 1. Lembre-se que para isso utilizaremos o grau decimal, portanto faça a conversão:

$$Tc = \frac{27,303297222}{500}$$

$$Tc_1 = 0,0546^\circ/\text{m}$$

Repetimos o mesmo procedimento para o PI 2:

$$\begin{aligned} d_{01} &= \Delta PI_{PI 1 - PI 2} & d_{12} &= \Delta PI_{PI 2 - PI 3} & d_{02} &= \Delta PI_{PI 1 - PI 3} \\ d_{01} &= 614,766 \text{ m} & d_{12} &= 1030,454 \text{ m} & d_{02} &= 1333,9606 \text{ m} \end{aligned}$$

$$AC = \delta = 74^\circ 26' 55,23''$$

$$DC = 1.713,233 - 1.323,421 = 389,812 \text{ m}$$

$$389,812 = R \times 74^\circ 26' 55,23'' \times \frac{\pi}{180}$$

$$R = 300 \text{ m}$$

$$Tc = \frac{74,448675}{300}$$

$$Tc_2 = 0,24816225 \text{ } ^\circ/\text{m}$$

Para as curvas com transição, a tortuosidade é dada por: $Tt = \frac{\theta + \frac{(Sc_1 + Sc_2)}{3}}{R}$, portanto é necessário conhecer o ângulo θ da curva e os ângulos Sc . Como nossas curvas são simétricas, ambos Sc terão o mesmo valor. Assim, antes de calcularmos a tortuosidade devemos:

1°) calcular o ângulo Sc , através de: $Sc = \frac{lc}{2 \times R}$

2°) calcular o ângulo θ , através de: $\theta = AC \times \frac{\pi}{180} - 2 \times Sc$

Uma vez que a planilha de coordenadas nos fornece os dados para lc , podemos simplesmente aplicar a equação para achar o Sc . Com o valor calculado mais o AC que consta na planilha, calculamos o ângulo θ .

Lembre-se que, as equações acima dão resultados em radianos. Os resultados mostrados abaixo foram calculados utilizando $^\circ \prime \prime$, por isso acrescentou-se o termo $\cdot \frac{180^\circ}{\pi}$ no cálculo do Sc e retirou-se o termo $\frac{\pi}{180}$ no cálculo do θ . Lembre-se também de que os valores a serem utilizados na fórmula da tortuosidade devem estar, como já dito antes, em graus DECIMAIS, portanto faça a conversão.

Então temos que:

Curva do PI 3

$$Sc = \frac{80}{2 \times 150} \cdot \frac{180^\circ}{\pi} = 15^\circ 16' 43,81''$$

$$\theta = 74^\circ 56' 49,95'' - 2 \cdot 15^\circ 16' 43,81'' = 44^\circ 23' 22,33''$$

$$Tt = \frac{44,3895361111 + \frac{2 * 15,2788361111}{3}}{150}$$

$$Tt_3 = 0,363836179 \text{ } ^\circ/\text{m}$$

Curva do PI 4

$$Sc = \frac{60}{2 \times 150} \cdot \frac{180^\circ}{\pi} = 11^\circ 27' 32,961''$$

$$\theta = 46^\circ 58' 13,85'' - 2 \cdot 11^\circ 27' 32,961'' = 24^\circ 03' 07,928''$$

$$Tt = \frac{24,0522022223 + \frac{2 * 11,4591559026}{3}}{150}$$

$$Tt_4 = 0,211277596605 \text{ } ^\circ/\text{m}$$

Curva do PI 5

$$S_c = \frac{50}{2 \times 200} \cdot \frac{180^\circ}{\pi} = 7^\circ 09' 43,10''$$

$$\theta = 31^\circ 36' 57,94'' - 2 \cdot 7^\circ 09' 43,10'' = 17^\circ 17' 31,738''$$

$$Tt = \frac{17,2921495666 + \frac{2 * 7,16197243914}{3}}{200}$$

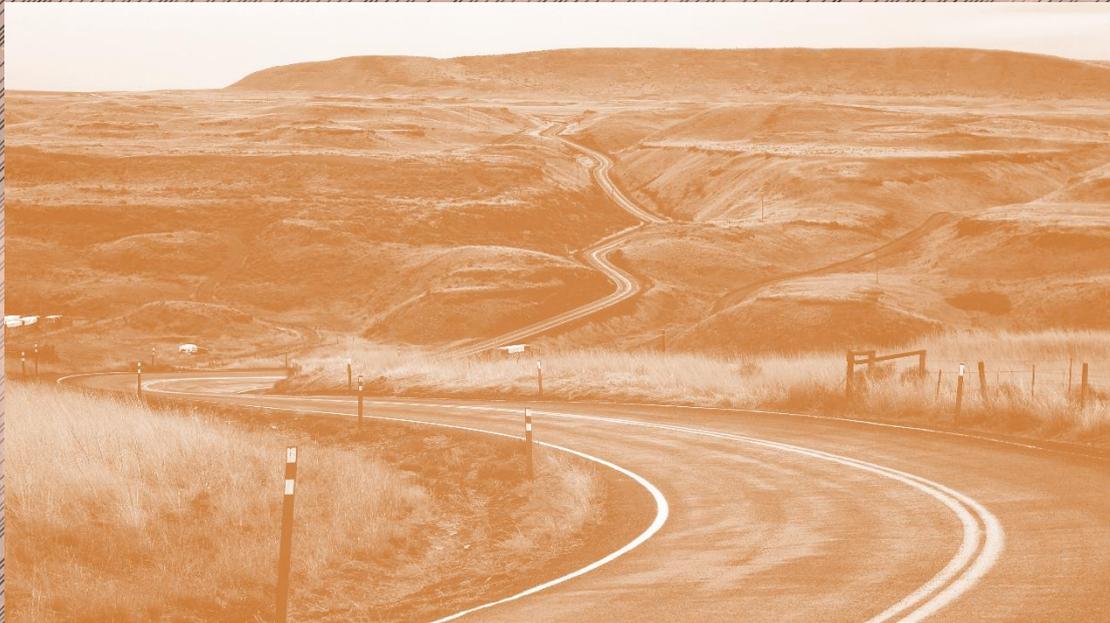
$$Tt_5 = 0,11033398929 \text{ }^\circ/m$$

Por fim, temos a tortuosidade total dada pela soma das tortuosidades. A tortuosidade das curvas circulares simples fica em $T_C = 0,30276225^\circ/m$ e a tortuosidade das curvas com transição fica em $T_T = 0,685447764895 \text{ }^\circ/m$.

A tortuosidade média do trecho é:

$$T_{Méd.} = \frac{T_C + T_T}{E}$$

$$T_{Méd.} = 0,243 \text{ }^\circ/m.km$$



PG7 – PROJETO DE SEÇÕES TRANSVERSAIS SEÇÃO TIPO

PG7 – PROJETO DE SEÇÕES TRANSVERSAIS: PROJETO

OBJETIVOS

1. Reconhecer seções transversais de terreno;
2. Reconhecer tipos de seções transversais de projeto;
3. Dimensionar os elementos que compõem a seção transversal de projeto:
 - a. largura e abaulamento da plataforma;
 - b. taludes.
4. Reconhecer e avaliar as inconformidades das seções;
5. Reconhecer elementos de representação gráfica das seções transversais.

SEÇÕES TRANSVERSAIS DE TERRENO

As seções transversais de terreno são levantadas no campo em intervalos de **20 em 20 metros**. As seções de terreno devem ter comprimento suficiente para permitir a confrontação das mesmas com as seções de projeto. Se o comprimento não for suficiente, podem ocorrer interrupções na seção de projeto que irão reduzir, de forma equivocada, as áreas e conseqüentemente, os volumes de terraplenagem.

SEÇÕES DE PROJETO

As seções de projeto de uma rodovia podem apresentar diferentes configurações. As mais usuais em terraplenagem estão demonstradas na Figura 112 a seguir, sendo elas: seção em **corte** (112a), **aterro** (112b) e **mista** (112c).

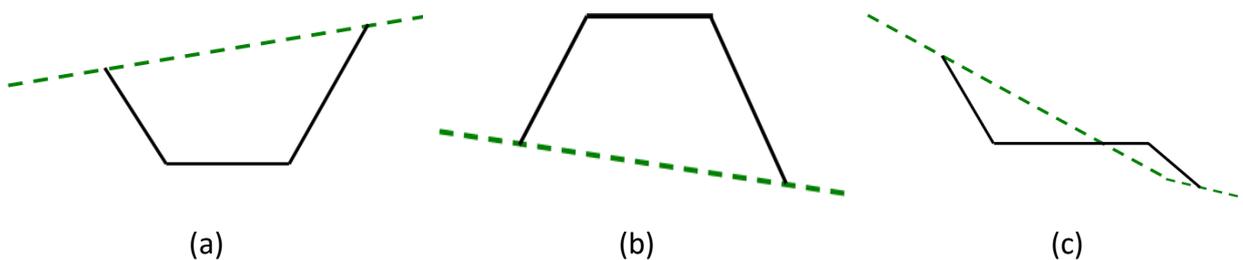


Figura 112 – Seções de terraplenagem

Na Figura 112 é possível observar em linha verde tracejada o **perfil transversal do terreno natural** e, em linha contínua preta o **gabarito de projeto**.

O projeto de uma seção transversal de terraplenagem típica, consiste na definição dos seguintes elementos:

- Largura da plataforma de terraplenagem;
- Inclinação da plataforma;
- Inclinação dos taludes de corte e aterro.

Se for o caso, em função da composição do tráfego, define-se uma 3ª faixa para veículos lentos.

Largura da plataforma de terraplenagem

A plataforma de terraplenagem deve comportar as faixas de rolamento, a superlargura, os acostamentos (**internos e externos**), os dispositivos de drenagem, as folgas e demais dispositivos que se façam necessários.

A Figura 113 caracteriza estes dispositivos para uma rodovia de pista dupla, com barreira central do tipo New Jersey, acostamento interno (1,00 m), duas faixas de rolamento (2 x 3,60 m), acostamento externo (2,50 m) e folga (2,00 m), por pista.

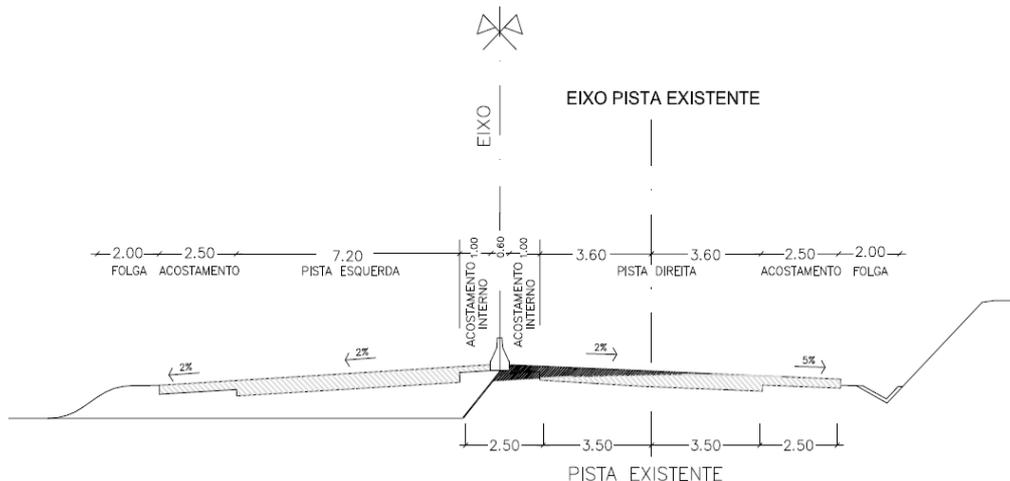


Figura 113 – Seção transversal tipo

A seção transversal tipo da Figura 113 se apresenta em aterro do lado esquerdo e em corte do lado direito. Na parte em corte é possível observar o dispositivo de drenagem (sarjeta ou valeta) posicionado sobre a folga.

A **faixa de rolamento em tangentes**, definida na norma (DNER, 1999 pg. 142), é apresentada na Figura 114. Os valores constantes, devem ser acrescidos da superlargura nos segmentos em curva, de forma a oferecer condições de giro ao veículo de projeto. O cálculo da superlargura por curva e sua distribuição não são temas tratados nesta disciplina, sendo abordados na disciplina de Tópicos Avançados em Vias Rurais e Urbanas.

Classe do projeto	Relevo		
	Plano	Ondulado	Montanhoso
Classe 0	3,60	3,60	3,60
Classe I	3,60	3,60	3,50
Classe II	3,60	3,50	3,30*
Classe III	3,50	3,30*	3,30
Classe IV-A**	3,00	3,00	3,00
Classe IV-B**	2,50	2,50	2,50

* Preferivelmente 3,50m, quando esperada alta percentagem de veículos comerciais

** Os valores referente à Classe IV são baseados na publicação "Manual de Rodovias Vicinais" – BIRD/BNDE/DNER - 1976

Figura 114 – Larguras das faixas de rolamento em tangentes

Acostamento é a área da plataforma viária, adjacente às faixas de rolamento, destinada a possibilitar a parada provisória de veículos, servir de faixa extra de rolamento nas situações de emergências e contribuir para proteção e confinamento da estrutura do pavimento. Normalmente, em rodovias de pista simples existem acostamentos laterais e externos com a mesma dimensão. A Figura 115 apresenta os valores de acostamentos sugeridos pela norma (DNER, 1999 pg. 144).

Classe do projeto	Relevo		
	Plano	Ondulado	Montanhoso
Classe 0	3,50	3,00*	3,00*
Classe I	3,00*	2,50	2,50
Classe II	2,50	2,50	2,00
Classe III	2,50	2,00	1,50
Classe IV-A**	1,30	1,30	0,80
Classe IV-B**	1,00	1,00	0,50

* Preferivelmente 3,50m onde for previsto um volume horário unidirecional de caminhões superior a 250 veículos.

** Valores baseados na publicação "Manual de Rodovias Vicinais" – BIRD/BNDE/DNER – 1976. No caso de rodovias não pavimentadas, representam a contribuição para estabelecimento da largura da plataforma.

Figura 115 – Larguras dos acostamentos externos

As classes 0 e I-A apresentam acostamentos internos, em função do relevo e do número de faixas de rolamento da pista (DNER, 1999 pg. 144).

A **folga** decorre da soma da distância necessária para a conformação do talude do pavimento com a folga real. A estrutura do pavimento (sub-base, base e revestimento) apresenta uma altura além da seção de terraplenagem. Usualmente o acabamento dado a esta estrutura é no formato de talude (com valores **v:h** entre **1:1** e **1:1,5**), conforme Figura 116. Imaginando que a altura do pavimento seja igual a 0,40m e adotando talude de 1:1,5 será necessário um comprimento de 0,60m adicional, para cada lado da plataforma.

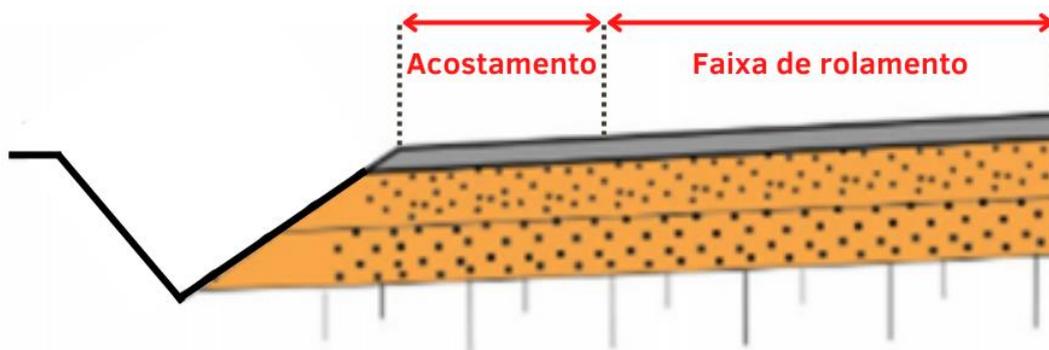


Figura 116 – Talude do pavimento

A folga real tem por propósito atender demandas executivas e permitir a inclusão de sarjeta de drenagem nos cortes. Embora não constem valores na norma, são recomendados os valores de 0,30m (classe I), 0,25m (classe II e III) e 0,20m (classe IV) para a semiplataforma de aterro e, 0,80m (classe I, II e III) e 0,70m (classe IV) para a semiplataforma de corte.

Para fins de projeto, a plataforma de terraplenagem será dividida em duas partes:

- Semiplataforma de aterro;
- Semiplataforma de corte.

Declividade da faixa de rolamento e dos acostamentos

Declividades transversais elevadas favorecem o escoamento das águas pluviais. Por outro lado, valores baixos são preferíveis em função da estética e conforto. A declividade transversal mais recomendável para as faixas de rolamento é de 2% (pavimentos betuminosos de alta qualidade) e de 1,5% (pavimentos de concreto de cimento). Em pavimentos mais porosos podem ser adotados valores entre 2,5% e 3% e em pistas não pavimentadas, entre 3% e 4%. Os acostamentos, pavimentados ou não, deverão ter declividade de 5% (DNER, 1999 pg. 146).

Usualmente, em segmentos em tangente a pista se apresenta abaulada, ou seja, com a declividade partindo do eixo (posição mais elevada) em direção aos bordos. Esta conformação pode ser alterada por projeto e, no caso dos segmentos em curva, estará sujeita ao cálculo e distribuição da superlargura (temas tratados na disciplina de Tópicos Avançados em Vias Rurais e Urbanas).

Inclinação dos taludes

A inclinação dos taludes é definida a partir do conhecimento de informações sobre a natureza do material, segurança, economia, compensação de volumes e necessidade estética. Preponderam as indicações dos estudos geotécnicos. As inclinações representadas no formato v:h recomendadas são as seguintes:

Para aterros:

- 1,0 : 2,0 (solos arenosos, segurança);
- 1,0 : 1,5 (solos argilosos);**
- 1,0 : 1,0 (aterros com fragmentos de rocha).

Para cortes:

- 4,0 : 1,0 (rocha sã);
- 1,5 : 1,0 (terrenos sem escorregamento);
- 1,0 : 1,0 (terrenos com escorregamento);**
- 1,0 : 1,5 (empréstimo, estética, erosão).

Inconformidades

Para detectar possíveis erros nas seções, deve-se percorrer todas as seções do projeto e verificar problemas nos *offsets*.

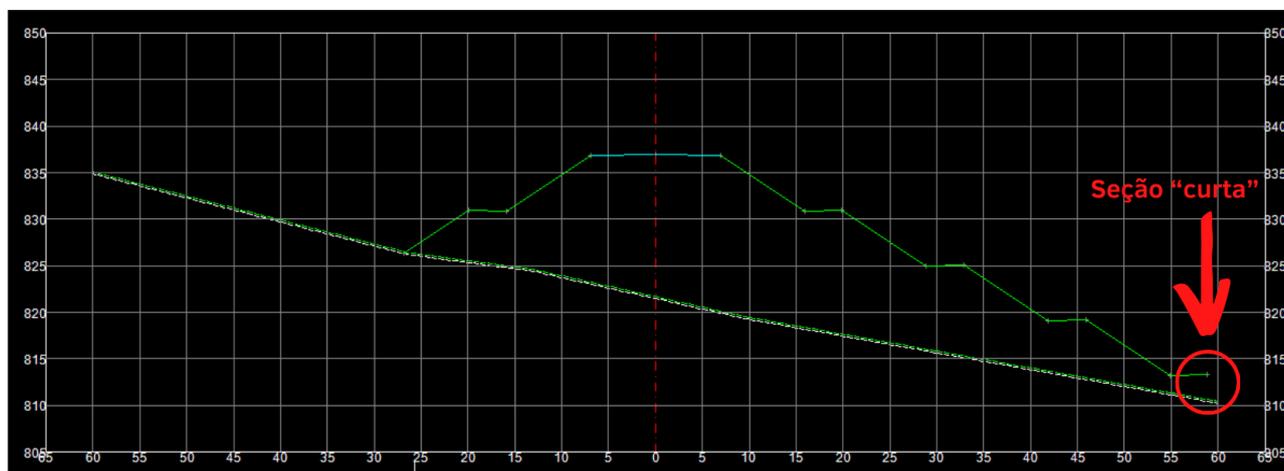
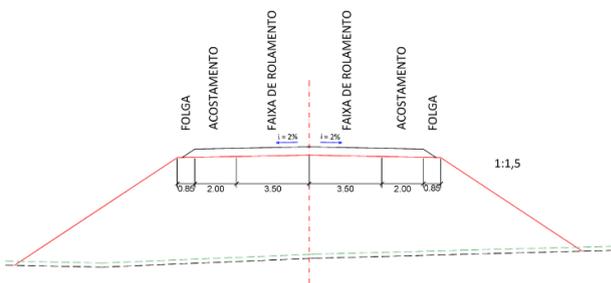
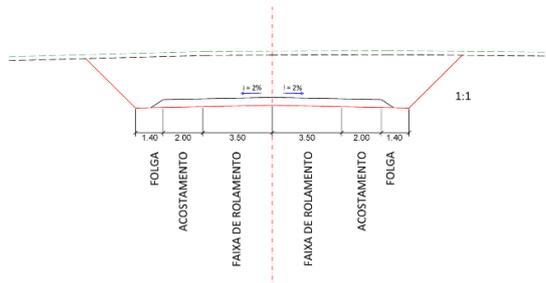


Figura 117 – Seção com problema de *offset*

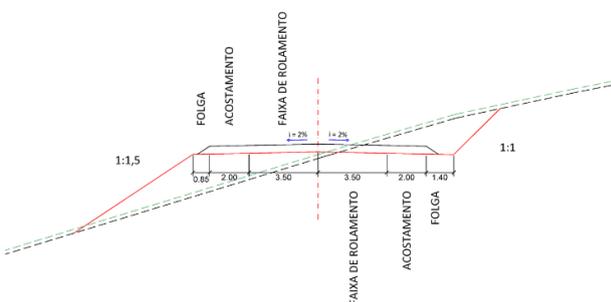
SEÇÃO DE ATERRO



SEÇÃO DE CORTE



SEÇÃO MISTA



SEÇÃO DE CORTE EM ROCHA

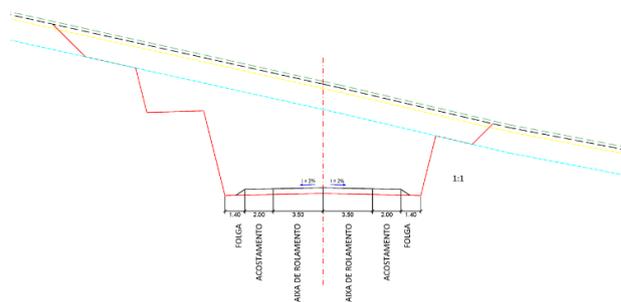


Figura 118 – Seções tipo

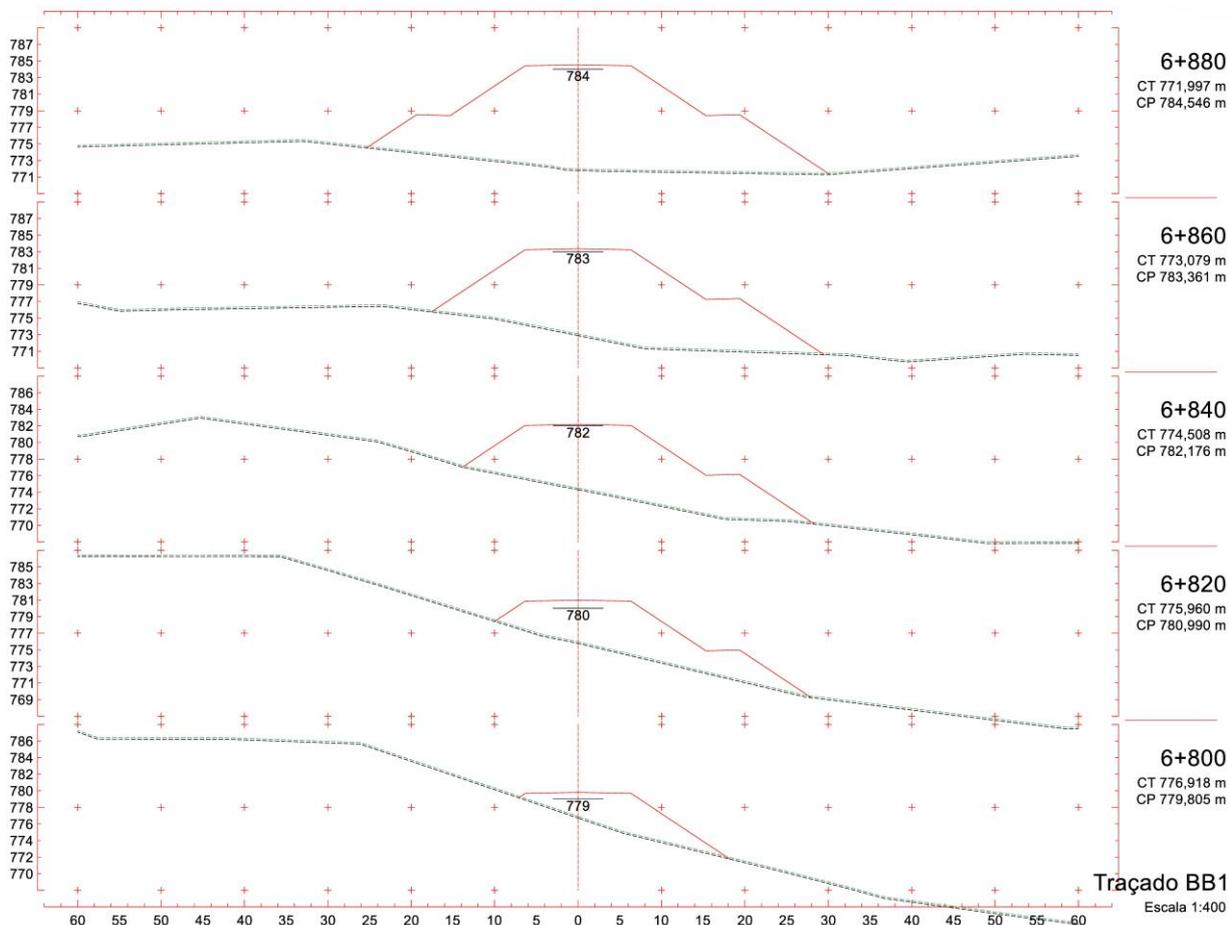


Figura 119 – Seções Transversais por estaca

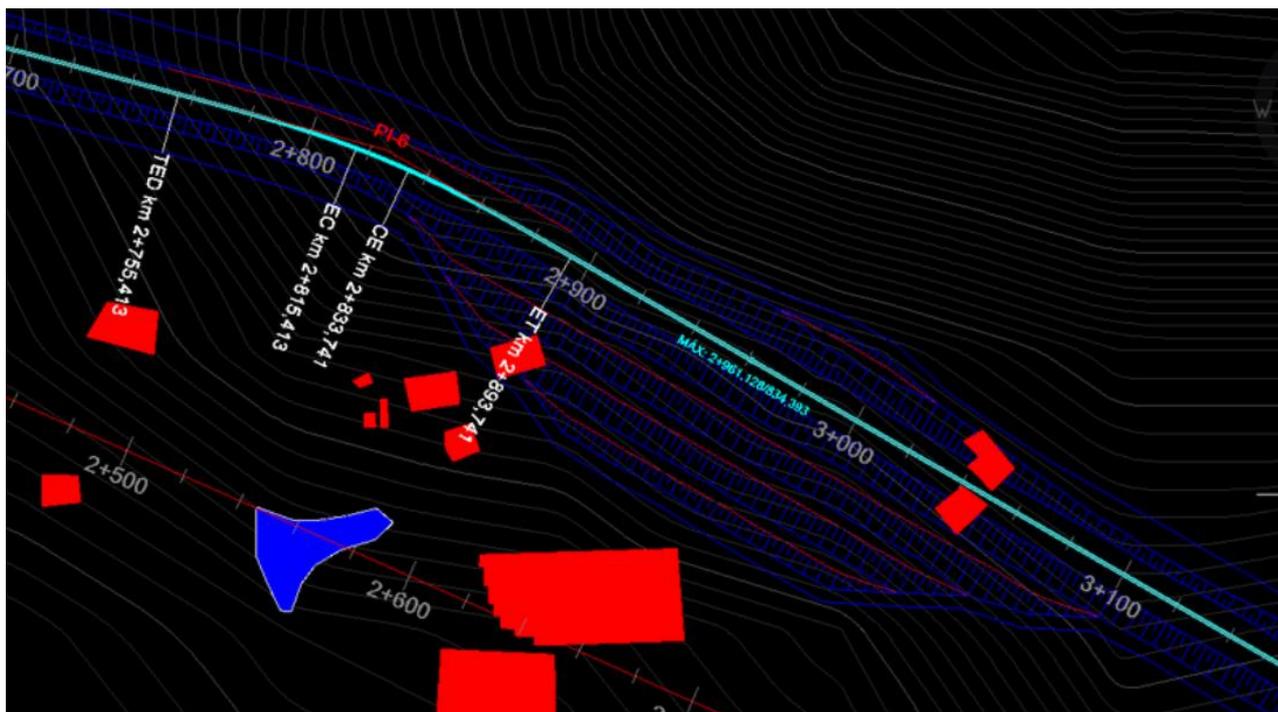


Figura 120 – Representação planimétrica

ÁREAS DAS SEÇÕES TRANSVERSAIS

As seções transversais podem produzir áreas em corte e/ou aterro. Para a determinação dos volumes, a área das seções deve ser obtida a partir de qualquer método disponível. Na década de 1980 ainda era comum a utilização de planímetro mecânico (Figura 121) ou contagem de quadrados em papel milimetrado. Atualmente, com as ferramentas **CAD (Computer Aided Design)** é possível obter uma área através das propriedades de uma **polilinha (pline)**.

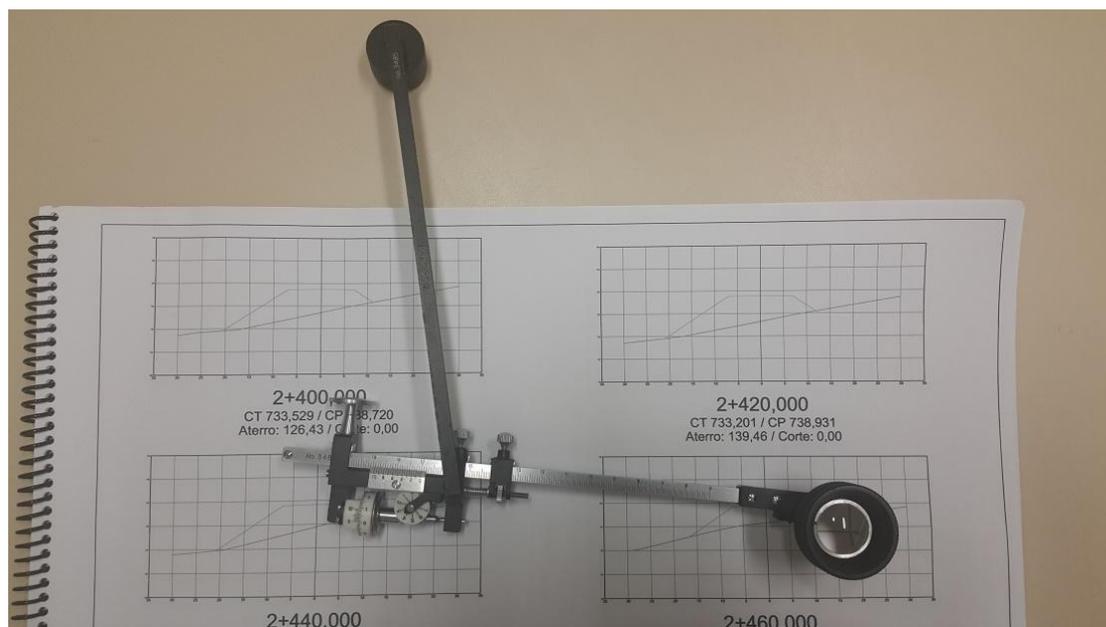
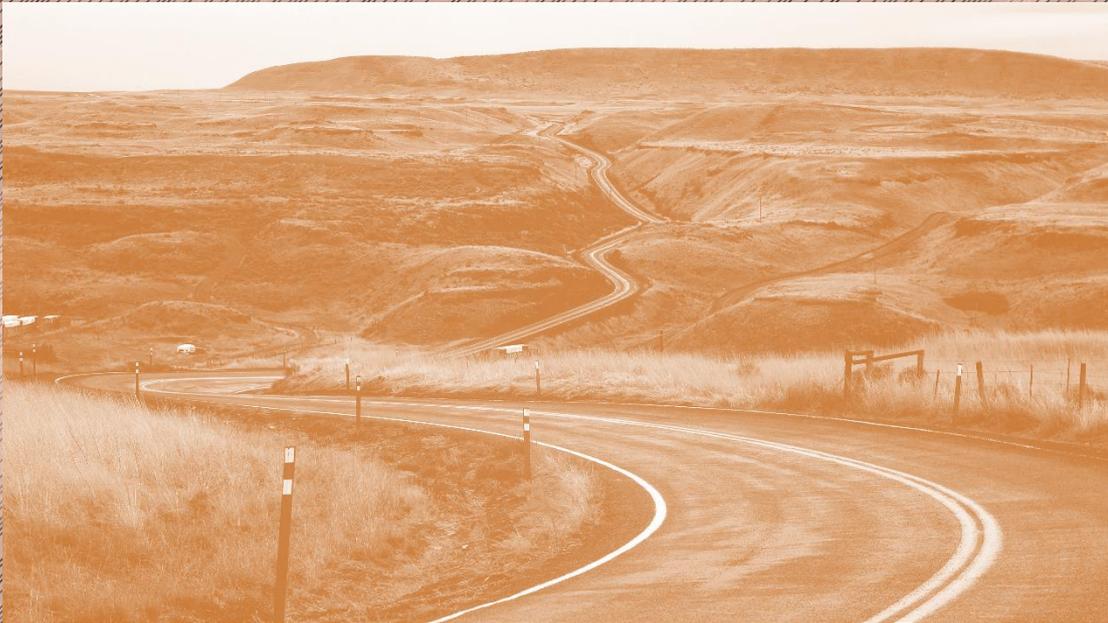


Figura 121 – Planímetro mecânico sobre desenho de seção



PG8 – PROJETO DE SEÇÕES TRANSVERSAIS SUPERELEVAÇÃO E SUPERLARGURA

PG8 – PROJETO DE SEÇÕES TRANSVERSAIS: SUPERELEVAÇÃO E SUPERLARGURA

OBJETIVOS

1. Reconhecer a importância e a função dos elementos superelevação e superlargura;
2. Aprender a calcular a superelevação e superlargura por curva:
 - a. curva com transição;
 - b. curva circular simples.
3. Aprender a distribuir a superelevação e superlargura por estaca:
 - a. caso I;
 - b. caso II;
 - c. caso III.

ORIGENS DA SUPERELEVAÇÃO E SUPERLARGURA

A superelevação e a superlargura são dispositivos incorporados na via permanente que possibilitam maior conforto e segurança para o usuário. Eles são originados de outro modal, o ferroviário. Os projetos de ferrovias enfrentavam muitos problemas de desgaste dos trilhos em curvas, pois as rodas dos vagões atingiam a parte interna do trilho externo em função da força centrípeta gerada ao ingressar na curva. Além disso, a velocidade da via era limitada à velocidade máxima a ser atingida nas curvas, que não era muito grande, pois os vagões poderiam tombar para o lado de fora da curva, também em razão da força centrípeta.

Em função disso, o conceito de superelevação foi criado: alguns centímetros a mais de altura no trilho externo à curva garantiram a melhora dos problemas previamente citados, pois dessa forma, o deslocamento da força peso do vagão pôde se opor parcialmente a força centrípeta gerada nas curvas. Esse dispositivo de segurança pode ser facilmente identificado em pista de corrida de carros, como a pista das 500 milhas de Indianápolis.

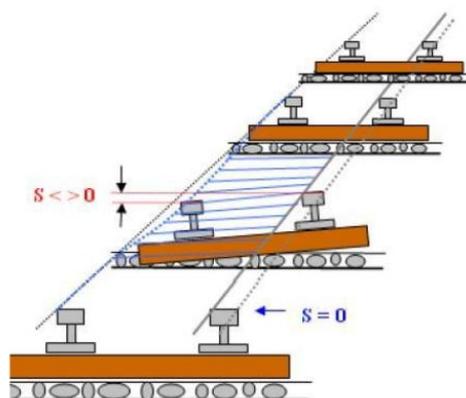


Figura 122 – Superelevação aplicada a uma ferrovia

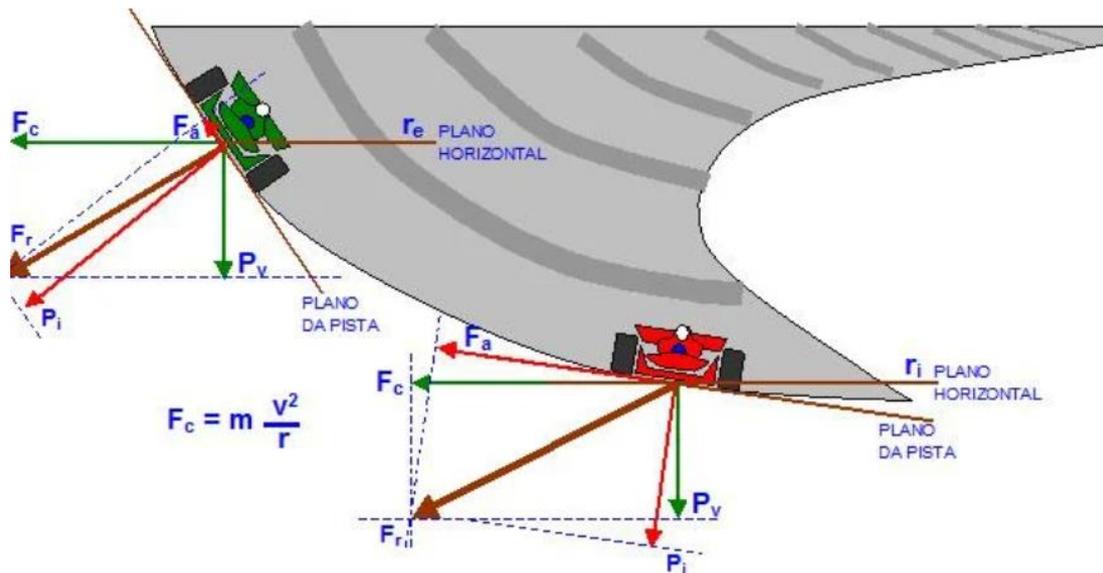


Figura 123 – Forças atuantes em um trecho com superelevação

É dever do engenheiro civil prever corretamente os valores característicos de superlargura e superelevação de uma via para evitar sinistros desnecessários. Veículos pesados e altos como caminhões são muito afetados por esses elementos e podem tombar facilmente se não forem devidamente calculados. Nesse capítulo iremos aprender a como determinar esses elementos.

SUPERELEVAÇÃO – CÁLCULO E DISTRIBUIÇÃO

É importante ressaltar que a superelevação é diferente para cada curva do projeto, devendo ser calculada separadamente para cada uma delas. Existem vários elementos que interferem no cálculo da superelevação. Vamos definir a nomenclatura destes:

Vd = velocidade diretriz (**km/h**);

f_a = fator máximo de atrito entre o pneu e o pavimento (**adimensional**);

R_{min} = raio mínimo de projeto (**m**);

R = raio da curva (**m**);

SE_p = superelevação máxima de projeto (%); [tabelado]

SE_c = superelevação da curva (%);

CC = correção da cota do perfil longitudinal de projeto (**m**);

i = inclinação transversal em tangente – abaulamento (%). [usualmente 2%]

Além de ser diferente para cada curva do projeto, a superelevação também varia ao longo da curva. Portanto, para que ela seja devidamente projetada, deve ser feita a sua distribuição ao longo da curva.

Passo a passo para o cálculo:

- 1) Deve-se identificar os elementos principais. A classe e o relevo da rodovia definem a Vd , SE_p , i e R_{min} (o valor do abaulamento é geralmente 2%, sendo uma demanda do projeto de drenagem);

DESCRIÇÃO	UNID.	CLASSE 0			CLASSE I			CLASSE II		
		Plano	Ond.	Mont.	Plano	Ond.	Mont.	Plano	Ond.	Mont.
Velocidade diretriz	km/h	120	100	80	100	80	60	100	70	50
Raio mínimo (transição)	m	540	345	210	345	210	115	375	170	80
Superelevação máxima	%	10	10	10	10	10	10	8	8	8

DESCRIÇÃO	UNID.	CLASSE III			CLASSE IV A			CLASSE IV B		
		Plano	Ond.	Mont.	Plano	Ond.	Mont.	Plano	Ond.	Mont.
Velocidade diretriz	km/h	80	60	40	80	60	40	60	40	30
Raio mínimo (transição)	m	230	125	50	230	125	50	125	50	25
Superelevação máxima	%	8	8	8	8	8	8	8	8	8

Figura 124 – Tabelas com valores de cálculo em destaque

- 2) Também pode ser calculado o R_{min} através da fórmula a baixo. Para isso, deve-se calcular previamente o fator de atrito através da velocidade diretriz obtida na tabela. O valor da superelevação deve entrar na fórmula sem a porcentagem. Por exemplo, se a SE_p for 8%, entra-se com o valor 8;

$$f_a = \frac{0,61931}{Vd^{0,33778}} \quad (105)$$

$$R_{min} = \frac{Vd^2}{127 \cdot \left(f_a + \frac{SE_p}{100} \right)} \quad (106)$$

- 3) É possível calcular a superelevação da curva com as equações abaixo, utilizando os valores do raio mínimo de projeto (R_{min}) e o raio da curva de interesse (R);

$$SE_c = SE_p \cdot \left(\frac{2 \cdot R_{min}}{R} - \frac{R_{min}^2}{R^2} \right) \quad (107)$$

$$SE_c \geq |i| \quad (108)$$

Passo a passo para a distribuição

A distribuição da superelevação na curva permite a suavização da inclinação transversal ao longo do trecho. Dessa forma, o motorista poderá trafegar na curva sem se sentir desconfortável com a variação da inclinação.

O comportamento da superelevação na curva com transição se dá da seguinte maneira:

- Nos trechos em tangente (reta), de maneira geral, não há superelevação, portanto, a inclinação da via para os dois lados é de -2% (valor do abaulamento);
- Quando o eixo começa a se aproximar da curva deve se utilizar parte da distância em tangente (reta) para elevar a parte externa da curva até atingir o nível (inclinação de 0%). Dessa forma, no momento que o veículo entrar na primeira espiral (parte de transição da curva), a via estará com o lado externo em nível e o lado interno em -2%;

- No trecho da espiral, a via deve se modificar para que no início do trecho circular, ambos os lados da via atinjam a superelevação desejada (um lado irá apresentar o valor positivo e o outro negativo);
- Durante o desenvolvimento circular (trecho circular da curva) **não deve haver variação de inclinações**, portanto a superelevação se mantém constante;
- Após isso, na segunda espiral de transição, a via deve retornar à condição de nível no lado externo e abaulamento no lado interno;
- Quando o veículo termina o trecho em espiral, a via deve utilizar alguns metros da tangente para retornar à condição em trechos retos de abaulamento nos dois lados.

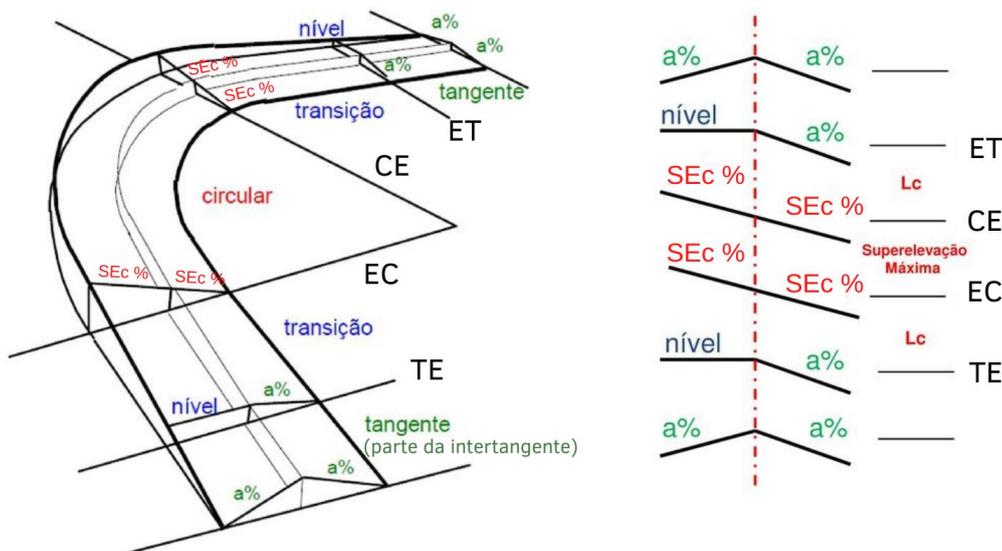


Figura 125 – Esquema de distribuição da superelevação

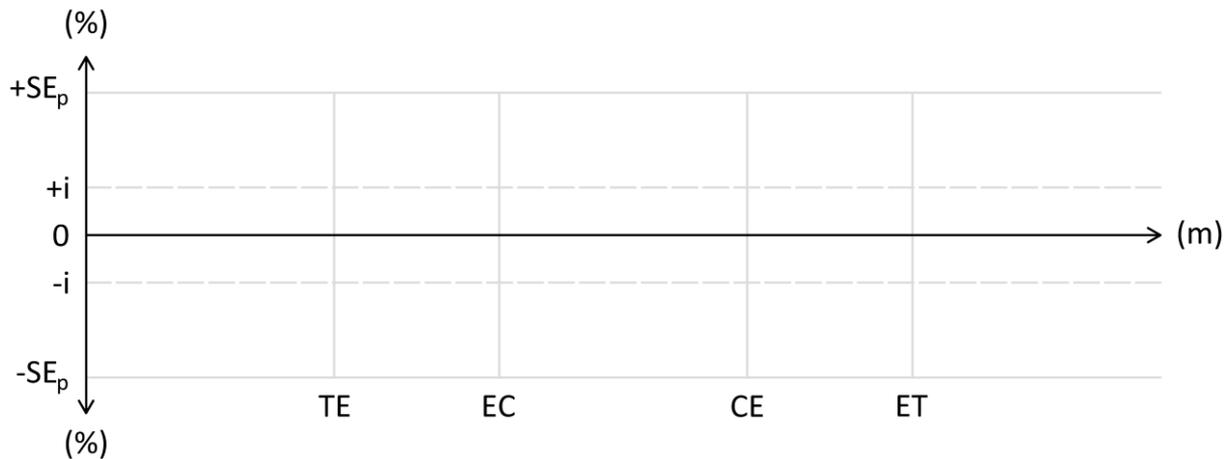
Esse comportamento define uma distribuição constante para o trecho circular, linear para as clotoides, e linear também para **uma parcela** das tangentes, para o lado externo. Já para o lado interno, verifica-se a necessidade de identificar um novo ponto de mudança. Portanto, podemos distribuir a superelevação em um gabarito da seguinte maneira:

Para curvas com transição

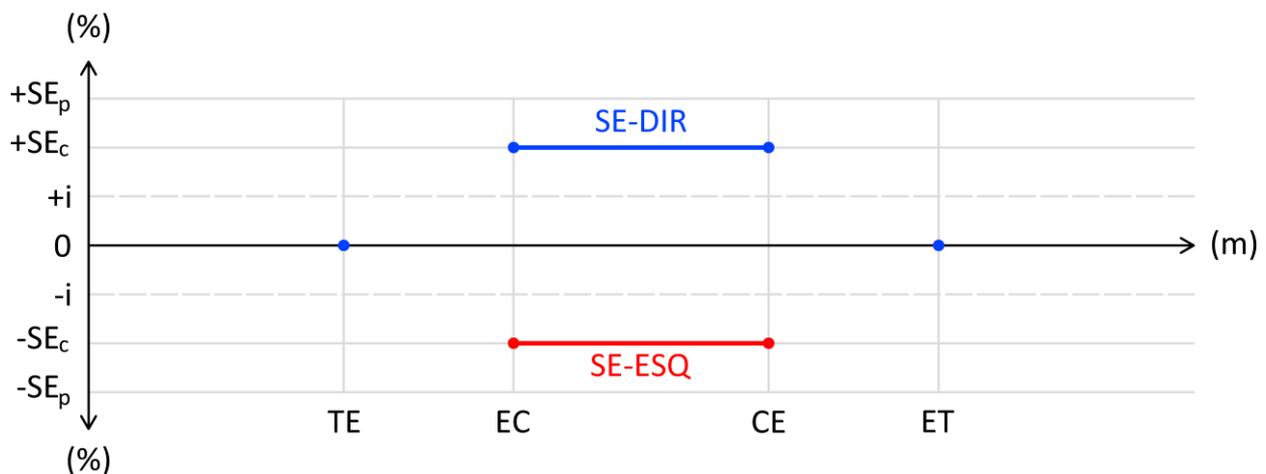
- 1) Traçar um gabarito com escala vertical e horizontal. Identificar no eixo horizontal o desenvolvimento da rodovia e no eixo vertical a porcentagem de inclinação da curva;



- 2) Identificar os pontos característicos da curva, sendo eles TE, EC, CE e ET;



- 3) Identificar a distribuição constante da SE no trecho circular, apenas traçando uma linha reta ligando os pontos EC e CE nos dois lados do eixo. Observe que para este exemplo a curva está para a esquerda, visto que o lado direito se eleva e o esquerdo abaixa. Também é possível marcar o ponto onde o lado externo da curva irá atingir a declividade de 0%. Isso ocorre nos pontos de TE e ET;



- 4) Calcular o desenvolvimento adicional que será necessário para a distribuição da superelevação e identificá-lo no gráfico. Este desenvolvimento se localizará sobre uma parte da tangente e deve ser calculado através da Equação 109:

$$Dad = \frac{Lc \cdot |i|}{SE_c} \quad (109)$$

Onde:

Dad = desenvolvimento adicional necessário além da curva (m);

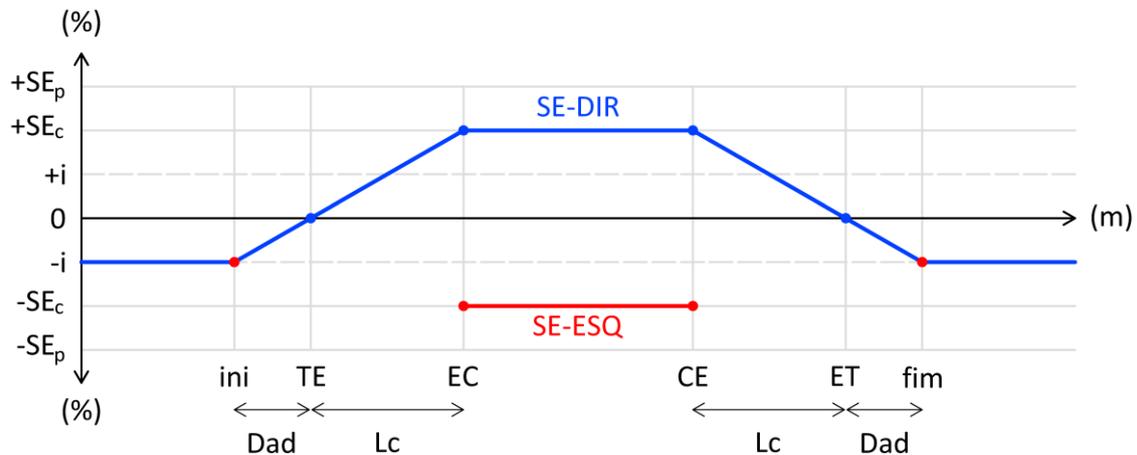
Lc = desenvolvimento da espiral da curva com transição (m);

i = abaulamento (%); [usualmente 2%]

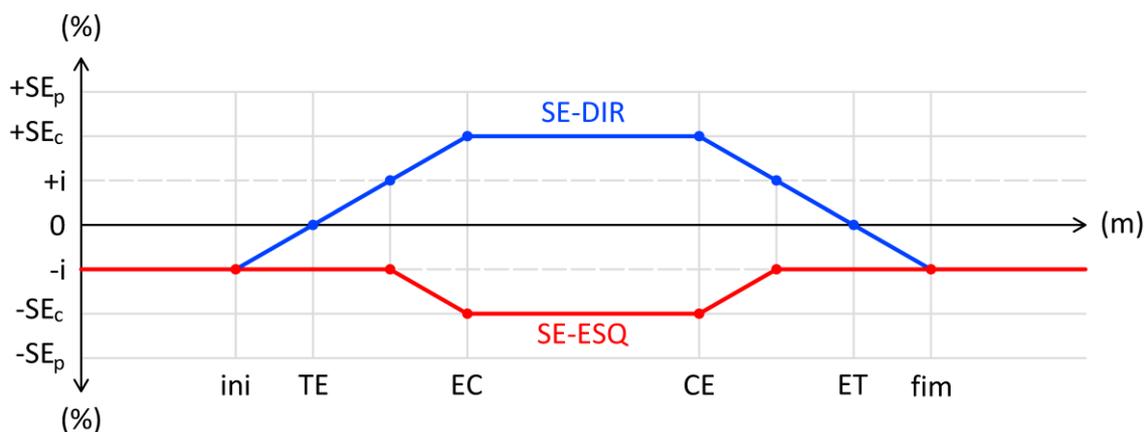
SE_c = superelevação da curva (%).

- 5) Pode-se então, traçar uma linha que une a interseção da intertangente com o abaulamento da via, até o trecho circular. É importante notar que essa reta deve cruzar o “0” exatamente no início do TE. Dessa forma, garantimos que o início da espiral terá inclinação transversal

zero na parte de fora da curva. Também é possível inferir pelo gráfico que estamos traçando a superelevação para uma curva à esquerda, pois o lado externo é o direito;



- 6) Após isso, transporta-se o ponto em que a linha que traçamos anteriormente cruza o abaulamento positivo e marcamos no outro lado do eixo. Dessa forma, podemos traçar uma linha que une o ponto que marcamos ao início da SE constante. Isso significa que, no momento em que o lado externo da curva atingir o abaulamento positivo, ambos os lados irão variar em conjunto para atingir a superelevação calculada;



Esses passos concluem a definição da superelevação em curvas de transição. Como dito anteriormente, a superelevação varia ao longo das estacas da curva, portanto, deve-se realizar uma **interpolação** para descobrir a SE exata de uma estaca desejada.

Para curvas circulares simples

As curvas circulares se diferenciam das com transição por não possuírem clotoides que realizam a adaptação do raio para o trecho circular. Logo, elas não têm esse espaço na via para distribuir a superelevação antes de entrar no trecho de superelevação constante. Em razão disso, utilizam-se “ Lc_s virtuais” chamados de Lc' , oriundos de uma tabela indicada pelo DAER/RS, em função da velocidade diretriz (Vd) do projeto.

Vd (km/h)	30	40	50	60	70	80	90	100	120
Lc' (m)	20	20	30	30	40	40	50	60	70

Figura 126 – Tabela para escolha do Lc'

De posse do valor do Lc' , pode-se calcular o trecho adicional que será utilizado para fazer parte da distribuição através da Equação 110:

$$C = \frac{Lc' \cdot |i|}{SE_c} \quad Dad = (Lc' + C) \cdot 0,6 \quad (110)$$

Onde:

C = complemento do desenvolvimento para distribuição da superelevação (m);

Dad = desenvolvimento adicional necessário além da curva (m);

Lc' = desenvolvimento da espiral fictícia da curva simples (m);

i = abaulamento (%); [usualmente 2%]

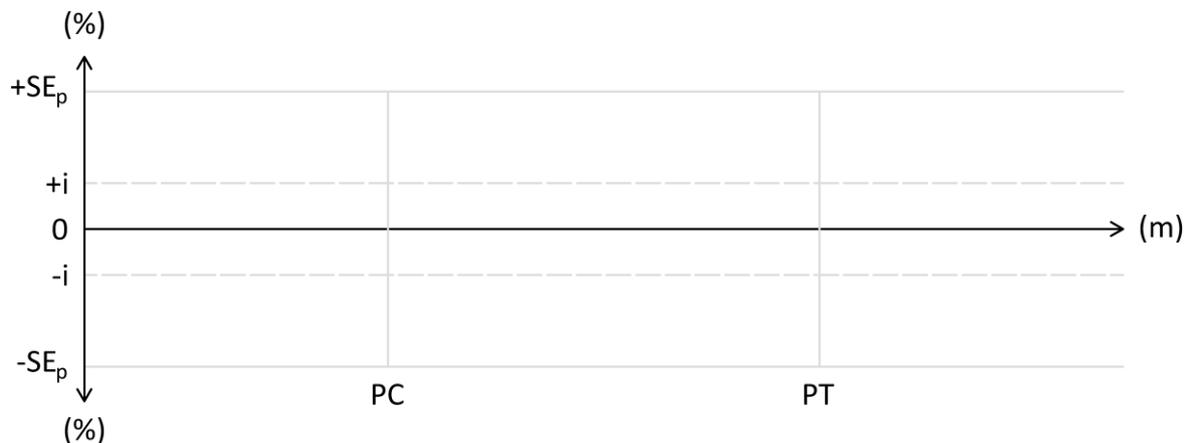
SE_c = superelevação da curva (%).

Após isso, é possível desenhar a distribuição da superelevação de uma forma parecida com a feita anteriormente:

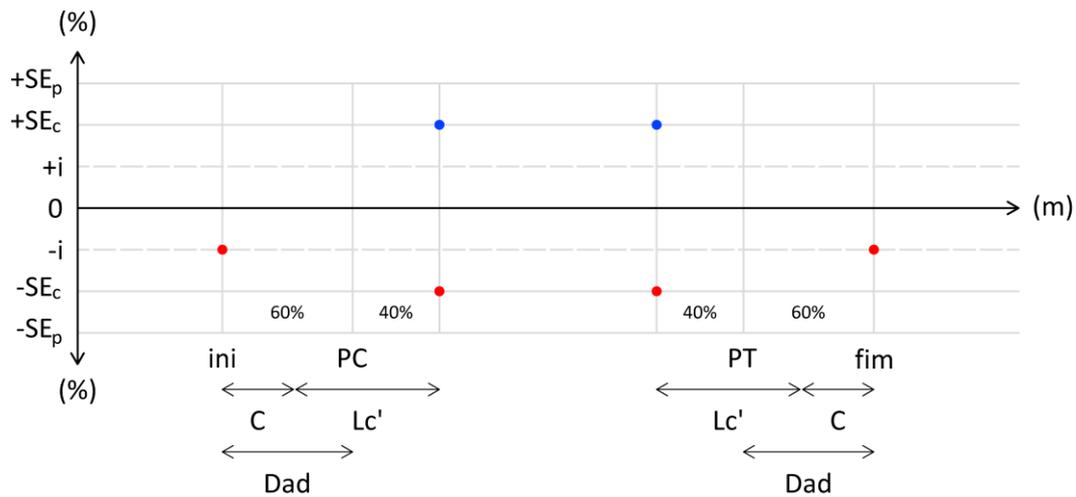
- 1) Traçar um gabarito com escala vertical e horizontal. Identificar no eixo horizontal o desenvolvimento do eixo e no eixo vertical a porcentagem de inclinação da curva;



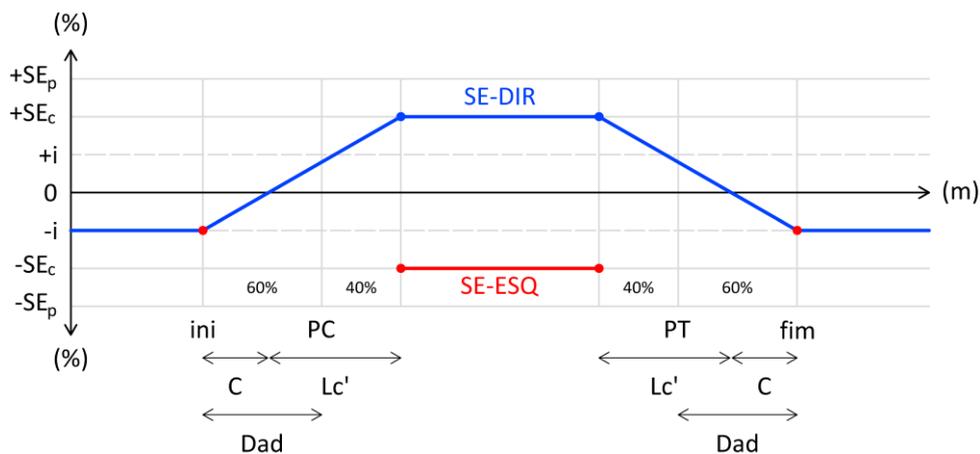
- 2) identificar os pontos característicos da curva, nesse caso, são apenas o PC e o PT. Lembre-se de deixar espaço para o trecho da tangente e o Lc' que serão utilizados;



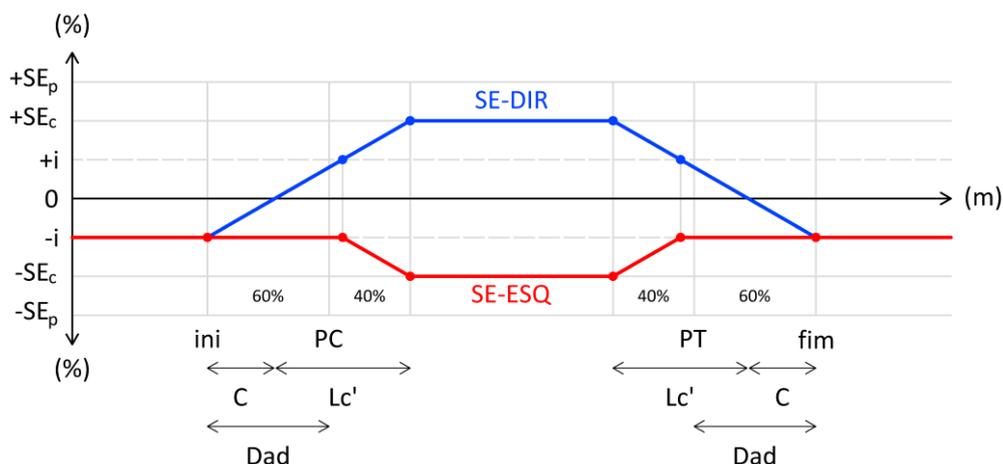
- 3) Marcar no gabarito o trecho onde será distribuída a SE. Fazemos isso somando o valor obtido no Lc' e do trecho adicional, colocando 40% do valor da soma para “dentro” da curva circular e 60% do valor da soma para “fora” da curva;



- 4) Identificar a distribuição constante da superelevação no trecho circular descontando os 40% da soma $C + Lc'$, apenas traçando uma linha reta ligando os pontos PC e PT nos dois lados do eixo; e, da mesma forma que na curva com transição, pode-se traçar uma linha que une a interseção do início da tangente com o abaulamento da via, até o início do trecho de superelevação constante;



- 5) Após isso, transporta-se o ponto em que a linha que traçamos anteriormente cruza o abaulamento positivo e marcamos no outro lado do eixo. Dessa forma, podemos traçar uma linha que une o ponto que marcamos ao início da superelevação constante. Isso significa que, no momento em que o lado externo da curva atingir o abaulamento positivo, ambos os lados irão variar em conjunto para atingir a superelevação calculada;



CASOS QUE PODEM OCORRER AO DISTRIBUIR A SUPERELEVAÇÃO

As variáveis de projeto e a geometria do eixo podem causar diferentes casos de distribuição da SE. O que mais interessa aos engenheiros projetistas nesse quesito é o tamanho da intertangente entre curvas.

A preocupação com o tamanho dos trechos retos, quando tratando de superelevações em curvas, pode parecer contraintuitivo, mas na verdade, por causa da utilização de parte da tangente para distribuir a superelevação, deve-se tomar cuidado se a intertangente é suficiente. Portanto, a distribuição da superelevação pode ocasionar 3 casos distintos:

Caso I – Intertangente suficiente

Esse é o caso ideal ao projetar-se rodovias, pois há espaço entre as superelevações de curvas consecutivas para que, na pior das hipóteses, a distribuição da primeira curva acabe imediatamente antes do início da superelevação da curva posterior, sem que haja sobreposição delas.

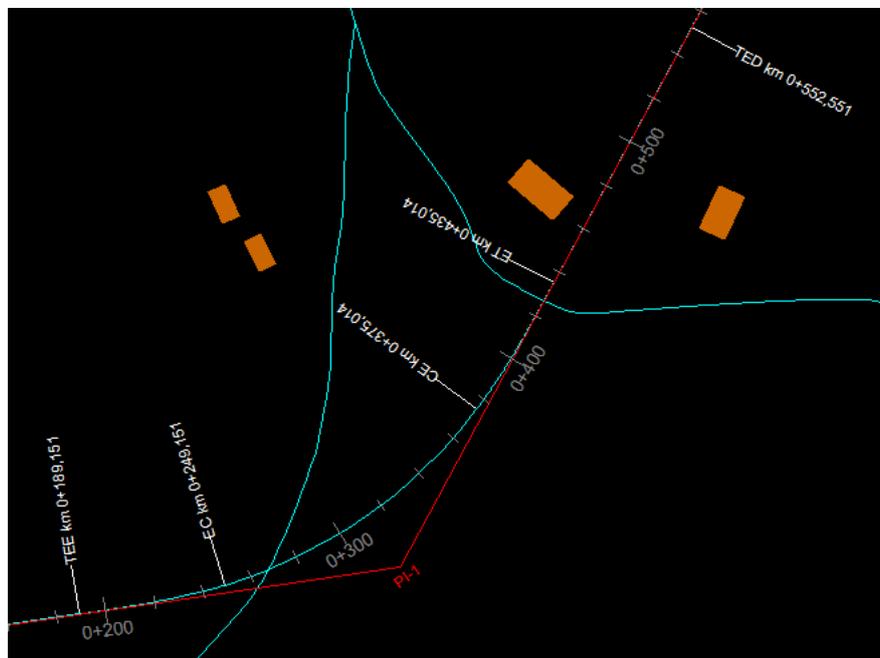


Figura 127 – Curvas com intertangente suficiente

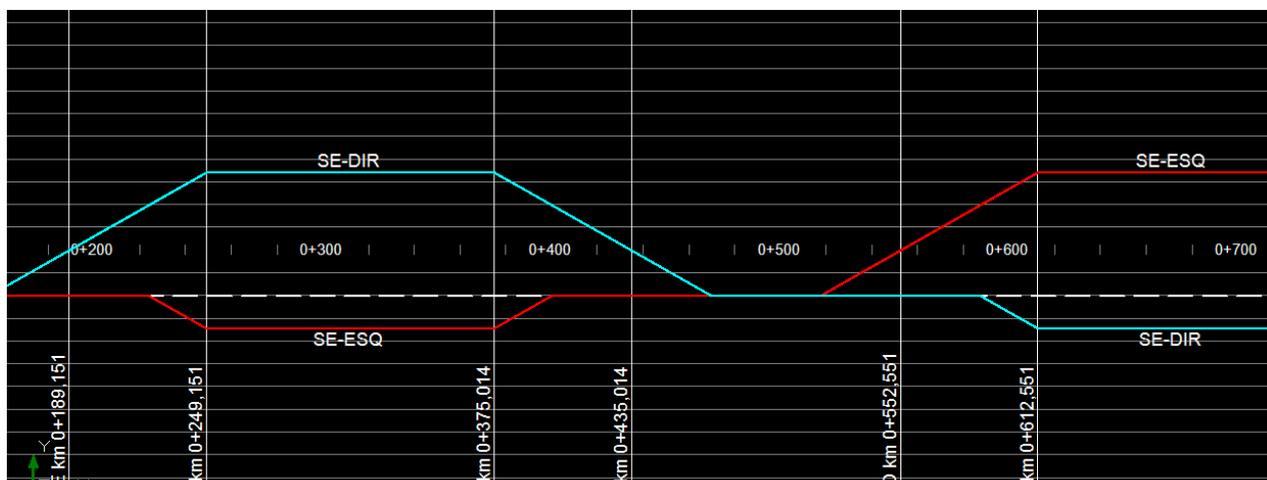


Figura 128 – Distribuição da superelevação em curvas com intertangente suficiente

Caso II – Intertangente insuficiente e curvas reversas

Acontece apenas em curvas reversas, ou seja, uma curva à direita seguida de uma curva à esquerda e vice-versa. Ocorre quando as distribuições da superelevação são sobrepostas, de forma que ou uma curva estará com a superelevação com sinal invertido (já que o lado externo ainda não terá variação para a inclinação positiva); ou acontecerá um “degrau” no pavimento, já que não há espaço para a via retornar ao nível antes de mudar a sua inclinação.

Por isso, a variação da superelevação entre as curvas não pode ser feita da mesma forma que no caso 1. Para distribuir a superelevação é preciso que o lado interno da primeira curva comece a variar a sua inclinação transversal antes de chegar na espiral da segunda curva. Dessa maneira, no encontro das duas curvas (já que a intertangente é apenas um ponto), **ambos os lados terão inclinação zero**. Após esse ponto crítico, ambos os lados variam para encontrar a SE constante no trecho circular da curva posterior.

Veja nas imagens abaixo que as curvas de sucessão reversas, o ET e o TE estão quase se encontrando, caracterizando uma intertangente muito pequena. Portanto, o gráfico da superelevação fica com o comportamento descrito anteriormente.

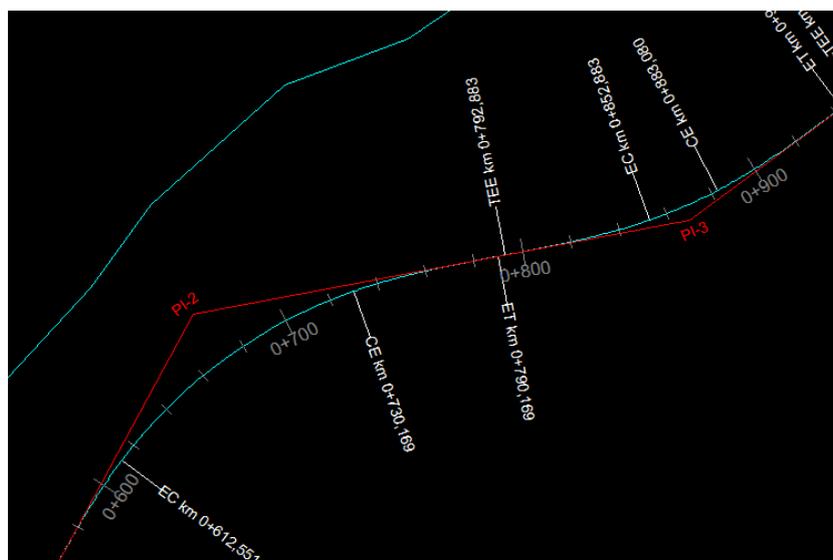


Figura 129 – Curvas reversas com intertangente insuficiente



Figura 130 – Distribuição da superelevação no caso II

Caso III – Intertangente insuficiente e curvas concordantes

As curvas concordantes são geralmente as criadas em alças de acesso ou quando se deseja fazer uma curva de mais de 180°, em que se faz uma composição de raios a fim de completar a meia volta. No caso de intertangente insuficiente para a superelevação dessas curvas, deve-se “segurar” a superelevação em inclinações transversais positivas para que, dessa forma, se evite o desconforto de abruptas inclinações para o motorista.

Note que isso é possível, uma vez que ambas as curvas possuem lado externo no mesmo lado do eixo. Portanto, entre as curvas de concordância, a superelevação não irá retornar até o abaulamento entre as clotoides das duas curvas.

Perceba esse comportamento na imagem abaixo. É possível identificar os trechos circulares pelas suas superelevações constantes. Entre eles está o caso III, em que as superelevações se encontram em um valor acima do esperado, nunca chegando ao valor zero de inclinação. Do gráfico também é possível contrastar a diferença de inclinação das retas antes da superelevação constante do PI₃ e depois. A reta de antes tem inclinação bem mais suave que a que vem depois, justamente por esse efeito de “segurar” a superelevação entre as duas curvas.

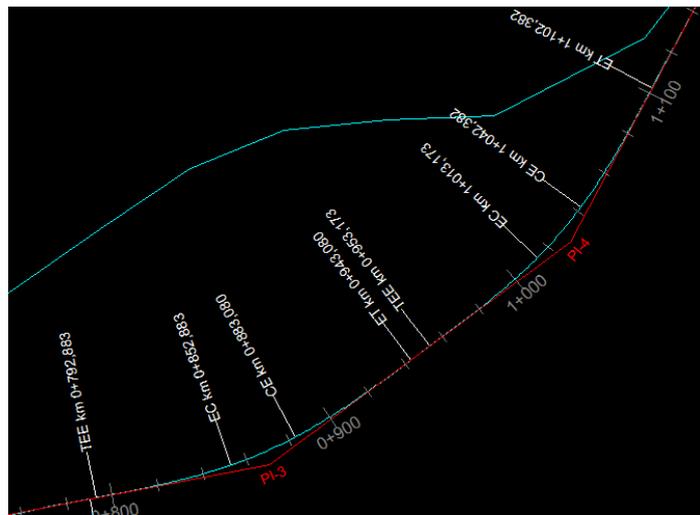


Figura 131 – Curvas em concordância com intertangente insuficiente

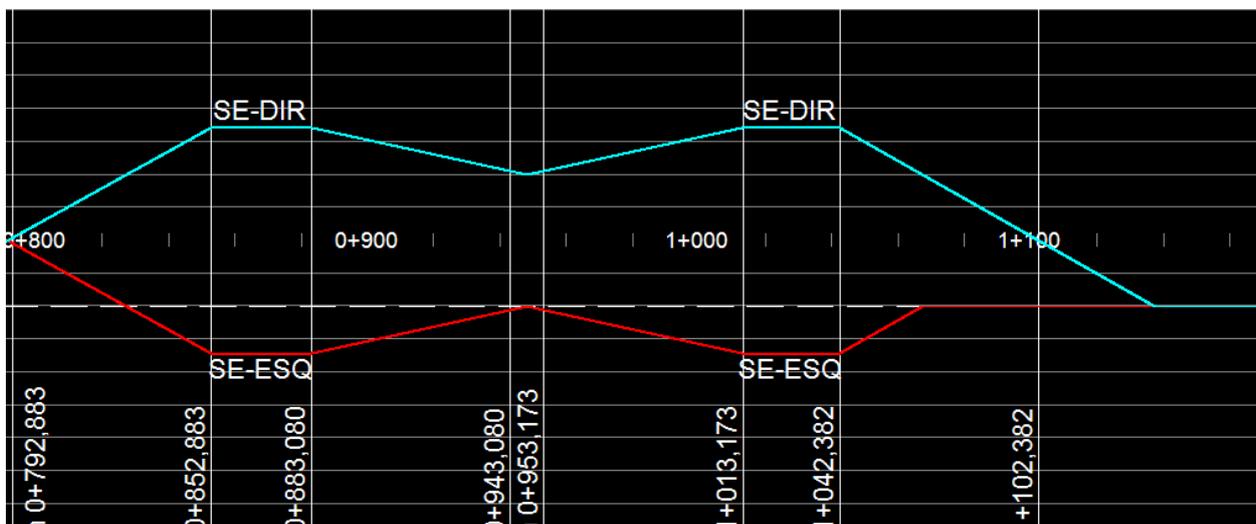


Figura 132 – Distribuição da superelevação no caso III

CORREÇÃO DA COTA DO EIXO – CC

As formas explicadas anteriormente de como distribuir a superelevação se baseiam em alterar as inclinações transversais da via a partir do eixo. Isso permite que a cota do eixo se mantenha a mesma independentemente da superelevação da curva. Mas existem situações de projeto em que o giro da superelevação deve se dar pelo bordo do corpo estradal.

Essa forma de distribuição exige que seja feita uma correção de cota, já que o bordo fica fixo e o eixo varia de posição. Essa correção deve ser feita toda vez que a superelevação de uma dada estaca ultrapassar o valor positivo do abaulamento $|i|$. Utiliza-se a equação a seguir, para determinar a correção da cota máxima da curva. A correção por estaca decorrerá da interpolação desta.

$$CC = L \cdot \frac{(SE_c - |i|)}{100} \quad (111)$$

Onde:

CC = correção da cota do perfil longitudinal de projeto (m);

L = comprimento do ponto de giro para o eixo (m);

SE_c = superelevação na curva (%);

i = abaulamento (%). [usualmente 2%]

SUPERLARGURA

A superlargura é uma forma de aumentar a largura das faixas de rolamento para fornecer maior segurança aos veículos de grande comprimento e rigidez (corpo não é flexível) que possuem dificuldade em realizar curvas muito fechadas. Esse aumento na largura das faixas evita que haja invasões nas faixas adjacentes ao realizar a manobra, tornando o tráfego mais seguro e harmônico para todos.

Perceba que na imagem em planta abaixo, há um alargamento das faixas durante o desenvolvimento da curva. Se isso não existisse, não seria possível a passagem dos veículos representados de maneira segura.

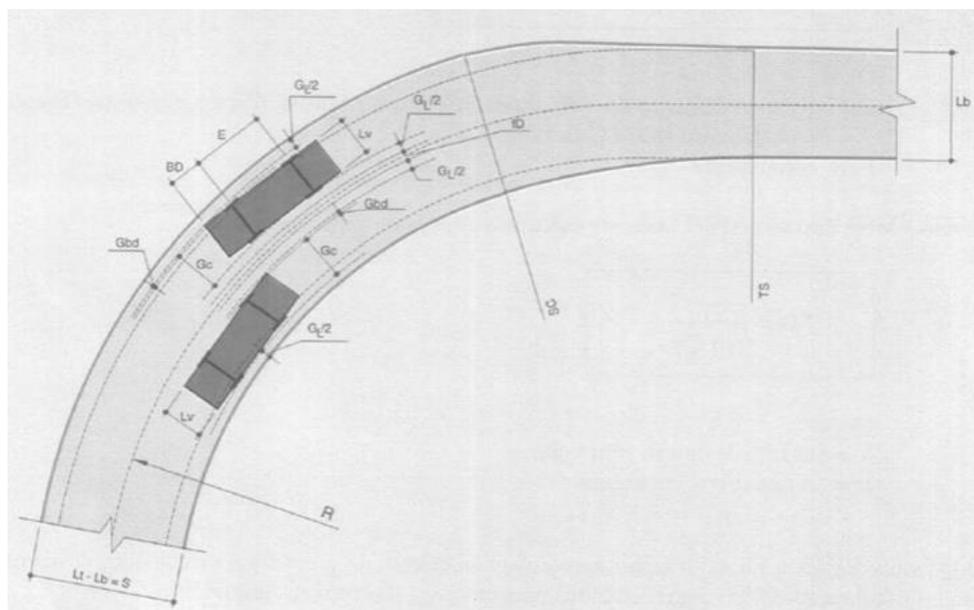


Figura 133 – Necessidade de superlargura

Cálculo da superlargura

Para se calcular adequadamente a superlargura necessária de uma curva, deve-se conhecer os seguintes parâmetros:

- a) da rodovia:
 - Vd = velocidade da diretriz (**km/h**);
 - b = distância entre eixos (**m**) [usualmente igual a 6,0 metros];
 - n = número de faixas de tráfego [usualmente igual a 2 em rodovias de pista simples];
- b) da curva:
 - PC = início da curva circular simples (**km + m**);
 - PT = fim da curva circular simples (**km + m**);
 - TE = início da curva com transição (**km + m**);
 - EC = início do trecho circular na curva com transição (**km + m**);
 - CE = fim do trecho circular na curva com transição (**km + m**);
 - ET = fim da curva com transição (**km + m**);
 - R = raio da curva (**m**);
 - Lc = desenvolvimento de espiral da transição (**m**).

De posse desses valores, pode-se utilizar a fórmula abaixo:

$$SL_c = n \cdot \left(R - \sqrt{R^2 - b^2} \right) + \frac{Vd}{10 \cdot \sqrt{R}} \quad (112)$$

Distribuição

A superlargura, com um valor mínimo de 0,40 m será distribuída no mesmo intervalo de distribuição da superelevação, variando de 0 a SL_c , sendo a SL_c dividida pelo número de faixas e aplicada igualmente em cada uma destas.



PT1 – PROJETO DE TERRAPLENAGEM MACIÇOS

PT1 – PROJETO DE TERRAPLENAGEM: MACIÇOS

OBJETIVOS

1. Identificar principais elementos de um maciço;
2. Calcular volume dos maciços pelo método das duplas áreas e centro de massa do maciço:
 - a. método da estaca mais próxima à metade do volume;
 - b. método dos momentos de inércia ou média ponderada.
3. Sistematizar o cálculo em uma planilha;
4. Identificar fatores de conversão:
 - a. fator de empolamento;
 - b. fator de contração;
 - c. fator de homogeneização.

CÁLCULO DOS VOLUMES DE CORTE E ATERRO

Os serviços de escavação, carga, transporte e descarga são quantificados pelo **volume de material medido no corte**, na densidade natural. Os serviços de espalhamento, aeração, umedecimento, compactação, conformação e acabamento da plataforma de terraplenagem são quantificados pelo **volume de material medido no aterro**, na densidade após a compactação.

Os valores (R\$) dos serviços de escavação, carga, transporte e compactação de aterros (operações de terraplenagem) correspondem a uma parcela de, **aproximadamente, 20% do custo global de uma rodovia**.

IDENTIFICAÇÃO DOS MACIÇOS

Os maciços devem ser identificados ao longo de uma obra de terraplenagem. Sua identificação é dada pelas propriedades apresentadas abaixo:

- **Orientação:** origem ou destino;
- **Tipo:**
 - origem → corte, empréstimo concentrado e lateral;
 - destino → aterro, bota-fora e depósito lateral;
 - origem e destino → depósitos temporários.
- **Id:** número e/ou código identificador;
- **Qualificação:** (material de 1ª, 2ª ou 3ª categoria, solo mole, etc.);
- **Fator de homogeneização** a ser utilizado;
- **Localização:** de início, término, centro de massa e distância morta;
- **Volume:** geométrico e homogeneizado.

MÉTODO DAS DUPLAS ÁREAS

O método das duplas áreas permite estimar o volume de um maciço a partir das áreas das seções transversais e da distância entre elas. O método tem boa precisão para trechos longos e contínuos, definidos por um único eixo. Em interseções, onde vários eixos se situam relativamente próximos, o método deve ser avaliado previamente.

A Figura 134 apresenta duas seções transversais distantes entre si pelo comprimento d , com áreas A_1 e A_2 . Se considerarmos as seções paralelas entre si podemos aproximar a superfície representada pela Figura 134 a um prisma.

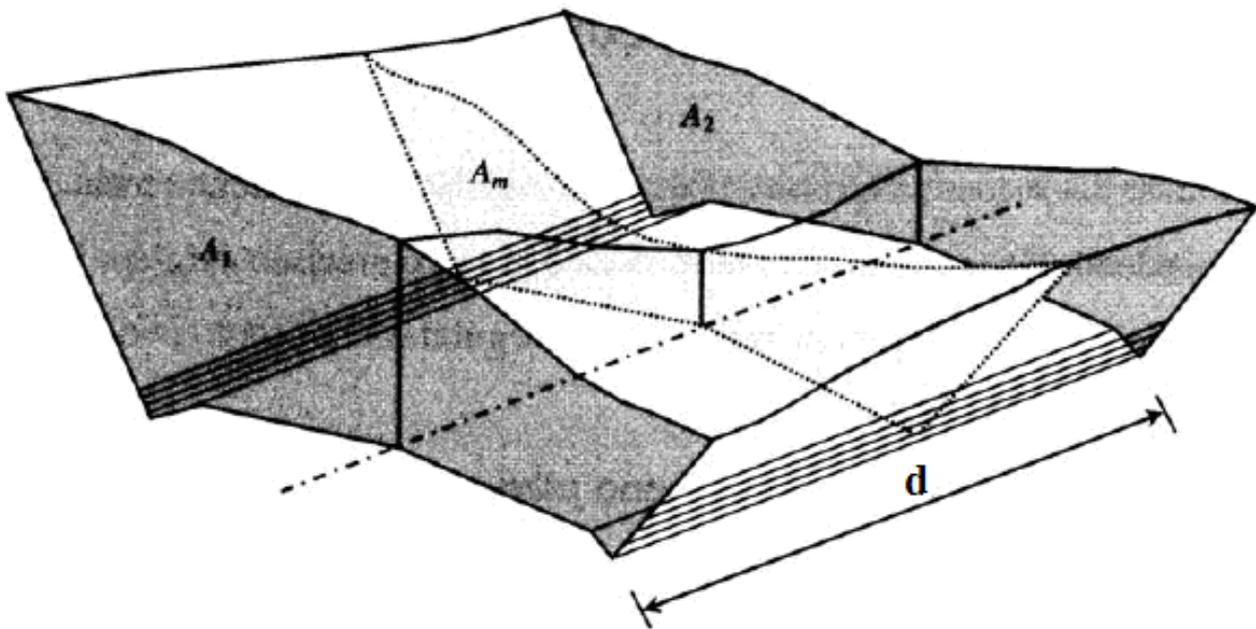


Figura 134 – Determinação do volume através do método das duplas áreas

A Equação 113 retorna a área média a partir da área dos extremos. A Equação 114 identifica o cálculo do volume de um prisma através da sua área média e da distância entre os extremos (bases).

$$A_M = \frac{A_1 + A_2}{2} \quad (113)$$

$$V = A_M \cdot d \quad (114)$$

Onde:

A_1, A_2, A_M = área da seção 1, seção 2 e média, respectivamente (m^2);

V = volume do segmento (m^3);

d = distância entre seções (m). [usualmente 20 m]

Para sistematizar o processo de cálculo é necessário identificar o **início** e **término** de um maciço, representado pelas linhas de passagem (Lp), conforme Figura 135. É possível observar a linha de terreno tracejada e a de projeto (greide) em destaque, abaixo do perfil do terreno, indicando um maciço de corte que inicia na linha de passagem do km 0 + 052,00 e termina no km 0 + 169,00.

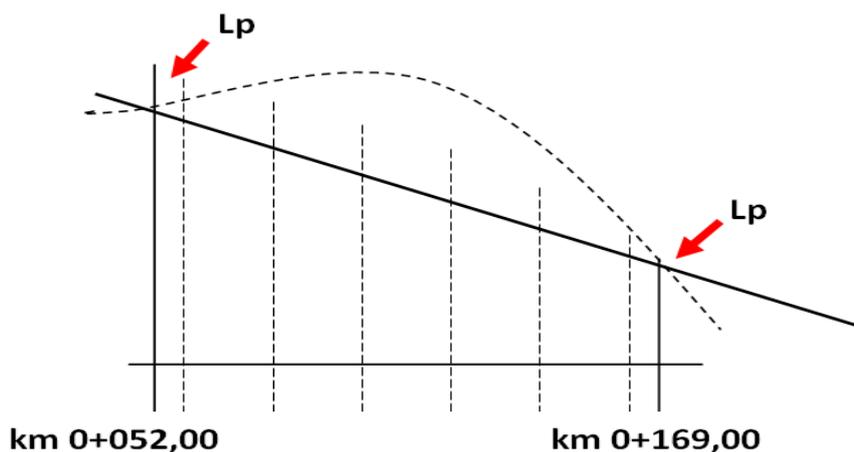


Figura 135 – Perfil longitudinal com indicação das linhas de passagem

A Tabela 7 exemplifica o cálculo do volume do maciço a partir das áreas das estacas inteiras compreendidas entre as linhas de passagem. A sistematização da planilha deve seguir o seguinte rito:

1. Definir estaca de início e fim do maciço. Estas estacas são consideradas como de linha de passagem, ou seja, com área igual a zero;
2. Colocar em linhas, entre a estaca inicial e final, todas as estacas inteiras (múltiplas de 20 metros) com suas respectivas áreas (Equação 115);
3. Realizar o cálculo da área dupla como soma da área da estaca da linha com a área da estaca da linha anterior (Equação 116). **Observações:** (i) primeira linha não possui área dupla e (ii) última linha possui área dupla igual a área da estaca anterior;

$$A_D = A_a + A \quad (116)$$

Onde:

A_D = área dupla da estaca de interesse (m^2);

V_P = volume parcial (m^3);

f = fator $d/2$ (m) [usualmente 10, exceto nas estacas inicial e final];

A_a, A = área das estacas anterior e de interesse (m^2).

4. Calcular o fator como a metade da diferença entre a estaca da linha e a estaca da linha anterior (Equação 117). **Observações:** (i) primeira linha não apresenta valor, (ii) última linha apresenta fator calculado e (iii) todas as demais linhas apresentam fator igual a dez;

$$f = \frac{km_{est} - km_{est_a}}{2} \quad (116)$$

Onde:

f = fator $d/2$ (m) [usualmente 10, exceto nas estacas inicial e final];

km_{est}, km_{est_a} = posições das estacas atual e anterior ($km + m$);

V_P = volume parcial (m^3);

A_D = área dupla da estaca de interesse (m^2).

5. Calcular o volume pela multiplicação da área dupla pelo fator, para cada linha (Equação 117);

$$V_P = f \cdot A_D \quad (117)$$

Onde:

V_P = volume parcial (m^3);

f = fator $d/2$ (m) [usualmente 10, exceto nas estacas inicial e final];

A_D = área dupla da estaca de interesse (m^2).

6. Realizar o somatório da coluna volume (Equação 118).

$$V_T = \sum V_P \quad (118)$$

Onde:

V_T = volume total (m^3);

V_P = volume parcial (m^3);

Tabela 7 – Cálculo do volume do maciço

Estaca (km + m)	Área (m^2)	Área Dupla (m^2)	Fator $d/2$ (m)	Volume (m^3)
0+052,00	Lp			
0+060,00	18,50	18,50	4,00	74,00
0+080,00	52,11	70,61	10,00	706,10
0+100,00	93,40	145,51	10,00	1.455,10
0+120,00	127,45	220,85	10,00	2.208,50
0+140,00	78,20	205,65	10,00	2.056,50
0+160,00	44,36	122,56	10,00	1.225,60
0+169,00	Lp	44,36	4,50	199,62
Σ				7.925,42

O SAEPRO, pode gerar o relatório por estaca dos volumes de terraplenagem, retornando a tabela 8 representada a seguir:

Tabela 8 – Relatório dos Volumes de Terraplenagem (RVT) por estaca.

VOLUMES DE TERRAPLENAGEM														
Rodovia: PPP-231		Homogeneização:						- Corte 1ª Categoria: 1,300						
Trecho: Traçado BB1		- Aterro Camada Superior: 1,000						- Corte 2ª Categoria: 1,000						
Segmento: km 0+000,00 ao km 7+814,15		- Aterro Camada Inferior: 1,000						- Corte 3ª Categoria: 0,800						
ESTACA (km)	ÁREAS (m^2)				VOLUMES GEOMÉTRICOS (m^3)				VOLUMES HOMOGENEIZADOS (m^3)					
	CORTE			ATERRO	CORTE			ATERRO	CORTE			ATERRO		
	1ª	2ª	3ª	TOTAL	SUP.	INF.	TOTAL	1ª	2ª	3ª	TOTAL	SUP.	INF.	TOTAL
0+000	0,36			0,36	2,40		2,40							
0+020	0,23			0,23	2,88		2,88	6			6	53		53
0+040	0,22			0,22	2,06		2,06	5			49	4		49
0+060	0,94			0,94	0,69		0,69	12			12	28		28
0+080	3,76			3,76				47			47	7		7
0+100	10,10			10,10				139			139			107
0+120	20,13			20,13				302			302			232
0+140	31,99			31,99				521			521			401
0+160	38,66			38,66				707			707			544
0+180	42,85			42,85				815			815			627
0+200	38,33			38,33				812			812			625
0+220	26,83			26,83				652			652			502
0+240	20,79			20,79				476			476			366
0+260	25,41			25,41				462			462			355
0+280	30,48			30,48				559			559			430
0+300	41,81			41,81				723			723			556
0+320	59,74			59,74				1016			1016			782
0+340	67,56			67,56				1273			1273			979
0+360	67,95			67,95				1355			1355			1042
0+380	67,52			67,52				1355			1355			1042
0+400	67,44			67,44				1350			1350			1038
0+420	69,98			69,98				1374			1374			1057
0+440	72,04			72,04				1420			1420			1092
0+460	68,55			68,55				1406			1406			1082
0+480	59,85			59,85				1284			1284			988

CÁLCULO DO CENTRO DE MASSA

O centro de massa (gravidade) de um maciço de terraplenagem decorre da simplificação adotada das “cargas” de volumes existentes ao longo de um eixo longitudinal para uma **“carga” pontual** (também denominada de **“carga” concentrada**). O Centro de Massa (CM) nada mais é do que a localização em quilômetros ou estacas sobre o eixo longitudinal da obra de terraplenagem da “carga” pontual do respectivo maciço. Desta forma, é usual caracterizar maciços de corte e aterro por seus quilômetros (ou estacas) inicial, final de centro de gravidade e pelo seu volume.

Um maciço de corte pode apresentar mais de um centro de gravidade. Este fato ocorre, geralmente, quando no mesmo maciço há a incidência de materiais distintos como solo (material de 1ª categoria), decomposição de rocha (2ª categoria) e rocha (3ª categoria). Em maciços muito extensos e com condicionantes geométricas que definem uma orientação característica para a distribuição dos materiais também é possível subdividir o mesmo em segmentos, com início, término e centros de massa separados.

A determinação do centro de massa pode ser feita de diversas formas, conforme a precisão requerida no processo. Entre as possíveis maneiras de determinar a localização de centros de gravidade encontram-se os métodos:

- Média aritmética dos limites do maciço;
- Interpolação visual;
- Localização da estaca mais próxima à metade do volume do maciço e;
- Localização pelo cálculo dos momentos de inércia ou média ponderada.

Média aritmética dos limites do maciço

A média aritmética é um cálculo matemático singelo. **Para a determinação do centro de um segmento basta dividir por dois a soma da posição inicial e final.** O resultado é definido como centro geométrico do segmento retilíneo. Embora possa parecer mais preciso, por recorrer a informações numéricas, em quase a totalidade das vezes, este método se mostra com desempenho inferior ao método da interpolação visual. Este fato deve-se à distribuição geralmente não homogênea dos volumes ao longo do segmento de estudo e à impossibilidade de o método introduzir no cálculo este fator.

Este método **pode ser utilizado, com restrições**, desde que o comportamento ao longo do segmento seja homogêneo ou próximo desta condição (exemplo: centro de gravidade de uma camada asfáltica de espessura constante com início na estaca X e término na Y).

Interpolação visual

A interpolação visual é uma ferramenta que o ser humano utiliza no dia-a-dia. Ao cruzar uma rua ou ao segurar com a mão uma bola arremessada por alguém, o cérebro humano é capaz de ajustar uma trajetória interpolando pontos observados. **A identificação visual de um centro de gravidade de maciço pode ser realizada através da observação do perfil longitudinal da obra de terraplenagem.**

É evidente que o perfil longitudinal é uma simplificação da interseção entre a superfície de terreno e a superfície de projeto, não refletindo as características preponderantes das seções transversais.

Neste sentido, embora o ajuste do centro de gravidade pela interpolação visual sobre o perfil seja relativamente preciso, o perfil pode não representar a superfície e induzir o técnico a erro de interpretação. Este método é indicado para **serviços expeditos**.

Localização da estaca mais próxima à metade do volume do maciço

Este método é bem mais elaborado que os dois anteriores, contudo oferece uma precisão bem mais significativa. Para obter o centro de gravidade através deste método faz-se necessário a construção em planilha da soma dos volumes acumulados ao longo das estacas (Tabela 9).

Tabela 9 – Determinação do centro de massa pela metade do volume do maciço

Estaca (km+m)	Vol. Parcial (m ³)	Vol. Acum. (m ³)
0+052,00	-	-
0+060,00	74,00	74,00
0+080,00	706,10	780,10
0+100,00	1.455,10	2.235,20
0+120,00	2.208,50	4.443,70
0+140,00	2.056,50	6.500,20
0+160,00	1.225,60	7.725,80
0+169,00	199,62	7.925,42
	7.925,42	

Conhecido o volume acumulado da estaca final e da estaca imediatamente anterior a inicial do maciço é possível, através da subtração dos mesmos, a obtenção do volume do maciço. A metade do volume deste maciço é adicionada ao volume da estaca imediatamente anterior a inicial do maciço. O valor resultante deve ser confrontado com os valores da coluna de volumes acumulados de forma a se verificar que o mesmo se encontra confinado entre uma e outra estaca do maciço. O centro de gravidade pode ser atribuído como o da estaca mais próxima, da estaca múltipla de 10 ou 5 metros ou até pela obtenção da estaca interpolada por regra de três.

No exemplo da Tabela 9, metade do volume (7.925,42 / 2) é igual a 3.962,71 m³. Este valor encontra-se entre a estaca 0 + 100,00 e a estaca 0 + 120,00. Dessa forma, a estruturação da regra de três pode ser observada na Tabela 10, abaixo:

Tabela 10 – Montagem da regra de três

Estaca km+m	Vol. Acum. (m ³)	→	Diferenças	
			Estaca km+m	Volume (m ³)
0+100,00	2.235,20			
<i>km</i>	3.962,71		120,00 - 100,00	2.208,50
0+120,00	4.443,70		<i>km</i> - 100,00	1.727,51

Resolvendo a regra de três, obtemos a Equação 119:

$$km = \left[\frac{(km_p - km_a) \cdot (V - V_a)}{V_p - V_a} \right] + km_a \quad (119)$$

Onde:

km = posição da estaca de interesse (m);

km_a, km_p = posições das estacas anterior e posterior (m);

V, V_a, V_p = volume da estaca de interesse, anterior e posterior (m^3).

Utilizando esta equação, obtemos um valor de 0 + 115,64. Se o valor for arredondado para **estacas inteiras de 10 em 10 metros**, a estaca do centro de massa do maciço será 0+120,00.

Embora trabalhoso, o método da localização do centro de gravidade pela metade do volume do maciço **é bastante preciso e pode ser facilmente implementado em planilhas eletrônicas**.

Localização pelo cálculo dos momentos de inércia ou média ponderada

A forma mais precisa de obtenção do centro de gravidade de um maciço de terraplenagem a partir de áreas e/ou volumes obtidos através de seções transversais decorre da utilização do método de cálculo dos momentos de inércia (também conhecido em outros meios como média ponderada, atribuição de pesos, etc.) O método consiste em calcular para cada uma das estacas **o produto Distância x Volume**. O somatório dos produtos (momentos) de todas as estacas do maciço irá gerar o momento de inércia do mesmo. A divisão deste momento de inércia pelo volume total do maciço resultará na média ponderada da distância, ou seja, para nossa área de interesse, o centro de gravidade do maciço. A distância, neste caso, é a medida de comprimento da posição da estaca, em questão, até um ponto de referência arbitrário.

Tabela 11 – Determinação dos momentos de inércia

Estaca km+m	Vol. Parcial (m^3)	Momento ($m^3.m$)
0+052,00	-	-
0+060,00	74,00	4.440,00
0+080,00	706,10	56.488,00
0+100,00	1.455,10	145.510,00
0+120,00	2.208,50	265.020,00
0+140,00	2.056,50	287.910,00
0+160,00	1.225,60	196.096,00
0+169,00	199,62	33.735,78
	7.925,42	989.199,78

A divisão entre o somatório dos momentos e dos volumes parciais resulta na estaca **0 + 124,81**. Seguindo o critério anterior, se a apresentação dos centros de massa for com precisão de múltiplos de 10,00, o valor final ficaria em 0 + 120,00.

É comum o erro de atribuir como ponto de referência o início do maciço ou o 'quilômetro zero'. Nestes casos o primeiro momento a ser calculado resulta em zero, uma vez que o produto Distância X Volume possui o termo distância nulo. Aconselha-se atribuir a referência na **estaca imediatamente anterior ao início do maciço**, de forma que todas as estacas possam apresentar distâncias positivas. Similar ao método anterior, recomenda-se o uso de planilhas e/ou programas para a simplificação do processo.

Todos os métodos relatados acima têm por objetivo determinar em qual estaca está localizado o centro de gravidade. Nenhum deles é capaz de indicar as duas outras dimensões do centro de gravidade do maciço. Objetos tridimensionais apresentam um único centro de gravidade que pode ser identificado nos eixos cartesianos x , y e z . Produtos que utilizamos constantemente (veículos automotores, secadores de cabelo, bolas de futebol, canetas, etc.) são projetados de forma a apresentarem centro de gravidade que favoreça sua perfeita utilização. O próprio ser humano, quando ainda no útero materno, recebe alimentação e oxigênio pelo cordão umbilical que está localizado no centro de gravidade do feto.

Para cálculos mais complexos de identificação de centros de gravidade (inclusive de objetos com densidades variáveis) é necessário recorrer a métodos mais robustos de análise tais como: elementos finitos e operações booleanas entre superfícies.

MAÇICOS E CENTRO DE GRAVIDADE DE CORTE																				
Rodovia: PPP-231										Homogeneização 1ª Categoria: 1,300										
Trecho: Traçado BB1										Homogeneização 2ª Categoria: 1,000										
Segmento: km: 0+000,00 ao km: 7+814,15										Homogeneização 3ª Categoria: 0,800										
Id	1ª CATEGORIA					2ª CATEGORIA					3ª CATEGORIA					TOTALIZADOS				
	POSICIONAMENTO			VOLUME (m³)		POSICIONAMENTO			VOLUME (m³)		POSICIONAMENTO			VOLUME (m³)		POSICIONAMENTO			VOLUME (m³)	
	INÍCIO	CM	FINAL	GEO	HOMO	INÍCIO	CM	FINAL	GEO	HOMO	INÍCIO	CM	FINAL	GEO	HOMO	INÍCIO	CM	FINAL	GEO	HOMO
1	0+000	0+340	0+570	20566	15820											0+000	0+340	0+570	20566	15820
2	0+610	0+640	0+670	49	38											0+610	0+640	0+670	49	38
3	0+830	0+880	0+970	956	735											0+830	0+880	0+970	956	735
4	1+230	1+570	1+770	23033	17718											1+230	1+570	1+770	23033	17718
5	1+830	1+930	2+070	7507	5775	1+990	2+000	2+050	871	871	1+990	2+000	2+030	203	254	1+830	1+940	2+070	8581	6899
6	2+110	2+200	2+290	704	542	2+110	2+200	2+290	2425	2425	2+150	2+200	2+270	792	990	2+110	2+200	2+290	3921	3957
7	2+870	2+940	3+030	671	516	2+870	2+940	3+030	2210	2210	2+890	2+940	2+990	378	473	2+870	2+940	3+030	3259	3199
8	3+110	3+290	3+450	2021	1555	3+110	3+300	3+430	8702	8702	3+150	3+330	3+430	12460	15575	3+110	3+310	3+450	23183	25832
9	3+550	3+620	3+690	374	288	3+550	3+620	3+690	858	858	3+610	3+630	3+650	88	110	3+550	3+620	3+690	1320	1256
10	4+030	4+200	4+390	87897	67613											4+030	4+200	4+390	87897	67613
11	4+510	4+540	4+590	280	215											4+510	4+540	4+590	280	215
12	4+670	4+790	4+890	15821	12170											4+670	4+790	4+890	15821	12170
13	5+230	5+290	5+370	1127	867											5+230	5+290	5+370	1127	867
14	5+450	5+790	6+030	49652	38194											5+450	5+790	6+030	49652	38194
15	6+090	6+130	6+190	361	278											6+090	6+130	6+190	361	278
16	6+310	6+480	6+570	14459	11122											6+310	6+480	6+570	14459	11122
17	6+730	6+750	6+790	788	606											6+730	6+750	6+790	788	606
18	7+070	7+350	7+570	78961	60739											7+070	7+350	7+570	78961	60739
19	7+670	7+670	7+814	4426	3405											7+670	7+670	7+814	4426	3405

Figura 136 – Relatório de Maciços de Corte (RMC)

FATORES DE CONVERSÃO

Tanto os volumes de origem (cortes, empréstimos concentrados e empréstimos laterais) como os volumes de destino (aterros, bota-fora e depósitos laterais) devem ser medidos geometricamente, *in loco*. O material escavado ao ser transportado ocupa, geralmente, um volume maior no veículo. As perdas, inerentes ao transporte, e a compactação faz com que este volume, geralmente, se reduza no aterro. Existem interpretações diversas sobre os fatores (empolamento, homogeneização, etc.) que devem ser aqui esclarecidas:

- **Fator de empolamento:** relação entre volume solto e volume de corte. Geralmente superior a 1, indica a relação entre o volume transportado e o volume geométrico no corte (Equação 120). Se presta para estimar o número de viagens necessárias para transportar um

determinado volume entre a origem e o destino. Os serviços de escavação carga e transporte no SICRO não consideram este fator, orçando os serviços pelo volume geométrico no corte;

$$f_e = \frac{V_{solto}}{V_{corte}} \quad (120)$$

Onde:

V_{solto} = volume na caçamba do caminhão (m^3);

V_{corte} = volume original do corte (m^3).

- **Fator de contração:** relação entre volume compensado e volume de corte. Geralmente inferior a 1, indica a redução do material quando da compactação deste na formação de aterros (Equação 121);

$$f_c = \frac{V_{comp}}{V_{corte}} \quad (121)$$

Onde:

V_{comp} = volume final do aterro (m^3);

V_{corte} = volume original do corte (m^3).

- **Fator de homogeneização:** é o inverso do fator de contração, sendo uma relação entre o volume de corte e o volume compensado (Equação 122). É o fator utilizado na distribuição dos materiais. Um fator de 1,3 indica que será necessário $1,3 m^3$ de material proveniente de um corte para cobrir $1,0 m^3$ de aterro. Dessa forma, os fatores de homogeneização estabelecem uma relação entre o volume em corte e em aterro (situação inicial e final), não sendo considerado os efeitos durante o transporte.

$$f_h = \frac{V_{corte}}{V_{comp}} \quad (122)$$

Onde:

V_{corte} = volume original do corte (m^3);

V_{comp} = volume final do aterro (m^3).

A Figura 137 exemplifica uma situação hipotética onde $1,0 m^3$ de aterro equivale a $1,6 m^3$ no transporte e $1,3 m^3$ no corte. Essa relação estabelece o valor de 1,3 como o fator de homogeneização entre o volume de aterro e de corte necessário.

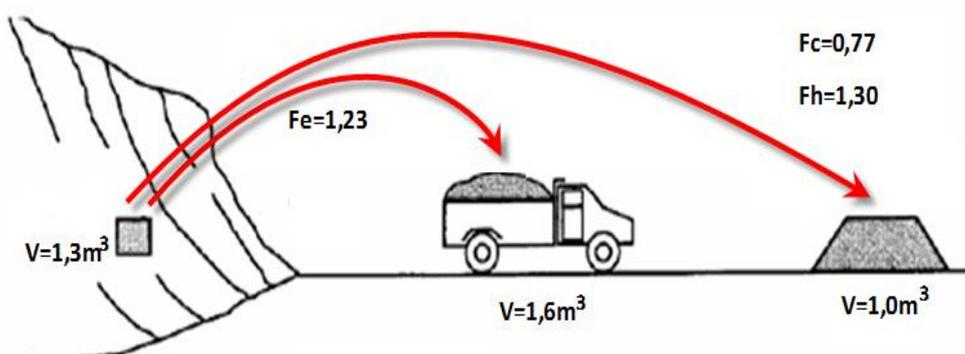


Figura 137 – Diferença entre volumes na origem, transporte e destino

Os fatores de homogeneização, geralmente, estão associados a qualificação do material, classificado em:

- **1ª categoria:** solos que permitem a escavação direta;
- **2ª categoria:** decomposição de rocha. Estruturas mais resistentes que permitem sua remoção através de processos de escarificação e escavação;
- **3ª categoria:** rocha sã. Remoção através de detonação.

Atualmente, alguns órgãos gestores solicitam a análise do material do maciço, estabelecendo um fator de homogeneização específico para cada maciço. É importante ressaltar que **o projeto de terraplenagem deverá funcionar como o fechamento de uma contabilidade**, onde o somatório dos volumes de origem deverá ser igual à dos de destino. Para tanto, além dos cortes e aterros do projeto de terraplenagem, serão necessários avaliar e utilizar matérias provenientes de empréstimos concentrados e de empréstimos laterais, bem como locais para depósito de excedentes (bota-foras e depósitos laterais). Tal contabilidade torna-se mais complexa, visto que existem fatores de homogeneização diferentes, o que seria equivalente a realizar uma contabilidade utilizando várias moedas distintas.

RESUMO DOS VOLUMES

O resumo dos volumes deve apresentar o somatório dos volumes geométricos e homogeneizados de origem e destino. Para a terraplenagem ser considerada fechada, os volumes de origem homogeneizados devem ser iguais aos volumes geométricos de destino. Devem ser considerados:

Origem:

- Cortes (1ª, 2ª e 3ª categorias);
- Empréstimos concentrados;
- Empréstimos laterais.

Destino:

- Aterros (superior e inferior);
- Bota-foras;
- Depósitos laterais.

EXERCÍCIOS

Utilizando os dados do maciço fornecido na tabela anexa, determine a estaca do quilômetro final do maciço.

Est.	Área	Área Dupla	Fator (d/2)	Volume	
				Parcial	Acumulado
4+041,45	Lp				
4+060,00	30,13	30,13	?	279,475	279,475
4+080,00	32,43	?	?	625,621	905,097
4+100,00	30,22	?	?	?	?
4+120,00	?	57,69	10,00	?	?
4+140,00	23,12	50,59	10,00	?	?
4+160,00	22,46	45,58	10,00	455,800	3.070,197
4+180,00	17,23	39,69	10,00	396,900	?
4+200,00	?	?	10,00	?	3.771,897
?	Lp	?	?	?	?
				3.867,562	

RESOLUÇÃO

Para realizar o exercício, é necessário entender como a tabela funciona, para que então possamos fazer o caminho inverso dela a fim de encontrar os valores que faltam.

Para preencher a coluna das “Área Duplas” deve-se somar o valor da área da estaca com a sua anterior. Isso pode ser observado na estaca 4+160,00 em que o valor 45,58 resulta da soma de 22,46 com 23,12.

Em seguida, o valor $d/2$ é a distância entre as duas estacas dividido por 2. Nas linhas do meio da tabela, esse valor é sempre 10, já que elas estão de 20 em 20 metros. Mas o “ $d/2$ ” das estacas de início e fim, dependem da distância deles até a próxima estaca. Esse é o valor que nos interessa para descobrir a estaca final do maciço, já que ela diz a distância da estaca 4+200,00 até o fim.

A coluna do volume parcial é simplesmente o valor da coluna “Área Dupla” multiplicado pelo fator “ $d/2$ ”.

O volume acumulado é a soma dos volumes parciais obtidos até então.

Passo-a-passo da resolução:

- 1) Descobrimos o volume parcial da estaca final do maciço fazendo o volume final menos o volume acumulado até a estaca imediatamente anterior:

$$\text{Vol. Parcial} = 3.867,562 - 3.771,897$$

$$\text{Vol. Parcial} = 95,665$$

- 2) Pode-se descobrir o valor do volume parcial da estaca 4+200,00 pela subtração do volume acumulado da estaca 4+200,00 pelo acumulado da estaca 4+180,00:

$$\text{Vol. Acum.}_{4+180} = 3.070,197 + 396,900$$

$$\text{Vol. Acum.}_{4+180} = 3.467,097$$

$$\text{Vol. Parcial}_{4+200} = 3.771,897 - 3.467,097$$

$$\text{Vol. Parcial}_{4+200} = 304,800$$

- 3) Como o valor do fator $d/2$ é 10, descobre-se o valor da área dupla dessa estaca:

$$\text{Área Dupla}_{4+200} = \frac{304,800}{10}$$

$$\text{Área Dupla}_{4+200} = 30,48$$

- 4) Logo a área da seção dessa estaca é a área dupla subtraída da área da seção anterior:

$$\text{Área}_{4+200} = 30,48 - 17,23$$

$$\text{Área}_{4+200} = 13,25$$

Chegamos nessa configuração da tabela:

Est.	Área	Área Dupla	Fator (d/2)	Volume	
				Parcial	Acumulado
4+041,45	Lp				
4+060,00	30,13	30,13	?	279,475	279,475
4+080,00	32,43	?	?	625,621	905,097
4+100,00	30,22	?	?	?	?
4+120,00	?	57,69	10,00	?	?
4+140,00	23,12	50,59	10,00	?	?
4+160,00	22,46	45,58	10,00	455,800	3.070,197
4+180,00	17,23	39,69	10,00	396,900	?
4+200,00	13,25	30,48	10,00	?	3.771,897
?	Lp	13,25	?	95,665	?
				3.867,562	

A área dupla da estaca final tem o mesmo valor que a área da seção da estaca anterior, já que as estacas de início e fim do maciço são apenas um ponto.

- 5) Dessa forma, para descobrir o fator d/2, basta dividir o Volume Parcial da estaca final, por sua área dupla:

$$\frac{d}{2} = \frac{95,665}{13,25}$$

$$\frac{d}{2} = 7,22$$

- 6) Esse valor encontrado se refere a metade da distância entre estacas, deve-se multiplicar por 2 para obter a distância real:

$$d = 14,44 \text{ m}$$

- 7) Finalmente, soma-se o valor de d à estaca anterior ao final do maciço e obtém-se a resposta final:

$$km_{final} = 4.200 + 14,44$$

$$km_{final} = 4 + 214,44$$



PT2 – PROJETO DE TERRAPLENAGEM DISTRIBUIÇÃO DE MATERIAIS

PT2 – PROJETO DE TERRAPLENAGEM: DISTRIBUIÇÃO DE MATERIAIS

OBJETIVOS

1. Avaliar aspectos que indicam um bom projeto de terraplenagem;
2. Reconhecer análises em um Diagrama de Massas (Brückner);
3. Aprender a calcular a Distância Média de Transportes – DMT;
4. Identificar necessidade de maciços de origem, destino ou temporários externos;
5. Sistematizar o cálculo em uma planilha: Quadro da Orientação da Terraplenagem;
6. Reconhecer elementos de representação gráfica da terraplenagem.

DISTRIBUIÇÃO DOS MATERIAIS

Um bom projeto de terraplenagem é aquele que apresenta volumes de corte e aterro reduzidos, equilibrados e equilibrados em pequenas distâncias. Em resumo, um bom projeto de terraplenagem está associado a um bom projeto geométrico.

Para que possamos analisar a distribuição de materiais, utilizaremos do método de análise gráfica, através do uso do Diagrama de Brückner, ou Diagrama de Massas. Na figura 138, podemos ver um diagrama de Bruckner.

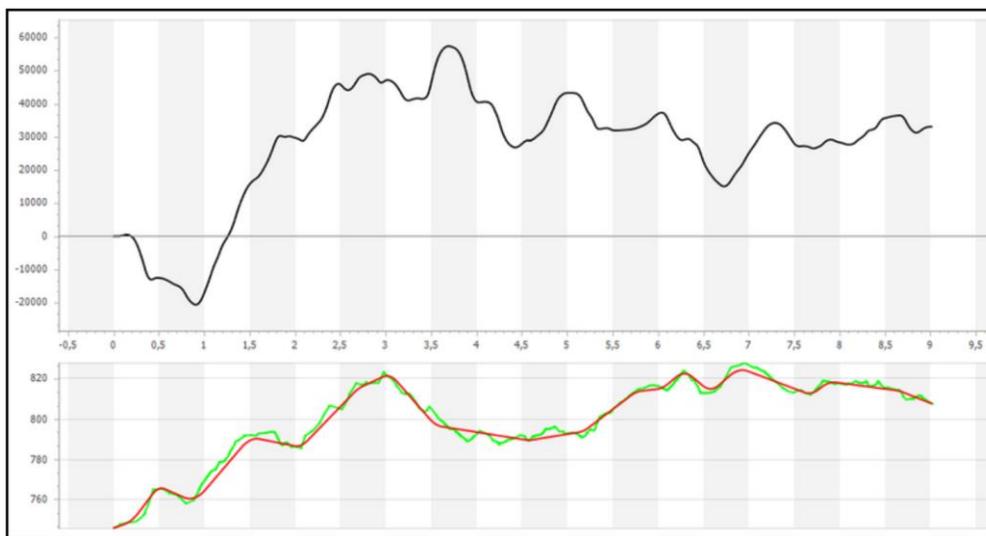


Figura 138 – Diagrama de Brückner

Na figura 138 é possível identificar o perfil longitudinal do terreno (em verde) e o greide do projeto (vermelho). A ideia do diagrama de Brückner é representar graficamente o comportamento da terraplenagem, através de uma linha que parte de 0 m³ e varia conforme a extensão do traçado (eixo x). Desta forma, os volumes de corte são os trechos positivos e os volumes de aterro os trechos negativos da curva. Outro ponto interessante é o comportamento da curva, por exemplo, ao se analisar o perfil do terreno é evidente que, entre os quilômetros 0 e 1 existe um volume negativo de material, contudo a partir do quilômetro 1 a curva de Brückner passa a ser ascendente, o que

nos diz que estamos “criando” material, ou seja, passamos a ter trechos de corte no nosso greide. Em resumo, entende-se que toda a linha ascendente no diagrama de Brückner é correspondente a incremento de material e, toda a linha descendente significa que estamos consumindo material. E, além disso, todo volume negativo representa aterro e todo volume positivo representa corte do terreno. Em resumo, toda a declividade negativa da curva representa um aterro, que é um consumo de material, ou seja, um destino; toda a declividade positiva da curva representa um corte, que é uma criação de material, ou seja, uma origem; conforme Figura 139 abaixo:

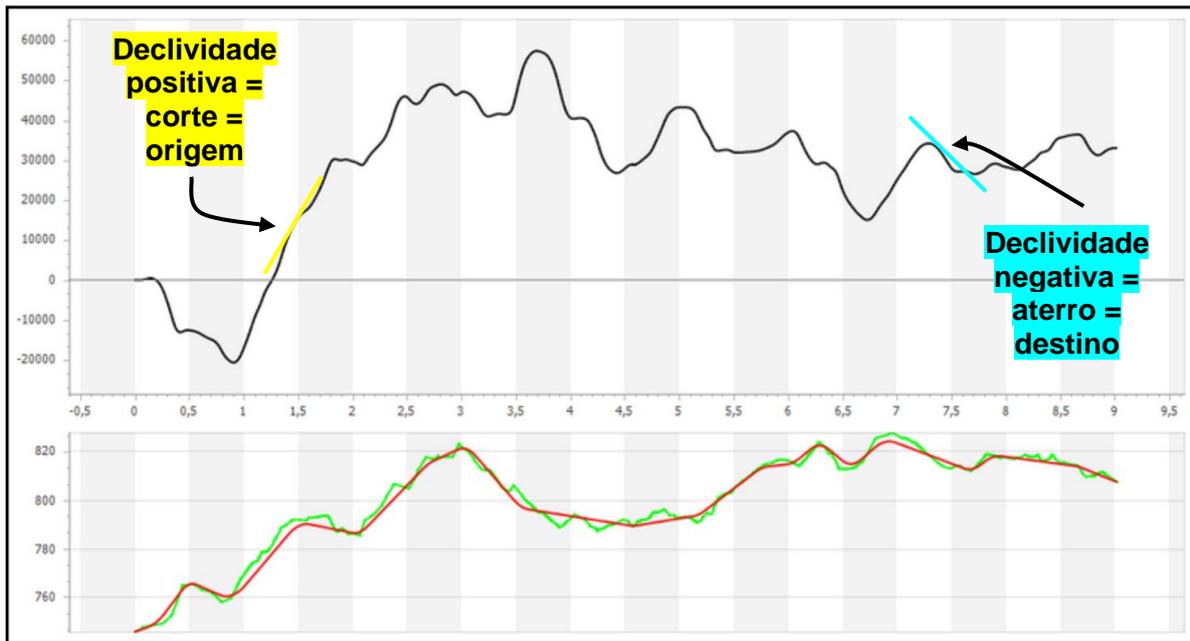


Figura 139 - Identificação de aterros e cortes pelo diagrama de Brückner

Como demonstra a Figura 140, é possível observar um excedente de material do projeto no quilômetro final (seta laranja), e na seta vermelha, podemos observar onde se localiza o maior volume acumulado em crédito.

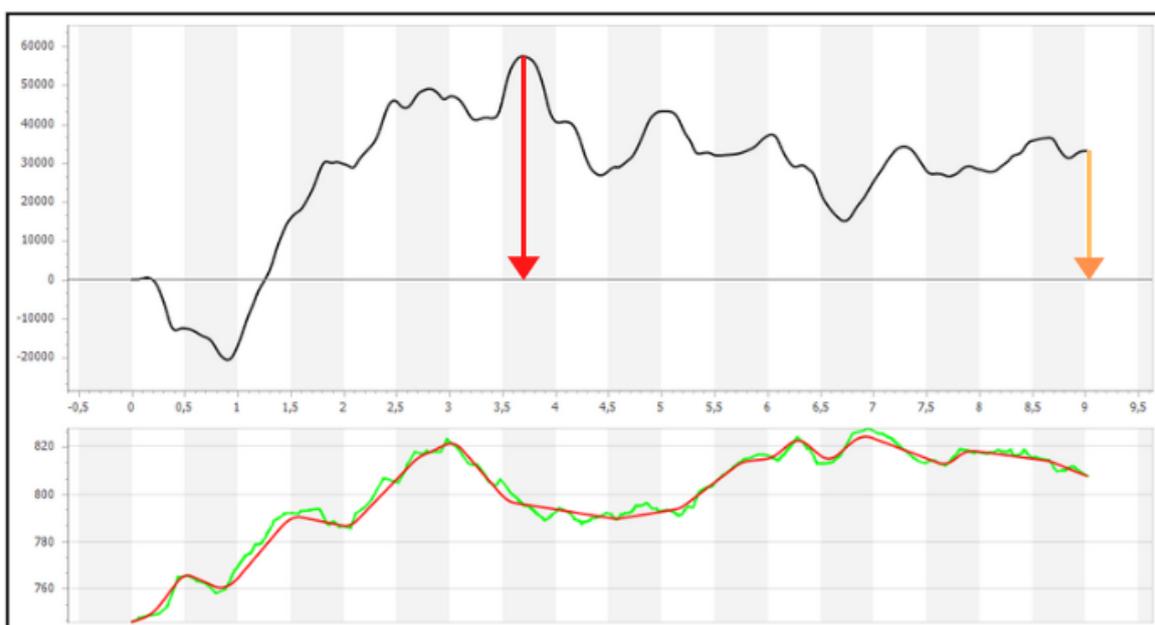


Figura 140 – Excedentes de projeto

Para evitar isso, podemos redistribuir nosso greide de projeto, buscando um melhor equilíbrio entre as massas. Percebemos que neste projeto, é entre o km 1+000 e 1+800 que produzimos um excedente maior de material, portanto, podemos ajustar nosso greide neste trecho para encontrar um equilíbrio, conforme mostrado na Figura 141:

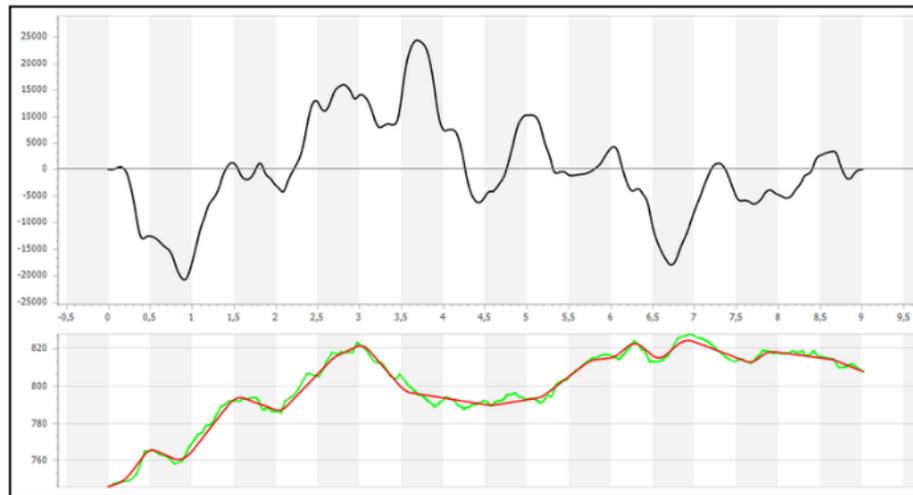


Figura 141 – Diagrama de Brückner após redistribuição

Na figura 141, observamos um projeto de terraplenagem muito mais consistente. Percebemos que atingimos um ótimo equilíbrio, eliminando aquele excedente de material do projeto, pois no km 9+000, que é a nossa estaca final, a curva atinge a linha de 0. Outro ponto muito importante a ser observado é que, com essa nova distribuição, nossa curva está cruzando muito mais vezes os 0 m³, o que significa que por várias vezes durante o nosso projeto atingimos o equilíbrio de massas.

Porém, muitas vezes não é possível atingir este equilíbrio, o que nos obriga a encontrar o que chamamos de novas posições de equilíbrio. Nesses casos, necessita-se criar um bota-fora ou requisitar um empréstimo. A Figura 142 indica para o mesmo diagrama de massas das Figuras 138 e 141 uma nova posição de equilíbrio, considerando a existência de um bota-fora. Este novo equilíbrio é representado pela linha tracejada e, toda a vez que se cruza a linha, ocorre uma igualdade. O comprimento da linha vermelha nos indica o volume que poderia ser destinado a um bota-fora.

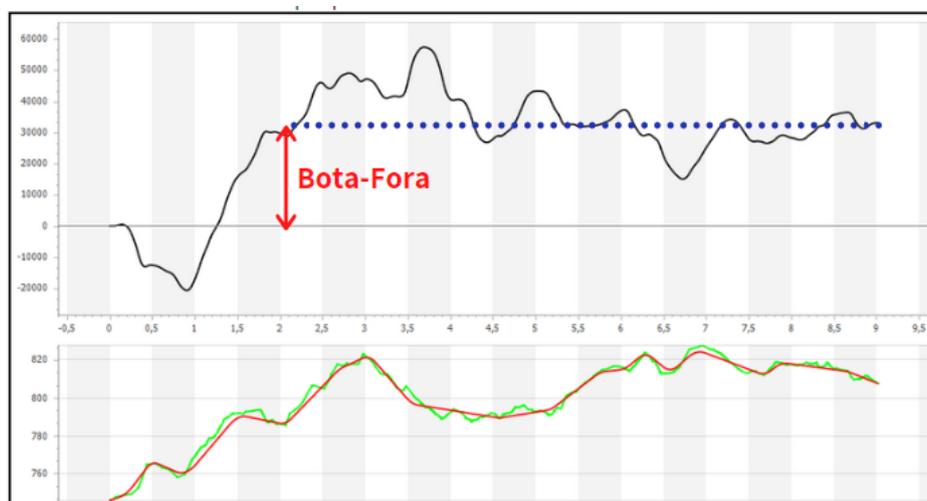


Figura 142 - Nova posição de equilíbrio

A nova posição de equilíbrio pode ser necessária por motivo de falta de material, neste caso, necessita-se pedir um empréstimo cujo volume necessário será maior do que aquele que nos falta, pois devemos levar em consideração os fatores de homogeneização que são contabilizados para transporte.

DISTÂNCIA MÉDIA DE TRANSPORTE (DMT)

Os materiais são escavados nos trechos de corte e transportados pelo equipamento até os aterros onde serão espalhados e compactados até atingirem a densidade máxima especificada.

Sendo C_1 e A_1 os centros de massa do corte e do aterro na Figura 143, pode-se afirmar que: tudo se passa como se o material V fosse transportado de uma só vez, desde C_1 até A_1 , a uma distância de transporte DT entre os centros de massa do corte e do aterro.

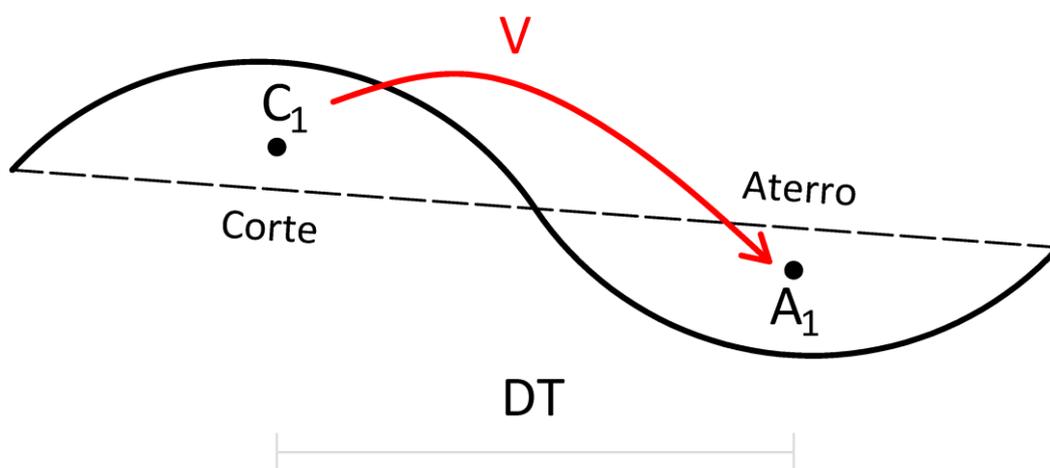


Figura 143 – Centros de Massa C_1 e A_1

Ampliando a extensão da distribuição de volumes, tem-se a Figura 144:

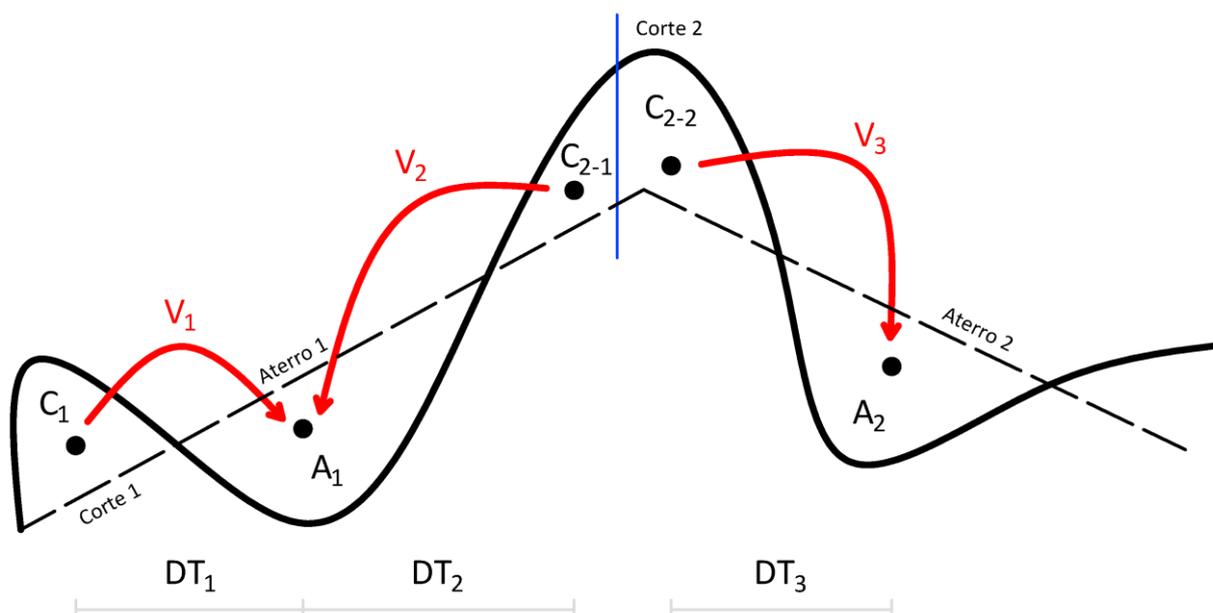


Figura 144 – Distribuição dos volumes escavados

No esquema da Figura 144, o volume V_1 compensa parte do aterro A_1 , o volume V_2 completa o aterro A_1 e o volume V_3 ocupa todo aterro A_2 . Por questões executivas aterros têm somente um centro de massa, já cortes podem apresentar um ou mais centros de massa, conforme a orientação dada ao material. Para esta situação hipotética tem-se a Equação 123:

$$V_1' + V_2' + V_3' = A_1 + A_2 \quad (123)$$

Onde:

V_i = volumes de origem já homogeneizados (m^3);

A_i = volumes de destino geométrico (m^3)

Quando há falta de material é necessário recorrer a empréstimos que podem vir de empréstimos concentrados (EC) ou de empréstimos laterais (EL) através do alargamento de cortes. No caso de sobras, executam-se bota-foras (BF) constituindo depósitos de materiais ou depósitos laterais (DL) através do alargamento de aterros, por exemplo.

A localização de empréstimos e bota-foras é orientada por uma menor distância de transporte e/ou questões ambientais. Materiais nos cortes sem qualidade para utilização são desprezados, constituindo os refugos (R) que também não são utilizados.

Uma vez distribuídos os materiais disponíveis, deve-se proceder o cálculo da distância média de transporte. Como os serviços de terraplenagem geralmente são orçados com referência aos valores geométricos, deve-se utilizar estes na determinação da **Distância Média de Transporte – DMT**. Dessa forma, a Equação 124 indicaria o cálculo da DMT para nossa situação hipotética.

$$DMT = \frac{V_1 \cdot DT_1 + V_2 \cdot DT_2 + V_3 \cdot DT_3}{V_1 + V_2 + V_3} \quad \text{ou} \quad DMT = \frac{\sum V_i \cdot DT_i}{\sum V_i} \quad (124)$$

Onde:

V_i = volumes geométricos transportados (m^3);

DT_i = distâncias de transporte (km).

A multiplicação entre o volume transportado pela distância nos dá o momento de transporte. A DMT resultante, nada mais é do que a média ponderada entre as distâncias de transporte, tendo como fatores de peso os volumes transportados.

QUADRO ORIGEM-DESTINO (ROD)

De forma a sistematizar o procedimento de cálculo da DMT emprega-se uma planilha de cálculo com a formatação indicada na Figura 145. Nesta figura é possível observar a separação entre origem, destino e cálculos da DMT. Os materiais classificados como origem apresentam propriedades de identificação (tipo + id, qualificação e fator de homogeneização), de localização do maciço (início, fim, centro de massa e distância morta) e volumes (geométrico total, homogeneizado total e parcial). Os materiais classificados como destino apresentam propriedades similares aos de origem, de forma reduzida.

A criação do ROD de forma manual deve seguir os seguintes passos:

1. Colocar cortes e aterros do projeto na planilha;
2. Aplicar fatores de homogeneização para obter os volumes compensados totais dos cortes;

Para compreender de uma forma completa este quadro, devemos analisar cada coluna separadamente. Primeiramente, a coluna de volumes homogeneizados totais de origem (em vermelho na Figura 146) pode ser calculada com as informações das colunas em azul através da Equação 125:

$$V_{hT} = \frac{V_{g_o}}{f_h} \quad \text{ou} \quad V_{hT} = \sum V_{hP} \quad (125)$$

Onde:

V_{hT}, V_{hP} = volume homogeneizado total e parcial (m^3);

V_{g_o} = volume geométrico total de origem (m^3);

f_h = fator de homogeneização (**adimensional**).

QUADRO DE ORIENTAÇÃO DA TERRAPLENAGEM																	
ORIGEM							DESTINO						CÁLCULOS DMT			OBSERVAÇÕES	
IDENTIFICAÇÃO		LOCALIZAÇÃO			VOLUMES (m^3)		LOCALIZAÇÃO			VOLUME	DISTÂNCIA	VOLUME	MOM. DE				
TIPO-ID	QUALIF.	HOMOGE-NEIZAÇÃO	ESTAQUEAMENTO (km+m)		D. MORTA (km)	GEO. TOTAL	HOMOGENEIZADO		TIPO-ID	ESTAQUEAMENTO (km+m)		D. MORTA (km)	GEO. TOT. (m^3)	TRANSP. (km)	COMP. (m^3)		TRANSP. ($m^3 \times km$)
			INÍCIO	FIM	CM		TOTAL	PARCIAL		INÍCIO	FIM	CM					
C-01	1ª CAT.	1,300	0+000	1+200	0+730	2.600	2.000	200	AI-01	0+500	0+700	0+600	200	0,130	260	34	
								800	AS-01	0+500	0+700	0+600	800	0,130	1.040	135	
C-02	3ª CAT.	0,800	1+300	1+600	1+500	5.000	6.250	1.000	AI-02	1+100	1+500	1+400	2.300	0,670	1.300	871	
								1.300	AI-02				1.000	0,100	1.040	104	
C-03	1ª CAT.	1,300	1+280	1+620	1+540	4.000	3.077	4.950	AI-03	1+580	2+000	1+780	7.000	0,280	3.960	1.109	
								2.050	AI-03				2.050	0,240	2.665	640	
J-01	saibro	1,300			1+900	1.500	3.293	1.027	AS-02	1+100	1+500	1+300	1.760	0,240	1.335	320	
								733	AS-02				733	2,100	953	2.001	
								1.800	AS-03	1+580	2+000	1+790	1.800	1,610	2.340	3.767	
TOTAIS						14.893	13.860	13.860					13.860		14.893	8.981	
														DMT		0,603	

Figura 146 – ROD com a colunas de volume homogeneizado total de origem em destaque

A coluna de volumes geométricos totais de destino (em vermelho na Figura 147) pode ser calculada com as informações da coluna em azul através da Equação 126:

$$V_{g_d} = \sum V_{hP} \quad (126)$$

Onde:

V_{g_d} = volume geométrico total de destino (m^3);

V_{hP} = volume homogeneizado parcial (m^3).

OBSERVAÇÃO: considerar na soma de V_{g_d} apenas os volumes parciais que estão destinados ao aterro correspondente.

QUADRO DE ORIENTAÇÃO DA TERRAPLENAGEM																	
ORIGEM										DESTINO				CÁLCULOS DMT			OBSERVAÇÕES
IDENTIFICAÇÃO		LOCALIZAÇÃO				VOLUMES (m³)				LOCALIZAÇÃO			VOLUME GEO. TOT. (m³)	DISTÂNCIA TRANSP. (km)	VOLUME COMP. (m³)	MOM. DE TRANSP. (m³ x km)	
TIPO-ID	QUALIF.	HOMOGENEIZAÇÃO	ESTAQUEAMENTO (km+m)			D. MORTA (km)	GEO. TOTAL	HOMOGENEIZADO TOTAL	PARCIAL	TIPO-ID	ESTAQUEAMENTO (km+m)						
C-01	1ª CAT.	1,300	0+000	1+200	0+730	2.600	2.000	200	AI-01	0+500	0+700	0+600	200	0,130	260	34	
								800	AS-01	0+500	0+700	0+600	800	0,130	1.040	135	
								1.000	AI-02	1+100	1+500	1+400	2.300	0,670	1.300	871	
C-02	3ª CAT.	0,800	1+300	1+600	1+500	5.000	6.250	1.300	AI-02	1+100	1+500	1+400	0,100	1.040	104		
								4.950	AI-03	1+580	2+000	1+780	7.000	0,280	3.960	1.109	
C-03	1ª CAT.	1,300	1+280	1+620	1+540	4.000	3.077	2.050	AI-03	1+100	1+500	1+300	1.760	0,240	2.665	640	
								1.027	AS-02	1+100	1+500	1+300	1.760	0,240	1.335	320	
J-01	saibro	1,300		1+900	1,500	3.293	2.533	733	AS-02	1+580	2+000	1+790	1.800	2,100	953	2.001	
								1.800	AS-03	1+580	2+000	1+790	1.800	1,610	2.340	3.767	
TOTALS						14.893	13.860	13.860				13.860		14.893	8.981		
														DMT	0,603		

Figura 147 – ROD com a coluna de volume de destino em destaque

A coluna de distância de transporte (em vermelho na Figura 148) pode ser calculada com as informações das colunas em azul através da Equação 127:

$$DT = |CM_D - CM_O| + DM_O + DM_D \quad (127)$$

Onde:

DT = distância de transporte (km);

CM_D, CM_O = centro de massa de destino e de origem (km ou m);

DM_O, DM_D = distância morta de origem e de destino (km).

QUADRO DE ORIENTAÇÃO DA TERRAPLENAGEM																	
ORIGEM										DESTINO				CÁLCULOS DMT			OBSERVAÇÕES
IDENTIFICAÇÃO		LOCALIZAÇÃO				VOLUMES (m³)				LOCALIZAÇÃO			VOLUME GEO. TOT. (m³)	DISTÂNCIA TRANSP. (km)	VOLUME COMP. (m³)	MOM. DE TRANSP. (m³ x km)	
TIPO-ID	QUALIF.	HOMOGENEIZAÇÃO	ESTAQUEAMENTO (km+m)			D. MORTA (km)	GEO. TOTAL	HOMOGENEIZADO TOTAL	PARCIAL	TIPO-ID	ESTAQUEAMENTO (km+m)						
C-01	1ª CAT.	1,300	0+000	1+200	0+730	2.600	2.000	200	AI-01	0+500	0+700	0+600	200	0,130	260	34	
								800	AS-01	0+500	0+700	0+600	800	0,130	1.040	135	
								1.000	AI-02	1+100	1+500	1+400	2.300	0,670	1.300	871	
C-02	3ª CAT.	0,800	1+300	1+600	1+500	5.000	6.250	1.300	AI-02	1+100	1+500	1+400	0,100	1.040	104		
								4.950	AI-03	1+580	2+000	1+780	7.000	0,280	3.960	1.109	
C-03	1ª CAT.	1,300	1+280	1+620	1+540	4.000	3.077	2.050	AI-03	1+100	1+500	1+300	1.760	0,240	2.665	640	
								1.027	AS-02	1+100	1+500	1+300	1.760	0,240	1.335	320	
J-01	saibro	1,300		1+900	1,500	3.293	2.533	733	AS-02	1+580	2+000	1+790	1.800	2,100	953	2.001	
								1.800	AS-03	1+580	2+000	1+790	1.800	1,610	2.340	3.767	
TOTALS						14.893	13.860	13.860				13.860		14.893	8.981		
														DMT	0,603		

Figura 148 – ROD com a coluna de distância de transporte em destaque

As colunas de distância morta (em vermelho na Figura 149) podem ser calculadas com as informações das colunas em azul através da Equação 128:

$$DM_O = DT - DM_D - |CM_D - CM_O|$$

$$DM_D = DT - DM_O - |CM_D - CM_O| \quad (128)$$

Onde:

DM_O, DM_D = distância morta de origem e de destino (km);

DT = distância de transporte (km);

CM_D, CM_O = centro de massa de destino e de origem (km ou m).

QUADRO DE ORIENTAÇÃO DA TERRAPLENAGEM																					
ORIGEM										DESTINO				CÁLCULOS DMT				OBSERVAÇÕES			
IDENTIFICAÇÃO			LOCALIZAÇÃO			VOLUMES (m³)				LOCALIZAÇÃO			VOLUME GEO. TOT. (m³)	DISTÂNCIA TRANSP. (km)	VOLUME COMP. (m³)	MOM. DE TRANSP. (m³ x km)					
TIPO-ID	QUALIF.	HOMOGENEIZAÇÃO	ESTAQUEAMENTO (km+m)			D. MORTA (km)	GEO. TOTAL	HOMOGENEIZADO		TIPO+ID	ESTAQUEAMENTO (km+m)										
			INÍCIO	FIM	CM			TOTAL	TOTAL		PARCIAL	INÍCIO	FIM	CM	D. MORTA (km)						
C-01	1ª CAT.	1,300	0+000	1+200	0+730	2.600	2.000	200	AI-01	0+500	0+700	0+600	200	0,130	260	34					
									AS-01	0+500	0+700	0+600	800	0,130	1.040	135					
									AI-02	1+100	1+500	1+400	1.000	0,670	1.300	871					
C-02	3ª CAT.	0,800	1+300	1+600	1+500	5.000	6.250	1.300	AI-02	1+100	1+500	1+400	2.300	0,100	1.040	104					
									AI-03	1+580	2+000	1+780	4.950	0,280	3.960	1.109					
									AI-03	1+580	2+000	1+780	2.050	0,240	2.665	640					
C-03	1ª CAT.	1,300	1+280	1+620	1+540	4.000	3.077	1.027	AS-02	1+100	1+500	1+300	1.760	0,240	1.335	320					
									AS-02	1+100	1+500	1+300	733	2,100	953	2.001					
J-01	saibro	1,300			1+900	1.500	3.293	2.533	1.800	AS-03	1+580	2+000	1+790	1.800	1,610	2.340	3.767				
TOTALS						14.893	13.860	13.860				13.860		14.893	8.981						
														DMT		0,603					

Figura 149 – ROD com as colunas de distância morta em destaque

As colunas de distância morta (em vermelho na Figura 150) podem ser calculadas com as informações das colunas em azul através da Equação 129:

$$CM_D = (DT - DM_O - DM_D) \pm CM_O$$

$$CM_O = (DM_O + DM_D - DT) \pm CM_D \quad (129)$$

Onde:

CM_D, CM_O = centro de massa de destino e de origem (km ou m);

DM_O, DM_D = distância morta de origem e de destino (km);

DT = distância de transporte (km).

OBSERVAÇÃO: A incerteza quanto à soma/subtração decorre do fato de que o valor calculado para o CM deve estar dentro dos limites do seu maciço.

QUADRO DE ORIENTAÇÃO DA TERRAPLENAGEM																								
IDENTIFICAÇÃO		ORIGEM					DESTINO					CÁLCULOS DMT			OBSERVAÇÕES									
TIPO-ID	QUALIF.	HOMOGENEIZAÇÃO	LOCALIZAÇÃO			VOLUMES (m³)			TIPO-ID	LOCALIZAÇÃO			VOLUME GEO. TOT. (m³)	DISTÂNCIA TRANSP. (km)		VOLUME COMP. (m³)	MOM. DE TRANSP. (m³ x km)							
			ESTEAQUEAMENTO (km+m)	D. MORTA (km)	GEO. TOTAL	HOMOGENEIZADO TOTAL	PARCIAL	ESTEAQUEAMENTO (km+m)		D. MORTA (km)	GEO. TOT. (m³)													
			INÍCIO	FIM	CM				INÍCIO	FIM	CM													
C-01	1ª CAT.	1,300	0+000	1+200	0+730	2.600	2.000	200	AI-01	0+500	0+700	0+600	200	0,130	260	34								
								800									AS-01	0+500	0+700	0+600	800	0,130	1.040	135
								1.000																
C-02	3ª CAT.	0,800	1+300	1+600	1+500	5.000	6.250	1.300	AI-02	1+580	2+000	1+780	7.000	0,280	3.960	1.109								
								4.950									AI-03	1+100	1+500	1+300	1.760	0,240	2.665	640
								1.027									AS-02	1+100	1+500	1+300	1.760	0,240	1.335	320
C-03	1ª CAT.	1,300	1+280	1+620	1+540	4.000	3.077	2.050	AI-03	1+580	2+000	1+780	7.000	0,280	3.960	1.109								
								1.027									AS-02	1+100	1+500	1+300	1.760	0,240	1.335	320
								733									AS-02	1+100	1+500	1+300	1.760	2,100	953	2.001
J-01	saibro	1,300		1+900	1,500	3.293	2.533	733	AS-02	1+580	2+000	1+790	1.800	1,610	2.340	3.767								
								1.800									AS-03	1+580	2+000	1+790	1.800	1,610	2.340	3.767
TOTAIS						14.893	13.860	13.860				13.860		14.893	8.981									
															DMT	0,603								

Figura 150 – ROD com as colunas de centro de massa em destaque

A coluna de volume compensado (em vermelho na Figura 151) pode ser calculada com as informações das colunas em azul através da Equação 130:

$$V_{comp} = V_{homop} \cdot f_h \quad \text{ou} \quad V_{comp} = \frac{I}{DT} \quad (130)$$

Onde:

V_{comp} = volume compensado (m³);

V_{homop} = volume homogeneizado parcial (m³);

f_h = fator de homogeneização (adimensional);

I = momento de inércia de transporte (m³.km).

QUADRO DE ORIENTAÇÃO DA TERRAPLENAGEM																								
IDENTIFICAÇÃO		ORIGEM					DESTINO					CÁLCULOS DMT			OBSERVAÇÕES									
TIPO-ID	QUALIF.	HOMOGENEIZAÇÃO	LOCALIZAÇÃO			VOLUMES (m³)			TIPO-ID	LOCALIZAÇÃO			VOLUME GEO. TOT. (m³)	DISTÂNCIA TRANSP. (km)		VOLUME COMP. (m³)	MOM. DE TRANSP. (m³ x km)							
			ESTEAQUEAMENTO (km+m)	D. MORTA (km)	GEO. TOTAL	HOMOGENEIZADO TOTAL	PARCIAL	ESTEAQUEAMENTO (km+m)		D. MORTA (km)	GEO. TOT. (m³)													
			INÍCIO	FIM	CM				INÍCIO	FIM	CM													
C-01	1ª CAT.	1,300	0+000	1+200	0+730	2.600	2.000	200	AI-01	0+500	0+700	0+600	200	0,130	260	34								
								800									AS-01	0+500	0+700	0+600	800	0,130	1.040	135
								1.000																
C-02	3ª CAT.	0,800	1+300	1+600	1+500	5.000	6.250	1.300	AI-02	1+580	2+000	1+780	7.000	0,280	3.960	1.109								
								4.950									AI-03	1+100	1+500	1+300	1.760	0,240	2.665	640
								1.027									AS-02	1+100	1+500	1+300	1.760	0,240	1.335	320
C-03	1ª CAT.	1,300	1+280	1+620	1+540	4.000	3.077	2.050	AI-03	1+580	2+000	1+780	7.000	0,280	3.960	1.109								
								1.027									AS-02	1+100	1+500	1+300	1.760	0,240	1.335	320
								733									AS-02	1+100	1+500	1+300	1.760	2,100	953	2.001
J-01	saibro	1,300		1+900	1,500	3.293	2.533	733	AS-02	1+580	2+000	1+790	1.800	1,610	2.340	3.767								
								1.800									AS-03	1+580	2+000	1+790	1.800	1,610	2.340	3.767
TOTAIS						14.893	13.860	13.860				13.860		14.893	8.981									
															DMT	0,603								

Figura 151 – ROD com a coluna de volume compensado em destaque

A coluna de momento de inércia (em vermelho na Figura 152) pode ser calculada com as informações da coluna em azul através da Equação 131:

$$I = DT \cdot V_{comp} \quad (131)$$

Onde:

I = momento de inércia de transporte ($m^3 \cdot km$);

DT = distância de transporte (km);

V_{comp} = volume compensado (m^3).

QUADRO DE ORIENTAÇÃO DA TERRAPLENAGEM																	
ORIGEM							DESTINO						CÁLCULOS DMT			OBSERVAÇÕES	
IDENTIFICAÇÃO			LOCALIZAÇÃO				VOLUMES (m^3)			LOCALIZAÇÃO			VOLUME GEO. TOT. (m^3)	DISTÂNCIA TRANSP. (km)	VOLUME COMP. (m^3)		MOM. DE TRANSP. ($m^3 \times km$)
TIPO-ID	QUALIF.	HOMOGENEIZAÇÃO	ESTAQUEAMENTO (km+m)			D. MORTA (km)	GEO. TOTAL	HOMOGENEIZADO		TIPO-ID	ESTAQUEAMENTO (km+m)						
			INÍCIO	FIM	CM		TOTAL	TOTAL	PARCIAL		INÍCIO	FIM	CM				
C-01	1ª CAT.	1,300	0+000	1+200	0+730		2.600	2.000	200	AI-01	0+500	0+700	0+600	200	0,130	260	34
								800		AS-01	0+500	0+700	0+600	800	0,130	1.040	135
C-02	3ª CAT.	0,800	1+300	1+600	1+500		5.000	6.250	1.300	AI-02	1+100	1+500	1+400	2.300	0,670	1.300	871
								1.300		AI-02				0,100	1.040	104	
								4.950		AI-03	1+580	2+000	1+780	7.000	0,280	3.960	1.109
C-03	1ª CAT.	1,300	1+280	1+620	1+540		4.000	3.077	2.050	AI-03				0,240	2.665	640	
								1.027		AS-02	1+100	1+500	1+300	1.760	0,240	1.335	320
J-01	saibro	1,300		1+900	1,500		3.293	2.533	733	AS-02				2,100	953	2.001	
								1.800		AS-03	1+580	2+000	1+790	1.800	1,610	2.340	3.767
TOTAIS							14.893	13.860	13.860				13.860		14.893	8.981	
																DMT	0,603

Figura 152 – ROD com as colunas de distância morta em destaque

Por último, a DMT pode ser calculada através da divisão da soma da coluna de momento de inércia pela soma da coluna volume compensado através da Equação 132:

$$DMT = \frac{\sum I}{\sum V_{comp}} \quad (132)$$

Onde:

DMT = distância média de transporte (km);

$\sum I$ = soma de momentos de inércia de transporte ($m^3 \cdot km$);

$\sum V_{comp}$ = soma de volumes compensados (m^3).

ESQUEMA LINEAR DE TERRAPLENAGEM

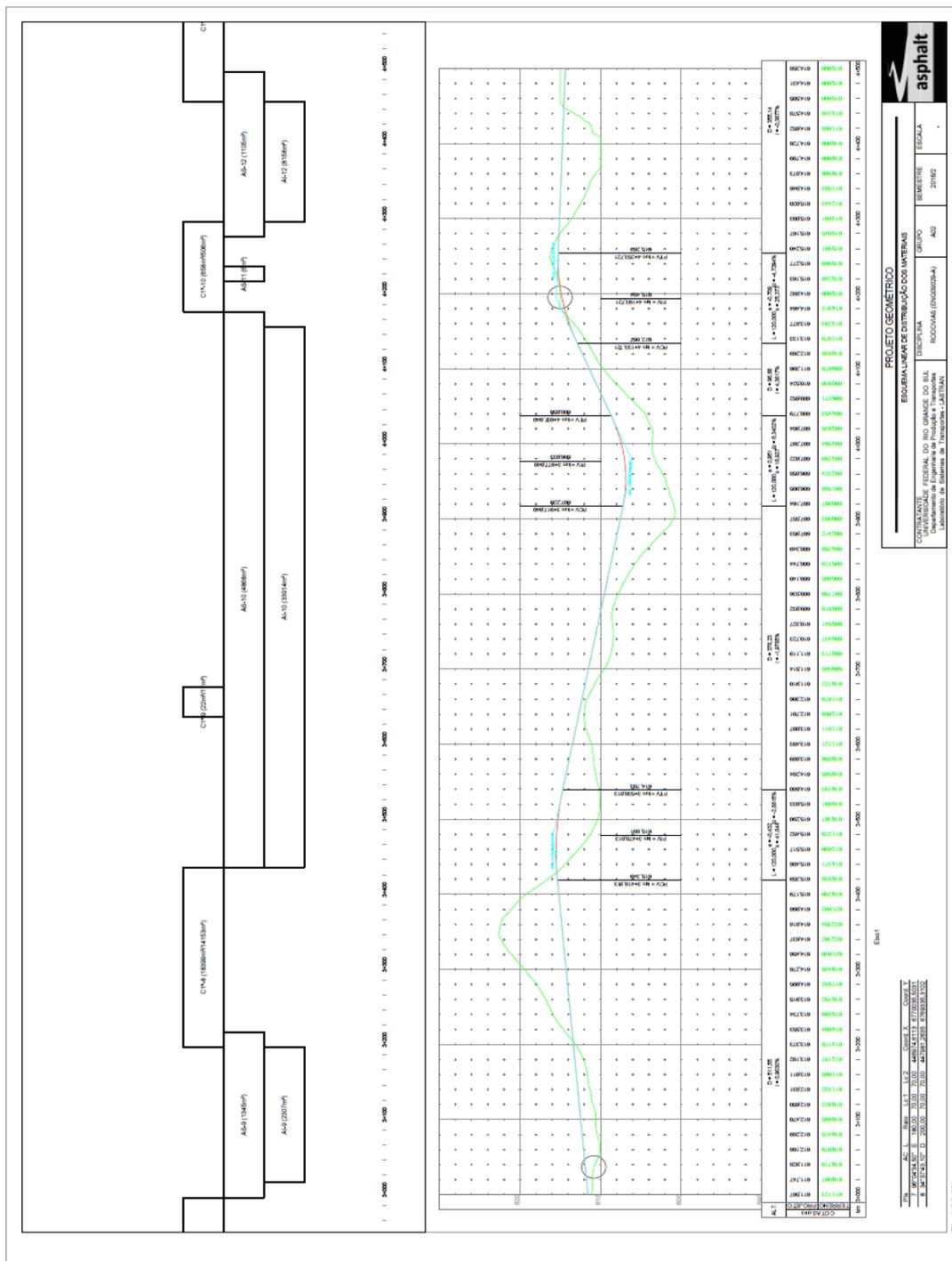


Figura 153 – Esquema com a distribuição dos materiais

Na ocasião da distribuição, deve-se ter em mente que, aterros superiores aceitam somente material de 1ª ou 2ª categoria, sendo terminantemente proibido o uso de 3ª categoria em aterros superiores. Isso pode causar a necessidade de um bota-espera ou depósito temporário, pois, como cavamos da 1ª para a 3ª categoria e aterramos da 3ª para a 1ª categoria, muitas vezes é preciso deixar o primeiro material do corte de lado, em espera, para poder compactar no aterro mais inferior o material de 3ª categoria. Na distribuição, o bota-espera é considerado como mais um maciço para a distribuição, a diferença dele para os demais é que ele é ao mesmo tempo, um maciço de origem de material (para o aterro que vai receber) e um maciço de destino (para o corte de onde tiramos o material).

EXERCÍCIOS

Executar a distribuição dos materiais para o quadro de orientação da terraplenagem dado.

QUADRO DE ORIENTAÇÃO DA TERRAPLENAGEM															
ORIGEM						DESTINO						CÁLCULOS DMT		OBSERVAÇÕES	
TIPO-ID	HOMOGE-NEZAÇÃO	LOCALIZAÇÃO			TIPO-ID	LOCALIZAÇÃO			VOLUME GEO. TOT. (m³)	DISTÂNCIA TRANSP. (km)	VOLUME COMP. (m³)	MOM. DE TRANSP. (m³ x km)			
		ESTACQUEAMENTO INÍCIO	ESTACQUEAMENTO FIM	D. MORTA (km)		ESTACQUEAMENTO INÍCIO	ESTACQUEAMENTO FIM	D. MORTA (km)							
		VOLUMES (m³)													
		GEO. TOTAL	TOTAL												
		HOMOGENEIZADO													
		TOTAL	PARCIAL												
C-01	1ª CAT.	1,300	0+000	1+000	0+640	2.500	1.923	AI-01	0+400	0+700	0+620	200			
C-02	3ª CAT.	0,800	1+300	1+550	1+400	6.000	7.500	AS-01	0+400	0+700	0+620	750			
C-03	1ª CAT.	1,300	1+270	1+720	1+520	3.800	2.923	AI-02	0+900	1+500	1+280	1.500			
								AS-02	0+900	1+500	1+320	1.850			
								AI-03	1+500	2+200	1+850	4.000			
								AS-03	1+500	2+200	1+800	1.500			
								BF-01			1+600	1.200			
TOTAIS						12.300	12.346					12.346			ERRO PAR.
												DMT	0,000		



PT3 – PROJETO DE TERRAPLENAGEM ORÇAMENTO

PT3 – PROJETO DE TERRAPLENAGEM: ORÇAMENTO

OBJETIVOS

1. Compreender como é realizada a orçamentação de uma obra;
2. Conhecer Sistema de Custos Referenciais de Obras – SICRO;
3. Conhecer os relatórios sintéticos e analíticos da composição de custos;
4. Identificar características de serviços: código, descrição, unidade e valor unitário;
5. Sistematizar o cálculo em uma planilha: Orçamento Detalhado.

ORÇAMENTO DE OBRAS E SICRO

São diversos os serviços de terraplenagem em uma obra viária. Tais serviços, são orçados a partir de custos unitários, geralmente estabelecidos pelo órgão gestor.

Sistema de Custos Referenciais de Obras – SICRO aglutina todo conhecimento técnico necessário à elaboração de orçamentos de obras e serviços no âmbito do DNIT. Para ter acesso, basta carregar a página abaixo, por meio do link:

<https://www.gov.br/dnit/pt-br/assuntos/planejamento-e-pesquisa/custos-e-pagamentos/custos-e-pagamentos-dnit/sistemas-de-custos>.

A imagem mostra duas páginas do sistema de custos referenciais de obras (SICRO) do DNIT. A página da esquerda (Figura 154) apresenta a interface do usuário para o estado do Rio Grande do Sul, com uma lista de arquivos agrupados por ano e mês. A página da direita (Figura 155) apresenta a descrição do SICRO, explicando o sistema e fornecendo links para relatórios e manuais.

Figura 154 e 155 - Sistema de Custos Referenciais de Obras - SICRO e dados agrupados do SICRO

Os dados são agrupados e disponibilizados por regiões, Estados, anos e meses. É importante identificar qual o ano e mês que se prestarão como referência para o projeto.

Ao realizar o *download* do referido arquivo compactado (em formato *.zip*), e descompactá-lo é possível identificar um conjunto de arquivos formato PDF que fazem parte do mesmo. No exemplo, os arquivos indicam dados para o Estado do Rio Grande do Sul no ano de 2020 e mês 10.

Nome	Ext	Tam.
..		<DIR>
II.09 - Origem Preço PEI SICRO Ref.out.2020	pdf	1.337.097
RS 10-2020 Relatório Analítico de Composições de Custos	pdf	29.420.631
RS 10-2020 Relatório Sintético de Composições de Custos	pdf	589.716
RS 10-2020 Relatório Sintético de Equipamentos	pdf	175.422
RS 10-2020 Relatório Sintético de Equipamentos - com desoneração	pdf	177.540
RS 10-2020 Relatório Sintético de Materiais	pdf	211.380
RS 10-2020 Relatório Sintético de Mão de Obra	pdf	281.342
RS 10-2020 Relatório Sintético de Mão de Obra - com desoneração	pdf	281.376
RS 10.2020_Relatório Sintético de Encargos Sociais_ Com Desoneração	pdf	429.203
RS 10.2020_Relatório Sintético de Encargos Sociais_Sem Desoneração	pdf	429.744

Figura 156 - Arquivos SICRO

O arquivo "Relatório Sintético de Composições de Custos" é aquele que oferece os custos unitários por código e descrição dos serviços.

CGCIT		SISTEMA DE CUSTOS REFERENCIAIS DE OBRAS - SICRO		DNIT	
Rio Grande do Sul - Outubro/2020					
Código	Descrição do Serviço	Unidade	Custo Unitário (R\$)		
0606795	Arco metálico galvanizado MP 152 S - arco alto - vão = 11,58 m e altura = 7,16 m - aterro rodoviário mínimo = 1,2 m e máximo = 6,4 m - areia extraída e brita produzida	m	43.290,68		
0607112	Arco metálico galvanizado MP 152 S - arco alto - vão = 6,12 m e altura = 2,77 m - aterro rodoviário mínimo = 0,75 m e máximo = 5,4 m - areia e brita comerciais	m	13.386,03		
0606760	Arco metálico galvanizado MP 152 S - arco alto - vão = 6,12 m e altura = 2,77 m - aterro rodoviário mínimo = 0,75 m e máximo = 5,4 m - areia extraída e brita produzida	m	13.278,06		
0607113	Arco metálico galvanizado MP 152 S - arco alto - vão = 6,3 m e altura = 3,68 m - aterro rodoviário mínimo = 0,75 m e máximo = 7,5 m - areia e brita comerciais	m	16.491,20		
0606761	Arco metálico galvanizado MP 152 S - arco alto - vão = 6,3 m e altura = 3,68 m - aterro rodoviário mínimo = 0,75 m e máximo = 7,5 m - areia extraída e brita produzida	m	16.367,45		
0607116	Arco metálico galvanizado MP 152 S - arco alto - vão = 6,78 m e altura = 3,61 m - aterro rodoviário mínimo = 0,75 m e máximo = 4,8 m - areia e brita comerciais	m	16.552,48		
0606764	Arco metálico galvanizado MP 152 S - arco alto - vão = 6,78 m e altura = 3,61 m - aterro rodoviário mínimo = 0,75 m e máximo = 4,8 m - areia extraída e brita produzida	m	16.421,15		
0607115	Arco metálico galvanizado MP 152 S - arco alto - vão = 6,96 m e altura = 4,42 m - aterro rodoviário mínimo = 0,75 m e máximo = 8,1 m - areia e brita comerciais	m	18.875,68		

Figura 157 - Arquivo Relatório Sintético de Composições de Custos

RELATÓRIO ANALÍTICO DE COMPOSIÇÕES DE CUSTOS

O arquivo "Relatório Analítico de Composições de Custos" indica a estrutura de composição do custo dos serviços.

CGCIT		SISTEMA DE CUSTOS REFERENCIAIS DE OBRAS - SICRO		Rio Grande do Sul		FIC 0,01168		DNIT	
Custo Unitário de Referência		5502594 Escavação, carga e transporte de material de 2ª categoria - DMT de 1.800 a 2.000 m - caminho de serviço em leito natural - com escavadeira e caminhão basculante de 14 m³		Outubro/2020		Produção da equipe 131,61000 m³		Valores em reais (R\$)	
A - EQUIPAMENTOS	Quantidade	Utilização		Custo Horário		Custo Horário Total			
E9667 Caminhão basculante com capacidade de 14 m³ - 188 kW	5,00000	Operativa	Improdutiva	Produtivo	Improdutivo	155,2639	48,5928	685,6491	
E9615 Escavadeira hidráulica sobre esteiras com capacidade de 1,56 m³ - 119 kW	1,00000	1,00	0,00	181,1225	81,6723			181,1225	
				Custo horário total de equipamentos		866,7716			
B - MÃO DE OBRA	Quantidade	Unidade		Custo Horário		Custo Horário Total			
P8624 Servente	1,00000	h		17,4917		17,4917			
				Custo horário total de mão de obra		17,4917			
				Custo horário total de execução		884,2633			
				Custo unitário de execução		6,7188			
				Custo do FIC		0,0785			
				Custo do FIT		-			
C - MATERIAL	Quantidade	Unidade		Preço Unitário		Custo Unitário			
				Custo unitário total de material					
D - ATIVIDADES AUXILIARES	Quantidade	Unidade		Custo Unitário		Custo Unitário			
				Custo total de atividades auxiliares					
				Subtotal		6,7973			
E - TEMPO FIXO	Código	Quantidade	Unidade	Custo Unitário		Custo Unitário			
				Custo unitário total de tempo fixo					
F - MOMENTO DE TRANSPORTE	Quantidade	Unidade		DMT		Custo Unitário			
				LN	RP	P			
				Custo unitário total de transporte		6,80			
				Custo unitário direto total		6,80			

Obs:

Figura 158 - Relatório Analítico de Composições de Custos

Além dos arquivos regionalizados, o SICRO oferece uma planilha editável em formato XLSX. A planilha permite a elaboração de **composições de serviço específicas**.

Figura 159 - Planilha editável SICRO

SISTEMA DE CUSTOS RODOVIÁRIOS – SICRO 2

Sistema de Custos Rodoviários – SICRO 2, como sistema de custos herdado pelo DNIT do então *Departamento Nacional de Estradas de Rodagem – DNER*, o Sistema de Custos Rodoviários – SICRO 2 respondeu pelas contratações dos referidos departamentos por quase 2 (duas) décadas.

Eminentemente rodoviário, o SICRO 2 continua disponível aos usuários como forma de consulta e em virtude da existência de contratos ativos que se utilizam de suas informações.

As atividades/serviços no relatório são apresentadas em tabela. Além do código e descrição, são apresentados as unidades, o custo unitário direto, a LDI (lucro e despesas indiretas) e o **preço unitário total**.

DNIT - Sistema de Custos Rodoviários				SICRO2	
Construção Rodoviária				Rio Grande do Sul	
Resumo dos Custos Unitários de Referência: Julho de 2015				RCTR0330	
Código	Atividade / Serviço	Custo Unitário		Preço Unitário	
		Und	Direto	LDI	Total
2 S 01 000 00	- Desm. dest. limpeza áreas c/arv. diam. até 0,15 m	m2	0,29	0,08	0,37
2 S 01 010 00	- Destocamento de árvores D=0,15 a 0,30 m	und	28,07	7,49	35,56
2 S 01 012 00	- Destocamento de árvores c/diâm. > 0,30 m	und	70,17	18,74	88,91
2 S 01 100 01	- Esc. carga transp. mat 1ª cat DMT 50 m	m3	1,47	0,39	1,86
2 S 01 100 02	- Esc. carga transp. mat 1ª cat DMT 50 a 200m c/m	m3	5,45	1,45	6,90
2 S 01 100 03	- Esc. carga transp. mat 1ª cat DMT 200 a 400m c/m	m3	6,67	1,78	8,45
2 S 01 100 04	- Esc. carga transp. mat 1ª cat DMT 400 a 600m c/m	m3	7,96	2,12	10,08

Figura 160 - Relatório SICRO 2

O Projeto Ponto de Partida adota como preços referenciais os apresentados no SICRO 2 para o Estado do Rio Grande do Sul. Uma versão com serviços em destaque é oferecida aos alunos.

DNIT - Sistema de Custos Rodoviários				SICRO2	
Construção Rodoviária				Rio Grande do Sul	
Resumo dos Custos Unitários de Referência: Julho de 2015				RCTR0330	
Código	Atividade / Serviço	Custo Unitário		Preço Unitário	
		Und	Direto	LDI	Total
2 S 01 000 00	- Desm. dest. limpeza áreas c/arv. diam. até 0,15 m	m2	0,29	0,08	0,37
2 S 01 010 00	- Destocamento de árvores D=0,15 a 0,30 m	und	28,07	7,49	35,56
2 S 01 012 00	- Destocamento de árvores c/diâm. > 0,30 m	und	70,17	18,74	88,91
2 S 01 100 01	- Esc. carga transp. mat 1ª cat DMT 50 m	m3	1,47	0,39	1,86
2 S 01 100 02	- Esc. carga transp. mat 1ª cat DMT 50 a 200m c/m	m3	5,45	1,45	6,90
2 S 01 100 03	- Esc. carga transp. mat 1ª cat DMT 200 a 400m c/m	m3	6,67	1,78	8,45
2 S 01 100 04	- Esc. carga transp. mat 1ª cat DMT 400 a 600m c/m	m3	7,96	2,12	10,08

Figura 161 - Relatório SICRO 2 para o Estado do Rio Grande do Sul, no mês de julho de 2015

O Valor dos Serviços de Terraplenagem decorre da aplicação dos preços unitários sobre as quantidades obtidas em projeto.

A apresentação destes valores deve ser realizada em planilha, identificando os serviços através do código, descrição, unidade, preço unitário total, quantitativo do projeto e preço total dos serviços.

O somatório dos valores em reais deverá ser apresentado em negrito e por extenso.



PS1 – PROJETO DE SINALIZAÇÃO

NOÇÕES DE PROJETO

PS1 – PROJETO DE SINALIZAÇÃO: NOÇÕES DE PROJETO

OBJETIVOS

1. Compreender os principais elementos que compõem a sinalização de uma rodovia;
2. Reconhecer os manuais de projeto existentes;
3. Perceber a relevância de pesquisas na área para o incremento da segurança viária.

SINALIZAÇÃO VIÁRIA: REGULAMENTAÇÃO

O código

O trânsito de qualquer natureza nas vias terrestres do território nacional, abertas a circulação, rege-se por este Código.

CTB 2008, Lei nº 9.503, Cap. I, Art. 1º

As atividades

O Sistema Nacional de Trânsito é o conjunto de órgãos e entidades da União, dos Estados, do Distrito Federal e dos Municípios que tem por finalidade o exercício das atividades de planejamento, administração, normatização, pesquisa, registro e licenciamento de veículos, formação, habilitação e reciclagem de condutores, educação, engenharia, operação do sistema viário, policiamento, fiscalização, julgamento de infrações e de recursos e aplicação de penalidades.

CTB 2008, Lei nº 9.503, Cap. II, Sec. I, Art. 5º

Os órgãos e entidades

Compõem o Sistema Nacional de Trânsito os seguintes órgãos e entidades:

- o Conselho Nacional de Trânsito - CONTRAN, coordenador do Sistema e órgão máximo normativo e consultivo;
- os Conselhos Estaduais de Trânsito - CETRAN e o Conselho de Trânsito do Distrito Federal - CONTRANDIFE, órgãos normativos, consultivos e coordenadores;
- os órgãos e entidades executivos de trânsito da União, dos Estados, do Distrito Federal e dos Municípios;
- os órgãos e entidades executivos rodoviários da União, dos Estados, do Distrito Federal e dos Municípios;
- a Polícia Rodoviária Federal;
- as Polícias Militares dos Estados e do Distrito Federal; e
- as Juntas Administrativas de Recursos de Infrações - JARI.

CTB 2008, Lei nº 9.503, Cap. II, Sec. II, Art. 7º

As normas

Sempre que necessário, será colocada ao longo da via, sinalização prevista neste Código e em legislação complementar, destinada a condutores e pedestres, vedada a utilização de qualquer outra.

§ 1º A sinalização será colocada em posição e condições que a tornem perfeitamente visível e legível durante o dia e a noite, em distância compatível com a segurança do trânsito, conforme normas e especificações do CONTRAN.

CTB 2008, Lei nº 9.503, Cap. VII, Art. 80º

A classificação dos sinais

Os sinais de trânsito classificam-se em:

- verticais;
- horizontais;
- dispositivos de sinalização auxiliar;
- luminosos;
- sonoros;
- gestos do agente de trânsito e do condutor.

CTB 2008, Lei nº 9.503, Cap. VII, Art. 87º

A responsabilidade

Não serão aplicadas as sanções previstas neste Código por inobservância a sinalização quando esta for insuficiente ou incorreta.

- § 1º O órgão ou entidade de trânsito com circunscrição sobre a via é responsável pela implantação da sinalização, respondendo pela sua falta, insuficiência ou incorreta colocação.
- § 2º O CONTRAN editara normas complementares no que se refere a interpretação, colocação e uso da sinalização.

CTB 2008, Lei nº 9.503, Cap. VII, Art. 90º

SINALIZAÇÃO VIÁRIA: FUNDAMENTOS

Função

A sinalização permanente, composta em especial por sinais em placas e painéis, marcas viárias e dispositivos auxiliares, constitui-se num sistema de dispositivos fixos de controle de tráfego que, ao serem implantados nas rodovias, ordenam, advertem e orientam os seus usuários.

DNIT 2010

Como atingir o objetivo?

De modo geral, a sinalização deve conquistar a atenção e a confiança do usuário, permitindo-lhe ainda um tempo de reação adequado. A conquista deste objetivo se dá pelo uso de sinais e marcas em dimensões e locais apropriados e a escolha das dimensões e locais adequados depende, por sua vez, de um conjunto de fatores que compõem o ambiente rodoviário...

DNIT 2010

Fatores envolvidos

Fatores que compõem o ambiente rodoviário:

- Características físicas da rodovia (pista simples, pista dupla, número de faixas de tráfego etc.);
- Velocidade operacional da rodovia;
- Características da região atravessada pela rodovia (região plana, ondulada ou montanhosa);
- Tipo e intensidade de ocupação lateral da via (uso do solo urbano ou rural).

DNIT 2010

Aspectos a serem considerados

- **Projetos:** elaboração de projetos específicos de sinalização com definição dos dispositivos a serem utilizados dentro dos padrões de forma, cor, dimensão e localização, ao longo da via, apropriados.
- **Implantação:** a sinalização deve ser implantada levando em conta padrões de posicionamento estabelecidos para os dispositivos, admitindo-se eventuais ajustes decorrentes de condicionantes específicas de cada local, nem sempre passíveis de serem consideradas no projeto.
- **Operação:** a sinalização deve ser permanentemente avaliada quanto à sua efetividade para a operação da via, promovendo-se os ajustes necessários de inclusão, remoção e modificação de dispositivos.
- **Manutenção:** para manter a credibilidade da Sinalização junto aos usuários, deve ser feita uma manutenção cuidadosa da Sinalização, repondo-se dispositivos danificados e substituindo-se aqueles que se tornaram impróprios.
- **Materiais:** o emprego de materiais, tanto na sinalização vertical quanto na horizontal, deve estar de acordo com Normas da ABNT para chapas, estruturas de sustentação, tintas, películas e dispositivos auxiliares (taxas e elementos refletivos).

DNIT 2010

BIBLIOGRAFIA

- CTB 2008 – Código de Trânsito Brasileiro e Legislação Complementar em Vigor, pg. 710.
- CONTRAN 2007 Vol. I – Sinalização Vertical de Regulamentação, pg. 222.
- CONTRAN 2007 Vol. II – Sinalização Vertical de Advertência, pg. 220.
- CONTRAN 2014 Vol. III – Sinalização Vertical de Indicação, pg. 62.
- CONTRAN 2007 Vol. IV – Sinalização Horizontal, pg. 130.
- DNIT 2010 – Manual de Sinalização Rodoviária, pg. 414.
- DNIT 2013 – Diretrizes do Programa BR-LEGAL, pg. 51.
- DNIT 2015a – Guia Prático – Programa Nacional de Segurança e Sinalização Rodoviária – BR-LEGAL, pg. 82.
- DNIT 2015b – Sistema Nacional de Viação – SNV 2015, pg. 239.



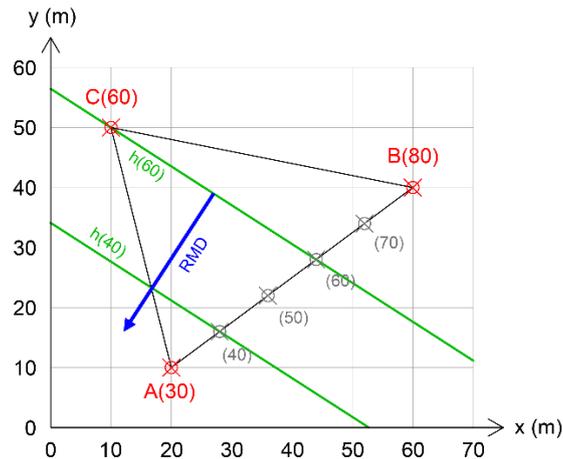
GUIA DE ESTUDOS PRINCIPAIS EQUAÇÕES

ART1

CONTEÚDO DAS AULAS ET1, ET2, ET3 e ET4

PROJEÇÕES COTADAS

A fim de determinar a RMD de um plano definido por três pontos, deve-se primeiro unir os pontos que possuem a maior diferença de cotas. Depois devemos subtrair as cotas e dividir este espaço em múltiplos de 10. Então deve-se ligar o 3º ponto com a divisão da linha cuja cota seja a mesma deste ponto. Isto caracterizará as linhas horizontais do plano. Ao traçar uma linha perpendicular a esta (na direção para onde as cotas diminuam), teremos a RMD (Reta de Maior Declive) do plano.



Para calcular a inclinação (ou declividade) da RMD, devemos usar a linha desenhada em azul neste exemplo. A inclinação pode ser determinada através da divisão da diferença de cotas com a distância entre linhas horizontais (medido com uma régua ou obtido analiticamente).

$$d = \sqrt{\Delta x^2 + \Delta y^2}$$

$$i = \frac{\Delta z}{d} \cdot 100\%$$

Onde:

d = comprimento da linha (m);

$\Delta x, \Delta y$ = diferença entre coordenadas das extremidades da reta (m);

i = declividade ou inclinação (%);

Δz = diferença de cotas (m).

COORDENADAS GEOGRÁFICAS

Modelo esférico do planeta Terra

$$C_{lat} = \left(\theta \cdot \frac{\pi}{180} \right) \cdot r_{lat}$$

$$r_{lat} = \frac{C_{lat}}{\left(\theta \cdot \frac{\pi}{180} \right)} \quad \text{ou} \quad r_{lat} = r_{Terra} \cdot \cos(lat)$$

Onde:

C_{lat} = circunferência da Terra na latitude analisada (km);

θ = ângulo horizontal de interesse (°);

r_{lat} = raio na latitude analisada (km);

r_{Terra} = raio da Terra (km);

lat = latitude do ponto de interesse (°).

CARACTERÍSTICAS DA RODOVIA COM BASE NA CLASSE E NO RELEVO

DESCRIÇÃO	UNID.	CLASSE 0			CLASSE I			CLASSE II		
		Plano	Ond.	Mont.	Plano	Ond.	Mont.	Plano	Ond.	Mont.
Velocidade diretriz	km/h	120	100	80	100	80	60	100	70	50
Dist. mínima de visibilidade de parada	m	205	155	110	155	110	75	155	90	60
Dist. mínima de visibilidade de ultrapassagem	m	-	-	-	680	560	420	680	490	350
Raio mínimo (transição)	m	540	345	210	345	210	115	375	170	80
Raio mínimo (simples)	m	2800	1900	1200	1900	1200	700	1900	950	500
Superelevação máxima	%	10	10	10	10	10	10	8	8	8
Rampa máxima	%	3	4	5	3	4,5	6	3	5	7
K mínimo (côncavas)	m	102	58	29	58	29	14	58	20	9
K mínimo (convexas)	m	50	36	24	36	24	15	36	19	11
Largura da faixa de rolamento	m	3,60	3,60	3,60	3,60	3,60	3,60	3,60	3,50	3,30
Largura do acostamento externo	m	3,50	3,00	3,00	3,00	2,50	2,50	2,50	2,50	2,00
Gabarito mínimo vertical (altura livre)	m	5,50	5,50	5,50	5,50	5,50	5,50	4,50	4,50	4,50

DESCRIÇÃO	UNID.	CLASSE III			CLASSE IV A			CLASSE IV B		
		Plano	Ond.	Mont.	Plano	Ond.	Mont.	Plano	Ond.	Mont.
Velocidade diretriz	km/h	80	60	40	80	60	40	60	40	30
Dist. mínima de visibilidade de parada	m	110	75	45	110	75	45	75	45	30
Dist. mínima de visibilidade de ultrapassagem	m	560	420	270	560	420	270	420	270	180
Raio mínimo (transição)	m	230	125	50	230	125	50	125	50	25
Raio mínimo (simples)	m	1200	700	300	1200	700	300	700	300	170
Superelevação máxima	%	8	8	8	8	8	8	8	8	8
Rampa máxima	%	4	6	8	4	6	8	6	8	10
K mínimo (côncavas)	m	29	14	5	29	14	5	14	5	2
K mínimo (convexas)	m	24	15	7	24	15	7	15	7	4
Largura da faixa de rolamento	m	3,50	3,30	3,30	3,00	3,00	3,00	2,50	2,50	2,50
Largura do acostamento externo	m	2,50	2,00	1,50	1,30	1,30	0,80	1,00	1,00	0,50
Gabarito mínimo vertical (altura livre)	m	4,50	4,50	4,50	4,50	4,50	4,50	4,50	4,50	4,50

ART2

CONTEÚDO DAS AULAS PG1, PG2 e PG3

ALINHAMENTOS

$$\Delta x = x_{PI_p} - x_{PI_a} \rightarrow \Delta x > 0 = \text{Leste (E)}, \quad \Delta x < 0 = \text{Oeste (W)}$$

$$\Delta y = y_{PI_p} - y_{PI_a} \rightarrow \Delta y > 0 = \text{Norte (N)}, \quad \Delta y < 0 = \text{Sul (S)}$$

$$\Delta PI = \sqrt{\Delta x^2 + \Delta y^2}$$

OBSERVAÇÃO
4 casas decimais de precisão.

Onde:

Δx = diferença entre coordenadas x (m);

Δy = diferença entre coordenadas y (m);

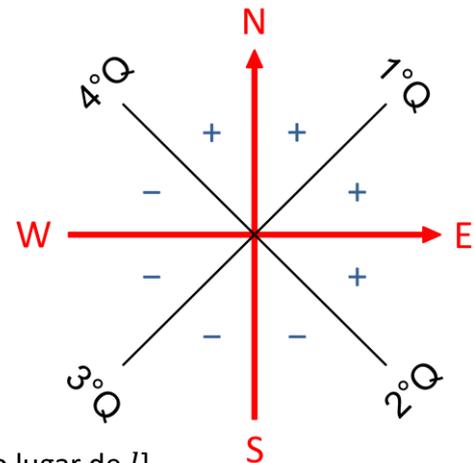
ΔPI = diferença entre pontos de inflexão (m).

RUMOS E AZIMUTES

Conversões entre rumo e comprimento

$$\text{rumo} = \left| \arctan \left(\frac{\Delta x}{\Delta y} \right) \right| \quad \left. \begin{array}{l} \text{OBSERVAÇÃO} \\ \text{Apenas módulo, orientação} \\ \text{depende do sinal de } \Delta x \text{ e } \Delta y. \end{array} \right\}$$

$$\begin{cases} \Delta x = |l \cdot \text{sen}(\text{rumo})| \\ \text{NE ou SE} = +\Delta x \\ \text{NW ou SW} = -\Delta x \end{cases} \quad \begin{cases} \Delta y = |l \cdot \text{cos}(\text{rumo})| \\ \text{NE ou NW} = +\Delta y \\ \text{SE ou SW} = -\Delta y \end{cases}$$



Onde:

rumo = rumo do alinhamento ($^{\circ} \prime \prime$);

l = comprimento do alinhamento (m). [ΔPI pode ser usado no lugar de l]

Conversões entre rumo e azimute

Quadrante	Azimute para rumo	Rumo para azimute
1 ^o - NE (0° a 90°)	$\text{rumo} = Az$	$Az = \text{rumo}$
2 ^o - SE (90° a 180°)	$\text{rumo} = 180^{\circ} - Az$	$Az = 180^{\circ} - \text{rumo}$
3 ^o - SW (180° a 270°)	$\text{rumo} = Az - 180^{\circ}$	$Az = \text{rumo} + 180^{\circ}$
4 ^o - NW (270° a 360°)	$\text{rumo} = 360^{\circ} - Az$	$Az = 360^{\circ} - \text{rumo}$

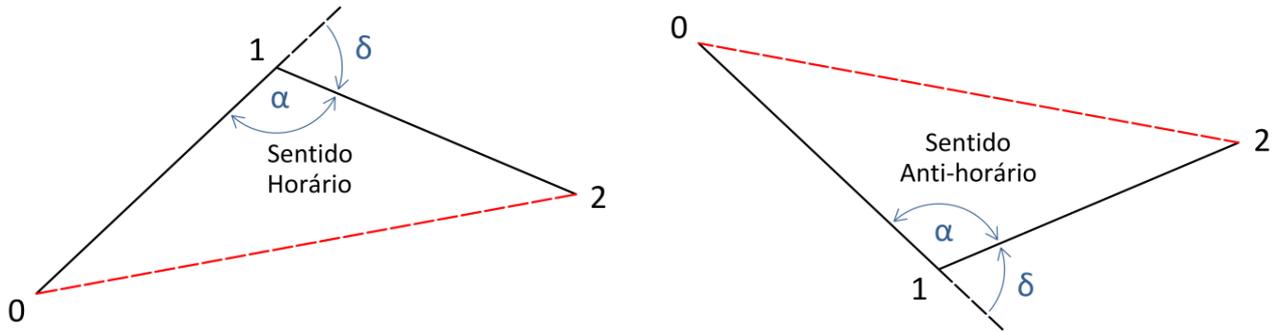
$$Az_p = Az_a + \delta_D \quad \text{ou} \quad Az_p = Az_a - \delta_E$$

Onde:

Az_a, Az_p = azimute dos alinhamentos anterior e posterior ($^{\circ} \prime \prime$);

δ_D, δ_E = deflexão para direita ou para a esquerda ($^{\circ} \prime \prime$).

DEFLEXÃO E DETERMINANTE DE UM TRIÂNGULO



$$d_{02}^2 = d_{01}^2 + d_{12}^2 - 2 \cdot d_{01} \cdot d_{12} \cdot \cos(\alpha)$$

$$\alpha = \arccos\left(\frac{d_{01}^2 + d_{12}^2 - d_{02}^2}{2 \cdot d_{01} \cdot d_{12}}\right)$$

$$\delta = 180^\circ - \alpha, \text{ E ou D}$$

$$\det = \begin{bmatrix} x_0 & y_0 & 1 \\ x_1 & y_1 & 1 \\ x_2 & y_2 & 1 \end{bmatrix} \rightarrow \begin{matrix} \det > 0 = \text{E (anti-horário)} \\ \det < 0 = \text{D (horário)} \end{matrix}$$

Onde:

α = ângulo interno do vértice 1 ($^\circ$ '''');

d_{ij} = distância entre vértices (m);

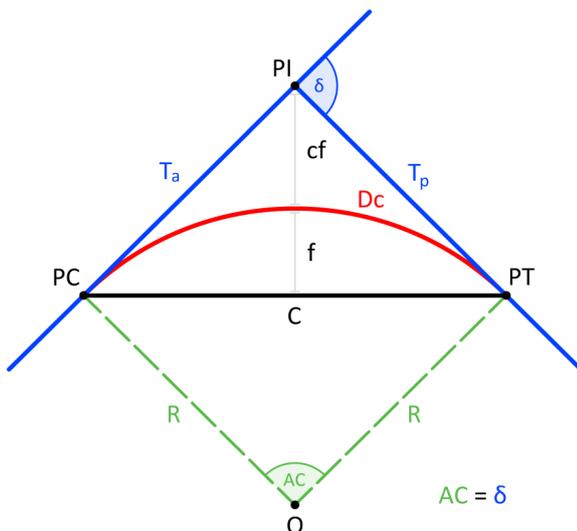
δ = deflexão entre alinhamentos 0-1 e 1-2 ($^\circ$ '''');

\det = determinante da matriz;

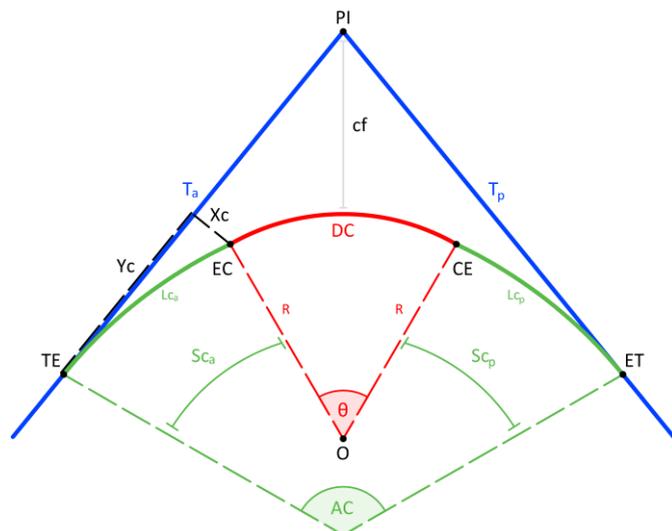
x_i, y_i = coordenadas dos vértices (m).

REPRESENTAÇÃO DAS CURVAS HORIZONTAIS

Curvas circulares



Curvas com transição



ESTAQUEAMENTO

Curvas circulares

$$PC = PT_a + IntTan_a$$

$$PT = PC + Dc$$

Onde:

PC = ponto de início da curva do ponto de inflexão de interesse (**km + m**);

PT_a, PT = ponto de término da curva do ponto de inflexão anterior e do ponto de interesse (**km + m**);

IntTan_a = intertangente anterior (**m**);

Dc = desenvolvimento da curva circular (**m**).

Curvas de transição

$$TE = ET_a + IntTan_a$$

$$EC = TE + Lc_a$$

$$CE = EC + Dc$$

$$ET = CE + Lc_p$$

Onde:

TE, ET = pontos de início e término da espiral (**km + m**);

EC, CE = pontos de início e término da seção circular (**km + m**);

Lc_a, Lc_p = desenvolvimentos anterior e posterior das espirais de transição (**m**).

PARÂMETROS DA CURVA

Ângulo central para curvas simples

$$AC = \frac{DC}{R} \cdot \frac{180}{\pi}$$

$$AC = |Az_p - Az_a|$$

$$AC = 2 \cdot \arctan\left(\frac{T}{R}\right)$$

OBSERVAÇÃO

Tomar cuidado no cruzamento de azimutes no limite de 0° e 360°.

Onde:

AC = ângulo central (° ' ");

Dc = desenvolvimento circular da curva (**m**);

R = raio da curva simples (**m**);

Az_a, Az_p = azimute dos alinhamentos anterior e posterior (° ' ");

T = tangente da curva simples (**m**).

Ângulo central para curvas com transição

$$AC = \frac{Dc + Lc}{R} \cdot \frac{180}{\pi}$$

$$AC = |Az_p - Az_a|$$

OBSERVAÇÃO

Tomar cuidado no cruzamento de azimutes no limite de 0° e 360°.

Onde:

AC = ângulo central (° ' ");

Dc = desenvolvimento circular da curva com transição (m);

Lc = desenvolvimento da espiral de transição (m);

R = raio da curva com transição (m);

Az_a, Az_p = azimute dos alinhamentos anterior e posterior (° ' ").

Raio para curvas simples

$$R = \frac{Dc}{AC} \cdot \frac{180}{\pi} \quad \text{ou} \quad R = \tan\left(\frac{AC}{2}\right)$$

Onde:

R = raio da curva simples (m);

Dc = desenvolvimento circular da curva (m);

AC = ângulo central (° ' ").

Raio para curvas com transição

$$R = \left[\frac{T - q}{\tan\left(\frac{AC}{2}\right)} \right] - p \quad \text{ou} \quad R = \frac{Dc}{\theta}$$

Onde:

R = raio da curva com transição (m);

T = tangente da curva com transição (m);

q = recuo para inserção da transição (m);

AC = ângulo central (° ' ");

p = afastamento das tangentes (m);

Dc = desenvolvimento circular da curva (m);

θ = ângulo central do trecho circular (rad).

Desenvolvimento circular para curvas simples

$$Dc = R \cdot \left(AC \cdot \frac{\pi}{180} \right) \quad \text{ou} \quad Dc = PT - PC$$

Onde:

Dc = desenvolvimento circular da curva simples (m);

R = raio da curva simples (m);

AC = ângulo central (° ' ");

PT, PC = ponto de término e início da curva simples (m).

Desenvolvimento circular para curvas com transição

$$Dc = R \cdot \left[\left(AC \cdot \frac{\pi}{180} \right) - \frac{Lc}{R} \right] \quad \text{ou} \quad Dc = R \cdot \theta \quad \text{ou} \quad Dc = CE - EC$$

Onde:

Dc = desenvolvimento circular da curva com transição (**m**);

R = raio da curva com transição (**m**);

AC = ângulo central (° ' ");

Lc = desenvolvimento da espiral de transição (**m**);

θ = ângulo central do trecho circular (**rad**);

CE, EC = ponto de término e início da curva com transição (**m**).

Tangente para curvas simples

$$T = R \cdot \tan\left(\frac{AC}{2}\right)$$

Onde:

T = tangente da curva simples (**m**);

R = raio da curva (**m**);

AC = ângulo central (° ' ").

Tangente para curvas com transição (clotoides)

$$T = q + (R + p) \cdot \tan\left(\frac{AC}{2}\right)$$

$$Xc = Lc \cdot \left(\frac{Sc}{3} - \frac{Sc^3}{42} \right)$$

$$Sc = \frac{Lc}{2 \cdot R}$$

$$\theta = \left(AC \cdot \frac{\pi}{180} \right) - 2 \cdot Sc$$

OBSERVAÇÃO
Radianos com 6
casas decimais

$$Yc = Lc \cdot \left(1 - \frac{Sc^2}{10} + \frac{Sc^4}{216} \right)$$

$$p = Xc - R \cdot [1 - \cos(Sc)]$$

$$q = Yc - R \cdot \text{sen}(Sc)$$

Onde:

T = tangente da curva com transição (**m**);

q = recuo para inserção da transição (**m**);

R = raio da curva com transição (**m**);

p = afastamento das tangentes (**m**);

AC = ângulo central (° ' ");

Sc = ângulo de transição (**rad**);

θ = ângulo central do trecho circular (**rad**);

Lc = desenvolvimento da espiral (**m**);

Xc, Yc = coordenadas dos pontos EC e CE em relação ao eixo da tangente da curva (**m**).

Tangente pelo método da intertangente (serve para ambas as curvas)

$$T = \Delta PI_a - T_a - IntTan_a \quad \text{ou} \quad T = \Delta PI_p - T_p - IntTan_p$$

Onde:

T = tangente da curva de interesse (**m**);

ΔPI_a, ΔPI_p = diferença entre pontos de inflexão anterior e posterior ao ponto de inflexão de interesse (**m**);

T_a, T_p = tangente anterior e posterior ao ponto de inflexão de interesse (**m**);

IntTan_a, IntTan_p = intertangente anterior e posterior ao ponto de inflexão de interesse (**m**).

Intertangente (caso geral)

$$IntTan_a = \Delta PI_a - T_{pPI_a} - T_{aPI}$$

$$IntTan_p = \Delta PI_p - T_{aPI_p} - T_{pPI}$$

Simplificação para curvas simétricas

$$T_{aPI_a} = T_{pPI_a} = T_{PI_a}$$

$$T_{aPI_p} = T_{pPI_p} = T_{PI_p}$$

Onde:

$IntTan_a, IntTan_p$ = intertangente anterior e posterior ao ponto de inflexão de interesse (**m**);

$\Delta PI_a, \Delta PI_p$ = diferença entre pontos de inflexão anterior e posterior ao ponto de inflexão de interesse (**m**);

T_{aPI}, T_{pPI} = tangente anterior e posterior ao ponto de inflexão de interesse (**m**);

T_{aPI_a}, T_{pPI_a} = tangente anterior e posterior ao ponto de inflexão anterior (**m**);

T_{aPI_p}, T_{pPI_p} = tangente anterior e posterior ao ponto de inflexão posterior (**m**).

COORDENADAS DOS PONTOS NOTÁVEIS

Pontos PC ou TE

$$AZ_{TE} = AZ_{PI_a} \quad \text{ou} \quad AZ_{PC} = AZ_{PI_a}$$

$$x_{TE} = x_{PI} + \frac{(x_{PI_a} - x_{PI}) \cdot T}{\Delta PI_a}$$

$$y_{TE} = y_{PI} + \frac{(y_{PI_a} - y_{PI}) \cdot T}{\Delta PI_a}$$

Onde:

$AZ_{TE}, AZ_{PC}, AZ_{PI_a}$ = azimutes dos pontos TE, PC e do ponto de inflexão posterior ao de interesse (**rad**);

x_{TE}, x_{PI}, x_{PI_a} = coordenada x dos pontos TE, do ponto de inflexão de interesse e do anterior (**m**);

y_{TE}, y_{PI}, y_{PI_a} = coordenada y dos pontos TE, do ponto de inflexão de interesse e do anterior (**m**);

T = tangente da curva centrada no ponto de inflexão de interesse (**m**);

ΔPI_a = diferença entre pontos de inflexão anterior (**m**).

Pontos PT ou ET

$$AZ_{ET} = AZ_{PI} \quad \text{ou} \quad AZ_{PT} = AZ_{PI}$$

$$x_{ET} = x_{PI} + \frac{(x_{PI_p} - x_{PI}) \cdot T}{\Delta PI_p}$$

$$y_{ET} = y_{PI} + \frac{(y_{PI_p} - y_{PI}) \cdot T}{\Delta PI_p}$$

Onde:

$AZ_{TE}, AZ_{PC}, AZ_{PI_a}$ = azimutes dos pontos TE, PC e do ponto de inflexão posterior ao de interesse (**rad**);

x_{TE}, x_{PI}, x_{PI_a} = coordenada x dos pontos TE, do ponto de inflexão de interesse e do anterior (**m**);

y_{TE}, y_{PI}, y_{PI_a} = coordenada y dos pontos TE, do ponto de inflexão de interesse e do anterior (**m**);

T = tangente da curva centrada no ponto de inflexão de interesse (**m**);

ΔPI_a = diferença entre pontos de inflexão anterior (**m**).

Ponto EC

$$Az_{EC} = Az_{PI_a} + Lado \cdot Sc$$

$$x_{EC} = x_{TE} + \sqrt{Xc^2 + Yc^2} \cdot \text{sen} \left[Az_{TE} + Lado \cdot \text{arc tan} \left(\frac{Xc}{Yc} \right) \right]$$

$$y_{EC} = y_{TE} + \sqrt{Xc^2 + Yc^2} \cdot \text{cos} \left[Az_{TE} + Lado \cdot \text{arc tan} \left(\frac{Xc}{Yc} \right) \right]$$

Onde:

$Az_{EC}, Az_{TE}, Az_{PI_a}$ = azimutes dos pontos EC, TE e do ponto de inflexão anterior ao de interesse (**rad**);

$Lado$ = variável auxiliar com o valor de -1 para inflexões à esquerda e +1 para inflexões à direita;

Sc = ângulo da espiral de transição do ponto de inflexão de interesse (**rad**);

x_{EC}, x_{TE} = coordenada x dos pontos EC e TE (**m**);

y_{EC}, y_{TE} = coordenada y dos pontos EC e TE (**m**);

Xc, Yc = elementos da curva de transição do ponto de inflexão de interesse (**m**);

Ponto CE

$$Az_{CE} = Az_{PI} - Lado \cdot Sc$$

$$x_{CE} = x_{ET} - \sqrt{Xc^2 + Yc^2} \cdot \text{sen} \left[Az_{ET} - Lado \cdot \text{arc tan} \left(\frac{Xc}{Yc} \right) \right]$$

$$y_{CE} = y_{ET} - \sqrt{Xc^2 + Yc^2} \cdot \text{cos} \left[Az_{ET} - Lado \cdot \text{arc tan} \left(\frac{Xc}{Yc} \right) \right]$$

Onde:

$Az_{CE}, Az_{ET}, Az_{PI}$ = azimutes dos pontos CE, ET e do ponto de inflexão de interesse (**rad**);

$Lado$ = variável auxiliar com o valor de -1 para inflexões à esquerda e +1 para inflexões à direita;

Sc = ângulo da espiral de transição do ponto de inflexão de interesse (**rad**);

x_{CE}, x_{ET} = coordenada x dos pontos CE e ET (**m**);

y_{CE}, y_{ET} = coordenada y dos pontos CE e ET (**m**);

Xc, Yc = elementos da curva de transição do ponto de inflexão de interesse (**m**);

COORDENADAS DE ESTACAS QUAISQUER

Estaca na intertangente ($km_{ET_a} < km_{est} < km_{TE}$)

$$Az_{est} = Az_{TE}$$

$$x_{est} = x_{TE} + (km_{est} - km_{TE}) \cdot \text{sen}(Az_{TE})$$

$$y_{est} = y_{TE} + (km_{est} - km_{TE}) \cdot \text{cos}(Az_{TE})$$

Onde:

Az_{est}, Az_{TE} = azimutes da estaca de interesse e do ponto TE (**rad**);

x_{est}, x_{TE} = coordenada x da estaca de interesse e do ponto TE (**m**);

y_{est}, y_{TE} = coordenada y da estaca de interesse e do ponto TE (**m**);

km_{est}, km_{TE} = posições da estaca de interesse e do ponto TE no estaqueamento (**m**);

Estaca no 1º ramo da espiral ($km_{TE} < km_{est} < km_{EC}$)

$$s = \frac{(km_{est} - km_{TE})^2}{2 \cdot R \cdot Lc}$$

$$Az_{est} = Az_{TE} + Lado \cdot s$$

$$x = (km_{est} - km_{TE}) \cdot \frac{s}{3} \cdot \left(1 - \frac{s^2}{14} + \frac{s^4}{440}\right)$$

$$x_{est} = x_{TE} + d \cdot \sin \left[Az_{TE} + Lado \cdot \arctan \left(\frac{x}{y} \right) \right]$$

$$y = (km_{est} - km_{TE}) \cdot \left(1 - \frac{s^2}{10} + \frac{s^4}{216}\right)$$

$$y_{est} = y_{TE} + d \cdot \cos \left[Az_{TE} + Lado \cdot \arctan \left(\frac{x}{y} \right) \right]$$

$$d = \sqrt{x^2 + y^2}$$

Onde:

s = ângulo parcial da espiral de transição do ponto de inflexão atual (**rad**);

km_{est}, km_{TE} = posições da estaca de interesse e do ponto TE no estaqueamento (**m**);

R = raio da curva (**m**);

Lc = desenvolvimento da espiral de transição (**m**);

x, x_{est} = coordenada x temporária e da estaca de interesse (**m**);

y, y_{est} = coordenada y temporária e da estaca de interesse (**m**);

d = variável temporária linear (**m**);

Az_{est}, Az_{TE} = azimutes da estaca de interesse e do ponto TE (**rad**);

$Lado$ = variável auxiliar com o valor de -1 para inflexões à esquerda e +1 para inflexões à direita.

Estaca na parte circular da curva simples ($km_{PC} < km_{est} < km_{PT}$)

$$a = \frac{(km_{est} - km_{PC})}{R}$$

$$d = 2 \cdot R \cdot \sin \left(\frac{a}{2} \right)$$

$$Az_{est} = Az_{PC} + Lado \cdot a$$

$$x_{est} = x_{PC} + d \cdot \sin \left[Az_{PC} + Lado \cdot \frac{a}{2} \right]$$

$$y_{est} = y_{PC} + d \cdot \cos \left[Az_{PC} + Lado \cdot \frac{a}{2} \right]$$

Onde:

a = variável temporária angular (**rad**);

km_{est}, km_{PC} = posições da estaca de interesse e do ponto PC no estaqueamento (**m**);

R = raio da curva (**m**);

d = variável temporária linear (**m**);

Az_{est}, Az_{PC} = azimutes da estaca de interesse e do ponto PC (**rad**);

$Lado$ = variável auxiliar com o valor de -1 para inflexões à esquerda e +1 para inflexões à direita;

x_{est}, x_{PC} = coordenada x da estaca de interesse e do ponto PC (**m**);

y_{est}, y_{PC} = coordenada y da estaca de interesse e do ponto PC (**m**);

Estaca na parte circular da curva com transição ($km_{EC} < km_{est} < km_{CE}$)

$$a = \frac{(km_{est} - km_{EC})}{R}$$

$$d = 2 \cdot R \cdot \sin\left(\frac{a}{2}\right)$$

$$Az_{est} = Az_{TE} + Lado \cdot (Sc + a)$$

$$x_{est} = x_{EC} + d \cdot \sin\left[Az_{EC} + Lado \cdot \left(Sc + \frac{a}{2}\right)\right]$$

$$y_{est} = y_{EC} + d \cdot \cos\left[Az_{EC} + Lado \cdot \left(Sc + \frac{a}{2}\right)\right]$$

Onde:

a = variável temporária angular (**rad**);

km_{est}, km_{EC} = posições da estaca de interesse e do ponto EC no estaqueamento (**m**);

R = raio da curva (**m**);

d = variável temporária linear (**m**);

Az_{est}, Az_{TE} = azimutes da estaca de interesse e do ponto TE (**rad**);

$Lado$ = variável auxiliar com o valor de -1 para inflexões à esquerda e +1 para inflexões à direita;

x_{est}, x_{PC} = coordenada x da estaca de interesse e do ponto PC (**m**);

y_{est}, y_{PC} = coordenada y da estaca de interesse e do ponto PC (**m**);

Estaca no 2º ramo da espiral ($km_{CE} < km_{est} < km_{ET}$)

$$s = \frac{(km_{ET} - km_{est})^2}{2 \cdot R \cdot Lc}$$

$$Az_{est} = Az_{ET} - Lado \cdot s$$

$$x = (km_{ET} - km_{est}) \cdot \frac{s}{3} \cdot \left(1 - \frac{s^2}{14} + \frac{s^4}{440}\right)$$

$$x_{est} = x_{ET} - d \cdot \sin\left[Az_{ET} - Lado \cdot \arctan\left(\frac{x}{y}\right)\right]$$

$$y = (km_{ET} - km_{est}) \cdot \left(1 - \frac{s^2}{10} + \frac{s^4}{216}\right)$$

$$y_{est} = y_{ET} - d \cdot \cos\left[Az_{TE} - Lado \cdot \arctan\left(\frac{x}{y}\right)\right]$$

$$d = \sqrt{x^2 + y^2}$$

Onde:

s = ângulo parcial da espiral de transição do ponto de inflexão atual (**rad**);

km_{ET}, km_{est} = posições do ponto TE e da estaca de interesse no estaqueamento (**m**);

R = raio da curva (**m**);

Lc = desenvolvimento da espiral de transição (**m**);

x, x_{est} = coordenada x temporária e da estaca de interesse (**m**);

y, y_{est} = coordenada y temporária e da estaca de interesse (**m**);

d = variável temporária linear (**m**);

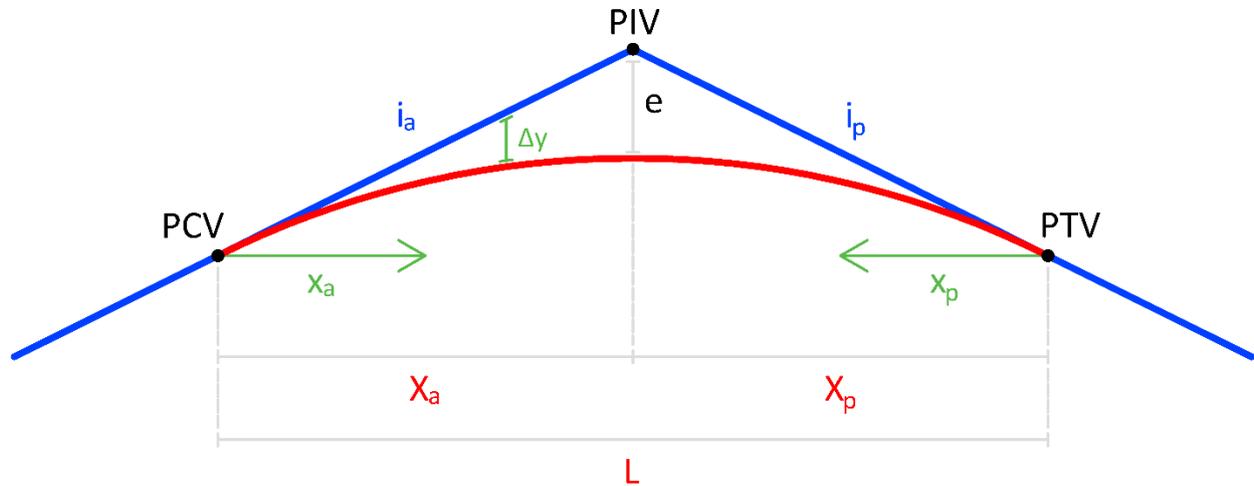
Az_{est}, Az_{TE} = azimutes da estaca de interesse e do ponto TE (**rad**);

$Lado$ = variável auxiliar com o valor de -1 para inflexões à esquerda e +1 para inflexões à direita;

ART3

CONTEÚDO DAS AULAS PG4 e PG5

REPRESENTAÇÃO DAS CURVAS VERTICAIS



PONTOS CARACTERÍSTICOS

Ponto de início da curva vertical

$$km_{PCV} = km_{PIV} - X_a$$

$$C_{PCV} = C_{PIV} - X_a \cdot \frac{i_a}{100}$$

Onde:

km_{PCV}, km_{PIV} = estaca do PCV e do PIV (km + m);

C_{PCV}, C_{PIV} = cotas do PCV e do PIV (m);

X_a = projeção anterior da parábola (m);

i_a = rampa anterior ao ponto de inflexão de interesse (%).

Ponto de término da curva vertical

$$km_{PTV} = km_{PIV} + X_p$$

$$C_{PTV} = C_{PIV} + X_p \cdot \frac{i_p}{100}$$

Onde:

km_{PTV}, km_{PIV} = estacas do PTV e do PIV (km + m);

C_{PTV}, C_{PIV} = cotas do PTV e do PIV (m);

X_p = projeção posterior da parábola (m);

i_p = rampa posterior ao ponto de inflexão de interesse (%).

Ponto de inflexão vertical

$$km_{PIV} = km_{PCV} + X_a \quad \text{ou} \quad km_{PIV} = km_{PTV} - X_p$$

$$C_{PIV} = C_{PCV} + X_a \cdot \frac{i_a}{100} \quad \text{ou} \quad C_{PIV} = C_{PTV} - X_p \cdot \frac{i_p}{100}$$

Onde:

$km_{PCV}, km_{PIV}, km_{PTV}$ = estacas do *PCV*, do *PIV* e do *PTV* (**km + m**);
 $C_{PCV}, C_{PIV}, C_{PTV}$ = cotas do *PCV*, do *PIV* e do *PTV* (**m**);
 X_a, X_p = projeção anterior e posterior da parábola (**m**);
 i_a e i_p = rampa anterior e posterior ao ponto de inflexão de interesse (%).

ELEMENTOS ALTIMÉTRICOS EM CURVA

Flecha de uma parábola qualquer

$$e = \frac{1}{2} \cdot \frac{X_a \cdot X_p}{(X_a + X_p)} \cdot \frac{(i_p - i_a)}{100} \quad \text{ou} \quad e = \frac{1}{8} \cdot L \cdot \frac{(i_p - i_a)}{100} \quad (\text{parábola simples})$$

Onde:

e = flecha da parábola (**m**);
 X_a, X_p = projeções anterior e posterior da parábola (**m**);
 i_a, i_p = rampas anterior e posterior ao ponto de inflexão de interesse (%);
 L = projeção da parábola simples (**m**). [somente quando $X_a = X_p$]

Projeção total da parábola

$$L = X_a + X_p \quad \text{ou} \quad L = km_{PTV} - km_{PCV}$$

Onde:

L = projeção total da parábola (**m**);
 X_a, X_p = projeções anterior e posterior da parábola (**m**);
 km_{PTV}, km_{PCV} = estacas do *PTV* e do *PCV* (**km + m**).

Projeções parciais da parábola

$$X_a = km_{PIV} - km_{PCV} \quad \text{ou} \quad X_a = \frac{(C_{PIV} - C_{PCV}) \cdot 100}{i_a}$$

$$X_p = km_{PTV} - km_{PIV} \quad \text{ou} \quad X_p = \frac{(C_{PTV} - C_{PCV}) \cdot 100}{i_p}$$

Onde:

X_a, X_p = projeções anterior e posterior da parábola (**m**);
 $km_{PCV}, km_{PIV}, km_{PTV}$ = estacas do *PCV*, do *PIV* e do *PTV* (**km + m**);
 $C_{PCV}, C_{PIV}, C_{PTV}$ = cotas do *PCV*, do *PIV* e do *PTV* (**m**);
 i_a, i_p = rampas anterior e posterior ao ponto de inflexão de interesse (%);

Diferença entre declividades

$$\Delta i = i_p - i_a$$

Onde:

Δi = diferença entre rampas (%);
 i_a, i_p = rampas anterior e posterior ao ponto de inflexão de interesse (%).

Parâmetro de curvatura

$$K = \frac{X_a + X_p}{\Delta i} \quad \text{ou} \quad K = \frac{L}{\Delta i}$$

Onde:

K = parâmetro de curvatura da parábola (**m**);

X_a, X_p = projeções anterior e posterior da parábola (**m**);

L = projeção total da parábola (**m**);

Δi = diferença entre rampas (%).

ELEMENTOS ALTIMÉTRICOS EM RAMPA

Distância horizontal entre pontos de inflexão verticais

$$\Delta PIV_a = km_{PIV} - km_{PIV_a} \quad \text{ou} \quad \Delta PIV_p = km_{PIV_p} - km_{PIV}$$

Onde:

$\Delta PIV_a, \Delta PIV_p$ = distância entre pontos de inflexão anterior e posterior (**m**);

$km_{PIV}, km_{PIV_a}, km_{PIV_p}$ = estacas dos PIVs do ponto de interesse, anterior e posterior (**km + m**).

Diferença de altura entre pontos de inflexão verticais

$$\Delta Cota_a = C_{PIV} - C_{PIV_a} \quad \text{ou} \quad \Delta Cota_p = C_{PIV_p} - C_{PIV}$$

Onde:

$\Delta Cota_a, \Delta Cota_p$ = diferença entre cotas anterior e posterior (**m**);

$C_{PIV}, C_{PIV_a}, C_{PIV_p}$ = cotas dos pontos de inflexão de interesse, anterior e posterior (**m**).

Comprimento da rampa entre curvas

$$Comp_a = km_{PCV} - km_{PTV_a} \quad \text{ou} \quad Comp_p = km_{PCV_p} - km_{PTV}$$

Onde:

$Comp_a, Comp_p$ = comprimento da rampa anterior e posterior entre curvas (**m**);

$km_{PCV}, km_{PTV}, km_{PTV_a}, km_{PCV_p}$ = estacas dos pontos notáveis altimétricos (**km + m**).

OBSERVAÇÃO: considerar no início da planilha $km_{PTV_a} = km_{PP}$ e no final $km_{PCV_p} = km_{PF}$

Declividade da rampa

$$i_a = \frac{C_{PIV} - C_{PIV_a}}{km_{PIV} - km_{PIV_a}} \cdot 100 \quad \text{ou} \quad i_p = \frac{C_{PIV_p} - C_{PIV}}{km_{PIV_p} - km_{PIV}} \cdot 100$$

Onde:

i_a, i_p = rampas anterior e posterior ao ponto de inflexão de interesse (%);

$C_{PIV}, C_{PIV_a}, C_{PIV_p}$ = cotas dos pontos de inflexão de interesse, anterior e posterior (**m**);

$km_{PIV}, km_{PIV_a}, km_{PIV_p}$ = estacas dos pontos de inflexão de interesse, anterior e posterior (**km + m**).

ELEMENTOS ALTIMÉTRICOS DE ESTACAS QUALISQUER

Cota da estaca na rampa

$$C_R = C_{PIV} - \frac{i_a}{100} \cdot (km_{PIV} - km_{est}) \quad (\text{quando } km_{est} > km_{PIV})$$

$$C_R = C_{PIV} + \frac{i_p}{100} \cdot (km_{est} - km_{PIV}) \quad (\text{quando } km_{est} < km_{PIV})$$

Onde:

C_R, C_{PIV} = cota da estaca de interesse em rampa e cota do ponto de inflexão de interesse (m);

i_a, i_p = rampa anterior e posterior ao PIV de interesse (%);

km_{PIV}, km_{est} = estaca do PIV e da estaca de interesse (m).

Posição da estaca na curva

$$x_a = km_{est} - km_{PCV} \quad (\text{quando } x_a \leq X_a)$$

$$x_p = km_{PTV} - km_{est} \quad (\text{quando } x_p \leq X_p)$$

Onde:

x_a = distância da estaca de interesse até o PCV (m);

x_p = distância da estaca de interesse até o PTV (m);

km_{PCV}, km_{PTV} = estaca do PCV e do PTV (m).

Variação altimétrica entre a rampa e a curva

$$\Delta y = e \cdot \frac{x_a^2}{X_a^2} \quad (\text{quando } x_a \leq X_a) \quad \text{ou} \quad \Delta y = e \cdot \frac{x_p^2}{X_p^2} \quad (\text{quando } x_p \leq X_p)$$

Onde:

Δy = variação altimétrica entre a parábola e a rampa (m);

e = flecha da parábola (m);

X_a, X_p = projeções anterior e posterior da parábola (m);

x_a = distância da estaca de interesse até o PCV (m);

x_p = distância da estaca de interesse até o PTV (m).

Cota de uma estaca na curva

$$C_G = C_R + \Delta y$$

$$C_G = C_{PCV} + \frac{i_a}{100} \cdot |x_a| + \Delta y \quad \text{ou} \quad C_G = C_{PTV} - \frac{i_p}{100} \cdot |x_p| + \Delta y$$

Onde:

$C_G, C_R, C_{PCV}, C_{PTV}$ = cotas da estaca de interesse no greide e na rampa e cotas do PCV e do PTV (m);

i_a, i_p = rampas anterior e posterior ao ponto de inflexão de interesse (%);

x_a = distância da estaca até o PCV (m);

x_p = distância da estaca até o PTV (m);

Δy = variação altimétrica entre a parábola e a rampa (m).

Declividade de uma estaca

$$C'_{est} = i_{est} = \left(\frac{i_a}{100} + \frac{2 \cdot e \cdot |x_a|}{X_a^2} \right) \cdot 100 \quad (\text{quando } x_a \leq X_a)$$

$$C'_{est} = i_{est} = \left(\frac{i_p}{100} - \frac{2 \cdot e \cdot |x_p|}{X_p^2} \right) \cdot 100 \quad (\text{quando } x_p \leq X_p)$$

Onde:

C'_{est}, i_{est} = declividade da rampa no ponto da estaca (%);

i_a, i_p = rampas anterior e posterior ao PIV (%);

x_a = distância da estaca até o PCV (m);

x_p = distância da estaca até o PTV (m);

X_a, X_p = projeções anterior e posterior da parábola (m);

e = flecha da parábola (m).

Distância da cota máxima/mínima até a extremidade da curva

$$m_a = \left| \frac{i_a \cdot X_a^2}{200 \cdot e} \right| \quad (\text{quando } m_a \leq X_a) \quad \text{ou} \quad m_p = \left| \frac{i_p \cdot X_p^2}{200 \cdot e} \right| \quad (\text{quando } m_p \leq X_p)$$

Onde:

m_a = distância da estaca de cota mínima ou máxima até o PCV (m);

m_p = distância da estaca de cota mínima ou máxima até o PTV (m);

i_a, i_p = rampas anterior e posterior ao PIV (%);

X_a, X_p = projeções anterior e posterior da parábola (m);

e = flecha da parábola (m).

Posição da estaca de máximo/mínimo

$$km_{est} = km_{PCV} + m_a \quad (\text{quando } m_a \leq X_a)$$

$$km_{est} = km_{PTV} - m_p \quad (\text{quando } m_p \leq X_p)$$

Onde:

$km_{est}, km_{PCV}, km_{PTV}$ = estacas do ponto de interesse e dos pontos notáveis altimétricos (km + m);

m_a = distância da estaca de cota mínima ou máxima até o PCV (m);

m_p = distância da estaca de cota mínima ou máxima até o PTV (m).

ART4

CONTEÚDO DAS AULAS PG6, PG7 e PG8

ACRÉSCIMO SOBRE A DIRETRIZ

$$A = \left(\frac{E}{D} - 1 \right) \cdot 100$$

Onde:

A = acréscimo sobre a diretriz (%);

E = extensão do trecho (m);

D = distância em diretriz (m).

TORTUOSIDADE

Tortuosidade para curvas simples

$$T_c = \frac{AC}{R}$$

Onde:

T_c = tortuosidade da curva simples (°/m);

AC = ângulo central (° **decimais**);

R = raio da curva (m).

Tortuosidade para curvas de transição

$$T_t = \frac{\theta + \frac{(Sc_a + Sc_p)}{3}}{R}$$

$$\theta = AC - Sc_a - Sc_p$$

$$Sc = \frac{Lc}{2 \cdot R} \cdot \left(\frac{180}{\pi} \right)$$

$$(Sc_a = Sc_p, \text{ se só há 1 } Lc)$$

$$Lc = EC - TE \quad \text{ou} \quad Lc = ET - CE$$

OBSERVAÇÃO
Devem estar em graus decimais.

Onde:

T_t = tortuosidade da curva de transição (°/m);

θ = ângulo central do trecho circular (° **decimais**);

R = raio da curva (m);

AC = ângulo central (° **decimais**);

Sc_a = ângulo da transição anterior à curva (° **decimais**);

Sc_p = ângulo da transição posterior à curva (° **decimais**).

Tortuosidade total

$$T_{TOT} = \sum_{i=0}^n T_{c_i} + \sum_{j=0}^m T_{t_j}$$

Onde:

T_{TOT} = tortuosidade total (°/m);

T_{c_i} = tortuosidade da curva simples (°/m);

T_{t_j} = tortuosidade da curva com transição (°/m).

Tortuosidade média

$$T_{MED} = \frac{T_{TOT}}{E}$$

$$E = \frac{km_{PF} - km_{PP}}{1000}$$

Onde:

T_{MED} = tortuosidade média [°/(m.km)];

T_{TOT} = tortuosidade total (°/m);

E = extensão do trecho (km);

km_{PF}, km_{PP} = estacas do PF e do PP (m).

COMPRIMENTO VIRTUAL

Comprimento virtual para uma rampa qualquer

$$CV_A = C_A \cdot \left(1 + \frac{i}{100 \cdot r}\right)$$

Onde:

CV_A = comprimento virtual do trecho em aclave (m);

C_A = comprimento real do trecho em aclave (m);

i = declividade da rampa (%);

r = coeficiente de resistência ao rolamento (**adimensional**). [usualmente 0,02]

Comprimento virtual por sentido

$$CV_{IDA} = C_{TOT} + \sum C_A \cdot \frac{i}{100 \cdot r} \quad \text{ou} \quad CV_{VOLTA} = C_{TOT} + \sum C_A \cdot \frac{i}{100 \cdot r}$$

Onde:

CV_{IDA}, CV_{VOLTA} = comprimento virtual do sentido (m);

C_{TOT} = comprimento real total do sentido (m);

C_A = comprimento real dos trechos em aclave no sentido calculado (m).

Comprimento virtual médio

$$CV = \frac{CV_{IDA} + CV_{VOLTA}}{2}$$

Onde:

CV = comprimento virtual médio do traçado (m);

CV_{IDA} = comprimento virtual no sentido do estaqueamento (m);

CV_{VOLTA} = comprimento virtual no sentido contrário ao do estaqueamento (m).

SUPERELEVAÇÃO

Cálculo da superelevação por curva

$$f_a = \frac{0,61931}{Vd^{0,33778}} \rightarrow R_{min} = \frac{Vd^2}{127 \cdot \left(f_a + \frac{SE_p}{100}\right)} \rightarrow SE_c = SE_p \cdot \left(\frac{2 \cdot R_{min}}{R} - \frac{R_{min}^2}{R^2}\right)$$

Onde:

f_a = fator de atrito (**adimensional**);

Vd = velocidade diretriz (**km/h**);

R_{min} = raio mínimo de projeto (**m**);

SE_c = superelevação da curva (%);

SE_p = superelevação máxima de projeto (%); [tabelado]

R = raio da curva (**m**).

Correção da cota do eixo

$$CC = L \cdot \frac{(SE_c - |i|)}{100}$$

Onde:

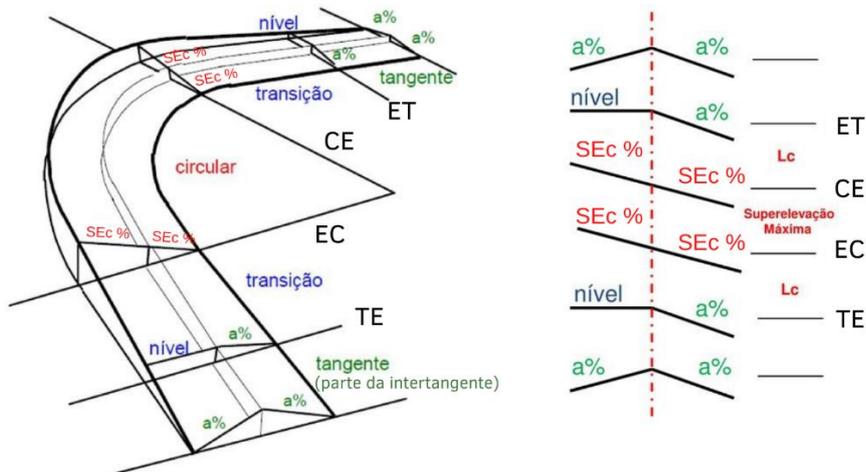
CC = correção da cota do perfil longitudinal de projeto (**m**);

L = comprimento do ponto de giro para o eixo (**m**);

SE_c = superelevação na curva (%);

i = abaulamento (%). [usualmente 2%]

Representação da superelevação



Desenvolvimento adicional em curvas com transição

$$Dad = \frac{Lc \cdot |i|}{SE_c}$$

Onde:

Dad = desenvolvimento adicional necessário além da curva (**m**);

Lc = desenvolvimento da espiral da curva com transição (**m**);

i = abaulamento (%); [usualmente 2%]

SE_c = superelevação da curva (%).

Desenvolvimento adicional em curvas simples

$$C = \frac{Lc' \cdot |i|}{SE_c}$$

$$Dad = (Lc' + C) \cdot 0,6$$

Onde:

Dad = desenvolvimento adicional necessário além da curva (m);

C = complemento do desenvolvimento para distribuição da superelevação (m);

Lc' = desenvolvimento da espiral fictícia da curva simples (m);

i = abaulamento (%); [usualmente 2%]

SE_c = superelevação da curva (%).

Quadro para o valor do comprimento fictício

Vd (km/h)	30	40	50	60	70	80	90	100	120
Lc' (m)	20	20	30	30	40	40	50	60	70

Posição de início e fim da superelevação

$$km_{ini\ SE} = TE - Dad \quad \text{ou} \quad km_{ini\ SE} = PC - Dad$$

$$km_{fim\ SE} = ET + Dad \quad \text{ou} \quad km_{fim\ SE} = PT + Dad$$

Onde:

km_{ini SE}, km_{fim SE} = posição de início e de fim da superelevação no estaqueamento (m);

TE, ET = pontos de início e término da espiral da curva com transição (m);

PC, PT = pontos de início e término da curva circular simples (m);

Dad = desenvolvimento adicional necessário além da curva (m);

SE_{ca}, SE_{cp} = superelevação das curvas anterior e posterior (%).

Intertangente mínima

$$IntTan_{min} = Dad_a + Dad_p$$

Onde:

IntTan_{min} = intertangente mínima (m);

Dad_a, Dad_p = desenvolvimento adicional necessário além das curvas anterior e posterior (m);

SUPERLARGURA

$$SL_c = n \cdot \left(R - \sqrt{R^2 - b^2} \right) + \frac{Vd}{10 \cdot \sqrt{R}}$$

Onde:

SL_c = superlargura da curva (m);

n = número de faixas de tráfego;

R = raio da curva (m);

b = distância entre eixos do veículo (m);

Vd = velocidade diretriz (km/h).

ART5

CONTEÚDO DAS AULAS PT1, PT2 e PT3

VOLUME DOS MACIÇOS

$$A_M = \frac{A_1 + A_2}{2}$$

$$V = A_M \cdot d$$

Onde:

A_1, A_2, A_M = área da seção 1, seção 2 e média, respectivamente (m^2);

V = volume do segmento (m^3);

d = distância entre seções (m). [usualmente 20 m]

DETERMINAÇÃO DO CENTRO DE MASSA DOS MACIÇOS

Método da estaca mais próxima à metade do volume

$$V_{acum} = \sum V_i \quad e \quad V_{met} = \frac{V_{acum}}{2}$$

Onde:

V_{acum} = volume acumulado (m^3);

V_i = volume do segmento (m^3);

V_{met} = metade do volume total (m^3).

Agora é necessário encontrar a estaca mais próxima à metade do volume e fazer uma interpolação trapezoidal. Para tanto, precisa-se subtrair a estaca anterior da estaca seguinte à de interesse e subtrair também a estaca anterior da estaca de interesse. Após isso, basta realizar uma simples regra de três. Este procedimento está resumido no quadro e na equação a seguir:

Estaca	Volume acumulado
km_a	V_a
km	V
km_p	V_p

$$km = \left[\frac{(km_p - km_a) \cdot (V - V_a)}{V_p - V_a} \right] + km_a$$

Onde:

km = posição da estaca de interesse (m);

km_a, km_p = posições das estacas anterior e posterior (m);

V, V_a, V_p = volume da estaca de interesse, anterior e posterior (m^3).

Método do momento de inércia ou média ponderada

$$I = V \cdot d$$

$$I_T = \sum I$$

$$km = \frac{I_T}{V_T}$$

Onde:

I e I_T = momento de inércia na estaca e total ($\mathbf{m^4}$ ou $\mathbf{m^3 \cdot km}$);

V = volume do segmento ($\mathbf{m^3}$);

d = posição da estaca atual ($\mathbf{km + m}$);

km = posição da estaca de interesse (\mathbf{m}).

PLANILHA DE DUPLA ÁREA

Posição da estaca

$$km_{est} = km_{est_a} + 2 \cdot f \quad \text{ou} \quad km_{est} = km_{est_p} - 2 \cdot f_p$$

Onde:

km_{est_a} , km_{est} , km_{est_p} = posições das estacas anterior, atual e da posterior ($\mathbf{km + m}$);

f , f_p = fator $d/2$ atual e posterior (\mathbf{m}) [usualmente 10, exceto nas estacas inicial e final].

Área simples

$$A = A_D - A_a \quad \text{ou} \quad A = A_{D_p} - A_p$$

Onde:

A , A_p = área das estacas de interesse e da posterior ($\mathbf{m^2}$);

A_D , A_{D_p} = áreas duplas das estacas de interesse e da posterior ($\mathbf{m^2}$).

Área dupla

$$A_D = \frac{V_P}{f} \quad \text{ou} \quad A_D = A_a + A$$

Onde:

A_D = área dupla da estaca de interesse ($\mathbf{m^2}$);

V_P = volume parcial ($\mathbf{m^3}$);

f = fator $d/2$ (\mathbf{m}) [usualmente 10, exceto nas estacas inicial e final];

A_a , A = área das estacas anterior e de interesse ($\mathbf{m^2}$).

Fator de simplificação de cálculo

$$f = \frac{km_{est} - km_{est_a}}{2} \quad \text{ou} \quad f = \frac{V_P}{A_D}$$

Onde:

f = fator $d/2$ (\mathbf{m}) [usualmente 10, exceto nas estacas inicial e final];

km_{est} , km_{est_a} = posições das estacas atual e anterior ($\mathbf{km + m}$);

V_P = volume parcial ($\mathbf{m^3}$);

A_D = área dupla da estaca de interesse ($\mathbf{m^2}$).

Volume parcial e acumulado

$$V_P = \frac{I}{km_{est}} \quad \text{ou} \quad V_P = f \cdot A_D \quad \text{ou} \quad V_P = V_{acum} - V_{acum_a}$$

$$V_{acum} = V_P + V_{acum_a}$$

Onde:

V_P = volume parcial (m^3);

I = momento de inércia (m^4 ou $m^3 \cdot km$);

f = fator $d/2$ (m) [usualmente 10, exceto nas estacas inicial e final];

A_D = área dupla da estaca de interesse (m^2);

V_{acum}, V_{acum_a} = volumes acumulados atual e anterior (m^3).

Momento de inércia

$$I = V_P \cdot km_{est}$$

Onde:

V_P = volume parcial (m^3);

km_{est} = posição da estaca ($km + m$).

Posição da estaca do centro do maciço

$$km = \frac{I_T}{V_T}$$

$$I_T = \sum I \quad \text{e} \quad V_T = \sum V_P$$

Onde:

km = posição da estaca de interesse ($km + m$);

I_T = momento de inércia total (m^4 ou $m^3 \cdot km$);

V_T = volume total (m^3).

FATORES DE CONVERSÃO

Fator de empolamento

$$f_e = \frac{V_{solto}}{V_{corte}}$$

Onde:

V_{solto} = volume na caçamba do caminhão (m^3);

V_{corte} = volume original do corte (m^3).

Fator de contração

$$f_c = \frac{V_{comp}}{V_{corte}}$$

Onde:

V_{comp} = volume final do aterro (m^3);

V_{corte} = volume original do corte (m^3).

Fator de homogeneização

$$f_h = \frac{V_{corte}}{V_{comp}}$$

Onde:

V_{corte} = volume original do corte (m^3);

V_{comp} = volume final do aterro (m^3).

QUADRO DE ORIGEM E DESTINO (ROD)

Volume homogeneizado total

$$V_{h_T} = \frac{V_{g_o}}{f_h} \quad \text{ou} \quad V_{h_T} = \sum V_{h_p}$$

Onde:

V_{h_T}, V_{h_p} = volume homogeneizado total e parcial (m^3);

V_{g_o} = volume geométrico total de origem (m^3);

f_h = fator de homogeneização (**adimensional**).

Volume geométrico total de destino

$$V_{g_d} = \sum V_{h_p}$$

Onde:

V_{g_d} = volume geométrico total de destino (m^3);

V_{h_p} = volume homogeneizado parcial (m^3).

OBSERVAÇÃO: considerar na soma de V_{g_d} apenas os volumes parciais que estão destinados ao aterro correspondente.

Distância de transporte

$$DT = |CM_D - CM_O| + DM_O + DM_D$$

Onde:

DT = distância de transporte (**km**);

CM_D, CM_O = centro de massa de destino e de origem (**km ou m**);

DM_O, DM_D = distância morta de origem e de destino (**km**).

Distâncias mortas

$$DM_O = DT - DM_D - |CM_D - CM_O|$$

$$DM_D = DT - DM_O - |CM_D - CM_O|$$

Onde:

DM_O, DM_D = distância morta de origem e de destino (**km**);

DT = distância de transporte (**km**);

CM_D, CM_O = centro de massa de destino e de origem (**km ou m**).

Centros de massa dos maciços

$$CM_D = (DT - DM_O - DM_D) \pm CM_O$$

$$CM_O = (DM_O + DM_D - DT) \pm CM_D$$

OBSERVAÇÃO

A incerteza quanto à soma/subtração decorre do fato de que o valor calculado para o CM deve estar dentro dos limites do seu maciço.

Onde:

CM_D, CM_O = centro de massa de destino e de origem (**km ou m**);

DM_O, DM_D = distância morta de origem e de destino (**km**);

DT = distância de transporte (**km**).

Volume compensado

$$V_{comp} = V_{homop} \cdot f_h \text{ ou } V_{comp} = \frac{I}{DT}$$

$$V_{comp_T} = \sum V_{comp}$$

Onde:

V_{comp}, V_{comp_T} = volume compensado atual e total (m^3);

V_{homop} = volume homogeneizado parcial (m^3);

f_h = fator de homogeneização (**adimensional**);

I = momento de inércia de transporte ($m^3 \cdot km$).

Momento de inércia

$$I = DT \cdot V_{comp}$$

$$I_T = \sum I$$

Onde:

I, I_T = momento de inércia de transporte atual e total ($m^3 \cdot km$);

DT = distância de transporte (**km**);

V_{comp} = volume compensado (m^3).

Distância média de transporte

$$DMT = \frac{I_T}{V_{comp_T}}$$

Onde:

DMT = distância média de transporte (**km**);

I_T = momento de inércia de transporte total ($m^3 \cdot km$);

V_{comp_T} = volume compensado total (m^3).