

DISTRIBUIÇÃO DE TERRAS USANDO UMA EXTENSÃO DA TEORIA DE BRÜCKNER

MARIA MANUELA RAMALHO DE MESQUITA

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

Orientador: Professor Doutor Adalberto Quelhas da Silva França

JUNHO DE 2012

MESTRADO INTEGRADO EM ENGENHARIA CIVIL 2011/2012

DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL

Tel. +351-22-508 1901

Fax +351-22-508 1446

✉ miiec@fe.up.pt

Editado por

FACULDADE DE ENGENHARIA DA UNIVERSIDADE DO PORTO

Rua Dr. Roberto Frias

4200-465 PORTO

Portugal

Tel. +351-22-508 1400

Fax +351-22-508 1440

✉ feup@fe.up.pt

🌐 <http://www.fe.up.pt>

Reproduções parciais deste documento serão autorizadas na condição que seja mencionado o Autor e feita referência a *Mestrado Integrado em Engenharia Civil - 2011/2012 - Departamento de Engenharia Civil, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Porto, Portugal, 2012.*

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

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

AGRADECIMENTOS

Ao Professor Doutor Adalberto França, meu orientador, pela motivação e pelo incentivo que me foi transmitindo ao longo destes meses, para além da sua disponibilidade.

À Elsa pela disponibilidade em me apoiar em todos os passos nesta maratona.

Ao Professor A. Carlos Galiza e ao Professor Doutor José Augusto Fernandes pelo incentivo que me têm transmitido nesta minha etapa da carreira profissional.

A todos os meus amigos, que ao longo de todo o meu percurso académico e profissional, sempre me apoiaram incondicionalmente.

Um agradecimento muito especial a meu Pai, pelo exemplo, pelo suporte e por tantos ensinamentos na aplicação prática das técnicas aqui desenvolvidas e na profissão que escolhi.

E por ultimo, ao Zé ao Pedro e ao Hugo pela paciência, compreensão e incentivo que sempre me transmitem, sabendo que são sempre os primeiros.

RESUMO

O propósito do presente trabalho é analisar a viabilidade de adaptação do Método da Teoria de Brückner às condições e exigências geológicas e geotécnicas que atualmente são exigidas nos trabalhos de terraplenagem. Pretende-se, com o recurso a este método, determinar o menor custo de transporte de terras associado à movimentação dos solos numa obra rodoviária.

O princípio do método de Brückner consiste em construir uma curva, a curva de Brückner, também designada por diagrama de massas, cuja ordenada em cada perfil é, não a área do perfil, mas o cubo acumulado correspondente a esse perfil.

O momento de transporte correspondente à área do segmento respetivo é obtida pelo produto do volume pela distância à qual é transportado. O Custo de Transporte de um metro cúbico é linearmente proporcional à distância de transporte, logo, obtém-se o menor custo de transporte para a menor distância de transporte.

Atualmente registam-se grandes mudanças nas exigências técnicas e construtivas das obras rodoviárias, que não eram previstas na pura teoria de Brückner, aquando da sua criação em 1847. As condicionantes geológicas e geotécnicas, as barreiras ambientais e construtivas, hoje exigem uma adaptação da teoria original do Método de Brückner.

Elaboramos uma proposta de adaptação dessas condicionantes ao método da teoria de Brückner que se materializou na execução de um número de curvas de Brückner que representassem as imposições geotécnicas, geográficas ou temporais, de forma a que a distância menor de transporte fosse determinada em cada uma dessas curvas.

Elaborou-se um estudo do custo associado aos equipamentos de transporte de solos, por tipologia de equipamento, relacionando-o com as características do material a transportar e com a inclinação do percurso a efetuar.

Aplicou-se esta proposta de extensão do método de Brückner ao estudo de um caso – construção de um troço de autoestrada.

O modelo desenvolvido, valida a viabilidade e a utilidade do recurso à teoria de Brückner como ferramenta de planeamento e preparação das terraplenagens em obras viárias.

PALAVRAS-CHAVE: Curva de Brückner, terraplenagem, distância de transporte, diagrama de massas, planeamento de obra.

ABSTRACT

The purpose of this study is to analyse the feasibility of adapting Brückner's theory method to the geological and geotechnical conditions and requirements currently used in earthworks. With this method is intended to determine the lowest hauling cost associated with soil movement in highway project-designs.

Brückner's method principle is to construct a curve, also known as Mass Diagram, whose ordinate in each profile is not the area of the profile, but the hub corresponding to the accumulated profile.

The transport moment is measured to the respective area segment and is obtained by multiplying the distance for the volume transported. The hauling cost of a cubic meter is linearly proportional to the hauling distance, so the lowest hauling cost for the shortest distance transport is obtained.

Currently there are major changes in technical and construction requirements of highway projects, which were not foreseen in the pure theory of Brückner, by the time of its creation in 1847. The geological and geotechnical conditions, and the environmental and constructive barriers today require an adaptation of the original method.

A proposal to adapt these conditions to the Brückner theory was developed, which consists in the execution of a number of curves that represent the geotechnical, geographical and time requirements, so that the smaller hauling distance was determined in each curve.

A case study was developed associating the hauling cost with hauling distance equipments, by type of equipment, regarding the material characteristics and the slant of the path in a section of a highway project.

The model validates the feasibility of Brückner's theory as a useful tool for planning and preparing earthworks in highway projects.

KEYWORDS: Mass diagram, earthwork, hauling distance, hauling cost, highway projects

ÍNDICE GERAL

Agradecimentos	i
Resumo	iii
Abstract	v
 1. INTRODUÇÃO	 1
1.1. Nota introdutória	1
1.2. Objetivo da dissertação	1
1.3. Organização da dissertação	2
 2. A TEORIA DO MÉTODO DA CURVA DE BRÜCKNER	 5
2.1. A origem	5
2.2. A importância da curva de Brückner	5
2.3. Teoria do método da Curva de Brückner	6
2.3.1. Construção da Curva	6
2.3.2. Propriedades dos ramos ascendentes e descendentes da curva	7
2.3.3. Propriedades dos pontos com a mesma ordenada	8
2.3.4. Propriedades das áreas dos segmentos	9
2.3.5. Determinação da linha de distribuição mais económica	11
2.3.6. Outros casos	15
2.3.7. Regras básicas gerais para a determinação da Linha de Distribuição	17
2.3.8. Casos Práticos	18
2.3.8.1. Generalidades	18
2.3.8.2. Um só local Fixo	18
2.3.8.3. Dois locais fixos	20
2.4. Determinação da distância média de transporte	22
 3. EQUIPAMENTO DE TRANSPORTE	 25
3.1. Introdução	25
3.2. Custo de transporte	25
3.2.1. Generalidades	25
3.2.2. Tipos de maciço a escavar	26

3.2.2.1. Preâmbulo.....	26
3.2.3. Tipo de equipamento de carga.....	28
3.2.4. Caminho a percorrer	28
3.2.5- Selecção de equipamento de transporte.....	29
3.2.6. Eficiência do trabalho	29
3.2.7. Distância a percorrer	30
3.3. Método de estudo do tempo.....	30
3.4. Determinação do custo de transporte.....	32
3.4.1- Número total de ciclos por hora.....	32
3.4.2- Volume médio transportado por ciclo de transporte	32
3.4.3- Produção horária	32
3.4.4- Produção efetiva.....	33
3.4.5- Custo de transporte por unidade de volume transportado	33
3.5. Exemplo.....	33
3.5.1. Aplicação ao método de Brückner	35
 4. A EVOLUÇÃO TÉCNICA.....	 37
4.1. As boas práticas na construção rodoviária	37
4.1.1. Geológicas e geotécnicas	37
4.1.1.1 Classificação Unificada	38
4.1.1.2. Classificação Rodoviária – HRB (<i>Highway Research Board</i>).....	41
4.1.1.3. Classificação de Solos SETRA-LCPC	42
4.1.1.4. Materiais Rochosos.....	43
4.2. Condicionalismos.....	44
4.2.1. Geológicos e Geotécnicos.....	44
4.2.2. Ambientais	45
4.2.3. Barreiras Naturais	45
4.2.4. Barreiras construtivas.....	46
4.2.5. Circulação fora linha.....	47
 5. ADAPTAÇÃO DO MÉTODO DA CURVA DE BRÜCKNER	 49
5.1. O objetivo	49
5.2. As características do material como condicionante	49

5.2.1. O levantamento das condicionantes da obra	49
5.2.2. Construção das Curva.....	51
5.2.3. Validação da solução proposta.....	54
5.2.3.1- Aplicação simples.....	54
5.2.3.2- Aplicação Sugerida	56
5.3. A condicionante temporal.....	60
5.4. A condicionante geotécnica e temporal.....	64
5.4.1. Condicionante geotécnica com implicações no faseamento construtivo	64
 6. ESTUDO DE UM CASO COM RECURSO À EXTENSÃO DA TEORIA DE BRÜCKNER.....	 69
6.1. O objetivo	69
6.2. A envolvente.....	69
6.3. O levantamento das condicionantes	71
6.3.1. O levantamento das condicionantes Geológicas e Geotécnicas.....	71
6.3.2. O levantamento das condicionantes Ambientais.....	75
6.3.3. O levantamento das barreiras naturais	75
6.3.4. O levantamento das barreiras construtivas	75
6.3.5. Circulação fora da linha.....	76
6.4. A aplicação da extensão da teoria de Brückner	76
6.4.1. Construção da curva	76
6.4.2. Determinação da distância média de transporte	82
6.4.3. Determinação do custo de transporte	84
 7. CONCLUSÃO.....	 87
 Bibliografia	 89

ÍNDICE DE FIGURAS

Fig. 2.1 – Curva de Brückner construída a partir da curva de volumes.....	6
Fig. 2.2 – Perfil longitudinal e gráfico de Brückner correspondente.	7
Fig. 2.3 – Movimento de Terras.....	9
Fig. 2.4 – Áreas dos Segmentos.	9
Fig. 2.5 – Caso da Curva de Brückner terminando na LT.....	12
Fig. 2.6 – A linha de distribuição tem que ficar entre LT e L1T1.	13
Fig. 2.7- A linha de distribuição é a que faz $\sum s = \sum i$	14
Fig. 2.8 – Linha de distribuição fracionada.....	15
Fig. 2.9 – Linha de distribuição fracionada.....	16
Fig. 2.10 – Degraus (1) – Curva termina acima da LT.....	16
Fig. 2.11 – Degraus(2) – Curva termina abaixo da LT.....	17
Fig. 2.12 – Um local fixo no final do traçado.	18
Fig.2.13 – Um só local no início do traçado.	19
Fig. 2.14 – Um só local intercetando o traçado.	20
Fig. 2.15 – Dois locais no início e final do traçado.	20
Fig.2.16 – Dois locais no início e final do traçado a distâncias diferentes.	21
Fig. 2.17 – Dois locais intercetando o traçado.	21
Fig.3.1- Vários tipos de equipamentos de transporte, camiões de estrada.	28
Fig. 3.2- Vários tipos de meios de transporte ao longo da linha, respetivamente: Camião articulado, Dumper, Scraper, Trator com lâmina.	28
Fig. 3.3- Distância mais económica de transporte por tipo de meio (Fonte: Manual de Produção CATERPILLAR – edição 37)	29
Fig. 5.1 – Curvas de Brückner Clássica.	54
Fig. 5.2 – Curvas de Brückner – CB, CBexp e CBmec.....	56
Fig. 5.3 – Curvas de Brückner: CB, CBexp , CBmec.....	57
Fig. 5.4 – Curva de Brückner – volumes escavados com recurso a explosivo e volume da PIA.....	57
Fig. 5.5 – Curva de Brückner – volumes escavados com recurso a explosivo e volume da PIA.....	58
Fig.5.6 – Curvas de Brückner: CB, CBexp , CBmec.....	58
Fig.5.7 – Curva de Brückner – CBexp , com deficit de material rochoso.	59
Fig.5.8 – Curvas de Brückner: CB, CBexp , CBmec	59
Fig.5.9 – Planta Geológica e Perfil Geotécnico.	60
Fig.5.10 – Curva de Brückner.....	60

Fig.5.11 – Curva de Brückner no intervalo de tempo t1- CB t1 – Caso A	61
Fig.5.12 – Curva de Brückner no intervalo de tempo t1 com acréscimo de distância de transporte- CB't1- CasoA.....	62
Fig.5.13 – Curva de Brückner no intervalo de tempo t2- CB t2 – Caso A	62
Fig.5.14 – Curva de Brückner no intervalo de tempo t1- CB t1	62
Fig.5.15 – Curva de Brückner.....	63
Fig.5.16 – Curva de Brückner no intervalo de tempo t1- CB t1	63
Fig.5.17 – Curvas de Brückner: CB, CBexp , CBmec	64
Fig.5.18 – Curvas de Brückner tempo t1: CB, CBexp , CBmec.	65
Fig.5.19 – Curva de Brückner tempo t1 e Curva Brückner tempo t2.....	65
Fig.5.20 – Curvas de Brückner - CBmec t3.....	66
Fig.5.21 – Curvas de Brückner CBmec t3.....	66
Fig.5.22 – Curvas de Brückner CBexp t3.....	67
Fig.5.23 – Curva de Brückner total no tempo 3 – CB t3	67
Fig.6.1 – Curva de Brückner total do Troço 1- CB	70
Fig.6.2 – Curvas de Brückner totalidade do Troço 1, CB , CBexp e Cbmec	74
Fig.6.3 – Curva de Brückner no tempo t1 , escavação mecânica e colocação em pequenos aterros e transporte a depósitos provisórios	77
Fig.6.4 – Curva de Brückner da escavação com recurso a explosivo e aterro nas PIA , Zona 1.1, no tempo t2 -CBexp t2.	78
Fig.6.5 – Curva de Brückner da Zona 1.1 , no tempo t1.....	78
Fig.6.6 – Curva de Brückner Zona 1.1, tempo t3 – aterro do corpo e parte superior dos aterros com solos provenientes dos depósitos provisórios.	79
Fig.6.7 – Curvas de Brückner (entre o Pk 1+325 e o Pk 2+950), CBtotal, CBexp e CBmec.....	79
Fig.6.8 – Determinação da linha de distribuição mais económica da Zona 2.1 e momentos de transporte.....	80
Fig.6.9 – Rejeição desta linha de distribuição por não ser a que apresenta menores momentos de transporte.....	80
Fig.6.10 – Momentos de transporte na Zona 2.1	81
Fig.6.11 – Determinação da linha de distribuição que conduz a menores momentos de transporte na Zona 2.2, após prolongamento da horizontal a montante.....	81
Fig.6.12 – Determinação da linha de distribuição que conduz a menores momentos de transporte na Zona 2.3.	82
Fig.6.13 – Gráfico dos custos de transporte, para um Bulldozer D8, em função da distância de transporte	86

ÍNDICE DE QUADROS

Quadro 3.1 – Percentagem de empolamento	27
Quadro 3.2 – Fatores de eficiência.....	30
Quadro 3.3 – Custos por m ³ de transporte para diferentes distâncias - exemplo CAT 730	35
Quadro 4.1 – Classificação unificada de solos (ASTM D 2487-85).....	39
Quadro 4.2 – Carta de plasticidade de Casagrande	39
Quadro 4.3 – Comportamento dos grupos quando aplicados em aterros.	40
Quadro 4.4 – Regras de aplicabilidade dos grupos de solos nas distintas zonas dos aterros.	41
Quadro 4.5 – Classificação dos solos – HRB	42
Quadro 4.6 – Síntese de classificação dos solos segundo o D _{máx} e a percentagem de passados no peneiro 200.	43
Quadro 4.7. – Síntese de classificação dos solos segundo as suas características (Fonte: Setra LCPC).....	43
Quadro 5.1 – Significado do símbolo Escavação	50
Quadro 5.2 – Significado do símbolo Aterro	51
Quadro 5.3 – Movimento de terras - Resumo	51
Quadro 5.4 – Volumes de escavação com recurso a explosivos e mecânica.	52
Quadro 5.5 – Volumes nas diferentes zonas de aterro	52
Quadro 5.6 – Volumes de <i>Escavação com recurso a Explosivo</i> e volumes na PIA e cálculo de volumes para construção da Curva de Brückner.....	53
Quadro 5.7 – Volumes de <i>Escavação Mecânica</i> e volumes no corpo e PSA do aterro e respetivo cálculo de volumes para construção da Curva de Brückner.	53
Quadro 5.8 – Volumes globais de escavação e aterro entre pk 0 ao Pk 0+450 e respetiva Curva de Brückner.	54
Quadro 5.9 – Volumes de Escavação com recurso a Explosivo e aterro na PIA, à esquerda, volumes de Escavação Mecânica , Corpo do Aterro e PSA, no quadro da direita.	55
Quadro 5.10 – Volumes por Pki função do tempo e das características geotécnicas	68
Quadro 6.1 – Resumo das terraplenagens para a Zona 1.1 e cálculo de volumes para elaboração da Curva de Brückner (do Pk 0+000 ao Pk 0+775).....	71
Quadro 6.2 – Síntese das principais escavações e percentagens estimada de ripabilidade.	72
Quadro 6.3 – Síntese dos aterros mais significativos e indicações sobre processo construtivo.	73
Quadro 6. 4 – Cálculo discriminado dos volumes de escavação e aterro (do Pk 0+000 ao Pk 0+250)- exemplificativo.....	73
Quadro 6. 5 – Cálculo de volumes acumulados para elaboração da CB exp e CB mec (Pk 0+000 ao Pk 0+250)- exemplificativo	74

Quadro 6.6 – Localização das saídas de material para vazadouro e distância a que se localizam da linha.....	75
Quadro 6.7 – Localização das Obras de Arte no Troço 1.....	76
Quadro 6.8– Localização dos caminhos e estradas interceptadas pela nova via do Troço 1.....	76
Quadro 6.9– Momentos de transporte e volumes transportados- Zona 1.1- tempo t1.....	83
Quadro 6.10– Momentos de transporte e volumes transportados- Zona 1.1 - Tempo t2	83
Quadro 6.11– Momentos de transporte e volumes transportados- Tempo t3	83
Quadro 6.12– Momentos de transporte e volumes transportados- Zona 2	84
Quadro 6.13 – Equação do custo de transporte para caminhão articulado do tipo CAT 730 função da inclinação do caminho a percorrer e do solo a escavar.....	85
Quadro 6.14 – Determinação do custo de transporte com recurso a caminhão articulado do tipo CAT 730.	85
Quadro 6.15 – Custo de transporte com recurso a Buldozer D8 para as distâncias de 300m, 600m e 900m.	85
Quadro 6.16 – Determinação do custo total de transporte	86

1

INTRODUÇÃO

1.1. NOTA INTRODUTÓRIA

As obras rodoviárias envolvem volumes significativos de movimentação de solos entre zonas de escavação e aterro ou transporte para vazadouro. O transporte de terras é uma das tarefas que se encontra inserida no capítulo de terraplenagens a qual inclui os trabalhos de escavação, o carregamento, o transporte e a colocação em camadas de aterro, posteriormente espalhadas e compactadas bem como o transporte a vazadouro. Estes trabalhos envolvem diversos equipamentos pesados, com elevados custos de aquisição e de operação.

O planeamento de uma movimentação de terras envolve várias tomadas de decisão tais como a seleção de equipamentos, a combinação ótima de equipamentos e a determinação dos percursos que permitem obter a menor distância de transporte.

É sobre as variáveis que determinam o *Custo de Transporte* e a determinação da menor *Distância de Transporte* que o presente trabalho se vai debruçar, analisando a adequação do método da teoria de Brückner às exigências atuais. Pretende-se validar a possibilidade de adaptação das diversas condicionantes com que se deparam as obras, à utilização do método de Brückner.

1.2. OBJETIVO DA DISSERTAÇÃO

O estudo da distância de transporte em obras de terraplenagem tem vindo a ser estudado ao longo dos tempos, registando-se ultimamente um decréscimo de publicações que abordem este tema. Na Edição da Revista de Engenharia 1956-1957 – Apontamentos de Estradas – edição da Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, vem descrito o Método da Curva de Brückner, tendo-se mantido o ensino deste método até ao presente.

Aliando o conhecimento académico, adquirido na licenciatura tirada na Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, aos vinte anos de experiência profissional na preparação, no planeamento, na orçamentação e na construção de obras rodoviárias, a autora pretende demonstrar que a aplicação da teoria do método de Brückner continua a ser um eficiente instrumento de planeamento e preparação da movimentação de terras.

O princípio do método de Brückner consiste em construir uma curva cuja ordenada em cada perfil seja, não a área do perfil, mas sim o cubo acumulado correspondente a esse perfil - soma algébrica dos volumes de escavação e aterro. O momento de transporte corresponde à área do segmento respetivo e é obtido pelo produto de um volume de terras pela distância à qual é transportado. O *Custo de Transporte* de um metro cúbico é proporcional à distância de transporte. O transporte será tanto mais

económico quanto menor for o momento de transporte. A distribuição de terras mais económica corresponde à que é obtida pela seleção, na curva de Brückner, da linha de distribuição que nos conduza a menores momentos de transporte.

A preparação e o planeamento de uma terraplenagem deverão incluir todas as variáveis com que se irão deparar na execução dos trabalhos de movimentação de solos. O conhecimento e a classificação da tipologia dos solos, permitem definir, em fase de projeto, as condições ideais de aplicação dos solos provenientes da escavação ou de empréstimo.

A evolução do conhecimento no campo da geotecnia, sobretudo na Mecânica dos Solos, comportamento mecânico e hidráulico dos maciços terrosos, fez evoluir esta área da Engenharia, no que respeita aos materiais a utilizar e às condições de aplicação em aterros. Os condicionalismos geotécnicos dos solos a utilizar em aterro, que se resumem à exclusão da decapagem e do saneamento, dos volumes a considerar na curva, e a questão relativa à aplicação dos materiais resultantes das escavações, em diferentes partes dos aterros consoante as suas capacidades geotécnicas, faz com que seja necessário proceder a uma adaptação para a aplicação do método.

Aos condicionalismos geotécnicos, atrás enunciados, acrescem os condicionalismos ambientais, as barreiras naturais, as barreiras construtivas e a rede viária local que implicam a necessidade de adaptação da teoria pura de Brückner.

Na realidade a terraplenagem não é uma ciência exata já que o rigor que se exige é da ordem de grandeza das centenas de metro cúbico. No entanto, o custo que está envolvido no transporte representa uma parte significativa no custo global, pelo que um bom planeamento e uma otimização da distância representam uma economia direta, situação que não se pode negligenciar nos dias de hoje.

É possível proceder a adaptações da teoria de Brückner de modo a que a aplicação desse valioso auxiliar do planeamento de obra, possa ser adequadamente feita nos tempos de hoje, tendo em conta os diversos condicionalismos. É este propósito que assume a autora do presente trabalho.

1.3. ORGANIZAÇÃO DA DISSERTAÇÃO

A dissertação encontra-se dividida em sete capítulos sendo analisada a viabilidade de adaptação do Método da Teoria de Brückner às condições e exigências geológicas e geotécnicas que atualmente são exigidas nos trabalhos de terraplenagem. Pretende-se, com o recurso a este método, determinar o menor custo de transporte de terras, associado à movimentação dos solos numa obra rodoviária.

A presente dissertação encontra-se estruturada da seguinte forma:

Capítulo 1- Introdução – no atual capítulo, procede-se a uma apresentação dos objetivos da tese e da motivação da autora na análise da adequação do método da Curva de Brückner aos tempos atuais e a todas as condicionantes com que nos deparamos na execução de uma obra viária.

Capítulo 2 – A Teoria do Método da Curva de Brückner- caracteriza-se o método proposto por Brückner assim como algumas das interpretações feitas ao longo dos anos na Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, que consta, em parte, na formação ministrada nas cadeiras de Vias de Comunicação.

Capítulo 3 – Equipamento de Transporte – apresentam-se os equipamentos e a sua adequação em função das distâncias de transporte. Abordam-se todas as variáveis que afetam direta e indiretamente os custos inerentes aos equipamentos de transporte relacionando-as com a distância percorrida.

Capítulo 4 – A Evolução Técnica – procede-se a uma descrição das boas práticas na construção de terraplenagens em obra rodoviárias, caracterizando-se as distintas avaliações Geológicas e Geotécnicas e as suas implicações a nível da seleção e definição de condições de aplicação em determinadas zonas dos aterros. Listam-se as principais condicionantes com que se deparam os Engenheiros na fase de planeamento, preparação e execução das terraplenagens.

Capítulo 5 – Adaptação do Método da Curva de Brückner - apresenta-se uma proposta de adaptação do método de Brückner, mantendo os princípios base da teoria de Brückner, de forma a ultrapassar aquelas que poderiam ser condicionantes à aplicação do método. Valida-se a extensão à teoria de Brückner mantendo o respeito pela teoria de Brückner.

Capítulo 6 – Estudo de um caso usando uma Extensão da Curva de Brückner - efetua-se uma simulação da preparação de um caso real de uma obra viária. Seguem-se os passos propostos nos anteriores capítulos, culminando no cálculo das distâncias mínimas por equipamento de transporte, com o cálculo do custo associado a cada meio de transporte e respetivo custo total.

Capítulo 7 – Conclusão- efetua-se um breve resumo das conclusões obtidas nesta dissertação, além de se proporem passos a desenvolver para que o método não “morra”.

2

A TEORIA DO MÉTODO DA CURVA DE BRÜCKNER

2.1. A ORIGEM

A ideia de elaborar uma peça desenhada, em que, nas abcissas se posicionam, pelas suas distâncias relativas, os perfis transversais desenhados e o objeto de cálculo de áreas e em ordenadas se representam, a uma certa escala, os volumes de solos e rochas acumulados até cada perfil, considerando escavações e aterros com sinais diferentes, é um exercício, em si, interessante. Usar este esquema para otimizar o custo dos transportes das terras, das escavações ou empréstimos para os aterros ou vazadouros é uma ideia inovadora. O autor desta metodologia é hoje injustamente desconhecido, sabe-se apenas que foi engenheiro dos Bavarian State Railways. O que de Brückner se conhece, deve-se a a Culmann que o cita na sua tese de doutoramento e em posteriores publicações, entre as quais se destaca o American Railway Engineering and Maintenance of Way Association. A sua tese intitulada de “Graphical Statics”, publicada em 1868, cita o método da curva de Brückner referindo o ano de 1847 como o da sua primeira divulgação.

2.2. A IMPORTÂNCIA DA CURVA DE BRÜCKNER

A importância deste instrumento de trabalho para o engenheiro rodoviário é proporcional ao peso dos transportes no conjunto dos custos das terraplenagens. Em épocas mais recuadas, nas quais a capacidade e velocidade dos meios de transporte eram pequenas, a relevância de uma metodologia que orientasse o técnico em obra a direcionar corretamente as terras de escavação para os aterros era particularmente elevada. O aumento da capacidade e da velocidade dos transportadores e os baixos preços dos combustíveis tornou menos relevante a menor eficácia na distribuição das terras. Em consequência, o estudo da curva de Brückner foi-se reduzindo, restando muito poucas universidades onde se manteve o conhecimento necessário para o ressuscitar quando as condições envolvidas o exigissem.

Hoje, com o aumento dos custos dos combustíveis, parecem estar criadas as condições para fazer ressurgir, com todo o vigor, a metodologia da curva de Brückner.

Curiosamente, tal não se passa a nível de projeto pois não é obrigatória a apresentação desta peça desenhada nos projetos rodoviários. No entanto, durante a obra tal desenho revela a sua importância, obrigando os técnicos do empreiteiro a executá-la ou a solicitá-la aos projetistas.

Mas existirão razões de peso para o aparente desuso de tão útil instrumento no planeamento de terraplenagens? Claro que, os condicionalismos geotécnicos dos solos a utilizar, criam a necessidade de fazer adaptações, particularmente fáceis, que se resumem à exclusão da decapagem e do saneamento, dos volumes a considerar na curva.

Porém, a questão relativa à aplicação, em diferentes partes dos aterros, dos materiais resultantes das escavações, consoante as suas capacidades geotécnicas, já não será de resolução tão fácil.

Não deixa é de ser possível proceder a adaptações da teoria de Brückner de modo a que a aplicação, desse valioso auxiliar do planeamento de obra, possa ser adequadamente feita nos tempos de hoje. É este propósito que assume a autora do presente trabalho.

2.3. TEORIA DO MÉTODO DA CURVA DE BRÜCKNER

2.3.1. CONSTRUÇÃO DA CURVA

Tratando-se de um gráfico de volumes acumulados ele é facilmente construído a partir de qualquer mapa de terraplenagens. Para mais fácil visionamento, optou-se por representar na figura 2.1 um gráfico de volumes e o correspondente gráfico ou curva de Brückner.

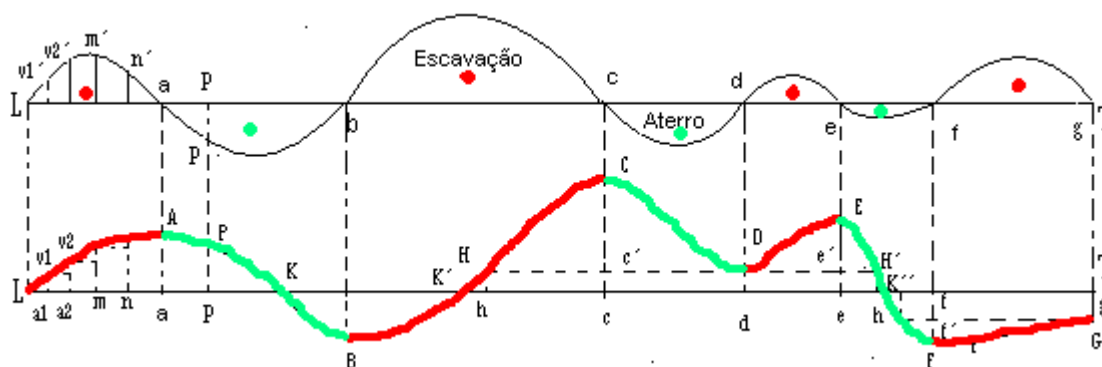


Fig. 2.1 – Curva de Brückner construída a partir da curva de volumes.

Importa referir que, quando os perfis são mistos, isto é, naqueles onde existe *Escavação* (E) e *Aterro* (A), é excluído do gráfico o menor dos dois, assumindo que a compensação desse volume se faz dentro do mesmo perfil. Incluir-se-á então na curva de Brückner a diferença entre os dois volumes: [E-A].

Supondo que se optou por colocar as escavações com sinal positivo e os aterros com sinal negativo, o aspeto da conversão dos dois gráficos é o apresentado na figura 2.2.

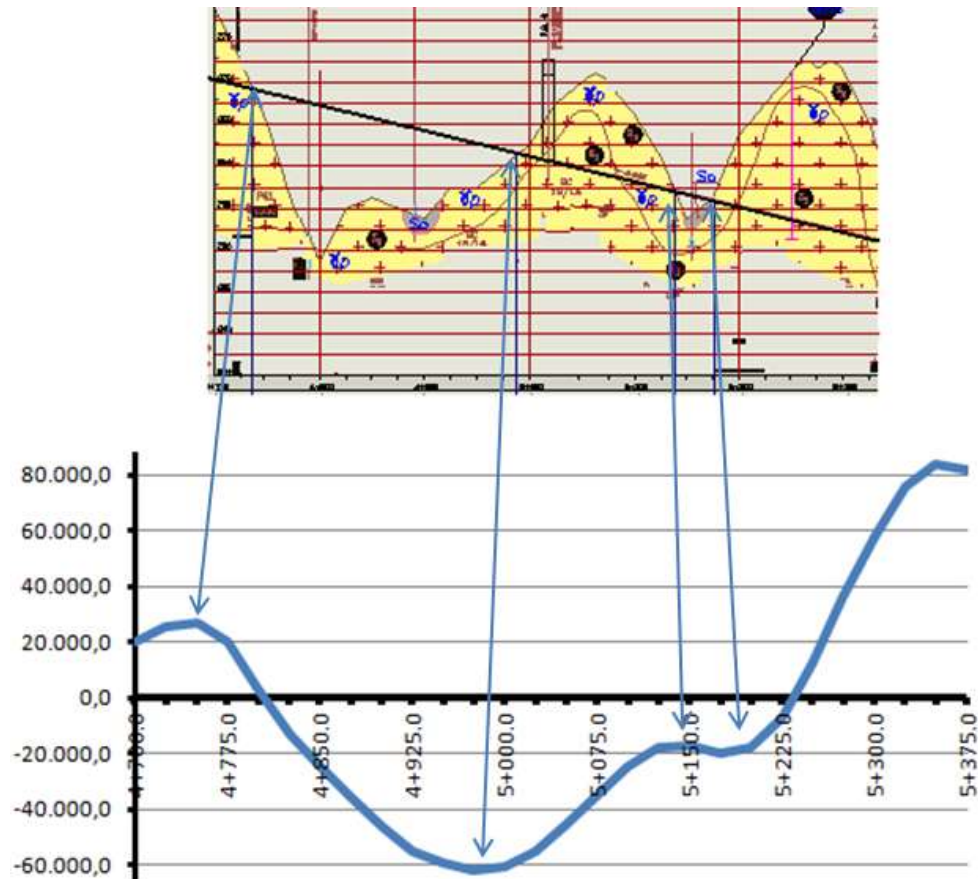


Fig. 2.2 – Perfil longitudinal e gráfico de Brückner correspondente.

Sendo a *Linha de Terra* (LT) o eixo das abscissas, onde se posicionam pelas suas distâncias relativas os diferentes perfis transversais, por razões de significado físico, poder-se-á assimilar a LT na curva dos volumes à rasante da estrada e a curva do gráfico de Brückner ao terreno natural, como se vê na parte superior da Fig. 2.2.

“Esta semelhança facilitará a compreensão do significado físico da curva de Brückner, colocada na parte inferior das figuras 2.1 e 2.2.

O princípio do método de Brückner consiste em construir uma curva cuja ordenada em cada perfil é, não a área do perfil, mas sim o cubo acumulado correspondente a esse perfil-soma algébrica dos volumes de escavação e aterro em todos os entre-perfis anteriores, com a convenção de sinais adotada (escavações – positiva – para cima da LT; aterros – negativa – para baixo da LT).

Assim em **a1**, figura 2.1, marcaremos uma ordenada que representa o cubo v_1 ; em **a2** uma ordenada que representando o cubo acumulado v_1+v_2 ; em **p**, uma ordenada representando o cubo acumulado $v_1+v_2+v_3+v_4+v_5-v_6$, etc. Assim se construirá a curva de Brückner.” [1]

2.3.2. PROPRIEDADES DOS RAMOS ASCENDENTES E DESCENDENTES DA CURVA

*“Comparando a curva de Brückner com a dos volumes, vê-se que ela atinge um primeiro máximo em **a** e igual a **aA**, correspondente ao ponto de passagem **a**, das escavações para os aterros. É fácil de explicar esse máximo: desde a origem até **a** não há senão escavações, logo as ordenadas da curva de*

Brückner vão aumentando mas a partir de **a** há aterros, passando as coordenadas a decrescer pois vão sendo diminuídas desses volumes em aterro. Em **a** houve então passagem na curva de Brückner de ascendente para descendente, logo trata-se de um máximo. Continuando a seguir a curva a partir desse máximo **A**, vê-se que as ordenadas vão diminuindo à medida que, sucessivamente, se vão subtraindo novos volumes em aterro; e elas atingem mesmo valores negativos uma vez que a soma dos volumes de aterro subtraídos seja superior ao total dos volumes de escavação anteriores, isto é, quando o cubo acumulado seja negativo. As ordenadas negativas vão crescendo em valor absoluto enquanto existam aterros, quer dizer, até ao ponto **b** de passagem de aterro para escavação.

A partir desse ponto voltam a predominar escavações, passando então as ordenadas da curva de Brückner a diminuir em valor absoluto, e assim o ponto **B** será um mínimo da curva, que se atinge quando se dá a passagem de aterro para escavação.

Vimos, assim, que os máximos da curva de Brückner correspondem aos pontos de passagem de escavação para aterro, e os mínimos, às passagens de aterro para escavação. Por consequência a natureza dos perfis é a mesma no intervalo compreendido entre um máximo e um mínimo consecutivo, isto é, nos ramos descendentes – aterro; no intervalo entre um mínimo e um máximo, ou seja, nos ramos ascendentes, a natureza dos perfis é também a mesma- escavação.” [1]

A adoção do sinal positivo para os acumulados de Escavação, ao contrário do que tem sido feito nos últimos 40 anos na Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto (FEUP), reside nos seguintes factos:

- A assimilação do gráfico de volumes ao conjunto rasante / terreno natural ser mais consistente com essa opção (Fig.2.2);
- As escavações representarem excessos de terras.

2.3.3. PROPRIEDADES DOS PONTOS COM A MESMA ORDENADA

“A linha de terra determina, na curva de Brückner, segmentos curvilíneos superiores e inferiores. Considerando um desses segmentos, o 1.º por exemplo, compreendido entre perfis **o** e **k**, verifica-se que ele limita um troço de estrada onde existem escavações e aterros, pois a curva que limita o segmento tem um ramo ascendente (escavações) e um ramo descendente (aterros). Além disso, resulta da própria construção da curva que o volume total de escavação é igual ao aterro nesse troço. Com efeito, se a ordenada é nula no ponto **K** é porque o cubo acumulado aí é nulo, isto é, a soma algébrica dos volumes em aterro e escavação é nula, ou ainda, o volume de escavação iguala o volume de aterro. O volume total de escavação no troço é igual ao volume em aterro e é então representado pela ordenada máxima **Aa**. Assim, a linha de terra **LT** limita segmentos cujas cordas representam troços de estrada nos quais as escavações e os aterros se compensam exatamente. Medindo a ordenada máxima, obtém-se o volume total de aterros igual ao volume total de escavações. Esta propriedade não se restringe à **LT** – estende-se a todas as linhas paralelas à **LT** e resulta da própria maneira como é traçada a curva de Brückner.” [1]

É o caso que se verifica entre **h** e **d** onde os acumulados, não sendo zero, são iguais $hH = dD$. Também aqui os volumes de escavação e aterro entre os perfis **h** e **d** são iguais: $cC - hH$ ou $cC - dD$.

2.3.4. PROPRIEDADES DAS ÁREAS DOS SEGMENTOS

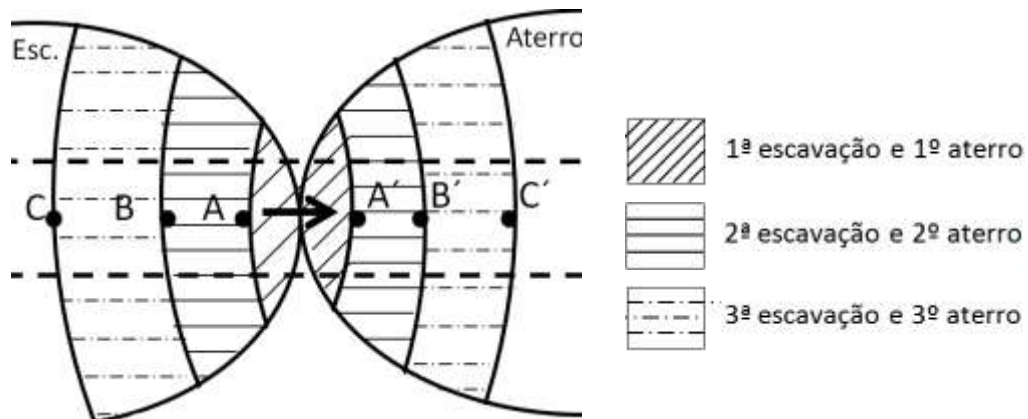


Fig. 2.3 – Movimento de Terras.

Na figura 2.3 são vistas duas zonas (em planta) de escavação e de aterro. A tracejado representa-se a futura plataforma das terraplenagens e pode observar-se a ordem de realização das operações de corte e de compactação. Este trabalho deverá começar pelo ponto de contacto entre a escavação e o aterro porque, executado o corte e compactado o aterro adjacente, ficará construído um caminho para as terras a escavar, entre A e B, e as terras a transportar para o aterro, entre A' e B'.

Assim, a construção da estrada deve irradiar do ponto de contacto escavação/aterro e caminhar para um gradual afastamento que possibilite o caminho para o transporte sobre a linha. Em termos do gráfico (curva) de Brückner isso significa que os volumes deverão ser correspondidos segundo paralelas à LT.

“Consideremos um segmento qualquer da curva de Brückner, (Fig.2.4). Substituamos a linha contínua **KBK'** pela linha em degraus representada.

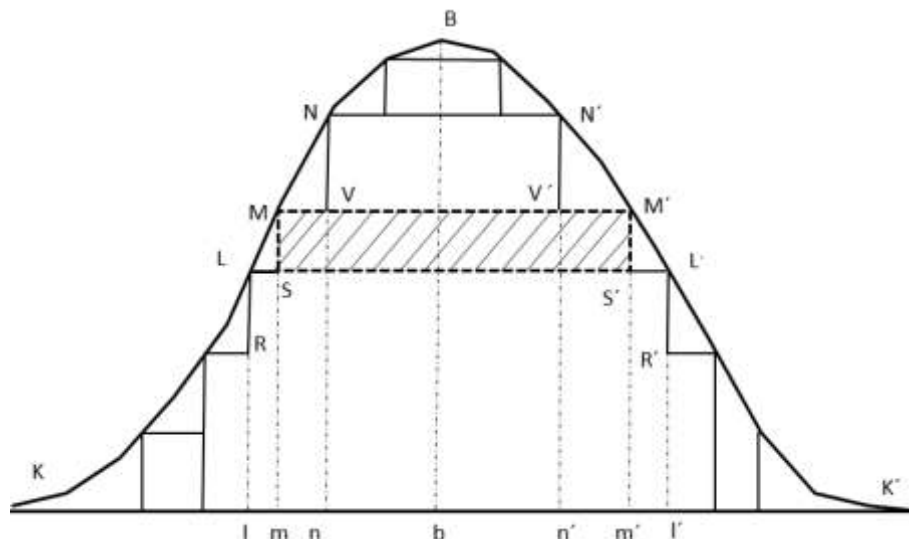


Fig. 2.4 – Áreas dos Segmentos.

Na porção de segmento onde a linha é ascendente – entre os perfis **K** e **b** – as ordenadas sucessivas indicam a sucessiva acumulação das escavações e, por consequência, a altura de cada degrau representará o cubo de escavação em cada entre-perfil, assim:

nN- cubo acumulado em **n**

mM- cubo acumulado em **m**

nN=mM+VN

em que **VN** – cubo entre-perfil **m** e **n**.

A soma total destes degraus – cubo acumulado em **b** – é a ordenada **bB** ". [1]

O transporte do volume **MS** para aterrar, volume igual entre os perfis **k** e **k'**, tem de ser feito paralelamente à LT, caso contrário, não respeitamos o anteriormente explicitado com a Fig. 2.3, ou seja, a possibilidade de criar um caminho de acesso sobre a linha.

"Se o transporte se faz da maneira indicada, então o cubo de escavação **SM** será conduzido para aterro igual a **S'M'** entre os perfis **m'** e **I'**, e o momento desse transporte será o produto de **SM** pela distância entre os centros de gravidade de **LSM** e **L'S'M'** (praticamente $\overline{nn'}$); o momento será então representado pela área indicada na Fig.2.4 a tracejado. Para os outros cubos teríamos retângulos idênticos, de forma que o momento total seria dado, com suficiente aproximação, pela soma daquelas áreas retangulares. Por passagem ao limite – fazendo tender para zero as distâncias entre-perfis – vemos que o momento total de transporte do cubo **Bb** de escavação para aterro é dado pela área do segmento **KBK'**.

Recorda-se que aquele momento é o produto de um volume pela distância à qual esse cubo é transportado. Verifica-se que o orçamento, na parte de terraplenagens, é função daquela área.

A propriedade de o momento de transporte ser dado pela área do segmento respetivo é muito importante, porque nos vai permitir descobrir a linha de distribuição mais vantajosa e, como veremos mais adiante, permite-nos também determinar a distância média de transporte.

Vejamos, então, como utilizar a propriedade das áreas dos segmentos para escolher a linha de distribuição que conduza a uma menor despesa de transporte." [1]

Se considerarmos que o Custo Unitário do Transporte de 1 m³ é linearmente proporcional à distância de transporte, vem:

$$p = Kd_i + K' \quad (2.1.)$$

Onde:

p[€] – Custo Unitário do Transporte de 1 m³ à distância d_i ;

d_i [km]– Distâncias variáveis;

K [€/km] e K' [€] – constantes características do parque de máquinas e produtividade da equipa de terraplenagem.

O Volume (V), representado na Fig. 2.4, corresponde ao somatório dos volumes parciais (v_i), e será:

$$V = \sum v_i$$

Podendo determinar-se o *Custo Total de Transporte* (P) de um volume V, como :

$$P = K \times \sum \text{divi} + K' \times \sum v_i \quad (2.2.)$$

ou:

$$P = K \times M + K' \times V \quad (2.3.)$$

M [m⁴] – *Momento de Transporte* do volume V

“Sendo V uma constante, então (2.3) indica-nos que o preço do transporte é uma função linear do momento de transporte, isto é, o transporte será tanto mais económico quanto menor for o momento de transporte.”

Em resumo, a busca pela distribuição de terras mais económica vai implicar a pesquisa da linha de distribuição que nos conduz aos menores momentos de transporte.

2.3.5. DETERMINAÇÃO DA LINHA DE DISTRIBUIÇÃO MAIS ECONÓMICA

“Quando a curva de Brückner não termina na linha de terra, isto é, quando não há igualdade entre os cubos em escavação e aterro, teremos de entrar em linha de conta com as despesas do transporte do excedente das escavações sobre os aterros (ou dos aterros sobre as escavações) dos locais onde sobram as terras para o depósito (ou do empréstimo para os locais onde faltam as terras). E, no caso de haver falta de terras, teremos ainda, quando a aquisição dessas terras trazer despesas, de entrar com essas despesas no orçamento.” [1]

Sempre que o volume de terras a transportar não exceda o maior volume de escavação ou de aterro, sabemos que o aproveitamento de terras é global.

Foi para estes casos de análise de terraplenagens que a teoria de Brückner foi concebida. Isto não significa que não se possa proceder a extensões desta metodologia de forma a contemplar as situações de aproveitamento parcial que não eram enquadradas na teoria original.

“A determinação da linha de distribuição obedece a três regras:

1. *Se a curva de Brückner termina na linha de terra, a linha de distribuição é a própria linha de terra.*
2. *Se a curva de Brückner não termina na LT, a linha de distribuição não pode sair do intervalo compreendido entre a LT e uma paralela a esta (L1T1) tirada pelo extremo final da curva de Brückner.*
3. *A linha de distribuição será, dentre todas as que obedecerem à 2.ª regra, aquela que dá uma soma das cordas s dos segmentos superiores igual à soma das cordas i dos segmentos inferiores – $\sum s = \sum i$ – ou, no caso de esta igualdade não ser possível, aquela que conduzir à menor desigualdade entre $\sum s$ e $\sum i$.*

Vejamos a explicação destas regras. Para isso consideremos dois casos.

1.º caso - A curva de Brückner termina na linha de terra:

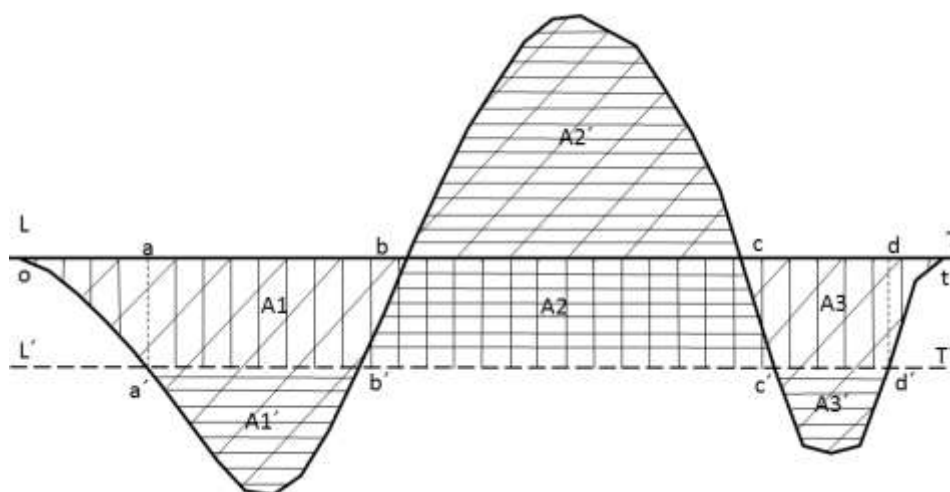


Fig. 2.5 – Caso da Curva de Brückner terminando na LT.

Se a linha de distribuição for a LT, o momento de transporte M é dado por:

$$M = (A1 + A'1) + A2 + (A3 + A'3)$$

Suponhamos que tomávamos para linha de distribuição qualquer linha $L'T'$ paralela à LT. Haveria compensação de terras entre os perfis a e d . O cubo dd' de escavação entre d e t teria de ser transportado para a zona de aterro entre o e a , a fim de atender à regra de não aumentar o volume total de terras a transportar, originando um momento de transporte igual a $A1 + A2 + A3$. O momento total de transporte, se $L'T'$ fosse a linha de distribuição, seria então

$$M = (A1 + A'1) + A2 + A2 + A'2 + (A3 + A'3) = M + 2 \times A2 \geq M$$

Isto é, o momento de transporte é mínimo quando a linha de distribuição é a linha de terra. Logo esta é a linha de distribuição mais económica.

2.º caso - A curva de Brückner termina acima ou abaixo da linha de terra:

Esta curva tem as duas extremidades a níveis diferentes havendo necessidade, por consequência, de fazer um empréstimo ou um depósito. Vamos demonstrar, primeiro, a segunda regra que diz que a linha de distribuição não pode ser exterior ao intervalo compreendido entre a LT e a paralela a esta $L1.T1$, tirada pelo extremo da curva. Consideremos, então, a Fig. 2.6.

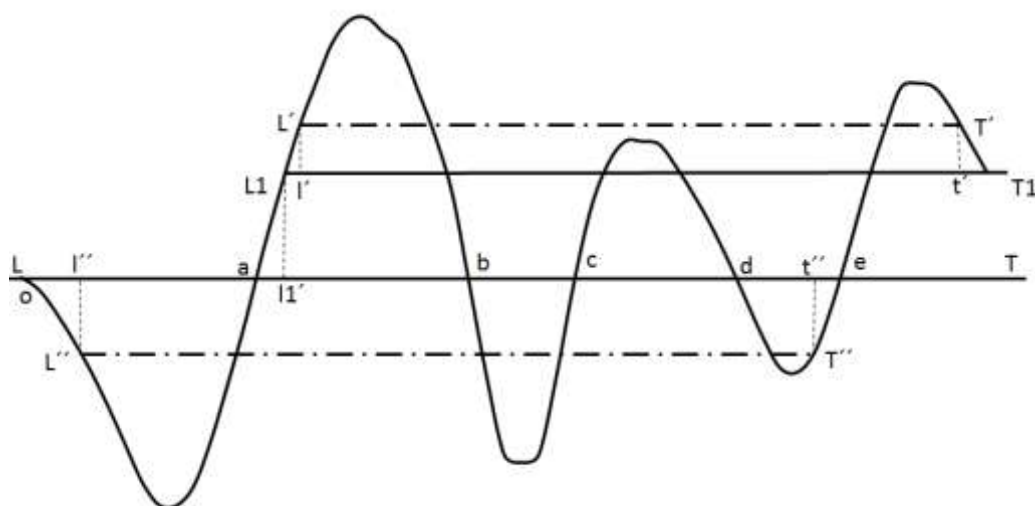


Fig. 2.6 – A linha de distribuição tem que ficar entre LT e L1T1.

Vejamos, primeiro, que a linha de distribuição não pode estar acima da L1T1. Com efeito, suponhamos que tomamos L'T' para linha de distribuição entre os perfis l' e t': como a distribuição de terras existentes antes do perfil li se faria do mesmo modo quer a linha de distribuição fosse L1T1 que fosse L'T', podemos abstrair da curva entre o e l1; então a parte da curva que nos interessa agora é, supondo L1T1 a linha de terra, uma curva que principia e termina na linha de terra, e como vimos em 1.º caso, ela é a linha de distribuição mais económica. Portanto, mesmo partindo da hipótese de que no intervalo entre LT e L1T1 não havia melhor linha de distribuição do que a L1T1, era esta e não qualquer horizontal L'T' acima dela, a linha de distribuição mais económica.

Da mesma forma faremos a demonstração para excluir qualquer linha L''T'' inferior à linha LT: abstraindo da parte da curva entre e e Ti, por razões idênticas às acima indicadas, vemos que a parte da curva que nos resta principia e termina na linha de terra LT- logo qualquer horizontal L'' T'' abaixo da LT é economicamente mais desfavorável do que a LT, e mesmo partindo da hipótese de que no intervalo entre L1T1 e LT não havia linha de distribuição mais favorável do que a LT, era esta a preferida e não qualquer linha L''T''.

A demonstração para o caso da curva de Brückner terminar abaixo da linha de terra seria análoga.

Temos assim demonstrado que a linha de distribuição não pode sair do intervalo entre LT e L1T1: ela poderá coincidir com uma destas duas horizontais extremas ou ser uma paralela intermédia.

Vamos agora, demonstrar a 3.º regra.

Vimos já, ao estudar as propriedades da curva de Brückner que a linha de distribuição deve ser escolhida de forma a originar segmentos cuja área total seja mínima.

Vamos aplicar esta regra à resolução do nosso problema.

Suponhamos, Fig. 7, uma curva de Brückner terminando acima da LT e consideremos L'T' uma linha de distribuição. Vamos ver como varia a superfície total dos segmentos quando se desloca esta linha paralelamente a si mesma.

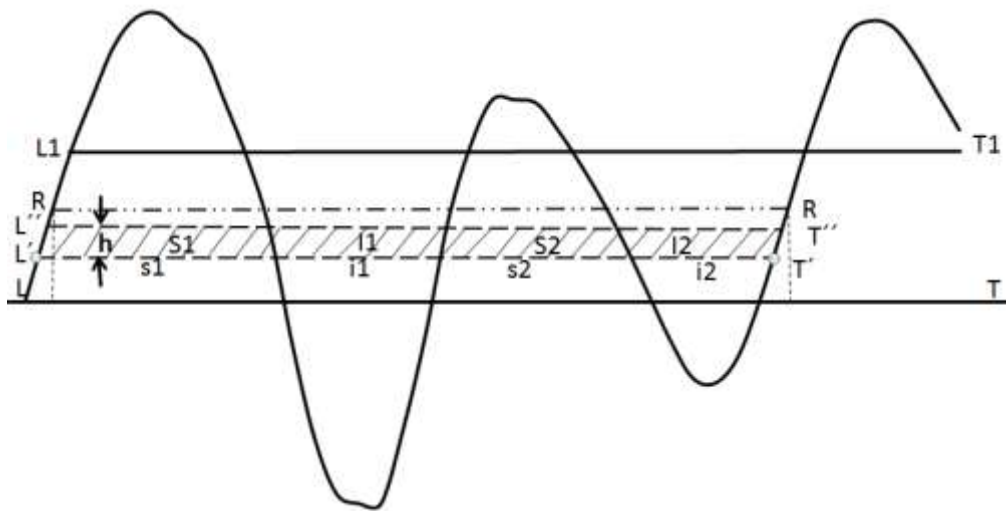


Fig. 2.7- A linha de distribuição é a que faz $\sum s = \sum i$

$$(s1 + s2) > (i1 + i2)$$

logo

$$(S1 + S2) > I1 > I2$$

Suponhamos que $L'T'$ se desloca de uma altura h para $L''T''$, sendo h suficientemente pequena para que possamos considerar a superfície de cada segmento entre as duas linhas como uma superfície retangular. Se o deslocamento se faz para cima, a superfície de todos os segmentos superiores diminui e a dos inferiores aumenta. Essa diminuição e esse aumento são dados, respetivamente, por

$$(s1 + s2)h \quad \text{e} \quad (i1 + i2)h$$

Sendo $s1$ e $s2$ as cordas dos segmentos superiores e $i1$ e $i2$ as cordas dos segmentos inferiores.

Se $(s1 + s2) > (i1 + i2)$ então a superfície total dos segmentos diminui e isto quer dizer que $L''T''$ é uma linha distribuição mais económica que $L'T'$. Verificamos assim que devemos continuar a fazer subir a linha de distribuição enquanto $(s1 + s2) > (i1 + i2)$, porque, verificando-se esta condição, a área total dos segmentos vai diminuindo.

Quando finalmente se atingir a igualdade entre a soma das cordas dos segmentos superiores e a soma dos segmentos inferiores, a linha ocupará a posição RR procurada, quer dizer, a que determina um mínimo para a soma das áreas dos segmentos.

Se, com efeito, se continuasse a deslocar a linha depois de $(s1 + s2) = (i1 + i2)$, teríamos para as novas posições $(i1 + i2) > (s1 + s2)$, portanto

$$(i1 + i2)h > (s1 + s2)h$$

ou seja, a área total dos segmentos passava a aumentar.

Mas a linha RR que origine a igualdade $(s_1 + s_2) = (i_1 + i_2)$ só pode ser tomada como linha de distribuição quando fique compreendida entre LT e $L1T1$, em virtude da 2.ª regra.

Se RR for interior a esse intervalo, então a linha de distribuição é a que origina uma menor desigualdade entre as somas das cordas dos segmentos superiores e dos inferiores pois que, como vimos, a área total dos segmentos diminui sucessivamente conforme se ia caminhando para a igualdade.” [1]

2.3.6. OUTROS CASOS

“Suponhamos que a curva de Brückner termina acima da LT , a linha de distribuição não pode, por exemplo apresentar uma horizontal $R_2R'_2$ inferior à horizontal $R_1R'_1$ que a precede e para o demonstrar basta concluir que $l'R'_2$ é uma linha de distribuição mais económica que o sistema $(R_1R'_1, R_2R'_2)$, Fig. 2.8.

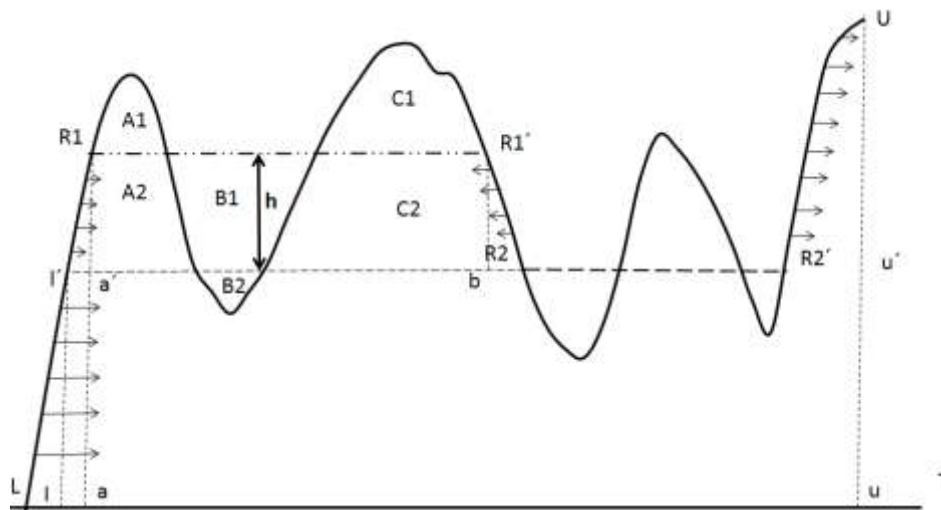


Fig. 2.8 – Linha de distribuição fracionada.

Com efeito, considerando $l'R'_2$ como linha de distribuição, temos o volume $V = \overline{l'l'} + \overline{uU'}$ de escavação a transportar para depósito. Considerando o sistema $(\overline{R1R'_1}, \overline{R2R'_2})$, faz-se o transporte de escavação $\overline{a'R1}$ para o aterro entre b e R_2 : neste caso, porém, havia um aumento de momento de transporte igual a:

$$-A_2 + B_1 - C_2 + (A_2 + B_1 + C_2) = 2B_1$$

O que indicia que realmente o sistema de distribuição $(\overline{R1R'_1}, \overline{R2R'_2})$ é menos económico que a linha única de distribuição $\overline{l'R_2}$.

O mesmo acontece quando a curva de Brückner termina abaixo da LT , fig. 2.9: o sistema de distribuição não pode conter, por exemplo, uma horizontal $\overline{R2R'_2}$ superior à linha $\overline{R1R'_1}$ que a precede.

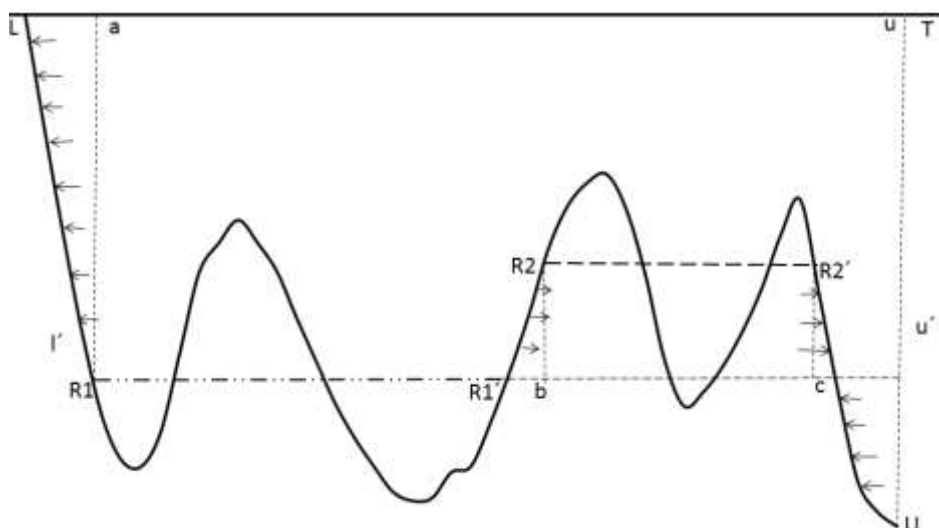


Fig. 2.9 – Linha de distribuição fracionada.

Conclui-se do exposto que as horizontais de distribuição devem dispor-se em degraus ascendentes, quando a curva termina acima da linha de terra e em degraus descendentes, quando termina abaixo da LT.

As horizontais de distribuição parcial devem ainda satisfazer uma condição que vai ser indicada.

Chamando intermédias às horizontais de distribuição no intervalo LT e L1T1 que não coincidem com LT ou L1T1, podemos concluir assim:

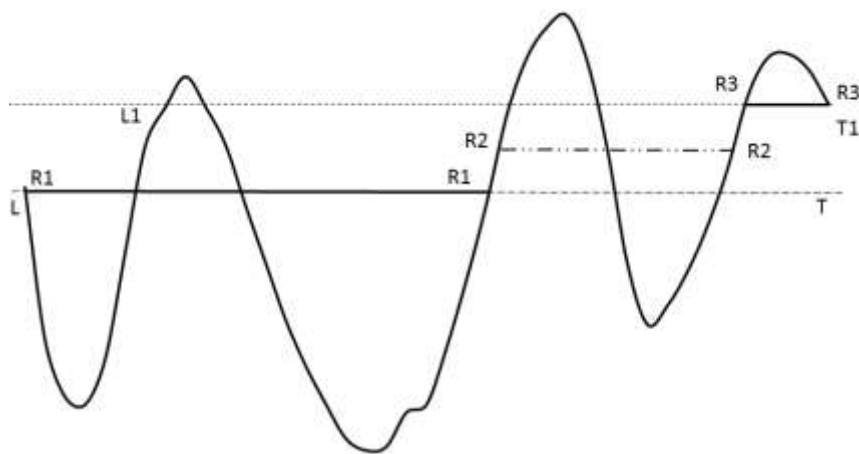


Fig. 2.10 – Degraus (1) – Curva termina acima da LT.

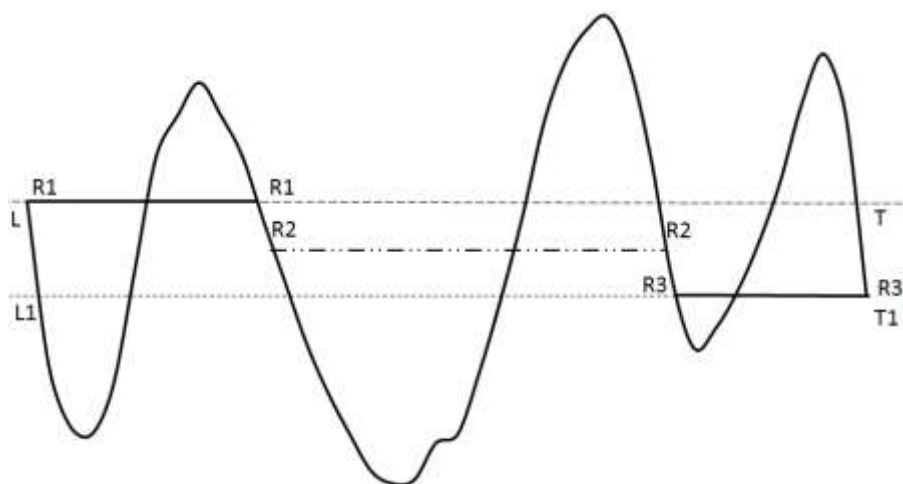


Fig. 2.11 – Degraus(2) – Curva termina abaixo da LT.

Quando a curva de Brückner termina acima da linha de terra, as horizontais intermédias de distribuição parcial devem principiar em ramos ascendentes da curva, atravessando assim um número par de segmentos curvilíneos.

Quando a curva de Brückner termina abaixo da linha de terra, as horizontais intermédias de distribuição parcial devem principiar em ramos descendentes da curva, atravessando de igual modo um número par de segmentos curvilíneos.

Quando uma horizontal de distribuição parcial coincida com a LT, pode principiar num ramo ascendente ou descendente da curva abraçando, conforme os casos, um número par ou ímpar de segmentos.

Quando uma horizontal de distribuição coincida com a L1T1, pode terminar num ramo ascendente ou descendente da curva cortando também, conforme os casos, um número par ou ímpar de segmentos.”
[1]

2.3.7. REGRAS BÁSICAS GERAIS PARA A DETERMINAÇÃO DA LINHA DE DISTRIBUIÇÃO

“Quando os locais de empréstimo ou depósito possam ser considerados em qualquer ponto ao longo da estrada, é vantajoso, sempre que seja possível, substituir a linha de distribuição única por um sistema de linhas de distribuição parciais situadas a níveis diferentes. Essas horizontais, seja qual for o seu número (que pode ser igual a um), devem satisfazer às seguintes regras:

1.^a regra- Nenhuma horizontal de distribuição deve sair do intervalo entre LT e L1T1

2.^a regra- As horizontais intermédias devem determinar, nos segmentos que as cortam, a igualdade

$$\sum s = \sum i$$

Quando às horizontais que coincidem com a LT ou a L1T1, elas podem não satisfazer àquela condição de igualdade; devem então intercetar uma soma de cordas maior nos segmentos que aumentam do que nos segmentos que diminuem, supondo o deslocamento no sentido da outra extremidade da curva.

3.^a regra- As horizontais devem dispor-se a partir da origem da curva, em degraus ascendentes, quando a curva de Brückner termine acima da LT, e em degraus descendentes, quando a curva termine abaixo da LT

4.^a regra- As horizontais intermédias devem principiar em ramos ascendentes da curva, quando esta termina acima da LT, ou em ramos descendentes, quando ela termina abaixo da curva da LT. Essas horizontais intercetam, assim, um número par de segmentos. Se uma horizontal coincide com a LT pode principiar num ramo ascendente ou descendente da curva, abraçando, conforme os casos, um número par ou ímpar de segmentos.

Se uma horizontal coincide com a LiTi pode terminar num ramo ascendente ou descendente da curva, abraçando, conforme os casos um número par ou ímpar de segmentos.

5.^a regra- Se as horizontais são traçadas a partir da origem da curva devem estar tão baixas quanto possível quando a curva de Brückner termina acima da LT, e o mais altas possível se a curva termina abaixo da LT.

6.^a regra- O sistema das horizontais deve ser irreduzível isto é, não deve poder ser substituído por outro que conduza a um momento total menor.” [1]

2.3.8. CASOS PRÁTICOS

2.3.8.1. Generalidades

A regra originária consistia no uso de locais arbitrários de empréstimos e depósitos dado que:

- as exigências da qualidade geotécnica dos empréstimos não existiam, o que permitia a utilização dos solos situados muito próximos dos locais onde estavam em falta;
- a muito maior rarefação de construções ou terrenos valiosos permitia o despejo em vazadouro em locais próximos dos sítios onde os solos sobravam.

Em resumo, os momentos de transporte de empréstimo ou para vazadouro eram relativamente pequenos. Tudo isto se alterou radicalmente, e hoje em dia, é inaceitável o uso de locais de empréstimo ou depósito que não estejam pré-fixados. É habitual designar estes locais por fixos.

2.3.8.2. Um só local Fixo

➔ No final do traçado

A Fig. 12 evidencia um só local fixo situado a jusante do último P.K. da estrada.

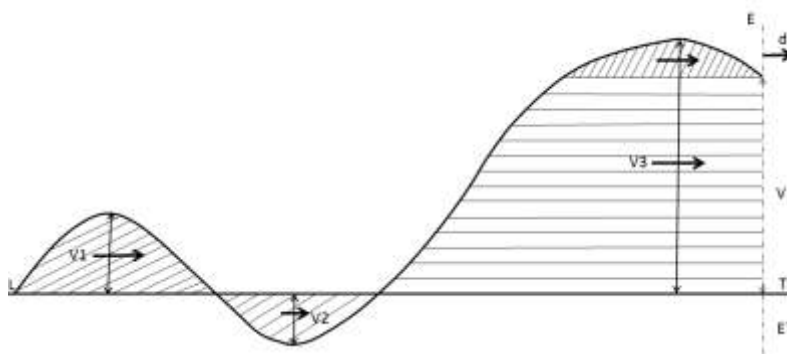


Fig. 2.12 – Um local fixo no final do traçado.

A curva de Brückner fecha-se sobre a LT e neste caso, a melhor linha de distribuição, como sabemos é a própria LT.

Nesta figura e nas seguintes tracejam-se de maneira diferente as áreas (momentos de transporte) compensados: obliquamente os segmentos em que se produz compensação à custa das próprias terras saídas da linha; e, em tracejado horizontal, os segmentos em que a compensação se faz por recurso às terras envolvendo o aproveitamento do local fixo.

Neste caso o volume movimento seria: $v_1 + v_2 + v_3$

O momento de transporte corresponde às áreas tracejadas a que se deverá adicionar o momento de transporte para depósito no seu percurso exterior à linha: $v \times d$

➔ No início do traçado

Se o local fixo estiver na origem do traçado (Fig. 2.13), a curva de Brückner fecha-se sobre L1T1 e, neste caso, a melhor linha de distribuição será L1T1 pois ela tem funcionamento análogo à própria LT, por ser através dela que se obtém a compensação de terras.

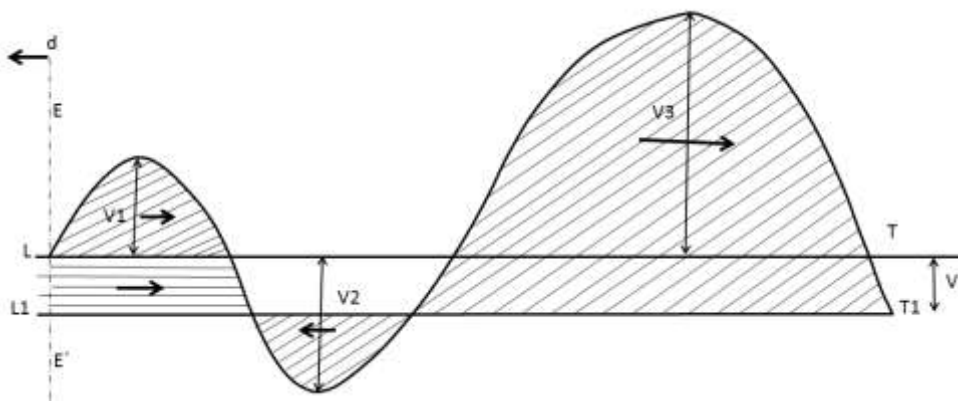


Fig.2.13 – Um só local no início do traçado.

Volume movimentado: $v_1 + (v_2 - v) + (v_3 + v) + v = v_1 + v_2 + v_3 + v$

Momento de transporte: [área tracejada] + $v \times d$

➔ Intercetando o traçado

Neste caso a linha de distribuição tem dois patamares:

- à esquerda do local de saída das terras: LT
- à direita do local de saída das terras: L1T1

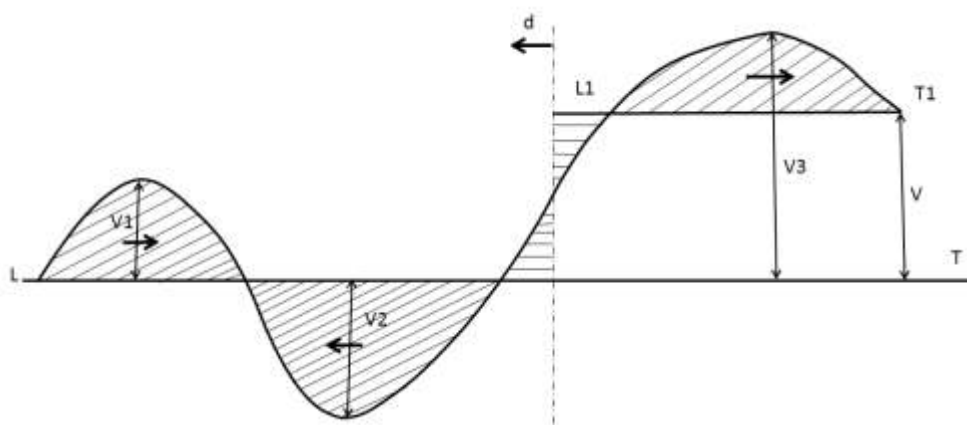


Fig. 2.14 – Um só local intercetando o traçado.

Volume movimentado: $v_1 + v_2 + v_3 - v + v = v_1 + v_2 + v_3$

Momento de transporte: [área tracejada] + $v \times d$

2.3.8.3. Dois locais fixos

➔ Com locais fixos a iguais distâncias

No presente caso deverá procurar-se a posição da linha de distribuição RR' para a qual $\sum s = \sum i$ (Fig. 15).

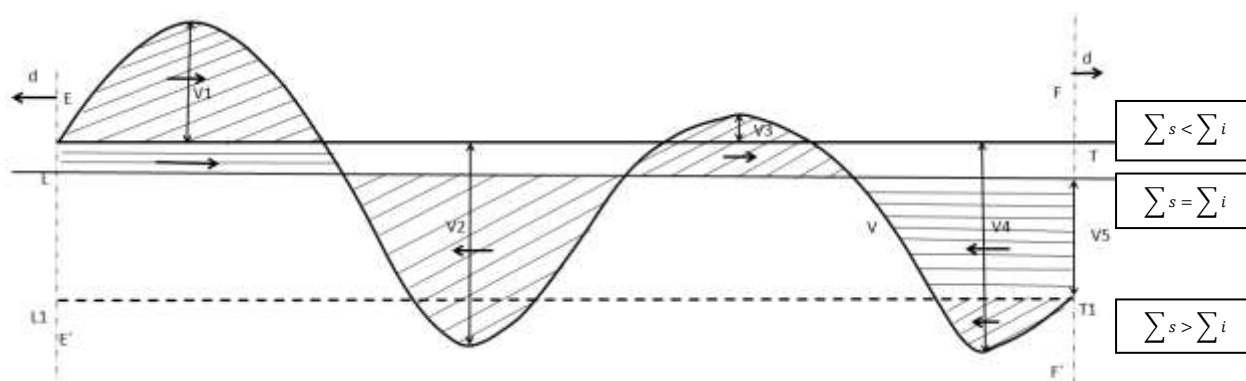


Fig. 2.15 – Dois locais no início e final do traçado.

Se não existir qualquer posição intermédia para a qual $\sum s = \sum i$, a linha de distribuição coincidiria com a LT ou $L1T1$, conforme regra já anteriormente enunciada, o que equivaleria a abandonar um dos locais fixos, mantendo o outro. Assim, supondo o caso da Fig. 2.15, com dois locais fixos, EE' e FF' , nos extremos do traçado, a linha de distribuição deverá coincidir com a RR' , pois para esta linha $\sum s = \sum i$.

Esta solução pressupõe que os locais fixos se encontrem a igual distância do princípio e do fim do traçado.

Volume movimentado: $v_1 + (v_2 - v) + (v_3 + v) + (v_4 - v_5) + v + (v_5 - v) = v_1 + v_2 + v_3 + v_4$

Momento de transporte: [área tracejada] + $v \times d + (v_5 - v) \times d = \text{[área tracejada]} + v_5 \times d_1$

Com locais fixos a distâncias diferentes

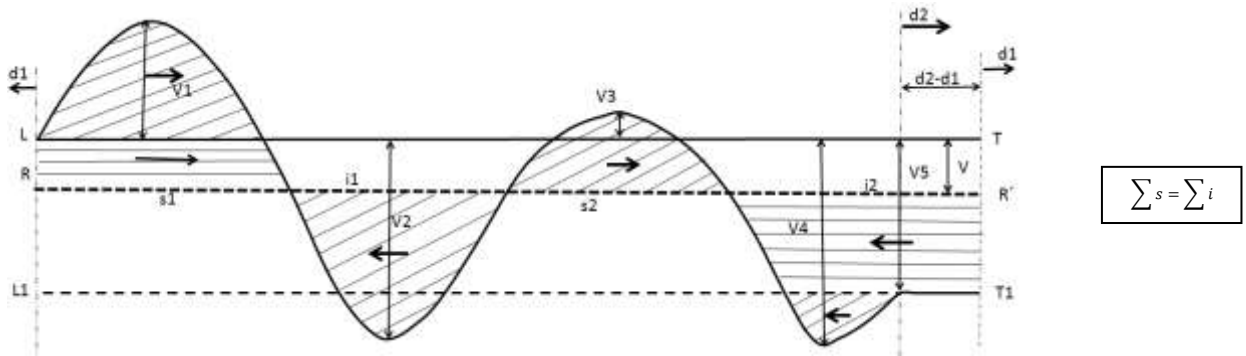


Fig.2.16 – Dois locais no início e final do traçado a distâncias diferentes.

Este é um caso típico em que já existe uma extensão da teoria de Brückner. Nele, a curva é “enganada”, prolongando-a com ordenada constante do lado em que a distância ao empréstimo ou depósito é maior, e por $d_2 - d_1$. Com esta translação do local do empréstimo retoma-se o caso anterior com ambos os locais à distância d_1 .

Volume movimentado: $v_1 + (v_2 - v) + (v_3 + v) + (v_4 - v_5) + v + (v_5 - v) = v_1 + v_2 + v_3 + v_4$

Momento de transporte: [área tracejada] + $v \times d_1 + (v_5 - v) \times d_1 = \text{[área tracejada]} + v_5 \times d_1$

➔ Dois locais intercetando o traçado

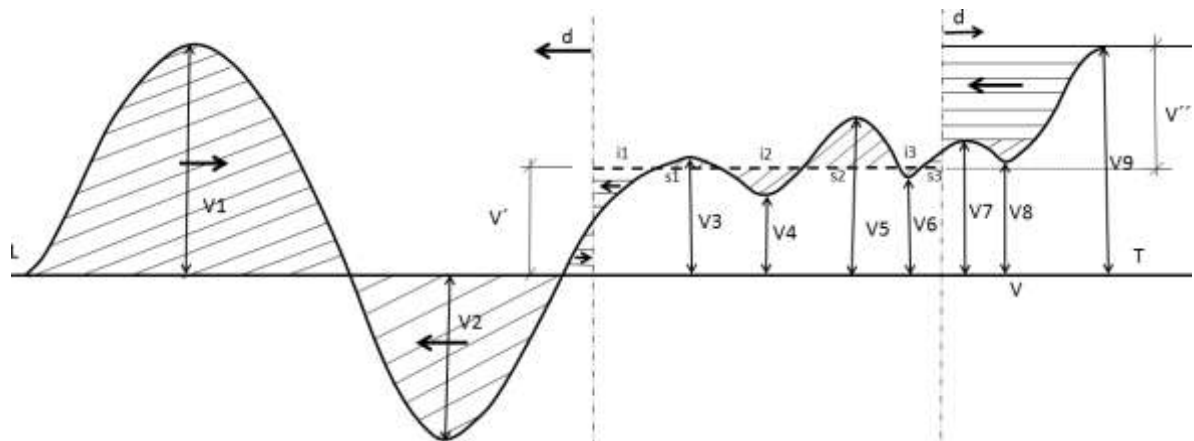


Fig. 2.17 – Dois locais intercetando o traçado.

A aplicação das regras práticas permite indicar qual a linha de distribuição mais económica.

À esquerda do 1.º local é a LT.

Entre o 1.º e 2.º local é a linha que promove $\sum s = \sum i$

À direita do 2.º local é a L1T1.

Volume movimentado: $v_1 + v_2 + v_3 - v_4 + (v_5 - v') + (v' - v_6) + v' + (v_7 - v_8) + v'' = v_1 + v_2 + v_3 - v_4 + v' + v_5 - v_6 + v' + v_7 - v_8 + v''$

com $v' + v'' = v_9$

Momento de transporte: $[\text{área tracejada}] + v' \times d + v'' \times d = [\text{área tracejada}] + v_9 \times d$

Se os dois locais estiverem a distâncias diferentes prolongar-se-á o 1.º o 2.º ou o 3.º troço da curva para se conseguir o efeito descrito para dois locais no início e final do traçado.

2.4. DETERMINAÇÃO DA DISTÂNCIA MÉDIA DE TRANSPORTE

Uma vez encontrada a linha de distribuição, resta determinar as distâncias médias de transporte para cada meio de transporte em cada secção onde as escavações compensam os aterros. A localização destas secções fica determinada pelos perfis correspondentes às extremidades das cordas dos segmentos.

A *Distância Média de Transporte* determina-se, a partir do momento de transporte:

$$D = \frac{M}{V} = \frac{\sum Mi}{\sum Vi}$$

em que:

$M = \sum Mi$ é a soma dos momentos parciais de transporte;

$V = \sum Vi$ é o cubo total a transportar por cada meio de transporte.

Consideremos um segmento da curva de Brückner, Fig. 2.18, onde se representa o transporte de terras por dois meios: *buldozer* e a *scraper*. Admitamos que o percurso é económico até aos 90 metros com *buldozer* e até aos 900 metros com o *scraper*.

A corda máxima ac <900 metros.

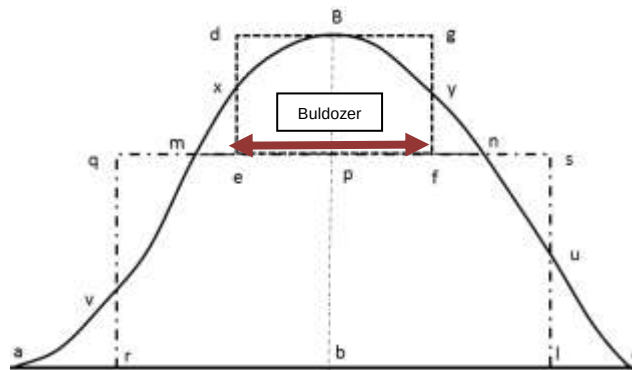


Fig. 2.18 – Determinação da distância média de transporte.

Inscrevamos no segmento aBc uma linha paralela à corda ac , cujo comprimento represente o percurso máximo económico para o transporte a *buldozer* – 90 metros; limitamos assim um segmento mBn no qual o transporte das terras é todo feito a *buldozer*, sendo o momento de transporte dado pela área limitada pelo segmento mBn e o volume de terras a transportar pela ordenada máxima pB desse segmento. Se considerarmos um retângulo cuja área seja o momento de transporte e cuja altura seja o cubo a transportar, a base desse retângulo dá-nos a distância média de transporte. É desta maneira que determinamos as distâncias médias de transporte.

Na Fig. 2.18, uma vez traçada a corda mn , desenhamos o retângulo $edgf$ de altura pB igual ao cubo a transportar e cuja área é igual à área de mBn . O retângulo dispõe-se no desenho de modo a que, à simples vista, a área mxe seja igual à área dxB , e a área gfn igual à área gBy . A base ef do retângulo dá-nos a distância média de transporte a *buldozer* para o segmento curvilíneo considerado.

Para determinar a distância média de transporte a *scraper* procedia-se do mesmo modo: construía-se um retângulo $rqls$, de altura bp , cuja área fosse igual à área $amnc$.

A base rl do retângulo dá-nos a distância média do transporte a *scraper* para o segmento curvilíneo considerado.

Se houvesse transporte por outros meios procedia-se de forma análoga.

3

EQUIPAMENTO DE TRANSPORTE

3.1. INTRODUÇÃO

No orçamento de uma empreitada viária, o custo relacionado com a movimentação de terras poderá representar entre 15 a 25% do seu valor global. O custo do transporte tem, por isso, um peso significativo no custo global.

A seleção do equipamento ou equipamentos de transporte adequados à movimentação de terras é uma das variáveis que se coloca na fase de planeamento e preparação da empreitada e que condiciona os rendimentos e custos envolvidos na operação. Torna-se indispensável ter o conhecimento das características intrínsecas do próprio equipamento com relevância para a movimentação de terras, tais como, a capacidade rasa e coroadas, a velocidade máxima carregado, a potência e o ciclo da operação. Estas características podem ser obtidas, na maioria das vezes, junto das marcas dos equipamentos ou nos departamentos de equipamentos das próprias empresas. Não nos iremos debruçar sobre a forma como são obtidos estes fatores pelo que consideraremos fidedignos os valores fornecidos pelos fabricantes.

Já no que respeita às características extrínsecas dos equipamentos de transporte, deve ser feito um estudo aprofundado na fase de preparação da obra, atendendo às condições da própria obra, avaliando o tipo de maciço a escavar, as dimensões do material a transportar, a distância e o trajeto que será utilizado. Estes dados são indispensáveis para selecionar o equipamento que melhor se adequa ao transporte pretendido.

É ainda relevante ter em conta a tipologia e as características dos meios mecânicos de escavação. O processo de preparação e de planeamento deve considerar a interconexão entre os equipamentos de escavação e o equipamento de transporte.

3.2. CUSTO DE TRANSPORTE

3.2.1. GENERALIDADES

Os custos dos equipamentos são normalmente custos horários podendo ter uma parcela fixa mensal ou ter dois valores horários: um para o equipamento a trabalhar e outro para o equipamento parado. O valor mínimo mensal ou valor hora parado incorpora os custos de propriedade do equipamento

correspondente ao custo do capital, a respetiva amortização para esse tipo de equipamento, os juros do capital investido, os seguros e os vários impostos. O custo horário variável de operação inclui o combustível, outros consumíveis e despesas de manutenção e reparação, tais como, a assistência na frente de obra e as reparações em oficina.

Considerar-se-ão, neste trabalho, os custos hora dos equipamentos como constantes, dados pelo mercado, nos casos de recurso ao aluguer, ou pelo departamento de equipamentos, no caso de equipamento da própria empresa que irá desenvolver os trabalhos. Neste valor constante admite-se uma razoável distribuição de tempo entre o equipamento parado e o equipamento em operação.

Importa assim determinar os tempos por ciclo de transporte, tanto da linha para o aterro ou vazadouro como dos locais de empréstimo para o aterro.

O tempo gasto em cada ciclo está diretamente relacionado com a distância que os meios de transporte têm que percorrer mas depende também de outros fatores relacionados com as características do próprio equipamento e da própria obra.

Para determinação da produção em obra podemos seguir o método de estudo do tempo. Deve estudar-se o número de viagens que o equipamento efetua numa hora, determinando assim o tempo de ciclo de cada equipamento de transporte.

Analisar-se-ão, de seguida, os fatores atrás referidos por serem os que mais influencia têm nos custos de transporte.

3.2.2. TIPOS DE MACIÇO A ESCAVAR

3.2.2.1. Preâmbulo

As características geológicas e geotécnicas do maciço a escavar irão permitir selecionar o tipo de meios mecânicos que melhor se adaptam ao volume de terras a transformar e às características da obra. Esta seleção passa pela definição dos meios de escavação, que podem ser apenas mecânicos como tratores ou escavadoras giratórias, ou pela necessidade do recurso a explosivos para o desmonte dos maciços rochosos. O desmonte por ferramenta de corte – *ripper*, pode ser a solução indicada, sempre que os explosivos forem excessivos e os meios mecânicos mais clássicos não conseguirem executar a operação.

A opção por determinados equipamentos de transporte deverá estar diretamente relacionada com as características e a dimensão do material escavado.

3.2.2.2. Empolamento

O terreno natural encontra-se num certo estado de compactação, proveniente do seu processo de formação, mas sofre uma alteração com a escavação, originando empolamento. A expansão volumétrica que se regista quando se escava um terreno natural é um fenómeno característico do próprio solo.

Após a escavação, o solo assume um *volume solto* (V_s) maior do que aquele em que se encontrava no seu estado natural, *volume natural* (V_n) e, conseqüentemente, uma *massa específica solta* (γ_s), correspondente ao material solto, obviamente menor do que a *massa específica natural* (γ_n).

Designando o *Fator de Empolamento* por FE, este consistirá na razão entre a *massa específica solta* e a *massa específica natural* que, conseqüentemente, será menor que a unidade.

$$FE = \frac{\gamma_s}{\gamma_n} \leq 1 \quad (3.1)$$

Pela definição da *massa específica*, γ_s e γ_n podem relacionar-se com os respectivos volumes da forma que se segue, sendo m a massa do solo:

$$\gamma_s = \frac{m}{V_s} \quad (3.2)$$

$$\gamma_n = \frac{m}{V_n} \quad (3.3)$$

e, então:

$$FE = \frac{\left(\frac{m}{V_s}\right)}{\left(\frac{m}{V_n}\right)} = \frac{V_n}{V_s} \quad (3.4)$$

$$\% \text{ empolamento} = \left(\left(\frac{1}{FE} \right) - 1 \right) \times 100 \quad (3.5)$$

ou, tomando 3.4 em consideração:

$$\% \text{ empolamento} = \left(\frac{V_s - V_n}{V_n} \right) \times 100 \quad (3.6)$$

No cálculo do volume de terras a transportar deve ser tido em conta a percentagem de empolamento, isto é, a quantidade relativa de *volume solto*.

As percentagens de empolamento a considerar, atendendo ao tipo de solo a escavar ou a transportar, deverão ser as apresentadas no quadro seguinte:

Quadro 3.1 – Percentagem de empolamento

Tipo de solo a escavar/transportar	% empolamento	Fator de empolamento
Areia	0%	1
Terra vegetal	10% a 17%	0.9 a 0.85
Terra argilosa	25%	0.8
Argila ou rochas bem fragmentada	33%	0.75
Rochas pouco fragmentada	40%	0.71

Atendendo aos meios atualmente disponíveis para espalhamento e compactação em aterro iremos considerar, de uma forma simplista, que um metro cúbico de aterro será igual a um metro cúbico a

escavar. Assim, no traçado da curva de Brückner não deve ser tido em conta qualquer empolamento nos volumes, isto é, deve-se considerar que o empolamento fica anulado pela compactação.

3.2.3. TIPO DE EQUIPAMENTO DE CARGA

A seleção do equipamento, que irá proceder à escavação e à carga ou apenas à carga, dependerá, entre outros fatores, do tipo de material a carregar, dos volumes e dos equipamentos disponíveis.

Selecionado o equipamento de carga deve-se avaliar se o meio de escavação satisfaz as necessidades dos meios de transporte e verificar o seu redimensionamento. Assim, certificamo-nos se o meio de transporte está sub ou sobre dimensionado.

Para determinação do *Custo de Transporte* é fundamental ter conhecimento do tempo que o equipamento de carga demorará a completar um ciclo de carga, por cada tipo de meio de transporte.

3.2.4. CAMINHO A PERCORRER

Na fase de preparação de obra deverão ser corretamente avaliadas as condicionantes topográficas, hidrológicas ou de posse que possam obrigar a que sejam feitos trajetos fora da linha de obra.

Caso seja necessário percorrer estradas municipais ou nacionais, os equipamentos de transporte, nesses percursos, ficam condicionados a camiões de estrada. Por isso, deverá ser feito o levantamento das vias a percorrer, atendendo, nomeadamente, à largura e ao traçado em planta, com vista à definição da dimensão máxima dos camiões que podem circular nessas vias.



Fig.3.1- Vários tipos de equipamentos de transporte, camiões de estrada.

Caso seja possível a circulação ao longo da linha, deverá ser avaliado que tipo de rampas de circulação terão de ser disponibilizadas durante a obra e quais as suas previsíveis inclinações.



Fig. 3.2- Vários tipos de meios de transporte ao longo da linha, respetivamente: Camião articulado, *Dumper*, *Scraper*, Trator com lâmina.

Em função da tipologia do meio de transporte selecionado, do trajeto que aquele irá percorrer e da velocidade média do carregado e do descarregado, pode determinar-se qual o tempo médio estimado para o percurso.

3.2.5- SELEÇÃO DE EQUIPAMENTO DE TRANSPORTE.

A seleção do equipamento de transporte está diretamente relacionada com as características do próprio equipamento, com o volume e o tipo de material a transportar, com a possibilidade de escavação e do transporte direto, com o percurso a efetuar dentro da linha ou sobre estradas nacionais ou municipais e com a distância de transporte.

Na figura seguinte apresentam-se as distâncias consideradas economicamente aconselháveis para diferentes equipamentos de transporte:

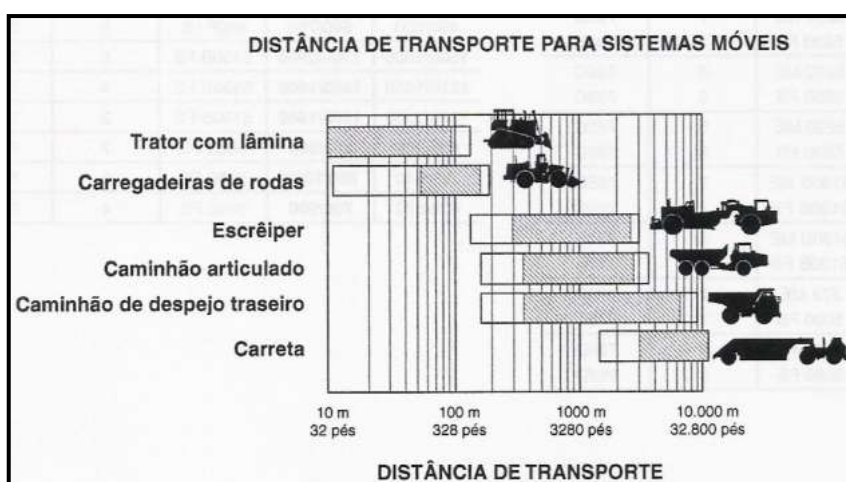


Fig. 3.3- Distância mais económica de transporte por tipo de meio (Fonte: Manual de Produção CATERPILLAR – edição 37)

Como se pode concluir da análise da Fig. 3.3 a distância aconselhável para transporte com trator com lâmina, *Bulldozer*, situa-se entre os 10 e os 90 metros já para o transporte efetuado com *Scraper* e *motorscraper* a distância aconselhável anda entre os 150 metros e os 1500 metros, no caso do camião articulado entre os 300 e os 3000 metros e o *Dumper* até aos 6500 metros. O camião de estrada basculante, não se encontra representado na Fig. 3.3, e não apresenta qualquer restrição respeitante à distância de transporte.

3.2.6. EFICIÊNCIA DO TRABALHO

Seria irrealista considerar que, em cada hora, se produz durante os 60 minutos de forma contínua. Isto quereria dizer que não se estaria a ter em conta uma série de fatores que ocorrem ao longo da execução de determinado trabalho e que poderão provocar paragens.

Avaliadas as condições em que vão ser executadas as operações de carga e de transporte e em função do histórico da empresa devem ser estimadas as perdas de rendimento expectáveis. Podemos

considerar como valores base que, numa operação efetuada durante o período diurno existem 50 minutos úteis em cada hora enquanto que, em trabalho noturno, esse valor corresponde a 45 minutos por hora.

Quadro 3.2 – Fatores de eficiência.

Operação	Hora de trabalho	Fator de eficiência
Diurna	50 min/h	0,83
Noturna	45 min/h	0,75

Se assim se entender, pelas características particulares da empreitada, tais como, condições atmosféricas adversas ou revisões dos equipamentos, poderá ser decidido afetar a hora bruta de outro fator de eficiência.

3.2.7. DISTÂNCIA A PERCORRER

As distâncias a percorrer, os materiais a transportar, os equipamentos disponíveis e os caminhos escolhidos irão permitir selecionar o equipamento de transporte que melhor se adapta ao custo mais baixo.

O *Custo de Transporte* pode ser obtido, de uma forma simples, através da seguinte fórmula:

$$\text{Custo Transporte} = CE \text{ variável} \times \text{Distância} + CE \text{ fixo} \quad (3.7)$$

Em que:

- No *Custo Variável do Equipamento (CE variável)* são considerados os consumíveis dos equipamentos de transporte, tais como, combustíveis, óleos, pneus, entre outros;
- O *Custo Fixo do Equipamento (CE fixo)* é composto por todos os custos fixos associados ao equipamento de transporte, tais como, o condutor, a amortização do equipamento, o seguro, entre outros.

Como a distância a percorrer afeta a parcela relativa ao *Custo Variável do Equipamento*, o *Custo de Transporte* será tanto menor quanto menor for a distância a percorrer pelos meios de transporte entre local de carga e descarga.

3.3. MÉTODO DE ESTUDO DO TEMPO

Com o recurso aos inúmeros programas de orçamento existentes atualmente no mercado ou a folhas de cálculo, será possível estabelecer processos de cálculo que nos facultem custos das operações para diferentes circunstâncias servindo de um ótimo auxiliar a uma decisão sobre os meios a utilizar.

Para determinação da produção em obra podemos seguir o método de estudo do tempo. Deve calcular-se o número de viagens que o equipamento efetua numa hora. Para tal deve-se considerar o tempo de ciclo do equipamento.

Para cada equipamento de transporte associado a determinado meio de carga deverão ser estimado os tempos de:

- A. Posicionamento para carga;
- B. Tempo de espera;
- C. Tempo de carga (determinado em função da capacidade de carga do equipamento de carga e da capacidade do meio de transporte);
- D. Posicionamento e descarga.

Estes tempos não dependem da distância percorrida pelo que podem ser considerados Tempo Fixos, sendo assim determinados:

$$\text{Tempo Fixo do ciclo} = A + B + C + D \quad (3.8)$$

A determinação do tempo de transporte está diretamente ligado às características do veículo e à distância a percorrer. Com a informação disponibilizada sobre as características dos equipamentos, pelos fornecedores ou pelo histórico das empresas, poderemos calcular a velocidade média a considerar para os trajetos, carregado e vazio. Esse tempo deverá considerar:

- E. Transporte carregado;
- F. Retorno vazio.

$$\text{Tempo Variável do ciclo} = E + F \quad (3.9)$$

Alguns equipamentos difundem ábacos, como no caso da CATERPILLAR, em que se pode determinar o tempo de percurso carregado e descarregado em função do ângulo de inclinação das rampas de acesso.

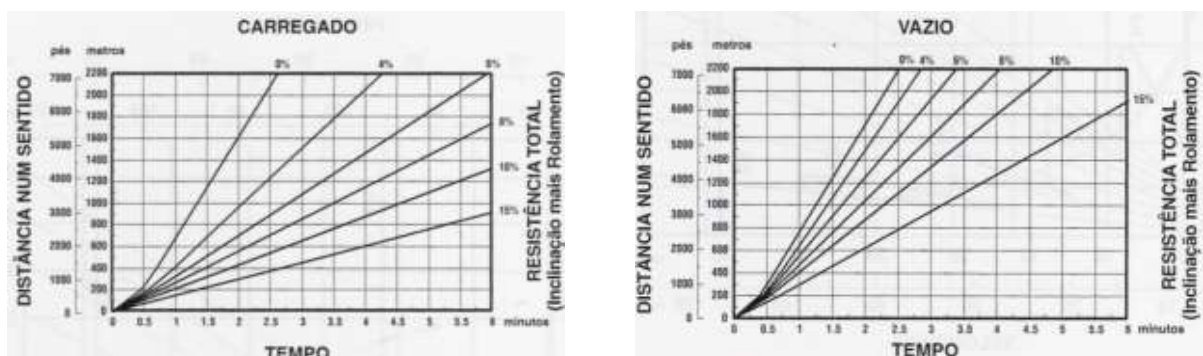


Fig. 3.4- Ábacos: tempo de percurso carregado e vazio para Camião articulado do tipo CAT 730 (Fonte: Manual de Produção CATERPILLAR – edição 37)

O somatório do *Tempo Fixo do Ciclo* com o *Tempo Variável do Ciclo* (função da distância de transporte) permite determinar o *Tempo Total de um Ciclo* (TTC). Como veremos de seguida este valor vai posteriormente permitir determinar o número de ciclos por hora.

3.4. DETERMINAÇÃO DO CUSTO DE TRANSPORTE

3.4.1- NÚMERO TOTAL DE CICLOS POR HORA

Conforme acabamos de descrever, no ponto 3.3, é possível determinar o *Tempo Total de um Ciclo* (TTC) quando se estima o transporte a uma determinada distância:

$$\text{Tempo Total de um Ciclo} = \text{Tempo Fixo do Ciclo} + \text{Tempo Variável do Ciclo}$$

isto é

$$TTC = TFC + TVC \quad (3.10)$$

O *Número Total de Ciclos* (NTC) por hora determina-se da seguinte forma:

$$NTC = \frac{60}{TTC} \quad (3.11)$$

3.4.2- VOLUME MÉDIO TRANSPORTADO POR CICLO DE TRANSPORTE

Todo o volume de movimentação de terras é medido *in situ*, no entanto, no processo de transporte, não se pode desprezar o efeito do empolamento devendo ser tido em conta na avaliação do volume médio transportado por ciclo.

Como já foi referido anteriormente, cada equipamento de transporte tem uma capacidade de carga coroadada. Esta capacidade de carga é para o material solto, devendo assim proceder-se à sua conversão para o equivalente em material em bancada.

$$\text{Volume médio transportado por ciclo} = \text{capacidade carga coroadada} \times \text{fator de carga}$$

em que:

$$\text{Fator de carga} = \frac{1}{(1 + \% \text{ empolamento})} \quad (3.12)$$

Equivalente ao fator de empolamento anterior descrito.

3.4.3- PRODUÇÃO HORÁRIA

A produção horária determina-se multiplicando o *volume médio transportado por ciclo*, devidamente convertido em volume *in situ*, pelo *número de ciclos por hora*. Assim, esta grandeza exprime-se em metro cúbico por hora.

$$\text{Produção horária} = \text{volume médio transportado por ciclo} \times \text{número de ciclos por hora} \quad (3.13)$$

3.4.4- PRODUÇÃO EFETIVA

O valor de *Produção Horária* obtido no ponto anterior diz respeito a uma produção de 60 minutos por cada hora que, como já se referiu, não é realista. Para a obtenção do valor de *Produção Efetiva* deve afetar-se essa *Produção Horária* de um fator de eficiência. A unidade em que se exprime a *Produção Efetiva* para um determinado equipamento de transporte continua a ser o metro cúbico por hora.

$$Produção\ Efetiva = fator\ eficiência \times Produção\ Horária \quad (3.14)$$

Os fatores de eficiência encontram-se listados no quadro 3.2, do presente capítulo.

3.4.5- CUSTO DE TRANSPORTE POR UNIDADE DE VOLUME TRANSPORTADO

Tendo já sido determinado para cada equipamento de transporte a *Produção Efetiva* e tendo sido fornecido o *Custo Horário* para cada equipamento é possível calcular o custo da unidade transportada por cada hora de transporte.

Este *Custo Horário* do equipamento multiplicado pelo rendimento do mesmo equipamento (inverso da produção efetiva) vai, finalmente, permitir chegar ao valor do custo do transporte por cada metro cúbico.

Estes valores serão distintos para cada tipo de máquina e até para cada unidade de transporte dentro da mesma tipologia. Conforme a precisão pretendida, assim se poderão associar diferentes veículos para a obtenção de médias devidamente ponderadas.

3.5. EXEMPLO

Determinemos o custo unitário de transporte efetuado, a uma distância de transporte de 1 000 m em percurso relativamente plano (inclinação ≈ 0), com recurso a camião articulado do tipo CAT 730.

Para este equipamento de transporte deverão ser estimado os Tempo Fixo do ciclo (TFC), de acordo com (3.8), assim:

- A. Posicionamento para carga = 0,2 min
- B. Tempo de espera = 0,2 min
- C. Tempo de carga (determinado em função da capacidade de carga do equipamento de carga e da capacidade do meio de transporte) = 2,9 min
- D. Posicionamento tempo de espera e descarga = 0,4 min

Obtendo-se um TFC = 3,7 min.

Com recurso aos ábacos (tempo, distancia, inclinação percurso), fig. 3.4, poderemos extrair os valores do tempo de percurso para um $d=1000m$ e $i=0\%$, conforme sinalizado nos ábacos da fig. 3.5:

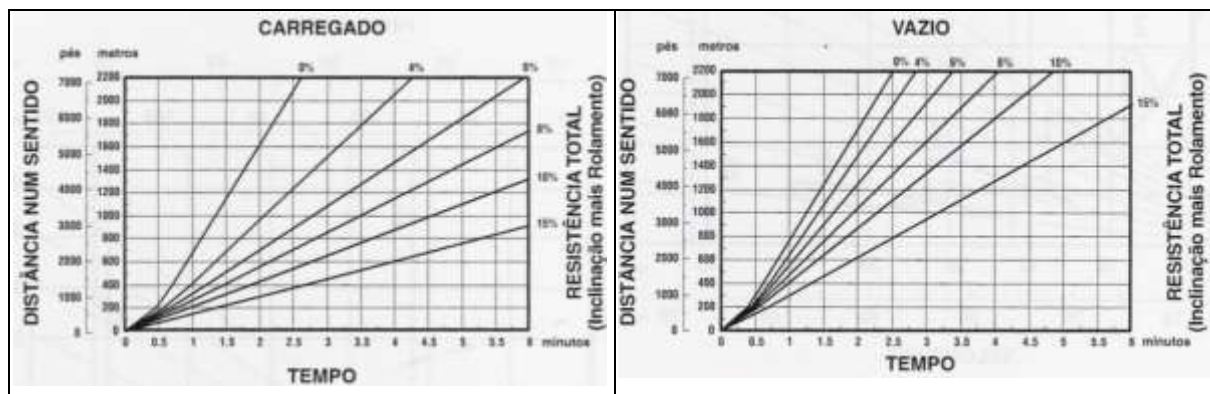


Fig. 3.5- Determinação do tempo de percurso carregado e vazio para caminhão articulado do tipo CAT 730 (1000m, 1500m e 2000m e inclinação 0%) (Fonte: Manual de Produção CATERPILLAR – edição 37)

Assim:

E. Transporte carregado = 1,3 min

F. Retorno vazio = 1,2 min

desta feita, é possível obter o valor do *Tempo Variável do Ciclo*:

$$TVC = 1,3 + 1,2 = 2,5 \text{ min}$$

De acordo com (3.10) :

$$TTC = TFC + TVC = 3,7 \text{ min} + 2,5 \text{ min} = 6,2 \text{ min}$$

determina-se o *Tempo Total de um Ciclo*.

Finalmente, para determinar o número total de ciclos por hora (3.11) , vem:

$$NTC = \frac{60}{6,2} = 9,7 \text{ ciclos/hora}$$

Agora, supondo que o veículo transporta terra argilosa e considerando os valores de empolamento do quadro 3.1 , isto é 25%, e a expressão (3.12) obtemos:

$$\text{Fator de carga} = \frac{1}{\left(1 + \frac{\% \text{ empolamento}}{100}\right)} = \frac{1}{(1 + 0,25)} = 0,80$$

Considerando que o caminhão articulado do tipo CAT 730 teria uma capacidade coroada de 16,9 m³, com recurso à expressão (3.13) podemos calcular a *Produção Horária*:

$$\begin{aligned} \text{Produção Horária} &= \text{capacidade carga coroada} \times \text{fator de carga} \times NTC = 16,9 \times 0,80 \times 9,7 \\ &= 130,9 \text{ m}^3/\text{h} \end{aligned}$$

A *Produção Efetiva* é determinada, considerando que todo o trabalho é efetuado em período diurno, afetando o valor de produção dos valores de eficiência do quadro 3.2, obtendo-se assim:

$$\text{Produção efectiva} = \text{Produção Horária} \times \text{fator eficiência} = 130,9 \times 0,83 = 108,65 \text{ m}^3/\text{h}$$

Estimando que o *Custo Horário* (P) deste equipamento é de 40€/hora conseguimos determinar o custo do metro cúbico de transporte:

$$P = 40€/h \times \frac{1}{(108,65)} = 0,37€/m^3$$

3.5.1- APLICAÇÃO AO MÉTODO DE BRÜCKNER

A aplicação da teoria de Brückner, conforme se viu no Capítulo 2, implica a obtenção de uma relação entre custos relacionados com os equipamentos de transporte e distâncias a percorrer.

O custo unitário de transporte de um metro cúbico será materializado, para cada meio de transporte, da seguinte forma:

$$p = Kdi \times K'$$

onde:

p (€) - custo de transporte de um metro cubico;

K (€/Km) e K'(€) – constantes características do equipamento e da produtividade da equipe de terraplenagem;

di (Km) – distância de transporte.

Atendendo ao descrito no mesmo Capítulo 2, o *Custo de Transporte* de um volume V, será determinado recorrendo à expressão seguinte:

$$P = K \times M + K' \times V ,$$

onde M será o momento de transporte do volume V .

Assim, a aplicação do método de Brückner ao camião articulado do tipo CAT 730, conforme descrito no ponto anterior, torna-se simples, bastará calcular o K e o K', custos variáveis e custos fixos (valor para d=0), desenhando posteriormente a reta $P = Kd + K'$ no gráfico (di, pi).

Aproveitando ainda o exemplo anterior determinam-se a seguir os custos de transporte para as distâncias de 1500, 2000 e 3000 metros.

Quadro 3.3 – Custos por m³ de transporte para diferentes distâncias - exemplo CAT 730

Distância Transporte (Km)	1	1,5	2	3	0
Custo / m ³	0,368	0,442	0,517	0,665	0,220

Fazendo a regressão linear dos dados da tabela obtém-se a equação da reta de P em função de di:

$$p = 0,148 \times di + 0,220$$

A sua representação gráfica é a seguinte:

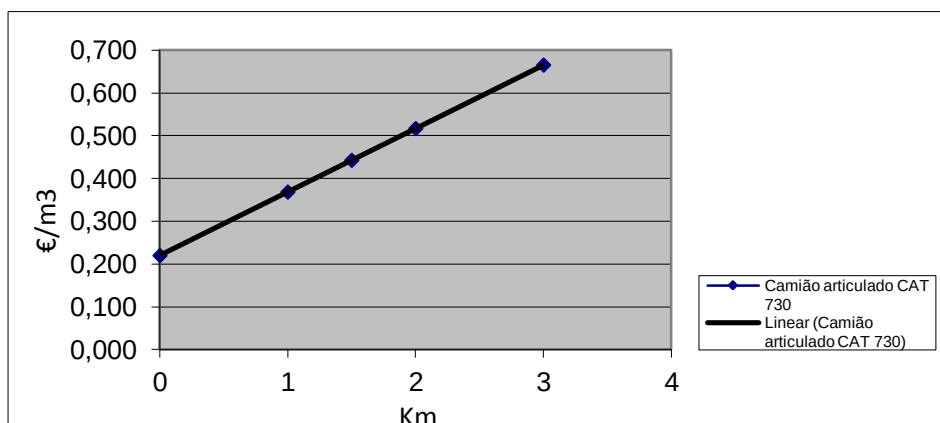


Fig. 3.6- Gráfico dos custos de transporte, para um do tipo caminhão articulado do tipo CAT 730, em função da distância de transporte

Suponhamos um segmento da curva de Brückner, fig. 3.6, e que nele se faz o transporte de terras por dois meios distintos sendo que para as distâncias superiores a 1000 metros o percurso será efetuado por caminhão articulado do tipo CAT 730.

Inscribamos uma linha paralela à LT e cujo comprimento represente o percurso mínimo económico para o transporte com o caminhão articulado do tipo CAT 730 – 1000 metros; Se considerarmos um retângulo cuja área seja o momento de transporte e cuja altura seja o cubo a transportar, a base desse retângulo dá-nos a distância média de transporte.

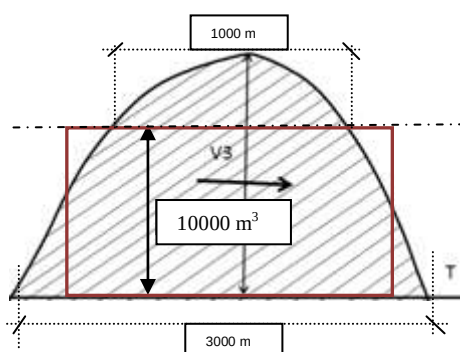


Fig. 3.6– Determinação da distância média de transporte.

O momento de transporte é dado por:

$$M = 2 \times 10000 = 20000$$

o que permite obter o custo total de movimentação dos 10000 m³ de solos, assim:

$$P = K \times M + K' \times V = 0,148 \times 20000 + 0,22 \times 10000 = 5160 \text{ €}$$

4

A EVOLUÇÃO TÉCNICA

4.1. AS BOAS PRÁTICAS NA CONSTRUÇÃO RODOVIÁRIA

A evolução ocorrida, ao longo do século XX, no conhecimento científico e técnico fez-se repercutir nas técnicas construtivas, claramente distintas das existentes em 1847, o que determina a necessária adaptação do conceito inicial do método da curva de Brückner, às boas práticas construtivas atuais. Brückner considerava no seu método, a utilização integral, na linha, de todo o material escavado, não havendo o conceito de material rejeitado. Esta era a prática corrente à data, facto que podemos ainda hoje constatar, em obras de requalificação de antigas estradas nacionais, com a construção dos aterros com todos os materiais provenientes das escavações, incluindo, em alguns casos, a terra vegetal.

A evolução do conhecimento no campo da geotecnia, sobretudo no conhecimento sobre a Mecânica dos Solos, comportamento mecânico e hidráulico dos maciços terrosos, fez evoluir esta área da Engenharia no que respeita aos materiais a utilizar e às condições de aplicação dos solos provenientes das escavações em aterros.

Os ensaios laboratoriais e de campo são, hoje, uma prática corrente, que a par das exigências previstas nos cadernos de encargos, permitem garantir que os materiais empregues nos aterros sejam colocados nas zonas dos aterros apropriados ou sejam rejeitados, e conduzidos para vazadouros.

Em Portugal, o *Caderno de Encargos Tipo* das obras das Estradas de Portugal (EP), é o referencial das boas práticas construtivas para todas as obras viárias, sendo constituído por normas técnicas que definem as características dos materiais e os métodos construtivos. O Caderno de Encargos da Brisa e as normas do LNEC, são também bons exemplos das boas práticas na construção rodoviária.

Passaremos de seguida a enumerar, correlacionando a classificação dos solos e rochas com as características previstas no Caderno de Encargos da EP e fazendo a sua análise à luz das melhores práticas construtivas europeias.

4.1.1. GEOLÓGICAS E GEOTÉCNICAS

Os projetos Rodoviárias incluem, em volume próprio, o Estudo Geológico e Geotécnico, constituído por peças escritas e desenhadas. O estudo, além do reconhecimento geológico de superfície, compreende, habitualmente, a campanha de prospeção geotécnica e de ensaios *in situ* e em laboratório, podendo incluir os seguintes trabalhos:

- perfis de refração sísmica;

- sondagens mecânicas, com furação à rotação e execução de ensaios SPT, geralmente de 1,5 em 1,5 m de profundidade, em terrenos com características adequadas à sua realização;
- colheita de amostras intactas nalgumas das sondagens mecânicas;
- ensaios com o penetrómetro dinâmico ligeiro;
- poços de prospeção, com colheita de amostras remexidas de solos;
- ensaios de laboratório sobre amostras intactas colhidas nas sondagens mecânicas;
- ensaios de laboratório sobre amostras remexidas recolhidas nos poços;
- ensaios de laboratório sobre amostras de rocha granítica e xisto-grauvacóide, recolhida na furação à rotação.

No que respeita aos aspetos geológicos e geomorfológicos gerais, recorre-se, habitualmente, ao apoio da informação contida nas Cartas Geológicas de Portugal à escala 1/50 000.

Com base em todos os elementos recolhidos, é possível descrever as características das formações presentes na zona de implantação do traçado rodoviário (nomeadamente no que diz respeito à sua estrutura, litologia e características hidrogeológicas e geotécnicas), e, com base nas referidas características, analisar as condições de execução das terraplenagens.

Os materiais a utilizar nos aterros, provenientes da escavação realizada na obra ou provenientes de empréstimos, devem responder às exigências de estabilidade quase imediatas dos aterros, condicionando-se a escolha dos solos a utilizar, às características geotécnicas que garantam a resistência mecânica após a colocação em aterro.

Toda a evolução técnica nesta área da Engenharia deve-se ao desenvolvimento do conhecimento na área da Mecânica dos Solos. O conhecimento e a classificação da tipologia dos solos, possível de obter através da análise da composição granulométrica e dos limites de Atterberg, é disso exemplo. A evolução dos ensaios laboratoriais permitem, ainda, estimar as condições ideais de aplicação e o respetivo acompanhamento ao longo da obra.

Partindo do estudo das características dos solos e recorrendo a ensaios de solos normalizados, podemos encontrar em diversas publicações técnicas, distintas classificações mas de alguma forma convergentes, já que todas elas têm o objetivo comum de caracterizar a adequabilidade dos solos à incorporação nas diferentes camadas de aterro. De seguida, passamos a descrever essas classificações:

4.1.1.1 Classificação Unificada

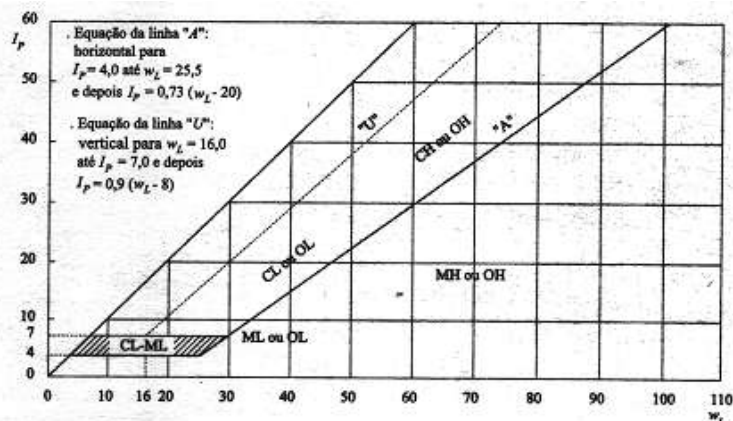
A classificação unificada destina-se a transmitir orientações quanto à utilização dos solos como materiais de aterros para obras viárias e barragens de terra, baseando-se na composição granulométrica e nos limites de Atterberg, e permite identificar as características dos solos através da classificação unificada (ASTM D 2487-85). Esta classificação divide os solos em 15 grupos, divisão feita com base nas respetivas características de identificação (composição granulométrica e limites de consistência) .

Quadro 4.1 – Classificação unificada de solos (ASTM D 2487-85)

Critérios para designação dos símbolos e nome dos grupos utilizando ensaios de laboratório (a)				Classificação do solo	
				Símbolo do grupo	Nome do grupo (b)
SOLOS GROSSOS	Cascalho mais de 50% da fracção grossa retida no peneiro n.º 4	Cascalhos limpos (c)	$C_u \geq 4$ e $1 \leq C_c \leq 3$ (e)	GW	Cascalho bem graduado (f)
		Menos de 5% de finos	$C_u < 4$ e/ou $1 > C_c > 3$ (e)	GP	Cascalho mal graduado (f)
		Cascalhos com finos (c)	Finos classificados como ML ou MH	GM	Cascalho silteoso (f), (g), (h)
		Mais de 12% de finos	Finos classificados como CL ou CH	GC	Cascalho argiloso (f), (g), (h)
	Areias 50% ou mais da fracção grossa passada no peneiro n.º 4	Areias limpas (d)	$C_u \geq 6$ e $1 \leq C_c \leq 3$ (e)	SW	Areia bem graduada (i)
		Menos de 5% de finos	$C_u < 6$ e/ou $1 > C_c > 3$ (e)	SP	Areia mal graduada (i)
		Areias com finos (d)	Finos classificados como ML ou MH	SM	Areia silteosa (g), (h), (i)
		Mais de 12% de finos	Finos classificados como CL ou CH	SC	Areia argilosa (g), (h), (i)
SOLOS FINOS	Siltes e argilas	Inorgânico	$I_p > 7$ e situa-se na linha A ou acima desta (j)	CL	Argila magra (k), (l), (m)
			$I_p < 4$ ou situa-se abaixo da linha A (j)	ML	Silte (k), (l), (m)
		Orgânico	$\frac{w_L(\text{seco em estufa})}{w_L(\text{sem secagem})} < 0,75$	OL	Argila orgânica (k), (l), (m), (n) Silte orgânico (k), (l), (m), (o)
	Siltes e argilas	Inorgânico	I_p situa-se na linha A ou acima desta	CH	Argila gorda (k), (l), (m)
			I_p situa-se abaixo da linha A	MH	Silte elástico (k), (l), (m)
		Orgânico	$\frac{w_L(\text{seco em estufa})}{w_L(\text{sem secagem})} < 0,75$	OH	Argila orgânica (k), (l), (m), (p) Silte orgânico (k), (l), (m), (q)
Solos altamente orgânicos, principalmente matéria orgânica, cor escura e odor orgânico				Pt	Turfa

- (a) Baseado no material passado no peneiro 3" (75 mm).
 (b) Se a amostra virgem tiver blocos e/ou calhaus junte "com blocos e/ou calhaus" ao nome do grupo.
 (c) Cascalho com 5% a 12% de finos precisa de dois símbolos: GW – GM Cascalho bem graduado com silte; GP – GC Cascalho bem graduado com argila; GP – GM Cascalho mal graduado com silte; GP – GC Cascalho mal graduado com argila.
 (d) Areia com 5% a 12% de finos precisa de dois símbolos: SW – SM Areia bem graduada com silte; SW – SC Areia bem graduada com argila; SP – SM Areia mal graduada com silte; SP – SC Areia mal graduada com argila.
 (e) $C_u = D_{60} / D_{10}$; $C_c = (D_{30})^2 / (D_{60} \times D_{10})$.
 (f) Se o solo contém $\geq 15\%$ de areia, junte "com areia" ao nome do grupo.
 (g) Se os finos se classificam como CL-ML, use dois símbolos: GC-GM, SC-SM.
 (h) Se os finos são orgânicos, junte "com finos orgânicos" ao nome do grupo.
 (i) Se o solo contém $\geq 15\%$ de cascalho, junte "com cascalho" ao nome do grupo.
 (j) Se os limites de Atterberg se situam na zona sombreada da carta de plasticidade, o solo é um CL-ML, argila silteosa.
 (k) Se o solo contém 15 a 30% retido no peneiro n.º 200, junte "com areia" ou "com cascalho" conforme o predominante.
 (l) Se o solo contém $\geq 30\%$ retido no peneiro n.º 200, predominantemente arenoso, junte "arenoso" ao nome do grupo.
 (m) Se o solo contém $\geq 30\%$ retido no peneiro n.º 200, predominantemente cascalho, junte "cascalhento" ao nome do grupo.
 (n) $I_p \geq 4$ e situa-se na linha A ou acima desta.
 (o) $I_p < 4$ ou situa-se abaixo da linha A.
 (p) I_p situa-se na linha A ou acima desta.
 (q) I_p situa-se abaixo da linha A.

Quadro 4.2 – Carta de plasticidade de Casagrande



NOTA: Os resultados que conduzam a pontos acima da linha "U" são provavelmente irrealistas pelo que os correspondentes ensaios deverão ser repetidos cuidadosamente.

A ASTM (American Society for Testing Materials) em 1985 reviu a classificação do solo, isto é, o seu grupo, passando a corresponder-lhe um símbolo (duas letras maiúsculas, em geral) e um nome. Em anexo à norma encontra-se vasta informação destinada a exemplificar a sua aplicação, nomeadamente nos casos menos comuns, e ainda respeitante aos processos a adotar na preparação das amostras e nos ensaios necessários à classificação.

Com base nos ensaios de identificação dos solos, esta classificação permite, em fase de projeto e caso seja necessário o recurso a empréstimo, escolher, entre os solos existentes na linha ou nas proximidades, aqueles que satisfazem as exigências da ASTM.

Quadro 4.3 – Comportamento dos grupos quando aplicados em aterros.

Símbolo do grupo	Propriedades importantes			
	Permeabilidade quando compactado	Resistência ao corte quando compactado e saturado	Compressibilidade quando compactado e saturado	Trabalhabilidade como material de construção
GW	Permeável	Excelente	Desprezável	Excelente
GP	Muito permeável	Boa	Desprezável	Boa
GM	Semipermeável a impermeável	Boa	Desprezável	Boa
GC	Impermeável	Boa a razoável	Muito baixa	Boa
SW	Permeável	Excelente	Desprezável	Excelente
SP	Permeável	Boa	Muito baixa	Razoável
SM	Semipermeável a impermeável	Boa	Baixa	Razoável
SC	Impermeável	Boa a razoável	Baixa	Boa
ML	Semipermeável a impermeável	Razoável	Média	Razoável
CL	Impermeável	Razoável	Média	Boa a razoável
OL	Semipermeável a impermeável	Fraca	Média	Razoável
MH	Semipermeável a impermeável	Razoável a fraca	Alta	Fraca
CH	Impermeável	Fraca	Alta	Fraca
OH	Impermeável	Fraca	Alta	Fraca
Pt	--	--	--	--

Esta é a classificação seguida pelo Caderno de Encargos das Estradas de Portugal para definição sobre a possível utilização dos diversos tipos de solos em função da zona/parte do aterro em que irão ser aplicados.

Nos aterros, segundo as características definidas no Caderno de Encargos da JAE, distinguem-se três zonas distintas cujas características passamos a transcrever:

Parte Inferior do Aterro (PIA) – É a zona do aterro que assenta sobre a fundação (geralmente considera-se que é constituída pelas duas primeiras camadas de aterro). No caso de se ter procedido previamente aos trabalhos de decapagem, consideram-se também incluídas para além daquelas, as camadas que se situam abaixo do nível do terreno natural.

Corpo – É a parte do aterro compreendida entre a Parte Inferior e a Parte Superior do Aterro.

Parte Superior do Aterro (PSA) - É a zona do aterro (da ordem dos 40-85 cm) sobre a qual apoia a Camada de Leito do Pavimento, a qual integra a fundação do pavimento e influencia o seu comportamento.

Leito de Pavimento - É a última “camada” constituinte do aterro, que se destina essencialmente a conferir boas condições de fundação ao pavimento, não só do ponto de vista das condições de serviço, mas também das condições de colocação em obra, permitindo uma fácil e adequada compactação da

primeira camada do pavimento, e garantindo as condições de praticabilidade adequadas ao tráfego da obra.

O *Leito de Pavimento* não é habitualmente considerado no volume de aterro, já que tem características e exigências distintas das outras camadas de aterro.

O Quadro 4.4 define as regras gerais de aplicação dos solos nas partes inferiores dos aterros (PIA), no corpo dos aterros (Corpo) e na parte superior dos aterros (PSA) função da classificação unificada dos solos, contida na especificação ASTM D 2487.

Quadro 4.4 – Regras de aplicabilidade dos grupos de solos nas distintas zonas dos aterros.

Classe	CBR (%)	Tipo de solo	Descrição	Reutilização		
				PIA	Corpo	PSA
S 0	< 3	OL	siltos orgânicos e siltos argilosos orgânicos de baixa plasticidade (1)	N	N	N
		OH	argilas orgânicas de plasticidade média a elevada; siltos orgânicos. (2)	N	P	N
		CH	argilas inorgânicas de plasticidade elevada; argilas gordas. (3)	N	P	N
		MH	siltos inorgânicos; areias finas micáceas; siltos micáceos. (4)	N	P	N
S 1	≥ 3 a < 5	OL	idem (1)	N	S	N
		OH	idem (2)	N	S	N
		CH	idem (3)	N	S	N
		MH	idem (4)	N	S	N
S 2	≥ 5 a < 10	CH	idem (3)	N	S	N
		MH	idem (4)	N	S	N
		CL	argilas inorgânicas de plasticidade baixa a média argilas com seixo, argilas arenosas, argilas siltosas e argilas magras.	S	S	P
		ML	siltos inorgânicos e areias muito finas; areias finas, siltosas ou argilosas; siltos argilosos de baixa plasticidade.	S	S	P
		SC	areia argilosa; areia argilosa com cascalho. (5)	S	S	P
S 3	≥ 10 a < 20	SC	idem (5)	S	S	S
		SM-d	areia siltosa;	S	S	S
		SM-u	areia siltosa.	P	S	N
		SP	areias mal graduadas; areias mal graduadas com cascalho.	S	S	S
S 4	≥ 20 a < 40	SW	areias bem graduadas; areias bem graduadas com cascalho.	S	S	S
		GC	cascalho argiloso; cascalho argiloso com areia.	S	S	S
		GM-u	cascalho siltoso; cascalho siltoso com areia. (6)	P	S	P
		GP	cascalho mal graduado; cascalho mal graduado com areia. (7)	S	S	S
S 5	≥ 40	GM-d	idem (6)	S	S	S
		GP	idem (7)	S	S	S
		GW	cascalho bem graduado; cascalho bem graduado com areia.	S	S	S

Em função das características dos solos e do CBR, pode-se classificar o solo como admissível (S), não admissível (N) ou possível (P) e aplicá-lo, como material de aterro, na zona/parte da camada de aterro apropriada.

4.1.1.2. Classificação Rodoviária – HRB (*Highway Research Board*)

Esta classificação baseia-se na avaliação granulométrica, nos limites de Atterberg e no índice de grupo, analisando as características dos solos com vista à sua aplicação nas camadas superiores dos aterros e caracterizando o comportamento da camada sob o pavimento, (Quadro 4.5).

O Caderno de Encargos da EP, no capítulo Terraplenagem – características dos materiais, faz referência a esta classificação para a seleção dos solos a utilizar na parte superior dos aterros, referindo dever pertencer aos grupos A-1, A-2, A-3 da Classificação Rodoviária.

Quadro 4.5 – Classificação dos solos – HRB .

CLASSIFICAÇÃO DE SOLOS – HRB (Highway Research Board)											
Tipos de solos	Materiais granulares [35% ou menos passando no peneiro de 0,074 mm (n° 200) ASTM]							Materiais silto-argilosos [mais de 35% passando no peneiro de 0,074 mm (n° 200) ASTM]			
Grupos e subgrupos	A-1		A-3	A-2				A-4	A-5	A-6	A-7
	A-1-a	A-1-b		A-2-4	A-2-5	A-2-6	A-2-7				A-7-5 ¹ A-7-6 ²
Granulometria - % passando nos peneiros ASTM: 2,00 mm (n° 10)..... 0,420 mm (n° 40)..... 0,074 mm (n° 200).....	50 máx 30 máx 15 máx	- 50 máx 25 máx	51 mín 10 máx	- 35 máx	- 35 máx	- 35 máx	- 35 máx	- 36 mín	- 36 mín	- 36 mín	- 36 mín
Características da fracção passando no peneiro de 0,420 mm (n° 40) ASTM: Limite de liquidez..... Índice de plasticidade.....	- 6 máx		- não plástico	40 máx 10 máx	41 mín 10 máx	40 máx 11 mín	41 mín 11 mín	40 máx 10 máx	41 mín 10 máx	40 máx 11 mín	41 mín 11 mín
Índice de grupo ³	0		0	0		4 máx		8 máx	12 máx	16 máx	20 máx
Tipos usuais dos constituintes significativos dos materiais	calhau, seixo e areia		areia fina	seixo e areia siltosos ou argilosos				solos siltosos		solos argilosos	
Comportamento na camada sob o pavimento	excelente a bom						regular a muito mau				

¹ O índice de plasticidade do subgrupo A-7-5 é igual ou menor que o limite de liquidez menos 30.

² O índice de plasticidade do subgrupo A-7-6 é maior que o limite de liquidez menos 30.

³ O índice de grupo indica-se entre parêntesis depois do símbolo do grupo ou subgrupo. Exemplos: A-3 (0); A-2-7 (3); A-7-5 (18).

4.1.1.3. Classificação de Solos SETRA-LCPC

O manual “*Réalisation des remblais et des couche de forme*” elaborado pelo conceituado laboratório Franceses LCPC (Laboratoire Central des Ponts et Chaussées) e pela SÉTRA (Service d’Étude Techniques des Routes et Autoroutes), está subdividido em dois fascículos, onde o primeiro, define e estabelece os critérios de classificação dos materiais a utilizar nos aterros, e o segundo, define as condições de aplicação, em aterro e leito de pavimentos, e as condições de compactação.

Nele, classificam-se os solos em quatro grandes classes:

- Classe A- solos finos,
- Classe B - solos arenosos e seixos com finos,
- Classe C – solos compostos por elementos finos e grossos,
- Classe D - solos insensíveis à água

encontrando-se cada uma das classes subdividida em subclasses.

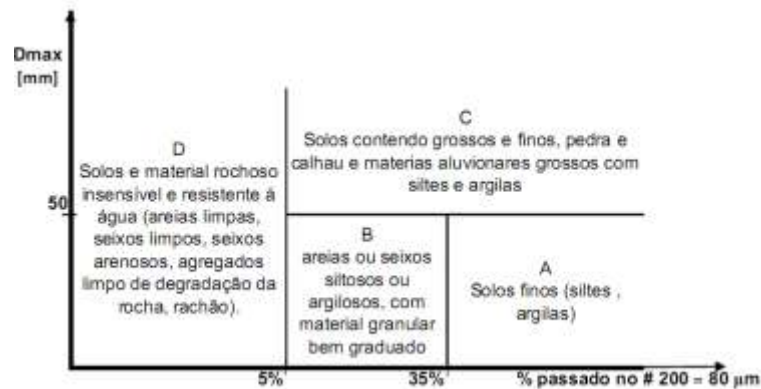
Os parâmetros dos solos, alvo de caracterização, são:

- Granulometria, particularmente, a dimensão máxima do elemento maior no solo (D_{max}),
- Índice de plasticidade (I_p),
- Valor de azul metileno (VBS),

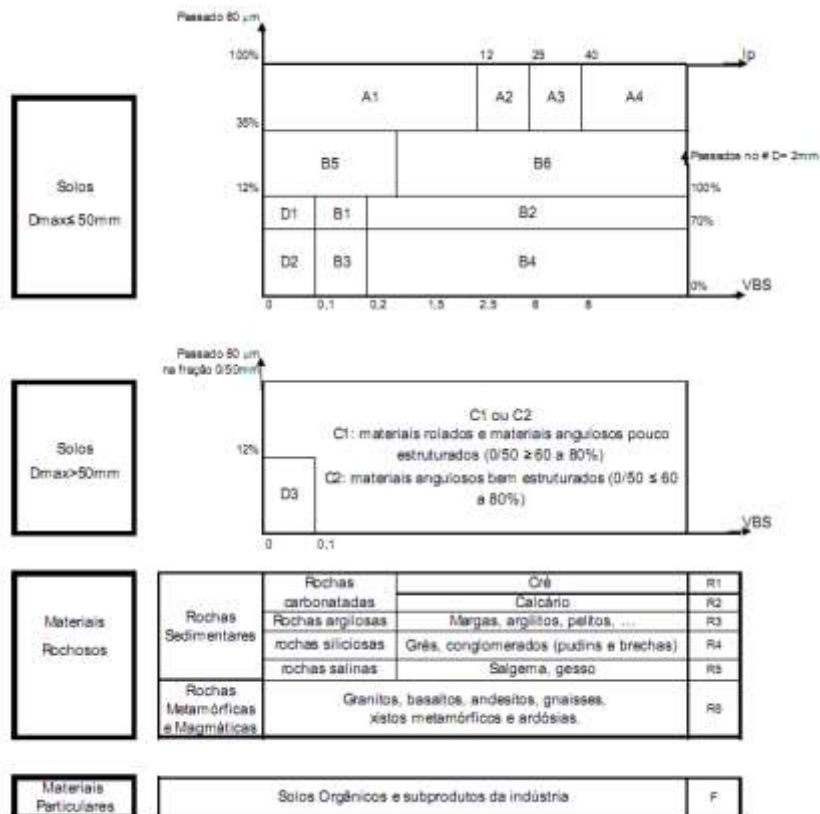
Para além solos aparecem mais duas classes:

- Classe R – materiais rochosos,
- Classe F – solos orgânicos ou subprodutos industriais.

Quadro 4.6 – Síntese de classificação dos solos segundo o D_{max} e a percentagem de passados no peneiro 200.



Quadro 4.7. – Síntese de classificação dos solos segundo as suas características (Fonte: Setra LCPC)



4.1.1.4. Materiais Rochosos

A determinação das características de resistência, fragmentabilidade e alterabilidade dos materiais rochosos podem determinar a sua aplicabilidade em aterros. Em aterros de grande porte ($H \geq 20m$, sendo H a maior das alturas do aterro sob a plataforma) terão que ser verificados os índices de: compressão simples; compressão por carga pontual; porosidade; massa volúmica e expansibilidade. Deve ser analisada a resistência ao esmagamento, ao desgaste em meio húmido, ao desgaste de Los Angeles e à deformação unidimensional, a verificar após execução de aterro experimental.

Estes podem ser aplicados, se as características cumprirem como estabelecido no CE próprio da obra ou o Caderno de Encargos da EP, em:

- Pedraplenos - todo o aterro é efetuado com materiais rochosos de boa qualidade, provenientes das escavações, devendo ser homogêneo, de boa qualidade, isento de detritos e matéria orgânica;
- Solo-enrocamentos – aterro executado por mistura de solos com rocha e normalmente resultantes do desmonte.

4.2. CONDICIONALISMOS

A importância do levantamento de todos os condicionalismos, numa fase de preparação de obra, é fundamental para que se possa planejar temporal e geograficamente a execução da movimentação das terras, isto é, a terraplenagem.

A valorização de todos os condicionalismos, no que se refere à área afetada, ao volume de terras envolvido e à dilação, no prazo de execução e no prazo necessário para a sua execução, são fundamentais para uma correta caracterização das distâncias de transportes de terras.

Deverá estar sempre presente no planeamento global de uma empreitada rodoviária, o facto de a terraplenagem poder implicar com o desenvolvimento de outras especialidades, como obras de arte e vice-versa.

Mas a questão temporal é também fundamental.

Para que seja possível aplicar o método da Curva de Brückner, é essencial que o volume seja um parâmetro fixo. Deverá ser considerado o volume de terras que está disponível a ser movimentado num determinado momento temporal, ou seja, os volumes a considerar no cálculo da curva são o volume de escavação e o volume a aterrar disponível num determinado tempo t_1 . Num momento posterior, t_2 , poderão estar disponíveis volumes, anteriormente condicionados, devendo ser construída nova curva de Brückner para esses volumes.

Este será o princípio base subjacente, após análise de cada condicionante.

Passaremos a enumerar, sem pretensão de se tratar de uma listagem exaustiva, algumas das condicionantes usuais em obras rodoviárias, que podem acarretar implicações sobre as decisões de planeamento da movimentação dos solos.

Todos os condicionalismos necessitam de uma análise própria e cuidada na tentativa de adequar o método da Curva de Brückner à realidade atual, situação que faremos de uma forma mais aprofundada em capítulos seguintes.

4.2.1. GEOLÓGICOS E GEOTÉCNICOS

Os condicionalismos geotécnicos para utilização dos solos e da rocha, atrás enunciados, implicam a necessidade de adaptação da teoria pura de Brückner, em que o uso dos solos escavados era generalizado nos aterros e sem particulares exigências quanto à sua colocação. A prática atual apresenta inúmeras exigências a nível de projeto e de Caderno de Encargos.

Proposta de adaptação destas condicionantes ao método:

Numa primeira fase, devem-se excluir todos os volumes de decapagem e saneamento no cálculo dos volumes acumulados a incluir na curva, por não reunirem condições de aplicabilidade nos aterros.

Numa segunda fase, em função das características dos materiais a escavar e das condicionantes do Caderno de Encargos, deve-se relacionar o material disponível com as características definidas para aplicação nos diferentes zonamentos dos aterros (PIA, Corpo, PSA).

Numa terceira fase, deve-se criar tantas curvas quantos ciclos temporais de movimentações de terras que estejam previstas ocorrer.

A segunda fase será a mais complexa e será alvo de estudo nos próximos capítulos.

4.2.2. AMBIENTAIS

Na atualidade, a relevância com que as questões de impacto ambiental são tratadas, faz com que, na fase de anteprojetos e projetos de execução de obras rodoviárias, seja incluída a avaliação de impacto ambiental e as medidas de minimização dos impactos, durante a fase construtiva e pós construtiva. Em Portugal, ao abrigo dos normativos em vigor, a aprovação do impacto ambiental tem poder vinculativo na aprovação global do projeto, de tal forma que pode impor medidas de minimização de impactos ambientais que alterem o próprio projeto. Estas imposições podem passar pela alteração da inclinação dos taludes de escavação e de aterro, pela substituição de alguns aterros de maior altura por viadutos, pela alteração do próprio traçado, entre outras.

Os locais de empréstimo e vazadouro devem respeitar os requisitos definidos em inúmeros normativos legais, devem possuir projeto próprio e obter aprovação prévia por parte das autoridades competentes. O volume máximo, as condições de exploração e a recuperação ambiental das zonas de empréstimo e vazadouro, são definidos e aprovados antes da execução da obra.

Proposta de adaptação destas condicionantes ao método:

Corresponde ao método descrito no Capítulo 2 para locais fixos de empréstimo e/ou vazadouro, já que estão obrigatoriamente aprovados na fase de planeamento, o que satisfaz os requisitos do método da Curva de Brückner.

4.2.3. BARREIRAS NATURAIS

Na fase de projeto e na fase de preparação de obra, deve ser feito um levantamento no terreno, de todas as barreiras naturais que impeçam a movimentação de terras e a circulação do material escavado ao longo da linha. Estas barreiras naturais podem ser rios ou ribeiras, linhas de caminhos de ferros, estradas existentes a cortar pela empreitada, postes de eletricidade, monumentos, entre outros. Alguns destes obstáculos serão eliminados durante a construção pela edificação de passagens inferiores (PI), passagens superiores (PS) ou viadutos, desvios de linhas ou condutas, podendo tratar-se de obras com caris definitivo ou provisório (no caso em que se pretende apenas resolver uma condicionante da obra).

Estes obstáculos podem:

- condicionar a movimentação de volumes de terras, entre Pk's a determinar, devendo ser suspensa a execução das terraplenagens nas zonas contíguas a essa condicionante;
- condicionar a movimentação de volumes de terras ao longo da linha com a possibilidade de movimentar as terras por outros trajetos fora da linha;
- condicionar a movimentação das terras na linha, podendo ultrapassar os obstáculos com o recurso à construção de uma estrutura provisória de atravessamentos, se for uma solução técnica e economicamente viável para ultrapassar o obstáculo.

Proposta de adaptação destas condicionantes ao método:

No primeiro caso, não estando reunida a condição para que o volume seja movimentado no mesmo espaço temporal t1, já que o volume dos perfis próximos da condicionante não podem ser escavados/aterros numa 1.ª fase da terraplenagem, não se deverá entrar com os volumes dessa zona condicionada na Curva de Brückner referente a t1. O volume de escavação/aterro dessa zona, a efetuar numa 2.ª fase temporal da empreitada, deverá ser incluída numa outra curva de Brückner ti.

Sempre que seja necessário condicionar a movimentação de um determinado volume de terras, numa zona determinada e confinada a perfis bem definidos, deve ser deduzido do cálculo inicial da curva de Brückner. Este volume de terras deverá ser alvo de uma nova curva de Brückner.

4.2.4. BARREIRAS CONSTRUTIVAS

A movimentação dos solos condiciona e é condicionado pelos inúmeros trabalhos que são necessários executar, ao longo do traçado, numa obra rodoviária. Em fase de preparação de obra, o planeamento dos trabalhos dever-se-á compatibilizar com o planeamento de cada uma das atividades, dando origem ao levantamento das zonas condicionadas, dos respetivos intervalos de perfis, dos volumes de terras associados, não esquecendo a condicionante temporal. Estas zonas, de escavação ou aterro, estão geralmente associadas:

- à edificação de obras de arte (Viadutos, Passagens Superiores, Passagens Inferiores ou Passagens Agrícolas), que pela sua complexidade, tipo de escoramento e tecnologia empregue, condicionam a movimentação em perfis bem localizados;
- ao tratamento a executar em alguns dos taludes de escavação (ancoragens, pregagens, ...);
- às baixas aluvionares que necessitam de algum tratamento de consolidação, a executar antes dos trabalhos de aterro;
- à disponibilidade dos terrenos ou parcelas.

Proposta de adaptação destas condicionantes ao método:

Em todas estas situações, quando se considere, no planeamento que a condicionante não irá estar ultrapassada na 1.ª fase da movimentação de terras, deve ser expurgado do cálculo do volume global a considerar para a curva de Brückner t1, o volume contido entre esses PK's, volume esse que deverá ser considerado no cálculo de uma segunda curva de Brückner, associado a uma movimentação de terras no tempo ti.

4.2.5. CIRCULAÇÃO FORA LINHA

Na fase de preparação de obra, deve ser feito o levantamento de todas as redes viárias locais, e das características dos caminhos ou das estradas que reúnam condições para a circulação dos equipamentos de transporte de terras. O estudo dos diversos circuitos possíveis, dos custos associados e da velocidade de circulação, será fundamental para uma correta escolha dos circuitos a percorrer para se obter uma distância mínima de transporte.

Proposta de adaptação destas condicionantes ao método:

Sempre que seja necessário transportar as terras entre perfis, por vias externas ao traçado, deve utilizar-se o método descrito no Capítulo 2 para locais fixos. Os solos sairão da linha por um ponto fixo, correspondente à ligação do traçado à via existente, entrando na linha também em local fixo. Esta definição, quando assumida na fase de planeamento, permite a aplicação do método da curva de Brückner, devendo acrescer à distância a distância real de circulação fora de linha.

5

ADAPTAÇÃO DO MÉTODO DA CURVA DE BRÜCKNER

5.1. O OBJETIVO

Conhecendo-se o método e os meios mecânicos disponíveis, sabendo-se as condicionantes geológicas e geotécnicas e físicas, pretende-se, agora, avaliar a exequibilidade da aplicação do método e a sua utilidade na elaboração da curva de Brückner.

Na fase de preparação de uma empreitada de movimentação de terras, deve-se estudar todas as alternativas técnicas e económicas, sejam elas de equipamentos, de trajetos, de método construtivo ou sobre a sequência escavação/aterro. A possibilidade de utilização deste método gráfico pode revelar-se um ótimo instrumento na preparação de obra, já que permite visualizar a movimentação dos solos ao longo da linha.

Uma das dificuldades com que nos deparamos, na grande maioria dos projetos, é a ausência de medições suficientemente discriminadas, por Pk's, em função da tipologia de solos quer a escavar quer a aterrar, cuja metodologia será proposta no Cap. 5.2.

Mas centremo-nos no principal objetivo: a determinação da menor distância de transporte num trabalho de movimentação de terras, de entre os inúmeros movimentos possíveis.

5.2. AS CARACTERÍSTICAS DO MATERIAL COMO CONDICIONANTE

Conforme descrito no capítulo 4, são diversas as condicionantes que podem ocorrer numa obra rodoviária e que limitam a aplicação direta da teoria da Curva de Brückner dessas, destacam-se, pela sua relevância, as condicionantes geológicas e geotécnicas. A otimização dos custos dos transportes de terras, das escavações ou dos empréstimos para os aterros ou vazadouros, com o recurso ao método da curva de Brückner, carece de uma adaptação às novas exigências construtivas que passaremos a expor.

5.2.1. O LEVANTAMENTO DAS CONDICIONANTES DA OBRA

O estudo das diversas peças que compõem o projeto de execução nas quais se integram o Projeto Rodoviário, Estudo Geológico e Geotécnico e o Caderno de Encargos, permitem avaliar as condições em que se poderá desenvolver a movimentação de terras. O método da Curva de Brückner pode ser um excecional instrumento de planeamento da obra, como ferramenta essencial à definição/levantamento das soluções mais económicas para a movimentação dos solos. Permite ainda visualizar a

movimentação física das terras, pelo trajeto mais curto, das zonas de escavação para o aterro, que passaremos a designar por *zonamento*.

Partindo dos levantamentos topográficos, das características da rasante e das características e condições geológicas e geotécnicas, deverão ser calculados, em cada perfil do projeto, função da tipologia de material a escavar, os volumes de escavação tais como a decapagem, o saneamento, a escavação em solos e a escavação em rocha. Cada um dos perfis será de ora em diante designado por Pk, por ser a terminologia corrente em obras rodoviárias. De forma análoga, deverá ser discriminada, em função das exigências do Caderno de Encargos, a tipologia dos volumes a colocar por zonas de aterro, tais como, *Parte Inferior do Aterro* (PIA), *Corpo do Aterro* (C) e *Parte Superior do Aterro* (PSA).

Partindo dos princípios do método da Curva de Brückner, descritos no Capítulo 2, que se recordam brevemente:

- o custo de transportes de 1 metro cúbico é linearmente proporcional à distância de transporte;
- o preço de transporte de um volume V pode-se considerar dividido em múltiplos volumes parciais v_i ;
- o volume global V a transportar é uma constante;
- o momento de transporte é o produto do volume pela distância a que é transportado e corresponde às áreas compreendidas entre os segmentos da curva e as linhas longitudinais da distribuição;
- O custo global do transporte efetuado por uma máquina, cuja relação distância / custo do transporte de 1 metro cúbico, seja $p = Kd_i + K'$, será $P = K \times M + K' \times V$.

Face a estes pressupostos, haverá que adaptar a forma de contabilizar as diferentes tipologias de solos, em função das suas características geológicas- geotécnicas, da exigência técnica e do Caderno de Encargos, de forma a satisfazer os condicionalismos colocados pelo método.

O transporte será tanto mais económico quanto menor for o momento de transporte, isto é, as áreas correspondentes e compreendidas entre a curva e as linhas longitudinais de distribuição.

Partindo das condicionantes construtivistas, sabendo que as características dos materiais escavados são distintas em cada Pk, mas que o *Volume de Escavação* (E) compreende o *Volume de Escavação com recurso a Explosivo* (R) e o *Volume de Escavação Mecânica* (S).

Quadro 5.1 – Significado do símbolo Escavação

<i>Volume de Escavação</i>	<i>Volume de Escavação com recurso a Explosivo</i>	<i>Volume de Escavação Mecânica</i>
E=R+S	R	S

De igual forma, o *Volume de Aterro* (A) compreende o somatório da *Parte Inferior do Aterro* (PIA), do *Corpo do Aterro* (C) e da *Parte Superior do Aterro* (PSA), conforme o apresentado no Quadro 5.2.

Quadro 5.2 – Significado do símbolo Aterro

<i>Volume de Aterro</i>	<i>Parte Inferior do Aterro</i>	<i>Corpo do Aterro</i>	<i>Parte Superior do Aterro</i>
A=PIA+C+PSA	PIA	C	PSA

Em cada Pk o somatório dos volumes decompostos será igual ao volume total, isto é, aos *Volume de Escavação* (E) e *Volume de Aterro* (A).

O método da teoria de Brückner reproduz, através do desenho da curva, o movimento dos solos em obra, ilustrando o movimento físico, assim como, a distância média de transporte. A curva deve representar o expectável movimento, isto é, o cálculo dos volumes E e A, e estes devem ser decompostos em R, S, PSA, C e PIA.

Face ao atrás exposto, a curva de Brückner será desdobrada num número de curvas tal que, permita tornar o modelo o mais, próximo possível dos movimentos de solos a efetuar durante a execução da obra.

5.2.2. CONSTRUÇÃO DAS CURVA

Ao volume de escavação e aterro deverão ser deduzidos ou acrescidos os volumes de terras, que fazendo parte do volume a movimentar, têm destinos específicos e distintos do aterro, como é o caso da terra vegetal proveniente da decapagem, dos solos provenientes dos saneamentos ou o volume respeitante ao leito de pavimento.

Os materiais a aplicar no leito de pavimento se forem provenientes de zonas de escavação no traçado, cuja localização virá identificada no estudo geológico e geotécnico, não devem, para efeitos da construção da curva de Brückner, integrar o cálculo de volumes de solos a escavar para colocação em aterro. De forma similar, ao *Volume de Escavação com recurso a Explosivo* deve ser retirado o volume de rocha que se preveja reaproveitar para outros fins, como a produção material de granulometria extensa ou outros que não seja a deposição nos aterros.

Por Pk, isto é, em cada Pki, deve ser determinado o volume de solos a escavar e a aterrar, tal como se resume no quadro seguinte:

Quadro 5.3 – Movimento de terras - Resumo

Km	Volume Escavação	Volume Aterro	Volume Decapagem na Zona Escavação	Volume Decapagem na Zona Aterro	Volume Saneamento na Zona Aterro	Leito de Pavimento na Zona de Escavação	Leito de Pavimento na Zona de Aterro
Pki	E	A	De	Da	Sa	LPe	LPa

Em cada perfil Pki, o volume total de solos a escavar e aterrar será obtido da seguinte forma:

$$ETi = E - De + LPe \quad (5.1)$$

$$ATi = A + Da + Sa - LPa \quad (5.2)$$

Em que:

ETi - *Volume de Escavação* na influência de cada Pki;

ATi - *Volume de Aterro* na influência de cada Pki;

Rej – Volume de solos rejeitados, por não reunirem condições de aplicação em aterro;

De – Volume de decapagem no Pki, zona de escavação;

Da – Volume de decapagem no Pki, zona de aterro;

Sa- Volume saneado no Pki, zona de aterro;

LPe – Volume de solos a colocar nos Leitos de Pavimento, em zonas de escavação;

LPa - Volume de solos a colocar nos Leitos de Pavimento, em zonas de aterro.

Todos os parâmetros estão expressos em metros cúbicos.

Obtemos assim, para cada Pki, o volume real de terras a escavar e a transportar para aterro ou para vazadouro.

Para permitir a construção de curvas distintas em função das características geológicas e geotécnicas dos solos, será necessário determinar, em cada Pki, os *Volume de Escavação com recurso a Explosivo* e *Volume de Escavação Mecânica* e o volume nas distintas zonas de aterro.

Quadro 5.4 – Volumes de escavação com recurso a explosivos e mecânica.

Km	Volume de Escavação com recurso a Explosivo	Volume de Escavação Mecânica
Pki	ET <i>Ei</i>	ETMi

Quadro 5.5 – Volumes nas diferentes zonas de aterro

Km	Volume de aterro na Parte Inferior do Aterro	Volume de aterro na Corpo do Aterro	Volume de aterro na Parte Superior do Aterro
Pki	ATPIAi	ATCi	ATPSAi

Os valores dos Quadros 5.4 e 5.5, referem-se aos volumes em metro cúbico, na zona de influência de cada perfil:

ET*Ei* - *Volume de Escavação com recurso a Explosivo*;

ETMi - *Volume de Escavação Mecânica*.

Sendo:

$$ETi = ET_{Ei} + ET_{Mi} \quad (5.3)$$

e,

ATPIi - Volume de aterro a colocar *Parte Inferior do Aterro* (PIA);

ATCi - Volume de aterro a colocar *Corpo do Aterro* (C);

ATPSAi - Volume de aterro a colocar na *Parte Superior do Aterro* (PSA).

Sendo que:

$$AT_i = ATPI_i + ATC_i + ATPSA_i \quad (5.4)$$

Nestes cinco itens, a ausência de volumes discriminados que nos permitam agrupar os volumes, por Pk, é a situação mais corrente, devendo ser ultrapassada pelo recurso ao projeto geológico e geotécnico. O Caderno de Encargos e o Estudo Geológico e Geotécnico indicam as características dos materiais a escavar e a sua localização, assim como, as exigências a nível das características dos materiais a aplicar nas distintas zonas do aterro. Com base nessa informação deve-se estimar, em cada Pki, os volumes decompostos neste 5 itens: E, S, PIA, C e PSA.

Partindo do princípio que o material proveniente da *Escavação com recurso a Explosivo* é colocado na *Parte Inferior do Aterro* (PIA), devemos construir uma curva em que se calculem os momentos de transporte para a movimentação específica desses solos:

Quadro 5.6 – Volumes de *Escavação com recurso a Explosivo* e volumes na PIA e cálculo de volumes para construção da Curva de Brückner.

Volume de <i>Escavação com recurso a Explosivo</i>		Volume de aterro a colocar <i>Parte Inferior do Aterro</i>	VOLUMES Brückner CBexp
Pki	<i>ETEi</i>	<i>ATPIAi</i>	<i>ETEi – ATPIAi</i>

E uma segunda curva para os solos provenientes da *Escavação Mecânica*:

Quadro 5.7 – Volumes de *Escavação Mecânica* e volumes no corpo e PSA do aterro e respetivo cálculo de volumes para construção da Curva de Brückner.

	Volume de Escavação Mecânica	Volume de aterro a colocar <i>Corpo do Aterro</i>	Volume de aterro a colocar na Parte Superior do Aterro	VOLUMES Brückner CBmec
<i>Pki</i>	<i>ETMi</i>	<i>ATCi</i>	<i>ATPSAi</i>	<i>ETMi – ATCi – ATPSAi</i>

Será assim possível determinar duas curvas distintas e respetivas distâncias mínimas de transporte, respeitando os princípios base da Curva de Brückner.

5.2.3. VALIDAÇÃO DA SOLUÇÃO PROPOSTA

5.2.3.1- Aplicação simples

Partindo de um exemplo simples, que apresenta os valores dos volumes de escavação e aterro, excluindo volumes de terra vegetal e de solos rejeitados, obteremos os valores acumulados de acordo com o Método de Brückner (Quadro 5.8). Assim, podemos traçar a respetiva curva Brückner (Fig. 5.1). Estamos perante um exemplo em que a curva termina acima da LT., isto é, o volume de escavação é superior ao do aterro, o que implica o transporte de terras a vazadouro.

Quadro 5.8 – Volumes globais de escavação e aterro entre pk 0 ao Pk 0+450 e respetiva Curva de Brückner.

VOLUMES (m ³)			
	<i>ET_i</i>	<i>AT_i</i>	
Km	Escavação	Aterro	Bruckner
0+025.0	50,0	80,0	-30,0
0+050.0	100,0	20,0	50,0
0+075.0	250,0	0,0	300,0
0+100.0	500,0	0,0	800,0
0+125.0	1.000,0	0,0	1.800,0
0+150.0	1.650,0	0,0	3.450,0
0+175.0	1.500,0	0,0	4.950,0
0+200.0	2.150,0	0,0	7.100,0
0+225.0	3.000,0	0,0	10.100,0
0+250.0	1.200,0	0,0	11.300,0
0+275.0	1.200,0	400,0	12.100,0
0+300.0	120,0	1.200,0	11.020,0
0+325.0	0,0	3.600,0	7.420,0
0+350.0	0,0	1.800,0	5.620,0
0+375.0	0,0	1.000,0	4.620,0
0+400.0	0,0	700,0	3.920,0
0+425.0	0,0	200,0	3.720,0
0+450.0	0,0	0,0	3.720,0
Total:	12.720,0	9.000,0	

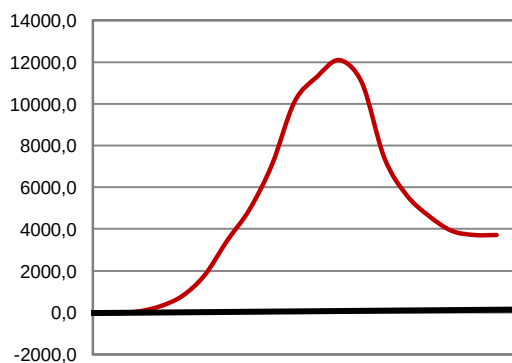


Fig. 5.1 – Curvas de Brückner Clássica.

De acordo com o critério definido no ponto anterior, atendendo à existência de desmonte com explosivos e considerando a sua aplicação na *Parte Inferior do Aterro* (PIA), localizado entre o Pk 0+275 e 0+350, separou-se a movimentação de solos em duas partes (Quadro 5.9). Nesta separação, destinou-se a primeira parte aos materiais rochosos e a segunda parte aos solos sendo, assim, possível obter duas curvas de Brückner em função das características do material escavado (Fig. 5.2).

Quadro 5.9 – Volumes de Escavação com recurso a Explosivo e aterro na PIA, à esquerda, volumes de Escavação Mecânica, Corpo do Aterro e PSA, no quadro da direita.

Km	VOLUMES DE ESCAVAÇÃO <i>ETEi</i>	VOLUMES DE ATERRO <i>ATPIAi</i>	BrucKner
	Explosivos	PIA	
0+025.0	0,0	0,0	0,0
0+050.0	0,0	0,0	0,0
0+075.0	0,0	0,0	0,0
0+100.0	100,0	0,0	100,0
0+125.0	400,0	0,0	500,0
0+150.0	900,0	0,0	1.400,0
0+175.0	1.000,0	0,0	2.400,0
0+200.0	2.000,0	0,0	4.400,0
0+225.0	3.000,0	0,0	7.400,0
0+250.0	1.200,0	0,0	8.600,0
0+275.0	800,0	400,0	9.000,0
0+300.0	0,0	1.000,0	8.000,0
0+325.0	0,0	3.000,0	5.000,0
0+350.0	0,0	1.000,0	4.000,0
0+375.0	0,0	0,0	4.000,0
0+400.0	0,0	0,0	4.000,0
0+425.0	0,0	0,0	4.000,0
0+450.0	0,0	0,0	4.000,0
Total:	9.400,0	5.400,0	

Km	VOLUMES DE ESCAVAÇÃO <i>ETMi</i>	VOLUMES DE ATERRO <i>ATCi+ ATPIAi</i>	BrucKner
	Mecânica	Corpo+PSA	
0+025.0	50,0	80,0	-30,0
0+050.0	100,0	20,0	50,0
0+075.0	250,0	0,0	300,0
0+100.0	400,0	0,0	700,0
0+125.0	600,0	0,0	1.300,0
0+150.0	750,0	0,0	2.050,0
0+175.0	500,0	0,0	2.550,0
0+200.0	150,0	0,0	2.700,0
0+225.0	0,0	0,0	2.700,0
0+250.0	0,0	0,0	2.700,0
0+275.0	400,0	0,0	3.100,0
0+300.0	120,0	200,0	3.020,0
0+325.0	0,0	600,0	2.420,0
0+350.0	0,0	800,0	1.620,0
0+375.0	0,0	1.000,0	620,0
0+400.0	0,0	700,0	-80,0
0+425.0	0,0	200,0	-280,0
0+450.0	0,0	0,0	-280,0
Total:	3.320,0	3.600,0	

Como seria de esperar, a soma algébrica dos volumes das duas curvas é igual ao volume da curva global de Brückner. No entanto, constata-se que o material proveniente da *Escavação com recurso a Explosivo* apresenta um volume a levar a vazadouro superior ao valor global. De forma inversa, é deficitário o *Escavação Mecânica* em solos para aplicação no *Corpo do Aterro* e na *Parte Superior do Aterro*.

Esta solução não seria a mais económica já que, teríamos que transportar a vazadouro mais 280 m³ de material rochoso e teríamos que recorrer a empréstimo de 280 m³ de solos.

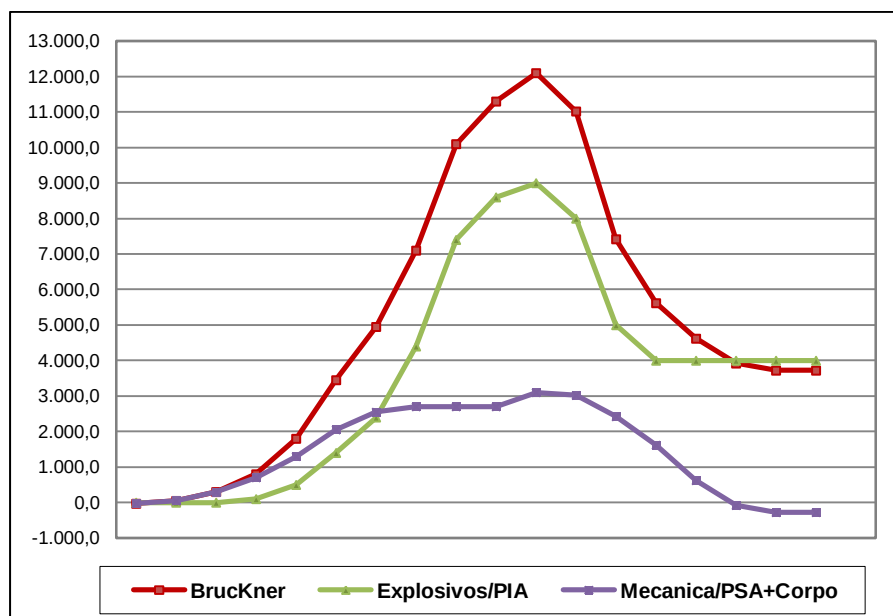


Fig. 5.2 – Curvas de Brückner – CB, CBexp e CBmec

Para simplificar a identificação das distintas curvas de Brückner, passaremos a adotar, para a curva de Brückner, as seguintes designações:

- CB - Curva de Brückner total;
- CBexp - Curva de Brückner com volumes acumulados de *Escavação com recurso a Explosivo* deduzido dos volumes aplicados na *Parte Inferior do Aterro* (PIA);
- CBmec - Curva de Brückner desenhada com base nos volumes acumulados de *Escavação Mecânica*, deduzida dos volumes de solos colocados no *Corpo do Aterro* e na *Parte Superior do Aterro* (PSA).

5.2.3.2- Aplicação Sugerida

Atendendo a que os volumes de *Escavação com recurso a Explosivo* são aplicados nas *Parte Inferior do Aterro* de grandes dimensões (ou com uma altura elevada entre rasante e cota do terreno), devemos criar uma primeira curva de Brückner que reflita a distância que esses solos irão percorrer.

Podemos encontrar as seguintes situações:

- os volumes de *Escavação com recurso a Explosivo* e os volumes de aterro a aplicar nas *Parte Inferior do Aterro*, equilibram-se;
- os volumes de *Escavação com recurso a Explosivo* são superiores ao volume necessário na *Parte Inferior do Aterro*;
- os volumes de *Escavação com recurso a Explosivo* são inferiores ao volume necessário na *Parte Inferior do Aterro*;

No caso A - como existe equilíbrio de volumes, a curva de Brückner, construída com base nos volumes de *Escavação com recurso a Explosivo* e aterro na *Parte Inferior do Aterro*, termina na LT. A elaboração de uma nova curva de Brückner com os restantes materiais provenientes da *Escavação*

Mecânica a incorporar no *Corpo do Aterro* e na *Parte Superior do Aterro*, permitirá o cálculo da distância mínima de transporte e do respetivo momento de transporte, conforme descrito nos pontos anteriores.

No caso B - a curva de Brückner, construída com base nos volumes de *Escavação com recurso a Explosivo* e aterro na *Parte Inferior do Aterro*, termina acima da LT, o que significa que sobra material rochoso (Fig. 5.3).

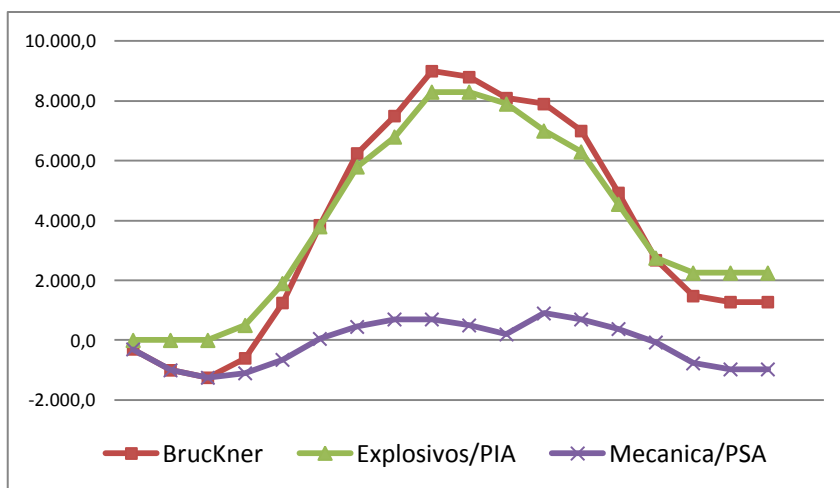


Fig. 5.3 – Curvas de Brückner: CB, CBexp, CBmec

Considerando que a linha de distribuição mais económica para a *Escavação com recurso a Explosivo* é a linha L1T1, Fig. 5.4, todo o volume de terras entre LT e L1T1 deve ser transferido para o cálculo de volumes da curva de Brückner, da restante movimentação de solos.

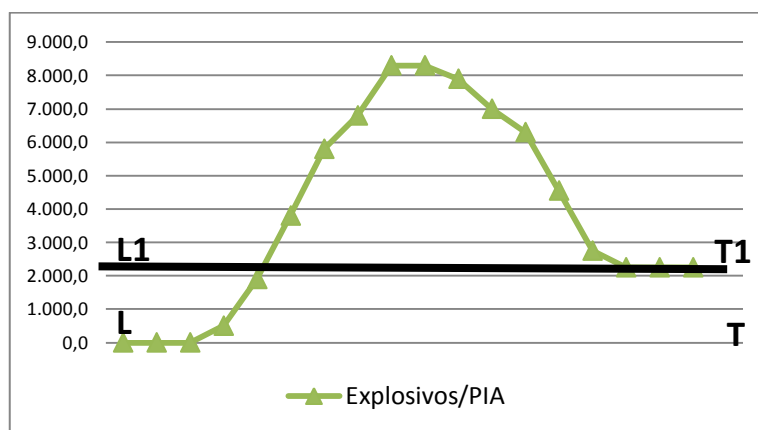


Fig. 5.4 – Curva de Brückner – volumes escavados com recurso a explosivo e volume da PIA

Ao volume de *Escavação Mecânica* deverá acrescer-se o volume, não equilibrado, de *Escavação com recurso a Explosivo*, anteriormente descrito. Com os volumes de escavação, por Pki, e os volumes de aterro no *Corpo do Aterro* e na *Parte Superior do Aterro*, será possível determinar a linha de distribuição mais económica (Fig. 5.5).

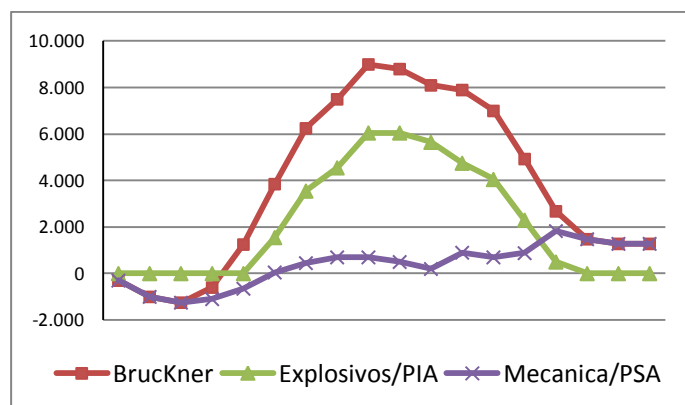


Fig. 5.5 – Curva de Brückner – volumes escavados com recurso a explosivo e volume da PIA

No caso C - a curva de Brückner, construída com base nos volumes de *Escavação com recurso a Explosivo* e aterro na *Parte Inferior do Aterro*, termina abaixo da LT (Fig. 5.6 e 5.7), o que significa que o volume de escavação não é suficiente para o preenchimento (ou execução) de todo o volume da *Parte Inferior do Aterro*. Para se obter o equilíbrio da curva de Brückner com explosivo, CBexp, pode-se considerar:

- apenas a aplicação nos aterros com maior volume;
- a redução proporcional, em todos os Pki onde esteja prevista a execução das PIA, convertendo essa zona do aterro de execução com enrocamento em solo-enrocamento.

Nas duas situações, devemos obter o equilíbrio entre a *Escavação com recurso a Explosivo* e o volume a aplicar na *Parte Inferior do Aterro*, refazendo o quadro de volumes respetivo.

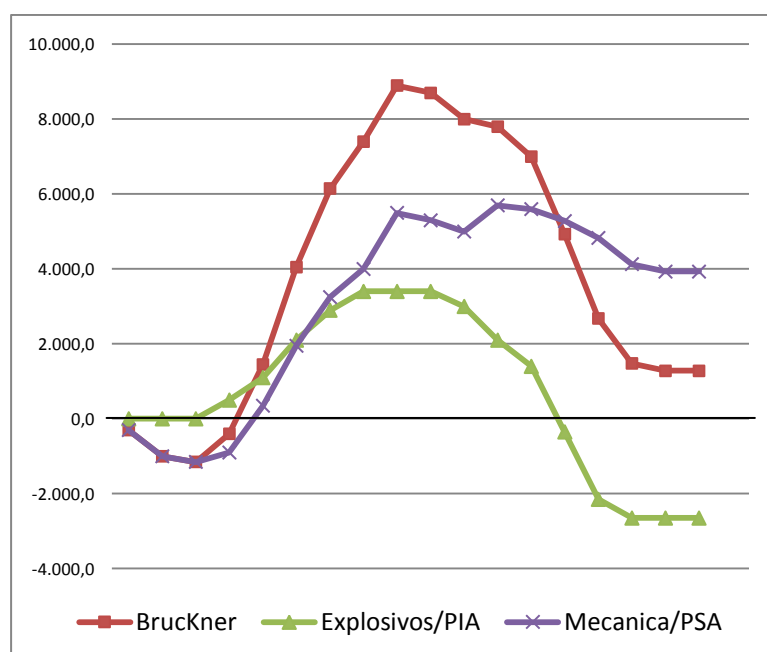


Fig.5.6 – Curvas de Brückner: CB, CBexp , CBmec.

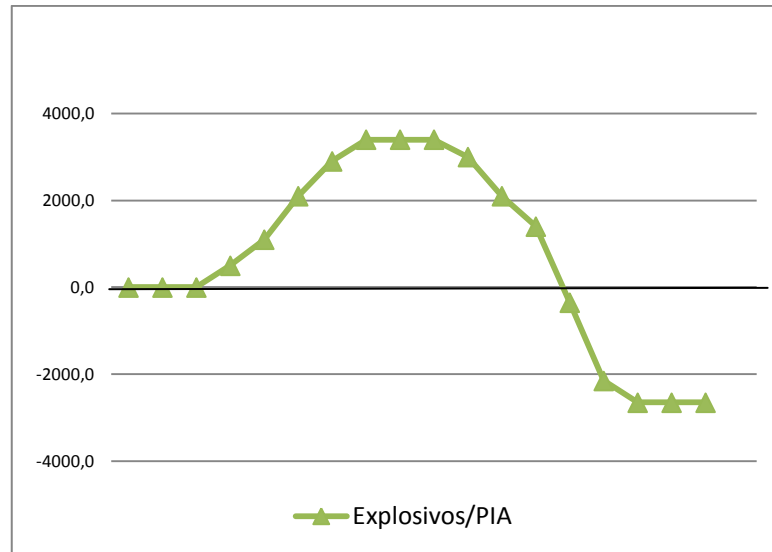


Fig.5.7 – Curva de Brückner – CBexp , com deficit de material rochoso.

No quadro de volumes, para a construção da 2.^a curva de Brückner, ao volume de aterro (*Parte Superior do Aterro + Corpo do Aterro*) deverá acrescer-se o volume não preenchido com material proveniente da *Escavação com recurso a Explosivo* (parte residual da PIA) (Fig. 5.8). Com os volumes da *Escavação Mecânica*, por Pki, e os volumes de aterro (*Corpo do Aterro, Parte Superior do Aterro* e parte residual da PIA) será possível determinar a linha de distribuição mais económica, seguindo os critérios definidos no Cap. 2.

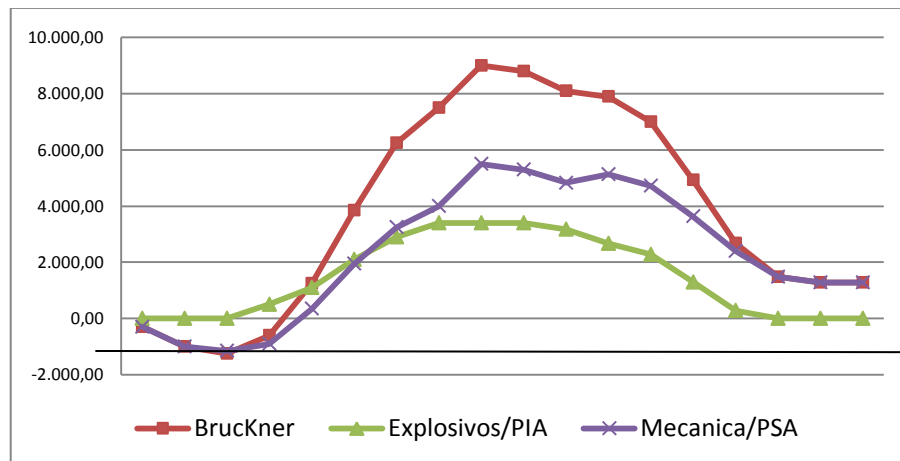


Fig.5.8 – Curvas de Brückner: CB, CBexp , CBmec .

Validemos se as soluções propostas satisfizerem os princípios base de Brückner, anteriormente descritos: o volume global é uma constante, ao ser dividido em múltiplos volumes parciais, v_i ; o somatório no Pki é igual aos volumes parciais das diferentes curvas de Brückner nesse mesmo Pki. A determinação da distância mínima de transporte em cada curva de Brückner irá permitir determinar os menores momentos de transporte, sendo que o momento de transporte global é igual ao somatório dos diferentes momentos de transporte.

5.3. A CONDICIONANTE TEMPORAL

Conforme descrevemos no Capítulo 4, as barreiras naturais e construtivas podem condicionar temporalmente a movimentação de volumes de terras, pois podem não estar reunidas as condições para que o volume seja movimentado no mesmo espaço temporal. Estas condicionantes irão trazer implicação ao nível do desenvolvimento das movimentações de terras, de ordem temporal, o que obrigará a faseamentos construtivos. O volume de escavação/aterro da zona condicionada, a efetuar numa fase temporal t_i da empreitada, deverá ser incluída num outro mapa de volumes dando origem a uma nova curva de Brückner t_i . Devem ser determinadas tantas curvas de Brückner quantos os faseamentos construtivos planeados.

O volume de terras da zona condicionada, confinada a perfis bem definidos, não deve ser incluído no cálculo da curva de Brückner inicial.

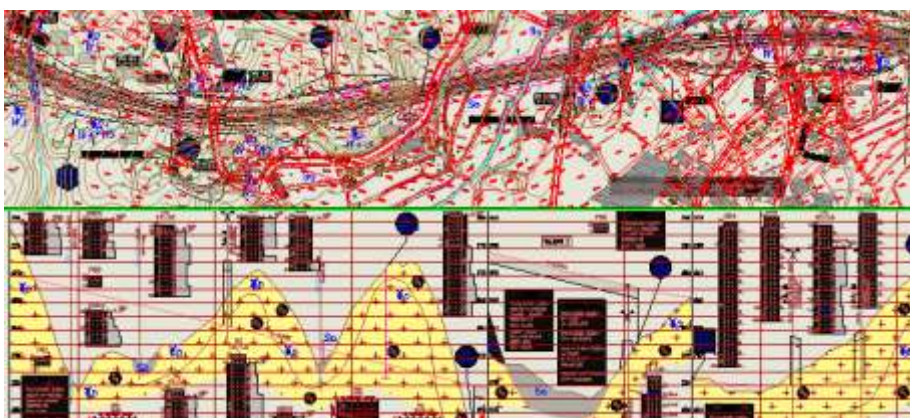


Fig.5.9 – Planta Geológica e Perfil Geotécnico.

Considerando, como exemplo, um troço de via com cerca de 2400 metros em que as terras praticamente se equilibram, apenas 40286 m³ seriam transportadas a vazadoiro. No entanto neste troço estão previstos executar dois viadutos, o que condiciona o transporte das terras ao longo da linha (Fig. 5.10).

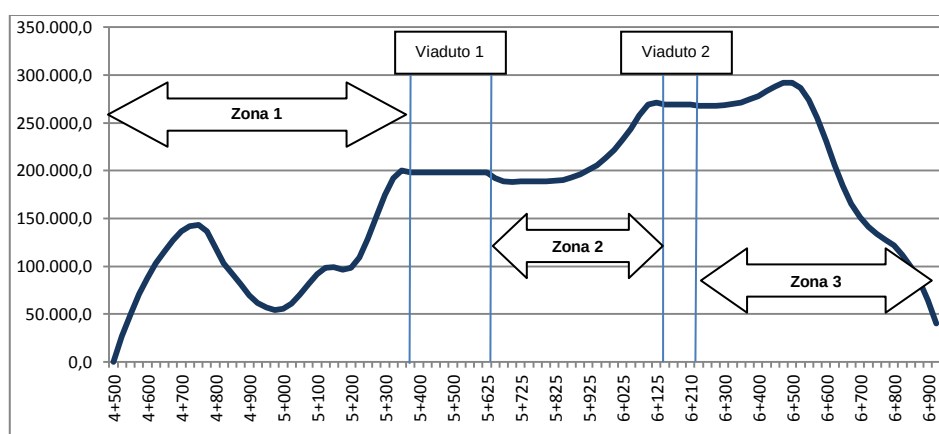


Fig.5.10 – Curva de Brückner

Analisando as condições locais, as condicionantes de planeamento de obra e a análise da curva de Brückner, podem ser colocadas várias hipóteses, de movimentação de solos, carecendo sempre de validação técnica e económica.

- Condições locais- validar a possibilidade de transporte dos solos por estrada, fora da linha, medindo a distância a percorrer entre a saída e a entrada novamente na linha;
- Condicionante de planeamento- o prazo previsto para a execução da empreitada condiciona a execução de todas as movimentações de terras em simultâneo ou permite o faseamento temporal na procura da solução economicamente mais vantajosa;
- Curva de Brückner – a sua análise permite visualizar as diferentes hipóteses que se podem colocar na elaboração da movimentação de terras.

No presente exemplo constata-se que a Zona 2, entre viadutos, é maioritariamente em escavação, a Zona 3 é maioritariamente em aterro e a Zona 1 tem excesso de solos.

Deve-se analisar as seguintes hipóteses:

- No intervalo de tempo t1 não serão executadas as movimentações de solos entre o viaduto 1 e o viaduto 2, ficando a Zona 2 para execução num espaço temporal t2; por motivos construtivos, devem ficar condicionados alguns metros que antecedem os viadutos, neste caso foram considerados 100m;
- No intervalo de tempo t1 só serão executadas as movimentações de solos na Zona 1. A movimentação de terras da Zona 2 e da Zona 3, ficam para execução num espaço temporal t2, quando já estiverem reunidas as condições para passagem com os solos por cima do viaduto 2;
- No intervalo de tempo t1 serão executadas as movimentações de terras em todas as zonas, ficando apenas condicionadas, por motivos construtivos, as zonas confinantes aos viadutos.

Analisemos, agora, como podemos aplicar o método da curva de Brückner às situações que acabamos de descrever:

No caso A – No intervalo temporal t1, deparamo-nos com uma Zona 1 com escavações em excesso e uma Zona 3 com necessidade de solos para execução dos aterros (Fig. 5.11). Deverá ser feita a análise sobre a viabilidade técnica e económica do transporte, por estrada, dos solos em excesso da Zona 1 para a Zona 3.

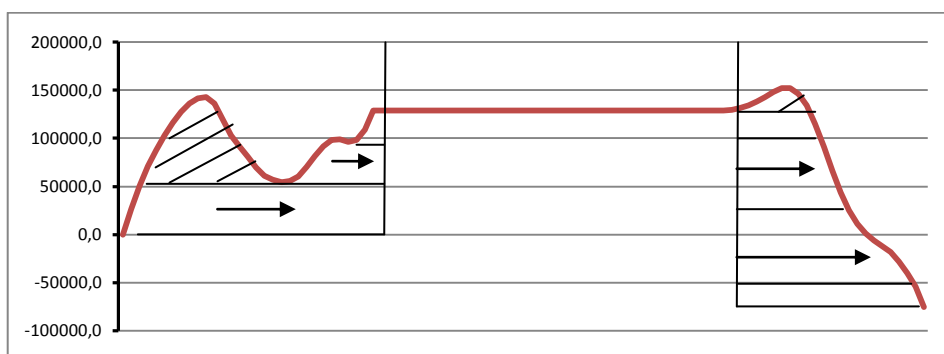


Fig.5.11 – Curva de Brückner no intervalo de tempo t1- CB t1 – Caso A

Sendo viável essa hipótese deverá ser desenhada nova curva de Brückner em que se “engane” a curva de um comprimento igual ao acréscimo da distância que terá que ser percorrido (Fig. 5.12).

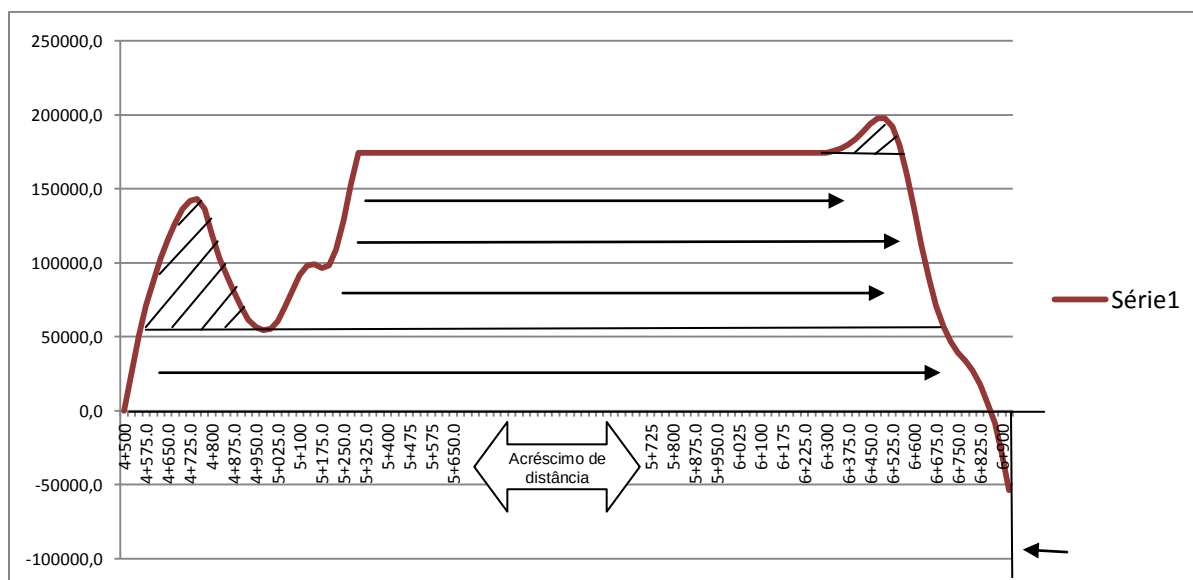


Fig.5.12 – Curva de Brückner no intervalo de tempo t1 com acréscimo de distância de transporte- CB' t1- Caso A

No espaço temporal t2, seriam executadas as movimentações de terras da Zona 2, o que levaria a que fossem transportadas a depósito a parte sobrança das terras (Fig. 5.13).

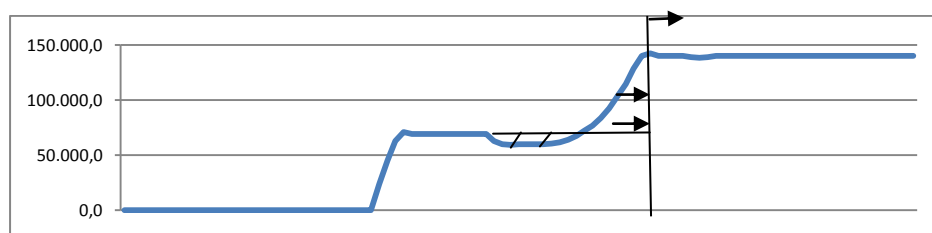


Fig.5.13 – Curva de Brückner no intervalo de tempo t2- CB t2 – Caso A

No caso B – No intervalo temporal t1, deparamo-nos com uma Zona 1 com escavações em excesso (Fig. 5.14), cujos solos podem ser transportados para depósitos definitivos ou provisórios, caso se vá utilizar para os aterros a executar numa fase temporal t2. Esta análise deve ser feita à luz da viabilidade técnica e económica em transportar solos da Zona 1 para depósito provisório e posteriormente para execução de aterros na Zona 3.

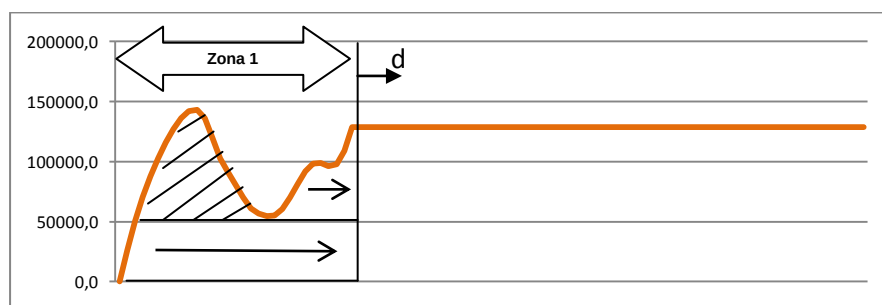


Fig.5.14 – Curva de Brückner no intervalo de tempo t1- CB t1

No espaço temporal t_2 , seriam executadas as movimentações de terras da Zona 2 e Zona 3 podendo ser utilizadas as terras sobrando da Zona 1 ou recorrer a terras de empréstimo para execução de parte do aterro (Fig. 5.15).

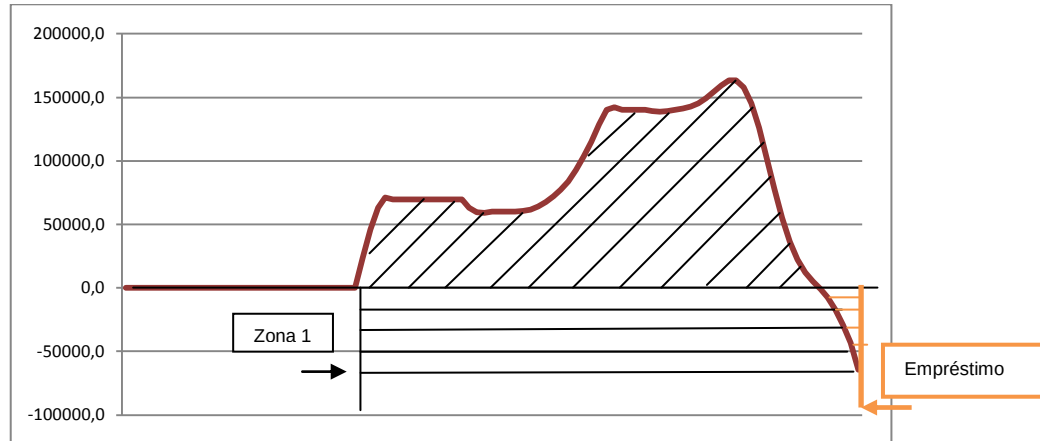


Fig.5.15 – Curva de Brückner

No caso C – No intervalo temporal t_1 , serão efetuados as escavações e aterros em todas as zonas.

Na Zona 1, existe uma saída da linha de obra que permite transportar os solos em excesso a depósito d_1 (na zona sinalizada a tracejado na Fig. 5.16). Na Zona 2, o volume de escavações em excesso será transportada para o depósito d_2 . Na Zona 3 serão necessários solos de empréstimo para execução dos aterros dessa zona, os quais poderão entrar na linha proveniente de empréstimo, e_1 (Fig. 5.16).

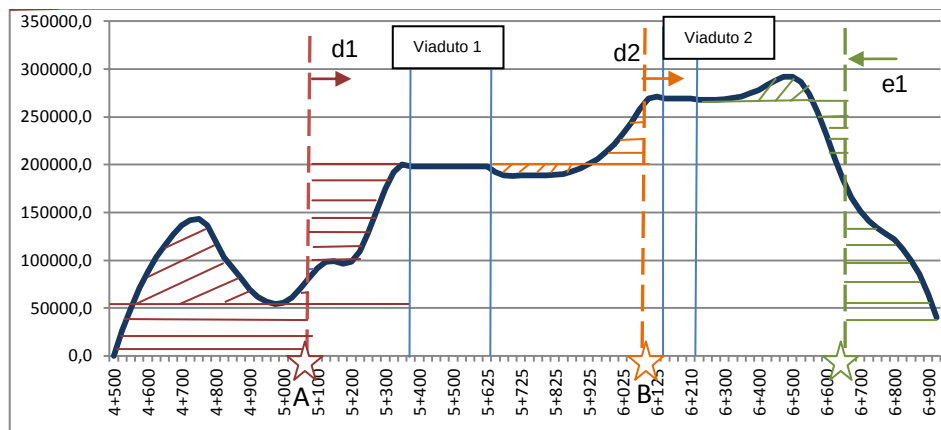


Fig.5.16 – Curva de Brückner no intervalo de tempo t_1 - CB t_1

Atendendo à necessidade de solos na Zona 3 deverá ser ponderada a hipótese técnica, económica e temporal de movimentar os solos em excesso no Pk A e no Pk B para a execução desses aterros.

As soluções propostas satisfazem os princípios base de Brückner, já que ao ser dividido em múltiplas curvas de Brückner, o somatório dos vi das diferentes curvas, em cada Pki, é igual ao volume da curva de Brückner total.

5.4. A CONDICIONANTE GEOTÉCNICA E TEMPORAL

Conforme se descreveu nos pontos anteriores as condicionantes geológicas e geotécnicas assim como as condicionantes temporais, não constituem limitações à aplicação da teoria da Curva de Brückner.

Falta agora analisar a situação de as duas condicionantes ocorrerem em simultâneo. Caso existam de barreiras físicas, aplicam-se dos critérios de análise sugeridos no ponto 5.3 seguidos de uma divisão das curvas em função das características dos materiais escavados e zonamento dos aterros conforme definido no ponto 5.2. Outra situação que pode envolver questões geotécnicas e de faseamento construtivo ocorre quando da análise dos Estudos Geológicos e Geotécnicos e do Caderno de Encargos, se constata que a *Escavação com recurso a Explosivo* se encontra a alguma profundidade.

Vejam assim como adaptar o método de Brückner a situações em que as condicionantes geotécnicas afetem o faseamento construtivo. Isto ocorre, por exemplo, quando é necessário executar a *Parte Inferior do Aterro* com materiais provenientes da *Escavação com recurso a Explosivo* (camada de enrocamento), sendo necessário remover as camadas superficiais, já que os materiais pouco alterados não se encontram à superfície.

5.4.1. CONDICIONANTE GEOTÉCNICA COM IMPLICAÇÕES NO FASEAMENTO CONSTRUTIVO

Seguindo o método proposto no ponto 5.2, deve fazer-se a divisão da Curva de Brückner em duas curvas: uma que represente *Escavação com recurso a Explosivo* e colocação na *Parte Inferior do Aterro* e outra relativa à *Escavação Mecânica* e à sua colocação no *Corpo do Aterro* e na *Parte Superior do Aterro*. Obteríamos numa fase inicial as seguintes curvas:

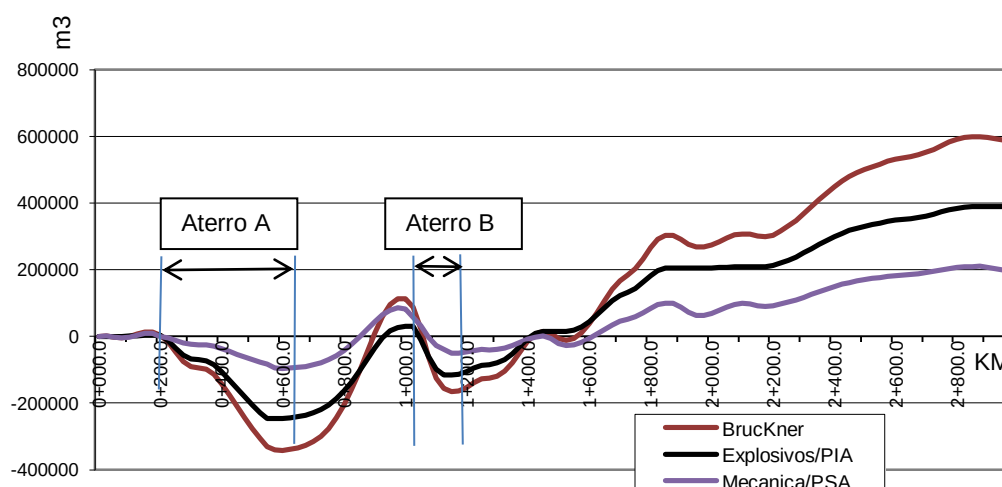


Fig.5.17 – Curvas de Brückner: CB, CBexp , CBmec

Vamos considerar que para execução das partes inferiores de dois grandes aterros, o aterro A e o aterro B, está prevista a utilização de enrocamento, proveniente de *Escavação com recurso a Explosivo* que se encontram nos cortes contíguos a estes aterros, mas a profundidades superiores a 3 metros.

Estamos assim confrontados com uma nova situação que, para além da condição geotécnica, obriga à definição de um faseamento que permita, num primeiro tempo t1, garantir a remoção das camadas superiores às zonas de rocha.

Num tempo t2 deve executar-se o desmonte da rocha o que permitirá obter o enrocamento para colocação e execução da PIA.

Num tempo t3 serão executados os restantes movimentos de solos.

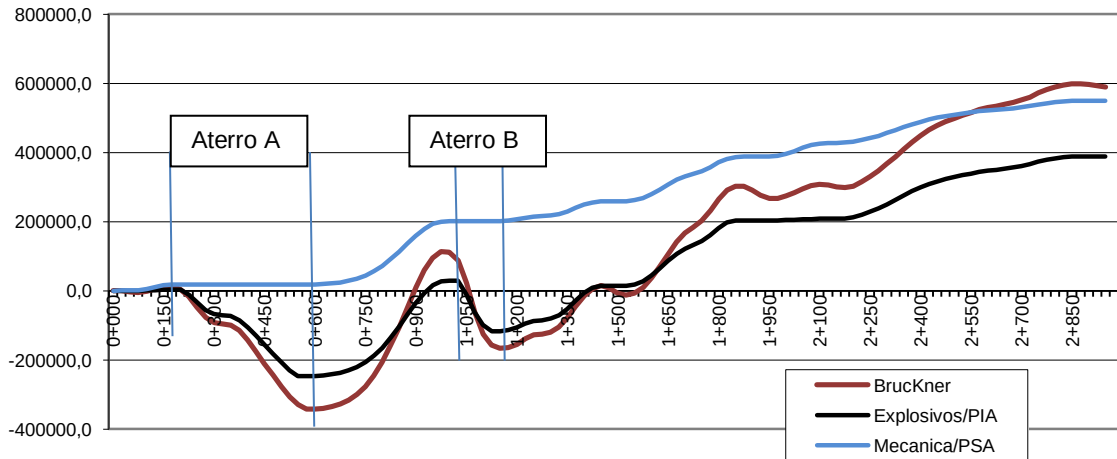


Fig.5.18 – Curvas de Brückner tempo t1: CB, CBexp , CBmec.

Vamos considerar que no tempo t1 iremos proceder à *Escavação Mecânica* das zonas de corte contíguas aos aterros A e B transportando os solos para depósitos provisórios ou definitivos. Num tempo t2 será efetuada a *Escavação com recurso a Explosivo* e aterrada a zona inferior dos aterros A e B. Para um tempo t3 fica a restante movimentação de terras.

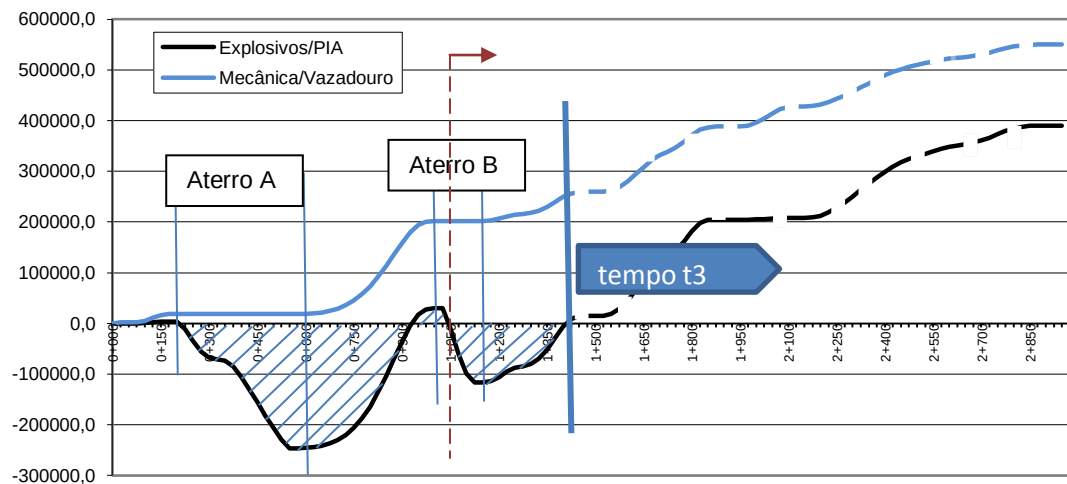


Fig.5.19 – Curva de Brückner tempo t1 e Curva Brückner tempo t2.

A curva de Brückner *Escavação Mecânica* /Vazadouro foi obtida considerando apenas as escavações e não entrando com qualquer volume de aterro. Também se considerou que os solos são transportados para depósito ao quilómetro 1+050. Este é o movimento inicial -CB1.

No tempo t2 foi considerado o volume de *Escavação com recurso a Explosivo* e aterro nas *Parte Inferior do Aterro - CB 2* – representada a preto na Fig. 5.19.

Todos os volumes de solos, para além dos necessários para o equilíbrio da parte inferior dos grandes aterros, serão executados num tempo t3, devendo ser estudadas as diversas hipóteses que se podem colocar:

- O depósito constituído com os solos escavados em t1 é definitivo, não se entrando com esses volumes de escavação na Curva de Brückner, dando origem à CB3 da Fig. 5.20.

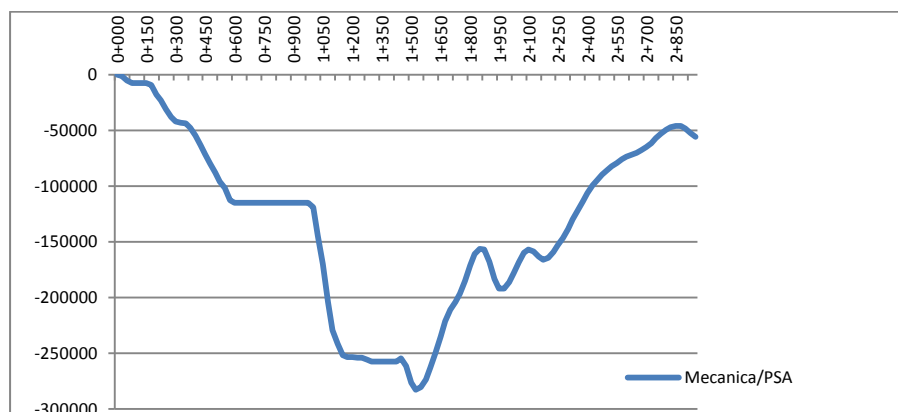


Fig.5.20 – Curvas de Brückner - CBmec t3.

- O depósito constituído com os solos escavados em t1 é provisório, devendo ser considerado como terras de empréstimo, dando origem à CB3' da Fig. 5.21

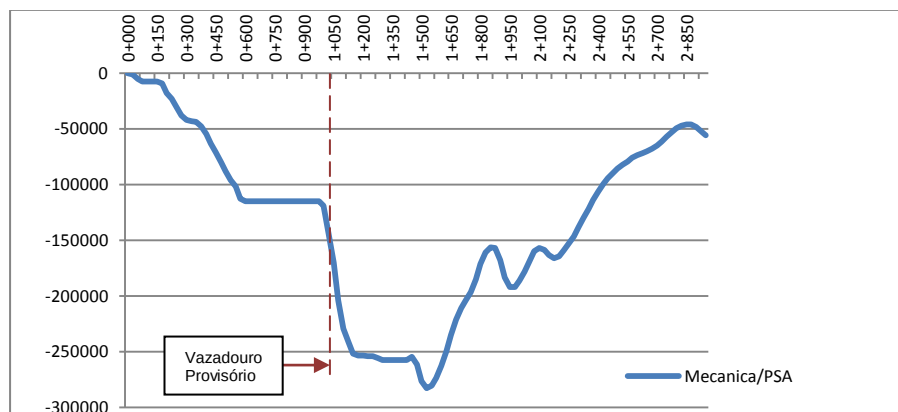


Fig.5.21 – Curvas de Brückner CBmec t3.

A curva de Brückner de Volume de Escavação com recurso a Explosivo e colocação em PIA está representada na Fig. 5.22 para o tempo t3 .

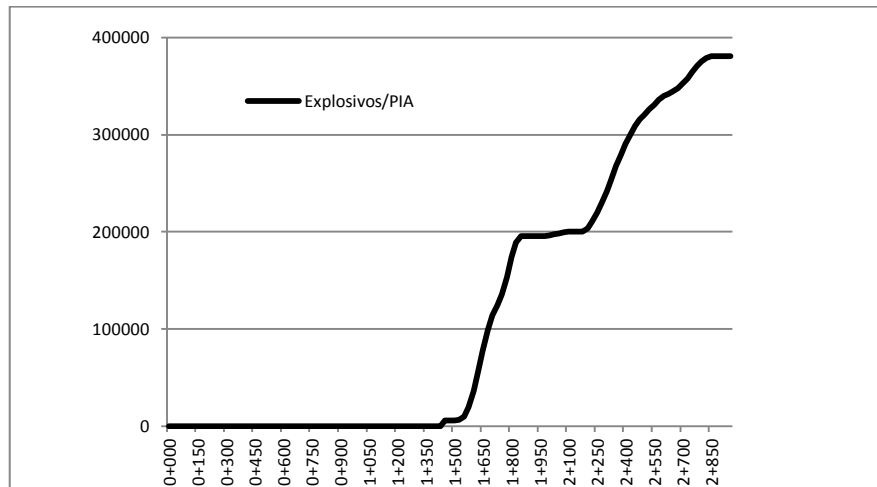


Fig.5.22 – Curvas de Brückner CBexp t3

A curva de Brückner total neste tempo 3 de Volume de Escavação com recurso a Explosivo e colocação em PIA, a que se representa na Fig. 5.22.

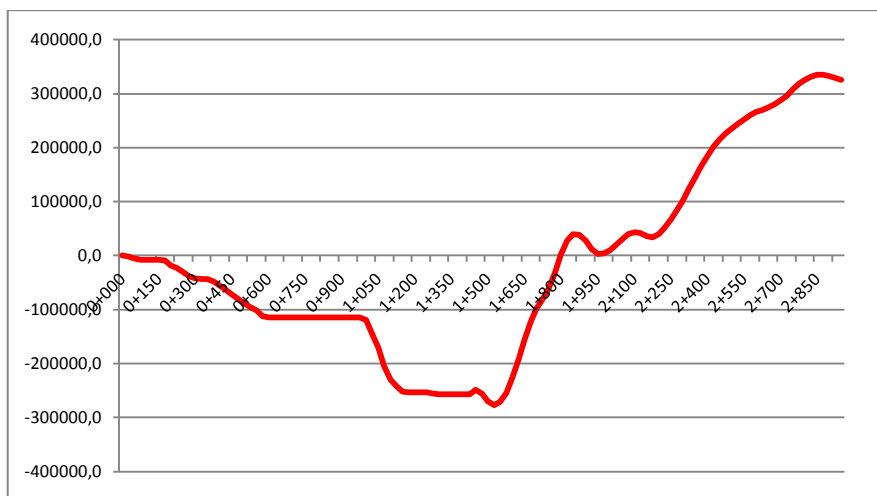


Fig.5.23 – Curva de Brückner total no tempo 3 – CB t3

Validemos se as soluções propostas satisfazem os princípios base de Brückner, isto é, se ao dividir em múltiplas curvas de Brückner, o somatório dos vi das diferentes curvas em cada Pki, é igual ao volume nesse mesmo Pki da curva de Brückner total.

Como se pode constatar no Quadro 5.10 o somatório dos volumes nos Pk 0+000, 0+025, 1+400, 1+425, 2+925 e em 2+950, correspondente aos volumes no tempo t1, t2 e t3, é igual ao volume da curva de Brückner total em cada um destes Pk's.

Quadro 5.10 – Volumes por Pki função do tempo e das características geotécnicas

Tempo		0+000	0+025.0	1+400.0	1+425	2+925	2+950.0
Tempo t1	Mecânica/PSA	0	2039	249555	255812	255812	255812
Tempo t1	Explosivos/PIA+C	0	0	0	0	0	0
Tempo t2	Mecânica/PSA	0	0	0	0	0	0
Tempo t2	Explosivos/PIA+C	0	0	-6013	8588	8588	8588
Tempo t3	Mecânica/PSA	0	-1393	-257573	-257575	-52239	-55906
Tempo t3	Explosivos/PIA+C	0	0	0	0	380960	380960

6

ESTUDO DE UM CASO COM RECURSO À EXTENSÃO DA TEORIA DE BRÜCKNER

6.1. O OBJETIVO

Pretende-se validar a aplicação da extensão do método da curva de Brückner, conforme proposto no Capítulo 5, transformando a teoria de Brückner num instrumento atual de planeamento de obras de movimentação de solos, permitindo a definição e o levantamento das várias soluções que se possam colocar e auxiliando a encontrar a movimentação que garanta menores distâncias de transporte.

Embora se trate de um exercício académico, iremos recorrer a elementos de um projeto viário, já edificado, não tendo por objetivo relatar o que foi a execução da obra mas apenas aproveitar os dados disponíveis do projeto. Iremos ao longo deste Capítulo 6, relatar as fases de preparação da terraplenagem de uma obra, aproveitando os elementos do projeto da Autoestrada A42- Scut do Grande Porto, Lanço Nó de Ermida – Paços de Ferreira, para determinar as menores distâncias de transporte dos solos com recurso à extensão da teoria proposta.

Este projeto, com uma extensão de 9,643 Km encontra-se dividido em 4 Troços distintos, dois Nós o Nó de Seroa e o Nó de Paços de Ferreira e vários restabelecimentos:

Selecionamos para o estudo do caso o Troço 1 que se desenvolve entre o Pk 0+000 e o Pk 2+950. Neste troço é caracterizado por grandes escavações, que atingem ao eixo em alguns pontos 30 metros, com necessidade de *Escavação com recurso a Explosivo* para o seu desmonte e aterros que atingirão cerca de 38m ao eixo, prevendo mesmos a instalação de banquetas em dois dos aterros.

O volume de escavação estimado é de 1 336 829 m³ e um volume de aterro estimado de 747 184 m³, para esta Zona 1, estando assim previsto um grande volume de solos a transportar a vazadouro.

No final deste Troço 1 inicia-se a Troço 2, caracterizado por excesso de escavação e um Nó, o Nó da Seroa, com necessidade de 244 000 m³ solos de empréstimo para execução dos aterros dos diversos ramos e acessos.

6.2. A ENVOLVENTE

Conforme descrevemos no Capítulo 5, deverá efetuar-se um levantamento exaustivo das condicionantes locais que possam trazer implicações para o normal desenvolvimento da movimentação de terras.

Analisando as condições locais por recurso à consulta das diversas plantas e perfis do projeto, das cartas militares, das estradas nacionais e municipais na proximidade do projeto encontrando-se algumas interseções do novo traçado com estradas e caminhos existentes. Estas interseções podem ser utilizados como acessos à frente de obra ou como saída de solos para vazadouros. e noutras situações impõem condicionalismos ao normal planeamento da obra. Este condicionalismo a que fazemos referência ocorrem próximo do Pk 1+380 e do Pk 2+400 onde estava previsto construir duas passagens superiores.

Neste troço estão igualmente previstas a execução de três passagens superiores: a PS1 ao Pk 0+700 a PS2 ao Pk 1+400 e a PS3 ao Pk 2+400 sendo necessário avaliar, função do método construtivo empregue para a sua construção, em que fase será executada a escavação prevista para esse local e qual a prioridade na sua execução, isto é em que tempo ti.

Consideremos não existir qualquer condicionante relacionada com a possibilidade temporal de execução do Nó da Seroa, com necessidade de 244 000 m³ de terras, nem com as características dos materiais a aplicar na execução dos aterros desse mesmo Nó, considerando-se para efeito do estudo da Zona 1 como se um depósito se tratasse.

Com os dados facultados no projeto, volume de solos a escavar e a aterrar por Pki, tal como se apresenta de uma forma exemplificativa no Quadro 6.2 (de uma forma completa em Anexo), determina-se os valores acumulados dos volumes em cada Pki. Será assim possível, com volumes acumulados, desenhar a Curva de Brückner global, conforme se ilustra na Fig. 6.1.

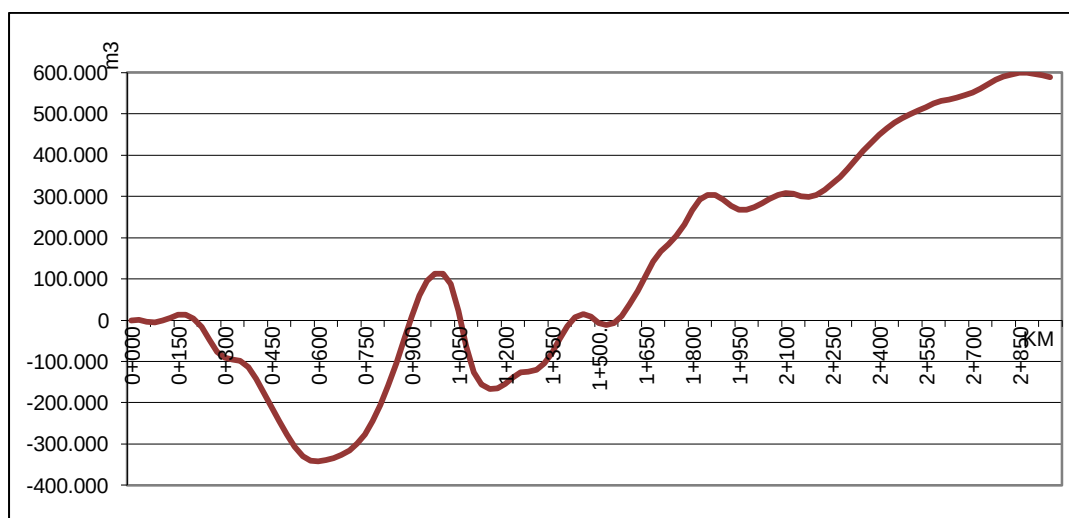


Fig.6.1 – Curva de Brückner total do Troço 1- CB

Quadro 6.1 – Resumo das terraplenagens para a Zona 1.1 e cálculo de volumes para elaboração da Curva de Brückner (do Pk 0+000 ao Pk 0+775)

PLENA VIA
Z1 - Pk 0+000 a Pk 2+953

Km	ÁREAS (m2)		VOLUMES (m3)		DECAPAGEM (m3)		SANEAMENTO		LEITO PAVIMENTO (m3)		VOL. ACUMUL. DO CÁLCULO AUTOMÁTICO (m3)		BrucKner
	Escavação	Aterro	Escavação	Aterro	Escavação	Aterro	Escavação	Aterro	Escavação	Aterro	Escavação	Aterro	
0+000,0	145,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0		0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
0+025,0	0,0	107,8	1.813,0	1.348,0	0,0	118,0	0,0		226,0	73,0	2.039,0	1.393,0	646,0
0+050,0	0,0	184,0	0,0	3.648,0	0,0	245,0	0,0		0,0	145,0	2.039,0	5.141,0	-3.102,0
0+075,0	42,1	0,4	526,0	2.306,0	89,0	142,0	0,0		67,0	78,0	2.543,0	7.511,0	-4.968,0
0+100,0	260,6	0,0	3.783,0	5,0	241,0	16,0	0,0		135,0	5,0	6.220,0	7.527,0	-1.307,0
0+125,0	362,7	0,0	7.791,0	0,0	321,0	2,0	0,0		139,0	0,0	13.829,0	7.529,0	6.300,0
0+150,0	160,0	0,0	6.535,0	0,0	294,0	2,0	0,0		139,0	0,0	20.209,0	7.531,0	12.678,0
0+175,0	3,9	131,1	2.050,0	1.639,0	141,0	117,0	0,0		77,0	57,0	22.195,0	9.230,0	12.965,0
0+200,0	0,0	566,0	49,0	8.714,0	16,0	312,0	0,0		8,0	124,0	22.236,0	18.132,0	4.104,0
0+225,0	0,0	1071,4	0,0	20.467,0	0,0	196,0	0,0		0,0	133,0	22.236,0	38.662,0	-16.426,0
0+250,0	0,0	1392,4	0,0	30.798,0	0,0	0,0	0,0		0,0	133,0	22.236,0	69.327,0	-47.091,0
0+275,0	0,0	921,5	0,0	28.925,0	0,0	203,0	0,0		0,0	133,0	22.236,0	98.322,0	-76.086,0
0+300,0	0,0	270,1	0,0	14.895,0	0,0	339,0	0,0		0,0	132,0	22.236,0	113.424,0	-91.188,0
0+325,0	0,0	31,5	0,0	3.770,0	0,0	238,0	0,0		0,0	133,0	22.236,0	117.299,0	-95.063,0
0+350,0	0,2	242,6	2,0	3.425,0	2,0	255,0	0,0		0,0	132,0	22.236,0	120.847,0	-98.611,0
0+375,0	0,0	951,4	2,0	14.924,0	2,0	408,0	0,0		0,0	132,0	22.236,0	136.047,0	-113.811,0
0+400,0	0,0	1307,4	0,0	28.234,0	0,0	491,0	0,0		0,0	133,0	22.236,0	164.639,0	-142.403,0
0+425,0	0,0	1313,5	0,0	32.761,0	0,0	459,0	0,0		0,0	133,0	22.236,0	197.726,0	-175.490,0
0+450,0	0,0	1395,1	0,0	33.858,0	0,0	222,0	0,0		0,0	133,0	22.236,0	231.673,0	-209.437,0
0+475,0	0,0	1346,2	0,0	34.266,0	0,0	0,0	0,0		0,0	132,0	22.236,0	265.807,0	-243.571,0
0+500,0	0,0	1273,1	0,0	32.741,0	0,0	210,0	0,0		0,0	133,0	22.236,0	298.625,0	-276.389,0
0+525,0	0,0	1114,0	0,0	29.839,0	0,0	411,0	0,0		0,0	133,0	22.236,0	328.742,0	-306.506,0
0+550,0	0,0	722,5	0,0	22.956,0	0,0	397,0	0,0		0,0	132,0	22.236,0	351.963,0	-329.727,0
0+575,0	0,0	158,5	0,0	11.013,0	0,0	335,0	0,0		0,0	133,0	22.236,0	363.178,0	-340.942,0
0+600,0	93,4	0,0	1.168,0	1.982,0	107,0	139,0	0,0		65,0	67,0	23.362,0	365.232,0	-341.870,0
0+625,0	131,3	0,0	2.809,0	0,0	215,0	1,0	0,0		130,0	0,0	28.086,0	365.233,0	-339.147,0
0+650,0	254,0	0,0	4.816,0	0,0	230,0	1,0	0,0		127,0	0,0	30.799,0	365.234,0	-334.435,0
0+675,0	375,1	0,0	7.864,0	0,0	263,0	1,0	0,0		126,0	0,0	38.526,0	365.235,0	-326.709,0
0+700,0	551,7	0,0	11.585,0	0,0	303,0	1,0	0,0		126,0	0,0	49.934,0	365.236,0	-315.302,0
0+725,0	763,7	0,0	16.442,0	0,0	375,0	2,0	0,0		125,0	0,0	66.126,0	365.238,0	-299.112,0
0+750,0	1103,7	0,0	23.343,0	0,0	481,0	2,0	0,0		124,0	0,0	89.112,0	365.240,0	-276.128,0
0+775,0	1415,6	0,0	31.491,0	0,0	528,0	2,0	0,0		124,0	0,0	120.199,0	365.242,0	-245.043,0

6.3. O LEVANTAMENTO DAS CONDICIONANTES

O estudo das diversas peças que compõem o projeto de execução nas quais se integram o Projeto Rodoviário, Estudo Geológico e Geotécnico e o Caderno de Encargos, permitem avaliar as condições em que se poderá desenvolver a movimentação de terras.

Procede-se ao levantamento dos condicionalismos para o caso em estudo, de acordo com o ponto 4.2 do Capítulo 4.

6.3.1. O LEVANTAMENTO DAS CONDICIONANTES GEOLÓGICAS E GEOTÉCNICAS

Numa primeira fase, exclui-se todos os volumes de decapagem e saneamento no cálculo dos volumes acumulados a incluir na curva, por não reunirem condições de aplicabilidade nos aterros, conforme se pode constatar no Quadro 6.1.

Numa segunda fase, em função das características dos materiais a escavar e das condicionantes do Caderno de Encargos, deve-se relacionar o material disponível com as características definidas para aplicação nos diferentes zonamentos dos aterros (PIA, Corpo, PSA).

De acordo com dados disponíveis no Projeto Geológico e Geotécnico, os principais desmontes serão executados com utilização de explosivos, em maciços xisto-grauvacóides e terão lugar sobretudo nas escavações a efetuar entre os km 0+600 a 1+000 (60% explosivo), 1+150 a 1+450 (70% explosivo), 1+525 a 1+850 (60% explosivo) e 2+175 a 2+850 (60% explosivo), como se poderá verificar no Quadro 6.2.

Quadro 6.2 – Síntese das principais escavações e percentagens estimada de ripabilidade.

Localização aproximada	Tipo de perfil	Formação geológica	Altura Máxima (m)			Estimativa de Ripabilidade	
			Esquerda	Eixo	Direita	Desmonte mecânico (%)	Desmonte com explosivos (%)
0+075 - 0+175	escavação	X/S	10	7	5	80	20
0+600 - 1+000	escavação	X/S	44	29	17	40	60
1+150 - 1+450	escavação e misto	X/S	28	22	17	30	70
1+525 - 1+850	escavação	X/S	33	20	15	40	60
1+950 - 2+175	escavação e misto	X/S	17	7	5	90	10
2+175 - 2+850	escavação	X/S	20	16	15	40	60

Este lanço, com cerca de 3 Km, é caracterizado por dois grandes aterros. Os aterros mais importantes a construir situam-se entre o Pk 0+175 e o Pk 0+600 (atingindo uma altura cerca de 27 m, ao eixo), e entre os Pk 1+000 e o Pk 1+150 (atingindo uma altura de cerca de 38 m, ao eixo). Os aterros, segundo indicações do Projeto Geotécnico, deverão ser executados com enrocamento até à cota 180 (no aterro entre o Pk 0+175 e o PK 0+300), até à cota 190 (no aterro entre os Pk 0+300 e o PK 0+600), e até à cota 215 (no aterro entre o Pk 1+000 e o Pk 1+150), como se poderá verificar no Quadro 6.3.

Com estas características geológicas e geotécnicas, estimamos os volumes dos solos em cada Pki, solução a adotar sempre que seja facultado pelo projetista com medições discriminadas. Para permitir a construção de curvas distintas em função das características geológicas e geotécnicas dos solos, será necessário determinar, em cada Pki, os *Volume de Escavação com recurso a Explosivo* e *Volume de Escavação Mecânica* e o volume nas distintas zonas de aterro *Parte Inferior do Aterro*, *Corpo do Aterro* e na *Parte Superior do Aterro*, esta última informação permitirá separar a cubicagem dos aterros como se de um zonamento dos aterros, se tratasse (Quadro 6.4).

Quadro 6.3 – Síntese dos aterros mais significativos e indicações sobre processo construtivo.

Localização aproximada	Tipo de perfil	Formação geológica	Altura Máxima (m)			Inclinação de Taludes (V/H)		Observações
			Esquerda	Eixo	Direita	Esquerda (T.E.)	Direita (T.D.)	
0+000 - 0+075	aterro e misto	X/S	3	6	6	1/1.5	1/1.5	--
0+175 - 0+600	aterro	So + X/S	24	27	30	1/1.5	1/1.5; banquetas a 20 m da cota da rasante	Saneamento dos depósitos eluvio-aluvionares. Endentamento da fundação. Aterro de enrocamento, pelo menos até à cota (180), até ao km 0+300 e até à cota (190) a partir do km 0+300.
1+000 - 1+150	aterro	So + X/S	34	38	42	1/1.5	1/1.5; banquetas a 20 m e a 40 m da cota da rasante	Saneamento dos depósitos eluvio-aluvionares. Endentamento da fundação. Aterro de enrocamento, pelo menos até à cota (215).
1+450 - 1+525	aterro	So + X/S	9	15	17	1/1.5	1/1.5	Saneamento dos depósitos eluvio-aluvionares. Endentamento da fundação. Aterro de enrocamento, pelo menos até à cota (255).
1+850 - 1+950	aterro	So + X/S	11	13	17	1/1.5	1/1.5	Saneamento dos depósitos eluvio-aluvionares. Endentamento da fundação.
2+100 - 2+175	aterro e misto	So + X/S	6	8	7	1/1.5	1/1.5	Endentamento da fundação.
2+850 - 4+000	aterro	So + X/S	10	9	8	1/1.5	1/1.5	Camada drenante, com 0,40 m de espessura, envolta em dupla manta de geotêxtil, entre os km 3+175 - 3+800.

Quadro 6. 4 – Cálculo discriminado dos volumes de escavação e aterro (do Pk 0+000 ao Pk 0+250)-exemplificativo

Km	%Eexp	Escavação com recurso a Explosivo	Escavação Mecânica	Escavação	Km	%PIA	Parte Inferior do Aterro	Corpo do Aterro e Parte Superior do Aterro	Aterro
0+000.0		0	0	0	0+000.0	0%	0	0	0
0+025.0	0%	0	2039	2039	0+025.0	0%	0	1393	1393
0+050.0	0%	0	0	0	0+050.0	0%	0	3748	3748
0+075.0	20%	101	403	504	0+075.0	0%	0	2370	2370
0+100.0	20%	735	2942	3677	0+100.0	0%	0	16	16
0+125.0	20%	1522	6087	7609	0+125.0	0%	0	2	2
0+150.0	20%	1276	5104	6380	0+150.0	0%	0	2	2
0+175.0	20%	397	1589	1986	0+175.0	0%	0	1699	1699
0+200.0	0%	0	41	41	0+200.0	0%	0	8902	8902
0+225.0	0%	0	0	0	0+225.0	60%	12318	8212	20530
0+250.0	0%	0	0	0	0+250.0	60%	18399	12266	30665

Como os volumes de *Escavação com recurso a Explosivo* serão colocados na *Parte Inferior do Aterro* calculamos os volumes acumulados, por Pki, – CB exp. De forma similar serão calculados os volumes acumulados, por Pki, da *Escavação Mecânica* e os volumes a colocar no *Corpo do Aterro* e na *Parte e Superior do Aterro* - CB mec. No Quadro 6.5 apresenta-se de forma exemplificativa os valores obtidos entre os Pk 0+000 e o Pk 0+250, podendo ser consulto o cálculo integral nos anexos.

Com estes valores acumulados é possível construir as duas novas curvas de Brückner: a Curva de Brückner com volumes acumulados de *Escavação com recurso a Explosivo* deduzido dos volumes aplicados na *Parte Inferior do Aterro* (PIA) - CBexp e a Curva de Brückner desenhada com base nos volumes acumulados de *Escavação Mecânica*, deduzida dos volumes de solos colocados no *Corpo do Aterro* e na *Parte Superior do Aterro* (PSA) - CBmec (Fig. 6.2).

Quadro 6. 5 – Cálculo de volumes acumulados para elaboração da CB exp e CB mec (Pk 0+000 ao Pk 0+250)-
exemplificativo

Km	Escavação com recurso a Explosivo	Parte Inferior do Aterro	CBexp	Km	Escavação Mecânica	Corpo do Aterro e Parte Superior do Aterro	CBmec
0+000.0	0	0	0	0+000.0	0	0	0
0+025.0	0	0	0	0+025.0	2039	1393	646
0+050.0	0	0	0	0+050.0	0	3748	-3102
0+075.0	101	0	101	0+075.0	403	2370	-5069
0+100.0	735	0	836	0+100.0	2942	16	-2143
0+125.0	1522	0	2358	0+125.0	6087	2	3942
0+150.0	1276	0	3634	0+150.0	5104	2	9044
0+175.0	397	0	4031	0+175.0	1589	1699	8934
0+200.0	0	0	4031	0+200.0	41	8902	73
0+225.0	0	12318	-8287	0+225.0	0	8212	-8139
0+250.0	0	18399	-26686	0+250.0	0	12266	-20405

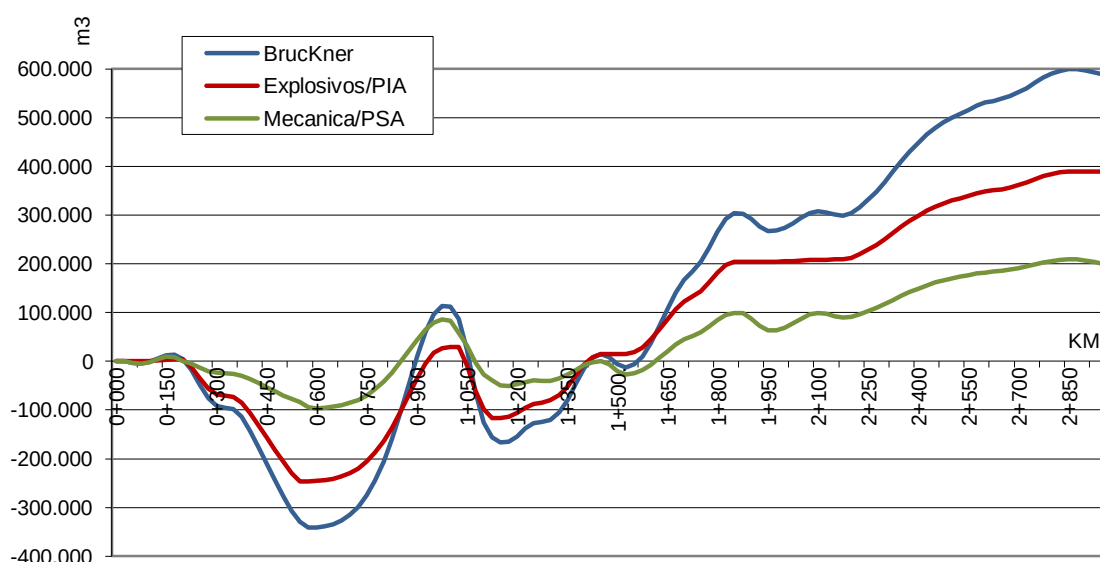


Fig.6.2 – Curvas de Brückner totalidade do Troço 1, CB , CBexp e Cbmec

Estando assim decompostos os volumes e dando origem a distintas curvas de Brückner conforme proposto e descrito no Capítulo 5.

6.3.2. O LEVANTAMENTO DAS CONDICIONANTES AMBIENTAIS

Identificaram-se as ligações a caminhos existentes e selecionaram-se os possíveis locais de saída de solos para vazadouro ou entrada de solos provenientes de empréstimos. No Quadro 6.6, estão identificados os locais de saída dos solos, para depósitos, e a distância a que estes se encontram da linha.

Quadro 6.6 – Localização das saídas de material para vazadouro e distância a que se localizam da linha.

Pk de saída dos solos para Depósito		Localização dos depósitos (metros)
DP1	0+600	500
DP2	0+975	500
DP3	1+150	700
DP4	1+600	1500
DP5	2+400	1000
DP6	2+950	500

Considera-se que todas as licenças necessárias à utilização de locais fora da linha para depósito tanto provisório como definitivo estarão regularizadas antes do arranque dos trabalhos.

6.3.3. O LEVANTAMENTO DAS BARREIRAS NATURAIS

Regista-se grande declive na zona inicial, prevendo-se grandes taludes de corte e grandes aterros que obrigarão à execução das camadas inferiores dos aterros com enrocamento. No final do troço atendendo a que o traçado intercepta em dois locais com estrada municipais será necessário implementar um faseamento construtivo que permita a execução das escavações, execução das passagens superiores previstas para o local, mantendo a circulação de trânsito em desvio provisório construído para o efeito.

6.3.4. O LEVANTAMENTO DAS BARREIRAS CONSTRUTIVAS

Estão previstas executar três obras de arte, cuja localização é apresentada no Quadro 6.7, assim como a profundidade de escavação nessa zona e a ripabilidade prevista no local.

A passagem superior 1 (PS 1) não introduz qualquer condicionante à execução da movimentação de solos. A escavação na zona da passagem superior 2 (PS2) só poderá ser executada após desvio provisório do trânsito e obrigará a uma escavação condicionada e faseada para garantir níveis de segurança ao tráfego que continuara a circular na estrada.

No final da Zona 1 será construída para além de uma passagem superior 3 (PS3) o restabelecimento 3.1 cuja construção estará condicionada ao desvio do tráfego e à escavação prevista para essa zona.

Quadro 6.7 – Localização das Obras de Arte no Troço 1.

Localização	Passagem Superior	Formação geológica	Escavação Máxima (m)		Estimativa de Ripabilidade	
			Esquerda	Direita	Desmorte mecânico (%)	Desmorte com explosivos (%)
0+700	PS 1	X/S	17,5	4	40	60
1+382	PS 2	X/S	29	13	30	70
2+411	PS 3	X/S	13,5	13,5	40	60

6.3.5. CIRCULAÇÃO FORA DA LINHA

A circulação fora da linha será efetuada, para os vazadouros provisórios, por caminhos existentes em terra batida, ao Pk 0+600, ao Pk 0+975 e ao Pk 1+150 e reúnem condições para a circulação com camião articulado tipo CAT 730. O material que sairá ao Pk 2+400 deverá circular por estradas municipais até aos ramos dos Nó ou para os depósitos definitivos.

Quadro 6.8– Localização dos caminhos e estradas intercetadas pela nova via no Troço 1.

	Localização	Tipo	Escavação Máxima (m)	Condicionaisismos	
			Esquerda	Após movimentação terras	Solução
1	0+160	Caminho	Transição escavação/aterro	Eliminado	Novo caminho paralelo a ligar a PS (lote anterior)
2	0+575	Caminho	Transição escavação/aterro	Eliminado	Pode ser alternativa a 3
3	0+750	2 Caminhos	22	Substituído	Novo caminho Sobre a PS1
4	1+380	Estrada	22	Restabelecimento 2	Desviar provisoriamente a estrada
5	1+800	Caminhos	30	Eliminada	Novos caminhos paralelos
6	2+400 a 2+600	Estrada e acesso	8	Substituído	PS3 e restabelecimento

6.4. A APLICAÇÃO DA EXTENSÃO DA TEORIA DE BRÜCKNER

6.4.1. CONSTRUÇÃO DA CURVA

Conforme descrito no Capítulo 5 a teoria de Brückner necessita de se adaptar às circunstâncias exigidas em projeto e às condicionantes do local, situação que no presente caso se aplica já estamos perante um traçado que envolve inúmeros condicionaisismos. Iremos aplicar a extensão do método

proposta no ponto 5.4, implementando uma solução que resolva simultaneamente os condicionalismos geológicos e geotécnicos e condicionalismos temporais.

Conforme já calculado no ponto 6.3, construiu-se duas novas curvas de Brückner: a Curva de Brückner com volumes acumulados de *Escavação com recurso a Explosivo* deduzido dos volumes aplicados na *Parte Inferior do Aterro* (PIA) - CBexp e a Curva de Brückner desenhada com base nos volumes acumulados de *Escavação Mecânica*, deduzida dos volumes de solos colocados no *Corpo do Aterro* e na *Parte Superior do Aterro* (PSA)- CBmec (Fig. 6.2).

A construção da *Parte Inferior do Aterro* dos dois principais aterros, o primeiro localizado entre os Pk 0+175 e o Pk 0+600 (que atinge cerca de 27 m ao eixo) e o segundo aterro entre os Pk 1+000 e o Pk 1+150 (atingindo cerca de 38 m ao eixo), deverá ser executada com enrocamento que será obtido nas *Escavação com recurso a Explosivo*, que terão lugar na escavação a efetuar entre os Pk 0+600 e o Pk 1+000 (60% explosivo), e na escavação entre o Pk 1+150 e o Pk 1+450 (70% explosivo). Para obtenção do enrocamento, será necessário remover as camadas superficiais, já que os materiais pouco alterados só aparecem a cerca de 3m de profundidade.

Estamos assim confrontados com a necessidade de adaptar o método de Brückner a um faseamento construtivo que permita num primeiro tempo t1 garantir a remoção das camadas superiores às zonas de rocha.

No tempo t1 procede-se à *Escavação Mecânica* dos solos, executando-se os dois pequenos aterros localizados nos primeiros 200m e transportando para os depósitos provisórios o restante material. Esta primeira fase, da Zona 1.1, está representada na curva de Brückner da Fig. 6.3.

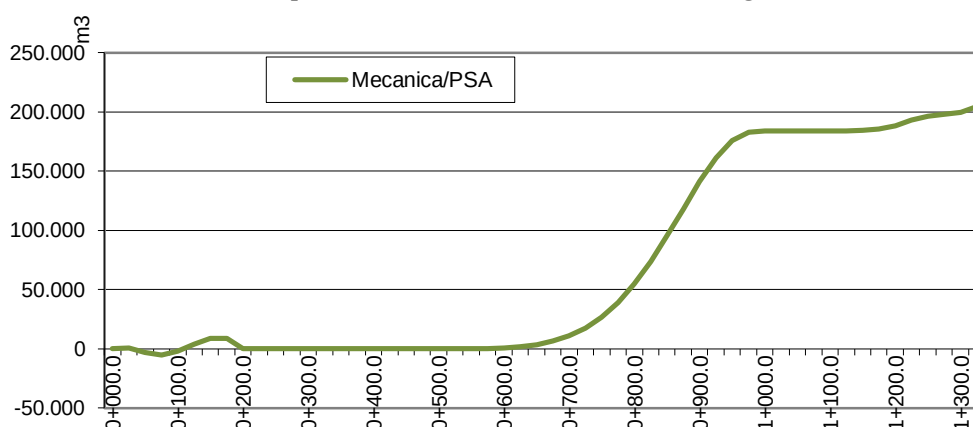


Fig.6.3 – Curva de Brückner no tempo t1 , escavação mecânica e colocação em pequenos aterros e transporte a depósitos provisórios

No tempo t2, efetua-se a *Escavação com recurso a Explosivo* e o aterro com o enrocamento, proveniente dessa escavação, e colocação na *Parte Inferior do Aterro* (PIA), dos grandes aterros,- representada na Fig. 6.4.

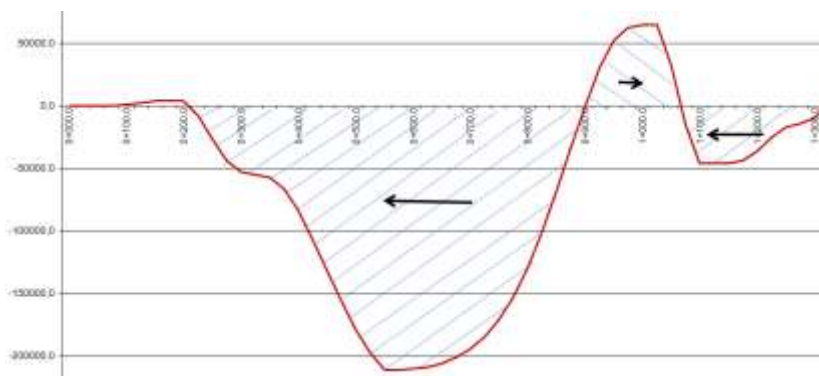


Fig.6.4 – Curva de Brückner da escavação com recurso a explosivo e aterro nas PIA, Zona 1.1, no tempo t2 - CBexp t2.

O ponto de equilíbrio entre o volume a *Escavação com recurso a Explosivo*, em zona já livre dos solos sobrejacentes, e volume aterrar na *Parte Inferior do Aterro* localiza-se próximo do Pk 1+325, conforme se pode visualizar na Fig. 6.4, delimitando-se a Zona 1.1.

O faseamento construtivo nesta Zona 1.1 (Pk 0+000 a Pk 1+325) irá determinar a execução de três curvas de Brückner numero equivalente ao numero de fases construtivas, assim serão efetuadas:

- Tempo t1- escavação dos solos com recurso a meios mecânicos, *Escavação Mecânica*, e colocação em aterros ou transporte a vazadouro provisório;
- Tempo t2 – *Escavação com recurso a Explosivo* e colocação na *Parte Inferior do Aterro*;
- Tempo t3 – aterro no *Corpo do Aterro* (C) e na *Parte Superior do Aterro* (PSA) com os solos provenientes das escavações efetuadas no tempo t1 e que se encontram depositadas em vazadouros provisórios e recurso a solos proveniente os Pk's seguintes.

Na 1.^a fase, Tempo t1, será necessário encontrar locais de vazadouro, próximos da linha, que minimizem a distância de transporte tanto nesta fase como na fase em que terão que voltar á linha, para colocação na parte superior dos grandes aterros, os solos a aterrar no Tempo t3.

Com o recurso à visualização da curva de Brückner incluindo todo o volume de *Escavação Mecânica* assim como todo o volume de solos a colocar no *Corpo do Aterro* e *Parte Superior do Aterro* (incluindo os volumes que serão aterrados no tempo t3), Fig. 6.5, determinou-se os Pk 0+600, 0+975 e o 1+150 como saídas que conduzirão a menores distâncias de transporte para os depósitos provisórios DP1, DP2 e DP3.

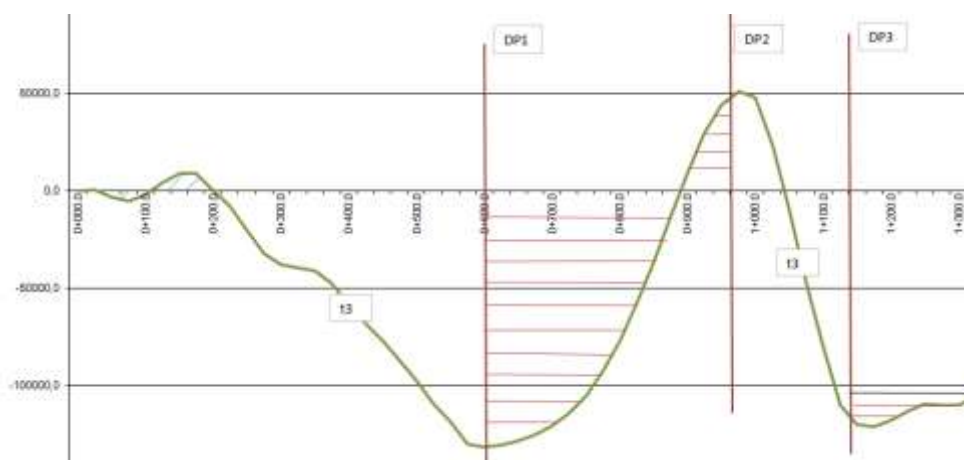


Fig.6.5 – Curva de Brückner da Zona 1.1, no tempo t1

No tempo t3 - regressará à linha os solos colocados nos depósitos provisórios, funcionando segundo os critérios da teoria de Brückner como solos de empréstimos, dando origem à curva de Brückner da Fig. 6.6. A curva representa o volume de solos a colocar no corpo e parte superior dos dois grandes aterros constatando-se que os solos provenientes dos depósitos provisórios não são suficientes para conclusão do aterro entre os Pk 0+975 e o 1+025.



Fig.6.6 – Curva de Brückner Zona 1.1, tempo t3 – aterro do corpo e parte superior dos aterros com solos provenientes dos depósitos provisórios.

Vamos agora analisar Zona 2, localizada entre o Pk 1+325 e o final do Troço 1. As curvas de Brückner, isto é, a curva de Brückner global, a curva de Brückner CBexp, e a curva de Brückner CBmec encontram-se representadas na Fig. 6.7. As exigências geotécnicas não abrangem os aterros desta zona não se justificando a movimentação dos solos de uma forma faseada, o planeamento será efetuado com base na curva de Brückner global.

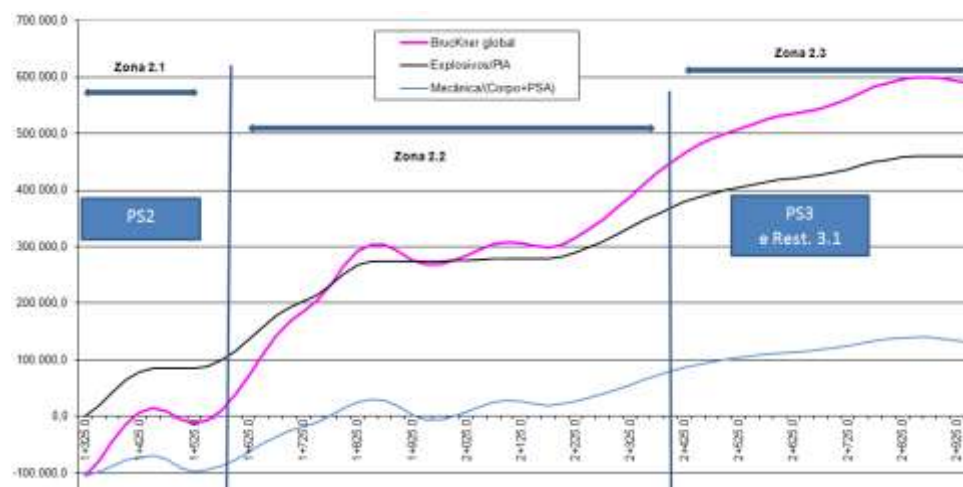


Fig.6.7 – Curvas de Brückner (entre o Pk 1+325 e o Pk 2+950), CBtotal, CBexp e CBmec

Nesta Zona 2 estão projetadas duas obras de arte, a PS2 e a PS3, que introduzem condicionalismos temporais á execução das movimentações de solos. Estas passagens superiores irão substituir estradas municipais existentes, sendo necessário proceder a um desvio de tráfego e a uma escavação cuidadosa. Subdividiu-se esta Zona 2 em três zonas, a estudar separadamente, a Zona 2.1, a Zona 2.2 e a Zona 2.3.

Na Zona 2.1- a determinação da linha distribuição, que obedeça às regras da teoria de Brückner, deverá estar compreendida entre a L1T1 e a L2T2 garantido que a soma das cordas dos segmentos superiores é igual à soma das cordas dos segmentos inferiores ou no caso de esta igualdade não ser possível aquela que conduzir a menor desigualdade.

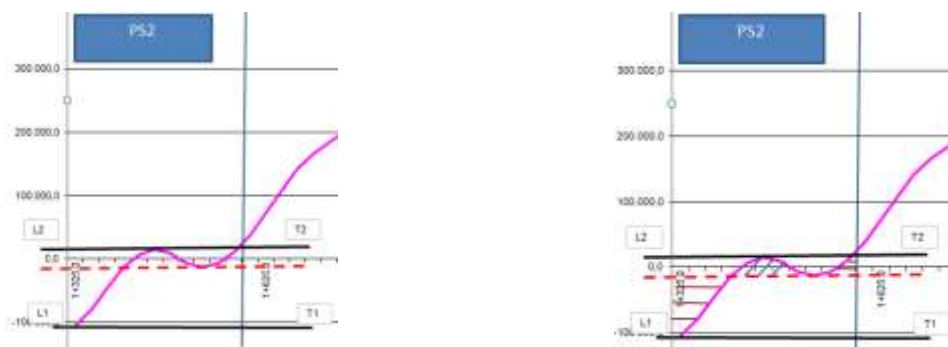


Fig.6.8 – Determinação da linha de distribuição mais económica da Zona 2.1 e momentos de transporte.

No caso concreto verifica-se que a L1T1 apenas tem cordas superiores, a L2T2 apenas cordas inferiores devendo determinar-se uma linha de distribuição intermédia que neste caso será a linha representada a tracejado a vermelho na Fig. 6.8. Nessa mesma figura encontra-se sinalizado com linhas horizontais o material a transportar a vazadouro e linhas oblíquas o material que será aplicado diretamente em aterro. No entanto esta Zona 2.1 está precedida de um aterro na Zona 1.1, Fig. 6.6, que não se encontra concluído por necessidade de solos para a sua conclusão e confina com a Zona 2.2 que tem excesso de solos e cuja execução já terá sido concluída na fase das escavações nesta zona. Os solos em excesso da Zona 2.1 devem ser conduzidos para os perfis que antecedem o Pk 1+325 o que torna a linha distribuição sinalizada como não sendo a mais económica, como se pode verificar na Fig. 6.9. Esta situação provocaria um aumento dos momentos de transporte.

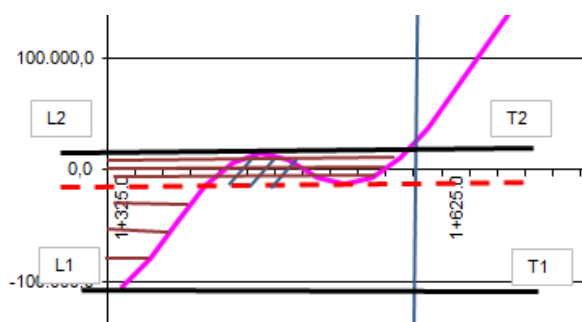


Fig.6.9 – Rejeição desta linha de distribuição por não ser a que apresenta menores momentos de transporte.

Neste caso deve considerar-se que o Pk 1+325 como um local fixo de saída dos materiais, aplicando as regras descritas no Capítulo 2 para estes casos, determinando-se L2T2 como a linha de distribuição mais económica (Fig. 6.10).

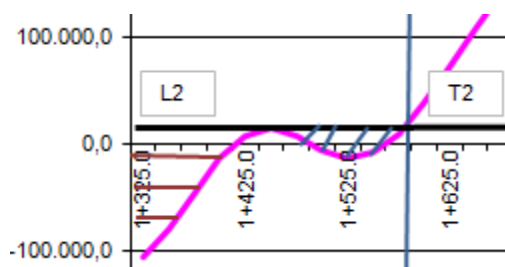


Fig.6.10 – Momentos de transporte na Zona 2.1

A Zona 2.2 não apresenta qualquer condicionalismo podendo ser efetuar-se a movimentação dos solos no tempo t1. Estamos perante uma zona com um volume significativo de solos a vazadouro e com possibilidade de colocação do material no depósito 4 (DP4) ou no depósito 5 (DP5) estando localizados no início e final da Zona 2.2 respetivamente, distando 1500m (DP4) e de 1000m (DP5). Determinou-se a linha de distribuição, com base nas regras básicas descritas no Capítulo 2, no ponto 2.3.8.3. A linha de distribuição em que as cordas inferiores igualam às cordas superiores, $i=s$, foi determinada e encontra-se representada na Fig. 6.11. O volume de solos a escavar até ao Pk 1+750 será depositado no depósito DP4, existirá um pequeno volume de solos que será utilizado na execução dos dois pequenos aterros localizados nesta zona e o restante material será transportar para o depósito DP5.

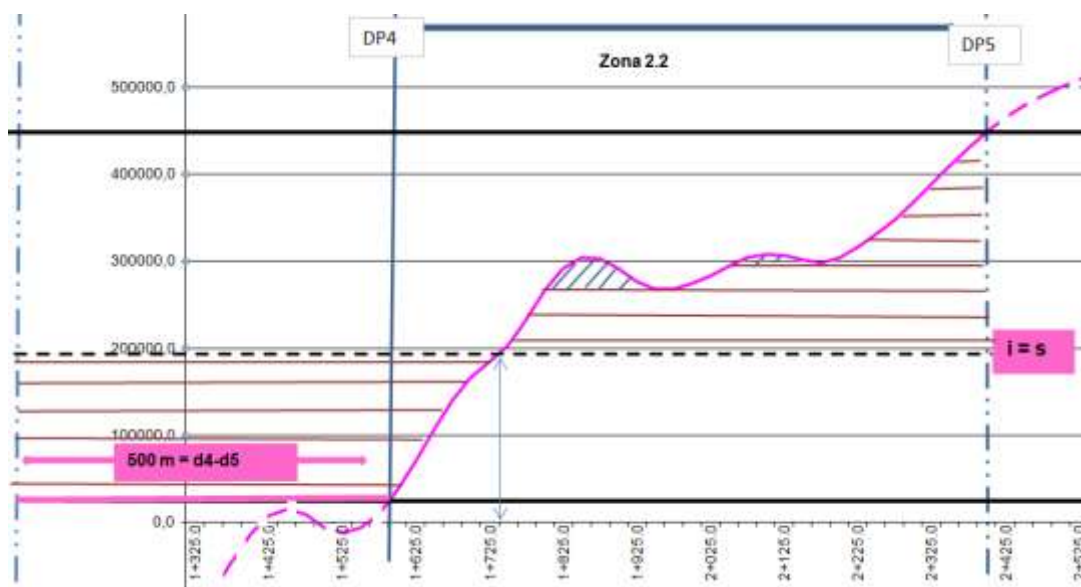


Fig.6.11 – Determinação da linha de distribuição que conduz a menores momentos de transporte na Zona 2.2, após prolongamento da horizontal a montante.

A Zona 2.3, possui um volume de 150000 m^3 de material sobranter das escavações, e caracteriza-se pela sua execução condicionar e estar condicionada a inúmeras condicionantes, descritas anteriormente. A escavação nesta zona só se poderá realizar no intervalo temporal t4. Sabendo-se que a distância que os solos terão que percorrer até deposição em vazadouro será de 350m, se transportada para o depósito DP6 e de 1000m no caso de transporte para o depósito DP5, determinou-se da linha de distribuição sinalizada na Fig. 6.12.

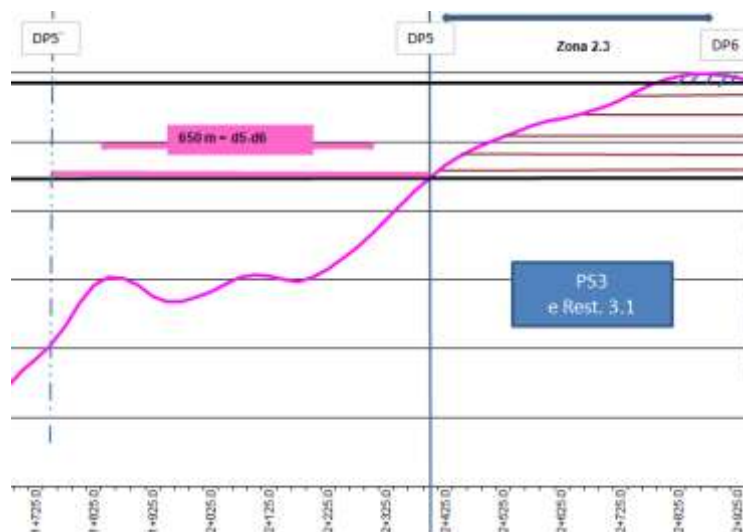


Fig.6.12 – Determinação da linha de distribuição que conduz a menores momentos de transporte na Zona 2.3.

6.4.2. DETERMINAÇÃO DA DISTÂNCIA MÉDIA DE TRANSPORTE

Uma vez encontrada a linha de distribuição para cada uma das curvas de Brückner, resta determinar as distâncias médias de transporte, para cada meio de transporte.

A distância média de transporte determina-se, a partir do momento de transporte

$$D = \frac{M}{V} = \frac{\sum Mi}{\sum Vi}$$

em que:

$M = \sum Mi$ é a soma dos momentos parciais de transporte.

$V = \sum Vi$ é o cubo total a transportar por cada meio de transporte.

O transporte de terras será efetuado com Buldózer para distância entre o corte e aterro é inferior a 100 metros. Todo o restante transporte de solos será efetuado com recurso a camião articulado do tipo CAT 730.

Concluída a determinação das distintas linhas de distribuição que nos conduzem a menores distâncias de transporte deverá proceder-se por zona e por espaço temporal à determinação da distância de transporte (d_i), do volume transportado (v_i) e ao cálculo do respetivo momento de transporte (M_i), para cada meio de transporte. Todos estes valores encontram-se registados nos Quadros 6.9, 6.10 e 6.11 no caso da Zona 1.1 e no Quadro 6.12 no caso da Zona 2.

À distância a percorrer na linha foi acrescida a distância a percorrer fora de linha, valores registados nos Quadros 6.9, 6.10, 6.11 e 6.12 como **d DP**.

Quadro 6.9– Momentos de transporte e volumes transportados- Zona 1.1- tempo t1.

Tempo t1	di	d DP	vi	Mi	Meio transporte
1	0,050	0,000	5068	253	D8
2	0,075	0,000	9044	678	D8
3	0,200	0,500	131182	91827	CAT 730
4	0,050	0,500	50831	27957	CAT 730
5	0,175	0,700	5000	4375	CAT 730
6	0,090	0,700	5367	4240	CAT 730
7	0,040	0,000	5000	200	D8

Quadro 6.10– Momentos de transporte e volumes transportados- Zona 1.1 - Tempo t2

Tempo t2	di	d DP	vi	Mi	Meio transporte
1	0,075	0,000	4031	302	D8
2	0,600	0,000	55000	33000	CAT 730
3	0,460	0,000	45000	20700	CAT 730
4	0,360	0,000	50000	18000	CAT 730
5	0,225	0,000	61364	13807	CAT 730
6	0,750	0,000	19652	14739	CAT 730
7	0,130	0,000	45000	5850	CAT 730
8	0,185	0,000	36000	6660	CAT 730
9	0,080	0,000	10316	825	D8

Quadro 6.11– Momentos de transporte e volumes transportados- Tempo t3

Tempo t3	di	d DP	vi	Mi	Meio transporte
1	0,350	0,500	34000	28900	CAT 730
2	0,140	0,500	91620	58637	CAT 730
3	0,450	0,500	13202	12542	CAT 730
4	0,600	0,500	43134	47447	CAT 730
5	0,025	0,700	9618	6973	CAT 730

A distância média de transporte na Zona 1.1 é de :

$$D = \frac{2259}{33459} = 0,068\text{Km para o } \textit{Buldozer}$$

$$D = \frac{395654}{695970} = 0,568\text{Km para o Camião articulado}$$

No restante traçado (Zona 2.1, 2.2 e 2.3) a distância média de transporte será de :

$$D = \frac{1625}{19076} = 0,085\text{Km para o } \textit{Buldozer}$$

$$D = \frac{716547}{742173} = 0,965\text{Km para o Camião articulado}$$

Quadro 6.12– Momentos de transporte e volumes transportados- Zona 2

1+350 a 2+950	d _i	d DP	v _i	M _i	Meio transporte
1	0,050	0,000	120174	6009	CAT 730
2	0,090	0,000	27573	2482	CAT 730
3	0,075	1,500	166109	261622	CAT 730
4	0,600	1,000	64310	102896	CAT 730
5	0,350	1,000	30372	41002	CAT 730
6	0,100	1,000	167015	183717	CAT 731
7	0,090	0,000	35644	3208	CAT 732
8	0,080	0,000	9170	734	D8
9	0,480	0,500	80000	78400	CAT 734
10	0,230	0,500	50976	37212	CAT 735
11	0,090	0,000	9906	892	D8

6.4.3. DETERMINAÇÃO DO CUSTO DE TRANSPORTE

A aplicação da teoria de Brückner, conforme se viu no Capítulo 2, implica a obtenção de uma relação entre custos e distâncias.

O *Custo Unitário do Transporte* de 1 m³ será materializado para cada meio de transporte, por:

$$p = Kd_i + K'$$

Onde:

d_i [km]– *Distâncias* variáveis;

K [€/km] e K' [€] – constantes características das máquinas e produtividade da equipa de terraplenagem.

e, atendendo ao descrito no mesmo Capítulo 2, o *Custo Total de Transporte* de um volume V, será:

$$P = K \times M + K' \times V$$

Onde:

M é o *Momento de Transporte* do Volume V.

Neste caso estamos a considerar utilizar dois tipos de meios de transporte tipo *Buldozer* D8 e o camião articulado do tipo CAT 730.

Os custos de transporte associados ao com camião articulado do tipo CAT 730, já estudado no Capítulo 3, varia com as características do material a transportar e com a inclinação do caminho a percorrer, assim podemos considerar:

Quadro 6.13 – Equação do custo de transporte para camião articulado do tipo CAT 730 função da inclinação do caminho a percorrer e do solo a escavar.

Inclinação do caminho a percorrer	Fator de empolamento	
8%	25%	$p = 0,315 \times di + 0,220$
8%	40%	$p = 0,353 \times di + 0,246$
4%	33%	$p = 0,215 \times di + 0,234$

A determinação das constantes K e K', custos variáveis e custos fixos assim como a determinação da equação da reta de P em função de di, $p = Kdi + K'$, o seu desenho em gráfico (di, pi) encontram-se disponíveis nos Anexos.

Na Zona 1.1 considerou-se que o camião articulado do tipo CAT 730 irá circular em caminhos com declives distintos e que as características de solos a transportar não serão constantes. No tempo t1 e no tempo t3 considerou-se estar a transportar solos ou rocha bem fragmentada considerando-se um fator de empolamento de 25%, já no tempo t2 foi considerado um fator de empolamento de 40% (enrocamento). Em toda a Zona 1.1, considerou-se que inclinação do trajeto de circulação do camião articulado tipo CAT 730 será ordem dos 8%

Nas diversas partes da Zona 2, isto é na Zona 2.1, 2.2 e 2.3, considerou-se um fator de empolamento de 33% e uma inclinação dos caminhos de circulação de 4%.

Determinou-se o custo de transporte em cada zona registando-se os valores obtidos no Quadro 6.12.

Quadro 6.14 – Determinação do custo de transporte com recurso a camião articulado do tipo CAT 730.

Zona	Fator empolamento	Inclinação	K	K'	M	V	P
Zona 1 tempo t1	25%	8%	0,315	0,220	128399	192380	82769
Zona 1 tempo t2	40%	8%	0,353	0,246	112756	312016	116559
Zona 1 tempo t3	25%	8%	0,315	0,220	154499	191574	90814
Zona 2	33%	4%	0,215	0,234	716547	742173	327726

O que totaliza um custo total no valor de 617868 euros para um volume total 1438143 m^3 transportado por camião articulado tipo CAT 730.

Considerando que o meio de transporte utilizado para distâncias inferiores a 100m é o Buldozer D8 podemos considerar:

Quadro 6.15 – Custo de transporte com recurso a Buldozer D8 para as distâncias de 300m, 600m e 900m.

Distância Transporte Buldozer D8	0,03 Km	0,06 Km	0,09 Km
€/ m^3	0,129	0,226	0,452

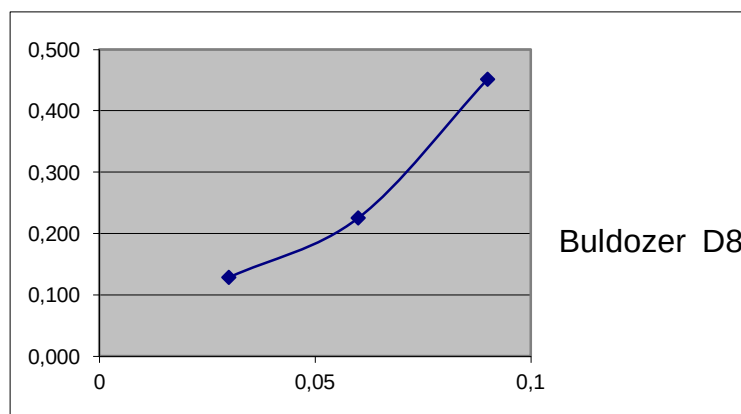


Fig.6.13 – Gráfico dos custos de transporte, para um Buldozer D8, em função da distância de transporte

Na Zona 1.1 os 33459 m³ deverão percorrer uma distância média de 0.068Km, entre escavação aterro, com recurso a um *Buldozer D8*, assim:

$$P = 33459 \times 0,226 = 7562\text{€}$$

Na Zona 2 os 19076 m³ a percorrer com o *Buldozer D8* a distância média é de 0,085Km , assim:

$$P = 19076 \times 0,085 = 1621\text{€}$$

Quadro 6.16 – Determinação do custo total de transporte

Equipamento de Transporte	P
CAT 730	617868
Buldozer D8	9183
TOTAL	627051

O custo do transporte total obtido, correspondente à menor distância de transporte, é neste caso o valor global 627 051 euros, conforme resumo apresentado no Quadro 6.12.

7

CONCLUSÃO

Esta dissertação teve como objetivo validar a adequação do método da Curva de Brückner às exigências Geotécnicas e construtivas atuais.

A seleção do equipamento ou equipamentos de transporte adequados à movimentação de terras é uma das variáveis que se coloca na fase de planeamento e preparação da empreitada e que condiciona os rendimentos e custos envolvidos na operação. Torna-se indispensável ter o conhecimento das características intrínsecas do próprio equipamento com relevância para a movimentação de terras, tais como, a capacidade rasa e coroada, a velocidade máxima carregado, a potência e o ciclo da operação. Já no que respeita às características extrínsecas dos equipamentos de transporte, deve ser feito um estudo aprofundado na fase de preparação da obra, atendendo às condições da própria obra, avaliando o tipo de maciço a escavar, as dimensões do material a transportar, a distância e o trajeto que será utilizado.

Analizou-se o custo dos equipamentos de transporte tendo sido considerada, neste trabalho, os custos hora dos equipamentos como constantes. Determinaram-se os tempos por ciclo de transporte, tanto da linha para o aterro ou vazadouro como dos locais de empréstimo para o aterro. Seguindo o método de estudo do tempo, estudou-se o número de viagens que o equipamento efetua numa hora, determinando assim o tempo de ciclo de cada equipamento de transporte. O tempo gasto em cada ciclo está diretamente relacionado com a distância que os meios de transporte têm que percorrer mas depende também de outros fatores relacionados com as características do próprio equipamento de transporte, do equipamento de carga e da própria obra tais como tipo de maciço a escavar (empolamento), caminho a percorrer (inclinação) e da eficiência do trabalho.

Determinou-se para camião articulado do tipo CAT 730 a função linear do momento de transporte, proporcional à distância de transporte, isto é, o transporte será tanto mais económico quanto menor for o momento de transporte.

Elencaram-se os condicionalismos que podem ocorrer na execução da movimentação das terras numa obra rodoviária, planeando o faseamento construtivo, função da vertente temporal e geotécnica. A valorização de todos os condicionalismos, no que se refere à área afetada, ao volume de terras envolvido e à dilatação no prazo de execução e ao prazo necessário para a sua execução, são fundamentais para uma correta caracterização das distâncias de transportes de terras.

Na fase de preparação de uma empreitada de movimentação de terras deve-se estudar todas as alternativas técnicas e económicas sejam elas de equipamentos, de trajetos, de método construtivo ou a sequência escavação/aterro.

Para que seja possível aplicar o método da Curva de Brückner, é fundamental que o volume seja um parâmetro fixo, o volume a ser considerado seja o volume de terras que está disponível a ser movimentado num determinado momento temporal, isto é, o volume a considerar no cálculo da curva de Brückner é o volume acumulado de escavação e o volume acumulado a aterrar que está disponível num determinado espaço de tempo t_i .

Ao longo desta dissertação procurou-se fazer um levantamento das condicionantes que ocorrem nas obras viárias, propondo formas de as estudar e de as enquadrar na aplicação do método de Brückner.

Os condicionalismos geotécnicos, para utilização dos solos e da rocha, impostas pelo Projeto Rodoviário, Estudo Geológico e Geotécnico e o Caderno de Encargos, implicam a necessidade de adaptação da teoria, pura, de Brückner. Aos condicionalismos geotécnicos, atrás enunciados, acrescem os condicionalismos ambientais, barreiras naturais, barreiras construtivas e rede viária local.

A proposta de adaptação destas condicionantes ao método efetuada no Capítulo 5, que se traduz no desdobrar da Curva de Brückner em diversas curvas cada uma refletindo aquela que será a movimentação a efetuar em obra. Será assim possível determinar para cada curva a respetiva distância mínima de transporte, para cada equipamento de transporte, respeitando os princípios base da Curva de Brückner.

Estamos perante um método simples, intuitivo e gráfico que permite dotar o decisor, diretor da obra, de ferramenta capaz de simular os possíveis movimentações de solos numa obra de terraplenagem, permitindo função das diversas condicionantes optar pela aquela que conduz a uma solução económica, isto é a que obriga a percorrer uma menor distância de transporte.

Concluindo-se, ser possível recorrendo às adaptações da teoria de Brückner propostas, no presente trabalho, aplicar este método como valoroso auxiliar do planeamento de obra determinando a menor distância de transporte e a correspondente solução economicamente mais favorável.

BIBLIOGRAFIA

- [1] GOMES, N. A., COSTA, M. G . *Apontamentos de Estradas*. Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Porto, 1956-1957.
- [2]. Volume de Terras . In *Apontamentos de Estradas e Aeródromos*. Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Porto, 1967-1968.
- [3] FERNANDES, M. M. Características físicas e de identificação. Solos Arenosos e Argilosos de Origem Sedimentar e Solos Residuais. In *Mecânica dos Solos*, páginas 27-66, FEUP edições, Porto, 2006.
- [4]LCPC, SETRA. *Réalisation des remblais et des couché de forme*, Fascicule I, França, 1992
- [5]Estradas de Portugal, S.A.. *Caderno de Encargos Tipo Obra*, Lisboa, 2009
- [6] HORACE K. Church. *Excavation Hanbook*, McGrawHill, 1981
- [7]CATERPILLAR, *Manual de Produção Edição 37*, E.U.A., 2007
- [8]FRANÇA, A., Distribuição de Terras. In *Vias de Comunicação* , Textos didáticos, FEUP
- [9] ENGIVIA. Volume 3 – Estudo Geológico e Geotécnico. *Projeto de Execução do Lanço Nó da Ermida (IC24)/ Paços de Ferreira da Concessão SCUT do Grande Porto*, 2003

A1

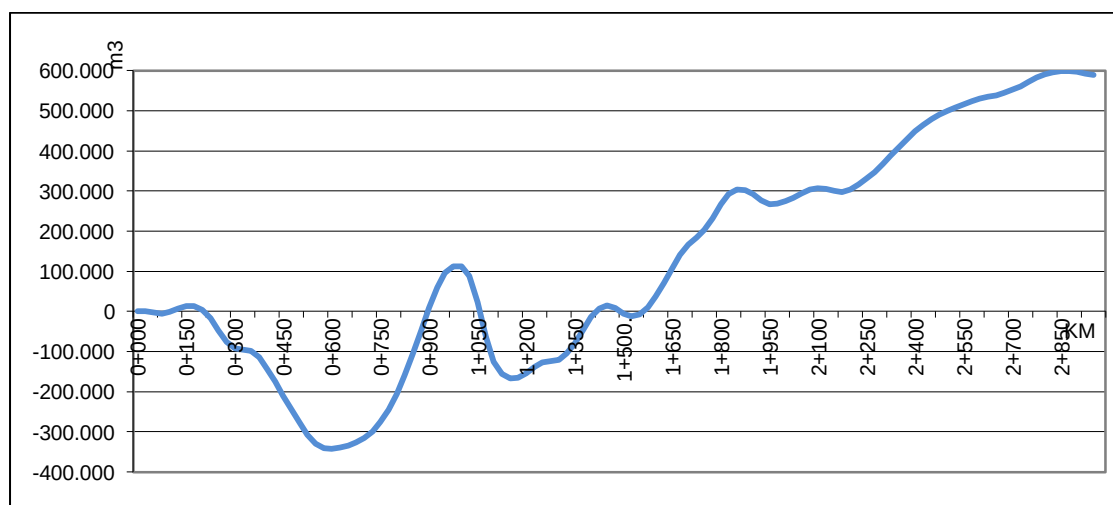
**Resumo das terraplenagens para a
Zona 1.1 e Zona 2**

Km	VOLUMES (m3)		DECAPAGEM (m3)		SANEAMENTO		LEITO PAVIMENTO (m3)		VOL. ACUMUL. DO CÁLCULO AUTOMÁTICO (m3)		Brückner
	Escavação	Aterro	Escavação	Aterro	Escavação	Aterro	Escavação	Aterro	Escavação	Aterro	
0+000.0	0	0	0	0	0		0	0	0	0	0
0+025.0	1813	1348	0	118	0		226	73	2039	1393	646
0+050.0	0	3648	0	245	0		0	145	2039	5141	-3102
0+075.0	526	2306	89	142	0		67	78	2543	7511	-4968
0+100.0	3783	5	241	16	0		135	5	6220	7527	-1307
0+125.0	7791	0	321	2	0		139	0	13829	7529	6300
0+150.0	6535	0	294	2	0		139	0	20209	7531	12678
0+175.0	2050	1639	141	117	0		77	57	22195	9230	12965
0+200.0	49	8714	16	312	0		8	124	22236	18132	4104
0+225.0	0	20467	0	196	0		0	133	22236	38662	-16426
0+250.0	0	30798	0	0	0		0	133	22236	69327	-47091
0+275.0	0	28925	0	203	0		0	133	22236	98322	-76086
0+300.0	0	14895	0	339	0		0	132	22236	113424	-91188
0+325.0	0	3770	0	238	0		0	133	22236	117299	-95063
0+350.0	0	3425	0	255	0		0	132	22236	120847	-98611
0+375.0	0	14924	0	408	0		0	132	22236	136047	-113811
0+400.0	0	28234	0	491	0		0	133	22236	164639	-142403
0+425.0	0	32761	0	459	0		0	133	22236	197726	-175490
0+450.0	0	33858	0	222	0		0	133	22236	231673	-209437
0+475.0	0	34266	0	0	0		0	132	22236	265807	-243571
0+500.0	0	32741	0	210	0		0	133	22236	298625	-276389
0+525.0	0	29839	0	411	0		0	133	22236	328742	-306506
0+550.0	0	22956	0	397	0		0	132	22236	351963	-329727
0+575.0	0	11013	0	335	0		0	133	22236	363178	-340942
0+600.0	1168	1982	107	139	0		65	67	23362	365232	-341870
0+625.0	2809	0	215	0	0		130	0	26086	365232	-339146
0+650.0	4816	0	230	0	0		127	0	30799	365232	-334433
0+675.0	7864	0	263	0	0		126	0	38526	365232	-326706

0+700.0	11585	0	303	0	0		126	0	49934	365232	-315298
0+725.0	16442	0	375	0	0		125	0	66126	365232	-299106
0+750.0	23343	0	481	0	0		124	0	89112	365232	-276120
0+775.0	31491	0	528	0	0		124	0	120199	365232	-245033
0+800.0	39527	0	533	0	0		125	0	159318	365232	-205914
0+825.0	47587	0	565	0	0		126	0	206466	365232	-158766
0+850.0	54117	0	589	0	0		122	0	260116	365232	-105116
0+875.0	57825	0	604	0	0		118	0	317455	365232	-47777
0+900.0	57456	0	605	0	0		121	0	374427	365232	9195
0+925.0	50926	0	567	0	0		125	0	424911	365232	59679
0+950.0	36528	0	481	0	0		125	0	461083	365232	95851
0+975.0	17537	0	353	0	0		128	0	478395	365232	113163
1+000.0	3942	4348	140	151	0		66	66	482263	369665	112598
1+025.0	0	24655	0	416	0		0	133	482263	394603	87660
1+050.0	0	64504	0	266	0		0	133	482263	459240	23023
1+075.0	0	85396	0	421	0		0	133	482263	544924	-62661
1+100.0	0	62456	0	726	0		0	133	482263	607973	-125710
1+125.0	0	29824	0	514	0		0	133	482263	638178	-155915
1+150.0	307	10284	40	311	0		17	116	482547	648657	-166110
1+175.0	3472	1717	179	103	0		82	49	485922	650428	-164506
1+200.0	10683	0	319	0	0		130	0	496416	650428	-154012
1+225.0	16118	0	361	0	0		130	0	512303	650428	-138125
1+250.0	11468	0	310	0	0		130	0	523591	650428	-126837
1+275.0	4385	1755	221	94	0		99	33	527854	652244	-124390
1+300.0	6553	1755	254	94	0		96	33	534249	654060	-119811
1+325.0	15239	0	363	0	0		126	0	549251	654060	-104809
1+350.0	25814	0	440	0	0		129	0	574754	654060	-79306
1+375.0	33799	0	491	0	0		129	0	608191	654060	-45869
1+400.0	32230	0	486	0	0		125	0	640060	654060	-14000
1+425.0	21156	0	423	0	0		125	0	660918	654060	6858
1+450.0	8721	0	334	6	0		126	0	669431	654066	15365
1+475.0	1606	8394	147	5	0		63	66	670953	662399	8554
1+500.0	0	14614	0	174	0		0	133	670953	677054	-6101
1+525.0	311	6284	60	206	0		46	86	671250	683458	-12208
1+550.0	5869	64	209	32	0		109	19	677019	683535	-6516

1+575.0	16936	0	342	0	0		125	0	693738	683535	10203
1+600.0	27561	0	422	0	0		125	0	721002	683535	37467
1+625.0	34141	0	477	0	0		125	0	754791	683535	71256
1+650.0	36191	0	501	0	0		125	0	790606	683535	107071
1+675.0	34703	0	506	0	0		125	0	824928	683535	141393
1+700.0	26000	0	498	2	0		121	0	850551	683537	167014
1+725.0	17639	65	467	28	0		105	19	867828	683611	184217
1+750.0	19834	65	510	29	0		110	19	887262	683686	203576
1+775.0	29555	0	598	0	0		125	0	916344	683686	232658
1+800.0	34382	0	603	0	0		125	0	950248	683686	266562
1+825.0	26013	0	512	0	0		121	0	975870	683686	292184
1+850.0	11563	0	337	0	0		120	0	987216	683686	303530
1+875.0	2103	2662	118	0	0		62	67	989263	686281	302982
1+900.0	0	10931	0	0	0		0	133	989263	697079	292184
1+925.0	0	15522	0	0	0		0	133	989263	712468	276795
1+950.0	0	8928	0	115	0		0	134	989263	721377	267886
1+975.0	2269	1675	123	115	0		65	67	991474	723100	268374
2+000.0	6249	0	263	0	0		131	0	997591	723100	274491
2+025.0	9152	0	296	0	0		131	0	1006578	723100	283478
2+050.0	11225	0	330	0	0		131	0	1017604	723100	294504
2+075.0	9829	0	487	0	0		130	0	1027076	723100	303976
2+100.0	4998	1040	495	141	0		94	36	1031673	724245	307428
2+125.0	1814	2683	297	375	0		51	80	1033241	727223	306018
2+150.0	592	5201	114	365	0		22	110	1033741	732679	301062
2+175.0	849	3558	95	128	0		62	66	1034557	736299	298258
2+200.0	5382	0	230	0	0		123	0	1039832	736299	303533
2+225.0	12789	0	317	0	0		123	0	1052427	736299	316128
2+250.0	15457	0	351	0	0		122	0	1067655	736299	331356
2+275.0	16439	0	346	0	0		122	0	1083870	736299	347571
2+300.0	20065	0	365	0	0		123	0	1103693	736299	367394
2+325.0	21732	0	388	0	0		124	0	1125161	736299	388862
2+350.0	21339	0	399	0	0		124	0	1146225	736299	409926
2+375.0	20376	0	391	0	0		123	0	1166333	736299	430034
2+400.0	18981	0	375	0	0		123	0	1185062	736299	448763
2+425.0	16742	0	355	0	0		123	0	1201572	736299	465273

2+450.0	14128	0	338	0	0		119	0	1215481	736299	479182
2+475.0	11528	0	326	0	0		119	0	1226802	736299	490503
2+500.0	9487	0	314	0	0		124	0	1236099	736299	499800
2+525.0	8496	0	308	0	0		129	0	1244416	736299	508117
2+550.0	8366	0	304	0	0		135	0	1252613	736299	516314
2+575.0	8590	0	296	0	0		140	0	1261047	736299	524748
2+600.0	6707	0	564	0	0		146	0	1267336	736299	531037
2+625.0	4337	0	812	0	0		148	0	1271009	736299	534710
2+650.0	4995	0	816	0	0		148	0	1275336	736299	539037
2+675.0	6647	0	856	0	0		147	0	1281274	736299	544975
2+700.0	8088	0	891	0	0		150	0	1288621	736299	552322
2+725.0	9542	0	952	0	0		154	0	1297365	736299	561066
2+750.0	12176	0	1044	0	0		167	0	1308664	736299	572365
2+775.0	11238	0	793	0	0		151	0	1319260	736299	582961
2+800.0	7838	0	508	0	0		126	0	1326716	736299	590417
2+825.0	6138	0	520	0	0		127	0	1332461	736299	596162
2+850.0	3587	0	427	0	0		125	0	1335746	736299	599447
2+875.0	1181	842	187	172	0		70	54	1336810	737259	599551
2+900.0	28	2346	17	358	0		8	116	1336829	739847	596982
2+925.0	0	3382	0	410	0		0	122	1336829	743517	593312
2+950.0	0	3356	0	432	0		0	121	1336829	747184	589645
Total:	1361242	740821	34858	11643			12043	3538	1336829	747184	



A2

Características das principais escavações e aterros

Localização aproximada	Tipo de perfil	Formação geológica	Altura Máxima (m)			Características Gerais dos Maciços a Escavar	Estimativa de Ripabilidade	
			Esquerda	Eixo	Direita		Desmorte mecânico (%)	Desmorte com explosivos (%)
0+075 - 0+175	escavação	X/S	10	7	5	Metagrauwaques e xistos grauvaquídeos (maciço rochoso aflorante ou subaflorante).	80	20
0+600 - 1+000	escavação	X/S	44	29	17	Xistos, xistos grauvaquídeos, mosqueados e metagrauwaques (maciço rochoso aflorante ou subaflorante).	40	60
1+150 - 1+450	escavação e misto	X/S	28	22	17	Xistos e xistos grauvaquídeos, mosqueados (maciço rochoso aflorante ou subaflorante).	30	70
1+525 - 1+850	escavação	X/S	33	20	15	Xistos e xistos grauvaquídeos, mosqueados (maciço rochoso aflorante ou subaflorante).	40	60
1+950 - 2+175	escavação e misto	X/S	17	7	5	Xistos e xistos grauvaquídeos, mosqueados (maciço rochoso aflorante ou subaflorante).	90	10
2+175 - 2+850	escavação	X/S	20	16	15	Xistos e xistos grauvaquídeos, mosqueados (maciço rochoso aflorante ou subaflorante).	40	60

Localização aproximada	Tipo de perfil	Formação geológica	Altura Máxima (m)			Inclinação de Taludes (V/H)		Observações
			Esquerda	Eixo	Direita	Esquerda (T.E.)	Direita (T.D.)	
0+000 - 0+075	aterro e misto	X/S	3	6	6	1/1,5	1/1,5	--
0+175 - 0+600	aterro	So + X/S	24	27	30	1/1,5	1/1,5; banquetas a 20 m da cota da rasante	Saneamento dos depósitos eluvio-aluvionares. Endentamento da fundação. Aterro de enrocamento, pelo menos até à cota (180), até ao km 0+300 e até à cota (190) a partir do km 0+300.
1+000 - 1+150	aterro	So + X/S	34	38	42	1/1,5	1/1,5; banquetas a 20 m e a 40 m da cota da rasante	Saneamento dos depósitos eluvio-aluvionares. Endentamento da fundação. Aterro de enrocamento, pelo menos até à cota (215).
1+450 - 1+525	aterro	So + X/S	9	15	17	1/1,5	1/1,5	Saneamento dos depósitos eluvio-aluvionares. Endentamento da fundação. Aterro de enrocamento, pelo menos até à cota (255).
1+850 - 1+950	aterro	So + X/S	11	13	17	1/1,5	1/1,5	Saneamento dos depósitos eluvio-aluvionares. Endentamento da fundação.
2+100 - 2+175	aterro e misto	So + X/S	6	8	7	1/1,5	1/1,5	Endentamento da fundação.

A3

Características gerais dos terrenos (resultados das sondagens)

Sonda gem	Localiz ação aproxi mada (km)	Objetivos	CARACTERÍSTICA S GERAIS DOS TERRENOS ATRAVESSADOS			
			Formação geológica	Prof. (m)	Descrição macroscópica, resultados dos ensaios SPT (N), e estado de alteração (Wn) e grau de faturação (Fn) da rocha granítica, xistosa e grauvacóide	
S65	0+070	Reconheci mento de escavação	X/S	0.00 - 0.90	Fragmentos rochosos, com alguns vestígios de matéria orgânica (W ₄₋₅ ; F ₅)	
				0.90 - 8.30	Metagrauvaques (W ₃ ; F ₄ - F ₅ , F ₄ - F ₃ , F ₃)	
S66	0+270	Reconheci mento da fundação de aterro	X/S	0.00 - 0.30	Terra vegetal	
				0.30 - 2.20	Fragmentos xistosos, envoltos em matriz arenosa (W ₄₋₅), muito compacta (N> 60)	
				2.20 - 6.10	Xisto gessoso (W ₃ ; F ₄ - F ₅ , F ₄ - F ₃), com filonetes de quartzo	
SC1/L5	0+475	Reconheci mento da fundação da PH0.3 e do aterro associado	So	0.00 - 1.60	Areias argilosas, soltas (N = 4), com matéria orgânica no topo	
			X/S	1.60 - 7.00	Xisto grauvacóide (W ₄ , W ₃ , W ₂ ; F ₄₋₅ , F ₄ , F ₃)	
SC2/L5	0+700	Reconheci mento da fundação da PS1 e da escavação associada	X/S	0.00 - 3.20	Xisto grauvacóide, mosqueado (W ₄₋₅ ; F ₄₋₅)	
				3.20 - 15.00	Xisto grauvacóide, mosqueado (W ₃ ; F ₄₋₅ , F ₄)	
S67			X/S	0.00 - 0.40	Terra vegetal	
				0.40 - 3.00	Xisto siltítico (W ₄ ; F ₅), com filonetes de quartzo	
				3.00 - 10.80	Xisto siltítico, grauvacóide (W ₃ ; F ₃)	
S68			X/S	0.00 - 0.50	Terra vegetal	
				0.50 - 3.00	Xisto argiloso, siltítico (W ₄ ; F ₅)	
				3.00 - 11.00	Xistos argilosos e metagrauvaques (W ₄ - W ₃ , W ₃ ; F ₄ - F ₅ , F ₄ - F ₃ , F ₃)	
S69		0+880	Reconheci mento de escavação	X/S	0.00 - 0.20	Terra vegetal
					0.20 - 1.20	Xisto (W ₄ ; F ₅)
				X/S	1.20 - 6.50	Xisto mosqueado (W ₃ ; F ₄ - F ₃)
					6.50 - 9.30	Quartzito, com passagens argilosas intercaladas (W ₂ ; F ₅)
					9.30 - 10.80	Xisto mosqueado (W ₃ ; F ₄)

SC3/L5	1+380	Reconhecimento da fundação da PS2 e da escavação associada	At	0.00 - 0.20	Areias com calhaus
			X/S	0.20 - 25.00	Xisto grauvacóide, mosqueado (W ₄ , W ₃ - W ₄ , w ₃ ; F ₄₋₅ , F ₄ , F ₃ - F ₄ , F ₃)
S70	X/S		0.00 - 0.40	Terra vegetal	
			0.40 - 6.90	Argila siltosa (xisto - W ₅), rija (N ≥ 60)	
			6.90 - 11.90	Xisto mosqueado, bastante argilificado (W ₃ ; F ₄₋₅ , F ₄)	
S71	X/S		0.00 - 0.20	Terra vegetal	
			0.20 - 0.90	Xisto (W ₄₋₅ ; F ₅)	
			0.90 - 11.40	Xisto finamente mosqueado (W ₃ ; F ₄₋₅ , F ₄ - F ₃ , F ₃)	
S72	X/S		0.00 - 0.30	Terra vegetal	
		0.30 - 1.20	Xisto (W ₄ ; F ₅)		
		1.20 - 11.80	Xisto mosqueado (W ₃ ; F ₄₋₅ , F ₄ - F ₃)		
SC4/L5	1+790	Reconhecimento de escavação	X/S	0.00 - 0.70	Xisto grauvacóide (W ₄ ; F ₅)
				0.70 - 20.00	Xisto grauvacóide, mosqueado (W ₄ , W ₃ ; F ₄₋₅ , F ₄)
SC5/L5	2+385	Reconhecimento de escavação	X/S	0.00 - 17.00	Xisto grauvacóide, mosqueado (W ₃ - W ₄ , W ₃ ; F ₄₋₅ , F ₄ , F ₃)
SC6/L5	2+625	Reconhecimento da fundação da PS3 e da escavação associada	X/S	0.00 - 0.40	Terra vegetal
				0.40 - 2.80	Xisto grauvacóide, mosqueado (W ₄₋₅), rijo (N > 60)
				2.80 - 9.00	Xisto grauvacóide, mosqueado (W ₃ - W ₄ , W ₃ ; F ₄₋₅ , F ₄)
SC7/L5			X/S	0.00 - 1.20	Areia fina, silto-argilosa, com matéria orgânica (terra vegetal)
				1.20 - 2.10	Areia fina, silto-argilosa, micácea, muito solta (N = 2)
				2.10 - 9.00	Xisto grauvacóide, mosqueado (W ₃ - W ₄ ; F ₄₋₅), rijo (N > 60)
SC8/L5	2+915	Reconhecimento da fundação da PS3A e do aterro associado	X/S	0.00 - 0.30	Terra vegetal
				0.30 - 1.50	Areia fina, siltosa, micácea

					1.50 - 7.50	Xisto grauvacóide, mosqueado (W4; F4-5), rijo (N > 60)
	SC9/L5			X/S	0.00 - 0.70	Areia fina, siltosa, com matéria orgânica (terra vegetal)
					0.70 - 6.00	Xisto grauvacóide, mosqueado (W4; F4-5), rijo (N > 60)
					6.00 - 7.50	Xisto grauvacóide, mosqueado (W3 - W4; F4 - F3), rijo (N > 60)

A4

Plena Via

Planta e perfil Longitudinal

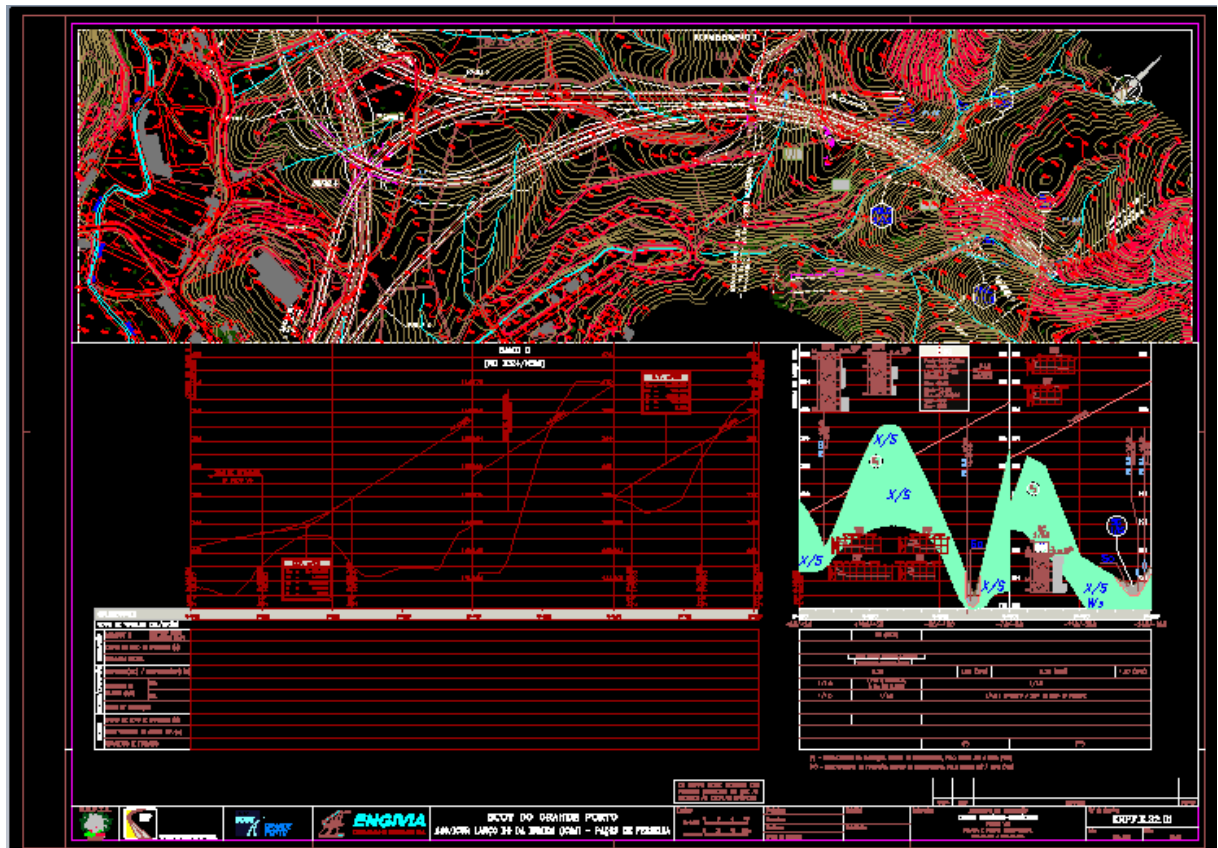
Projeto de Execução

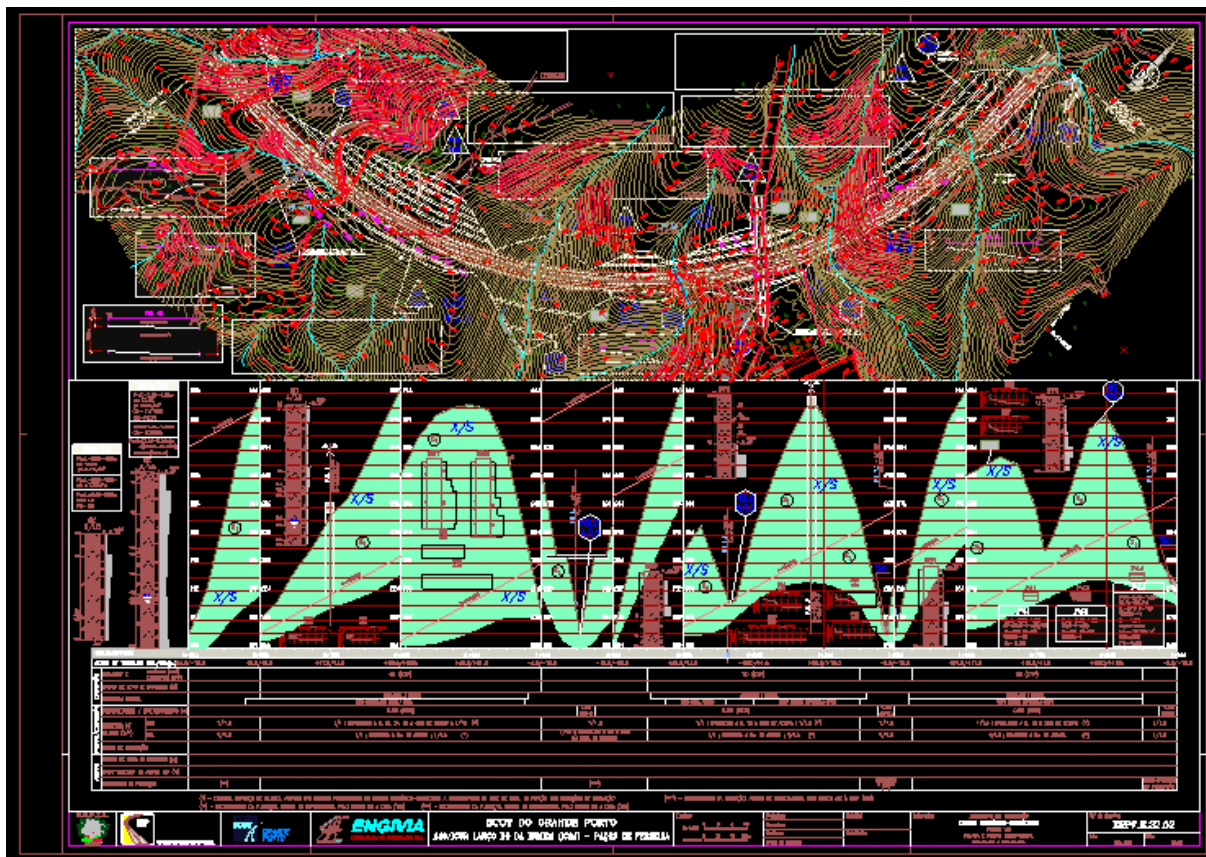
Estudo Geológico-Geotécnico

0+000 ao 0+500

0+500 ao 1+900

1+900 ao 3+300





A5

Cálculo de volumes :

**Escavação com recurso a
explosivos**

Escavação mecânica

Corpo e Parte Superior dos Aterro

Parte Inferior do Aterro

Km	%Eexp	Escavação com recurso a Explosivo	Escavação Mecânica	Km	%PIA	Parte Inferior do Aterro	Corpo do Aterro e Parte Superior do Aterro
0+000.0		0	0	0+000.0	0	0	0
0+025.0	0	0	2039	0+025.0	0	0	1393
0+050.0	0	0	0	0+050.0	0	0	3748
0+075.0	0	101	403	0+075.0	0	0	2370
0+100.0	0	735	2942	0+100.0	0	0	16
0+125.0	0	1522	6087	0+125.0	0	0	2
0+150.0	0	1276	5104	0+150.0	0	0	2
0+175.0	0	397	1589	0+175.0	0	0	1699
0+200.0	0	0	41	0+200.0	0	0	8902
0+225.0	0	0	0	0+225.0	1	12318	8212
0+250.0	0	0	0	0+250.0	1	18399	12266
0+275.0	0	0	0	0+275.0	1	17397	11598
0+300.0	0	0	0	0+300.0	1	9061	6041
0+325.0	0	0	0	0+325.0	1	2325	1550
0+350.0	0	0	0	0+350.0	1	2129	1419
0+375.0	0	0	0	0+375.0	1	9120	6080
0+400.0	0	0	0	0+400.0	1	17155	11437
0+425.0	0	0	0	0+425.0	1	23161	9926
0+450.0	0	0	0	0+450.0	1	25460	8487
0+475.0	0	0	0	0+475.0	1	23894	10240
0+500.0	0	0	0	0+500.0	1	22973	9845
0+525.0	0	0	0	0+525.0	1	18070	12047
0+550.0	0	0	0	0+550.0	1	13933	9288
0+575.0	0	0	0	0+575.0	0	0	11215
0+600.0	1	676	450	0+600.0	0	0	2054
0+625.0	1	1634	1090	0+625.0	0	0	0
0+650.0	1	2828	1885	0+650.0	0	0	0
0+675.0	1	4636	3091	0+675.0	0	0	0
0+700.0	1	6845	4563	0+700.0	0	0	0
0+725.0	1	9715	6477	0+725.0	0	0	0
0+750.0	1	13792	9194	0+750.0	0	0	0
0+775.0	1	18652	12435	0+775.0	0	0	0
0+800.0	1	23471	15648	0+800.0	0	0	0

0+825.0	1	28289	18859	0+825.0	0	0	0
0+850.0	1	32190	21460	0+850.0	0	0	0
0+875.0	1	34403	22936	0+875.0	0	0	0
0+900.0	1	34183	22789	0+900.0	0	0	0
0+925.0	1	30290	20194	0+925.0	0	0	0
0+950.0	1	21703	14469	0+950.0	0	0	0
0+975.0	1	10387	6925	0+975.0	0	0	0
1+000.0	1	2321	1547	1+000.0	0	0	4433
1+025.0	0	0	0	1+025.0	0	0	24938
1+050.0	0	0	0	1+050.0	1	32319	32319
1+075.0	0	0	0	1+075.0	1	47126	38558
1+100.0	0	0	0	1+100.0	1	31525	31525
1+125.0	0	0	0	1+125.0	0	0	30205
1+150.0	1	199	85	1+150.0	0	0	10479
1+175.0	1	2363	1013	1+175.0	0	0	1771
1+200.0	1	7346	3148	1+200.0	0	0	0
1+225.0	1	11121	4766	1+225.0	0	0	0
1+250.0	1	7902	3386	1+250.0	0	0	0
1+275.0	1	2984	1279	1+275.0	0	0	1816
1+300.0	1	4477	1919	1+300.0	0	0	1816
1+325.0	1	10501	4501	1+325.0	0	0	0
1+350.0	1	17852	7651	1+350.0	0	0	0
1+375.0	1	23406	10031	1+375.0	0	0	0
1+400.0	1	22308	9561	1+400.0	0	0	0
1+425.0	1	14601	6257	1+425.0	0	0	0
1+450.0	1	5959	2554	1+450.0	0	0	6
1+475.0	0	0	1522	1+475.0	0	0	8333
1+500.0	0	0	0	1+500.0	0	0	14655
1+525.0	1	178	119	1+525.0	0	0	6404
1+550.0	1	3461	2308	1+550.0	0	0	77
1+575.0	1	10031	6688	1+575.0	0	0	0
1+600.0	1	16358	10906	1+600.0	0	0	0
1+625.0	1	20273	13516	1+625.0	0	0	0
1+650.0	1	21489	14326	1+650.0	0	0	0
1+675.0	1	20593	13729	1+675.0	0	0	0
1+700.0	1	15374	10249	1+700.0	0	0	2
1+725.0	1	10366	6911	1+725.0	0	0	74

1+750.0	1	11660	7774	1+750.0	0	0	75
1+775.0	1	17449	11633	1+775.0	0	0	0
1+800.0	1	20342	13562	1+800.0	0	0	0
1+825.0	1	15373	10249	1+825.0	0	0	0
1+850.0	1	6808	4538	1+850.0	0	0	0
1+875.0	0	0	2047	1+875.0	0	0	2595
1+900.0	0	0	0	1+900.0	0	0	10798
1+925.0	0	0	0	1+925.0	0	0	15389
1+950.0	0	0	0	1+950.0	0	0	8909
1+975.0	0	221	1990	1+975.0	0	0	1723
2+000.0	0	612	5505	2+000.0	0	0	0
2+025.0	0	899	8088	2+025.0	0	0	0
2+050.0	0	1103	9923	2+050.0	0	0	0
2+075.0	0	947	8525	2+075.0	0	0	0
2+100.0	0	460	4137	2+100.0	0	0	1145
2+125.0	0	157	1411	2+125.0	0	0	2978
2+150.0	0	50	450	2+150.0	0	0	5456
2+175.0	0	82	734	2+175.0	0	0	3620
2+200.0	1	3165	2110	2+200.0	0	0	0
2+225.0	1	7557	5038	2+225.0	0	0	0
2+250.0	1	9137	6091	2+250.0	0	0	0
2+275.0	1	9729	6486	2+275.0	0	0	0
2+300.0	1	11894	7929	2+300.0	0	0	0
2+325.0	1	12881	8587	2+325.0	0	0	0
2+350.0	1	12638	8426	2+350.0	0	0	0
2+375.0	1	12065	8043	2+375.0	0	0	0
2+400.0	1	11237	7492	2+400.0	0	0	0
2+425.0	1	9906	6604	2+425.0	0	0	0
2+450.0	1	8345	5564	2+450.0	0	0	0
2+475.0	1	6793	4528	2+475.0	0	0	0
2+500.0	1	5578	3719	2+500.0	0	0	0
2+525.0	1	4990	3327	2+525.0	0	0	0
2+550.0	1	4918	3279	2+550.0	0	0	0
2+575.0	1	5060	3374	2+575.0	0	0	0
2+600.0	1	3773	2516	2+600.0	0	0	0
2+625.0	1	2204	1469	2+625.0	0	0	0
2+650.0	1	2596	1731	2+650.0	0	0	0

2+675.0	1	3563	2375	2+675.0	0	0	0
2+700.0	1	4408	2939	2+700.0	0	0	0
2+725.0	1	5246	3498	2+725.0	0	0	0
2+750.0	1	6779	4520	2+750.0	0	0	0
2+775.0	1	6358	4238	2+775.0	0	0	0
2+800.0	1	4474	2982	2+800.0	0	0	0
2+825.0	1	3447	2298	2+825.0	0	0	0
2+850.0	1	1971	1314	2+850.0	0	0	0
2+875.0	0	0	1064	2+875.0	0	0	960
2+900.0	0	0	19	2+900.0	0	0	2588
2+925.0	0	0	0	2+925.0	0	0	3670
2+950.0	0	0	0	2+950.0	0	0	3667

A6

**Cálculo de volumes acumulados
para elaboração**

CBexp

CBmec

Km	Escavação com recurso a Explosivo	Parte Inferior do Aterro	CBexp	Km	Escavação Mecânica	Corpo do Aterro e Parte Superior do Aterro	CBmec
0+000.0	0	0	0	0+000.0	0	0	0
0+025.0	0	0	0	0+025.0	2039	1393	646
0+050.0	0	0	0	0+050.0	0	3748	-3102
0+075.0	101	0	101	0+075.0	403	2370	-5069
0+100.0	735	0	836	0+100.0	2942	16	-2143
0+125.0	1522	0	2358	0+125.0	6087	2	3942
0+150.0	1276	0	3634	0+150.0	5104	2	9044
0+175.0	397	0	4031	0+175.0	1589	1699	8934
0+200.0	0	0	4031	0+200.0	41	8902	73
0+225.0	0	12318	-8287	0+225.0	0	8212	-8139
0+250.0	0	18399	-26686	0+250.0	0	12266	-20405
0+275.0	0	17397	-44083	0+275.0	0	11598	-32003
0+300.0	0	9061	-53144	0+300.0	0	6041	-38044
0+325.0	0	2325	-55469	0+325.0	0	1550	-39594
0+350.0	0	2129	-57598	0+350.0	0	1419	-41013
0+375.0	0	9120	-66718	0+375.0	0	6080	-47093
0+400.0	0	17155	-83873	0+400.0	0	11437	-58530
0+425.0	0	23161	-107034	0+425.0	0	9926	-68456
0+450.0	0	25460	-132494	0+450.0	0	8487	-76943
0+475.0	0	23894	-156388	0+475.0	0	10240	-87183
0+500.0	0	22973	-179361	0+500.0	0	9845	-97028
0+525.0	0	18070	-197431	0+525.0	0	12047	-109075
0+550.0	0	13933	-211363	0+550.0	0	9288	-118364
0+575.0	0	0	-211363	0+575.0	0	11215	-129579
0+600.0	676	0	-210688	0+600.0	450	2054	-131182
0+625.0	1634	0	-209053	0+625.0	1090	0	-130093
0+650.0	2828	0	-206226	0+650.0	1885	0	-128207
0+675.0	4636	0	-201589	0+675.0	3091	0	-125117
0+700.0	6845	0	-194745	0+700.0	4563	0	-120553
0+725.0	9715	0	-185029	0+725.0	6477	0	-114077
0+750.0	13792	0	-171238	0+750.0	9194	0	-104882

0+775.0	18652	0	- 152586	0+775.0	12435	0	-92447
0+800.0	23471	0	- 129114	0+800.0	15648	0	-76800
0+825.0	28289	0	- 100825	0+825.0	18859	0	-57941
0+850.0	32190	0	-68635	0+850.0	21460	0	-36481
0+875.0	34403	0	-34232	0+875.0	22936	0	-13545
0+900.0	34183	0	-49	0+900.0	22789	0	9244
0+925.0	30290	0	30242	0+925.0	20194	0	29437
0+950.0	21703	0	51945	0+950.0	14469	0	43906
0+975.0	10387	0	62332	0+975.0	6925	0	50831
1+000.0	2321	0	64653	1+000.0	1547	4433	47945
1+025.0	0	0	64653	1+025.0	0	24938	23007
1+050.0	0	32319	32334	1+050.0	0	32319	-9311
1+075.0	0	47126	-14792	1+075.0	0	38558	-47869
1+100.0	0	31525	-46316	1+100.0	0	31525	-79394
1+125.0	0	0	-46316	1+125.0	0	30205	- 109599
1+150.0	199	0	-46118	1+150.0	85	10479	- 119992
1+175.0	2363	0	-43755	1+175.0	1013	1771	- 120751
1+200.0	7346	0	-36409	1+200.0	3148	0	- 117603
1+225.0	11121	0	-25288	1+225.0	4766	0	- 112837
1+250.0	7902	0	-17387	1+250.0	3386	0	- 109450
1+275.0	2984	0	-14403	1+275.0	1279	1816	- 109987
1+300.0	4477	0	-9926	1+300.0	1919	1816	- 109885
1+325.0	10501	0	575	1+325.0	4501	0	- 105384
1+350.0	17852	0	18427	1+350.0	7651	0	-97733
1+375.0	23406	0	41833	1+375.0	10031	0	-87702
1+400.0	22308	0	64142	1+400.0	9561	0	-78142
1+425.0	14601	0	78742	1+425.0	6257	0	-71884
1+450.0	5959	0	84701	1+450.0	2554	6	-69336
1+475.0	0	0	84701	1+475.0	1522	8333	-76147
1+500.0	0	0	84701	1+500.0	0	14655	-90802
1+525.0	178	0	84879	1+525.0	119	6404	-97087
1+550.0	3461	0	88341	1+550.0	2308	77	-94857
1+575.0	10031	0	98372	1+575.0	6688	0	-88169
1+600.0	16358	0	114731	1+600.0	10906	0	-77264
1+625.0	20273	0	135004	1+625.0	13516	0	-63748
1+650.0	21489	0	156493	1+650.0	14326	0	-49422

1+675.0	20593	0	177086	1+675.0	13729	0	-35693
1+700.0	15374	0	192460	1+700.0	10249	2	-25446
1+725.0	10366	0	202826	1+725.0	6911	74	-18609
1+750.0	11660	0	214487	1+750.0	7774	75	-10911
1+775.0	17449	0	231936	1+775.0	11633	0	722
1+800.0	20342	0	252278	1+800.0	13562	0	14284
1+825.0	15373	0	267651	1+825.0	10249	0	24533
1+850.0	6808	0	274459	1+850.0	4538	0	29071
1+875.0	0	0	274459	1+875.0	2047	2595	28523
1+900.0	0	0	274459	1+900.0	0	10798	17725
1+925.0	0	0	274459	1+925.0	0	15389	2336
1+950.0	0	0	274459	1+950.0	0	8909	-6573
1+975.0	221	0	274680	1+975.0	1990	1723	-6306
2+000.0	612	0	275292	2+000.0	5505	0	-801
2+025.0	899	0	276191	2+025.0	8088	0	7287
2+050.0	1103	0	277293	2+050.0	9923	0	17211
2+075.0	947	0	278240	2+075.0	8525	0	25736
2+100.0	460	0	278700	2+100.0	4137	1145	28728
2+125.0	157	0	278857	2+125.0	1411	2978	27161
2+150.0	50	0	278907	2+150.0	450	5456	22155
2+175.0	82	0	278988	2+175.0	734	3620	19270
2+200.0	3165	0	282153	2+200.0	2110	0	21380
2+225.0	7557	0	289710	2+225.0	5038	0	26418
2+250.0	9137	0	298847	2+250.0	6091	0	32509
2+275.0	9729	0	308576	2+275.0	6486	0	38995
2+300.0	11894	0	320470	2+300.0	7929	0	46924
2+325.0	12881	0	333351	2+325.0	8587	0	55511
2+350.0	12638	0	345989	2+350.0	8426	0	63937
2+375.0	12065	0	358054	2+375.0	8043	0	71980
2+400.0	11237	0	369291	2+400.0	7492	0	79472
2+425.0	9906	0	379197	2+425.0	6604	0	86076
2+450.0	8345	0	387543	2+450.0	5564	0	91639
2+475.0	6793	0	394335	2+475.0	4528	0	96168
2+500.0	5578	0	399914	2+500.0	3719	0	99886
2+525.0	4990	0	404904	2+525.0	3327	0	103213
2+550.0	4918	0	409822	2+550.0	3279	0	106492
2+575.0	5060	0	414882	2+575.0	3374	0	109866

2+600.0	3773	0	418656	2+600.0	2516	0	112381
2+625.0	2204	0	420860	2+625.0	1469	0	113850
2+650.0	2596	0	423456	2+650.0	1731	0	115581
2+675.0	3563	0	427019	2+675.0	2375	0	117956
2+700.0	4408	0	431427	2+700.0	2939	0	120895
2+725.0	5246	0	436673	2+725.0	3498	0	124393
2+750.0	6779	0	443453	2+750.0	4520	0	128912
2+775.0	6358	0	449810	2+775.0	4238	0	133151
2+800.0	4474	0	454284	2+800.0	2982	0	136133
2+825.0	3447	0	457731	2+825.0	2298	0	138431
2+850.0	1971	0	459702	2+850.0	1314	0	139745
2+875.0	0	0	459702	2+875.0	1064	960	139849
2+900.0	0	0	459702	2+900.0	19	2588	137280
2+925.0	0	0	459702	2+925.0	0	3670	133610
2+950.0	0	0	459702	2+950.0	0	3667	129943

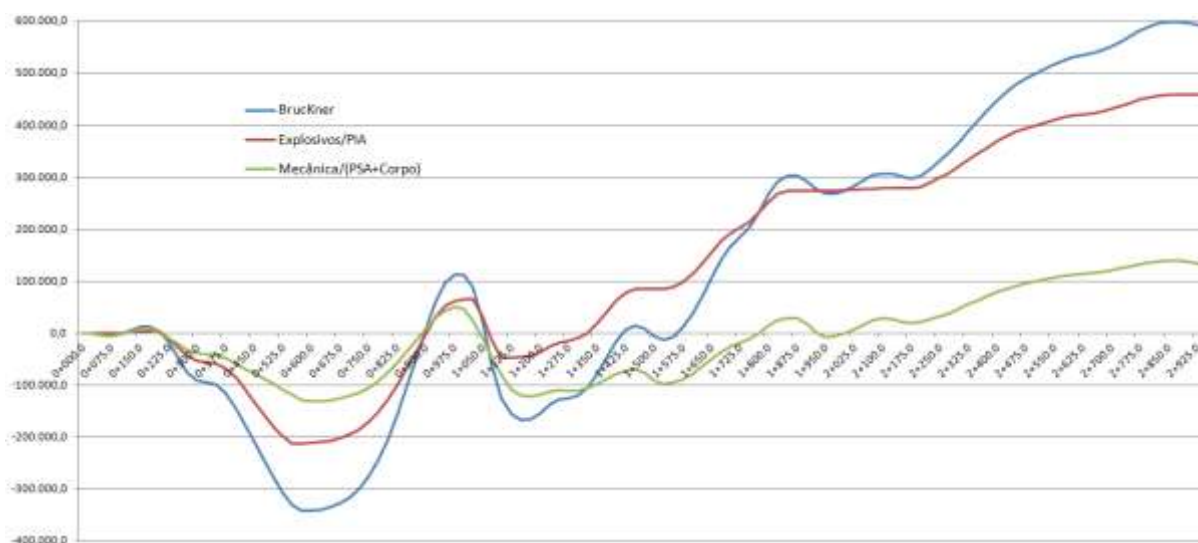


Fig.6.2 – Curvas de Brückner totalidade da Zona 1, CB , CBexp e Cbmec

A7

**Momentos de transporte e volumes
transportados**

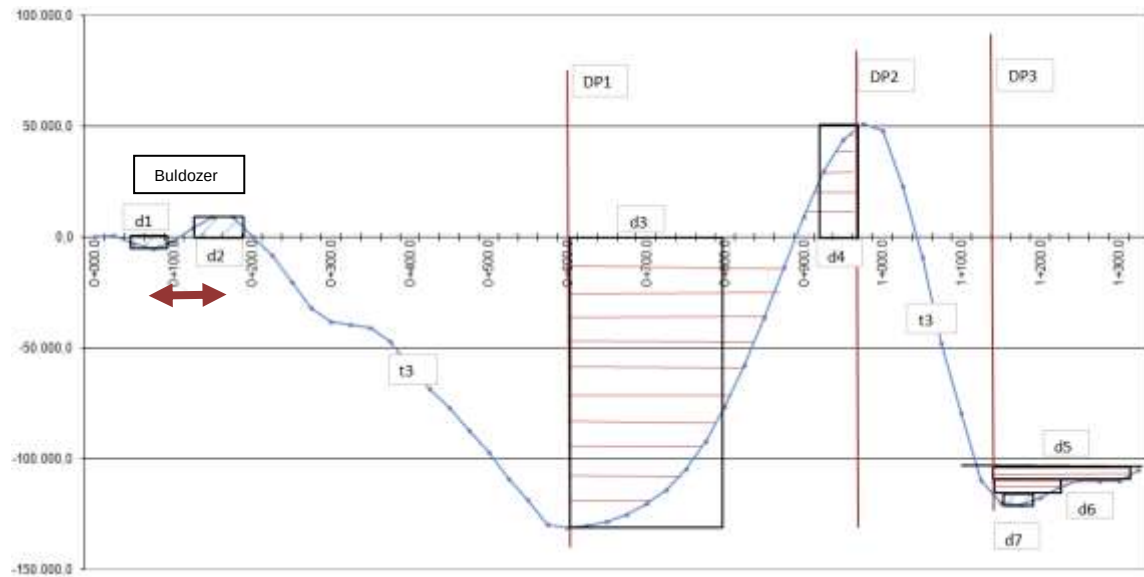
Zona 1.1- tempo t1

Zona 1.1- tempo t2

Zona 1.1- tempo t3

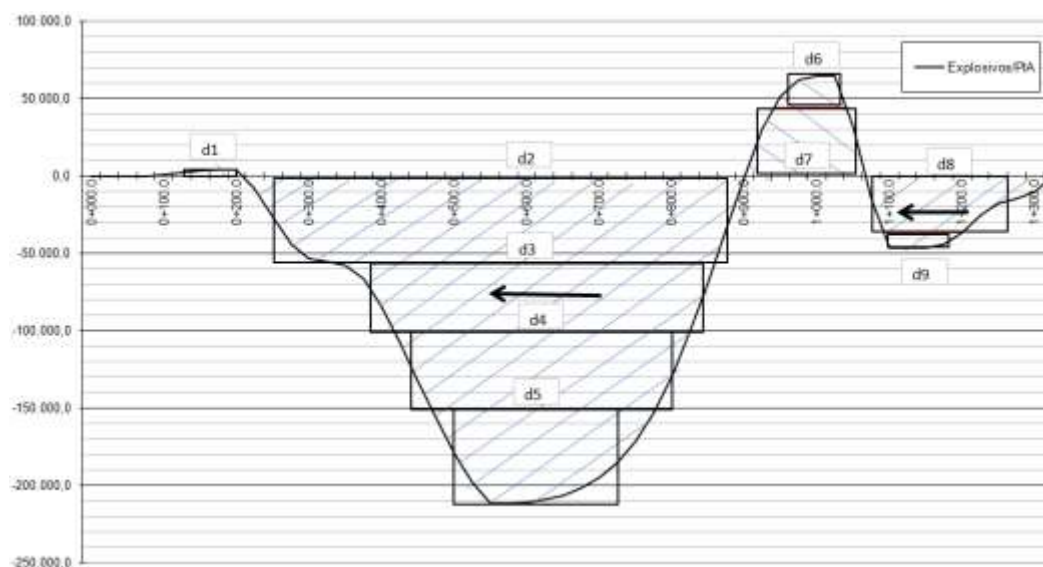
Zona 2

. Momentos de transporte e volumes transportados- Zona 1.1 - Tempo t1



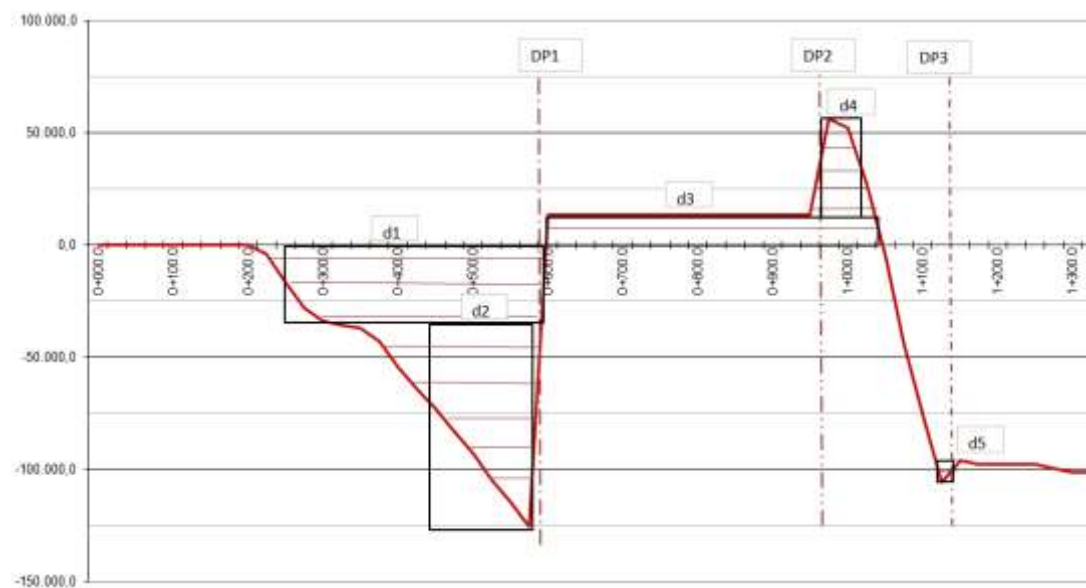
Tempo t1	d _i	d DP	v _i	M _i	Meio transporte
1	0,050	0,000	5068	253	D8
2	0,075	0,000	9044	678	D8
3	0,200	0,500	131182	91827	CAT 730
4	0,050	0,500	50831	27957	CAT 730
5	0,175	0,700	5000	4375	CAT 730
6	0,090	0,700	5367	4240	CAT 730
7	0,040	0,000	5000	200	D8

Momentos de transporte e volumes transportados- Zona 1.1 - Tempo t2



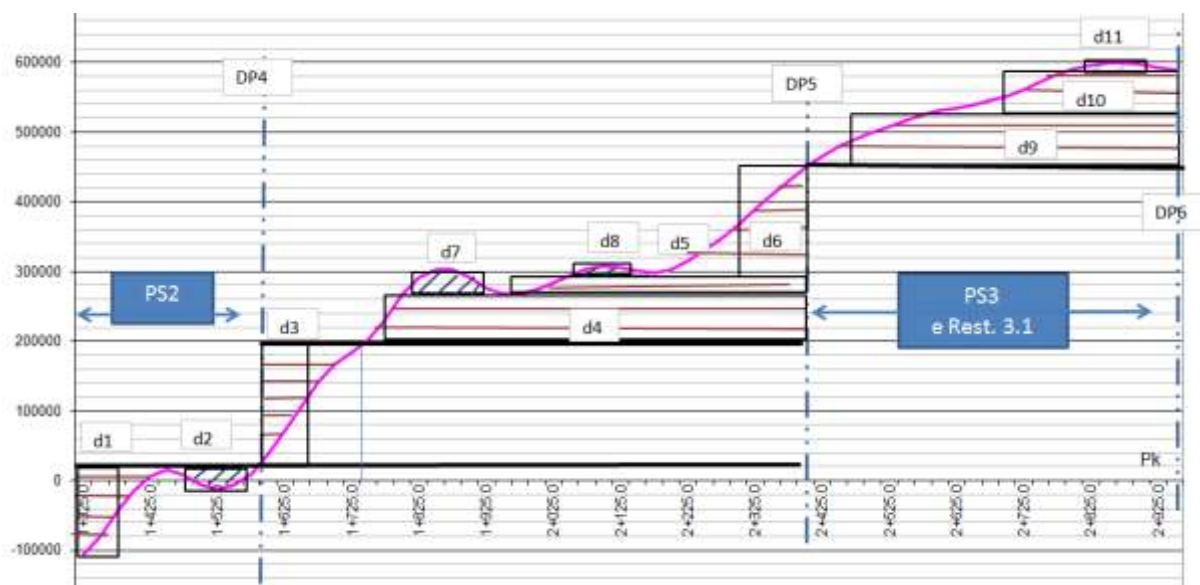
Tempo t2	di	d DP	vi	Mi	Meio transporte
1	0,075	0,000	4031	302	D8
2	0,600	0,000	55000	33000	CAT 730
3	0,460	0,000	45000	20700	CAT 730
4	0,360	0,000	50000	18000	CAT 730
5	0,225	0,000	61364	13807	CAT 730
6	0,750	0,000	19652	14739	CAT 730
7	0,130	0,000	45000	5850	CAT 730
8	0,185	0,000	36000	6660	CAT 730
9	0,080	0,000	10316	825	D8

Momentos de transporte e volumes transportados- Tempo t3



Tempo t3	d _i	d DP	v _i	M _i	Meio transporte
1	0,350	0,500	34000	28900	CAT 730
2	0,140	0,500	91620	58637	CAT 730
3	0,450	0,500	13202	12542	CAT 730
4	0,600	0,500	43134	47447	CAT 730
5	0,025	0,700	9618	6973	CAT 730

Momentos de transporte e volumes transportados- Zona 2.1, Zona 2.2 e Zona 2.3



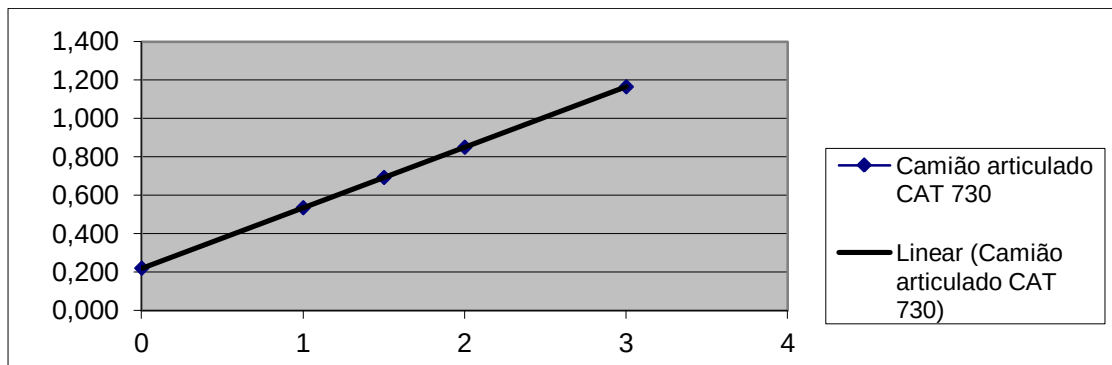
1+350 a 2+950	di	d DP	vi	Mi	Meio transporte
1	0,050	0,000	120174	6009	CAT 730
2	0,090	0,000	27573	2482	CAT 730
3	0,075	1,500	166109	261622	CAT 730
4	0,600	1,000	64310	102896	CAT 730
5	0,350	1,000	30372	41002	CAT 730
6	0,100	1,000	167015	183717	CAT 731
7	0,090	0,000	35644	3208	CAT 732
8	0,080	0,000	9170	734	D8
9	0,480	0,500	80000	78400	CAT 734
10	0,230	0,500	50976	37212	CAT 735
11	0,090	0,000	9906	892	D8

A8

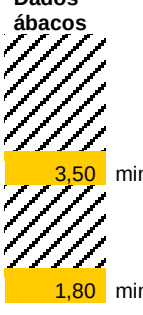
Custos de transporte

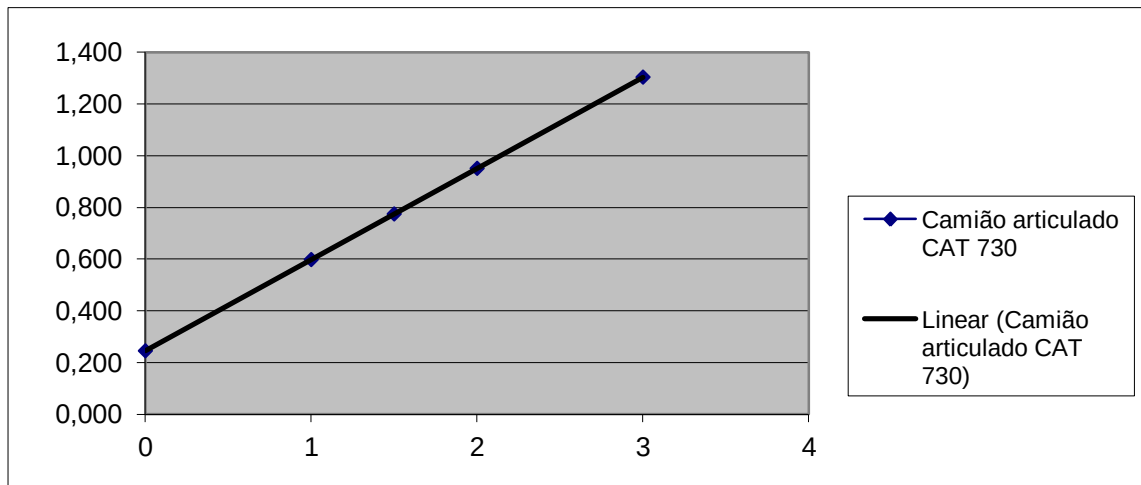
Material a escavar/transportar	ZONA 1.1	
Fator de empolamento	25%	%
Fator de carga	0,800	
Distância Transporte	1	KM
Equipamento Transporte - tipologia	Camião articulado CAT 730	
Declive do trajeto	8	%
Capacidade de carga coroada	16,9	m ³
Custo horário do equipamento	40	€/h
Tempo Ciclo Total	9,00	min
Nº Ciclo por hora	6,67	
Volume médio transportado por ciclo	13,52	m³
Produção horária	90,16	m³/h
Factor de eficiência	0,83	
Outros Factores de eficiência	1	
Produção	74,83	
Custo / m3	0,535	
K	0,315	
K'	0,220	

Tempo Ciclo(minutos): Posicionamento para carga 0,20 min tempo de espera 0,20 min tempo de carga 2,90 min tempo de transporte 3,50 min Posicionamento para descarga 0,30 min tempo de descarga 0,10 min tempo de regresso 1,80 min TFC 3,70 min			Dados ábacos 			
			TFC+TVC=		Tempo Ciclo Total	9,00 min
					Nº Ciclo por hora	6,67
					Volume médio transportado por ciclo	m3
						13,52



Material a escavar/transportar	Enrocamento
Fator de empolamento	40% %
Fator de carga	0,714
Distância Transporte	1 KM
Equipamento Transporte - tipologia	Camião articulado CAT 730
Declive do trajeto	8 %
Capacidade de carga coroada	16,9 m ³
Custo horário do equipamento	40 €/h
Tempo Ciclo Total	9,00 min
Nº Ciclo por hora	6,67
Volume médio transportado por ciclo	12,07 m³
Produção horária	80,50 m³/h
Factor de eficiência	0,83
Outros Factores de eficiência	1
Produção	66,82
Custo / m3	0,599
K	0,353
K'	0,246

Tempo Ciclo(minutos): Posicionamento para carga 0,20 min tempo de espera 0,20 min tempo de carga 2,90 min tempo de transporte 3,50 min Posicionamento para descarga 0,30 min tempo de descarga 0,10 min tempo de regresso 1,80 min TFC 3,70 min			Dados ábacos 		TFC+TVC= Tempo Ciclo Total 9,00 min Nº Ciclo por hora 6,67 Volume médio transportado por ciclo 12,07 m³	
--	--	--	--	--	--	--



Material a escavar/transportar	ZONA 2	
Fator de empolamento	33%	%
Fator de carga	0,752	
Distância Transporte	1	KM
Equipamento Transporte - tipologia	Camião articulado CAT 730	
Declive do trajeto	4	%
Capacidade de carga coroada	16,9	m ³
Custo horário do equipamento	40	€/h
Tempo Ciclo Total	7,10	min
Nº Ciclo por hora	8,45	
Volume médio transportado por ciclo	12,71	m³
Produção horária	107,42	m³/h
Factor de eficiência	0,83	
Outros Factores de eficiência	1	
Produção	89,16	
Custo / m3	0,449	
K	0,215	
K'	0,234	

Tempo Ciclo(minutos):			Dados ábacos 	TFC+TVC= Tempo Ciclo Total 7,10 min Nº Ciclo por hora 8,45 Volume médio transportado por ciclo 12,71 m ³
Posicionamento para carga	0,20	min		
tempo de espera	0,20	min		
tempo de carga	2,90	min		
tempo de transporte		min		
Posicionamento para descarga	0,30	min		
tempo de descarga	0,10	min		
tempo de regresso		min		
TFC	3,70	min	3,40	

