

**PROJETO TREM DE ALTA VELOCIDADE (TAV)  
BRASILEIRO: Estudos Geotécnicos**



**Análise Preliminar do Risco ao  
Empreendimento do TAV - Etapa III**

SETEMBRO 2009

U02912/XR0001/0019

**PROJETO TREM DE ALTA VELOCIDADE (TAV)  
BRASILEIRO: Estudos Geotécnicos**

**Análise Preliminar do risco ao Empreendimento  
do TAV - Etapa III**

SETEMBRO 2009

REV.	REDAÇÃO		VERIFICAÇÃO		APROVAÇÃO		
	NOME	ASSINATURA	NOME	ASSINATURA	NOME	ASSINATURA	DATA
0	Simone Cocchi Alessandro Corsi Vittorio Guglielmetti Anastasios Konstantinou Danilo Vercellino Lorenzo Verzani		Shulin Xu Giuseppe Astore		Piergiorgio Grasso		Sept 09
a							
b							
c							

U02912/XR0001/0019

## INDICE

1. INTRODUÇÃO.....	5
2. DOCUMENTAÇÃO DE REFERÊNCIA.....	6
3. METODOLOGIA DE ANÁLISE DE RISCO.....	7
3.1 Introdução.....	7
3.2 Obras externas.....	7
3.2.1 Criticidade e probabilidade de ocorrência.....	7
3.2.2 Impacto nas obras.....	8
3.2.3 Avaliação do risco geológico.....	9
3.2.4 Atribuição de risco alto a obras significativas.....	10
3.3 Obras em subterrâneo.....	10
3.3.1 Perigos.....	11
3.3.2 Avaliação do risco.....	12
4. REPRESENTAÇÃO GRÁFICA.....	13
4.1 Coluna relativa à tipologia das obras.....	13
4.2 Coluna relativa às interferências.....	13
4.3 Colunas relativas às obras subterrâneas.....	14
4.4 Colunas relativas às obras externas.....	14
4.5 Colunas relativas ao resultado da análise de risco..	15
4.6 Exemplos.....	16
5. RESULTADOS E IMPLICAÇÕES.....	18
6. ASPECTOS CONSTRUTIVOS.....	21
6.1 Introdução.....	21
6.2 Riscos de caráter geral.....	21
6.3 Riscos ligados com as obras únicas.....	22
6.3.1 Pontes e viadutos.....	22
6.3.2 Túneis.....	23
Escolha do diâmetro de escavação.....	23
Escolha do tipo de TBM.....	24
Velocidade média considerada no planejamento.....	25
6.4 Planejamento.....	26
6.4.1 Túneis.....	26
7. ANÁLISE CRÍTICA DO TRAÇADO COM PROPOSTAS DE OTIMIZAÇÃO DO PROJETO.....	29
7.1 Alguns elementos gerais.....	29
7.1.1 Uso da linha.....	29
7.1.2 Segurança dos sistemas.....	30
7.1.3 Provisão de energia.....	30
7.2 Dados de input para o estudo das alternativas de traçado.....	30
7.2.1 Custos unitários por tipos de obras.....	30
7.2.2 "Geometrias máximas".....	31

7.2.3	“Limitações sobre as obras em terra e obras de arte” .....	31
7.2.4	Geologia de detalhe - Ambiente e território ...	32
7.3	As análises multi-critério efetuadas .....	32
7.4	Seções tipo dos túneis .....	33
7.5	Tabela e esquema gráfico com proposta de otimização .	34
8.	CONSIDERAÇÕES SOBRE PRAZOS E CUSTOS .....	44
8.1	Obras a céu aberto .....	44
8.2	Obras subterrâneas .....	45
9.	CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES .....	48

## 1. INTRODUÇÃO

Este relatório trata da análise do risco geológico-geotécnico e precisamente da construção, destinado ao estudo da viabilidade do traçado ferroviário de alta velocidade (Projeto de Implantação do Trem de Alta Velocidade do Brasil - TAV) de ligação entre as cidades do Rio de Janeiro, São Paulo e Campinas, com um desenvolvimento longitudinal de cerca 511km.

A presente análise constitui a terceira fase de um contrato mais amplo (nºINE/TSP004/09), que prevê o estudo geotécnico da linha de alta velocidade ("Investigações Geotécnicas de campo e laboratório necessárias à caracterização Geológico-Geotécnica e delimitação das áreas de risco geológico ao longo do traçado da Via do Trem de Alta Velocidade"), estipulado entre a Geodata S.p.A de Turim (Itália) e o Inter-American Development Bank de Washington em 22 de Abril de 2009.

A análise do risco é o resultado de um estudo realizado em colaboração com o CPRM (Serviço Geológico do Brasil), nas três fases ilustradas a seguir:

- primeira fase (Fevereiro-Junho 2009): realização, por parte do CPRM, de uma cartografia geológico-geotécnica, zoneamento das áreas de risco geológico-geotécnico integrado em um sistema de informação geográfica (SIG), ao longo do traçado TAV definido em Junho de 2009 pela Halcrow & Sinergia e projeto da campanha de sondagens geotécnicas (1º ETAPA - Projeto "Mapeamento Geológico-Geotécnico e Delimitação das Áreas de Risco Geológico ao Longo do Traçado da Via do Trem de Alta Velocidade - TAV" (mapeamento de superfície).
- segunda fase (Abril-Julho 2009): realização da campanha de sondagens geotécnicas por parte da Geodata S.p.A ao longo do traçado TAV. (2ª ETAPA - Projeto "Execução das Investigações Geotécnicas de Campo e Laboratório ao Longo do Traçado da Via do Trem de Alta Velocidade - TAV" (mapeamento de subsuperfície, sondagens).
- terceira fase (Julho-Setembro 2009): análises e integração dos dados do mapeamento geológico-geotécnico e dos resultados da campanha de sondagens geotécnica, construção do modelo geológico-mecânico para o traçado do TAV(CPRM), análises do risco ao longo do traçado TAV (Geodata S.p.A.) (3ª ETAPA - "Integração e consolidação dos dados geológico-geotécnicos das etapas 1 e 2 e análise de riscos" (em desenvolvimento).

Partindo do pressuposto da existência de um nível preliminar de conhecimento seja do território seja do projeto, a análise do

risco apresentada nos capítulos seguintes foi delineada a mais congruente possível com os potenciais problemas geológicos e geotécnicos, graças também ao conhecimento adquirido no decurso das vistorias efetuadas. Na análise do risco foi efetuada uma avaliação preliminar do traçado e de alguns aspectos construtivos com atenção especial para as obras subterrâneas.

A análise destes aspectos construtivos permitiram a elaboração de algumas avaliações preliminares sobre os tempos e custos de realização da obra.

## 2. DOCUMENTAÇÃO DE REFERÊNCIA

O presente relatório levou em consideração em primeiro lugar o "Projeto de Implantação do Trem de Alta Velocidade do Brasil" realizado pela Halcrow & Sinergia em Junho de 2009 e a revisão sucessiva, com data 23 de Julho de 2009, relativa ao traçado.

Para a geologia, a geotécnica e o zoneamento do risco geológico foram utilizados os seguintes documentos:

- "Mapeamento Geológico-Geotécnico e Delimitação das Áreas de Risco Geológico ao Longo do Traçado da Via do Trem de Alta Velocidade - TAV" - Relatório da primeira etapa e cartografia temática relativa em formato ARCGIS (CPRM, Junho 2009);
- "Investigações Geotécnicas de campo e laboratório ao longo do traçado da Via do Trem de Alta Velocidade" - Relatório das sondagens mecânicas, Relatório de investigações geofísicas e Resultados dos ensaios geotécnicos de laboratório (Geodata, Julho 2009);
- "Relatório da 3ª etapa dos estudos geológico-geotécnicos, referente aos Modelos Geológico-Geomecânicos e Riscos Associados ao Longo do Traçado Referencial da Via do Trem de Alta Velocidade (TAV)" (CPRM, Agosto 2009).

### 3. METODOLOGIA DE ANÁLISE DO RISCO

#### 3.1 Introdução

Como citado no capítulo da introdução, para a análise do risco foi utilizada uma metodologia simplificada, utilizando todos os dados disponíveis, como ilustrado a seguir.

Ao longo do traçado atribuiu-se um valor de risco baixo/médio/alto partindo das criticidades geológicas/geotécnicas e o grau de importância de algumas tipologias de obra. A abordagem é diferente para as obras à céu aberto e para as obras subterrâneas.

Para as obras à céu aberto a metodologia para a definição do risco esta baseada nas criticidades de caractere geológico-geotécnico como definidas pelo CPRM, e também em trechos do traçado onde evidenciam-se obras significativas e de difícil realização às quais é atribuído "ad hoc" um risco alto.

Para as obras subterrâneas se adota uma metodologia que tem em consideração as condições geológicas/geotécnicas, as condições de cobertura e o grau de interferência.

#### 3.2 Obras externas

Para as obras externas, a análise do risco baseia-se essencialmente nos dados geológicos do CPRM. A avaliação do risco é baseada na definição de base, a probabilidade de ocorrência multiplicada com o impacto para cada uma das criticidades geológicas/geotécnicas. Como referido em §3.1, nos trechos com obras significativas, atribui-se diretamente um valor de risco alto (ver §3.2.3), independentemente das condições geológicas.

##### 3.2.1 Criticidade e probabilidade de ocorrência

Os técnicos do CPRM individualizaram, ao longo de todo o traçado TAV, nº8 criticidades geológicas-geotécnicas principais (de F1 a F8) como descrito na tabela 3.1 seguinte.

Código criticidade	Descrição criticidade	Probabilidade de ocorrência			
		Ausente	Baixa	Média	Alta/Presente
F1	Turfeiras	0			3
F2	Solos colapsíveis	0			3
F3	Solos expansíveis	0			3
F4	Subsicência cárstica	0			3

Código criticidade	Descrição criticidade	Probabilidade de ocorrência			
		Ausente	Baixa	Média	Alta/Presente
F5	Inundação	0	1	2	3
F6	Movimentos de massa	0	1	2	3
F7	Processos erosivos	0	1	2	3
F8	Cavas de areia	0			3

**Tabela 3-1: síntese das criticidades e as suas probabilidades de ocorrência individualizadas pelo CPRM (2009).**

Além disso, relativamente às criticidades F5 (Inundação), F6 (Movimentos de massa) e F7 (Processos erosivos), estes mesmos técnicos admitiram um valor de probabilidade de ocorrência dividido numa dezena de classes (Probabilidade baixa, Probabilidade da baixa a média, Probabilidade baixa localmente média, etc., etc.).

Nestas classes de probabilidades de ocorrências foi feita uma agregação em 4 classes (Ausente - 0, baixa - 1, média - 2, alta - 3) como referido na tabela precedente 3.1. A agregação, de finalidade cautelar, foi efetuada reagrupando todas as classes intermediárias (Probabilidade de baixa a média, de média a alta, etc.), na classe principal (baixa, média ou alta) do valor mais elevado (por exemplo uma classe definida "de baixa a média" foi agregada na classe "média").

Para a definição, descrição e localização ao longo do traçado das criticidades relacionadas na tabela é necessário verificar o relatório "Mapeamento Geológico-Geotécnico e Delimitação das Áreas de Risco Geológico ao Longo do Traçado da Via do Trem de Alta Velocidade - TAV" (CPRM, 2009).

### 3.2.2 Impacto nas obras

Para cada uma das criticidades geológico-geotécnicas foi avaliado o impacto que estas criticidades possam ter nas diferentes tipologias das obras do projeto.

O impacto nas obras foi avaliado em três categorias: baixo, médio e alto com valores variáveis de 1 a 3.

A atribuição do valor de impacto para cada tipologia de obra está resumida na matriz representada na tabela 3.2.

CRITICIDADE		Turf.	Solos colap.	Solos expans.	Subsicência cárstica	Inundação	Movim. de massa	Proc. Eros.	Cavas de areia
		F <sub>1</sub>	F <sub>2</sub>	F <sub>3</sub>	F <sub>4</sub>	F <sub>5</sub>	F <sub>6</sub>	F <sub>7</sub>	F <sub>8</sub>
OBRAS	ATERRO	2	2	2	1	2	2	1	3
	CORTE	2	1	1	1	3	2	1	2
	PONTE / VIADUTO	1	1	1	1	1	3	1	1
	AT-GRADE	2	2	1	1	2	2	1	3

Tabela 3-2: matriz de avaliação dos impactos nas obras do projeto.

A atribuição dos valores foi estimada durante diversos workshop com vários peritos da Geodata, e relativamente à matriz, seja no sentido vertical (simples criticidade relativamente à diferente tipologia de obras: por exemplo a criticidade inundação, em caso de ocorrência, cria um impacto baixo nas pontes e um impacto alto nos cortes) seja no sentido horizontal (para cada tipologia de obra qual é a criticidade com mais impacto: por exemplo para a tipologia de obra "ponte" a ocorrência de um evento de desmoronamento será de maior impacto relativamente a um evento de inundação).

### 3.2.3 Avaliação do risco geológico

Considerando o valor de risco como o produto da probabilidade de ocorrência (como definido no parágrafo 3.2.1) e do impacto de cada criticidade (como definido no parágrafo 3.2.2), se reporta este valor de risco sob uma matriz (tab.3.3) onde estão sintetizados os resultados possíveis, e também se atribuem os três níveis de risco (baixo, médio, alto) para cada uma das combinações.

	Impacto baixo	Impacto médio	Impacto alto
Probabilidade alta	3	6	9
Probabilidade média	2	4	6
Probabilidade baixa	1	2	3

Legenda:

	Risco baixo
	Risco médio
	Risco alto

**Tabela 3-3: matriz de síntese dos resultados possíveis da análise do risco para as obras externas.**

Nota-se que para uma criticidade com impacto alto e nível médio de probabilidade de ocorrência se atribui um nível alto de risco, enquanto que para uma criticidade com impacto médio e um alto nível de probabilidade de ocorrência se atribui um nível médio de risco.

O nível de risco apresentado no traçado representa o risco mais alto derivado de cada criticidade.

### 3.2.4 Atribuição de risco alto a obras significativas

Independentemente das condições de risco geológico foi atribuído um valor de risco alto a trechos do traçado que têm as seguintes características:

- 1) emboques dos túneis. Evidencia-se deste modo as eventuais problemáticas significativas relacionadas com a construção de um emboque e nota-se a necessidade de se desenvolver estudos suplementares e sondagens geotécnicas em cada um dos emboques;
- 2) trechos de viadutos com pilares de altura superior a 30m;
- 3) cortes e aterros com profundidade/altura superior a 20m;
- 4) todos os trechos em que sejam atravessados corpos de água

A individualização destas obras tem como finalidade chamar a atenção para os trechos que apresentem criticidades do ponto de vista construtivo / planning do projeto (planejamento do projeto).

### 3.3 Obras subterrâneas

Para as obras subterrâneas a análise do risco foi efetuada com uma previsão aproximada da configuração estratigráfica prevista para as profundidades esperadas no traçado proposto. Os dados geológicos da superfície (CPRM) associados aos resultados da campanha de investigações geotécnicas, permitiram estimar as litologias provavelmente existentes nas cotas de escavação, isto é de individualizar as situações principais de riscos potenciais previsíveis durante a construção dos túneis.

### 3.3.1 Perigos

Ao longo do traçado determinado pelos túneis foram individualizados três tipologias de perigos associados à:

- cobertura acima da calota
- presença/ausência de interferências com as pré-existências à superfície
- configuração geológica.

Foram estabelecidas três classes de cobertura, tendo sido atribuído a cada uma um nível de perigo, relativamente à crescente criticidade de execução dos túneis com a diminuição da profundidade:

- |                       |               |
|-----------------------|---------------|
| 1. $z \leq 10m$       | perigo ALTO;  |
| 2. $10m < z \leq 25m$ | perigo MÉDIO; |
| 3. $z > 25m$          | perigo BAIXO. |

Juntamente a potencial interferência dos túneis com as estruturas em superfície (edifícios, infra-estruturas rodoviárias, etc.) foi considerado o perigo associado a travessia da Baía da Guanabara com os valores de perigo descritos em seguida:

- perigo BAIXO (áreas com ausência de interferências) com valor 1;
- perigo ALTO com valor 3 (presença de interferências) em correspondência das áreas urbanas altamente urbanizadas ou estruturas à superfície. Nesta categoria estão também as áreas onde o traçado passa por debaixo do mar.

A avaliação do grau de perigo geológico (ALTO-MÉDIO-BAIXO) foi formulada em relação aos seguintes elementos significativos:

- morfologia do terreno;
- configuração estratigráfica;
- qualidade geotécnica/geomecânica dos terrenos/maciços rochosos;
- criticidade devida à presença de: subsidência cárstica, turfeiras, solos colapsíveis, solos expansíveis, erosão, movimentos massa, falhas, frentes mistas (forte heterogeneidade geomecânica);
- criticidade devida ao possível comportamento desfavorável dos solos/maciços rochosos a serem escavados: instabilidade das frentes de escavação, baixa capacidade

de suporte do subsolo, baixo auto-suporte, convergências da cavidade, subsidência à superfície.

Todos os dados atribuídos foram recolhidos e ordenados numa base de dados.

Os valores de perigo geológico-geotécnicos estão descritos por ordem crescente:

- perigo BAIXO com valor igual a 1;
- perigo MÉDIO com valor igual a 2;
- perigo ALTO com valor igual a 3.

### 3.3.2 Avaliação do risco

Em função dos perigos acima indicados, ao longo do desenvolvimento dos túneis o risco global foi calculado do seguinte modo.

Foi atribuído um peso a cada uma das três tipologias de perigo:

- cobertura 0,2
- interferências 0,4
- geologia 0,4.

A soma do resultado dos três elementos de perigo medidos fornecem o nível de risco, classificado no seguinte modo:

- $2 < \text{risco ALTO} \leq 3$
- $1 < \text{risco MÉDIO} \leq 2$
- $0 < \text{risco BAIXO} \leq 1$

#### 4. REPRESENTAÇÃO GRÁFICA

Com a finalidade de ilustrar graficamente e dar uma forma de leitura simplificada da análise do risco foram formulados desenhos com planimetria e perfis nas escalas 1:20000 (comprimento) e 1:4000 (altura) de todo o traçado proposto e apresentado pela Halcrow na última revisão datada Julho de 2009.

Ao longo do perfil longitudinal foram representados principalmente todos os elementos de avaliação, como as criticidades, os impactos, as obras, as interferências etc., etc., que contribuíram para a análise do risco tanto nas obras à céu aberto como para as subterrâneas.

Em algumas plantas foram esquematizadas algumas otimizações ao traçado propostas pela Geodata.

Além dos dados relativos ao traçado do projeto, tais como as progressivas quilométricas, quota de projeto, quotas do terreno, foram colocados em colunas na representação gráfica os elementos descritos a seguir.

##### 4.1 Coluna relativa à tipologia de obras

Nesta coluna foram individualizadas as diferentes tipologias de obras nas quais foram efetuadas as análises do risco ao longo do traçado.

As diferentes tipologias de obras são diferenciadas por cores como representado na tabela 4.1.

Obras	Cor
Viaduto	Ciano
Aterro	Vermelho
Nível suolo	Cinza
Corte	Amarelo
Tunel	Azul

Tabela 4-1: visualização em coluna das tipologias de obras.

##### 4.2 Coluna relativa às interferências

Nesta coluna foram representados os trechos em que o traçado interfere com estruturas pré-existentes (na coluna representada com a cor azul - valor 3).

As interferências principalmente individualizadas são relativas a: zonas densamente urbanizadas, pontes, auto-estradas (Rodovia Dutra), aeroportos, ferrovias, edifícios etc., etc..

Nesta análise, a passagem submarina do traçado em correspondência à Baía da Guanabara (Rio de Janeiro) foi considerada como interferência.

Quando as interferências estão ausentes na coluna é indicada a cor azul que assume o valor 1.

As interferências foram indicadas ao longo de todo o traçado, mesmo se a sua contribuição ao risco tenha sido levada em consideração somente no caso dos túneis.

#### 4.3 Colunas relativas às obras subterrâneas

Para as obras subterrâneas foram predispostas duas colunas com as quais é possível visualizar as classes de cobertura e o risco geológico.

As três diferentes classes de cobertura (Z) são indicadas na respectiva coluna como indicado na tabela 4.2.

Classes de cobertura (Z)	Cor e valor (nº)
Z>25m	1
10<Z<25m	2
Z<10m	3

Tabela 4-2: visualização das classes de cobertura ao longo dos perfis.

As três classes de perigo geológico-geotécnica, foram representadas na respectiva coluna como indicado na tabela 4.3.

Classes de perigo geológico-geotécnica	Cor e valor (nº)
Baixo	1
Meio	2
Alto	3

Tabela 4-3: visualização das classes de perigo para as obras subterrâneas.

#### 4.4 Colunas relativas às obras externas

Foram predispostas duas colunas com as quais é possível visualizar ao longo do traçado, em correspondência às obras

externas, as criticidades geológico-geotécnicas (F1-F8) com os respectivos valores de probabilidade de ocorrência (sombreados em azul) e os impactos (sombreados em marrom), que estas criticidades assumem para as várias tipologias de obras.

As criticidades geológico-geotécnicas e os respectivos impactos nas obras foram representadas como ilustrado nas duas tabelas 4.4 e 4.5 seguintes.

Código criticidade	Descrição criticidade	Probabilidade de ocorrência			
		Ausente	Baixa	Média	Alta/Presente
F1	Turfeiras	0			3
F2	Solos colapsíveis	0			3
F3	Solos expansíveis	0			3
F4	Subsicência cárstica	0			3
F5	Inundação	0	1	2	3
F6	Movimentos de massa	0	1	2	3
F7	Processos erosivos	0	1	2	3
F8	Cavas de areia	0			3

Tabela 4-4: visualização das probabilidades de ocorrência para as criticidades geológico-geotécnicas.

CRITICIDADE	Turf.	Solos colap.	Solos expans.	Subsicência cárstica	Inundação	Movim. de massa	Proc. Eros.	Cavas de areia
	F <sub>1</sub>	F <sub>2</sub>	F <sub>3</sub>	F <sub>4</sub>	F <sub>5</sub>	F <sub>6</sub>	F <sub>7</sub>	F <sub>8</sub>
OBRAS	ATERRO	2	2	2	1	2	1	3
	CORTE	2	1	1	1	3	1	2
	PONTE / VIADUTO	1	1	1	1	1	3	1
	AT-GRADE	2	2	1	1	2	2	1

Tabela 4-5: visualização dos impactos nas obras, das criticidades geológico-geotécnicas.

#### 4.5 Colunas relativas ao resultado da análise do risco

Nas últimas duas colunas, representadas no final dos perfis, está ilustrado o resultado final da análise do risco subdividido em obras externas e subterrâneas como representado nas tabelas seguintes.

	Impacto baixo	Impacto médio	Impacto alto
Probabilidade alta	3	6	9
Probabilidade média	2	4	6
Probabilidade baixa	1	2	3

Tabela 4-6: classes de risco, valores e cores a serem atribuídas para as obras externas.

Classe de risco	Cores e valores
Baixo	$0 < \text{Valor do risco} \leq 1$
Médio	$1 < \text{Valor do risco} \leq 2$
Alto	$2 < \text{Valor do risco} \leq 3$

Tabela 4-7: classes de risco, valores e cores a serem atribuídas para as obras externas.

#### 4.6 Exemplos

A título exemplificativo da metodologia utilizada, dos cálculos efetuados e dos resultados obtidos para a análise do risco, são propostos, nas tabelas que se seguem, alguns exemplos do cálculo de risco relativamente às obras externas e às obras subterrâneas.

Em particular são ilustrados para a tipologia de obras "cortes" n° 6 casos nos quais foram levadas em consideração duas criticidades diferentes, como inundações e processos erosivos, fazendo-se variar as diferentes probabilidades de ocorrência e os seus impactos diversos na obra "corte" de modo a obter resultados de risco diferentes.

Tipo de obra	Tipo de critic.	Prob. ocorr.	Impac.	Tipo de critic.	Prob. ocorr.	Impac.	Cálc. risc.	Class. risc.
Corte	Inundaç. (F5)	3	3	Processos erosivos (T7)	1	1	$3 \times 3 = 9$	
Corte	Inundaç. (F5)	2	3	Processos erosivos (T7)	2	1	$2 \times 3 = 6$	
Corte	Inundaç. (F5)	1	3	Processos erosivos (T7)	2	1	$1 \times 3 = 3$	
Corte	Inundaç. (F5)	1	3	Processos erosivos	3	1	$1 \times 3 = 3$	

Tipo de obra	Tipo de critic.	Prob. ocorr.	Impac.	Tipo de critic.	Prob. ocorr.	Impac.	Cálc. risc.	Class. risc.
				(T7)				
Corte	Inundaç. (F5)	Ass.	3	Processos erosivos (T7)	2	1	2X1=1	
Corte	Inundaç. (F5)	Ass.	3	Processos erosivos (T7)	1	1	1X1=1	

Tabela 4-8: exemplos de cálculo do risco para os cortes.

Para as obras subterrâneas, na tabela 4.9, estão descritas, por ordem decrescente de risco, n° 9 situações diferentes de variação do perigo geológico, das coberturas e da presença ou não das interferências.

Tipo de obra	Perigo geo	Val. atr.	Cober. (Z)	Val. atr.	Int.	Val. atr.	Cálc. risc.	Class. risc.
Túnel	Alto	0,4X3	Z<10m	0,2X3	Pres.	0,4X3	3	
Túnel	Médio	0,4X2	10<Z<25m	0,2X2	Pres.	0,4X3	2,4	
Túnel	Médio	0,4X2	10<Z<25m	0,2X2	Pres.	0,4X3	2,4	
Túnel	Alto	0,4X3	Z<10m	0,2X3	Aus.	0,4X1	2,2	
Túnel	Alto	0,4X3	Z<10m	0,2X3	Aus.	0,4X1	2,2	
Túnel	Baixo	0,4X1	Z>25m	0,2X1	Pres.	0,4X3	1,8	
Túnel	Baixo	0,4X1	Z>25m	0,2X1	Pres.	0,4X3	1,8	
Túnel	Baixo	0,4X1	Z>25m	0,2X1	Aus.	0,4X1	1,8	
Túnel	Médio	0,4X2	10<Z<25m	0,2X2	Aus.	0,4X1	1,6	
Túnel	Baixo	0,4X1	Z>25m	0,2X1	Aus.	0,4X1	1	

Tabela 4-9: exemplos de cálculo do risco para os túneis.

## 5. RESULTADOS E IMPLICAÇÕES

Com base na avaliação de risco ao longo do traçado, relatamos os percentuais de risco baixo/médio/alto, como também os comprimentos de obras significativas como descrito no parágrafo 3.2.4. Na tabela 5-1 relatamos os percentuais das classes do risco ao longo do traçado.

	L (m)	%
campos com risco = 1	69225	13.55%
campos com risco = 2	286900	56.16%
campos com risco = 3	154725	30.29%

Tabela 5-1: Percentuais de classes de risco ao longo do traçado

Considerando a diferente abordagem na definição do risco entre obras externas e tratos subterrâneos, nas tabela 5-2 e tabela 5-3 relatamos os percentuais das classes de risco somente para os traçados externos e os traçados subterrâneos respectivamente.

	L (m)	%
campos com risco = 1	45575	11.33%
campos com risco = 2	255125	63.43%
campos com risco = 3	101500	25.24%

Tabela 5-2: Percentuais de classes de risco ao longo dos trechos obras externas

	L (m)	%
campos com risco = 1	23650	21.77%
campos com risco = 2	31775	29.25%
campos com risco = 3	53225	48.99%

Tabela 5-3: Percentuais de classes de risco ao longo dos trechos obras subterrâneas.

Quanto às obras 'significativas', foi atribuído um valor de risco alto às seguintes extensões do traçado:

- i) cerca de 34.5 km de viadutos altos (altura superior a 30m)
- ii) cerca de 19.3 km de cortes significativos (com profundidade superior a 20m)
- iii) cerca de 14.4 km de aterros (com altura superior a 20m).

Baseado na estimativa da análise do risco foi efetuada, conseqüentemente, uma avaliação do risco construtivo como ilustrado nas tabelas seguintes.

COR	RISCO	AÇÕES NECESSÁRIAS
	<b>Baixo</b>	O risco é baixo e, por isso, devem ser consideradas eventuais medidas mínimas de mitigação.
	<b>Medio</b>	O risco é de nível médio e deverá ser possivelmente reduzido a nível inferior com adequadas medidas mitigadoras. Em geral é possível encontrar as medidas de mitigação que terão certamente um impacto relevante no custo total da obra.
	<b>Alto</b>	O risco é alto: em geral são absolutamente necessárias medidas de mitigação ou soluções de projeto alternativas (como a mudança da quota ou a mudança do traçado) para reduzi-lo a pelo menos a uma classe inferior. As medidas de mitigação existem mas é necessário a utilização considerável de recursos adicionais de enorme impacto no custo total da obra.

Tabela 5-4: esquema de classificação do risco.

Esclarecemos que a análise do risco foi desenvolvida em paralelo com o estudo do traçado desenvolvido pela Halcrow. O resultado da análise é, portanto, um input importante para o desenvolvimento do projeto, pois, o projeto em si representa a primeira medida de mitigação ao risco inicial.

Por este motivo as tabelas 5.5, 5.6, 5.7 e 5.8, são exemplos de algumas possíveis medidas de mitigação de projeto, divididas respectivamente por tipologia de obras principais, pelos três níveis do risco individualizados pela análise.

Tipologia de obra	Grau de risco	Exemplo medidas de mitigação
<b>Corte</b>	<b>Baixo</b>	Escavação com eventuais obras de suporte pontuais (pregagens ou spritz beton (injeção de concreto)
	<b>Médio</b>	Modificação geométrica da seção de escavação ou escavação com obras de suporte
	<b>Alto</b>	Escavação com obras de suporte pesado ("berlinesi" tirantadas) ou converter o corte

		em túnel artificial
--	--	---------------------

Tabela 5-5: obras de mitigação do risco para os cortes.

Tipologia de obra	Grau de risco	Exemplo medidas de mitigação
Aterro	Baixo	Construção em "escarificação" com eventuais beneficiamentos pontuais (espessura = 1m)
	Médio	Construção em solo tratado (Ex drenagem profunda)
	Alto	Construção atenuada em solo tratado ou avaliar a possibilidade de converter o aterro em viaduto

Tabela 5-6: obras de mitigação do risco para os aterros.

Tipologia de obra	Grau de risco	Exemplo medidas de mitigação
Pontes Viadutos	Baixo	Fundações diretas ou profundas até 20m
	Médio	Fundações profundas com profundidade entre 20-40m ou consolidação do terreno
	Alto	Fundações em poços ou conversão do viaduto em aterro

Tabela 5-7: obras de mitigação do risco para pontes e viadutos.

Tipologia de obra	Grau de risco	Exemplo medidas de mitigação
Túnel	Baixo	Escavação com revestimento de primeira fase ligeira
	Médio	Consolidação da frente de escavo e/ou consolidação para a colocação em segurança as preexistências no eixo do túnel
	Alto	Se a escavação é prevista no sistema tradicional avaliar a conversão em escavo com TBM (tipo EPB)

Tabela 5-8: obras de mitigação do risco para os túneis.

## 6. ASPECTOS CONSTRUTIVOS

### 6.1 Introdução

Considera-se que a obra (> 500 Km de estrada de ferro de alta velocidade) seja adjudicada somente a um General Contractor. Contabilizam-se mais de 400 obras entre pontes e viadutos, alguns dos quais importantes (por exemplo, entre as pk 222+153 e pk 227+339 são indicados 4 pontes, mas de fato trata-se de um único viaduto com mais de 6 Km) e com complicações (entre as pk 8+817 e 10+813 existem 2 Km de viaduto sobre a água para cruzar uma parte de lagoa no Rio de Janeiro); 180 km de túneis de diversos comprimentos entre os quais 3 acima de 10 Km; movimento de terra para aproximadamente 200 milhões de metros cúbicos (metade em cortes e outra metade em aterros).

O objetivo é ter a obra pronta antes de junho 2014.

Para as obras maiores pensou-se em uma organização do canteiro por tipologia de obra: obras de arte externas, túneis, movimento terra, cada uma com uma direção operativa, cada uma dividida em uma lógica territorial que leva em consideração as distancias e a logística dos serviços. Nos lugares onde não estão previstas obras importantes mas uma sucessão de obras menores, a lógica levou-nos na direção de uma unificação das obras em base territorial, para minimizar as interferências. Então teremos (divididos por tipologia): um canteiro principal com oficinas, galpões, dormitórios e refeitórios para os trabalhadores e administração da área; diversos canteiros operativos, conectados com a obra (ou com diversas obras menores) para executar serviços essenciais para as obras.

### 6.2 Riscos de caráter geral

#### 1) Organização e programa

##### 1.1 Administração:

- a) Atrasos no projeto e na preparação da licitação.
- b) Atrasos nos procedimentos de entrega.

##### 1.2 General Contractor

- :a) Expropriações e aquisições das áreas de trabalho.
- b) Interferências entre as obras adjacentes.
- c) Mis-management (planning).

#### 2) Obras externas (GC)

##### 2.1 Preparação das áreas dos canteiros e vias de acesso.

##### 2.2 Procura de maquinas e organização dos serviços (oficinas, galpões).

- 2.3 Procura de inerte e materiais de construção (armazenamentos intermediários e galpões).
  - 2.4 Gestão dos sub-contratados.
  - 2.5 Organização dos trabalhos: fundações, elevações e equipes de trabalho e maquinas.
  - 2.6 Organização da seqüência das obras entregues às mesmas equipes
  - 2.7 Estruturas de concretagem(quantidade e localização).
  - 2.8 Riscos operativos ligados aos terrenos de fundação e às obras inerentes.
- 3) Obras subterrâneas
- 3.1 Preparação das áreas dos canteiros e vias de acesso.
  - 3.2 Procura de maquinas e organização dos serviços (oficinas, galpões).
  - 3.3 Procura de equipes com especialização para escavação mecanizada e o seu controle.
  - 3.4 Gestão sub-contratados.
  - 3.5 Organização dos trabalhos: fundações, elevações e equipes de trabalho e maquinas.
  - 3.6 Organização da seqüência das obras entregues às mesmas equipes.
  - 3.7 Estruturas de concretagem (quantidade e localização).
  - 3.8 Riscos operativos ligados à situação geológica, hidrogeologica e ambiental.
- 4) Movimento de terra (GC)
- 4.1 Preparação das áreas dos canteiros e vias de acesso.
  - 4.2 Procura de maquinas e organização dos serviços (oficinas, galpões).
  - 4.3 Provisão dos materiais de construção (estocagem intermediaria, armazéns ).
  - 4.4 Gestão dos sub-contratados.
  - 4.5 Organização dos trabalhos: fundações, elevações e relativas equipes de trabalho e maquinas.
  - 4.6 Riscos operativos ligados aos terrenos de fundação e às obras inerentes.

### **6.3 Riscos ligados com as obras únicas**

#### 6.3.1 Pontes e viadutos

Da análise feita dos documentos de referencia verificamos que não existem situações particulares de risco, à exceção daquelas ligadas geralmente a algumas escolhas do traçado e que são resumidas e listadas nas tabelas do parágrafo 7.5. Útil sublinhar que as pontes e os viadutos com alturas superiores a 30 metros (e com maior razão aquelas com pilares de 60m ou mais), representam um "risco intrínseco" devido a especificações para o projeto e para a construção. No documento de resumo da análise do risco estas pontes e viadutos foram

classificadas com um "risco elevado" e nas tabelas já citadas do parágrafo 7.5 sublinhamos a necessidade de procurar soluções alternativas, por exemplo abaixando a quota de projeto onde isto não comporta outras modificações com as interferências. Outras situações particulares são representadas pelas interferências entre túneis e viadutos, principalmente onde não existe solução de continuidade entre duas obras adjacentes: até nestes casos será necessário intensificar os estudos e procurar soluções para reduzir o risco de interferências entre as obras, que inevitavelmente comportam para o projeto um aumento de custos e de tempo de execução.

### 6.3.2 Túneis

Para os túneis principais foram elaboradas planilhas individuais, colocando em evidencia as características das obras e os problemas relativos.

Em termos gerais, foram estudados os túneis que serão escavados com TBM, que são os mais compridos e se desenvolvem em ambientes mais ou menos urbanizados, além do túnel extra urbano n° 27, de 7.200 m.

#### Escolha do diâmetro de escavação

A primeira escolha que se apresenta é aquela ligada ao diâmetro de escavação.

Os túneis em ambiente urbano e o túnel 2, sob a lagoa do Rio de Janeiro, no aeroporto Galeão, não podem ser escavados, em nossa opinião, com um diâmetro de 16 metros ou mais, como resultaria da escolha de um túnel duplo com duas vias. Isso devido aos seguintes motivos:

1. Segundo algumas normativas, motivos de segurança associados a considerações de oportunidade podem orientar verso a escolha da solução túnel duplo com via simples, mesmo se a questão é muito complexa como se pode ver no parágrafo 7.4, onde procuramos representar o problema.
2. A estabilidade da frente de escavação e o controle dos recalques dependem da cobertura sobre a calota do túnel: para reduzir os riscos, em geral (além de casos particulares de pequenos comprimentos controlados) a cobertura tem que ser *pelo menos* 1,5 vezes o diâmetro do túnel, ou seja, no caso em questão ocorre uma cobertura de pelo menos 18 m sobre a calota, que não é sempre compatível com o trecho proposto, alias, em alguns casos até com diâmetro menor (cerca de 9 m), serão necessárias algumas mudanças de cota .
3. Atualmente não existem TBMs com diâmetro superior aos 16 m (existe uma Slurry Shield em fase de projeto para um trabalho na Rússia, de 19 m, mas é uma exceção; a maior

até hoje construída atinge 15,40 m de diâmetro, em Shanghai): isso comporta haver todos os riscos ligados à utilização de máquinas não testadas; além do mais precisaríamos realizar a compra de um grande número (12 a 14) de TBMs de grande diâmetro para projetar e construir *ao mesmo tempo a linha ferroviária*, em pouco mais de um ano, e isso será muito difícil no atual panorama de mercado, com o risco de perda de tempo na espera de entrega prometida e não realizada.

4. Foram construídas dezenas de TBMs de diâmetro aproximado 9 m (o valor mais freqüente é hoje 9,40 m) e podem-se encontrar muitas no mercado de segunda mão (Metro de Madrid, Barcelona, Guadarrama, na Espanha, Bolonha, na Itália): isso poderia possibilitar uma redução de tempo (6-8 meses para o fornecimento e revisão ao invés de 12 meses para a construção) e uma economia nos investimentos (pode-se estimar que uma máquina usada, *restaurada*, possa custar cerca de 65-70% com relação a uma nova).
5. A construção das aduelas de diâmetro 9m é um procedimento standard, pelo contrario as de 16 m seriam uma incógnita, e poderia apresentar problemas desconhecidos.

#### Escolha do tipo de TBM

1. Não existem duvidas a respeito de que os túneis em **ambiente urbano** tem que ser executados com TBM do tipo "com sustenho da frente em pressão". Além de haver estudos mais profundos sobre materiais para escavar, damos por definição e elegemos as máquinas "com pressão de terra balanceada" (EPB) como ideais para a realização dos túneis. Essas garantem, em uma vasta gama de terrenos e rochas, a possibilidade de controlar a estabilidade da frente e os recalques superficiais, através do controle da pressão utilizada na frente e da quantidade de material escavado, além da quantidade e pressão de preenchimento atrás das aduelas (vejam "Mechanized Tunnelling in Urban Areas", V.Guglielmetti, P.Grasso, A.Mahtab, S.Xu, Taylor and Francis, London 2007).
2. Para a escolha da TBM em ambiente urbano a sugestão principal é a de ter como referencia aquelas que já trabalharam nas mesmas condições na linha Alta Velocidade Bologna - Firenze no canteiro "Nodo di Bologna" onde esta presente uma boa bibliografia.
3. A respeito dos túneis em ambiente extra-urbano, o único que apresenta algum problema ligado ao programa é o de n. 27, de 7,2 Km. Depois de analisar as condições geológicas, pode-se escolher para este trecho a utilização de uma TBM do tipo "double shield" que

permite, em caso de rocha sã, a montagem do revestimento em aduelas contemporaneamente com a escavação, reduzindo sensivelmente o tempo do ciclo e aumentando a velocidade de avanço. Em casos de rocha fortemente fraturada ou terreno a máquina pode ser utilizada como um mono escudo, empurrando-se sobre as aduelas pré-moldadas. Em relação a estes tipos de máquinas, podemos fazer referência às TBMs que escavaram os túneis de Guadarrama na Espanha, cujas características são listadas em numerosas documentações e bibliografias.

### Velocidade média considerada no planejamento

1. As máquinas utilizadas em ambiente urbano (EPB) precisam de uma atenção e cuidados particulares no controle dos parâmetros de escavação, para assegurar o sustento da frente de escavo e a manutenção dos recalques entre os limites exigidos das pré-existências. Para garantir isso, e também a manutenção da cabeça de corte, e em particular o controle e a substituição das ferramentas de corte, tem-se que programar paradas da máquina para realizar as operações acima descritas sob pressão através de uma câmara hiperbarica. Portanto consideramos uma velocidade média de 12 m/dia por 30 dias/mês (essas máquinas devem trabalhar 24h por dia e 30 dias por mês, com troca de turno na frente de escavo, para haver a máxima eficiência), correspondendo então a 360 m/mês. Por precaução consideram-se 11 meses de trabalho por ano, o que permite um avanço médio de 4 Km/ano. Em alguns casos (veja-se o planejamento anexado) tudo isso comporta a necessidade de fornecer alguns canteiros com máquinas de segunda mão, para poupar 4 - 6 meses sobre o tempo de entrega e aumentar a probabilidade de êxito.
2. Para as máquinas tipo "double shield" podem-se considerar 450 m/mês, as quais trabalhando os mesmos 11 mês/ano levam a um incremento de 25%, ou seja 5 km/ano de velocidade média. Tendo em conta o menor tempo necessário para a manutenção da cabeça e a possibilidade de instalar as aduelas ao mesmo tempo da escavação, pelo menos nos trechos com melhor qualidade da rocha, a velocidade média diária pode ser considerada de 15 m/d para 30 d/mês, ou seja, 450 m/mês, que para 11 mês/ano levam aos 5 km/ano de velocidade média, com um incremento de 25% (Ver Guadarrama: 16 m/d de média, nem 14 Km de túnel por máquina).
3. E' necessário sublinhar e ter em conta que as médias acima indicadas tem como referencia obras já executadas ou experiências anteriores (Guadarrama, Bologna), mas para serem conseguidas precisam de uma ótima organização

do canteiro e do pessoal; particularmente estes tem que ser selecionados e ter experiência nesse tipo de obra. Cada equipe tem que ter alguns elementos chave particularmente qualificados: o operador, o colocador de aduelas (montagem aduelas), o técnico das injeções das aduelas. Ainda por cima uma equipe de controle e' necessária para assegurar a boa execução do trabalho e o alcance das médias requeridas (veja-se "Nodo di Bologna").

## 6.4 Planejamento

Supomos que as obras serão contratadas e as áreas entregues na metade do ano 2010, e também que a linha tenha que ser entregue na metade do ano 2014 para os testes de exercício.

Desde o metade do ano 2010 ate a metade do ano 2014 teremos 4 anos de trabalho (48 meses).

Para os movimentos de terra, os trabalhos ao céu aberto e os túneis executados com o método tradicional pode-se considerar um período de 6 meses para a organização inicial e o fornecimento de maquinas e pessoal, alem de outro período de 6 meses para os acabamentos e as outras estruturas (parcialmente em contemporâneo).

Para os túneis executados com TBM o período inicial muda para 12 meses para o fornecimento das maquinas e a procura do pessoal.

Isso significa que para túneis mecanizados existem  $48 - 12 - 6 = 30$  meses de tempo a disposição; para todas as outra obras pelo contrario são precisos  $48 - 6 - 6 = 36$  meses.

### 6.4.1 Túneis

#### 1) Túneis com escavação mecanizada (com TBM)

Os túneis mais compridos são "São Paulo 3" de 12,5 Km, o "São Paulo 2" de 11 Km e o "São Paulo 1" de 10,5 Km, todos em ambiente urbano.

Consideramos necessário para esses túneis o uso de maquinas para sustentação da frente de escavo em pressão do tipo EPB.

Em função de uma serie de considerações que se desenvolverão em outra parte do relatório (ver o capítulo 7.4) achamos indispensável a solução de dois túneis paralelos mono-via, para os quais, do ponto de vista da escavação mecanizada, sugere-se a adoção de um diâmetro de escavação de cerca 9,4 m. Esse diâmetro tem sido muito utilizado na execução de túneis para

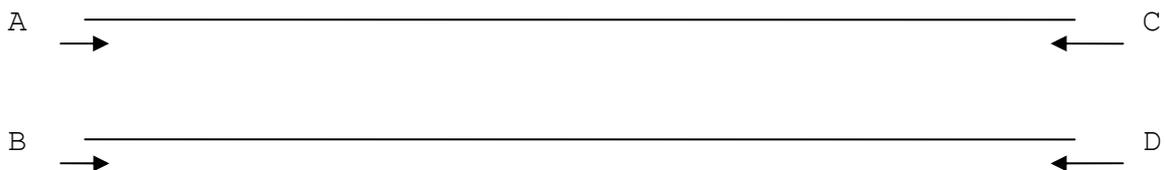
metros em Madrid, para estradas de ferro na Espanha (Guadarrama) e na Itália (Bolonha), portanto achamos possível encontrar no mercado um bom numero de maquinas usadas (para acelerar ao maximo os tempos de entrega e ao mesmo tempo o inicio da escavação) e, se for necessário usar maquinas novas, podendo contar com a experiência de diversos construtores reconhecidos no mundo todo para obtê-las em tempos breves.

Para os túneis mais compridos podemos considerar como boa aproximação uma velocidade média de 12 metros/dia. Para ter uma média de 12 m/dia è necessário que o "sistema" todo de escavação seja capaz de realizar por alguns dias seguidos produções de 2 - 2,5 vezes a média, ou seja, 24 - 30 m/dia.

Será preciso então que todo o canteiro seja organizado para essas velocidades de avanço médio: em particular estamos pensando na logística, com referencia ao armazenamento e ao transporte dos materiais de construção e ao transporte e descarga do material escavado. Para as aduelas, podemos pensar em projetar uma fabrica com produções médias, com a condição de ter um suficiente armazenamento para suportar as pontas de produção.

Trabalhando 30 dias/mês por 11 meses/ano podem-se escavar cerca de 4 Km de túneis/ano por cada maquina.

Portanto os três túneis que foram citados acima podem ser escavados nos tempos previstos com a utilização de 4 maquinas para cada túnel, A,B,C,D como no esquema abaixo:



As maquinas deverão ser desmontadas no túnel seguindo um esquema que deverá ser previsto no projeto e de acordo com o construtor para minimizar os tempos de execução.

O ponto de encontro, em princípio, se dará na metade do comprimento total do túnel, sendo variável em função das diferentes dificuldades esperadas nos dois lados ou por causa de particulares condições geológicas que não permitem a desmontagem das maquinas nessas zonas.

A vantagem de um esquema desse tipo manifesta-se quando, por exemplo, uma maquina tiver atrasos por problemas geológicos ou

meccanici. Neste caso a outra poderá continuar escavando além da metade do túnel, permitindo a recuperação dos atrasos.

## 7. ANÁLISE CRÍTICA DO TRAÇADO COM PROPOSTAS DE OTIMIZAÇÃO DO PROJETO

Pressupondo que deve-se fazer a localização exata do melhor corredor em função dos dados até hoje colocados à disposição, em seguida indicamos algumas possíveis otimizações ao traçado, seguindo as considerações desenvolvidas nos capítulos precedentes e a uma interpretação multidisciplinar do território.

Algumas das possíveis otimizações foram esquematizadas nas planilhas contidas nas páginas relativas à análise do risco.

### 7.1 Alguns elementos gerais

#### 7.1.1 Uso da linha

Inicialmente, a escolha de realizar uma linha ferroviária que, mesmo sendo de alta velocidade, seja destinada só para passageiros, excluindo qualquer uso de mercadorias, é um primeiro e importante elemento de risco; é necessário conscientizar-se que durante o processo de aprovação da obra e até mesmo durante a sua realização, as condições político - econômicas que levaram à adoção dessa hipótese fundamental podem mudar, e que por outro lado esta escolha é oposta ao que já foi feito da muitos países europeus.

Não obstante tenha sido adotada uma carga axial de cerca 25t, próprio como previsto para as mercadorias, evidentemente para consentir o trânsito aos meios de manutenção e de construção; se a linha for confirmada para ser usada somente por passageiros, esta escolha poderá ao máximo ser revista, limitando-a então a 17t com benefícios para todas as obras, porém claramente associada a oportunas regras que deverão ser respeitadas da fase de realização até a vida útil da obra.

Contrariamente, porém, se a escolha for orientada para um uso de mercadorias, a pendência longitudinal máxima teria que ser reduzida para valores compreendidos entre 12 e 20 por mil; isto claramente traria notáveis repercussões sobre todo o traçado estudado, com um aumento previsto de desenvolvimento de todas as obras de arte.

Aconselhamos, portanto, verificar de maneira profunda, e imediata, a escolha estratégica adotada.

### 7.1.2 Segurança dos sistemas

Na individuação dos custos não ficou claro como foram inseridos os dados relativos à "segurança dos sistemas", exceto o previsto para os sistemas tecnológicos de sinalização, telecomunicações, controle de trafico, supervisão e segurança, ainda mais por tratar-se de uma linha ferroviária de alta velocidade.

Na realidade, a segurança do sistema pode influenciar os custos das varias obras de infra e super-estrutura em áreas perigosas, próximas a rodovias, bem como, nas concepções de projetos de túneis incluindo-se também o traçado destes.

### 7.1.3 Provisão de energia

O cumprimento da linha e o seu uso requerem uma grande quantidade de energia elétrica, seja para a tração ferroviária (determinável), seja para todos os sistemas (que para os túneis, por exemplo, não se pode desprezar).

Não foram evidenciados os procedimentos para a provisão e a distribuição de energia que, em geral, não estão disponíveis em todos os lugares sem a execução de importantes obras de adução.

## 7.2 Dados de input para o estudo das alternativas de traçado

Uma primeira analise do traçado tem que levar em conta os dados de input gerais que levam depois à definição dos corredores otimizados mediante o software QUANTUM, usado para a definição dos corredores e os sucessivos melhoramentos que conduziram ao projeto escolhido.

O software QUANTM levou em consideração os seguintes dados de input:

1. *Custos unitários por tipos de obra*
2. *Geometrias máximas*
3. *Limitações sobre as operas em terra e obras de arte*
4. *Geologia dos sitios*
5. *Ambiente e território*

### 7.2.1 Custos unitários por tipos de obras

Foram considerados custos unitários para os vários tipos de obra, mas não foi levado em conta a incidência da altura das obras para as tipologias em viaduto, aterros e cortes.

Alem disso, segundo a nossa sensibilidade e experiência, as relações entre os custos unitários das varias obras não estão atualizados com base no estado atual das grandes obras já realizadas, sobretudo se levamos em consideração os atuais desenvolvimentos sobre os métodos de escavação de túneis e, em particular, aqueles que usam tecnologias mecanizadas.

Outrossim, da análise do relatório "Alignment Studies - Final Report" e dos desenhos dos traçados, nos parece que os critérios utilizados para determinar os traçados levaram a uma diminuição do comprimento total dos túneis ( por exemplo na serra das Araras ), em detrimento de outros tipos de obra e conseqüentemente à sua fragmentação, aumentando o numero de obras de emboques.

### 7.2.2 "Geometrias máximas"

Foram consideradas de um lado as "geometrias máximas" e do outro as "impostações gerais sobre obras em terra e obras de arte".

As geometrias máximas foram raramente utilizadas; por exemplo, não obstante o valor do raio planimetrico mínimo seja de cerca 5.603m, foram utilizadas curvas de raio não inferior a 9.000m, evidentemente por receios de excessivo desgaste dos trilhos. Admitindo-se que os traçados devem ser o mais "retilíneo" possível, deste modo, em alguns casos, prejudicou-se a escolha de um melhor posicionamento do traçado no território.

### 7.2.3 "Limitações sobre as obras em terra e obras de arte"

Relativamente às obras em terra foram consideradas alturas limite de 50m para os aterros e 40m para os cortes; estes valores são notáveis, sobretudo se levamos em conta que trata-se de uma ferrovia com Vp de cerca 350Km/h e de uma fase de projeto de viabilidade, na qual não se deve levar em conta os eventuais problemas devido aos obstáculos laterais da sede ferroviária que deriva destes valores medidos no eixo. Ocorre porem levar em consideração as aproximações do DTM utilizado.

Em tais obras cabe considerar a necessidade dos modos particulares de realização e outras operações (drenagens, estabilizações, consolidações, etc.); alem disso, tem-se que considerar que nas sucessivas fases, através de melhoramentos no projeto, poder-se-ão reduzir tais alturas, inserindo-se ainda mais o traçado no território.

Para as pontes e os viadutos, cuja altura varia de 50m a 70m, poder-se-ão verificar problemas para a realização do projeto, bem como problemas ambientais (vias fluviais)

Não conseguimos individualizar as tipologias de tabuleiros e pilares que se deve utilizar para os viadutos e as pontes. Associamos várias tipologias em relação à altura das obras; como linha de principio entendemos que para maiores alturas de pontes e viadutos, correspondem obras com vãos únicos com comprimentos maiores, o que causará impacto visual e ampliação de custos.

#### 7.2.4 Geologia dos sites - Ambiente e território

A geologia dos sites foi estudada em capítulo próprio, enquanto que na presente análise os vínculos territoriais permanecem não variados.

### 7.3 As análises multi-critério efetuadas

Para os trechos nos quais foram preparadas uma análise multi-critério das alternativas de traçado, os critérios globais e os relativos pesos para a definição de benefícios e riscos a eles associados foram os seguintes:

<input type="checkbox"/> <b>Parâmetros investimento-custo:</b>	<b>40%</b>
1. Custos de construção	25%
2. Riscos e incertezas na construção	5%
3. Custos de manutenção	10%
<input type="checkbox"/> <b>Parâmetros de operação:</b>	<b>20%</b>
4. Condições climáticas	15%
5. Consumo de energia	5%
<input type="checkbox"/> <b>Parâmetros Urbano-social-ambiental:</b>	<b>40%</b>
6. Funcionalidade das estações	5%
7. Impactos ambientais	15%
8. Movimento da População	15%
9. Impacto Urbano	5%

Não foi feita uma análise de sensibilidade em relação por pesos diversos a nível global e específico, mas depois de uma primeira análise os pontos 2, 7 e 9, segundo a nossa modesta opinião, deveriam ter um maior peso; ao contrario, os pontos 3, 4 e 6 deveriam ter um peso menor, devendo ser quase igual aos "não variados", a respeito às alternativas de traçado colocadas a confronto.

E' portanto possível que estes pesos estimados tenham levado à escolha de alguns corredores-alternativas ao invés de outros.

#### 7.4 Seções tipo dos túneis

Neste parágrafo analisam-se rapidamente algumas considerações sobre a geometria dos túneis, em relação aos seus custos unitários geralmente superiores àqueles das outras obras e ao notável comprimento total no presente projeto; tratam-se de considerações iniciais e gerais que deverão ser revistas de modo mais sistemático para a definição das especificações de base do projeto.

Falta um estudo geral das seções tipo sob a calota dos túneis; as seções tipo teriam que ser confirmadas até em relação a um estudo ou experiência aerodinâmica que tenha conta os efeitos das sobreposições, seja sobre os passageiros que sobre a resistência ao movimento dos trens. Em particular, em algumas zonas foram associadas ao túnel quotas de pendência superior a 30 por mil, mesmo em trechos de diversos quilômetros; em tais condições, será muito difícil conseguir percorrer estes trechos em subida à velocidade de 350km/h.

Alem disso, parece-nos que foram adotados critérios diversos para a concepção geral das seções tipo para os túneis "com dois túneis e vias singelas" e "duplo".

Na realidade, a escolha das seções "túnel com duas vias singelas" e "duplo" deve partir antes de mais nada de considerações ligadas à segurança dos sistemas; em tal senso, as referências gerais européias são a "NFPA 130, Standard for Fixed Guideway Transit and Passenger Rail Systems" e a "Code UIC, 779-9 R, Safety in Railway Tunnels"; em relação a isto, muitos países fizeram normas específicas que determinam preliminarmente os comprimentos mínimos de aplicação das normas, como ainda a necessidade de determinar as medidas de segurança, em relação aos diversos comprimentos dos túneis.

As várias normas européias indicam um intervalo de aplicabilidade das normas de segurança similar a quase todos os principais países da Europa ocidental ( Itália, França, Alemanha, Áustria e Inglaterra); em geral, as várias normas se aplicam a partir de 1 - 1,5 km até a 20 - 25 km.

Os requisitos de segurança são diferentes para o trafico misto e passageiros, sendo este ultimo basicamente menos perigoso relativamente aos eventuais acidentes; em geral, se os requisitos de segurança não podem ser satisfeitos com "túnel duplo", pode ser eficaz a solução "dois túneis com vias singelas".

Em algumas normativas a configuração sugerida è aquela de "dois túneis"; ocorre porem que todas as duas configurações apresentam vantagens e desvantagens.

A solução "dois túneis" pode ser mais segura, em quanto evita o risco de acidentes causados da um descarrilamento que pode bloquear a via adjacente e permite o uso da outra via, não implicada no acidente, como um refugio seguro; de outro lado, a configuração "túnel duplo" permite um maior espaço para as operações de salvamento e até um maior volume no qual o fogo e a fumaça podem difundir-se (dando assim mais tempo à evacuação em caso de incêndio).

Para as linhas utilizadas somente por passageiros, sobretudo a alta velocidade, o campo de aplicabilidade das configurações "túnel duplo" è absolutamente mais amplo, até em relação aos aspectos ligados a fatores aerodinâmicos que contribuem para definir a seção tipo sob a calota.

*De qualquer modo, tais decisões importantes são freqüentemente conferidas a uma análise multi-critério baseada sobre custos - tempo - risco de construção, funcionalidade da obra, aspectos aerodinâmicos, obviamente a segurança do sistema e até a coreografia do terreno (compreendendo os emboques).*

Muito importante é a relação entre as duas configurações e as condições coreográficas dos emboques, a seqüência dos vários túneis em relação aos seus respectivos comprimentos (espaços externos para prevenção e socorros) e a tipologia das obras ao céu aberto que obviamente são tendentes a via única.

No projeto em questão a aplicação foi associada à tipologia de dois túneis nas zonas urbanas, e a tipologia túnel duplo nas zonas extra urbanas; não é claro o motivo que levou a tal escolha, mas pode-se pensar que esteja associado unicamente a aspectos de realização.

*O nosso parecer preve para os túneis longos, escavados com o método mecanizado, a solução de dois túneis, enquanto que para os túneis curtos ( ou até escavados com o método tradicional) a escolha entre as duas soluções deve ser verificada em relação às condições geológicas, ambientais e coreográficas (veja-se também o parágrafo 6.3.2).*

## **7.5 Tabela e esquema gráfico com proposta de otimização**

Abaixo apresentamos uma tabela na qual foram evidenciadas as condições criticas mais significativas e as possíveis otimizações (veja-se até os desenhos relativos à análise do risco); para algumas destas em anexo foram propostas soluções gráficas a nível esquemático com as possíveis alternativas em plano e elevação.



Id.	Ref. Rel.	Pág.	do km	ao km	Pontos Críticos	Possível otimização
<b><u>ÁREA METROPOLITANA DO RIO DE JANEIRO</u></b>						
1	Túnel	T001	5+300	5+500	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Possíveis assentamentos no reservatório da Refinaria de petróleo.</li> </ul>	Deslocamento planimétrico ou aprofundamento altimétrico
2	Aterro		8+000	8+800	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ O fundo do corte é mais baixo que o nível do mar com o inerente perigo de alagamentos devido a fenômenos de inundação.</li> </ul>	Verificar a possibilidade de realizar um túnel artificial em vez do corte.

Id.	Ref. Rel.	Pág.	do km	ao km	Pontos Críticos	Possível otimização
3		V005 V006	8+817 11+334	10+813 13+375	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Baía da Guanabara: Possíveis problemas técnicos e custos de execução de estacas no leito do canal para o viaduto.</li> </ul>	<p>Eventual travessia subterrânea da baía, caso seja competitivo relativamente à solução em viaduto, o mesmo para o quanto previsto para a parte da baía sucessiva a partir do km 16+020 em diante.</p> <p>Aliás, evita-se qualquer possível interferência eletromagnética com o Aeroporto Internacional do Galeão, como também a necessidade de deixar folgas adequadas por debaixo do tabuleiro do viaduto para os meios de emergência marítimos</p>
4			13+300	16+020	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Possíveis interferências com a rede de serviços do aeroporto.</li> <li>▪ Interferência com as vias dos táxis do aeroporto.</li> </ul>	<p>Pode-se otimizar o greide (trecho de estrada de inclinação constante) tendo em conta as interferências e a necessidade de limitar as alturas das trincheiras abertas.</p>

Id.	Ref. Rel.	Pág.	do km	ao km	Pontos Críticos	Possível otimização
5	Túnel	T002	16+020	24+200	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Nos primeiros 2 km não há cobertura suficiente para fazer um túnel natural</li> <li>▪ Dificuldades próprias dos túneis submarinos a partir de cerca do Pk 16+900-20+100.</li> <li>▪ Falta de levantamento batimétrico e falta de informação relativa à composição e qualidade dos terrenos do fundo marinho.</li> </ul>	<p><b>No modo como está previsto o túnel <u>não é</u> exeqüível.</b></p> <p>O greide será modificado em relação à profundidade efetiva do fundo marinho e das características geotécnicas dos terrenos presentes deixando as coberturas suficientes em função do diâmetro do túnel.</p>
▪						
<b><u>ESTADO DO RIO DE JANEIRO</u></b>						
6	Aterro		27+100	31+400	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Interferência com centro habitacional.</li> <li>▪ Possíveis inundações do Rio Iguaçu.</li> </ul>	<p>Necessário verificar a possibilidade de limitar as interferências com o centro habitacional, eventualmente com passagens inferiores em alguns trechos.</p>

Id.	Ref. Rel.	Pág.	do km	ao km	Pontos Críticos	Possível otimização
7	Viaduto	Da V014 à V022	40+500	55+000	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Alturas notáveis dos viadutos, até quase 80m.</li> <li>▪ Interferência parcial com o centro habitacional de Vila de Cava ao km 43+500.</li> </ul>	<p>Possível reavaliação da planimetria, adotando raios planimétricos mesmo inferiores a 10.000m, para torná-la mais sinuosa. Conseqüente reavaliação do traçado do perfil longitudinal (andamento altimétrico) para torná-lo mais aderente ao terreno.</p>
8			56+000	63+000	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Interferências com centros habitacionais de Queimados e Japeri.</li> </ul>	
9			64+000	81+191	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Aterros de altura excessiva.</li> </ul>	<p>Abaixamento geral do greide para conter a altura dos aterros a 8m e conseqüentemente a altura dos viadutos.</p>
10	Viaduto Túnel	Da V045 à V049 e da T025 à T027	81+191	91+250	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Viadutos de altura excessiva.</li> <li>▪ Túnel longo de quase 10km com inclinação longitudinal igual a 35 por mil.</li> </ul>	<p>Abaixamento geral do greide para reduzir a altura dos viadutos e a diminuição da inclinação longitudinal do túnel.</p>

Id.	Ref. Rel.	Pág.	do km	ao km	Pontos Críticos	Possível otimização
11	Viaduto Túnel	Da V050 à V080 e da T028 à T046	91+250	121+989	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Excessiva fragmentação no desenvolvimento longitudinal dos túneis</li> <li>▪ Viadutos muito altos.</li> </ul>	<p>Abaixamento geral do greide para conter a altura dos viadutos (altos até quase 70m).</p> <p>Em geral aumenta o desenvolvimento dos túneis e diminui as zonas de baixa cobertura nos túneis.</p>
12	Viaduto	Da V084 à V094	121+989	133+370	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Viaduto excessivamente alto no vale do Rio Paraíba do Sul.</li> <li>▪ Atravessamento excessivamente oblíquo do Paraíba do Sul, quase paralelo às linhas de corrente do rio.</li> </ul>	<p>Deslocamento em direção norte do traçado planimétrico e abaixamento do greide, sobretudo em correspondência do vale fluvial.</p>
13	Viaduto	Da V095 à V125	133+370	158+742	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Viadutos altos e de impacto visível, particularmente longo o que atravessa o vale do Paraíba do Sul V109 (cerca do km 145+600 ao km 148+366).</li> </ul>	<p>Abaixamento geral do greide.</p>

**ESTADO DE SÃO PAULO**

Id.	Ref. Rel.	Pág.	do km	ao km	Pontos Críticos	Possível otimização
14			179+131	179+681	<ul style="list-style-type: none"> <li>Atravessamento muito interferente com a auto-estrada BR 116 (excessivamente oblíquo).</li> </ul>	<p>Possível modificação do traçado planimétrico para reduzir a obliquidade do atravessamento da auto-estrada.</p>
15	Viaduto Túnel	Da V155 à V179 e da T088 à T104	188+471	201+715	<ul style="list-style-type: none"> <li>Excessiva fragmentação no desenvolvimento longitudinal dos túneis.</li> <li>Viadutos muito altos.</li> </ul>	<p>Abaixamento geral do greide.</p>
16			218+000	235+000	<ul style="list-style-type: none"> <li>Distância não elevada da sinuosidade do rio Paraíba do Sul.</li> <li>Possíveis problemas com áreas de inundações no leito ativo e paleo-leitos.</li> </ul>	<p>Eventual inserção dos viadutos nos paleo-leitos ou então deslocar o traçado para outro corredor.</p>
17			243+500	247+000	<ul style="list-style-type: none"> <li>Interferências notáveis com o centro habitacional</li> </ul>	<p>Eventual variante plano-altimétrica (lado sul) que evite o centro habitacional.</p>
18			263+000	275+000	<ul style="list-style-type: none"> <li>Possível área de inundações do rio Paraíba do Sul</li> </ul>	<p>Eventual inserção de viadutos nos paleo-leitos ou então deslocar o traçado para outro corredor.</p>

Id.	Ref. Rel.	Pág.	do km	ao km	Pontos Críticos	Possível otimização
19			280+500	283+000	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Interferência com área urbana ao km 283.</li> <li>▪ Atravessamentos não excelente e paralelismo próximo do leito principal do Paraíba do Sul.</li> </ul>	Eventual variante planimétrica de traçado.
20			302+000		<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Interferência com centro habitacional.</li> </ul>	Eventual variante planimétrica de traçado.
21	Túnel	T145-T146-T147	388+543	398+513	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Baixa cobertura do túnel em alguns trechos, mesmo relativamente à pré-existência aeroportuária e aos seus edifícios.</li> </ul>	Eventual abaixamento do traçado do perfil longitudinal para aumentar a cobertura do túnel.
22			398+513	402+553	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Interferência com curso de água, Rodovia DUTRA, estrada SP070 e imóveis.</li> </ul>	Deslocamento do traçado a sul da estrada SP070.
23	Ponte	V351	426+200		<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Altura do viaduto com estacas h&gt;40m e muro de proteção ao portal do túnel T151.</li> </ul>	

Id.	Ref. Rel.	Pág.	do km	ao km	Pontos Críticos	Possível otimização
24	Viaduto	Da V384 à V3295	451+792	463+912	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Viadutos altos e longos e de impacto visível</li> </ul>	Abaixamento geral do greide

Tabela 7-5: resumo dos pontos críticos mais significativos e as possíveis otimizações de traçado.

## 8. CONSIDERAÇÕES SOBRE TEMPOS E CUSTOS

As análises feitas no projeto para a individualização dos maiores riscos conexos permitiram de fazer um exame crítico sobre os tempos e custos de construção, relacionando-os, onde possível, com o projeto.

### 8.1 Obras ao céu aberto

As análises paramétricas feitas pela Halcrow sobre os custos evidenciam no nosso parecer uma provável carência com relação às tipologias de obras ao céu aberto, sabendo porem que não foi encontrada nenhuma correlação, mesmo paramétrica, das tipologias de obra individualizadas com as suas dificuldades técnicas, de realização e outras incertezas.

Para as pontes e os viadutos foi proposto um custo por metro quadrado de tabuleiro de 4,745 R\$/m<sup>2</sup> (cerca 1,780 €/m), calculado como a média para todas as tipologias de pontes e viadutos, compreensivo de tabuleiro, apoios, pilares e fundações. O valor proposto foi calculado da uma análise feita sobre um notável numero de pontes e viadutos construídos no Brasil.

Do exame do traçado proposto (e a análise dos riscos colocou isso em evidencia) resulta que existem cerca 34,5Km de viadutos com pilares de altura superior a 30m, chegando em alguns casos até a 80m. Estes representam sem duvidas obras particulares, sobretudo para uma linha ferroviária de alta velocidade, em geral reguladas das normas muito mais restritivas, os quais custos são decididamente superiores aos custos médios que se podem obter da análises paramétricas e estatísticas. O impacto destas características nos custos pode ser bem maior a respeito do valor médio considerado.

Em consideração a isso e fazendo presente o risco conexo, propomos prever uma percentagem de 20% a mais para as obras em elevação.

Em relação aos cortes e aterros, não temos no momento elementos para avaliar nem mesmo a parte relativa ao movimento de terra: para isso seria necessário fazer um exame de detalhe (isto é, um projeto de detalhe) nas varias zonas do traçado, finalizado à elaboração de um balanço entre os materiais resultantes do movimento de terra e aqueles necessários para os aterros, acompanhado de um prova critica da qualidade dos materiais provenientes do escavo, e decidir conseqüentemente se vai ser necessário encontrar cavas para empréstimo de um lado, e descargas do outro, etc..

Não ficou claro, outrossim, em que modo foram economicamente valorizados o movimento de terra e os aterros de grande altura (respectivamente até 50m e 40m de altura no eixo da ferrovia); à parte o custo associado aos movimentos de terra, em tais obras é necessário levar em consideração os modos de realização especiais ou de outras ações de suporte; em um nível maior de detalhe de projeto, poderemos verificar em tais condições que seja mais conveniente a substituição destas soluções com a realização de uma obra de arte (túnel ou viaduto).

A análise dos riscos colocou também em evidencia as zonas caracterizadas pela presença de turfa e de terrenos da baixa capacidade de suporte, às vezes até coincidentes com áreas de inundação: nestes casos será provavelmente necessário realizar obras de reparação dos terrenos ou, como todavia já indicado no projeto, substituir os aterros com os viadutos.

Por este motivo entendemos ser prudente sugerir a previsão de uma percentagem de 20% a mais, como reserva de emergência.

Do ponto de vista dos prazos para a execução, estes tipos de obras podem ser executadas "em serie" em várias frentes ao mesmo tempo, mesmo dentro da mesma obra, então, a menos de um outro eventual aumento de custos, o respeito do programa é substancialmente ligado ao numero de maquinas e de equipes a disposição.

## 8.2 Obras subterrâneas

### 8.2.1 Túneis realizados com TBM

A análise paramétrica relativa aos custos dos túneis com TBM leva a resultados que, a nosso ver, são congruentes para os dois túneis, com cerca 9m de diâmetro de escavação, e que resultam em 83,530R\$/m para dois túneis, isto é 41,765R\$/m, que correspondem a aproximadamente 15,650€/m; ao invés, é de difícil interpretação tudo quanto relacionado aos túneis duplos, de cerca 16,50m de diâmetro de escavação, visto que não existe uma experiência para túneis com estas dimensões. De outro lado, já foi ilustrado em outros capítulos a inviabilidade da solução dos túneis duplos, seja por motivos de normativa de segurança internacional, seja por motivos de conveniência e oportunidade.

A análise dos riscos elaborada evidencia um caso de túnel com aspectos críticos que recomenda uma modificação de traçado ao menos em elevação: é o caso do túnel T2 que vai do Km 16.020 ao Km 24.200 nas proximidades do aeroporto do Galeão, caracterizado da passagem sob a superfície do mar.

O traçado atual prevê uma cobertura sobre a calota do túnel extremamente reduzida, que não permite um avanço em condições "normais". Será preciso investigar a respeito das reais condições batimétricas daquela zona e sobre as quantidades de materiais do fundo do mar: em consequência será necessário definir o quanto pode-se abaixar a quota de projeto, até garantir uma cobertura de **no mínimo** um diâmetro e complementar a análise do risco na nova configuração.

Deve ficar muito claro que o traçado naquela zona assim como foi projetado não é viável em condições de tempos e custos **standard**.

Esse trecho (Aeroporto Galeão) é o mais crítico, pois em nenhum outro ponto do traçado encontramos caso semelhante tão grave. Nesse trecho qualquer atraso, mesmo que limitado, poderá influir no programa geral de execução.

Para as demais obras que encontram-se no caminho crítico de execução, onde um atraso pode colocar a risco o programa geral, sugerimos como contra medida sem aumento de despesas (alias, com uma certa economia no investimento e então com menores despesas financeiras), procurar no mercado a disponibilidade de um certo numero de TBMs usadas que, se devidamente recondicionadas, podem fazer economizar o tempo de entrega de ao menos 4-6 meses. Isto permitiria haver uma adequada margem de segurança no programa das obras.

Portanto, à parte as eventuais modificações derivantes do acima exposto para o túnel submarino, que poderia comportar a construção de novos poços, o aumento do túnel e a necessidade de fazer consolidações adicionais, entendemos que os custos indicados para os dois túneis mecanizados sejam aceitáveis e compatíveis com a situação riscos.

Achamos útil sublinhar porem que, em fase de projeto definitivo, poderá se prever obras para proteção de edifícios ou mesmo a obras pré existentes superficiais em zona urbana, de estima impossível no estado atual do projeto. Portanto, sugerimos de prever uma percentagem de 10% de fundos a mais para consolidações localizadas em área urbana.

Com as velocidades medias hipotéticas para as TBMs escritas no capítulo 6.4, em nossa opinião e segundo a nossa experiência, pode-se afrontar as situações previstas nos túneis, à luz da análise dos riscos apresentada. Portanto, com os esquemas indicados e o numero de TBMs previstos ( dos quais um certo numero usadas e recondicionadas ) poder-se-á terminar os trabalhos de obras civis nos túneis entre os 30 meses à disposição para os túneis mecanizados, à salvo de quanto já mencionado e repetido para o túnel submarino do Galeão.

### 8.2.2 Túneis realizados com o método tradicional

O preço ao metro linear de túnel realizado com o método tradicional varia aproximadamente de R\$ 99.500,00 para os dois túneis a R\$ 215.000,00 para os túneis duplos em ambiente urbano com escavação em terreno.

Confrontando estes valores acima com aqueles usuais que derivam da nossa experiência internacional e aplicados a obras análogas, pode-se dizer que existe um substancial equilíbrio se levarmos em consideração o custo máximo. O custo mínimo ao metro linear, ao invés, pode ser até sensivelmente inferior ao valor hipotético para o exemplo de escavação em rocha sã em condições extra-urbanas.

Alem disso nota-se que o preço ao metro linear de escavação em rocha sã é inferior àquele da escavação em solo de somente 5% enquanto, pela nossa experiência, esta diferença deveria ser muito maior.

Portanto, podemos afirmar que os preços de escavação ao metro linear NATM em solo são aceitáveis e congruentes com a nossa experiência enquanto os preços de escavação em rocha são muito altos.

Os túneis realizados com o método tradicional são mais curtos, mesmo se numerosos. Para estes, portanto, pode ser válido o mesmo raciocínio feito para as obras ao céu aberto: um número suficiente de *maquinas* e *equipes* permitira respeitar os tempos programados, sem incidir mais nos custos por metro quadrado de túnel (à parte os oneres derivantes dos maiores investimentos, mas neste caso se trataria de maquinas "standard" que podem ser mais facilmente reempregadas ou vendidas no mercado e então facilmente amortizáveis).

## 9. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

O escopo da análise do risco consiste em identificar e quantificar antecipadamente os possíveis efeitos negativos, causados por fenômenos de varias naturezas, sobre aspectos do projeto quais sejam a viabilidade e a qualidade das obras, os tempos e os custos de construção, o impacto ambiental. Em outras palavras, a avaliação do risco é a definição do nível de risco associado aos eventos "perigosos" identificados. Se tal nível não é aceitável, é necessário adotar uma medida de mitigação, a qual introdução no processo de análise conduz, por interações sucessivas, à quantificação do risco resíduo, entendido como o ultimo nível de risco aceitável.

De acordo com os objetivos do projeto foi realizada uma análise do risco com uma metodologia simplificada, como ilustrado no capítulo 3 da presente relação. Em efeito, foram identificados diferentes fenômenos de risco, concentrados nas categorias geológicas e diferenciados respectivamente para as obras em superfície e para as obras subterrâneas.

Para algumas obras consideradas criticas do ponto de vista do projeto, de realização e econômico, como os viadutos com pilares altos mais de 30m, os emboques dos túneis, os cortes profundos mais de 20m e os aterros mais altos de 20m, foi considerado um nível de risco intrínseco alto (vermelho), deixando de lado a presença ou não das condições geológicas perigosas.

Os resultados obtidos da nossa análise de risco são representados graficamente nos desenhos (do numero CTDHSR-RJM-00000-RIS-201 ao numero CTDHSR-SPV-50400-RIS-702) para facilitar seja a pesquisa seja a compreensão.

Em resumo, da nossa análise do risco resulta que:

- 30,29% do traçado apresenta um alto nível de risco inicial;
- 56,16% do traçado apresenta um nível médio de risco inicial;
- 13,55% do traçado apresenta um baixo nível de risco inicial.

Os elevados valores percentuais dos dois níveis de risco médio e alto refletem simplesmente o fato que nesta análise foi avaliada e representada nos perfis somente o risco inicial, em outras palavras, o nível de risco presente antes da aplicação das medidas de mitigação, como já descrito nos capítulos precedentes da presente relação.

**Recomendamos uma sucessiva fase de avaliação da mitigação do risco durante a elaboração do projeto de detalhamento e ainda durante a construção, a qual deverá continuamente ser refeita no tempo com a finalidade de transformar o risco em aceitável (avaliação do risco resíduo).**

Não obstante os altos percentuais de risco médio e elevado, a análise do risco evidenciou em linhas gerais, em função das atuais informações conhecidas, a viabilidade do projeto sem necessitar prever medidas particularmente graves, com exceção de dois pontos particulares:

- O túnel submarino na Baía da Guanabara (RJ) resulta da nossa análise NÃO realizável devido a aspectos geológicos (insuficientes informações relativas aos terrenos presentes no fundo do mar), e de traçado (faltam informações batimétricas, mas aparentemente este túnel apresenta a parte alta da sua seção na água).
- Os túneis que atualmente prevêem uma solução túnel duplo (diâmetro = 16,50m) não são realizáveis com TBM, especialmente no caso de escavação em rocha. O mercado não oferece hoje máquinas com estas dimensões e conseqüentemente não se tem suficiente experiência no seu uso. Além disso muitos standards internacionais desaconselham a solução com túnel duplo por motivos de segurança. Vistas as incógnitas ligadas ao uso de máquinas de grandes dimensões não é absolutamente oportuno experimentá-las neste projeto tendo em consideração ainda os tempos estreitos impostos para a realização da linha.

Para completar o ciclo previsto da análise do risco (veja-se o diagrama de fluxo - figura 9.1) deveria-se passar a uma fase na qual, levando em consideração o risco inicial, se desenvolvesse o projeto de detalhamento adotando as oportunas contra medidas tais para diminuir o risco inicial a um nível aceitável (risco resíduo).

Até agora, esta fase foi realizada somente em uma parte mínima pela CPRM e pela HALCROW, que revisou o traçado inicial, definido antes da recente campanha de prospecções geotécnicas, em função das evidências dos terrenos sinaladas pela CPRM (veja-se, por exemplo, a área de São Jose dos Campos na qual o traçado foi modificado depois da sinalização da parte do CPRM da presença de cavas de areia). Tal fase deveria ser completada pelo projetista avaliando as medidas de mitigação ao longo do traçado e em particular onde os resultados da análise evidenciaram um risco inicial alto.

Em modo preliminar a Geodata realizou, como sugerido pela CPRM, uma análise de viabilidade do projeto do ponto de vista

de tempos e de custos baseada nos resultados da análise e na própria experiência (veja-se o capítulo 8).

A análise dos tempos foi realizada com relação as obras mais críticas como por exemplo o longo túnel que passa sob a cidade de São Paulo, o túnel que passa sob o aeroporto de Guarulhos, o túnel de 8km que atravessa a serra das Araras e o túnel presente na zona de Campinas.

Estas análises demonstram que, com a solução dois túneis, todos, com exceção do túnel submarino na Baía da Guanabara (RJ), são realizáveis nos tempos já exíguos exigidos pelo dono da obra.

Relativamente aos custos foi feita uma comparação entre os preços propostos pelos projetistas com aqueles relativos a obras similares realizadas na Itália e em outros países europeus.

Para as pontes e os viadutos, com pilares de mais de 30 m, prevemos um impacto sobre os custos bem maior à respeito do valor médio considerado no projeto e aconselhamos muita cautela prevendo somas adicionais de reserva.

Consideramos para os cortes e aterros com profundidades ou alturas superiores a 20 m igual cautela prevendo somas de reserva.

Para as obras subterrâneas realizadas com escavação mecanizada os custos apresentados resultam, na nossa opinião, congruentes para os dois túneis, de cerca 9 m de diâmetro de escavação.

Ressaltamos porém como na análise dos custos não resultam somas previstas para eventuais consolidações do terreno e/ou obras de proteção para obras pré existentes nas áreas urbanas, e aconselhamos de prever somas de reserva.

Para as obras subterrâneas realizadas com o método NATM os preços de escavação ao metro linear em terreno são aceitáveis e congruentes com a nossa experiência enquanto os preços de escavação em rocha nos parecem muito altos.

Na ótica de interação entre a análise do risco e o desenvolvimento do projeto foi feito um exame crítico de todo o traçado utilizando os resultados da análise (veja-se o capítulo 7).

Tal exame levou à individuação de alguns trechos nos quais, variando a quota do perfil proposto, é possível obter otimizações com conseqüente **redução ou até eliminação** do risco inicial. Os trechos nos quais é possível otimizar o traçado estão resumidos na tabela 7.5.

Alem das principais conclusões ilustradas acima achamos oportuno recomendar o seguinte:

- o uso generalizado da solução de dois túneis em todos os túneis previstos no projeto. Caso esta recomendação seja aceita, é oportuno, na fase sucessiva do projeto, definir a distancia entre eixo dos dois túneis tendo em consideração as condições geo-ambientais;
- um estudo alternativo que preveja uma utilização mista (passageiros e mercadorias) da linha. Vistos os grandes investimentos necessários para a realização da obra, o aumento da linha para o trafico de mercadorias permitiria maiores receitas em menor tempo. A decisão de ampliar o trafico a mercadorias impacta diretamente com os critérios de projeto como raio de curvatura, pendência e standard de segurança: isto è um risco de projeto que não se deve subestimar, caso exista a hipótese futura de uma abertura da linha ao trafico de mercadorias.

Enfim, lembramos que a análise do risco é um processo sistemático de avaliação que desenvolve-se durante toda a execução do projeto, desde a fase de estudo e projeto até a fase de construção.

Em relação a uma determinada fase de projeto o procedimento normal de análise articula-se segundo o esquema lógico exemplificado na seguinte flow-chart (figura 9.1), onde são colocados em evidencia os passos que prevêem um confronto estruturado com o Cliente e as possíveis interações do processo para melhorar o modelo e os resultados.

Do ponto de vista de gerenciamento do risco e de acordo com a nossa experiência, somos profundamente convictos que:

- ❖ O projeto e a avaliação do risco são mutuamente dependentes e devem ocorrer ao mesmo tempo;
- ❖ Uma apropriada e vantajosa avaliação do risco pode ser obtida somente por meio de um correto entendimento do projeto e do processo construtivo envolvido e tem que ser realizada por uma equipe de profissionais experiente e multidisciplinar;
- ❖ Um projeto sólido e robusto pode ser alcançado somente se este for desenvolvido com base numa avaliação do risco ampla.

Do ponto de vista de gerenciamento do risco nós acreditamos que:

- ❖ O projeto em si é uma das mais efetivas medidas para reduzir os níveis de risco iniciais de um projeto. Assim, não somente as análises do risco deveriam ser feitas durante toda a execução do projeto e construção, mas também conduzidas em paralelo com o desenvolvimento do projeto ou com o avanço da construção; e mais importante, no estágio de projeto são as análises do risco que devem orientar o desenvolvimento do projeto;
- ❖ A correta escolha do método construtivo para um projeto é a “primeira medida de mitigação” ou, simplesmente, a primeira resposta para identificar os principais riscos. O problema-chave é então identificar como fazer a escolha adequada do melhor método construtivo em um dado projeto.

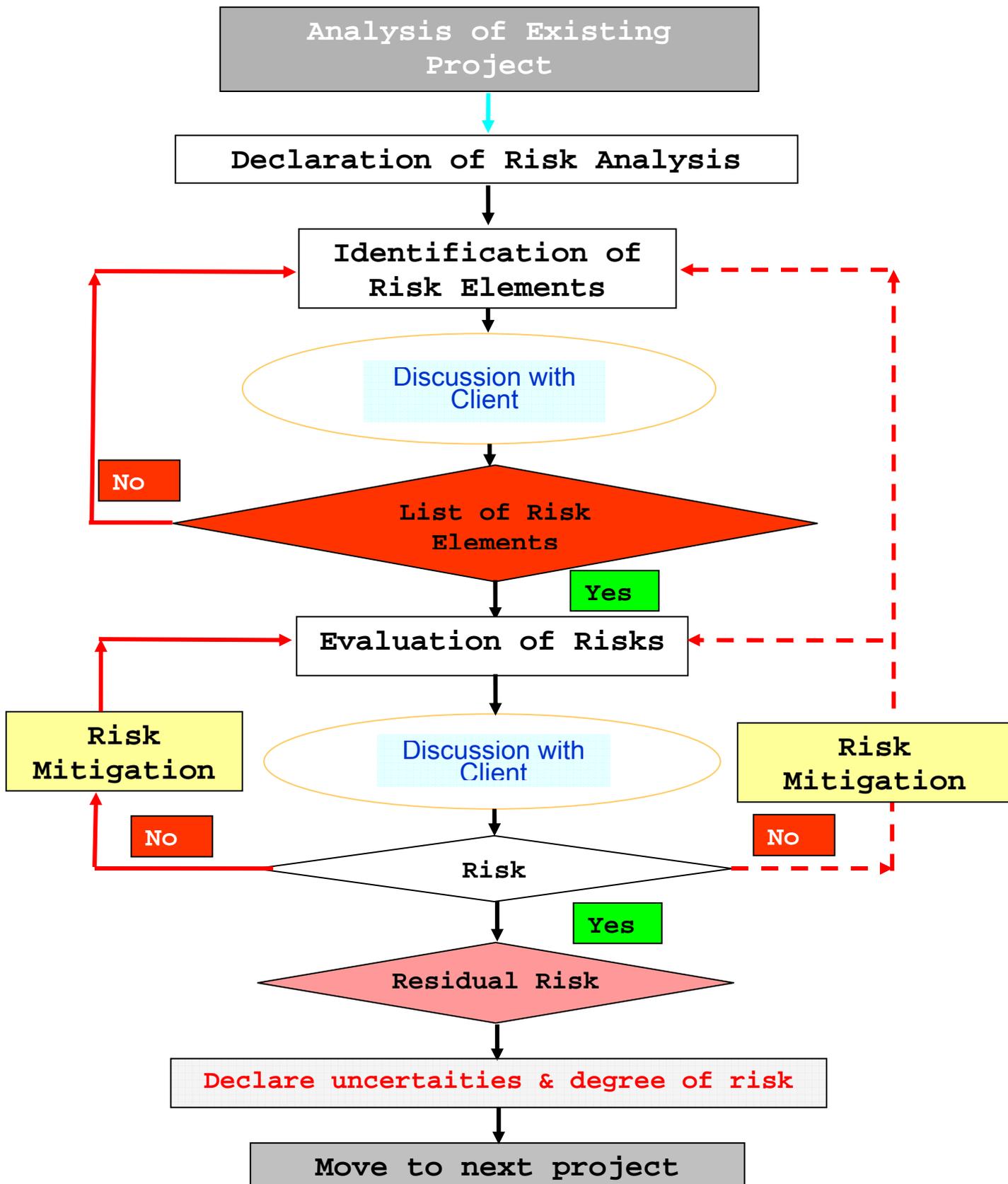


Figura 9.1: diagrama de fluxo resumo do processo de analise do risco.