

Os estudos geológicos e geotécnicos na beneficiação de estradas e pontes

ARMINDO S. NUNES* & M. O. QUINTA FERREIRA**

Palavras-chave: Geologia; geotecnia; zonamento geotécnico; projecto; estradas; pontes.

Resumo: É apresentada a metodologia considerada mais adequada na realização dos estudos geológicos e geotécnicos para a beneficiação de antigas rodovias. Procuram-se apresentar os procedimentos necessários ao estabelecimento de um zonamento geotécnico para apresentação do projecto, com base essencialmente nas condições de fundação dos pavimentos, nas características dos materiais empregues na antiga estrada, na drenagem e no comportamento do pavimento. Para as obras de arte é necessário caracterizar os terrenos de fundação quer nos locais de antigas estruturas quer nos locais das novas pontes de modo a otimizar as soluções com base nas características dos terrenos e nas solicitações que lhe vão ser aplicadas.

Key-words: Geology; geotechnics; geotechnical zoning; design; roads; bridges.

Abstract: The methodology considered more suitable for the execution of the geological and geotechnical study for the benefaction of old roads is presented. For the old roads a geotechnical zoning based on the foundation characteristics of the pavements, on the characteristics of the materials used in the old road, on the drainage and on the behaviour of the pavement. For the old bridges it is necessary to characterize the foundation terrain, in both the old bridges and in the new ones to improve the solutions based on the terrain characteristics and in the solicitations that will be applied.

INTRODUÇÃO

Desde 1980 que a Junta Autónoma de Estradas (JAE) deu início a intensivas campanhas de reabilitação de pavimentos abrangendo todas as categorias de estradas da rede rodoviária nacional, em simultâneo com a construção de novas rodovias.

Sempre que as condições o permitiram, a reabilitação incluiu o alargamento da faixa de rodagem à custa das bermas em terra, bem como a execução de curtas variantes destinadas a melhorar as características geométricas dos traçados, a velocidade de circulação e a segurança.

O presente trabalho diz respeito à realização do projecto de beneficiação de estradas de nível médio e inferior e nele se pretende apresentar a metodologia seguida para, com o necessário rigor e em prazos curtos, dar a conhecer o modelo geológico-geotécnico subjacente à zona da estrada, de modo a dele se obterem os parâmetros necessários ao dimensionamento do pavimento novo em alargamentos ou rectificações, ou do reforço do pavimento antigo. Não se incluem neste trabalho as estradas pertencentes aos itinerários principais e complementares da rede rodoviária bem como as estradas da rede municipal.

Para as obras de arte a beneficiar é necessário reconhecer os terrenos de fundação e não menos importante o tipo e características da estrutura da obra de arte existente quando ela vai ser incluída na estrutura final após beneficiação. A prospecção geotécnica procura dar algumas respostas às numerosas questões que se colocam frequentemente para o projecto de beneficiação de uma obra de arte e que se prendem com a natureza e características geotécnicas dos terrenos de fundação das estruturas existentes, das obras de reforço ou das novas obras de arte a construir que as substituam, de modo a compatibilizar as soluções de traçado e estruturais com as condicionantes do terreno. A existência de uma estrutura, a obra de arte antiga, vai condicionar a execução da prospecção, nomeadamente no que se refere à localização dos trabalhos e ao seu modo de execução.

É necessário determinar as espessuras das unidades e respectivas características geotécnicas e interessa ainda saber a que profundidade será possível fundar as novas estruturas e qual o tipo de fundação que pode ser utilizado.

METODOLOGIA DE ESTUDO

O procedimento geralmente seguido na elaboração de um estudo geológico e geotécnico para a beneficiação de antigas estradas é apresentado seguidamente.

- Pesquisa bibliográfica (livros, revistas, artigos, projectos semelhantes);
- reconhecimento de campo e execução de um mapa a escala adequada ao projecto, geralmente 1/1000, com a informação disponível, (geologia local, deteriorações no pavimento, terrenos de fundação do pavimento, drenagem, instabilidade de taludes, etc.);
- zonamento preliminar do traçado e preparação de um plano de prospecção (poços, trados, prospecção sísmica,

* Junta Autónoma de Estradas, Dir. Serv. Reg. Estradas do Centro. 3003 Coimbra.

** Departamento de Ciências da Terra, Universidade de Coimbra. 3049 Coimbra.

- sondagens mecânicas, penetrómetros dinâmicos, etc) a ser apresentado à JAE para aprovação;
- discussão e aprovação pelo dono de obra do plano de prospecção;
- execução da prospecção e amostragem de acordo com o plano aprovado e quando necessário trabalho de campo adicional;
- execução dos ensaios de laboratório sobre amostras representativas dos vários tipos de solos encontrados;
- interpretação dos resultados de campo e de laboratório e execução do zonamento geotécnico final do traçado da estrada;
- representação gráfica da informação obtida no decorrer do projecto e da sua interpretação, utilizando as plantas e o perfil longitudinal com o “pente” adequado ao estudo geológico-geotécnico em questão.
- escrita do relatório geológico-geotécnico contendo todos os elementos relevantes para o projecto (cartografia geológica-geotécnica à escala do projecto, prospecção incluindo os gráficos dos trabalhos de prospecção, resultados dos ensaios e os correspondentes boletins de ensaio, etc.) e sua interpretação.

No que se refere às estradas, o método de dimensionamento de pavimentos flexíveis assentou numa base empírica, com recurso ao conhecimento do valor do CBR (California Bearing Ratio) para $95\pm 1\%$ ou $100\pm 1\%$ da baridade seca máxima (γ_d) obtido no ensaio de compactação pesado, respectivamente para os solos coesivos e incoerentes.

Recorreu-se também ao cálculo empírico do CBR, a partir do conhecimento dos valores dos limites de consistência e das percentagens de solo passado nos peneiros 40 e 200 (ASTM), com base em correlações obtidas por diversos investigadores e sobejamente divulgadas.

Na maior parte das situações ocorrem ao longo dos traçados solos de natureza diferente ao nível da fundação dos pavimentos, aos quais correspondem características geotécnicas diferentes e logo valores de CBR diferentes. Sendo assim, torna-se necessário e vantajoso proceder a uma zonagem do traçado por grupos de solos a que correspondem valores de CBR característicos para dimensionamento.

O método adoptado baseia-se na aplicação do critério litogenético que permite o agrupamento dos solos em classes, caracterizados pela sua génese, diagénese, tectónica e fenómenos de alteração idênticos. Dentro deste critério escolheu-se o tipo litológico como a unidade mais adequada ao estudo em causa. A adopção do critério litogenético e a caracterização geotécnica dos tipos litológicos permite, a partir de um adequado reconhecimento geológico de superfície, fazer um zonamento geotécnico preliminar e elaborar um plano de prospecção ajustado à realidade geológica. Com os resultados dos ensaios laboratoriais sobre amostras representativas das unidades geotécnicas, é possível elaborar um zonamento geotécnico mais aproximado da realidade.

É evidente o interesse desta metodologia pois torna possível fazer correlações entre solos pertencentes ao mesmo tipo litológico de uma determinada unidade geológica, ficando-se com uma chave que abre a possibilidade de interpretar geotécnicamente, com alguma aproximação, as cartas geológicas mesmo as de âmbito regional. No entanto, deve ter-se o necessário cuidado ao fazer a correlação entre tipos litológicos e comportamento geotécnico, sendo necessário possuir bons conhecimentos quer geológicos quer geotécnicos.

Como se referiu o CBR foi, além de outros parâmetros, o parâmetro geotécnico sobre o qual assentou o dimensionamento do pavimento, sendo apresentado em todos os projectos um zonamento do traçado em termos do CBR para dimensionamento. Convém salientar que o valor do CBR necessita, em muitos casos, de ser ajustado face à degradação do pavimento, em regra relacionadas com a presença próxima do nível freático ou, com as características drenantes dos solos, pelo que só após esta análise global se deverá estabelecer um zonamento geotécnico definitivo.

ACERCA DE ALGUNS TRABALHOS DE PROSPECÇÃO

Passamos a referir algumas observações acerca de alguns trabalhos de prospecção, não tendo a preocupação de sermos exaustivos.

O reconhecimento geológico de superfície, a prospecção mecânica, os ensaios e a realização de relatórios com perfis geotécnicos interpretativos, são da maior importância para que o projectista possa dispôr dos elementos necessários para optar fundamentadamente pelas soluções técnicas mais adequadas a cada solução de beneficiação.

A prospecção geotécnica na plataforma da estrada é geralmente realizada escavando poços na transição entre o pavimento e a berma e/ou efectuando a carotagem do pavimento. As carotagens do pavimento são essencialmente úteis no estudo das camadas betuminosas. Os poços permitem a observação da estrutura do pavimento antigo e dos solos de fundação e a recolha de amostras para ensaios de laboratório.

Os ensaios sistemáticos utilizando os deflectómetros de impacto, os ensaios de carga com pneus ou de determinação do coeficiente de atrito entre o pavimento e os pneus não são geralmente efectuados para este tipo de estradas, sendo utilizados na auscultação das rede rodoviária principal (IPs, ICs). A sua utilização e interpretação é baseada numa

diferente filosofia que não é tratada neste trabalho.

Os ensaios de penetração dinâmica ligeira (PDL) destinam-se principalmente à avaliação da capacidade de suporte dos terrenos de fundação dos aterros, não sendo geralmente adequados ao estudo das condições de fundação de obras de arte. Estes ensaios são de um modo geral localizados em zonas de solos de baixa resistência (e.g.: baixas aluvionares e coluvionares) com vista à determinação da resistência de ponta oferecida em profundidade pelos depósitos móveis e, eventualmente, definir a posição do topo do maciço rochoso. Com os resultados é possível definir se os terrenos de fundação dos aterros possuem zonas de resistência dinâmica insuficiente, que será necessário tratar convenientemente. As soluções preconizadas para o tratamento destas situações podem ser várias, por exemplo passando pelo saneamento dos solos de baixa resistência e a utilização de uma camada drenante na base do aterro, a construção do aterro com solos de boas características, etc. Em fase de obra é sempre necessário confirmar os pressupostos apresentados no estudo geológico-geotécnico, de modo a adaptar as soluções às condições reais que vierem a ser encontradas no terreno durante a execução da obra.

Na execução da prospecção mecânica há que procurar uma localização e profundidade de investigação adequadas, optando por soluções específicas para cada caso.

As sondagens para a prospecção das obras de arte podem ser efectuadas a partir da superfície do terreno envolvente, ou a partir da plataforma de modo a reconhecer os terrenos de fundação ou os aterros nos encontros. Neste caso é possível reconhecer os materiais usados nos aterros de aproximação às obras de arte pois tratando-se de obras antigas não há geralmente registos dos materiais utilizados. Quando a estrutura da obra de arte apresenta particularidades que interessa conhecer, ou mesmo deficiências de comportamento como deformações, fissuras, etc., pode ser adequado realizar as sondagens através da própria estrutura. Deste modo é possível reconhecer os materiais usados na construção, a estrutura da obra de arte e o tipo e características dos terrenos de fundação. Os condicionamentos postos à circulação rodoviária durante a execução da prospecção a partir da plataforma da estrada, podem ser uma dificuldade acrescida que há que ter em conta na execução dos trabalhos.

Quando se tratam de pequenas obra de arte a relação entre o custo da prospecção comparativamente ao custo da beneficiação aumenta, o que leva à tendência de eliminar ou reduzir, por vezes drasticamente, os estudos geotécnicos. No entanto, os trabalhos de prospecção são de grande importância para a execução de um projecto adequado às condições do terreno de fundação, diminuindo os custos da beneficiação e aumentando a segurança.

ACERCA DO “PENTE” DA GEOTECNIA

Na elaboração do projecto da geotecnia é actualmente necessário organizar a informação segundo um “pente” pré-definido, de modo a abranger os principais aspectos relevantes para o estudo. Na Figura 1 apresentamos um exemplo dos itens considerados no “pente” do perfil da geologia e geotecnia.

Passamos a comentar sumariamente alguns aspectos que consideramos relevantes e relacionados com o conteúdo das diversas linhas consideradas no pente, mas sem pretendermos ser exaustivos.

Na definição das “cotas de trabalho à esq/dir” podem surgir algumas dúvidas pois que os valores apresentados variam consoante o ponto considerado como referência para medição. Sugere-se que sejam consideradas as diferenças entre as cotas nos extremos da plataforma e as cotas do terreno natural e negativo (-) quando está abaixo. Quando o perfil transversal do terreno é muito inclinado ou irregular, as cotas diferenciais máximas e mínimas no perfil podem ser muito diferentes das apresentadas.

Para o “desmonte % mecânico (mec) / explosivos (exp)” o tipo e percentagem do desmonte a utilizar na execução da obra é estimado com base na observação do terreno, nos trabalhos de prospecção e no conhecimento de situações semelhantes. Entende-se por desmonte mecânico quando se utilizam equipamentos mecânicos incluindo o ripper D8L. O desmonte com explosivos é efectuado quando não é possível utilizar meios mecânicos. É necessário ter presente que os critérios em que se baseia a atribuição dos meios de escavação, mecânicos ou com explosivos, utiliza informação que, não sendo obtida

	NÚMERO DOS PERFIS	
	QUILOMETRAGEM	
	COTAS DE TRABALHO ESQ/DIR	
ESCAVAÇÃO	DESMONTE %	MECÂNICO (MEC) EXPLOSIVOS (EXP)
	CAMADA DE LEITO DE PAVIMENTO (m)	
	ESCARIFICAÇÃO E RECOMPACT. DO LEITO (m)	
	DRENAGEM INTERNA	
ATERRO	DECAPAGEM (DEC) / SANEAMENTO (SAN) (m)	
	GEOMETRIA DE TALLUDES (V/H)	ESQUERDA DIREITA
	OBRAS DE CONTENÇÃO	
ATERRO	CAMADA DE LEITO DE PAVIMENTO (m)	
	PARTE SUPERIOR DE ATERRO (psa) (m)	
	TRATAMENTO DE FUNDAÇÃO	

Figura 1 - Exemplo dos itens utilizados no pente das folhas da geologia e geotecnia.

directamente, a não ser pontualmente nas sondagens mecânicas, nem podendo ser exaustiva, está sujeita a imprecisões de interpretação.

Na “camada de leito de pavimento (m)” a espessura e o tipo de material a utilizar deve ser ajustada às condições locais e ao tipo de projecto, respeitando os critérios estabelecidos para a fundação do pavimento e CBR de projecto, e em particular os critérios para as espessuras a utilizar nas camadas de leito do pavimento.

A “escarificação e recompactação do leito (m)” tende a ser utilizada quando a rasante é em escavação e os terrenos “in situ” apresentam boa capacidade de suporte.

Na “drenagem interna” são representados os drenos e outras estruturas drenantes consideradas no projecto. A sua localização é efectuada de modo a permitir uma adequada drenagem dos terrenos junto à estrada e das fundações da estrada. A necessidade de interligação com o projecto de drenagem provoca por vezes alguns atrasos e podendo ocorrer algumas contradições quando não há um trabalho coordenado entre a geotecnia e a equipa de drenagem.

Na “decapagem (dec) / saneamento (san) (m)” são indicadas as espessuras médias estimadas com base em observações ao longo de um determinado troço. Estes valores poderão variar localmente, devendo ser aferidos em obra. Considera-se saneamento quando os equipamentos necessários de utilizar são específicos e diferentes dos correntemente utilizados nas terraplenagens.

Na “geometria dos taludes: esquerda; direita” é indicada a inclinação dos taludes e a altura das banquetas quando existem, a partir das condicionantes geotécnicas e de projecto. A inclinação é representada Vertical/Horizontal precedida da letra A se é aterro (e.g.: A 2/3) ou da letra E se é uma escavação (e.g.: E 2/3).

Nas “obras de contenção” é indicada a localização e tipo de obras de contenção consideradas no projecto. Este item requer o conhecimento dos diversos tipos de soluções utilizadas na contenção, obrigando a uma interligação eficiente com a restante equipa de projecto da estrada e das estruturas de suporte.

Para a “parte superior de aterro (psa) (m)” é indicada a espessura e tipo de solos a utilizar na parte superior do aterro.

No “tratamento de fundação” são indicados os trabalhos propostos para efectuar no tratamento das fundações.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os estudos geológico-geotécnicos adequadamente executados para a beneficiação de antigas estradas e obras de arte são um elemento de extrema importância para a realização de um bom projecto, baseado no conhecimento dos terrenos e dos materiais utilizados.

Na execução do estudo geológico-geotécnico a utilização correcta e completa do “pente” da geotecnia mostra-se por vezes uma tarefa ingrata, mas de grande importância para o projecto dado constituir uma síntese de toda a informação geotécnica que vai ser utilizada, que facilmente tende a prolongar o estudo mais que o desejado, pois que, os elementos geotécnicos e as soluções preconizadas pela geotecnia influenciam as restantes especialidades do projecto e, simultaneamente, estão dependentes delas para completar a informação e as soluções a apresentar no “pente”.

As opções de projecto bem fundamentadas vão permitir a redução de custos e a adopção das soluções técnicas mais ajustadas à finalidade do projecto.

BIBLIOGRAFIA

- Branco, F. F. (1985) — Pavimentos de Estradas e Aeródromos e suas fundações. *1º Encontro Nacional de Geotecnia*, 21-22 Novembro, Lisboa. Vol. II25-II42
- GOMES COELHO, A. (1987) — Algumas considerações gerais sobre a metodologia dos estudos geotécnicos. *2º Encontro Nacional de Geotecnia*, 26 e 27 de Março, Lisboa. Vol.2, pp.III-45 a 51.
- GUEDES DE MELO, F. A. (1987) — Estruturas de suporte e fundações de obras de arte. Relato geral. *2º Encontro Nacional de Geotecnia*, 26 e 27 de Março, Lisboa. Vol.2, pp.III-1 a 30.
- JAE (1995) — Critérios a utilizar na prospecção geotécnica especial. Recomendações da Direcção de Serviços Regionais de Estradas do Centro - *Junta Autónoma das Estradas (JAE)*. Coimbra.
- MOURA ESTEVES, J. (1987) — Fundações de obras de arte. *2º Encontro Nacional de Geotecnia*, 26 e 27 de Março, Lisboa. Vol.1, pp.III-27 a 32.
- NUNES, A. S. (1982) — Subsídio para a caracterização geotécnica de algumas unidades litológicas da região centro de Portugal. Seu interesse no âmbito dos estudos rodoviários. Publicação Interna da *Junta Autónoma das Estradas (JAE)*. Coimbra.
- PRATES, M. & SANTO, T. (1996) — Manual de concepção de pavimentos para a rede rodoviária nacional. *Curso de Formação Avançado JAE/IST*. Lisboa.
- PRATES, M. (1997) — Os estudos geológicos e geotécnicos e a sua importância no projecto rodoviário. *6º Congresso*

Nacional de Geotecnia. 15 a 18 Setembro, Lisboa. Vol.2/3, pp.809-820.
QUINTA FERREIRA, M.O. (1997) — Prospecção geotécnica na beneficiação de antigas obras de arte. *6º Congresso Nacional de Geotecnia*. 15 a 18 Setembro, Lisboa. Vol.1, pp.199-208.