

SONDAGENS PARA ESTUDO DE FUNDAÇÕES DE BARRAGENS EM MACIÇOS ROCHOSOS - A EXTENSÃO DOS PROGRAMAS NA PRÁTICA PORTUGUESA*

Boreholes in site investigation for dams on rock masses - How much is done in Portugal

J. A. RODRIGUES-CARVALHO **

RESUMO - A extensão dos programas de reconhecimento por sondagens é uma questão fundamental que invariavelmente se coloca durante os estudos de sítios (E.S.) para fundações de barragens ou para outras importantes obras. Trata-se de uma relevante questão cuja resposta depende da quantidade e tipo de informação geotécnica necessária para o projecto e, também, dos meios financeiros disponibilizados pelo dono da obra. Os técnicos envolvidos nos estudos questionam frequentemente se as quantidades de trabalho realizadas se situam acima ou abaixo do que pode ser considerado normal ou razoável.

No presente artigo apresenta-se a experiência portuguesa sobre a extensão dos programas de sondagens para o estudo de fundações de barragens (tipo arco, e de aterro) em maciços rochosos, com base em informação extraída de cerca de 30 dos mais recentes projectos. São apresentadas também tendências quanto às relações entre as quantidades de trabalhos e alguns dos parâmetros que reflectem a importância dos empreendimentos.

SYNOPSIS - During site investigations (S.I.) for dams or other major projects, there is a fundamental question that always arises and which deals with the extension of the borehole programmes, this is, the amount of those type of works that should be done. This is a very important question which answer depends upon both the amount and the type of geotechnical information needed for the design and the amount of money allocated for the S.I. by the owner. People involved with S. I. frequently ask if the extension of studies by boreholes are over or under what that can be considered as normal or reasonable.

This paper presents the portuguese experience on the amount of work by boreholes in S. I. for dams (arch and earth dams) on rock masses, based upon data collected from about 30 of the most recent dam projects. Trends on the amount of work in relation with some parameters that reflect the importance of the projects are also presented.

1 - INTRODUÇÃO

Qualquer geólogo ou engenheiro-geólogo que exerça a sua actividade na especialidade de Geologia de Engenharia é confrontado, mais cedo ou mais tarde, com a necessidade de realizar estudos de locais para determinadas obras de engenharia - edifícios, obras de arte, barragens, túneis, etc. - os chamados estudos de sítios (E.S.). Para além da selecção das metodologias e técnicas que melhor sirvam à obtenção da informação pretendida, e que aquele técnico deverá dominar, uma questão fundamental que invariavelmente se levanta prende-se com a extensão dos programas, ou seja, a quantidade de trabalhos a realizar para o efeito.

* Comunicação apresentada ao 8º Congresso da Associação Internacional de Geologia de Engenharia, Vancouver, 1998

** Professor Associado (Agregado), de Geologia de Engenharia, Dep. de Engª Civil, Universidade Nova de Lisboa

Trata-se de um problema da mais relevante importância uma vez que sistematicamente se colocam, à partida, dois objectivos aparentemente antagónicos e que importa compatibilizar - o custo do estudo, (que se procura seja o mais baixo possível), e o nível de conhecimento das condições locais (que se deseja o melhor possível face ao objectivo do mesmo estudo). Custo e conhecimento não são, por isso, independentes; pelo contrário, estão intimamente relacionados desde que respeitem a um estudo adequadamente conduzido o qual terá também como preocupação essa mesma compatibilização.

Os gráficos que se apresentam neste artigo derivam de valores factuais. No entanto, eles devem ser interpretados apenas como indicadores de tendências da prática portuguesa corrente, quanto ao custo do estudo de sítios e às quantidades de trabalho no reconhecimento por sondagens para os diferentes tipos e graus de importância das obras.

2 - O CUSTO DOS ESTUDOS DE SÍTIOS

É usual admitir-se que valores até ao equivalente a 3% do custo de construção das respectivas obras são expectáveis, correntes e razoáveis, para os estudos de sítios de dificuldade média, a qual é definida pelas condições geológicas locais.

O referido limite deve, no entanto, ser entendido como um valor indicativo já que se encontra muito influenciado especialmente pelos estudos realizados para algumas barragens onde pode, inclusivamente, ser largamente ultrapassado. No caso de outros tipos de obras, e pelo menos a avaliar pela prática portuguesa, os valores que tem sido possível conhecer situam-se, em regra, abaixo do referido limite e por vezes de modo muito significativo, mais próximos por exemplo dos 0.5 a 1.5 % referidos por Attewell e Clark (1980). Diga-se, de passagem, que é muito pouco frequente encontrar disponíveis valores casuísticos e concretos sobre este tipo de custos o que não facilita a abordagem do tema.

Atendendo ao baixo valor da percentagem atrás referida, poderia parecer, à partida, pouco importante qualquer variação de custos dentro dos limites indicados. Na verdade, não é bem assim. Tenha-se em atenção que uma variação percentual do custo dos estudos, embora pequena, mas tomada em função do valor da obra como é habitual nestes casos, pode ser bastante significativa em termos absolutos especialmente no caso das grandes obras.

Por outro lado, os estudos e a construção da obra são, muitas vezes, separados por apreciáveis intervalos de tempo, frequentemente vários anos especialmente no caso de grandes obras públicas. Nestas circunstâncias, o dono da obra poderá contar, na altura dos estudos e para esse efeito, com um orçamento que na prática não terá qualquer ligação com aquele de que disporá, mais tarde, para suportar a construção.

Por último, e não menos importante, os montantes investidos nos estudos devem ser cabalmente justificados devendo-lhes corresponder um benefício antecipável em termos de conhecimento relevante para o projecto e segurança da obra. Gastar mais poderá não conduzir necessariamente a uma melhoria do nível e qualidade da informação, de tal forma que sejam justificados os custos adicionais que, assim, não poderão ser entendidos como um investimento. Trata-se, pois, de um problema de análise de benefícios e custos.

O responsável ou responsáveis pelos E. S. terão que equacionar as quantidades de trabalhos a realizar cientes, à partida, de que aumentando estas quantidades aumenta o custo do estudo. É, pois, fundamental saber avaliar criteriosamente quando se deve terminar e, aqui, desempenha um papel preponderante a experiência daqueles responsáveis.

Finda a execução de um dado grupo de trabalhos ou determinada fase dos estudos importa, por um lado saber fazer o balanço entre a informação já obtida pelos trabalhos realizados e a informação requerida para o projecto da obra em causa e, por outro, saber avaliar até que ponto a execução de mais trabalhos é rendível face ao incremento e relevância da informação que podem fornecer e aos inerentes custos.

A importância desta problemática é bem ilustrada na Fig. 1 (Wallace, 1974). Ela representa a evolução do conhecimento das condições geotécnicas de um local face às necessidades do projecto, bem como a evolução do custo do risco para a obra atribuível a condições do terreno não antecipadas pelo estudo, em função da quantidade de trabalhos realizados aqui traduzida pelo custo dos mesmos.

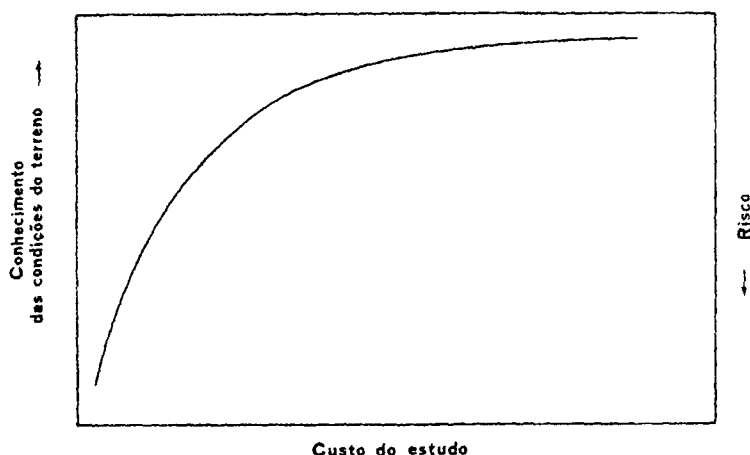


Figura 1 - Evolução do conhecimento das condições do terreno, em função do custo do estudo (Wallace, 1974)

Pode dizer-se que o andamento da curva é válido quer para programas de um mesmo tipo de trabalhos quer para conjuntos de tipos de trabalhos em determinada fase de estudos. Embora não passível de quantificação, aquela curva demonstra bem o seguinte :

a) no início, pequenos investimentos em trabalhos traduzem-se num benefício muito elevado em termos de conhecimento; trata-se de situação em que ainda pouco se conhece do local e os trabalhos de carácter expedito e mais económicos (ex.: valas e poços de prospecção, métodos geofísicos correntes), fornecem excelentes relações benefício/custo;

b) a partir de certa altura a relação benefício/custo começa a decrescer e, atingir-se-á uma situação em que investimentos adicionais em mais trabalhos não fornecem, na prática, qualquer retribuição interessante em termos de conhecimento nem contribuem, por isso, para diminuir o risco para a obra que possa ser atribuído ao nível dos estudos realizados.

Aquela curva demonstra por outro lado a conveniência, ou melhor, a necessidade de os estudos serem devidamente acompanhados e executados faseadamente por forma a que, em diferentes etapas, seja feito: a) o balanço entre a informação disponível, e a informação considerada necessária face aos objectivos do estudo e, b) a avaliação da informação que poderia vir a ser obtida através da realização de trabalhos adicionais, e dos seus custos, por forma a permitir otimizar uma decisão quanto ao prosseguimento dos estudos.

3 - A INFLUÊNCIA DO TIPO DE OBRA

Para além de aspectos como a localização do sítio, o grau de complexidade geológica, a experiência dos responsáveis pela investigação e a competência técnica de quem executa os trabalhos contratados, o custo normalmente associado aos estudos é fortemente influenciado

não só pelo tipo de obra a que os estudos se destinam, devido às suas características específicas e correspondentes exigências em termos de informação geológica e geotécnica, mas também pela envergadura ou dimensão da própria obra.

Quadro I - Valores dos montantes investidos nos estudos para diferentes tipos de obras (% do custo da construção).

<u>EDIFÍCIOS</u>		0.1% - 0.9%
(fundações de tipo corrente, edifícios 3 a 6 pisos)		
<u>TÚNEIS</u>		0.1% - 1.3%
túneis hidráulicos com diâmetro de 3 a 4 metros)		
<u>BARRAGENS :</u>	ARCO (*)	0.4% - 3.3%
	GRAVIDADE	0.4% - 0.8%
	ATERRO	0.4% - 2.5%
(*) conhecidos 2 casos com valores superiores		

Os valores do Quadro I, parecem reflectir a prática portuguesa no que respeita aos montantes investidos nos estudos para diferentes tipos de obras (custos em % do custo da construção).

Pode verificar-se que para o caso das barragens a prática portuguesa se enquadra muito razoavelmente na gama de valores tradicionalmente apontada (até 3% do custo da obra) para situações consideradas correntes quanto à dificuldade geológica do local em estudo. O autor conhece apenas dois casos que acabam por confirmar a regra, e onde os custos foram superiores - barragens de Atrozela (4.4 %) e Alvide (8.9%) - exactamente por força da dificuldade das condições geológicas locais, acrescidas no caso desta última.

No caso dos túneis, o custo dos estudos igualmente referido ao custo das obras, é significativamente inferior reduzindo-se, em termos médios, a menos de um terço do obtido para as barragens.

Para edifícios de tipo corrente, os valores investidos nos estudos, relativamente ao custo de construção, são ainda mais reduzidos não ultrapassando, em geral, montantes da ordem dos 0.9 %.

É ainda de notar, particularmente, a diferença entre os valores mínimos apontados: 0.1% para edifícios e túneis, contra 0.4% no caso das barragens.

Comprova-se portanto, e não entrando por agora em mais pormenores, a influência do tipo de obra no custo dos estudos de sítios. Tal deve-se às características específicas de cada projecto que, obviamente, condicionam os métodos de investigação e as quantidades de trabalho.

Façamos, a título de exercício e em justificação do que acaba de ser afirmado, uma análise comparativa entre túneis e barragens para avaliar quais as características próprias de cada um destes tipos de obras susceptíveis de influenciarem a condução dos estudos e os seus custos, ou melhor, a diferença de valores encontrados (Quadro II).

As diferentes características de um e outro tipo de obra, em especial as três primeiras referidas no Quadro, levam a que não seja possível, em termos razoavelmente económicos, ou melhor, numa perspectiva benefício/custo, atingirem-se idênticos níveis de conhecimento das condições geotécnicas locais com relevância para o projecto, em ambos os casos.

Quadro II - Barragens e túneis. Comparação entre características das obras susceptíveis de influenciarem os estudos e os seus custos.

BARRAGENS

- * Área de estudo localizada
- * Volume de maciço a afectar pela obra relativamente confinado e condições geológicas, em geral, pouco variadas
- * É fundamental conhecer as características do maciço a partir da superfície e a sua evolução em profundidade, de modo contínuo
- * Em regra não se exige mais do que uma localização de estaleiro para os trabalhos de prospecção
- * Os resultados do estudo são essenciais para a definição do tipo de barragem (arco, gravidade, aterro).
- * Custo do risco, devido à ocorrência de condições do terreno não antecipadas, muito importante

TÚNEIS

- * O estudo desenvolve-se em extensão, devido à linearidade da obra.
- * Volume de maciço influenciado pela obra, em geral grande podendo apresentar elevada diversidade geológica.
- * A zona do maciço que mais importa conhecer engloba a zona de escavação e uma envolvente (cerca de 2 diâmetros acima e 1 diâmetro abaixo da futura escavação). A caracterização desta zona pode obrigar a custos muito elevados para o atravessamento das zonas superiores pelos meios de prospecção utilizados podendo não fornecer, necessariamente, informação relevante ("terra morta").
- * Pode ser exigida mais do que uma localização de estaleiro para os trabalhos de prospecção (e eventual abertura de acessos), em função do comprimento do túnel.
- * Os resultados do estudo não condicionam o tipo de obra, apenas métodos construtivos e suportes.
- * Custo do risco devido a condições do terreno não antecipadas pelo estudo, em geral de menor importância que nas barragens.

O autor levou a cabo uma análise de várias barragens e túneis, que incidiu sobre os custos dos E.S. e o nível de conhecimento das condições geotécnicas locais proporcionadas pelos estudos. Este nível de conhecimento foi avaliado pelos especialistas responsáveis pelos estudos relativos a cada um dos diferentes projectos, e entendido como o nível de conhecimento das condições geotécnicas locais no final dos E. S. em termos de uma percentagem relativamente ao conhecimento que os mesmos consideravam desejável ("conhecimento completo"). Os resultados obtidos estão de acordo com a Fig. 1 e permitem concluir o seguinte: a) no que se refere a barragens tipo arco, para lá de um nível de conhecimento das condições locais da ordem de 90%, qualquer pequeno acréscimo de conhecimento requer um custo importante o qual, partir de certa altura, é pouco ou mesmo nada compensador em termos da relação benefício/custo; b) no caso dos túneis, o valor percentual atrás indicado decresce para cerca de 80%, correspondendo-lhe um custo próximo ou mesmo inferior a 1% do respectivo custo da construção.

Esta dificuldade (impossibilidade) de obter a custos considerados razoáveis um conhecimento mais detalhado das condições geotécnicas locais, ao nível do que é habitual

para as barragens, conduz a que, para os túneis, a filosofia dos estudos seja, também ela, diferente quanto aos seus objectivos.

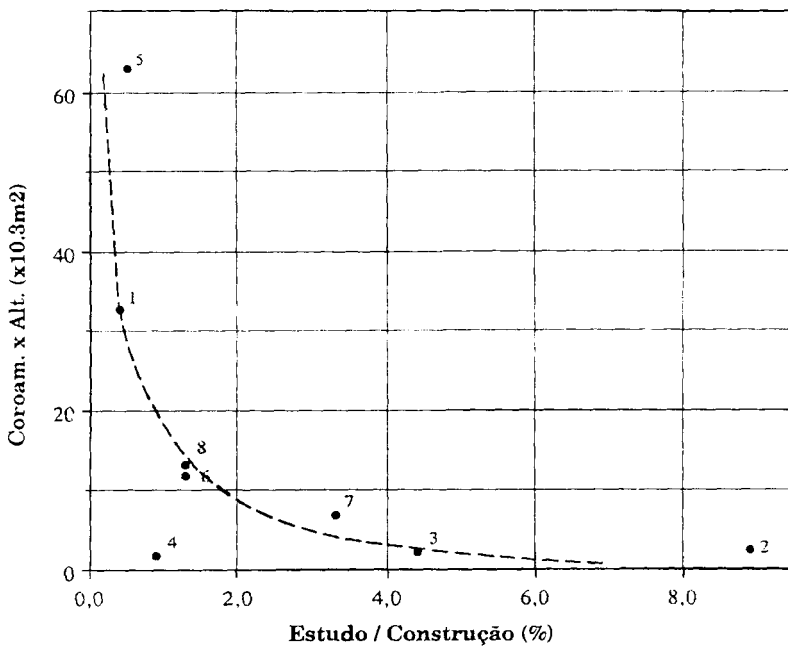
No caso dos túneis a extensão dos E. S. é normalmente a essencial para a preparação de um anteprojecto, reservando-se a elaboração do projecto para a fase de obra por forma a ter em conta as reais condições do maciço expostas pela escavação. Isto justifica, de igual modo, os menores custos dos E. S. acima mencionados (1% ou menos).

O exposto parece suficiente para provar que o tipo de obra, devido às características particulares que lhe estão associadas, influencia a extensão dos programas dos estudos de sítios e, implicitamente, os respectivos custos.

4. A INFLUÊNCIA DA IMPORTÂNCIA DA OBRA

Aborde-se agora a tendência de variação do custo dos estudos, dentro de um mesmo tipo de obra, mas em função da sua envergadura ou importância.

Embora seja dada atenção apenas ao caso das barragens, refira-se que outros tipos de obras podem ser analisados de forma idêntica. A Fig. 2 refere-se às barragens de betão tipo arco e a importância da obra é indicada pelo produto "altura x comprimento do coroamento". Esta figura, evidencia claramente o decréscimo do valor da relação custo do estudo/custo da construção em função do aumento da importância da obra.



1- Alto Lindoso; 2- Alvide; 3- Atrozela; 4- Fagilde; 5- Foz-Côa; 6- Fronhas;
7- Funcho; 8- Torrão.

Figura 2 - Custo dos estudos vs. comprimento do coroamento x altura, para barragens tipo arco.

Note-se que seria obtida uma curva com andamento semelhante caso se considerasse como indicador da importância da obra apenas a altura, como demonstra a (Fig. 3).

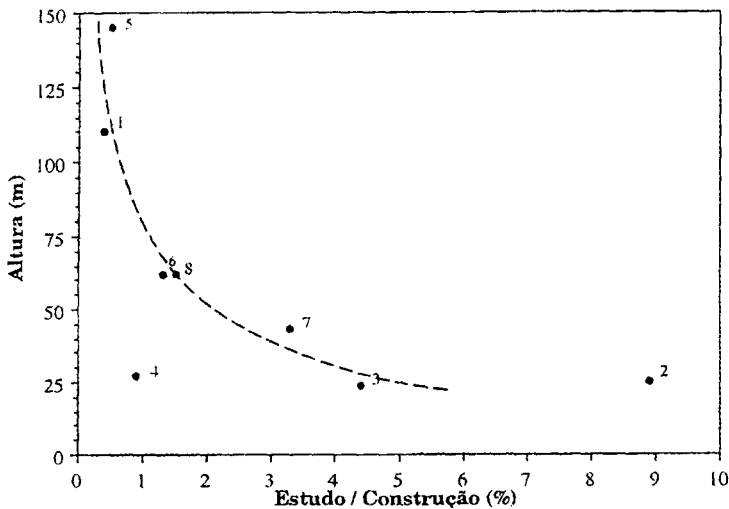
5 - RECONHECIMENTO POR SONDAGENS

5.1 - Aspectos gerais

Quando se parte para um estudo de sítio, importa fundamentalmente, e para além do dispositivo geológico regional, obter informação sobre as características geotécnicas do volume de maciço que irá influenciar e, inversamente, ser influenciado pela obra.

Uma parte muito importante (e indispensável) dessa informação é obtida à custa da execução de programas de reconhecimento por sondagens aos quais corresponde também, e por via de regra, uma parte substancial relativamente ao custo final dos estudos, na maior parte dos casos a mais significativa.

Quer a altura, quer o comprimento do coroamento, são características que se podem considerar como tradutoras da envergadura ou importância da obra e por isso se pode considerar também o produto "coroamento x altura" como representativo dessa mesma importância. A Fig. 6 mostra a relação entre o valor daquele produto e o comprimento total de furação, para o caso dos projectos estudados no âmbito deste trabalho.



1- Alto Lindoso; 2- Alvide; 3- Atrozela; 4- Fagilde; 5- Foz-Côa; 6- Fronhas;
7- Funcho; 8- Torção.

Figura 3 - Custo dos estudos vs. altura, para barragens tipo arco.

É lícito esperar, por isso, que a quantidade de trabalhos no respeitante a sondagens (número e comprimento) reflecta: a) a influência da natureza e níveis de informação exigidos pelos diferentes tipos de obras e, b) a influência da importância (envergadura) das obras, dentro de um mesmo tipo.

Observem-se, para já, no Quadro III, os intervalos de variação dos custos relativos apenas ao reconhecimento por sondagens, tomados em relação ao custo total dos estudos, para os diferentes tipos de obras já consideradas no Quadro I, e que poderão ser tomados como indicadores da prática portuguesa.

Um breve parêntesis para referir, no entanto, que a parcela de custo correspondente às sondagens, relativamente ao custo total dos estudos dependerá, como é óbvio, dos restantes métodos utilizados na investigação e dos respectivos custos.

Tomando o exemplo das barragens tipo arco em que é maior a variação daquela parcela, os valores mais baixos dos custos relativos aos programas de sondagens correspondem, por via de regra, aos projectos de maior envergadura. Tal explica-se pelo maior peso que tendem a ter, nestes casos, os ensaios *in situ* e em laboratório, ou/e pela utilização de métodos de reconhecimento dispendiosos (caso das galerias de prospecção).

Quadro III - Intervalos de variação dos custos do reconhecimento por sondagens, tomados em relação ao custo total dos estudos.

<u>EDIFÍCIOS</u>		70% - 80%
<u>TÚNEIS</u>		40% - 75%
<u>BARRAGENS</u>	ARCO	10% - 90%
	GRAVIDADE	55% - 80%
	ATERRO	30% - 90%

5.2 - Fundações de barragens em maciços rochosos

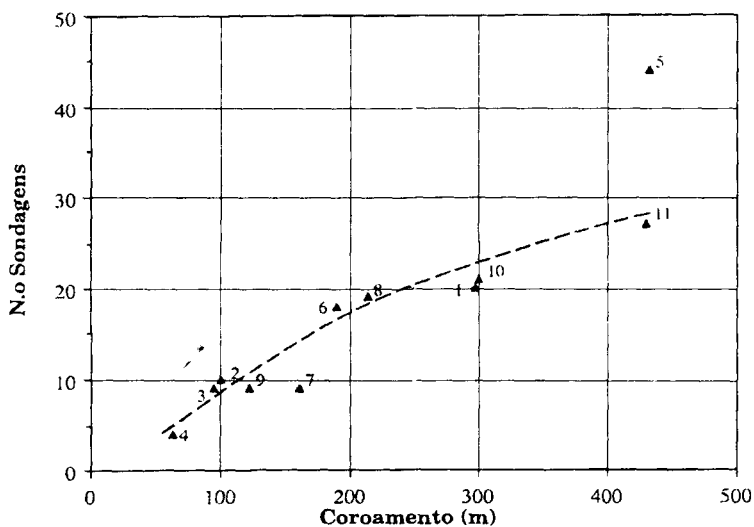
Tome-se como primeiro exemplo as barragens tipo arco. Por um lado, e como seria de esperar, o número de sondagens realizadas no caso deste tipo de obra mostra-se dependente do comprimento do coroamento (Fig. 4). No entanto, o número de sondagens não é directamente proporcional àquele comprimento. À medida que o coroamento aumenta, vai sendo menor o acréscimo do número de sondagens, aumentando por conseguinte o seu espaçamento médio.

Por outro lado, verifica-se também que a altura da barragem influencia, por ela própria, o comprimento total de furação executado, uma vez que condiciona a profundidade de investigação, existindo uma boa correlação entre estas grandezas, como sugere a Fig. 5.

Se a importância da barragem fosse representada pelo volume da estrutura, outra característica que de igual modo poderá definir essa importância, obter-se-ia ainda uma curva com andamento semelhante como se demonstra na Fig. 7.

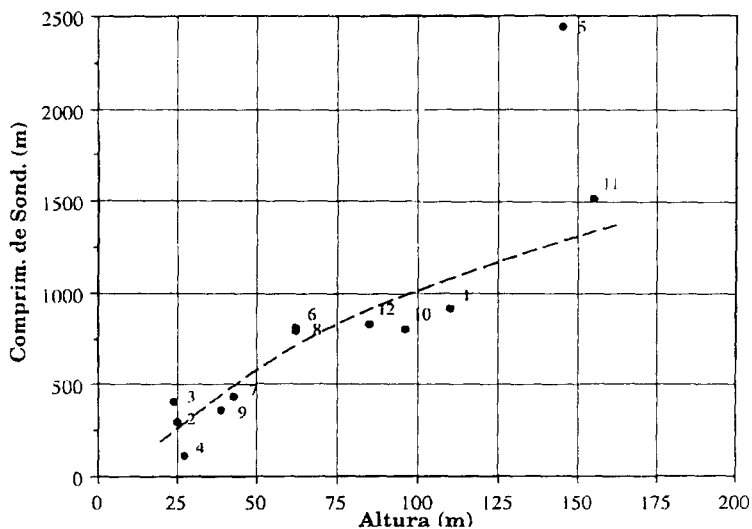
As barragens de aterro apresentam uma certa dificuldade para uma análise do tipo da que se tem vindo a fazer, especialmente porque a relação entre a altura e o comprimento do coroamento pode variar entre limites muitíssimo grandes, contrariamente ao que acontece com as barragens tipo arco.

No caso das barragens de aterro a característica que mostra melhor correlação com o número de sondagens realizadas durante os E. S. é o volume da barragem. No entanto, é a altura máxima que melhor se correlaciona com o comprimento total de furação. Isto explica-se porque o volume da barragem contabiliza todo o desenvolvimento da obra mas a zona onde o aterro tem maior altura é aquela que exige investigação a maiores profundidades e, logicamente, aquela onde as sondagens atingem maiores comprimentos.



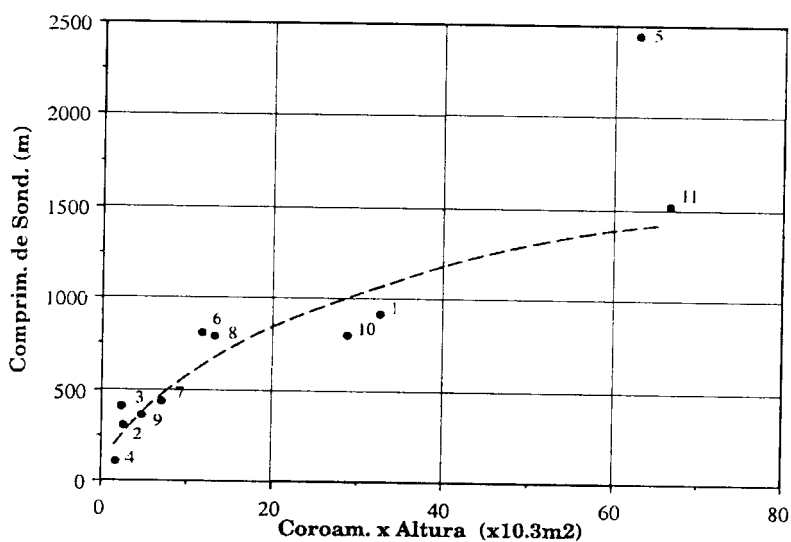
1- Alto Lindoso; 2- Alvide; 3- Atrozela; 4- Fagilde; 5- Foz-Côa; 6- Fronhas; 7- Funcho; 8- Torrão; 9- Caldeirão; 10- Fridão; 11- Alvarenga.

Figura 4 - Comprimento de coroamento vs. número total de sondagens, para barragens tipo arco.



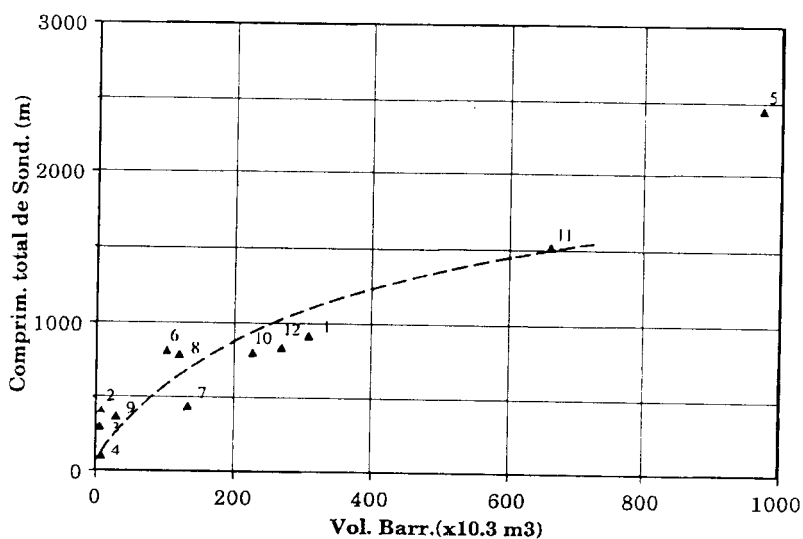
1- Alto Lindoso; 2- Alvide; 3- Atrozela; 4- Fagilde; 5- Foz-Côa; 6- Fronhas; 7- Funcho; 8- Torrão; 9- Caldeirão; 10- Fridão; 11- Alvarenga; 12- Pinhosão.

Figura 5 - Altura vs. comprimento total de furação, para barragens tipo arco.



1- Alto Lindoso; 2- Alvide; 3- Atrozela; 4- Fagilde; 5- Foz-Côa; 6- Fronhas; 7- Funcho; 8- Torrão; 9- Caldeirão; 10- Fridão; 11- Alvarenga.

Figura 6 - Comprimento total de furação vs. importância da obra (coroamento x altura) para barragens tipo arco.



1- Alto Lindoso; 2- Alvide; 3- Atrozela; 4- Fagilde; 5- Foz-Côa; 6- Fronhas; 7- Funcho; 8- Torrão; 9- Caldeirão; 10- Fridão; 11- Alvarenga; 12- Pinhosão.

Figura 7 - Comprimento total de furação vs. importância da obra (volume da barragem), para barragens tipo arco.

6 - ESCALA DE AMOSTRAGEM POR SONDAGENS

O valor numérico de uma escala ($1/E$) constitui, sem dúvida alguma, uma medida do detalhe ou pormenor da informação que se encontra representada quer se trate de uma carta topográfica, uma carta geológica etc.. Assim, quanto maior for a escala mais detalhada será a representação da informação, ou seja, melhor será o nível de conhecimento que essa representação contém.

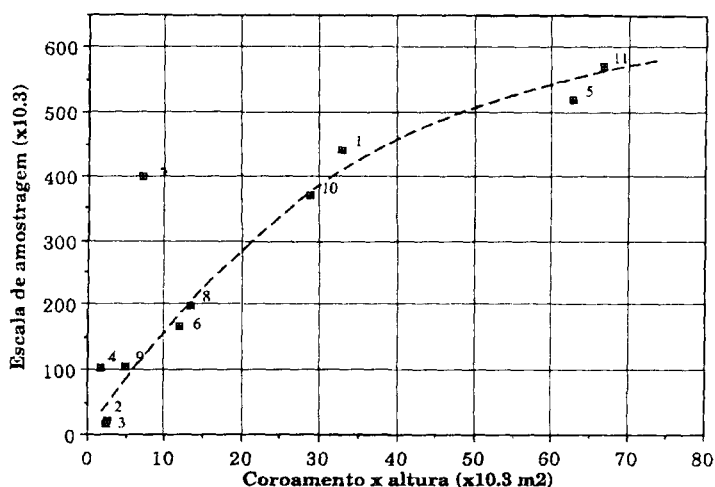
O conceito de escala de amostragem poderá ser aplicado a outras situações não relacionadas com representações gráficas, em qualquer caso fornecendo uma indicação do detalhe ou pormenor da informação. Seja, a título de exemplo, a escala a que é controlada a qualidade de construção de um aterro, relacionando neste caso o volume ensaiado através dos ensaios correntes de controlo de compactação e o volume do próprio aterro.

No caso dos estudos de sítios pode definir-se uma escala de amostragem por sondagens (Price e Knill, 1974) sendo E = volume influenciado pela construção/volume amostrado pelas sondagens. Quanto maior for a escala de amostragem por sondagens melhor será o nível de conhecimento das condições do maciço obtido pelo reconhecimento através deste método de investigação.

O volume amostrado é fácil de calcular pois corresponde ao máximo volume das amostras que, potencialmente podem ser recolhidas. Por uma questão de simplificação considera-se, para o efeito, um diâmetro de amostra de 54 mm, correspondente ao amostrador NX.

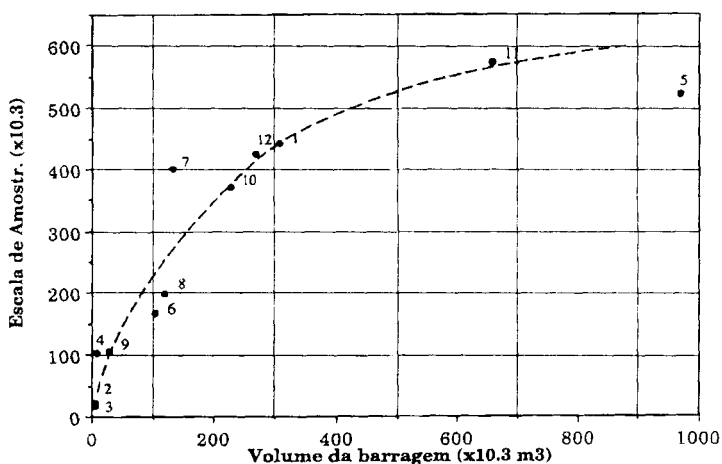
Embora esta simplificação possa introduzir certo erro no cálculo da escala, admite-se uma vez que este diâmetro é o mais vulgarmente utilizado nas sondagens de reconhecimento de maciços rochosos e, aliás, o mínimo aceitável.

Para os volumes aproximados de maciço influenciado pela obra adoptam-se também algumas simplificações que, contudo, não desvirtuam os objectivos para os quais aqueles são avaliados. Para o caso de barragens tipo arco e barragens de aterro, alguns cálculos simples levaram a aceitar que o volume influenciado pela obra pode ser tomado respectiva e aproximadamente como 3 vezes e 2.5 vezes o volume da barragem.



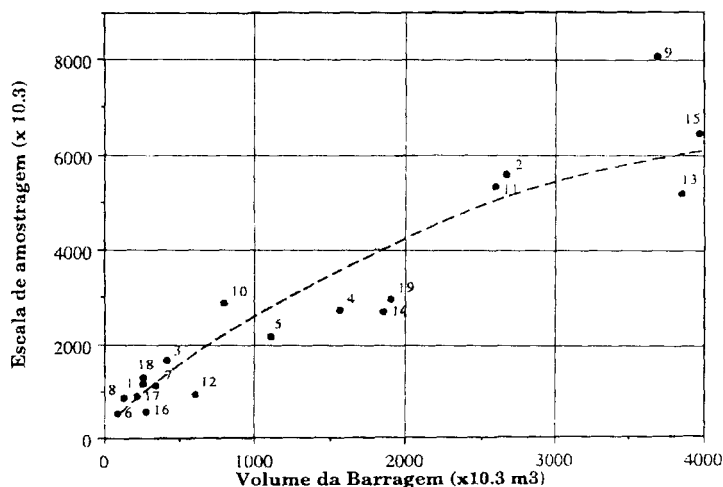
1- Alto Lindoso; 2- Alvilde; 3- Atrozela; 4- Fagilde; 5- Foz-Côa; 6- Fronhas;
7- Funcho; 8- Torrão; 9- Caldeirão; 10- Fridão; 11- Alvarenga.

Figura 8 - Escala de amostragem por sondagens vs. importância da obra (coroamento x altura), para barragens tipo arco.



1- Alto Lindoso; 2- Alvide; 3- Atrozela; 4- Fagilde; 5- Foz-Côa; 6- Fronhas; 7- Funcho; 8- Torrão; 9- Caldeirão; 10- Fridão; 11- Alvarenga; 12- Pinhosão.

Figura 9 - Escala de amostragem por sondagens vs. importância da Obra (volume da barragem), para barragens tipo arco.



1- Água Reciclada; 2- Alvito; 3- Apartadura; 4- Azibo; 5- Beliche; 6- Capinha; 7- Cerro do Lobo; 8- Luzelo; 9- Meimoa; 10- Morgado; 11- Morgavel; 12- Monte da Rocha; 13- Odelouca; 14- Sabugal; 15- Santa Clara; 16- S. Domingos; 17- Enxoe; 18- Cabouço; 19- Pinhosão.

Figura 10 - Escala de amostragem por sondagens vs. importância da obra (volume da barragem), para barragens de aterro.

Depois do que atrás se mostrou quando se trataram as quantidades de trabalhos, é de esperar que escala de amostragem por sondagens decresça à medida que aumenta a envergadura ou importância da obra, seguindo tendências semelhantes àquelas que foram verificadas quer para o número de sondagens quer para o comprimento total de furação.

As Figs. 8 e 9 traduzem a relação entre a importância da obra e a escala de amostragem por sondagens para o caso de barragens de arco.

A Fig. 10 refere-se a idêntica relação, agora para o caso das barragens de aterro.

As escalas de amostragem por sondagens foram calculadas para todas as barragens de arco e barragens de aterro consideradas no âmbito do presente trabalho tendo-se concluído que elas variam de 1:100.000 a 1:500.000 para as barragens tipo arco, e de 1:500.000 a 1:5.000.000 para as barragens de aterro.

As Figs. 8, 9 e 10 mostram que o decréscimo da escala de amostragem com o aumento da importância da obra é muito mais acentuado no domínio das obras de menor envergadura, tendendo a evanescer no domínio das mais importantes onde os valores das escalas tendem para os mínimos atrás indicados.

6 - CONCLUSÕES

Tendo em atenção o que anteriormente foi exposto, julga-se serem de reter, como mais importantes os seguintes aspectos:

a) um geólogo ou engenheiro-geólogo responsável por estudos de sítios, para além do domínio das técnicas e métodos a utilizar, deve saber avaliar adequadamente, numa perspectiva de benefícios e custos, a extensão a dar aos estudos tendo em atenção as necessidades de projecto. Esta relação benefício/custo começa a decrescer após a conclusão de uma dada quantidade de trabalho;

b) os custos associados aos E. S. (custos referidos em termos de percentagem do custo da obra) variam com o tipo de obra devido às características próprias de cada uma, e entre cada tipo de acordo com a sua importância, sendo mais elevados para os projectos menos importantes;

c) para determinado tipo de obra a extensão dos programas de reconhecimento por sondagens depende da sua envergadura ou importância, crescendo com ela. No entanto, os acréscimos das quantidades de trabalho vão diminuindo à medida que aumenta a importância da obra, tendendo a estabilizar para o caso das obras de maior envergadura;

d) as quantidades de trabalho no reconhecimento por sondagens, e o nível global de conhecimento das condições locais proporcionado por esse reconhecimento, podem ser relacionados através do conceito de escala de amostragem por sondagens que constitui um bom índice do detalhe ou pormenor do reconhecimento;

e) as escalas de amostragem variam com o tipo de obra, e dentro de um mesmo tipo de obra de acordo com a sua importância. Para barragens tipo arco e barragens de aterro, a que foi dada particular atenção neste trabalho, as escalas variam de 1:100.000 a 1:500.000 e de 1:500.000 a 1:5.000.000 respectivamente. A escala diminui com o aumento da importância da obra, mas a taxa de variação tende a evanescer no domínio das obras mais importantes.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ATTEWEL, P. B. e CLARK C. R. - *Site investigation - how much should be done?*. Tunnels and Tunnelling, Vol. 12, pp. 11 - 12, 1980.
- GUIDICINI, G. e NIEBLE, C. M. - *Engineering geology in underground construction*. Proc. Int. Symp. sobre Engng Geology and Underground Constructions, Lisboa : 1.5 - 1.29, 1983.
- PRICE, D. G. e KNILL, J. L. - *Scale in the planning of site investigations*. Proc. 2nd Cong. Int. Assoc. Engng. Geology, São Paulo : Sec. III 3.1 - 3.6, 1974.
- RODRIGUES - CARVALHO, J. A. - *Site investigation; its cost and benefit in Portugal*. Ph.D. Thesis, Imperial College of Science and Technology, Univ. of London, 1981.

- RODRIGUES - CARVALHO, J. A. e DE FREITAS, M. - *Site Investigation; Part 1 - The costs and the benefits* . Consulting Engineer, Vol.46 (4), 1982.
- RODRIGUES - CARVALHO, J. A. e DE FREITAS, M. - *Site investigation; Part 2 - Cost - benefit comparison*. Consulting Engineer, Vol.46 (5), 1982.
- RODRIGUES - CARVALHO, J. A. - *Estudos geotécnicos para túneis em maciços rochosos - métodos, custos e benefícios*. Livro de Homenagem a Carlos Romariz, FCT/UL, Lisboa.1990.
- RODRIGUES - CARVALHO, J. A. - *Reconhecimento por sondagens para estudo de sítios. Influência do tipo e tipo e importância da obra*. Lição proferida como requisito parcial para obtenção do título de Professor Agregado em Geologia de Engenharia pela Universidade Nova de Lisboa, FCT/UNL, Lisboa, 1996 (não publicado).
- WALLACE, G. B. - *Subsurface exploration: costs, benefits detailed at conference*. Civil Engng. Vol.10, pp 18, 1974.