

Estabilização da Escarpa das Fontainhas, entre as Pontes Luiz I e Maria Pia, no Porto

Rosa, Sérgio P. Parada
Cenor, Lisboa, Portugal, sergio.rosa@cenor.pt

Martins, Pedro C. Chitas
Cenor, Lisboa, Portugal, pedro.chitas@cenor.pt

Rodrigues, Vitória C.
Cenor, Lisboa, Portugal, vitoria.rodrigues@cenor.pt

Pereira, Hélder
Gestão de Obras Públicas, EM - CMP, Porto, Portugal, hpereira@gopcmp-em.pt

RESUMO: A presente comunicação refere-se à estabilização de um trecho de uma escarpa rochosa, com cerca de 920 m de extensão, localizada na margem direita do Rio Douro, na cidade do Porto, entre as Pontes Luiz I e Maria Pia. Nesta escarpa foram registadas, ao longo dos anos, várias ocorrências de queda de material que provocaram danos, por vezes significativos, nas infraestruturas existentes na sua base. Descrevem-se as soluções previstas e o acompanhamento técnico efetuado à obra, que permitiu a otimização e a adaptação do previsto às condições encontradas. Por fim, apresentam-se algumas conclusões, destacando-se as limitações e as vantagens encontradas no desenvolvimento do projeto e no acompanhamento da obra.

PALAVRAS-CHAVE: Escarpa, Porto, Estabilização de Taludes, Queda de Blocos.

1 CARACTERÍSTICAS GERAIS DA ÁREA DE INTERVENÇÃO

A escarpa das Fontainhas situa-se na margem direita do Rio Douro, na cidade do Porto, entre as Pontes Luiz I e Maria Pia. Tem orientação aproximadamente E-W e cerca de 920 m de

extensão. A intervenção compreendeu duas zonas específicas (doravante designadas de setores) que, por sua vez, foram divididos em secções, em função de fatores morfológicos, de ocupação e de prioridade de intervenção (Figura 1).

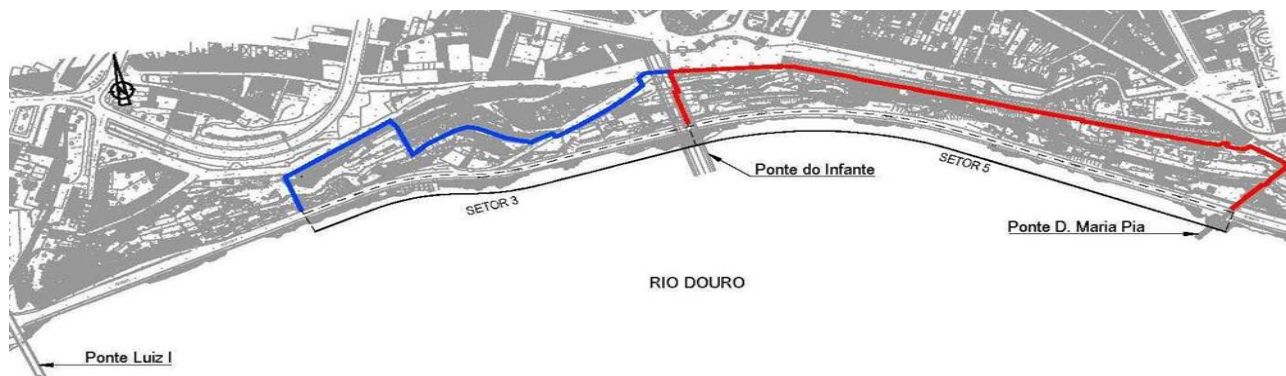


Figura 1. Setores 3 e 5. Planta.

O Setor 3, situado a Oeste da Ponte do Infante, com cerca de 390 m de extensão e altura máxima da ordem dos 55 m, foi dividido em duas secções (Figura 2). É delimitado superiormente pelo Bairro das Fontainhas e inferiormente pela Av. Gustavo Eiffel. É de referir que devido à sua proximidade ao Bairro das Fontainhas este setor é habitualmente designado por “Escarpa das Fontainhas”.

Entre estas duas secções (3.1 e 3.2) existe uma zona, onde se localizam as Ruínas da Capela e da Fábrica da Cerâmica dos Carvalhinhos, na qual foi decidido pela GOP, EM não efetuar quaisquer trabalhos de estabilização. Esta decisão deveu-se a se ter entendido que quaisquer materiais que eventualmente se venham a desprender desta zona não atingirem a Av. Gustavo Eiffel, ficando retidos nas plataformas onde se encontram construídas as edificações.

O Setor 5, localizado a Este da Ponte do Infante, que tem cerca de 530 m de extensão e altura máxima da ordem dos 55 m, foi dividido em três secções (Figura 2). Este setor, que se encontra compreendido entre as pontes do Infante e Maria Pia, é delimitado no topo pela Alameda das Fontainhas e pela Linha do Minho e, ao nível da base, pela Av. Gustavo Eiffel. Na zona superior refere-se a existência do Bairro Nicolau e do Ramal da Alfândega, que se encontra desativado, para além de várias outras edificações dispersas, muitas das quais em ruínas.

Como referido, em ambos os setores foram registadas várias ocorrências de queda de blocos rochosos, de derrocadas e de deslizamentos de terras, provocando danos por vezes significativos nas infraestruturas existentes na sua base, nomeadamente na Av. Gustavo Eiffel.

2 CONDIÇÕES GEOLÓGICAS

Nesta região predomina a formação do “Granito do Porto” (γ_m), cuja intrusão se deu no Câmbrio e que migmatizou as formações xistentas antesilúricas encaixantes. Estes granitos têm uma idade aproximada de 300 Ma,

tendo-se instalado a profundidades de cerca de uma dezena de quilómetros. São contemporâneos da 3ª fase da orogenia Hercínia F3 (sintectónica). A sua ascensão até à superfície deveu-se, essencialmente, aos movimentos ocorridos ao longo das fraturas, que implicaram a sua subida, bem como à erosão das formações que se encontravam sobrepostas.

A escarpa é constituída por granitos do Porto (γ_m), encontrando-se também coberta por aterros (At) e depósitos de vertente (DV) (Figura 3). Os granitos do Porto correspondem a um granito alcalino, de grão médio, leucocrata, de duas micas, por vezes ligeiramente orientado. Pode ainda apresentar, localmente, em zonas com “manifestações” pegmatíticas, uma textura mais grosseira de tendência porfiróide. Exibe, no conjunto, cor cinzento amarelada a esbranquiçada. Trata-se de uma rocha medianamente alterada (W_3) desde a superfície até cerca de alguns metros, passando a pouco alterada (W_2) e com fraturas medianamente afastadas (F_3). Em zonas localizadas podem apresentar-se, quer mais alterados a decompostos (W_{4-5}), quer com fraturas afastadas (F_2) a próximas a muito próximas (F_{4-5}).

Os aterros ocorrem essencialmente no topo e na base da escarpa. Trata-se de depósitos heterogéneos constituídos por areias siltosas de grão médio, de cor acastanhada a amarelada, envolvendo blocos e fragmentos dispersos de rocha granítica de dimensões variadas. Admite-se que sejam constituídos, quer por solos residuais resultantes da meteorização dos granitos, quer por depósitos de vertente, que foram utilizados para a construção das várias plataformas e acessos associados às edificações existentes. Por vezes encontram-se, também, misturados com entulhos de construção civil. Estes depósitos são, geralmente, suportados por muros em pedra aparelhada situados a diferentes cotas, pelo que se admite que a sua espessura máxima deverá ser da ordem da altura de alguns dos muros. Deverão constituir, também, uma parte da plataforma da Av. Gustavo Eiffel e da Calçada das Carquejeiras.



Figura 2. Setor 3. (Secções 3.1 e 3.2) e Setor 5. (Secções 5.1, 5.2 e 5.3).

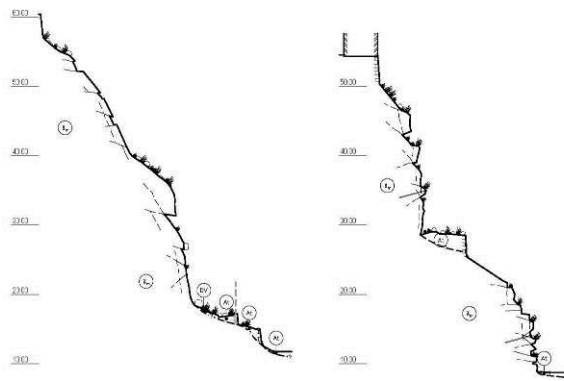


Figura 3. Geologia ocorrente. Cortes transversais.

Os depósitos de vertente resultam dos materiais que se desprendem e caem da escarpa e se depositam, quer sobre as várias plataformas situadas a diferentes cotas, quer na base da escarpa, junto à Av. Gustavo Eiffel. Formam pequenas manchas dispersas e têm, por isso, reduzida espessura e continuidade lateral. São geralmente depósitos heterogêneos, constituídos por fragmentos e blocos de rocha granítica, envolvidos por matriz areno-siltosa, acastanhada. Estima-se que possam atingir cerca de 2 m de espessura máxima.

3 CONDIÇÕES HIDROGEOLÓGICAS

Do ponto de vista hidrogeológico a área em estudo é constituída por uma formação permeável em grande a semipermeável, formada por um maciço mediantemente alterado a são e com fraturas abertas. Subjacente a esta zona ocorre uma outra formação impermeável, formada por um maciço mediantemente alterado a são, mas pouco fraturado e com fraturas

fechadas. A circulação de água no maciço rochoso faz-se através das fraturas, podendo em certas zonas (mais fraturadas) ser elevada, devida à sua alimentação direta por infiltração.

Ao longo da zona estudada foram encontradas três minas de água. A primeira está localizada na zona dos lavadouros públicos existentes junto à ponte do Infante D. Henrique. A segunda encontra-se situada no topo da escarpa, imediatamente abaixo da plataforma da Linha do Minho, junto a um caminho pedonal que dá acesso ao antigo Bairro Nicolau. A terceira está situada na base de um muro em pedra aparelhada que corresponde ao limite Norte da plataforma do Ramal da Alfândega.

Para além destas nascentes, foram ainda assinalados vários outros pontos de afluência de água, com menores caudais, que poderão corresponder a nascentes temporárias. Admite-se, no entanto, que durante os períodos de maior pluviosidade possam vir a aparecer novas nascentes e afluências de água na escarpa, com localização aleatória.

4 ESTUDO DA COMPARTIMENTAÇÃO DO MACIÇO GRANÍTICO

Em ambos os setores, a escarpa tem cerca de 55 m de altura máxima e um declive médio da ordem de 50° a 55° existindo, no entanto, algumas zonas escarpadas, com declives superiores a 80°.

De acordo com a classificação BGD (ISRM, 1981) o maciço granítico encontra-se medianamente alterado (W_3) à superfície e

pouco alterado (W_2) em profundidade, com fraturas medianamente afastadas (F_3). Em zonas localizadas pode apresentar-se muito alterado a decomposto (W_{4-5}) ou com fraturas afastadas (F_2) a próximas a muito próximas (F_{4-5}).

Para o estudo da compartimentação do maciço em ambos os sectores foram definidas estações de levantamento de fraturas. É de referir, no entanto, que devido à falta de acessos às cotas superiores, apenas foi possível efetuar o levantamento das descontinuidades da parte inferior da escarpa, junto aos principais acessos existentes, nomeadamente junto à Av. Gustavo Eiffel.

Nesta caracterização, atendeu-se à orientação dos taludes em cada secção, às condições das fraturas e à sua persistência. Para esta análise foi utilizada a aplicação informática “Dips” da Rocscience.

A partir da definição das famílias de descontinuidades e tendo em conta as características observadas em cada local, foi efetuado o estudo estatístico relativo à extensão (semi-comprimento), espaçamento, abertura, rugosidade, percolação e estado de alteração das descontinuidades (ISRM, 1978). A rugosidade foi avaliada em valores de JRC, por comparação com perfis-tipo (Barton, 1977).

Considerando as descontinuidades que foram levantadas em cada secção procedeu-se à respetiva análise cinemática. Para esta análise procedeu-se à representação planar de cada trecho de escarpa, bem como dos correspondentes polos, no hemisfério inferior de uma rede de igual área (rede de Schmidt). Nesta representação pretendeu-se analisar a possibilidade de ocorrência de deslizamentos planares, em cunha e por basculamento toppling ao longo de cada trecho.

Os resultados do estudo cinemático das fraturas de ambos os setores revelaram que a maior probabilidade do tipo de rotura é por cunha. No entanto, as roturas do tipo planar e por basculamento são também possíveis, mas tendo uma probabilidade de ocorrência muito menor.

No Setor 3 os principais problemas que afetavam esta zona prendiam-se com a existência de diversos blocos em risco de queda, devido à intensa fraturação que afeta o maciço rochoso. Foram ainda identificadas algumas consolas com mais de 2 m, que aparentavam encontrar-se muito próximas do equilíbrio limite, podendo colapsar parcialmente e levar à instabilização dos terrenos a elas sobrejacentes. Embora não muito frequentes, foram observadas afluições de água (algumas delas contínuas, outras de carácter sazonal) que drenavam diretamente para a Av. Gustavo Eiffel (Figura 4).

Neste setor existiam, ainda, edificações e muros em pedra aparelhada que suportavam os socacos existentes, alguns dos quais aparentando encontrar-se em risco de vir a ruir por descalçamento das respetivas fundações (Figura 4).

No Setor 5 as situações de instabilização eram de natureza idêntica. No entanto, nesta zona há a referir a existência de duas grandes plataformas, sensivelmente a meia altura da escarpa, onde se desenvolve o Ramal da Alfândega e onde se encontrava construído o Bairro Nicolau.

Quer acima, quer abaixo destas plataformas, o maciço apresentava-se muito fraturado, com vários blocos em risco de queda. Embora com menor expressão do que no Setor 3, também foram reconhecidas algumas consolas da ordem dos 2 m, que aparentavam poder vir a colapsar a curto/médio prazo (Figura 5).

Na zona do Bairro Nicolau, algumas das habitações que se encontram construídas sobre os muros de pedra aparelhada, situados no bordo da escarpa, apresentavam elevado risco de poderem vir a colapsar devido ao descalçamento das respetivas fundações. Ainda nesta zona, o escoamento das águas residuais era feito diretamente sobre a escarpa, devido à falta de redes de saneamento contribuindo, deste modo, para o agravamento dos fatores que contribuía para a sua instabilização (Figura 5).



Figura 4. Setor 3. Estado da escarpa e dos muros existentes antes das obras de estabilização.



Figura 5. Setor 5. Estado da escarpa e das escadas antes das obras de estabilização.

Foram também detetadas múltiplas situações de muros de pedra aparelhada, que suportam alguns soccos existentes, parcialmente destruídos.

Há ainda a referir a existência de algumas escadas em pedra que permitiam o acesso a partir da Av. Gustavo Eiffel ao Ramal de Alcântara e à Rua das Fontainhas, que se encontravam muito degradadas e que necessitavam também de ser reabilitadas (Figura 5).

À data de elaboração da presente comunicação já haviam sido concluídas as obras de estabilização das Secções 5.2 (1ª Fase) e das Secções 3.1 e 5.3 (2ª Fase). Está prevista, para um futuro próximo, a conclusão da estabilização deste trecho de escarpa, pela realização das obras nas secções 3.2 e 5.1 (3ª Fase).

6 FACTORES QUE CONTRIBUÍRAM PARA A INSTABILIZAÇÃO DO MACIÇO ROCHOSO

De acordo com o histórico de ocorrências, bem como dos reconhecimentos geológicos de superfície efetuados nas visitas ao local, concluiu-se serem diversos os fatores que contribuíram para os processos de instabilização do maciço, uns devidos a causas naturais, outros devidos a causas antrópicas.

As principais causas naturais são a elevada inclinação dos taludes, muitos dos quais com mais de 80° de inclinação; a compartimentação do maciço granítico, apresentando as fraturas por vezes grande continuidade levando à queda de blocos de grandes dimensões; a percolação das águas pelas fraturas e a ação mecânica das raízes da vegetação de maior porte, que leva à progressiva abertura das fraturas.

Os principais fatores antrópicos, por sua vez, deveram-se à proximidade da Linha do Minho, que se encontra em exploração e que induz vibrações no maciço quando se processa a passagem dos comboios; à existência de habitações situadas muito próximas do bordo da escarpa e sem sistema de saneamento, fazendo-se o escoamento das águas residuais pela sua superfície; à existência de edificações em ruínas com elevado risco de colapso a curto/médio prazo; à existência de muros de pedra aparelhada, parcialmente destruídos ou em elevado estado de degradação em resultado, por um lado, da falta de argamassa e, por outro, da deterioração de certas zonas da sua fundação, que levavam ao seu descalçamento parcial; à existência de minas de água não canalizadas e à existência de canalizações de condutas para o abastecimento de água e de escoamento de águas pluviais, algumas das quais com problemas de estanqueidade, que em conjunto contribuíram para as infiltrações de águas no maciço e, deste modo, para a sua continuada evolução e consequente instabilização.

7 SOLUÇÕES DE ESTABILIZAÇÃO ADOPTADAS

Na conceção das soluções de estabilização da escarpa tiveram-se em consideração condicionamentos geológico-geotécnicos, topográficos, económicos e executivos.

Tendo em vista estes objetivos procurou-se definir os trabalhos de estabilização mais adequados para os problemas atrás identificados. Com estes trabalhos procurou-se não só atenuar os processos que levaram à evolução da escarpa como, também, assegurar a proteção da Av. Gustavo Eiffel contra a queda de blocos, ou possíveis derrocadas.

Para esse efeito, na definição das soluções atendeu-se não só à experiência adquirida em diversas obras com características semelhantes, em particular na estabilização de escarpas rochosas, como ainda às características morfológicas e ao tipo de ocupação existente (e respetivo interesse histórico).

Outro dos fatores ao qual se deu particular atenção foi também a grande exposição desta

escarpa, procurando-se que todos os trabalhos de estabilização a realizar causassem o menor impacto visual possível. As soluções definidas tiveram ainda em atenção a sua durabilidade e a necessidade de terem a menor manutenção possível.

Em ambos os setores os trabalhos foram iniciados pela limpeza da vegetação e dos materiais soltos e em risco de queda, assim como o saneamento dos blocos que foram identificados com evidências de se poderem vir a desprender a curto/médio prazo. Estes trabalhos foram realizados com o máximo cuidado, procurando evitar a queda descontrolada de material, uma vez que quaisquer blocos que caíssem da escarpa de forma não controlada poderiam provocar danos significativos nas infraestruturas existentes na sua superfície e base, bem como na plataforma da Av. Gustavo Eiffel e no coroamento do muro de suporte existente do lado do rio.

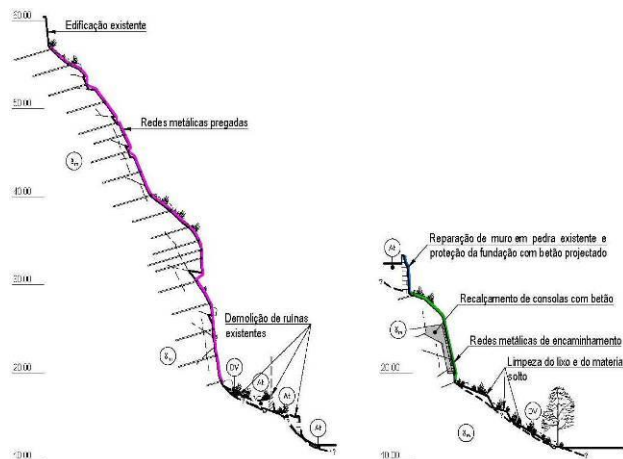
No Setor 3 foram previstos trabalhos de demolição das edificações devolutas e que, devido à sua proximidade à escarpa, apresentavam elevado risco de poderem vir a ser afetadas por instabilizações; de reparação do coroamento e de proteção da base dos muros em pedra aparelhada que suportam as plataformas existentes; a colocação de redes metálicas pregadas e a execução de pregagens pontuais e/ou ancoragens de baixo pré-esforço, em complemento às redes metálicas pregadas, em blocos de maiores dimensões, não passíveis de sanear e que pudessem vir a solicitar as redes a curto prazo em caso de instabilização.

Na zona inferior deste setor foi ainda prevista a limpeza e o refechamento com argamassa e calda de cimento das fendas abertas que delimitavam os blocos a pregar; o recalçamento de zonas em consola; o preenchimento de cavernas; a colocação de redes metálicas de encaminhamento; a execução de drenos profundos sempre que foram detetadas afluências de água importantes; o saneamento dos depósitos de vertente e dos aterros existentes no tardo da barreira de retenção e a demolição desta e de ruínas e de muros instáveis (Figura 6).

Os trabalhos no Setor 5 foram da mesma natureza dos realizados no Setor 3, ou seja,

compreenderam a demolição de edificações devolutas e que, devido à sua proximidade à escarpa, apresentavam elevado risco de poderem vir a ser afetadas por instabilizações; a reparação do coroamento dos muros de pedra aparelhada que suportam as plataformas existentes e proteção das respetivas bases com betão projetado; a colocação de redes metálicas pregadas e de redes metálicas de encaminhamento; a execução de drenos

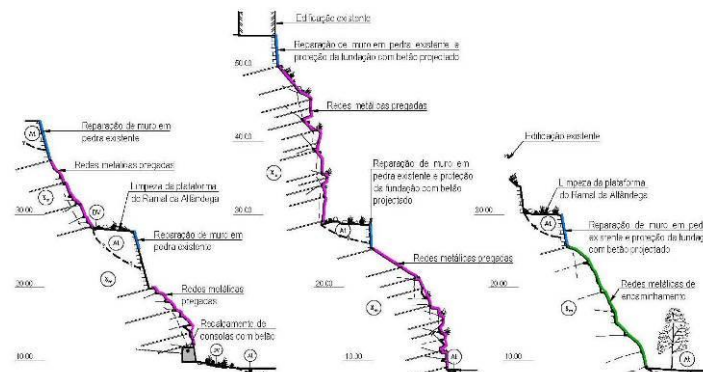
profundos; a execução de pregagens pontuais e/ou ancoragens de baixo pré-esforço em blocos de maiores dimensões; a limpeza e o refechamento de fendas abertas com argamassa e calda de cimento; o recalçamento de consolas rochosas e a reconstrução de duas escadas de pedra existentes que fazem a ligação entre a Av. Gustavo Eiffel e a plataforma do Ramal da Alfândega (Figura 7).



Secção 3.1

Secção 3.2

Figura 6. Corte com as soluções adotadas nas secções 3.1 e 3.2 e Fotografia da Secção 3.1 após as obras.



Secção 5.1

Secção 5.2

Secção 5.3

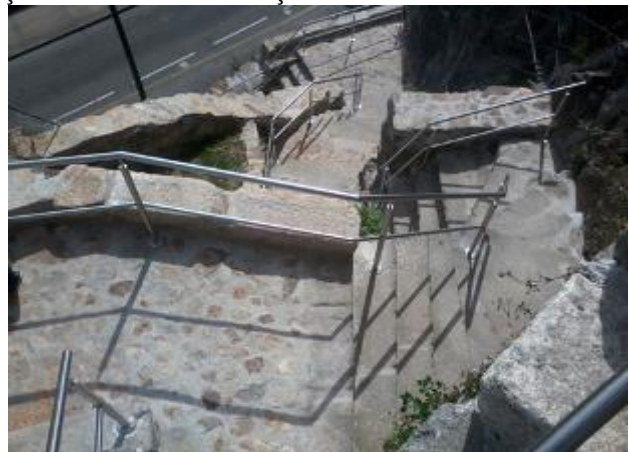
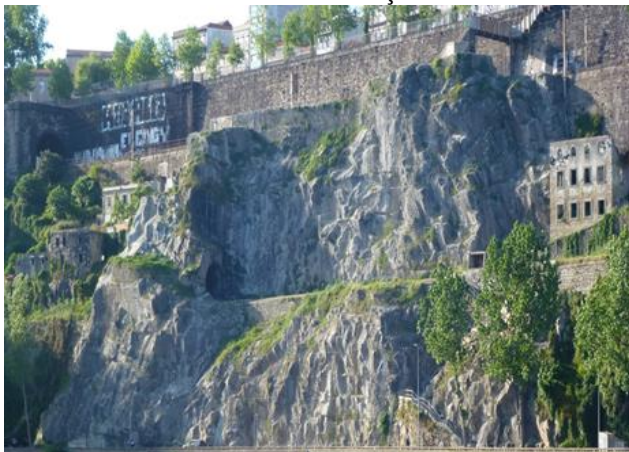


Figura 7. Cortes com as soluções adotadas nas secções 5.1, 5.2 e 5.3 e Fotografias da Secção 5.2 após as obras.

Considerou-se ainda necessário drenar as águas pluviais de escorrência e as águas de nascentes existentes na escarpa, tendo estas sido captadas e conduzidas para um sistema de drenagem localizado na base da escarpa, junto à Av. Gustavo Eiffel.

Esta drenagem foi constituída por valetas trapezoidais, coletores e caixas de reunião que conduzem estas águas para as caixas e atravessamentos que fazem parte do sistema de drenagem de águas pluviais existente ao nível da Av. Gustavo Eiffel.

8 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A impossibilidade de acesso direto a algumas zonas da superfície da escarpa, o facto de não se dispor de levantamentos topográficos que representassem com rigor as irregularidades da sua superfície, bem como ainda a presença de densa vegetação em algumas zonas, levantaram algumas dificuldades à definição das soluções previstas em projeto.

Apesar de se considerar importante fazer uma caracterização o mais aprofundada possível na fase de projeto e de se definirem o melhor possível as soluções a implementar, estas foram encaradas como aproximadas, uma vez que é praticamente inviável, na maior parte das situações, proceder à limpeza dos taludes, logo nesta fase, devido aos meios necessário envolver.

Os condicionamentos executivos registados no decorrer destas empreitadas, relacionados essencialmente com o facto de se tratar de uma obra inserida em meio urbano, com dificuldades de acessos a certos locais, levou a que fossem previstos tratamentos diferenciados, devidamente adaptados às diferentes condições morfológicas e geológico-geotécnicas existentes, de modo a efetuar a estabilização da escarpa de forma técnica e economicamente aceitável.

Procurou-se, sempre que possível, privilegiar soluções com o mínimo impacto paisagístico e que permitissem a vegetação na escarpa, tendo-se para o efeito recorrido preferencialmente a soluções de redes metálicas pregadas, de redes de encaminhamento e a pregagens pontuais,

assim como à reabilitação dos muros em pedra aparelhada de forma tradicional, em detrimento de soluções em betão.

Considera-se que, com as soluções definidas para a estabilização da “Escarpa das Fontainhas”, será possível evitar a ocorrência de novas quedas de blocos e de derrocadas, de forma a proteger, quer as infraestruturas existentes ao longo da sua superfície, quer as pessoas e veículos que circulam na Av. Gustavo Eiffel.

Finalmente, revestiu-se de primordial importância o acompanhamento da fase de obra por técnicos com formação em geotecnia. Só assim foi possível proceder, em tempo útil e de forma profícua, à concretização das soluções definidas em projeto e às necessárias adaptações face a situações não detetadas devido às limitações anteriormente referidas, procurando a eficiência económica da empreitada.

AGRADECIMENTOS

Os autores expressam os seus agradecimentos à Câmara Municipal do Porto, nomeadamente à empresa de Gestão de Obras Públicas, EM (GOP, EM), pela autorização concedida à apresentação desta comunicação.

REFERÊNCIAS

- Barton, N. & Choubey, V. (1977). *The shear strength of rock joints in theory and practice*. Rock Mechanics 1/2:1-54. Vienna: Springer. Also NGI Publ. 119
- ISRM (1978). *Suggested Methods for the Quantitative Description of Discontinuities in Rock Masses*
- ISRM (1981). *Basic Geotechnical Description of Rock Masses* (BGD)