



CONSOLIDAÇÃO DE ESCARPAS NA COSTA SUDOESTE DA ILHA DA MADEIRA

Sérgio Rosa, Cenorgeo, Lisboa, Portugal, srosa@cenorgeo.pt
José Mateus de Brito, Cenorgeo, Lisboa, Portugal, mbrito@cenorgeo.pt
Vitória Rodrigues, Cenorgeo, Lisboa, Portugal, vrodrigues@cenorgeo.pt
Filipe Sousa, Cenorgeo, Lisboa, Portugal, fsousa@cenorgeo.pt

RESUMO

Na costa Sudoeste da ilha da Madeira, ao longo de um desenvolvimento de cerca de 15 km, entre Calheta e Ribeira Brava, encontram-se construídas na base de escarpas com dezenas a centenas de metros de altura, importantes infra-estruturas portuárias e rodoviárias, como a Marginal da Calheta, o Porto de Recreio da Calheta, a Marina do Lugar de Baixo e a Marginal entre Ribeira Brava e Tabua. Estas infra-estruturas têm vindo a ser afectadas, ao longo do tempo, por vários desmoronamentos de blocos de rocha isolados e de significativos volumes de material resultantes do colapso parcial de maciços rochosos e terrosos, que têm provocado avultados danos materiais e condicionado a sua utilização por longos períodos de tempo. A necessidade de protecção destas infra-estruturas tem obrigado à realização de importantes obras de consolidação das escarpas, de modo a permitir estabelecer condições de segurança consentâneas com a ocupação existente. Referem-se os estudos realizados para a protecção das infra-estruturas mencionadas, descrevendo-se os tipos de trabalhos de consolidação adoptados.

ABSTRACT

In Madeira Island Southwest coast, along 15 km, between Calheta and Ribeira Brava, at the base of ten or hundred meters high cliffs, important portuary and road infrastructures are constructed, like Calheta Road, Calheta Seaport, Lugar de Baixo Seaport and the Road between Ribeira Brava and Tabua. These infrastructures have been strongly affected by several collapses, whether of isolated rock blocks or significant rock and terrigenous mass volumes. The need to protect these infrastructures has lead to the execution of important consolidation works, so that safety conditions can be established accordingly to current occupation. The performed studies to promote the infrastructures protection are hereby presented, with a description of the cliff consolidation works.

1- CARACTERÍSTICAS GERAIS DAS ESCARPAS

Ao longo da costa Sul da Ilha da Madeira, entre Calheta e Ribeira Brava, existem diversas zonas escarpadas, algumas das quais com alturas significativas, que apresentam sinais de erosão pronunciada e problemas de estabilidade, que têm posto em risco as infra-estruturas existentes na sua base, levando a que a sua utilização tenha, por vezes, longos períodos de interdição.

Na Calheta, no Lugar de Baixo e entre Ribeira Brava e Tabua, tem sido necessário realizar importantes obras de tratamento e consolidação, envolvendo meios humanos e logísticos significativos.



6^{as} Jornadas Portuguesas de Engenharia Costeira e Portuária Funchal, 8 e 9 de Outubro de 2009

No Quadro 1 resumem-se as características gerais das escarpas estudadas, indicando-se o desenvolvimento e a altura de cada uma, a situação actual dos estudos e das obras e o respectivo custo.

Localização	Designação	Desenvolvimento (m)	Altura (m)	Situação actual	Custo (€)
Calheta	Escarpa da Marginal da Calheta, na base da qual se situam o edifício Onda Parque e o Hotel Calheta Beach	510	25 a 165	Estudo prévio concluído	14,7x10 ⁶
	Faixas laterais e zona superior da escarpa sobranceira ao Porto de Recreio da Calheta	F. Oeste: 80 F. Este: 140 Z. Superior: 110 a 220	F. Oeste: 105 F. Este: 60 a 90 Z. Superior: 30	Projecto de execução concluído	6,9x10 ⁶
Lugar de Baixo	Parte superior da escarpa sobranceira à Marina do Lugar de Baixo	200	60	Obra concluída	7,2x10 ⁶
Ribeira Brava / Tabua	Escarpa sobranceira à Marginal entre Ribeira Brava e Tabua	1000	40 a 110	Projecto de execução concluído	17,0x10 ⁶

Quadro 1 – Principais características das escarpas situadas entre Calheta e Ribeira Brava

2 – CARACTERIZAÇÃO GEOLÓGICA GERAL

A costa Sul da ilha da Madeira é muito acidentada, sendo formada por uma sucessão de vales muito encaixados e profundos, alternando com elevações de forma alongada, designadas de lombos, com pendente na direcção do mar. Estas elevações encontram-se truncadas, junto à linha de costa, por escarpas com inclinação sub-vertical, normalmente com alturas superiores à centena de metros.

Estas escarpas foram talhadas no Complexo Vulcânico Pós-Miocénico $\beta 2$ (Figura 1), formado por alternâncias de escoadas de lavas basálticas com níveis de materiais piroclásticos brechóides. Interestratificados nestas formações, ocorrem, ainda, embora geralmente com menor espessura, níveis de tufos com formas lenticulares e contornos irregulares. Estes três tipos de rochas resultaram da emissão de produtos vulcânicos diversos, originados segundo processos diferentes, pelo que se apresentam dispostos de forma irregular e aleatória [1].

Todas as formações são resultantes de um vulcanismo fissural localizado na parte central da ilha. Os basaltos correspondem a derrames de escoadas lávicas que desceram ao longo das vertentes dos aparelhos vulcânicos, do interior da ilha para o mar. Os tufos e as brechas correspondem a projecções finas e grosseiras, emitidas pelos aparelhos vulcânicos. A génese dos níveis brechóides pode ainda resultar de processos de fragmentação, por fricção, durante o movimento das escoadas lávicas ou devido a explosões gasosas após estas terem cessado o seu movimento. Os fragmentos originados por este processo podem apresentar dimensão variada, desde poeiras finas a fragmentos de grandes dimensões.

As escoadas de lavas basálticas apresentam, por isso, inclinação geral para Sul, ou seja, direcção perpendicular ao desenvolvimento das escarpas, observando-se, ainda, um aumento gradual da sua espessura do interior para a periferia dos maciços. Podem apresentar-se compactas (βC) ou fracturadas (βF).

Estas escoadas apresentam descontinuidades predominantemente verticais ou sub-verticais, onduladas, com continuidade e afastamento da ordem do centímetro a metro, que originam a

formação de colunas alongadas com secção transversal irregular. Para além desta família de diaclases, existe também uma outra, sub-horizontal, provavelmente devida, por um lado, à deposição faseada das diferentes escoadas e respectivas condições de arrefecimento e, por outro, a forças de tracção provocadas pela descompressão do maciço. Da acção conjunta destes sistemas de diaclases individualizam-se, na superfície das bancadas basálticas, blocos com forma mais ou menos paralelepípedica.

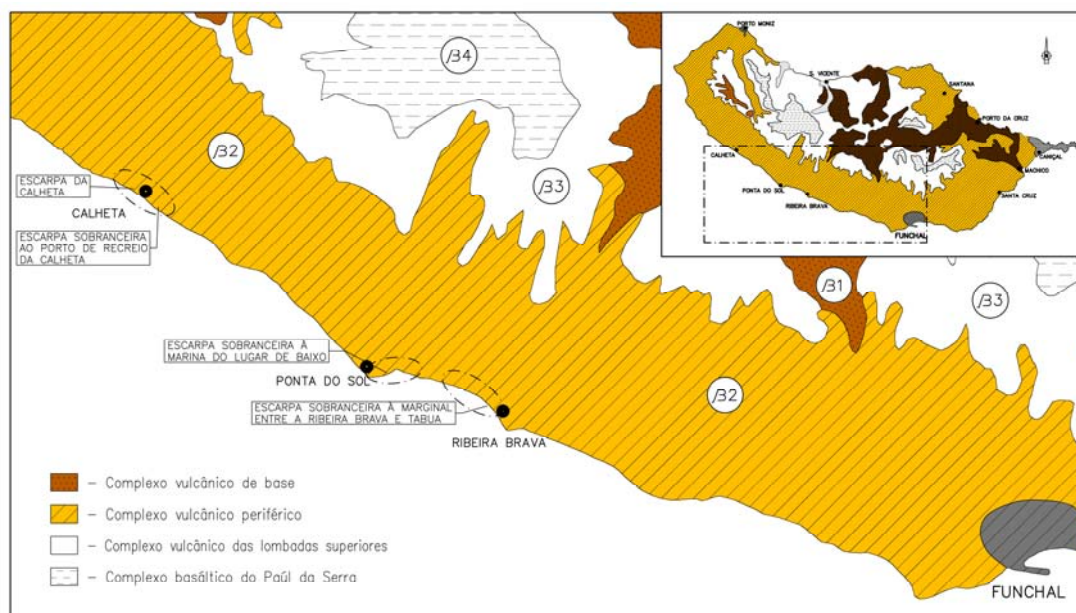


Figura 1 – Planta geológica da costa sudoeste da Ilha da Madeira

Intercalados nestas escoadas, ocorrem níveis de brechas (Br) e de tufos (T), menos resistentes e mais friáveis do que os basaltos, apresentando-se geralmente bastante erodidos, devido à exposição aos agentes atmosféricos, dando origem a zonas em depressão. Estas formações podem, também, apresentar-se compactas (BrC e T) ou desagregáveis (BrD e TD).

3 – EVOLUÇÃO GEOMORFOLÓGICA

A evolução geomorfológica das escarpas é essencialmente condicionada pela sucessão estratigráfica que as caracteriza, uma vez que se trata de uma alternância de bancadas rochosas muito compactas e resistentes, muitas vezes fracturadas, e de camadas essencialmente terrosas com diferentes resistências à erosão aos agentes externos, nomeadamente os atmosféricos e os resultantes da acção dos seres vivos, incluindo o Homem.

O processo natural de evolução das escarpas neste complexo é marcado pela desagregação e erosão dos níveis de brechas e de tufos, geralmente pouco espessos, sensíveis aos agentes exteriores, o que conduz à sua mais rápida degradação, originando o desprendimento de materiais terrosos e, por conseguinte, a formação de zonas reentrantes que vão deixando progressivamente em consola as bancadas de basaltos.

Em contrapartida, as bancadas basálticas, bastante mais resistentes à erosão, ficam em saliência, formando cornijas ou esporões, originando consolas que atingem, por vezes, 2 m. Estas bancadas ao ficarem descalças entram progressivamente em rotura, conduzindo ao seu desmoronamento parcial. Este processo de evolução, aliado à fracturação que as afecta,



6^{as} Jornadas Portuguesas de Engenharia Costeira e Portuária Funchal, 8 e 9 de Outubro de 2009

acaba, também, por originar a individualização de blocos, por vezes de grandes dimensões. O processo de rotura é muitas vezes acelerado durante períodos de forte pluviosidade.

No topo de algumas das escarpas podem, ainda, existir camadas de solos com espessura significativa, mais descomprimidos e facilmente mobilizáveis que, ao instabilizarem-se, dão origem a desprendimentos de terra e de vegetação.

Em algumas situações, a evolução natural das escarpas é também agravada pela ocupação humana, através de construções de diversos tipos no seu topo.

A evolução do processo de erosão diferencial conduz à acumulação dos materiais desprendidos na base das escarpas, originando depósitos de vertente (DV).

4 – DESCRIÇÃO DAS SOLUÇÕES DE CONSOLIDAÇÃO

4.1 - Escarpa da Calheta

Esta escarpa desenvolve-se paralelamente à Marginal da Calheta, tendo como limite superior a estrada que liga a vila da Calheta ao Lombo do Doutor, entre as cotas 180 e 200 m, e, como limite inferior, a estrada regional ER101-9, que se desenvolve entre as cotas 6 e 8 m. Do lado SE é limitada pela ribeira da Calçada, enquanto do lado NW o limite é feito pela ribeira da Calheta.

O desenvolvimento total é de 550 m e a altura está compreendida entre 25 e 165 m. A zona de menor altura, no extremo NW, confina com a vila da Calheta, enquanto que a zona de maior altura, no extremo SE, é sobranceira ao edifício Onda Parque, ao Hotel Calheta Beach e a outros dois edifícios de menor dimensão (Figura 2a).

Ao longo de toda a extensão existe uma predominância das formações brechóides compactas sobre as restantes formações até cerca da cota 75 m. Acima desta cota até às cotas 125 m a 150 m passam a predominar as formações de basaltos sobre as de brechas e tufos [2].

Em resultado da evolução natural da escarpa devida à erosão, têm sido assinalados, ao longo dos anos, diversos desprendimentos de blocos isolados e derrocadas resultantes do desmantelamento de partes de bancadas rochosas, que se têm vindo a acumular na respectiva base, constituindo um depósito de vertente com espessura significativa (Figura 2b).

Alguns destes desprendimentos têm projectado blocos, quer para a estrada regional, quer para os edifícios que se encontram na sua base, provocando danos materiais importantes. Os prejuízos têm sido causados, essencialmente, em viaturas estacionadas junto à estrada regional, no edifício Onda Parque e no Hotel Calheta Beach. A lista das principais ocorrências que têm vindo a ser assinaladas nos últimos 15 anos são as seguintes:

- 1991 - desprendimento de cinco blocos de basalto com cerca de 0,3 tf, que caíram em frente à entrada que dá acesso ao estacionamento do edifício Onda Parque e que causaram danos em três viaturas ligeiras;
- 1994 - desprendimento de vários blocos de basalto com cerca de 2 tf, na zona do cais, entre o edifício Onda Parque e o restaurante Rocha Mar que causaram vários danos nas estruturas de suporte existentes na base da escarpa;
- 1998 - desprendimento de um bloco de basalto com cerca de 0,3 tf que ressaltou no edifício Onda Parque e atravessou as paredes do Hotel Calheta Beach, que se encontrava em construção, imobilizando-se na zona da piscina;
- 2005 - derrocada que causou a interrupção da ER101-9 e danos numa viatura ligeira que se encontrava estacionada ao lado do edifício Onda Parque;

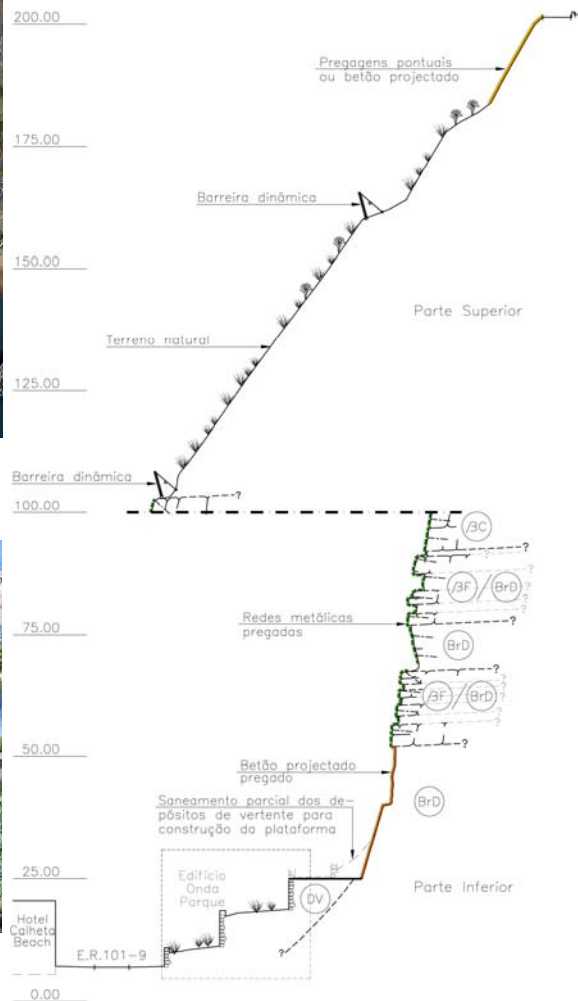
- 2006 - desprendimento de blocos de basalto, no extremo NW da escarpa, que afectou algumas viaturas que se encontravam estacionadas junto à estrada regional.



a – Vista geral



b – Derrocada ocorrida junto ao edifício Onda Parque, vendo-se ao fundo o Hotel Calheta Beach



c – Corte transversal

Figura 2 – Escarpa da Calheta

Atendendo à importância em proteger contra a queda de terrenos da escarpa, quer as construções existentes, quer a circulação de pessoas e veículos na sua base, definiram-se seis tipos de tratamentos para a estabilização [6] [7] (Figura 2c):

- ao nível da base foi previsto o saneamento parcial dos depósitos de vertente e a demolição de alguns blocos rochosos de grandes dimensões, em particular nas imediações do edifício Onda Parque; associado a este tratamento definiu-se, também, a criação de um caminho de acesso ao longo de toda a base da escarpa, com 5 m de largura;
- ao longo de toda a zona inferior, até uma altura de cerca de 20 a 30 m, previu-se efectuar o revestimento sistemático das brechas com intercalações de basaltos e dos tufos, com betão projectado em duas camadas com 0,05 m de espessura, associado a malha electrossoldada, com a última camada incorporando aditivo colorante de cor idêntica à das formações a proteger; quando necessário previu-se a execução de pregagens com 4 m de comprimento, seladas com calda de cimento;



6^{as} Jornadas Portuguesas de Engenharia Costeira e Portuária Funchal, 8 e 9 de Outubro de 2009

- nas zonas onde as bancadas basálticas têm maior expressão e continuidade dispensou-se a aplicação do betão projectado associado a malha electrossoldada, prevendo-se a execução de pregagens pontuais com 4 e 6 m de comprimento, seladas com calda de cimento, a ajustar em fase de obra em função da dimensão dos blocos a pregar;
- na zona superior da escarpa, onde não foi possível efectuar os tratamentos com betão projectado e pregagens, foi prevista a aplicação de uma rede metálica de alta resistência do tipo S20 da Geobruigg ou similar, associada a pregagens com 4 m de comprimento, seladas com calda de cimento; previamente à aplicação da rede metálica foi prevista a colocação de uma geomalha para revestimento das áreas onde as brechas e tufos se apresentam mais alterados e desagregados;
- no talude menos inclinado situado acima da crista da escarpa foi prevista a colocação de quatro barreiras dinâmicas de alta energia dos tipos RX-200 e RX-150 da Geobruigg, ou similar, com 5 m de altura;
- desde a estrada existente no topo da escarpa, numa altura de cerca de 10 a 20 m, previu-se efectuar, onde necessário, um revestimento das brechas com intercalações de basaltos e dos tufos, com característica idênticas às especificadas para a zona inferior, associado, onde necessário, a pregagens com 4 m de comprimento, seladas com calda de cimento; foi previsto o aligeiramento deste tratamento onde se verificasse a existência de bancadas basálticas de maior expressão e continuidade, devendo, neste caso, prever-se apenas a execução de pregagens pontuais com 4 e 6 m de comprimento, seladas com calda de cimento.

É ainda de referir que, previamente à execução dos tratamentos de estabilização da escarpa, foram previstos os seguintes trabalhos preparatórios:

- limpeza da vegetação e dos materiais soltos (terras, fragmentos e blocos de rocha) existentes na crista e sobre as pequenas consolas existentes, com excepção da zona onde foi prevista a colocação das barreiras dinâmicas;
- saneamento ou demolição parcial dos blocos rochosos de maiores dimensões que se apresentam soltos ou com sinais de instabilidade;
- refechamento superficial e/ou injeções de selagem de fendas abertas nas camadas basálticas, com argamassa ou calda de cimento;
- reperfilamento das camadas basálticas em consola;
- enchimento das cavidades existentes no maciço com betão simples.

4.2 - Escarpa sobranceira ao Porto de Recreio da Calheta

Situada a Este da escarpa da Calheta, a escarpa sobranceira ao Porto de Recreio da Calheta é limitada superiormente pela estrada que liga o Lombo da Autoguia à Serra de Água, cerca da cota 190 m, e inferiormente pela estrada regional ER101-9 entre as cotas 6 e 12 m, Lateralmente, é limitada pela ribeira da Calçada, a Oeste, e pela ribeira da Autoguia, a Este (Figura 3a).

Do reconhecimento efectuado à distância, a partir da ER101-9, foi possível observar que nas zonas a intervir, o maciço vulcânico é constituído essencialmente por intercalações de escoadas de lavas basálticas com níveis piroclásticos brechóides, sendo ainda possível identificar, pontualmente, alguns níveis lenticulares de tufos, com pouca continuidade. Estes últimos adquirem maior expressão na zona superior. Nas faixas Oeste e Este da escarpa, junto à base, e nas zonas mais aplanadas da escarpa, foram também identificados depósitos de vertente [3].

Com vista a proteger as infra-estruturas que fazem parte do porto de recreio, foi executado, em 2003, um conjunto de trabalhos de consolidação na zona central desta escarpa, que consistiu na colocação de redes metálicas pregadas desde cerca da cota 12 m até às cotas 110 a 130 m.

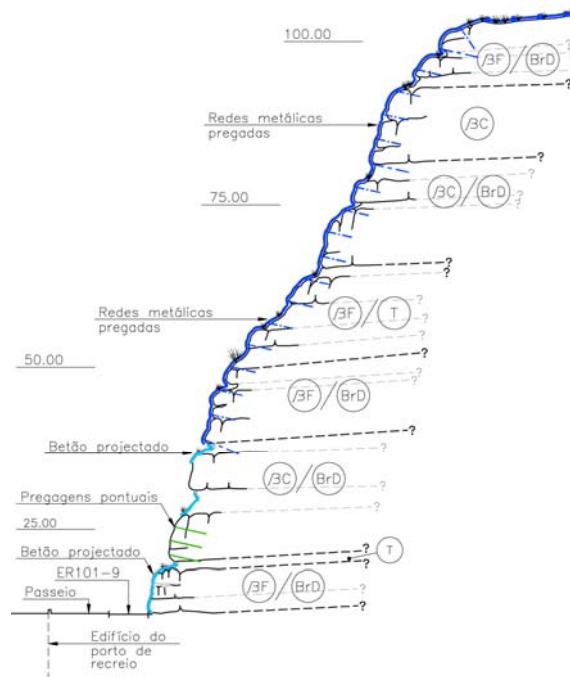
Acima destas redes pregadas, entre cerca das cotas 112 a 115 m, foi ainda colocada uma barreira dinâmica flexível. Estes tratamentos não foram estendidos, no entanto, a toda a área da escarpa, tendo sido deixadas por tratar as faixas laterais bem como a zona superior, situada acima das cotas 112 a 115 m [6] [7].



a – Vista geral



b – Danos resultantes do desprendimento de alguns blocos



c – Corte transversal

Figura 3 – Escarpa sobranceira ao Porto de Recreio da Calheta

Apesar de se ter verificado uma melhoria significativa das condições de segurança nesta zona em resultado destes tratamentos, têm continuado a registar-se vários episódios de desprendimentos de blocos de várias dimensões, quer da zona superior, quer das faixas laterais, que têm afectado, com maior ou menor gravidade, os veículos que circulam na estrada, bem como o conjunto de infra-estruturas que constituem o porto de recreio. O incidente mais recente registou-se em 2009, resultado de um desprendimento da zona superior, acima das redes pregadas, que originou avultados danos nos edifícios do porto de recreio, tendo atingido inclusivamente algumas embarcações (Figura 3b).

Atendendo aos problemas identificados nas zonas não tratadas procuraram-se definir as soluções de consolidação mais adequadas (Figura 3c). Considerou-se, como solução técnica e economicamente mais ajustada para o seu tratamento, a aplicação de um sistema geral composto por redes metálicas pregadas ao maciço com características idênticas ao existente e ao que foi preconizado para a escarpa da Calheta.

Na zona superior da escarpa, a rede será aplicada numa extensão média de cerca de 170 m, até cerca de 5 m acima do topo da barreira dinâmica. No extremo Oeste desta zona, onde não existe barreira dinâmica, as redes serão aplicadas na totalidade da altura da escarpa.



6^{as} Jornadas Portuguesas de Engenharia Costeira e Portuária Funchal, 8 e 9 de Outubro de 2009

Na faixa lateral Oeste a rede será aplicada desde o seu topo, à cota 115 m, até cerca da cota 35 m, ao longo de uma extensão média cerca de 70 m. Deverá ainda ser aplicada lateralmente a esta zona, subjacente à rede existente (cerca da cota 60 m), até cerca da cota 35 m, numa extensão de cerca de 85 m.

Na faixa Este as redes serão aplicadas, desde o topo, compreendido entre as cotas 100 e 80 m, até cerca da cota 35 m, numa extensão de cerca de 75 m. Na parte Este, onde a altura da escarpa é menor, as redes serão aplicadas desde as cotas 65 e 75 m, até cerca da cota 35 m, numa extensão de cerca de 60 m.

O sistema de redes a aplicar será do tipo Mac.ro. constituído por uma rede metálica de cabos de aço sobreposta a uma rede metálica hexagonal de dupla torção, reforçadas com uma grelha de cabos de aço, solidarizadas ao maciço através de pregagens seladas com calda de cimento, com 4 a 6 m de comprimento, aplicadas numa malha de 4 m x 4 m. Em alternativa a este sistema, poderá ser aplicado um sistema da Geobrug, com características idênticas ao especificado para a escarpa da Calheta.

Nos níveis de brechas e de tufos, previamente à colocação da rede metálica de dupla torção, será aplicada uma geomalha do tipo Trinter, Tecmat ou similar. Com esta geomalha pretende-se proteger da erosão estes níveis, de modo a impedir a criação de zonas reentrantes na superfície de escarpa que venham a deixar as bancadas basálticas em consola.

Previamente à aplicação deste sistema será feita a limpeza de toda a superfície da escarpa, nomeadamente à remoção da vegetação e dos materiais soltos (terras e fragmentos e blocos de rocha) existentes. Caso sejam identificados blocos instáveis cujo saneamento não seja possível deverá ser prevista a execução de pregagens adicionais, com distribuição e comprimento a definir em fase de obra.

Para a execução deste sistema está também prevista a criação de uma plataforma de trabalho, no topo da escarpa e nas plataformas da sua superfície, onde justificável, com cerca de 3 a 4 m de largura, para permitir a fixação superior das redes.

Complementarmente, foi prevista nas faixas laterais, desde a sua base até uma altura de cerca de 25 m (cerca da cota 35 m), a consolidação da escarpa através da aplicação de betão projectado incorporando fibras metálicas, associado sempre que necessário a pregagens. O betão projectado será aplicado em duas camadas, com espessura mínima total de 0,10 m, com a última camada com aditivo colorante de cor idêntica à das formações envolventes. Nas passagens mais desagregáveis e com maior expressão, este revestimento poderá ser associado a pregagens com 4 e 6 m de comprimento, seladas com calda de cimento, a definir em obra. Nas bancadas basálticas de maior expressão e com alguma continuidade, admite-se a execução somente de pregagens, sendo dispensada a aplicação do betão projectado.

Na base da escarpa foi previsto o saneamento total dos depósitos de vertente existentes. No entanto, admite-se que na base da faixa Oeste da escarpa, na zona onde estes depósitos se encontram modelados em socalcos, este saneamento possa ser dispensado. Nesse caso, deverá prever-se a execução de um talude suave, com cerca de 1V/1,5H de inclinação, na transição desta zona para a zona a sanear.

4.3 - Escarpa sobranceira à Marina do Lugar de Baixo

Para a construção desta marina foi necessário criar uma plataforma geral à cota aproximada 4 m, a qual, no lado Oeste, se situa na base de uma escarpa com cerca de 200 m de altura.

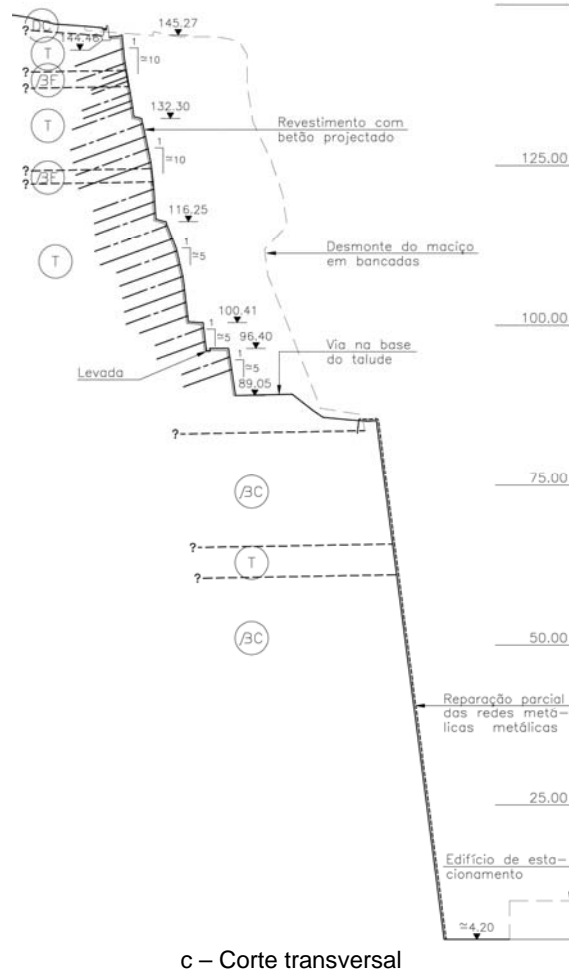
Nesta plataforma, na zona mais próxima da escarpa, foi construído um edifício com dois pisos destinado a estacionamento e um complexo balnear, constituído por piscinas e edifícios de apoio. O edifício de estacionamento está implantado paralelamente à escarpa e tem um desenvolvimento de cerca de 130 m e uma largura de 16 m (Figura 4a). A distância da fachada posterior do edifício à escarpa é muito reduzida, variando entre 3 e 10 m (Figura 5a).



a – Vista da escarpa antes da realização dos trabalhos de consolidação



b – Vista da escarpa após a realização dos trabalhos de consolidação



c – Corte transversal

Figura 4 – Escarpa sobranceira à Marina do Lugar de Baixo

Na altura da sua construção, atendendo à grande proximidade desta infra-estrutura à escarpa, foram executadas obras de estabilização na escarpa que foram estendidas até à zona do emboquilhamento Este do Túnel do Lugar de Baixo. A solução executada consistiu na colocação de redes metálicas pregadas até cerca das cotas 85-90 m e de uma barreira dinâmica flexível a estas cotas, aproveitando a existência de uma plataforma para permitir a retenção do material que se viesse a desprender da parte superior da escarpa. Com o tempo, veio a verificar-se que esta barreira dinâmica não constituía uma protecção segura contra a queda de blocos da zona superior, tendo-se verificado várias ocorrências de queda de materiais (blocos e fragmentos rochosos de várias dimensões) que levaram à interdição, quer do edifício de estacionamento, quer do complexo balnear.

A parte inferior desta escarpa, entre a cota 4 m e a plataforma situada entre as cotas 85-90 m, encontra-se protegida com uma rede metálica pregada e é constituída essencialmente por uma sucessão de escoadas basálticas compactas e de elevada resistência. Para além destas escoadas, ocorrem ainda, embora com muito menor importância, alguns níveis lenticulares e com formas irregulares de materiais piroclásticos brechóides. A continuidade deste maciço basáltico é ainda interrompida, cerca da cota 60 m, por um nível de tufo vulcânicos compactos, de cor avermelhada, que deu origem a uma pequena plataforma. A parte superior da escarpa é formada por espessos níveis de tufo muito compactos e resistentes e por escoadas basálticas também compactas e de elevada resistência. Nestas escoadas basálticas encontram-se, por vezes, intercalados alguns níveis de brechas vulcânicas, embora com muito menor representatividade [4].

Em face das condições geomorfológicas da zona superior da escarpa e dos volumes de maciço envolvidos em potenciais instabilizações, a solução de estabilização que se considerou ser tecnicamente mais ajustada, mais económica e com custos de manutenção mínimos foi a do reperfilamento da escarpa por bancadas, a partir do topo, entre a cota 90 m a poente e a cota 140 m a nascente, até cerca das cotas 85-90 m, onde será criada uma via de circulação. Este reperfilamento foi preconizado com um desenvolvimento de cerca de 200 m e uma altura máxima de 60 m.



Figura 5 – Edifício de estacionamento da Marina do Lugar de Baixo

A alternativa a esta solução de utilização de redes pregadas não tinha aplicação nesta zona superior da escarpa, quer devido à natureza dos tufos, que são desagregáveis e erodíveis sob a acção dos agentes atmosféricos, quer ao facto dos basaltos já apresentarem consolas de dimensão muito significativa.

Outra possível solução alternativa a encarar seria a de realização de uma estrutura de suporte, eventualmente constituída por uma grelha em betão armado apoiada no maciço mediante ancoragens definitivas de grande capacidade de carga. Esta estrutura seria executada na frente da escarpa onde ocorrem os tufos acima da “plataforma” à cota 85 m e serviria de estrutura de recalce da bancada basáltica que se encontra sobrejacente aos tufos. A realização desta estrutura, para além de condicionamentos executivos importantes e do grande impacto visual que teria, obrigaria também à execução da via de acesso à “plataforma” à cota 85 e ao desmonte parcial do maciço, pelo que não se considerou também ser economicamente viável.

A solução de estabilização adoptada de reperfilamento da escarpa, para a zona superior, foi definida com uma inclinação de 1H/10V. Nesta zona foi também prevista, sempre que necessário, para garantir a estabilidade superficial de alguns blocos basálticos, a execução de pregagens e betão projectado em zonas localizadas. Para zona inferior, foi adoptada uma inclinação mais suave de 1H/5V. Foi efectuado o revestimento sistemático de betão projectado pregado associado a uma malha electrossoldada, sempre que foram intersectados tufos [6] [7]. A posição dos taludes de escavação foi definida de forma a garantir que durante a execução ficasse sempre assegurada, por razões de segurança, uma largura mínima de plataforma de trabalho de 6 m (Figuras 4b e 4c).

Tratando-se de taludes com grande altura adoptaram-se pregagens mais compridas na parte superior, de forma a reduzir os deslocamentos nessa zona e garantir condições mais eficazes de reforço dos tufos. As pregagens foram previstas com comprimentos variáveis de 12 m na zona superior e 8 m na zona inferior, afastadas de 2 m nas duas direcções. O revestimento de betão projectado foi constituído por duas camadas com 0,05 m de espessura cada, incorporando, a segunda camada, aditivo colorante.

Esta solução implicou que a escavação fosse efectuada por fases sucessivas, de cima para baixo, com colocação imediata dos elementos de sustimento. Com este processo executivo

pretendeu-se perturbar ao mínimo o terreno natural durante a execução, de modo a tirar o máximo partido das suas características mecânicas.

Por forma a permitir o acesso do equipamento e do pessoal às diferentes frentes de trabalho da obra e para a realização de eventuais operações de inspecção e manutenção em fase de exploração, foi também executada uma via de acesso no topo da escarpa a partir da estrada regional ER222.

Para minimizar eventuais quedas de materiais durante as operações de desmonte do maciço foi executada uma protecção na cobertura do edifício de estacionamento, utilizando pneus ligados por redes metálicas e cobertos por terra. No entanto, apesar das operações de desmonte do maciço terem sido realizadas com o maior cuidado possível, estas protecções vieram a revelar-se ineficazes, tendo praticamente todo o edifício ficado muito danificado devido à energia resultante da grande altura de queda dos blocos (Figura 5).

4.4 - Escarpa sobranceira à Marginal entre Ribeira Brava e Tabua

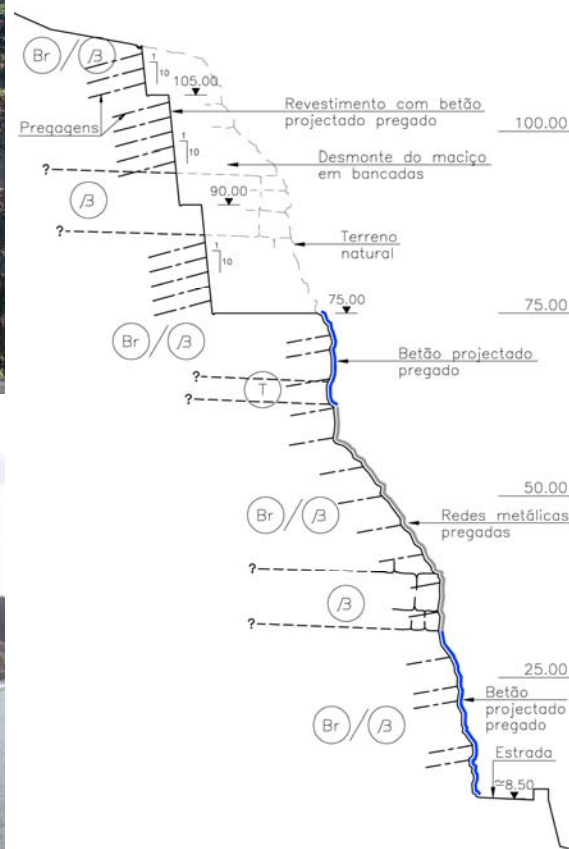
Esta escarpa, com altura variável, desenvolve-se paralelamente à estrada marginal que liga Ribeira Brava e Tabua. O limite superior é constituído, na parte Oeste, por um maciço montanhoso cuja cota máxima se situa aproximadamente entre as cotas 100 e 110 m; na parte central, por uma plataforma com cerca de 170 m de extensão com declive no sentido do mar, com cotas compreendidas entre cerca de 60 e 70 m e onde se encontram implantadas um conjunto de estufas; e na parte Este, por um outro maciço montanhoso que se situa aproximadamente entre as cotas 110 e 130 m (Figuras 6a e 6b).



a – Vista do extremo Oeste



b – Vista da zona central e do extremo Este



c – Corte transversal

Figura 6 – Escarpa sobranceira à Marginal entre Ribeira Brava e Tabua



6^{as} Jornadas Portuguesas de Engenharia Costeira e Portuária Funchal, 8 e 9 de Outubro de 2009

O limite inferior corresponde à estrada marginal que tem cotas variáveis entre cerca de 7,5 m no lado da Ribeira Brava e de 9,5 m no lado da Tabua. Os vales da Ribeira da Tabua e da Ribeira Brava correspondem aos limites Oeste e Este destas escarpas, respectivamente.

A escarpa tem aproximadamente 1000 m de desenvolvimento e uma altura variável entre cerca de 100 m na parte Oeste (lado de Tabua), de 40 a 50 m na parte central (plataforma onde se encontram as estufas) e de 75 a 110 m na parte Este (lado da Ribeira Brava). A zona de menor altura situa-se a cerca de 150 m para Oeste da plataforma das estufas, onde se encontra em funcionamento uma central de betões, enquanto que as zonas de maior altura correspondem aos maciços montanhosos situados em ambos os extremos. Na zona Oeste, junto à base, encontra-se construída uma ETAR e um posto de abastecimento de combustíveis, enquanto que no extremo Este, se localiza o cemitério da Ribeira Brava [5].

Em resultado da evolução natural desta escarpa devido à erosão, têm sido assinalados, ao longo dos anos, diversos desprendimentos de pequenos fragmentos e de blocos rochosos isolados, bem como de algumas derrocadas resultantes do desmantelamento de partes de bancadas basálticas que têm atingido a plataforma da via, provocando, quer a sua interrupção temporária, quer alguns danos materiais importantes no pavimento e em algumas das viaturas que nela circulavam. Em resultado destas ocorrências foi tomada a decisão de interditar a via à circulação de veículos, até que as condições de segurança sejam repostas.

Ao longo de toda a extensão desta escarpa existe uma marcada predominância das formações piroclásticas brechóides sobre as restantes formações, embora na parte Este ocorram também formações basálticas em escoadas com elevada espessura. Na parte central, subjacente à plataforma onde se encontram as estufas, existe ainda uma outra zona onde as formações basálticas apresentam significativo desenvolvimento, parecendo predominar sobre as formações brechóides.

Em face das condições geomorfológicas observadas definiram-se as soluções de estabilização a adoptar para a escarpa, tendo em vista a protecção contra a queda de materiais da superfície do talude, das construções existentes e das pessoas e dos veículos que circulam na sua base (Figura 6c).

Em termos gerais, ao longo de toda a zona inferior da escarpa, com vista a proteger as brechas e os tufo com intercalações de basalto, a solução adoptada foi a da execução de um revestimento com betão projectado associado, onde necessário, a pregagens. Onde os basaltos forem predominantes sobre as restantes formações, preconizou-se a sua estabilização através de pregagens associadas, eventualmente, ao refechamento de fracturas com calda de cimento. Quando não for possível efectuar o revestimento com betão projectado, devido à grande altura de algumas das zonas das escarpas e a limitações inerentes ao processo executivo deste tipo de trabalhos, nomeadamente, a sua elevada dificuldade de execução a alturas normalmente superiores a 30 m, em sua substituição, preconizou-se, a aplicação de redes metálicas pregadas [6] [7].

Nas zonas superiores da escarpa situadas a cotas mais elevadas (zonas Este e Oeste), prevê-se a necessidade de realizar o desmonte do maciço por bancadas, recorrendo a uma escavação faseada complementada, onde necessário, com um revestimento em betão projectado pregado. Na zona onde foi possível prever a criação de um caminho a meia encosta, para acesso e limpeza das escarpas, e que permite ainda a execução de plataforma com 8 m de largura mínima, foi prevista a colocação de uma barreira dinâmica, em alternativa ao revestimento sistemático da superfície das escarpas, com rede metálica pregada, devido a tratar-se de uma solução de menor custo.

Na base da escarpa, dado que as soluções previstas para o seu tratamento podem não garantir em absoluto o controlo da queda de pequenos fragmentos rochosos de menores dimensões, preconizou-se, onde possível, a execução de um muro de espera junto à berma da estrada que delimitará uma bacia contra a queda destes materiais.

Para além dos tratamentos enunciados foram também definidos, ao longo da escarpa, trabalhos de reperfilamento de partes de bancadas e de consolas existentes ao longo da sua superfície, bem como, o preenchimento de depressões e cavernas detectadas no decurso dos reconhecimentos efectuados.



6^{as} Jornadas Portuguesas de Engenharia Costeira e Portuária Funchal, 8 e 9 de Outubro de 2009

É de referir, ainda, que previamente à execução destes tratamentos de estabilização está previsto um conjunto de trabalhos preparatórios que compreendem a limpeza de vegetação de toda a superfície a intervencionar e dos materiais soltos (terras, fragmentos e blocos de rocha).

5 – CONCLUSÕES

A construção de importantes infra-estruturas portuárias, rodoviárias e imobiliárias na base de escarpas em constante evolução, com dezenas a centenas de metros de altura, tem aumentado a necessidade de execução de obras de consolidação para permitir a protecção e a utilização contínua e em condições de segurança destas infra-estruturas.

A evolução natural das escarpas é condicionada essencialmente pela erosão diferencial das formações vulcânicas. Este processo tende a originar a ocorrência de desprendimentos, quer de blocos, por vezes de grandes dimensões, quer de derrocadas envolvendo quase sempre porções significativas de maciço rochoso e terroso, as quais causam geralmente avultados danos materiais e põem em perigo a integridade dos utilizadores desses locais.

Este tipo de intervenções tem levado à necessidade de realizar estudos cada vez mais desenvolvidos e detalhados, baseados em reconhecimentos geológico-geotécnicos pormenorizados, no sentido de se identificarem os principais problemas de cada local, tendo em vista a definição das soluções de consolidação mais adequados a cada caso.

A experiência adquirida na concepção e acompanhamento deste tipo de obras recomenda que, para além da fase de projecto, também a fase de execução das obras seja acompanhada por técnicos com formação em geotecnia, preferencialmente pelos que desenvolveram os estudos em fase de projecto. Só assim é possível proceder, a tempo, às necessárias adaptações face a situações não detectadas em projecto, devido, principalmente, às dificuldades de falta de acesso directo à superfície das escarpas nessa fase.

O acompanhamento permanente traduz-se numa economia muito significativa, nomeadamente no modo de faseamento, no tipo e desenvolvimento dos trabalhos a realizar e na optimização das soluções a implementar, de modo a tirar o máximo partido da resistência do maciço vulcânico e das condições locais existentes. Este acompanhamento permite, ainda, em alguns casos, que os procedimentos de execução das obras possam ser flexibilizados face ao melhor conhecimento dos problemas existentes, contribuindo, conseqüentemente, para o aumento da fiabilidade dos trabalhos.

AGRADECIMENTOS

Os autores expressam os seus agradecimentos à Direcção Regional de Infra-Estruturas e Equipamentos do Governo Regional da Madeira, nomeadamente ao seu Director, Eng^o Daniel Figueiroa, pela autorização e facilidades concedidas à apresentação desta comunicação.

BIBLIOGRAFIA

- [1] Serviços Geológicos de Portugal, Carta Geológica da Ilha da Madeira, folhas A e B, à escala 1/50 000 e Notícia Explicativa
- [2] Cenorgeo, 2007, Estudo Prévio da Estabilização da Escarpa da Calheta. DRIE



6^{as} Jornadas Portuguesas de Engenharia Costeira e Portuária
Funchal, 8 e 9 de Outubro de 2009

- [3] Cenorgeo, 2009, Estudo Geológico-Geotécnico e Anteprojecto da Estabilização da Escarpa Sobranceira à Marginal da Calheta. DRIE
- [4] Cenorgeo, 2006, Estudo Prévio e Projecto de Execução da Estabilização da Escarpa Sobranceira à Marina no Lugar de Baixo. DRIE
- [5] Cenorgeo, 2008, Estudo Geológico-Geotécnico e Estudo Prévio da Estabilização do Talude Sobranceiro à Marginal entre a Ribeira Brava e Tabua. DRIE
- [6] J.R. Ortigão e A. Sayão, 1999, “Estabilização de Taludes. Experiência Brasileira em Maciços de Solos Residuais”. Curso de Estabilização de Taludes. Experiência Brasileira em Maciços de Solos Residuais. Casos de Obra Portugueses. FEUP
- [7] Marc Panet *et al.*, 1976, “La Mécanique des Roches Appliquée aux Ouvrages do Génie Civil”, Association Amicale des Ingénieurs Anciens Élèves de l’École National des Ponts et Chaussées