

## **O FLUXO DE STA. MARINHA DO ZÊZERE (NW DE PORTUGAL): ensaio metodológico\***

**Laura Soares, Carlos Bateira e António Gomes\*\***

**Resumo:** O fluxo lamacento que ocorreu em Sta. Marinha do Zêzere em 26 de Janeiro de 2001, processou-se ao longo de uma vertente com um declive médio aproximado de 10°. Tal despertou o nosso interesse, uma vez que todos os movimentos de vertente previamente estudados, no contexto do Maciço Hespérico, ocorreram sob condições de declive igual ou superior a 30°. Assim, consideramos importante rever os factores que, no contexto desta unidade estrutural, parecem exercer maior influência sobre os processos de instabilidade geomorfológica em questão. Neste sentido, foram efectuados uma série de ensaios experimentais na área afectada pelo fluxo de Sta. Marinha do Zêzere, pretendendo-se compreender melhor o comportamento hidro-lógico da formação superficial envolvida no movimento. A textura, resistência à penetração, condutividade hidráulica e capacidade de infiltração constituíram alguns dos elementos analisados.

**Summary:** The mudflow that occurred in Sta. Marinha do Zêzere (NW of Portugal) in 26 January of 2001, has taken place on a gentle slope, with an average declivity of 10°. Untill that time, all the previously studied mass movements, located in the Hercynien Massif, had occurred on slopes with, at least, 30°. Thus, it's important to review the factors that, in the context of this structural unit, seems to have more influence on the processes of geomorphological instability. A serie of laboratorial and in situ tests had been implemented, with the porpouse of better understand the superficial formations hidrological behavior, in the affected area. Texture, penetrometer resistance, hydraulic conductivity and infiltration capacity, were some of the measured elements.

---

\* Este artigo contou com a colaboração do Dr. João Abreu, no levantamento e tratamento da informação relativa aos ensaios efectuados no campo.

\*\* Departamento de Geografia  
Faculdade de Letras da Universidade do Porto



## INTRODUÇÃO

Considerando que a precipitação é, provavelmente, o factor de desencadeamento dos movimentos de vertente (C. BATEIRA, L. SOARES, 1997; J. L. ZÊZERE, 1997), torna-se claro que as excepcionais condições climáticas que assolaram todo o país durante o inverno de 2000/2001, estiveram na base da ocorrência de uma série de movimentos responsáveis por graves prejuízos materiais e, principalmente, pela perda de vidas. No NW de Portugal, o inventário que rapidamente pode ser feito pela consulta de periódicos denuncia várias ocorrências importantes, para um trabalho que visa uma melhor compreensão dos factores que justificam este tipo de processos de instabilidade geomorfológica no contexto do Maciço Hespérico.

O movimento ocorrido em Sta. Marinha do Zêzere em 26 de Janeiro de 2001 (Figura 1), corresponde a um fluxo lamacento que se desenvolveu ao longo de uma vertente com um declive médio aproximado de 10º (Foto 1 e Figura 2), que se encontra organizada em socalcos agrícolas sobranceiros ao Ribº do Zêzere (afluente da margem direita do Douro).

O facto deste fluxo se ter desenvolvido numa área de declive moderado (YOUNG, 1972) despertou o nosso interesse, uma vez que todos movimentos de vertente previamente estudados ocorreram em vertentes com declives iguais ou superiores a 30º. Impunha-se, deste modo, não uma reavaliação dos factores que, no contexto do Maciço Antigo, parecem exercer maior influência sobre os movimentos em questão, mas tentar compreender os motivos que teriam favorecido o desenvolvimento do fluxo em causa, sob um declive tão fraco.

Nesta área e a expensas de uma forte alteração do granitóide subjacente<sup>1</sup>, associada aos processos pedogenéticos e à intervenção antró-

---

1. O granitóide desta área, corresponde a um granodiorito porfiróide, biotítico, com megacristais muito desenvolvidos, ante a sinF3 (N. FERREIRA *et al*, 1987; E. PEREIRA, 2000).

pica, desenvolveu-se um solo relativamente espesso, cujas características poderão eventualmente justificar a ocorrência do movimento.

Neste sentido, foram efectuados vários ensaios experimentais com o objectivo de avaliar as características do terreno afectado, nomeadamente ao nível da textura, resistência à penetração, condutividade hidráulica e capacidade de infiltração<sup>2</sup>. Estes ensaios visaram definir e compreender melhor o comportamento hidrológico da formação superficial envolvida no movimento.

## 1. TOPOGRAFIA E ASPECTOS MORFOLÓGICOS DO MOVIMENTO

Como foi já referido, o movimento de Sta. Marinha desenvolveu-se numa vertente situada na margem esquerda do Rib<sup>o</sup> do Zêzere, ao longo de um pequeno valeiro assimétrico. Os declives dominantes nesta área situam-se na classe dos 5<sup>o</sup> a 10<sup>o</sup>, embora o sector situado a montante evidencie pequenos retalhos de maior inclinação (Figura 2). No total, o fluxo percorreu aproximadamente uma distância de 230 m, entre o topo da cicatriz e a área de deposição dos materiais, vencendo um desnível de cerca de 40 m ao longo de uma superfície cujo declive médio corresponde a 9,8<sup>o</sup> (Figura 3).

Centrando a nossa atenção sobre a área da cicatriz principal, podemos observar, com base no levantamento topográfico de pormenor efectuado<sup>3</sup>, que ela apresenta uma forma irregular, com um comprimento de cerca de 70 m e uma largura máxima que ronda os 14 m (Figura 4). O aspecto complexo e irregular da cicatriz parece traduzir a alternância de áreas mais e menos compactas, a que se associam movimentos posteriores, principalmente desabamentos de material desagregado das paredes laterais e abatimento de blocos. Refira-se ainda que as áreas onde se regista maior recuo da cicatriz, coincidem com os pontos onde foi possível observar, nos dias imediatamente após a ocorrência do movimento, fluxos contínuos de água, como que “nascentes” associadas à passagem do escoamento interno a superficial.

As variações em termos da altura da cicatriz são igualmente notórias, não ultrapassando 1m na área mais a montante. No entanto, este valor acentua-se para jusante (atingindo nalguns sectores cerca de 4 m), mas, em média, é de 2,5 m. Esta irregularidade da altura da cicatriz, deve-se, em parte, à variabilidade vertical e lateral da alteração do granitóide subjacente, mas, também, à organização em socalcos da área afectada. Com efeito, o levantamento topográfico efectuado, evidencia

---

2. As especificações técnicas relativas ao equipamento utilizado nestes ensaios, encontram-se descritas pormenorizadamente em M. SILVÉRIO, 2000.

claramente a localização dos seus muros de suporte, dividindo a área em três patamares. E recorde-se que o movimento se processa a partir da ruptura do muro do patamar situado mais a jusante, regredindo progressivamente e, em consequência, promovendo a destruição dos dois muros que sustentavam os socacos superiores<sup>4</sup>.

## 2. OS DADOS DA PRECIPITAÇÃO

O inverno de 2000/2001, pode ser considerado como um dos mais chuvosos desde que há registos no país. Com efeito, principalmente nos meses de Dezembro, Janeiro e Março, ocorreram valores de precipitação que se assumem verdadeiramente excepcionais<sup>5</sup>.

Relativamente à área de Sta. Marinha do Zêzere, a informação meteorológica disponível é escassa e descontínua. Com efeito, das estações mais próximas, nomeadamente Sta. Marinha do Zêzere, Baião-Covelas e Baião-Ancede, todas sob a égide da *Direcção Regional da Agricultura de Entre Douro e Minho* (DRAEDM), apenas a última se encontra ainda em funcionamento. É também a única estação para a qual existe uma série de dados relativamente completa (se bem que só para o período compreendido entre Agosto de 1991 e Setembro de 2001), pelo que foram utilizados os seus registos na análise da precipitação como factor desencadeante do movimento<sup>6</sup>.

Com base na informação disponibilizada, podemos afirmar que o ano 2000/2001 foi também excepcional, nesta área, em termos dos valores de precipitação (Quadro 1). Com efeito, registaram-se 1813,3 mm de chuva, o que, para a série de 10 anos disponível, corresponde ao máximo até então observado. Acompanhando o panorama nacional, os

- 
3. Este levantamento foi efectuado no terreno com um teodolito, permitindo a elaboração de um mapa hipsométrico bastante pormenorizado (a equidistância entre curvas é de 25 cm), que serviu de base à elaboração do esboço morfológico.
  4. Embora não seja possível fazer uma reconstituição exacta da forma como se processou o fluxo, uma vez que ninguém assistiu ao seu desenvolvimento, os habitantes locais referem que, no meio da tempestade que assolava a área, se ouviram nitidamente como que três “explosões” sequenciais, que provavelmente corresponderam à ruptura dos muros de suporte.
  5. Sobre este assunto consultar A. MONTEIRO (2001), encontrando-se ainda informação sobre os valores de precipitação de algumas estações meteorológicas do país no *site* do IM, na Divisão de Clima e Alterações Climáticas (<http://www.meteo.pt/InformacaoClimatica/Index1.html>).
  6. Os dados relativos à estação referida foram-nos gentilmente cedidos pela Prof. Ana Monteiro, no âmbito do projecto *Atlas Agroclimatológico do Entre Douro e Minho* (PRAXIS XXI P/GEO/14260/1998) que coordena.

meses de Dezembro, Janeiro e Março são os que detêm os valores mais elevados, bastante acima das médias assinaladas para os meses em questão.

Se restringirmos a nossa análise aos dados de precipitação mensal referentes ao período compreendido entre Setembro e Janeiro de 2000/2001, que têm implicações mais directas sobre o fluxo ocorrido, é possível desde logo destacar algumas observações que acentuam a importância deste factor no desencadear do movimento. Assim, comparando os valores de precipitação mensal registados ao longo da série disponível com os dados de 2000/2001, constata-se que, embora os meses de Setembro e Outubro apresentem valores de precipitação inferiores à média e mais baixos relativamente a máximos atingidos (respectivamente, em 1999 e 1993), a partir de Novembro o cenário altera-se: os 274,5 mm de chuva observados durante este mês ultrapassam já a média, apesar de ficarem ainda longe do máximo de 392,5 mm registado em 1997. Dezembro e Janeiro já se assumem como verdadeiramente excepcionais: para além dos totais mensais, respectivamente de 361 mm e 336 mm, corresponderem a mais do dobro do valor médio de precipitação, constituem, igualmente, os máximos até então registados.

Quadro 1 – Dados de precipitação mensal e anual da estação de Ancede.

Os dados em destaque, correspondem aos valores mensais de precipitação ocorridos entre Setembro e Janeiro do ano hidrológico de 2000/2001, assinalando-se ainda os valores de Dezembro e Janeiro, que correspondem a máximos mensais da série analisada.

Ano Hid	OUT	NOV	DEZ	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	TOTAL
1991/1992	56,0	135,0	35,0	68,0	8,0	54,0	53,0	54,0	40,5	0,0	49,5	31,0	584,0
1992/1993	149,0	77,5	139,5	22,5	6,0	24,0	139,5	107,5	33,0	0,0	0,0	95,0	793,5
1993/1994	291,0	89,0	23,5	189,0	109,5	4,5	36,5	127,5	9,0	5,0	19,0	26,0	929,5
1994/1995	103,0	105,0	92,0	99,5	121,5	24,0	0,0	69,5	9,0	15,5	0,0	74,0	713,0
1995/1996	53,4	188,0	241,0	265,5	144,5	64,0	39,5	71,5	4,5	7,0	1,5	80,5	1160,9
1996/1997	63,5	166,5	175,5	157,5	15,5	0,0	52,4	144,5	68,5	36,0	52,0	5,0	936,9
1997/1998	109,0	392,5	239,5	115,5	21,0	39,5	297,5	74,5	28,5	6,5	0,0	99,5	1423,5
1998/1999	34,5	73,0	84,0	53,0	32,5	104,5	112,5	105,0	4,0	7,0	75,0	186,0	871,0
1999/2000	193,0	22,0	167,5	17,0	17,0	32,5	250,5	73,0	10,5	36,0	5,0	<b>47,5</b>	871,5
2000/2001	<b>96,5</b>	<b>274,5</b>	<b>361,0</b>	<b>336,0</b>	<b>170,0</b>	<b>377,3</b>	40,0	77,0	4,0	40,0	22,5	14,5	<b>1813,3</b>
<b>Nº valores</b>	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10
<b>Min.</b>	34,5	22,0	23,5	17,0	6,0	0,0	0,0	54,0	4,0	0,0	0,0	5,0	584,0
<b>Máx.</b>	291,0	392,5	<b>361,0</b>	<b>336,0</b>	<b>170,0</b>	<b>377,3</b>	297,5	144,5	68,5	40,0	75,0	186,0	<b>1813,3</b>
<b>Média</b>	114,9	152,3	<b>155,9</b>	<b>132,4</b>	<b>64,6</b>	<b>72,4</b>	102,1	90,4	21,2	15,3	22,5	65,9	<b>1009,7</b>

Fonte: DRAEDM.

Aliás, é importante referir que, do total da precipitação observada nos meses considerados (1094 mm até à data do movimento), cerca de 62% ocorreram precisamente durante os meses de Dezembro e Janeiro (Quadro 2).

Quadro 2 – Precipitação total e número de dias com precipitação

	Precipitação total		Precipitação	
	(mm)	%	Nº dias	%
SETEMBRO	47,5	4,3	6	6,9
OUTUBRO	96,5	8,8	12	13,8
NOVEMBRO	274,5	25,1	22	25,3
DEZEMBRO	361,0	33,0	28	32,2
JANEIRO	314,5	28,7	19	21,8
	1094	100,0	87	100,0

Assinale-se ainda que, para o mesmo período (1 de Setembro a 26 de Janeiro), choveu em 87 dos 148 dias (59%). Neste contexto, o destaque vai para os meses de Novembro e Dezembro, principalmente este último, que regista 28 dias com precipitação.

Em relação aos valores de precipitação diária (Quadro 3 e Figura 5), o que desde logo se destaca é que, no dia em que ocorreu o movimento, se registaram 73 mm de chuva, o que corresponde ao valor máximo observado, quer no período em análise, quer no contexto global da série de dez anos da estação referência. Mas, como é óbvio, este quantitativo, isoladamente, não tem significado. Mais importante para os movimentos de vertente são as sequências chuvosas, isto é, a existência de dias consecutivos de precipitação (C. BATEIRA, L. SOARES, 1995, 1997; A. PEDROSA, C. BATEIRA, L. SOARES, 1995; C. BATEIRA, 2001). Observando a Figura 5, podemos considerar que se destacam 4 sequências importantes: a primeira, entre 30 de Outubro e 8 de Novembro, correspondendo a dez dias de chuva contínua, perfazendo um total de 142 mm; a segunda, que abrange 13 dias entre 28 de Novembro e 10 de Dezembro, com um total de 254,5 mm; a terceira e mais importante, entre 17 de Dezembro e 6 de Janeiro (21 dias consecutivos), em que choveram 266,5 mm; finalmente uma sequência mais pequena, de 6 dias, entre 21 e 26 de Janeiro, mas em que se registaram 168 mm de chuva.

Note-se que estas sequências totalizam 831 mm, se bem que intercaladas por alguns dias sem precipitação. No entanto, é importante assinalar que, desde 30 de Outubro de 2000 até à data do movimento, o que perfaz 72 dias e 973 mm de precipitação (quase o total da precipitação acumulada, de 1094 mm, desde 1 de Setembro de 2000 até 26 de Janeiro de 2001), apenas em 17 dias não choveu. Mais ainda: a sucessão máxima de dias secos corresponde a dois episódios de três dias (9 a 11 de Novembro e 12 a 14 de Janeiro), mas ambos antecedidos por valores de precipitação significativos. O mais frequente é a intercalação de um dia seco entre episódios chuvosos, mas apenas se

Quadro 3 – Valores de precipitação entre Setembro e Janeiro

Dias	Setembro	Outubro	Novembro	Dezembro	Janeiro
1	0,0	4,0	18,0	18,0	24,0
2	0,0	0,0	2,0	5,0	2,0
3	0,0	0,0	7,0	8,0	21,0
4	0,0	0,0	20,0	28,0	17,5
5	0,0	0,0	47,0	15,0	38,0
6	0,0	0,0	13,0	42,0	4,0
7	0,0	0,0	10,0	26,0	0,0
8	0,0	0,0	2,0	14,0	5,0
9	0,0	3,0	0,0	16,0	4,5
10	0,0	18,0	0,0	3,0	8,0
11	0,0	27,0	0,0	0,0	3,0
12	0,0	2,0	21,0	7,0	0,0
13	0,0	0,0	7,0	13,0	0,0
14	0,0	3,5	0,0	6,0	0,0
15	0,0	0,0	1,0	0,0	4,0
16	0,0	0,0	2,0	0,0	0,0
17	0,0	0,0	0,0	2,0	6,5
18	6,0	7,0	0,0	2,0	9,0
19	0,0	1,0	3,0	6,0	0,0
20	0,0	6,0	0,0	2,0	0,0
21	0,0	0,0	2,0	4,5	2,0
22	0,0	0,0	7,0	3,0	6,0
23	2,0	0,0	2,0	2,0	37,0
24	0,0	0,0	17,0	9,0	27,0
25	0,0	0,0	12,0	16,5	23,0
26	0,0	0,0	2,0	24,0	73,0
27	2,5	0,0	0,0	18,0	17,0
28	23,0	2,0	10,0	18,0	4,5
29	2,0	0,0	4,5	38,0	0,0
30	0,0	13,0	65,0	2,0	0,0
31		10,0		13,0	0,0
Total	47,5	95,5	274,5	361,0	336,0
Máximo	23,0	27,0	65,0	42,0	73,0

Data movimento

registaram 6 dias nesta situação, enquanto a existência de dois dias consecutivos sem precipitação se resume a três episódios.

Tendo em conta esta análise, parece-nos evidente a influência que a precipitação exerceu sobre o movimento de Sta. Marinha do Zêzere, promovendo uma progressiva saturação hídrica do solo. Vimos que, praticamente, desde 30 de Outubro de 2000, a precipitação foi abundante e persistente, atingindo valores significativamente elevados em alguns dias. Perante esta situação, não nos parece que o reduzido número de dias secos, que, para além disso, são intercalados, fosse

suficiente para reequilibrar a capacidade de infiltração e absorção de água pelo solo.

Neste contexto, parece-nos claro que sequências de períodos de precipitação abundante e continuada, condicionam fortemente o desencadear destes processos de instabilidade geomorfológica.

### **3. CARACTERÍSTICAS DO SOLO NA ÁREA AFECTADA PELO FLUXO**

Vimos já que o fluxo de Sta. Marinha do Zêzere se desenvolveu num campo agrícola organizado em socalcos, separados pelos habituais muros de suporte que caracterizam a paisagem destas áreas do Entre Douro e Minho (Foto 2). Estes muros foram parcialmente destruídos na sequência do movimento e o seu material incorporado no seio da massa essencialmente lamacenta do fluxo. Dos três socalcos afectados, apenas o que se situava mais a montante e que corresponde à parte superior da cicatriz, tinha sido lavrado recentemente. No entanto, o segundo patamar, situado na sua margem direita, evidenciava também remeximento e um escasso coberto vegetal.

De acordo com o sistema de classificação dos solos da FAO-UNESCO<sup>7</sup>, o solo da área de Sta. Marinha pode, à partida, ser integrado no grupo de referência dos Antrossolos (Anthrosols, AT). De acordo com a definição apresentada, bastante ampla na nossa opinião, considera-se que são solos formados ou profundamente modificados pelo Homem, envolvendo adição de matéria orgânica ou desperdícios domésticos, rega ou cultivo. Resultam, assim, da actuação do que se pode considerar processos antropedogenéticos, que envolvem, nomeadamente: trabalhos profundos associados, por exemplo, à formação de socalcos, fertilização intensiva de origem orgânica ou inorgânica, contínua aplicação ou adição de materiais, incluindo transferência de solos de locais próximos, rega, associada a culturas de regadio, susceptível de fornecer ao solo quantidades significativas de sedimentos finos e, eventualmente, promover uma compactação da sua superfície. Normalmente o horizonte superficial é o mais afectado, podendo ainda estar intacta, a alguma profundidade, a diferenciação de horizontes.

A área onde ocorreu o fluxo cumpre de forma clara alguns destes requisitos, principalmente os que se relacionam com as movimentações de terra e nivelamentos associados à elaboração dos socalcos. Mas, para tentarmos obter informações mais precisas sobre as características do solo nesta área, procurámos, ao longo da cicatriz do fluxo, e

---

7. *World Reference Base for Soil Resources*. Documento *online*, disponível em <http://www.fao.org/DOCREP/003/Y1899E/y1899e19.htm>.

considerando a sua irregularidade em termos de espessura (Fotos 3 e 4), seleccionar um sector onde pudéssemos observar um perfil o mais completo possível. Ou seja, um sector que nos permitisse analisar o solo no seu conjunto, desde a sua superfície até ao que habitualmente se designa material originário ou rocha mãe.

Definido o perfil mais adequado, foi efectuada uma descrição dos seus aspectos macromorfológicos, considerando características observáveis que nos permitissem avaliar a profundidade do solo, a existência ou não, ao longo do perfil, de variações significativas de cor, de textura e consistência dos materiais (viabilizando a definição de horizontes), bem como a forma como se materializam os limites entre esses possíveis horizontes; seguidamente determinámos a sua espessura e disposição e, para cada horizonte, foram avaliadas características que, como a textura, condicionam a capacidade de infiltração, armazenamento e circulação da água no solo. Neste sentido, foram recolhidas algumas amostras em segmentos verticais, determinando-se a sua granulometria. Embora fosse importante efectuar outros ensaios laboratoriais para uma caracterização mais exaustiva, consideramos que a distribuição granulométrica, directamente relacionada com a textura dos materiais, para além de ser uma determinação básica é a que melhor nos permite inferir outras propriedades e características associadas ao uso e comportamento do solo (J. PORTA, M. LÓPEZ-ACEVEDO, C. ROQUERO, 1994).

### 3.1. Descrição do perfil analisado

No sector seleccionado, o solo apresenta uma espessura aproximada de 2 metros, que marca o seu limite inferior, e a partir do qual aflora a rocha mãe. Considerando os elementos acima referidos, pensamos que é possível definir a existência de três horizontes com características diferenciadas (Figura 6). Os limites entre estes horizontes nem sempre são nítidos e regulares, com excepção óbvia na transição basal para o afloramento rochoso (contacto lítico), sendo igualmente variável a sua espessura.

O primeiro horizonte definido, que designamos por **A** (a que se pode associar o subíndice **p**, aplicado a qualquer horizonte superficial que tenha sido lavrado ou perturbado por qualquer outro tipo de actividade antrópica), desenvolve-se até uma profundidade aproximada de 80 cm. Não é um horizonte homogéneo, o que em parte se deve ao facto de ser o que sofre maiores modificações associadas ao trabalho agrícola. Verifica-se que possui um A0 com cerca de 10 cm de espessura, onde é visível, pela coloração mais escura, uma maior concentração de matéria orgânica. Constatamos ainda que os primeiros 30 cm

apresentam um teor de finos (que aqui consideramos correspondente à fracção agrupada sob a designação silte e argila, abrangendo todo o material de dimensão inferior a 0,063 mm) superior a 30%, percentagem que diminui gradualmente até à transição para o horizonte seguinte. Aliás, se tivermos em conta as análises granulométricas efectuadas, este panorama torna-se mais claro (Quadros 4, 5 e 6 e Figura 7).

Em primeiro lugar, parece-nos importante referir que em todas as amostras é nítido o domínio da fracção arenosa, com percentagens sempre superiores a 50%. Neste contexto, observa-se ainda que o teor de areia muito grosseira é sempre mais importante, com valores que variam de 13,8% em FIII a 19,5% em B, diminuindo depois progressivamente as percentagens, até à areia muito fina. Note-se ainda que entre 0,5 e 1m se regista um aumento das fracções arenosa (62,1%) e de areão (13,4%), enquanto se assiste à já referida diminuição dos finos (20,3%), significativa principalmente se a compararmos com FIII. Efectivamente, considerando a sequência de amostras FIII a B, observa-se um progressivo decréscimo dos elementos mais finos, num total de quase 20%<sup>8</sup>.

Quadros 4, 5 e 6 – Distribuição granulométrica das amostras.

Na Figura 6, a escala de profundidade ilustra os sectores onde foram recolhidas as amostras

<b>F III (0-0,3 m)</b>	(mm)	Peso total		Peso/fracção		% acumuladas
		(g)	(%)	(%)	(%)	
Silte e argila	0,063	80,81	39,4	39,4		39,4
Areia	muito fina	0,063-0,090	5,96	2,9		42,3
	fina	0,090-0,125	6,82	3,3	6,2	45,6
	fina	0,0125-0,180	8,32	4,1		49,7
		0,180-0,250	7,98	3,9	8,0	53,6
	média	0,250-0,355	10,12	4,9		58,5
		0,355-0,500	9,73	4,7	9,7	63,3
	grosseira	0,500-0,710	14,14	6,9		70,2
		0,710-1,000	12,45	6,1	13,0	76,2
	muito grosseira	1,000-1,400	14,57	7,1		83,3
		1,400-2,000	13,62	6,6	13,8	90,0
Areão	2,000-2,800	9,60	4,7	7,3	94,7	
	2,800-4,000	5,33	2,6		97,3	
Seixo	>4,000	5,51	2,7	2,7	100,0	

8. As amostras retiradas no perfil analisado aparecem sob a designação de A, B, C e D, correspondendo a colheitas efectuadas em segmentos de 0,5 m. A amostra FIII, embora não pertencendo ao perfil em questão, foi obtida num sector contíguo, aproveitando-se a coluna de 30 cm de solo que foi necessário retirar para efectuarmos o ensaio de condutividade hidráulica com o permeâmetro de Guelph.

Quadros 4, 5 e 6 – (continuação)

<b>A (0-0,5 m)</b>	(mm)	Peso total		Peso/fracção		%
		(g)	(%)	(%)	(%)	acumuladas
Silte e argila	0,063	4,37	28,2	28,2		28,2
Areia	muito	0,063-0,090	4,37	2,9		31,1
	fina	0,090-0,125	5,15	3,4	6,3	34,5
	fina	0,0125-0,180	6,71	4,4		38,9
		0,180-0,250	6,37	4,2	8,6	43,0
	média	0,250-0,355	8,04	5,3		48,3
		0,355-0,500	7,68	5,0	10,3	55,3
	grosseira	0,500-0,710	10,77	7,1		60,4
		0,710-1,000	9,56	6,3	13,4	66,7
	muito	1,000-1,400	12,03	7,9		74,6
		1,400-2,000	13,38	8,8	16,7	83,3
Areão	2,000-2,800	11,84	7,8	12,7	91,1	
	2,800-4,000	7,48	4,9		96,0	
Seixo	>4,000	6,07	4,0	4,0	100,0	

Quadros 4, 5 e 6 – (continuação)

<b>B (0,5-1 m)</b>	(mm)	Peso total		Peso/fracção		%
		(g)	(%)	(%)	(%)	acumuladas
Silte e argila	0,063	28,85	20,3	20,3		20,3
Areia	muito	0,063-0,090	4,47	3,1		23,4
	fina	0,090-0,125	5,34	3,8	6,9	27,2
	fina	0,0125-0,180	6,86	4,8		32,0
		0,180-0,250	6,42	4,5	9,4	36,6
	média	0,250-0,355	8,18	5,8		42,3
		0,355-0,500	7,82	5,5	11,3	62,1
	grosseira	0,500-0,710	11,47	8,1		55,9
		0,710-1,000	10,04	7,1	15,2	63,0
	muito	1,000-1,400	13,29	9,4		72,4
		1,400-2,000	14,32	10,1	19,5	82,4
Areão	2,000-2,800	10,76	7,6	12,7	90,0	
	2,800-4,000	8,22	5,8		95,8	
Seixo	>4,000	5,91	4,2	4,0	100,0	

Foi a partir destas observações que definimos, no corte esquemático interpretativo da Figura 6, a heterogeneidade do horizonte **A**. E esta heterogeneidade está concertada associada aos processos edafoge-

néticos, influenciados pelo Homem, que actuam nos solos. Apelando aos conceitos teóricos, o que parece estar em causa neste contexto é uma sucessiva translocação de materiais ao longo do perfil (alteração da sua posição em sentido vertical), que vão migrar e eventualmente acumular-se num outro horizonte. Ou seja, estaríamos perante o que J. PORTA, M. LÓPEZ-ACEVEDO, C. ROQUERO (1994) designam por processo de eluviação/iluviação. Efectivamente, o horizonte **A** parece estar a sofrer uma progressiva perda dos finos (eluviação), que parecem acumular-se no horizonte subjacente (iluviação). Se tal se verifica, obviamente que tem implicações no comportamento hidrológico do solo (nas condições de infiltração, circulação e armazenamento de água) e, conseqüentemente, no contexto dos factores que motivaram a ocorrência do movimento.

As Figuras 10 e 11 e permitem-nos observar de forma mais clara as variações texturais que se registam nos horizontes analisados.

O segundo horizonte considerado, que se desenvolve aproximadamente a partir dos 80 cm (limite inferior provável definido para o horizonte **A**), parece corresponder a um **B**<sup>9</sup>. Distingue-se nitidamente de **A**, até pela coloração mais forte que evidencia (típica em horizontes iluviais) e regista um aumento do teor de silte e argila (29,5%), praticamente correspondente à diferença entre as percentagens observadas nas amostras A e B (Quadro 7 e Figura 8). A fracção arenosa continua a ser dominante (54,3%), embora tenha diminuído em relação ao horizonte suprajacente. O limite inferior deste horizonte não é fácil de definir, embora no corte esquemático da Figura 6 tenha sido situado a uma profundidade de 1,5m. Nesta definição pesaram, entre outras, variações texturais relativamente a um nível subjacente. Tendo em conta a existência, em alguns sectores, de uma maior concentração de fragmentos de granodiorito, considerou-se ainda que tal poderia marcar a transição para o que habitualmente se designa por horizonte **C**. No entanto, não existe um limite basal nítido e contínuo, verificando-se antes uma passagem difusa em que as características dos materiais se vão gradualmente modificando.

O terceiro horizonte, definido no corte esquemático a partir de uma profundidade de 1,5m, não apresenta, pelo menos na parte mais superficial, diferenças significativas relativamente ao anterior. No entanto, o teor de finos sofre um decréscimo, enquanto aumenta a fracção arenosa (59,2%) e a do material de dimensão superior a 4 mm (Quadro 8 e Figura 9). Uma das suas características mais interessantes,

---

9. Eventualmente poderia corresponder a um **Bt**, subíndice geralmente aplicado quando se assiste a uma acumulação de argila iluviada. No entanto, não dispomos de informação suficiente para o afirmar.

Quadro 7 – Dados relativos à granulometria do horizonte B

<b>C (1-1,5 m)</b>	(mm)	Peso total		Peso/fracção		% acumuladas	
		(g)	(%)	(%)	(%)		
Silte e argila	0,063	59,24	29,5	29,5		29,5	
Areia	muito fina	0,063-0,090	5,82	2,9		32,4	
	fina	0,090-0,125	6,71	3,3	6,2	35,7	
	fina	0,0125-0,180	8,51	4,2	8,3	40,0	
		0,180-0,250	8,20	4,1		44,1	
	média	0,250-0,355	10,53	5,2	10,3	54,3	49,3
		0,355-0,500	10,06	5,0			54,3
	grosseira	0,500-0,710	14,59	7,3	13,7	61,6	
		0,710-1,000	12,91	6,4		68,0	
	muito grosseira	1,000-1,400	15,94	7,9	15,8	76,0	
		1,400-2,000	15,74	7,8		83,8	
Areão	2,000-2,800	12,58	6,3	10,9	90,1		
	2,800-4,000	9,27	4,6		94,7		
Seixo	>4,000	10,48	5,2	5,2	100,0		

Quadro 8 – Dados relativos à granulometria do horizonte B

<b>D (1,5-2 m)</b>	(mm)	Peso total		Peso/fracção		% acumuladas	
		(g)	(%)	(%)	(%)		
Silte e argila	0,063	40,67	23,6	23,6		23,6	
Areia	muito fina	0,063-0,090	5,67	3,3		26,9	
	fina	0,090-0,125	6,60	3,8	7,1	30,7	
	fina	0,0125-0,180	8,34	4,8	9,6	35,6	
		0,180-0,250	8,12	4,7		40,3	
	média	0,250-0,355	10,43	6,1	12,0	59,2	46,4
		0,355-0,500	10,27	6,0			52,3
	grosseira	0,500-0,710	14,13	8,2	15,0	60,6	
		0,710-1,000	11,70	6,8		67,4	
	muito grosseira	1,000-1,400	13,31	7,7	15,4	75,1	
		1,400-2,000	13,19	7,7		82,8	
Areão	2,000-2,800	9,11	5,3	8,6	88,1		
	2,800-4,000	5,65	3,3		91,3		
Seixo	>4,000	14,81	8,6	8,6	100,0		

reside no facto de apresentar uma aparente acumulação de carvões no seio de uma massa mineral, com características próximas do afloramento rochoso que aflora a cerca de 2 m de profundidade. O facto de constituir o horizonte que estabelece a transição para a rocha mãe,

associado a um maior grau de consolidação e a um aumento do teor de fragmentos de maior dimensão, faz com que possa ser considerado um horizonte **C**.

### 3.2. A resistência do solo

A recolha de informação sobre a resistência do solo na área afectada pelo movimento, foi feita através da utilização do *Penetrómetro de Mão* da *Eijkkelkamp* (ref. 06.01.SB), que já havia sido anteriormente testado no âmbito do estudo da erosão dos solos empreendido pelo projecto de investigação *Processos Erosivos do Norte de Portugal: Definição de Áreas de Risco*<sup>10</sup>.

O levantamento foi efectuado em torno da cicatriz do movimento, incidindo sobre os três patamares ou socacos identificados, considerando uma hipotética grelha quadricular com espaçamento de 2 m. No total, obtivemos leituras em 194 pontos de amostragem, a diferentes profundidades: 5 cm, 25 cm, 50 cm e 75 cm<sup>11</sup>.

A primeira observação que nos parece importante destacar é que a resistência do solo evidencia variações significativas ao nível dos diferentes patamares, qualquer que seja a profundidade considerada (embora estas variações se atenuem à medida que esta aumenta), mas também, no contexto dos vários patamares, são encontrados valores distintos consoante os pontos de amostragem. Tal vem ao encontro do que já havíamos constatado em experiências anteriores, o torna difícil tirar ilações sobre a influência que este parâmetro exerce sobre a hidrologia dos solos (C. BATEIRA *et al.*, 2001).

No levantamento efectuado em Sta. Marinha, uma análise da variação espacial da resistência do solo, permite-nos destacar dois contrastes notórios. Com efeito, considerando os três patamares em que se subdivide a área em torno da cicatriz, verifica-se uma certa tendência para o aumento progressivo da resistência para jusante. Como seria de esperar, observa-se ainda um acréscimo dos valores em profundidade.

---

10. Este projecto foi financiado pela Fundação para a Ciência e a Tecnologia (FCT), com a referência PCSH/C/GEO/967/95 e decorreu entre 1997 e 2000.

11. As leituras foram feitas de 5 cm em 5 cm, mas, posteriormente, optamos por apresentar apenas a informação relativa aos níveis de profundidade citados, por registarem as variações mais significativas. Por outro lado, embora o penetrómetro utilizado permita leituras mais profundas, consideramos como limite os 75 cm, uma vez que na maior parte dos pontos de amostragem e por vezes a uma menor profundidade, eram já atingidos valores de resistência máxima, permitidos pelo aparelho.

Além disso, tendo em conta as áreas relativas aos patamares da margem direita e da margem esquerda da cicatriz, observa-se uma assimetria que se traduz pelo facto da primeira registar globalmente valores de resistência menores.

Analisemos com mais pormenor estes dois contrastes, que tentamos evidenciar na Figura 12.

Em relação ao aumento da resistência para jusante, parece-nos que a justificação está directamente relacionada com o uso do solo nos diferentes patamares. Já referimos, por exemplo, que apenas o primeiro patamar (situado mais a montante) tinha sido lavrado recentemente, o que se reflectiu numa remobilização do solo pelo menos nas camadas mais superficiais. Aliás, se analisarmos os dados de resistência relativos aos 28 pontos de amostragem considerados neste patamar e até 5 cm de profundidade, verifica-se uma uniformidade total dos registos: nunca é excedido o valor de 10 N/cm<sup>2</sup>, o que pode ser considerado uma resistência praticamente nula, associada ao efeito de remeximento do solo provocado pela prática agrícola e que afecta principalmente este nível superficial.

Já no segundo patamar, os valores de resistência são significativamente mais elevados a igual profundidade, com valores que variam entre 10 N/cm<sup>2</sup> e 220 N/cm<sup>2</sup>. Este patamar não tinha sido cultivado no período que precedeu o movimento, pelo que apresenta genericamente uma cobertura herbácea, pouco desenvolvida, embora o da margem direita evidenciasse algum remeximento recente e uma cobertura vegetal menos uniforme.

Em relação ao terceiro e último patamar, mais uma vez se regista um aumento significativo da resistência do solo à mesma profundidade, obtendo-se leituras que variam entre os 50 N/cm<sup>2</sup> e os 240 N/cm<sup>2</sup>. Este sector apresenta uma densa cobertura herbácea, a que já se associa, esporadicamente, vegetação principalmente do tipo subarbuscivo (Foto 5). Parece-nos claro que este tipo de ocupação, traduzindo também a ausência de prática agrícola, exerce uma influência importante sobre a resistência do solo. Como não há remeximento neste sector o solo tende a mostrar-se mais compactado, até porque a sua textura original não é afectada; por outro lado, esta compactação, que se vai traduzir por valores mais elevados de resistência, é-lhe também conferida pelo próprio intrincado de raízes da vegetação em causa e um maior teor de matéria orgânico associado.

Na Figura 13 isolamos os valores de resistência dos diferentes patamares à profundidade de 5 cm, para melhor visualizarmos o efectivo aumento dos valores para jusante. Este nível superficial é aquele que melhor demonstra esta tendência, provavelmente, porque é o mais afectado pelo uso do solo. Por outro lado, controla a capacidade de infiltração ao longo dos patamares.

Ao nível dos 25 cm, os valores de resistência do solo, em todos os patamares, altera-se significativamente: de um valor médio de  $96,3 \text{ N/cm}^2$  registado na camada superficial, passamos para  $299,4 \text{ N/cm}^2$ , constituindo a transição mais brusca.

No entanto, como seria de esperar, existem variações importantes entre os diferentes patamares (Figura 15). Note-se que, embora de forma menos evidente, continua a observar-se um aumento da resistência para jusante, embora o primeiro patamar apresente agora um valor médio mais alto ( $221,3 \text{ N/cm}^2$ ) em relação ao segundo patamar direito ( $181 \text{ N/cm}^2$ ). O terceiro patamar é o que apresenta valores médios de resistência mais elevados (próximo dos  $350 \text{ N/cm}^2$ ) e em cerca de 20% dos pontos de amostragem é já atingido o máximo de  $450 \text{ N/cm}^2$ .

Verifica-se ainda que, no conjunto da área amostrada, este é o nível onde se registam maiores discrepâncias entre os pontos de amostragem. Por exemplo, no terceiro patamar esquerdo, a diferença entre o mínimo e o máximo valor de resistência observado é de  $436 \text{ N/cm}^2$ , o que traduz uma grande irregularidade do perfil do solo.

Analisando agora o que se passa ao nível dos 50 cm de profundidade, observa-se que com excepção do primeiro e segundo patamar direito, em todos os restantes se ultrapassa um valor médio de resistência de  $400 \text{ N/cm}^2$ . Assim, a este nível mantém-se o aumento da resistência com a profundidade, mas atenua-se a sua diminuição para jusante (Figura 16). Será que tal significa que o factor uso do solo deixa de ser tão importante?

Analisemos agora o que se passa com a resistência do solo à medida que aumenta a profundidade, que, como referimos de início, denota uma tendência geral para um acréscimo progressivo (Figura 14).

É claro que mais uma vez existem diferenças entre os diversos patamares, mas começa a observar-se uma maior uniformidade no comportamento dos pontos de amostragem à escala global da área em estudo.

No entanto, o segundo patamar direito confirma agora um eventual comportamento anómalo que indiciava já a 25 cm de profundidade, com o valor médio de resistência mais baixo ( $280 \text{ N/cm}^2$ ) e com apenas 10% do total dos seus pontos de amostragem a atingirem os  $450 \text{ N/cm}^2$ . Em oposição, o primeiro patamar apresenta uma resistência média de  $373,2 \text{ N/cm}^2$  e 50% das leituras já alcançam o máximo.

O segundo e terceiro patamares da margem esquerda da cicatriz detêm agora as médias mais elevadas ( $425 \text{ N/cm}^2$  e  $427,8 \text{ N/cm}^2$ , respectivamente), enquanto que mais de 80% dos seus pontos de amostragem chegam ao valor máximo. O terceiro patamar direito tem um comportamento próximo, mas é interessante, embora pouco relevante considerando a dimensão da amostra, verificar que existem dois pontos em que a resistência diminui com a profundidade até este nível, o

que contraria a tendência geral. Salientamos apenas este aspecto porque, em áreas graníticas, não pode ser considerado um comportamento anormal: a variação lateral e vertical do estado de conservação da rocha é por vezes tão brusca, que por si só pode justificar leituras díspares da resistência mesmo em espaços contíguos. E, pela sua aparente ligação à rocha mãe, parece-nos provável que esta constatação possa ser estendida às variações texturais dos solos.

Basta-nos apenas analisar o que se passa aos 75 cm de profundidade. Em termos globais, podemos referir que o valor médio de resistência ( $401,7 \text{ N/cm}^2$ ) aumenta bastante menos do que tinha acontecido na transição dos 25 cm para os 50 cm de profundidade ( $299,4 \text{ N/cm}^2$  e  $388,7 \text{ N/cm}^2$ , respectivamente).

O segundo patamar direito continua a evidenciar um comportamento de excepção. Verifica-se que apenas 28% dos pontos de amostragem atingem o valor máximo e, para além disso, o valor médio de resistência diminuiu em relação ao nível dos 50 cm. Isso significa que a partir do nível dos 75 cm há uma certa inversão da tendência de aumento da resistência com a profundidade, o que só acontece neste patamar (Figura 17).

Os outros patamares evidenciam agora um comportamento mais próximo em relação aos valores médios e percentagem de pontos que alcançam os  $450 \text{ N/cm}^2$ , embora o primeiro registe valores um pouco mais baixos. Por outro lado, um pouco comparativamente ao que acontece no segundo patamar direito, também no primeiro foram registados cinco pontos (18% da amostra) em que a resistência diminuiu em relação ao nível dos 50 cm<sup>12</sup>.

Passaríamos agora a analisar o segundo aspecto contrastante que definimos de início: as diferenças de resistência assinaladas para os patamares da margem esquerda e direita. Será que o uso do solo, pelo menos até certa profundidade, também pode ser considerado para justificar estas diferenças?

Efectivamente, nota-se que a margem direita da cicatriz evidencia, globalmente, menores valores de resistência, tendência particularmente nítida no segundo patamar, qualquer que seja a profundidade considerada (Figura 18). Neste contexto, parece-nos que o factor uso do solo permanece válido para justificar esta diferença, pelo menos nos níveis mais superficiais.

Mas será suficiente?

Note-se que no terceiro patamar, as variações entre as margens direita e esquerda são menos visíveis, provavelmente pelo facto do

---

12. Note-se que este comportamento pode, em parte, relacionar-se com a característica variação vertical da alterabilidade dos granitóides.

coberto vegetal ser o mesmo. Neste caso, apenas a partir dos 50 cm se registam valores ligeiramente mais elevados na margem esquerda. É claro que o facto de estarmos a trabalhar com valores médios pode mascarar esta tendência, até porque é preciso não esquecer que, devido ao facto do terceiro patamar da margem direita ser mais extenso, houve um maior número de pontos de amostragem (82 pontos, contra os 37 da margem esquerda). Mas não nos parece que tal seja muito importante.

Será que para explicar as diferenças observadas entre as duas margens da cicatriz não deveremos associar ao uso do solo factores que condicionam a drenagem, como a capacidade de infiltração e a condutividade hidráulica? Estes aspectos serão abordados no ponto seguinte, mas, no entanto, gostaríamos de chamar a atenção para o esboço morfológico representado na Figura 19.

Neste esboço, tentamos reconstituir uma hipotética rede de drenagem interna, que teria ficado exposta ao longo da cicatriz após o movimento. Esta reconstituição foi elaborada no campo, alguns dias após a ocorrência, registando-se os locais de onde fluía a água ao longo da cicatriz, configurando uma pequena bacia de drenagem. Um dos aspectos mais importantes, reside no facto dos fluxos de água serem mais evidentes e em maior número na margem direita. Tal parece reflectir uma maior alimentação lateral de água proveniente da vertente mais extensa do vale, nitidamente assimétrico, onde ocorreu o movimento, mas pode também associar-se a uma mais eficaz infiltração e circulação de água no solo relativamente à que se observa na margem esquerda.

Se a capacidade de infiltração e circulação da água no solo é condicionada pela sua resistência, os valores mais baixos deste parâmetro, observados na margem direita da cicatriz, poderiam ter também contribuído para facilitar a drenagem e definir orientações preferenciais da drenagem interna, que se prolongam pelos níveis inferiores.

Por outro lado, recorde-se que a partir dos 25 cm de profundidade existe já uma vasta área onde são atingidos os limiares máximos de resistência, parecendo configurar um nível de circulação preferencial do fluxo interno. Verifica-se ainda que parece existir uma coincidência entre os locais onde o fluxo interno parece circular com maior facilidade e as “nascentes” observadas ao longo da cicatriz, reflectindo a passagem de fluxo interno a fluxo superficial.

Esta convergência do fluxo interno na margem direita e a um nível relativamente pouco profundo, associada ao aumento da resistência para jusante (dificultando a infiltração da água a níveis mais profundos) e à progressiva saturação dos solos fruto da sequência prolongada de precipitações, deve ter sido determinante para a ruptura do muro de suporte do terceiro patamar, a partir do qual se desenvolve o movimento.

Para terminar este ponto, queríamos apenas deixar expressas algumas das observações que nos parecem mais importantes.

Em primeiro lugar, o aumento dos valores de resistência do solo, observados de montante para jusante, é particularmente notório até aos 50 cm de profundidade, nível a partir do qual se atenua esta tendência. O uso do solo foi o factor que considerámos para justificar a variação registada, tendo em conta o remeximento observado no primeiro e segundo patamar direito e o conseqüente distinto coberto vegetal. Recorde-se que a este nível grande parte dos pontos de amostragem atingiam já o limite máximo de resistência (considerando o penetrómetro utilizado), com excepção, precisamente, dos patamares referidos.

Em segundo lugar, o acréscimo progressivo da resistência em profundidade era um facto já esperado que se confirmou. No entanto, este comportamento demonstra algumas irregularidades. Por exemplo, o maior aumento dos valores médios de resistência regista-se na transição dos 5 cm para os 25 cm, com uma diferença de 203,1 N/cm<sup>2</sup>; dos 25 cm para os 50 cm a variação diminui para 89,3 N/cm<sup>2</sup> e, na passagem para os 75 cm, reduz-se para 13 N/cm<sup>2</sup>. Vimos também que a 25 cm de profundidade, vários pontos de amostragem no terceiro e segundo patamar esquerdo, alcançavam já o máximo de resistência. Estes dois factos levaram-nos a admitir a probabilidade da circulação dos fluxos internos de água no solo, se efectuar com maior incidência a este nível.

Finalmente, a variação registada entre a resistência na margem direita e esquerda da cicatriz, evidenciando a primeira valores mais baixos, foi uma questão igualmente abordada. Neste caso, para explicar as diferenças observadas consideramos que ao uso do solo deveríamos associar factores condicionantes da drenagem, como a capacidade de infiltração e a condutividade hidráulica. O facto da margem direita evidenciar uma drenagem mais abundante, pode eventualmente traduzir uma maior área de alimentação (fruto da assimetria do vale), associada a uma infiltração e circulação da água mais favorável, traduzida então pelos valores mais baixos de resistência. Recorde-se, inclusivamente, que principalmente no segundo patamar direito, a resistência aumenta em profundidade até aos 50 cm, mas depois, em vários pontos de amostragem, há uma inversão da tendência. E embora em muito menor número, também existem alguns pontos no terceiro patamar direito em que se observa o mesmo facto. Tal pode eventualmente reflectir variações texturais que vão influenciar a resistência do solo, que, sendo menor, permite uma drenagem mais eficaz.

### 3.3. Capacidade de Infiltração e Condutividade Hidráulica

Os ensaios *in situ* destinados a quantificar a capacidade de infiltração e condutividade hidráulica em Sta. Marinha do Zêzere, foram efectuados com recurso ao *infiltrómetro de duplo anel* e ao *permeâmetro de Guelph*<sup>13</sup>.

Embora com algumas limitações, os dados obtidos permitem-nos retirar algumas conclusões interessantes relativamente ao comportamento hídrico do solo onde ocorreu o fluxo lamacento. No entanto, é importante referir que, o permeâmetro de Guelph, só nos permite analisar o comportamento da condutividade hidráulica até 30 cm de profundidade.

Em relação à capacidade de infiltração, os testes efectuados permitiram determinar uma taxa de infiltração variável entre 0,01 cm/minuto-0,02 cm/minuto<sup>14</sup>. Considerando estes dados, é óbvio que a capacidade de infiltração em Sta Marinha do Zêzere é bastante reduzida. E tal pode associar-se a um elevado teor de finos na camada superficial do solo, e, eventualmente, à sua compactação na área agricultada. Com efeito, referimos que nos primeiros 30 cm de solo, o teor de finos (silte e argila) era superior a 30%. É claro que podemos questionar-nos sobre as condições hídricas do solo na altura em que efectuamos o teste, o que condiciona claramente a capacidade de infiltração. Tendo em conta os dados de precipitação, sabemos que o mês de Março foi bastante pluvioso (377,3 mm), mas em Abril o total (40 mm) foi bastante inferior à média, para além de existirem vários dias sem precipitação. Assim, na altura em que procedemos ao ensaio *in situ*, o solo estaria provavelmente longe do estado de saturação. Se mesmo assim a taxa de infiltração é tão limitada, na altura em que ocorreu o fluxo

---

13. O infiltrómetro de duplo anel permite-nos determinar a taxa de infiltração de água no solo, com base no cálculo do teor de água que penetra no solo pela área do anel interior por unidade de tempo. O permeâmetro de Guelph, por sua vez, permite-nos o cálculo de três parâmetros associados à circulação de água no solo: a saturação da condutividade hidráulica que nos indica, genericamente, a capacidade que o solo tem de conduzir água nele contida, correspondendo os valores obtidos à velocidade média percorrida pela água por unidade de tempo, em dada secção do solo; a matriz do fluxo potencial, que nos indica a capacidade que o solo tem para absorver água por capilaridade; o parâmetro alfa, que se relaciona intimamente com a porosidade do solo, sendo uma relação entre os dois parâmetros anteriores, significando velocidades de circulação tanto maiores quanto maior o valor resultante.

14. Estes valores são bastante díspares dos que havíamos obtido em ensaios anteriores, em áreas distintas, em que se atingiram máximos de 1,5 cm/minuto e mínimos de 0,2 cm/minuto e, estes últimos, quase 20 minutos após o início do teste.

seria indubitavelmente muito inferior ou mesmo nula. Recorde-se, nomeadamente, que nos dias que se seguiram ao movimento, mesmo após a chuva ter parado, era ainda possível observar a transformação do fluxo interno em fluxo superficial, ao longo da cicatriz.

Em relação aos testes efectuados com o permeâmetro, parece-nos desde já importante referir que, dos 12 ensaios efectuados apenas em três foi possível realizar os cálculos necessários, principalmente devido ao facto de não ter sido possível obter um fluxo estabilizado.

Recorde-se que este equipamento implica a abertura de um buraco no solo a cerca de 30 cm de profundidade, no qual é inserido o tubo por onde é drenada a água introduzida.

Na grande maioria dos testes, principalmente na área agricultada, o nível de água no reservatório manteve-se praticamente constante ou baixou tão lentamente, que não permitiu a obtenção de resultados. É claro que tal comportamento é desde logo indiciador de que a condutividade hidráulica nesta área é pouco eficaz, traduzindo uma fraca capacidade de circulação de água no solo, factor que, conseqüentemente, vai condicionar a taxa de infiltração, reduzindo-a. Embora os resultados obtidos não permitam estabelecer uma generalização porque são muito limitados, traduzem, segundo BARDET (1997), um baixo grau de permeabilidade (Figura 20).

Por outro lado, os valores negativos reflectem a existência de descontinuidades no comportamento hidrológico, que poderão indiciar variações em profundidade da textura e estrutura do solo. O corte esquemático elaborado com base na variação da granulometria (ver ponto 3.1. e Figura 6), parece confirmar a presença, entre mais ou menos 80 cm e 1,5 m de profundidade, de uma camada onde se regista um aumento do teor de finos. Neste contexto, a camada em questão, que corresponde ao horizonte B, funcionaria como um obstáculo à movimentação vertical da água, aumentando, inclusivamente, a capacidade de retenção de água da camada superficial.

Associando esta informação aos valores de resistência do solo, podemos considerar que eles parecem reafirmar os dados relativos à condutividade hidráulica e capacidade de infiltração. Com efeito, vimos que a 25 cm de profundidade existia já uma vasta área onde eram atingidos limiares máximos de resistência, tendência que se acentua aos 50 cm.

## **CONCLUSÃO**

Tendo em conta os dados apresentados, podemos considerar que o fluxo de lama de Sta. Marinha do Zêzere, ocorreu na dependência e interligação de vários factores.

Em primeiro lugar e como salientamos no ponto 2, parece-nos claro que os valores de precipitação constituíram o factor desencadeante do movimento, promovendo uma progressiva saturação hídrica do material do substracto. Com efeito, chamamos a atenção para o facto de praticamente desde 30 de Outubro de 2000 até ao dia da ocorrência a precipitação ser abundante e persistente, não nos parecendo que o reduzido número de dias secos intercalados, fosse suficiente para reequilibrar a capacidade de infiltração e circulação da água no solo, já por si pouco eficaz. Assim, parece-nos claro que sequências de períodos de precipitação abundante e continuada, condicionam fortemente a ocorrência destes processos de instabilidade geomorfológica.

As características texturais e estruturais do solo que, como salientámos, constituem o factor que maior controle parece exercer sobre a maior ou menor facilidade de movimentação da água, associam-se à precipitação para definir o quadro de agravamento das condições “naturais” responsáveis pelo desenvolvimento do fluxo. Vimos que embora no solo da área afectada predomine a fracção arenosa em todos os horizontes, o que à partida favorece a drenagem gravitacional e se caracteriza por um menor poder de retenção da água, o teor de finos é bastante significativo na camada mais superficial, até sensivelmente os 30 cm. Tal facto, a que na área agricultada (primeiro patamar e segundo patamar direito) se associa um maior grau de compactação, é passível de reduzir bastante a capacidade de infiltração. Os próprios valores de resistência do solo parecem reafirmar esta ideia, já que verificámos que a 25 cm de profundidade vários pontos de amostragem alcançavam já o máximo de resistência. Por outro lado, vimos também que a uma profundidade aproximada de 80 cm parecia existir uma mudança na textura do solo, que os dados negativos da condutividade hidráulica parecem confirmar. Esta mudança traduz-se por uma acumulação relativa de finos, o que pode ter constituído um entrave à circulação descendente da água. Neste contexto, é provável que a circulação dos fluxos internos de água no solo fosse mais eficaz lateralmente e acima desta camada “impermeável”, justificando a abundância de “nascentes” visíveis ao longo da cicatriz do movimento, nos dias imediatos à sua ocorrência. Além disso, como a movimentação lateral da água é mais lenta que a vertical, a saturação do solo processa-se de forma mais rápida.

Há ainda que ter em conta algumas características da área em que ocorreu o fluxo. Referimos logo de início que um dos motivos que despertou o nosso interesse para o seu estudo, residia no facto de ele se ter desenvolvido numa área de declive moderado. Com efeito, movimentos previamente estudados no contexto do Maciço Antigo, apontavam no sentido de eles ocorrerem em vertentes com declives iguais ou superiores a 30°. Assim, seria importante tentar compreender

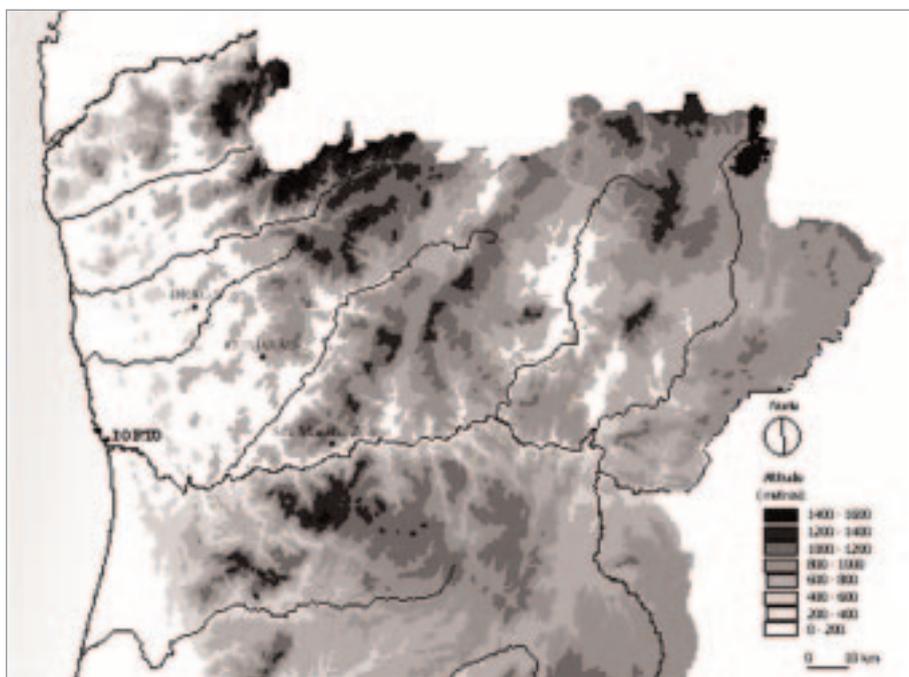
os motivos que teriam favorecido a ocorrência do fluxo naquele sector específico, quando no contexto espacial envolvente existem áreas de declive mais forte. É óbvio que os factores acima apontados assumiram um papel de destaque, mas o fraco declive da área afectada pode neste caso ter desempenhado um papel contrário ao habitual, favorecendo em vez de inibir a ocorrência do movimento. Sabemos que quando um solo está saturado a tensão matricial é praticamente nula, pelo que a gravidade é suficiente para promover uma drenagem efectiva da água em excesso. No entanto, em Sta. Marinha do Zêzere, para além de estarem reunidas condições para que a circulação da água se faça lateralmente de forma mais eficaz, até pela assimetria do vale que permite uma maior alimentação em água da margem direita da cicatriz, a movimentação vertical tende a ser mais lenta uma vez que a força de gravidade é atenuada pela fraca inclinação da área. Neste sentido, à abundante precipitação e pequena capacidade de infiltração na superfície dos patamares, bem como, uma pouco eficaz circulação de água no solo (fruto das suas características texturais e estruturais), associou-se uma diminuição da força da gravidade, responsável principal pela circulação descendente da água e sua drenagem para o exterior do perfil do solo.

## BIBLIOGRAFIA

- BARDET, Jean-Pierre (1997), *Experimental Soil Mechanics*, Nova Jersey, Prentice Hall, 583 p.
- BATEIRA, C. (2001), *Movimentos de vertente, susceptibilidade geomorfológica e Sistemas de Informação Geográfica*, Dissertação de doutoramento em Geografia Física apresentada à Faculdade de Letras da Universidade do Porto, 475 p. (policopiado).
- BATEIRA, C.; SOARES, L. (1995), “O fluxo de detritos de Cavez. Um exemplo de movimento de massa na evolução actual de vertentes”, *Actas do VI Colóquio Ibérico de Geografia*, vol. 2, 1992. Publicações da Universidade do Porto, Porto, pp. 985-998.
- BATEIRA, C.; SOARES, L. (1997), “Movimentos em massa no norte de Portugal. Factores da sua ocorrência”, *Territorium* nº 4, Coimbra, Ed. Minerva, pp. 63-77.
- BATEIRA, C.; SOARES, L.; SILVÉRIO, M.; PEDROSA, A. (2001), “Processos erosivos no Norte de Portugal: Definição de áreas de risco. Apresentação e discussão de resultados preliminares”, Porto, *Encontro sobre Metodologias de Estudo de Processos de Erosão dos Solos*, pp. 135-153.
- BRIGGS, David (1977), *Sources and methods in Geography*. Soils, Londres, Butterworths, 192 p.
- CAMPY, M.; MACAIRE, J. J. (1989), *Géologie des formations superficielles. Géodynamique-faciès-utilisation*, Paris, Masson, 433 p.

- CRAIG, F. R. (1997), *Soil Mechanics*, 6<sup>a</sup> ed, Londres, Chapman & Hall, 485 p.
- ELHAI, Henri (1968), *Biogéographie*, Paris, Armand Colin, 404 p.
- FERREIRA *et al* (1987), “Granitóides da Zona Centro Ibérica e seu enquadramento geodinâmico”, Madrid, *Libro Homenaje a L.C. Garcia Figuerola*, E. Rueda, Parte 1, Cap. 4, pp. 37-51.
- LENCASTRE, A. ; FRANCO, F.M. (1985), *Lições de Hidrologia*, Monte da Caparica, Universidade Nova de Lisboa, 451 p.
- MONTEIRO, Ana (2001), “A fragilidade de um país que ignora o seu clima: uma reflexão sobre o caos provocado pela chuva no inverno de 2000/2001 na área do Porto”, Faculdade de Letras da Universidade do Porto, Comunicação apresentada no encontro *Geomorfologia e Ordenamento do Território. Riscos Naturais: aprender com 2001*.
- PEDROSA, A.; BATEIRA, C.; SOARES, L. (1995), “Covelo do Gerês: Contributo para o estudo dos movimentos de massa no Norte de Portugal”. *Territorium*, nº 2, Coimbra, Minerva, pp. 21-32.
- PEREIRA, E. *et. al* (2000), *Carta Geológica de Portugal à escala 1:200.000, folha 2*, Lisboa, Instituto Geológico e Mineiro.
- PORTA, J.; LÓPEZ-ACEVEDO, M.; ROQUERO, C. (1994), *Edafología para la agricultura y el medio ambiente*, Madrid, Ed. Mundi-Prensa, 807 p.
- SILVÉRIO, M. (2000), *Erosão hídrica de solos na Serra da Aboboreira*, Dissertação de Mestrado em Geografia apresentada à Faculdade de Letras da Universidade do Porto, 220 p. (policopiado).
- SOARES, L.; BATEIRA, C.; TEIXEIRA, A.; ABREU, J. (2001), “Fluxo de Santa Marinha do Zêzere: ensaio metodológico”, Poster apresentado no *II Seminário sobre Geologia Ambiental*, Braga, Universidade do Minho.
- SUGUIO, Kenitiro (1980), *Rochas Sedimentares*, São Paulo, Ed. Edgard Blucher Lda, 500 p.
- WRIGHT, V. Paul (1986), *Paleosols. Their recognition and interpretation*, Oxford, Blackwell Scientific Publications, 315 p.
- YOUNG, A. (1972), *Slopes*, Edinburgh, Oliver & Boyd, 288 p.
- ZÊZERE, J. L. (1997), *Movimentos de vertente e perigosidade geomorfológica na região a norte de Lisboa*, Dissertação de doutoramento em Geografia Física apresentada à Faculdade de Letras da Universidade de Lisboa, 575 p. (policopiado).

Figura 1 – Localização de Sta. Marinha do Zêzere



Fonte: Comissão Nacional do Ambiente, Carta Administrativa de Portugal (escala 1:250.000), CNIG, Atlas do Ambiente.



Foto 1 – Fluxo de Sta. Marinha do Zêzere. Vista geral



Figura 2 – Mapa de declives da área onde ocorreu o movimento

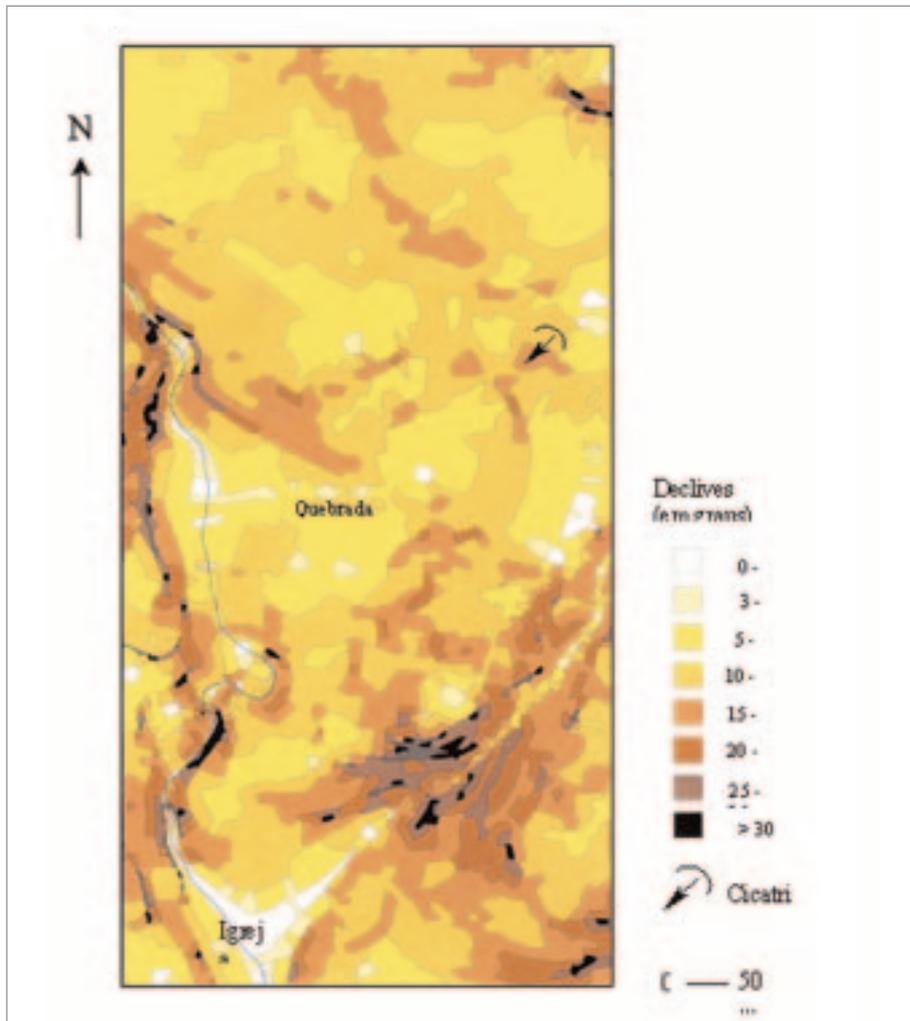


Figura 3 – Esboço morfológico geral da área abrangida pelo fluxo

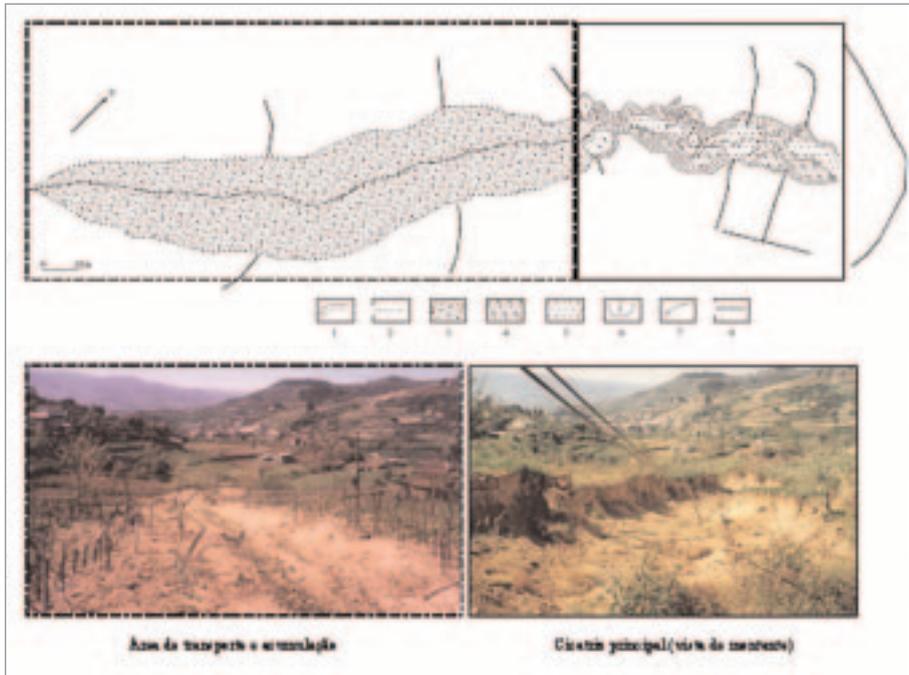
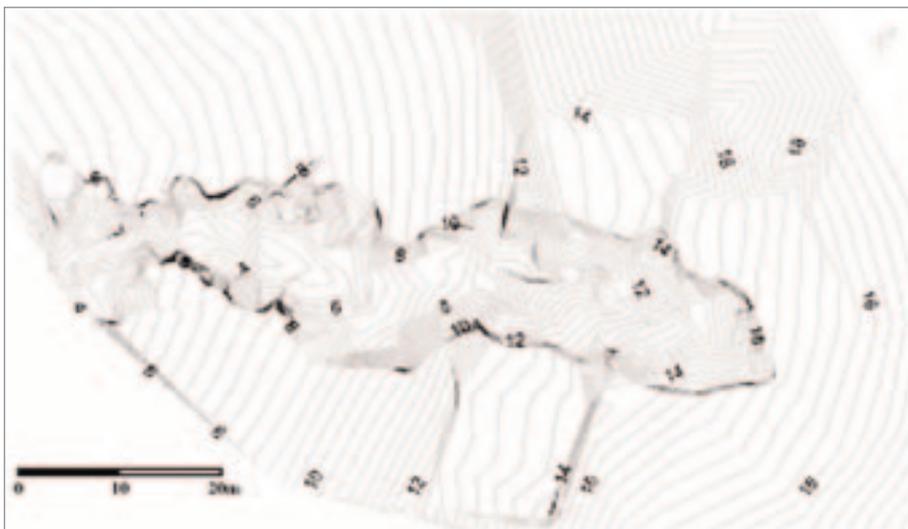


Figura 4 – Mapa de isolinhas representando o sector montante da área afectada pelo fluxo



Os números indicam alturas medidas a partir dum ponto zero, situado na parte inferior da cicatriz.

Figura 5 – Valores de precipitação diária e precipitação acumulada entre Setembro de 2000 e Janeiro de 2001, na estação de Ancede

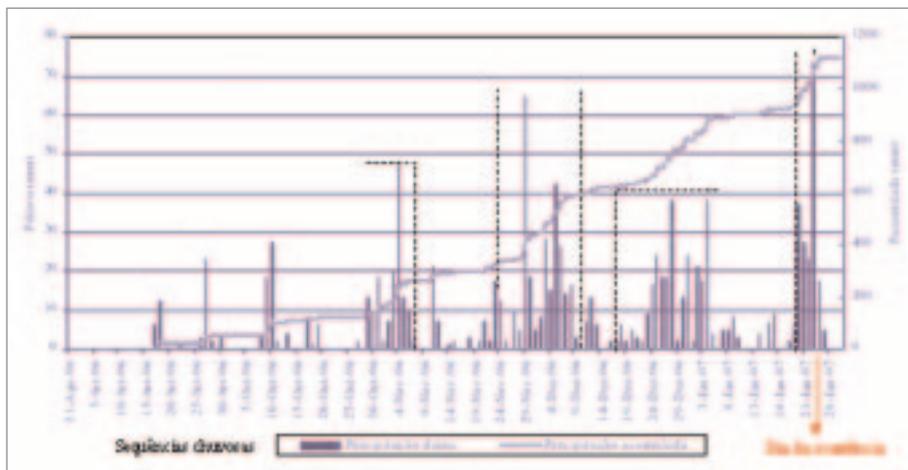


Foto 2 – Aspecto global da organização em socalcos da área afectada pelo movimento.



Fotos 3 e 4 – Cicatriz do movimento. A – sector inicial; B – sector intermédio.



Figura 6 – Fotografia e corte esquemático interpretativo do perfil de solo analisado

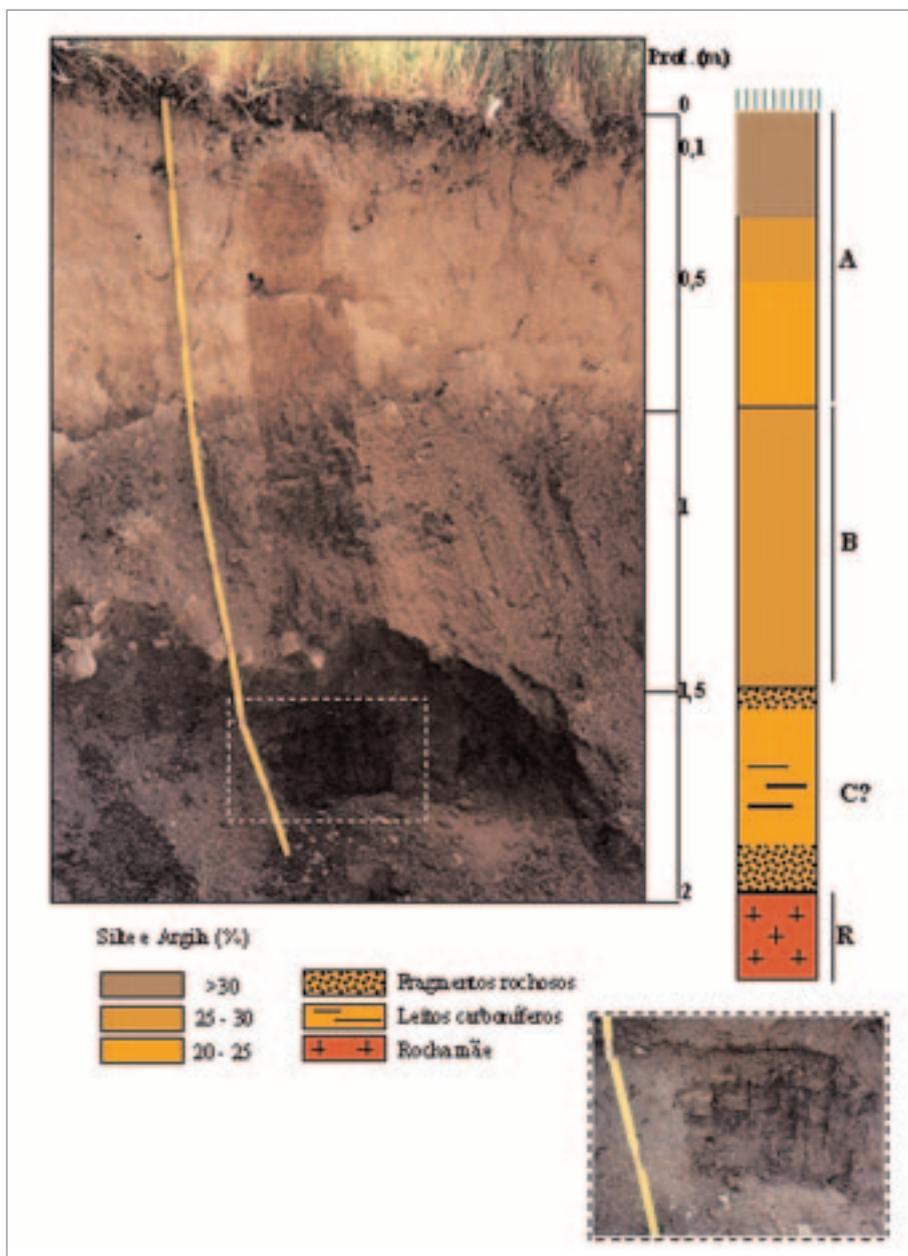


Figura 7 – Dados relativos à granulometria do horizonte B

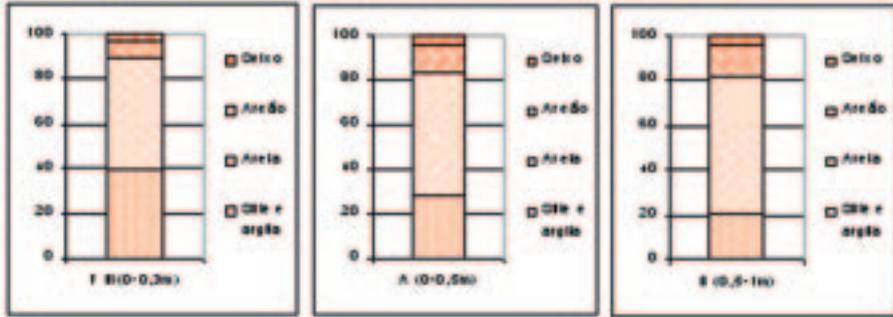


Figura 8 – Representação gráfica da distribuição granulométrica do horizonte B

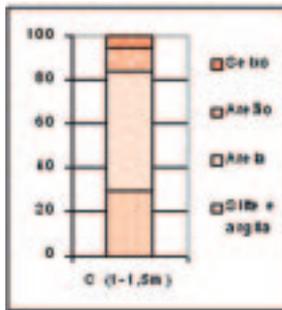


Figura 9 – Representação gráfica da distribuição granulométrica do horizonte D

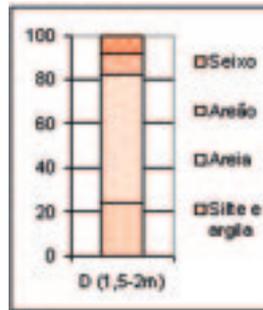


Figura 10 – Variação da granulometria com a profundidade.

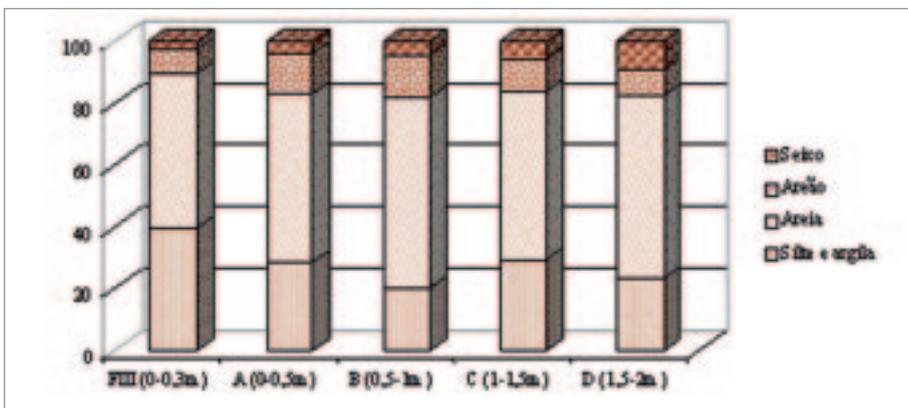


Figura 11 – Curvas granulométricas das amostras analisadas

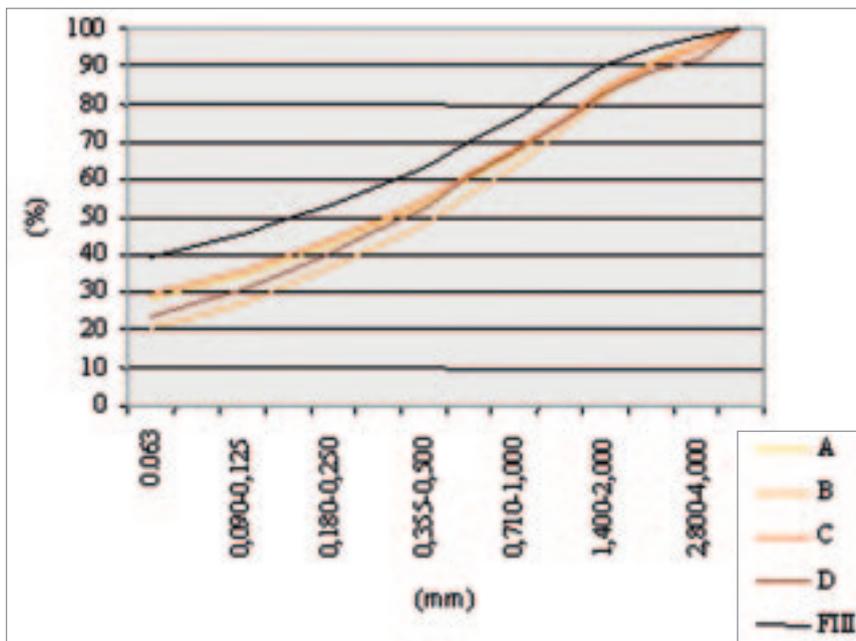
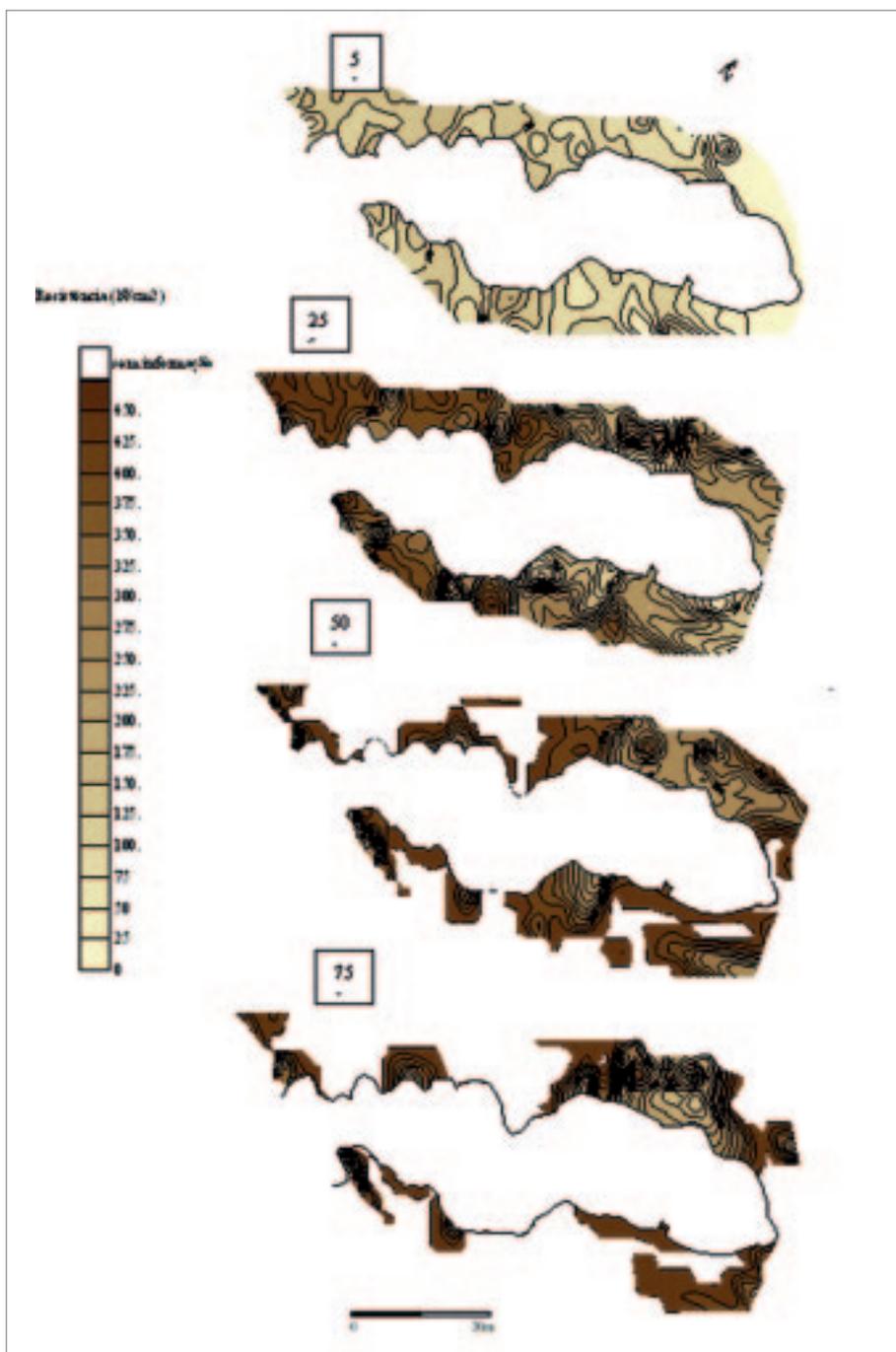


Figura 12 – Variação da resistência do solo à profundidade de 5, 25, 50



Pontos de amostragem em que, a dada profundidade, foi excedido o máximo valor de

Foto 5 – Vista geral dos patamares em torno da cicatriz do movimento. Note-se, principalmente, as características da vegetação no terceiro patamar.

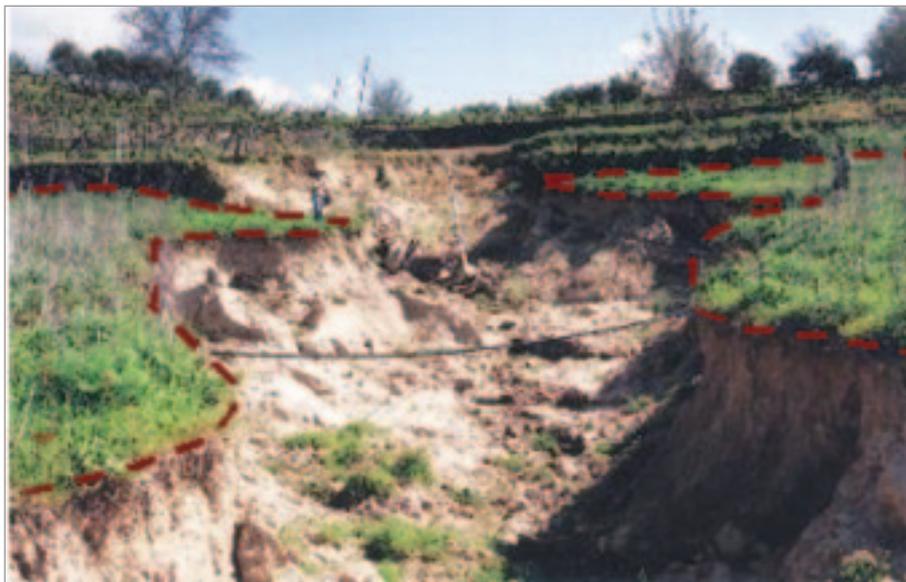


Figura 13 – Valores mínimo, máximo e média da resistência do solo nos diferentes patamares, a 5 cm de profundidade

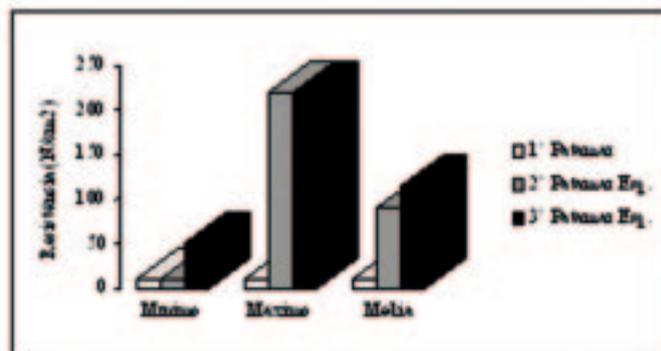
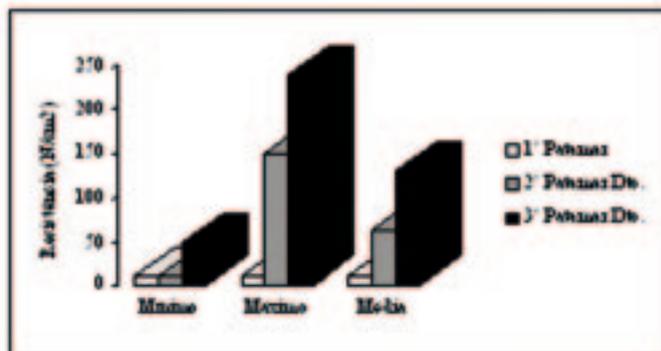


Figura 14 – Variação dos valores médios de resistência do solo em profundidade

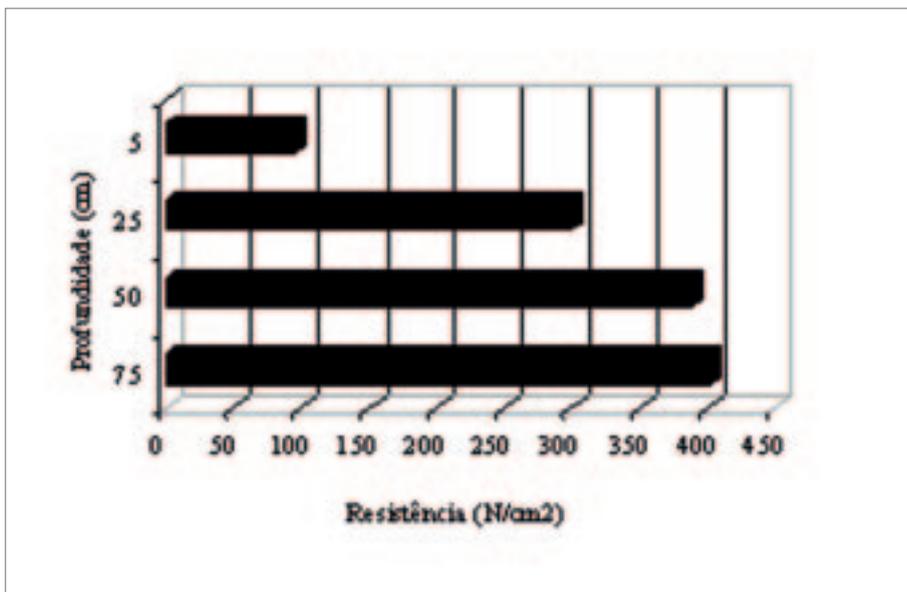


Figura 15 – Variação dos valores máximo, mínimo e média da resistência do solo a 25 cm de profundidade

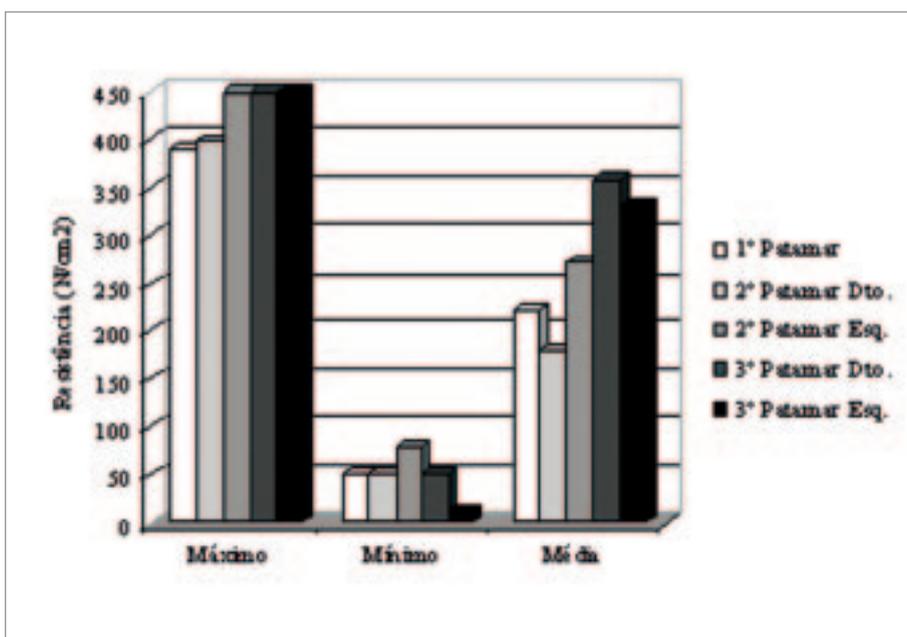


Figura 16 – Variação dos valores máximo, mínimo e média da resistência do solo a 50 cm de profundidade

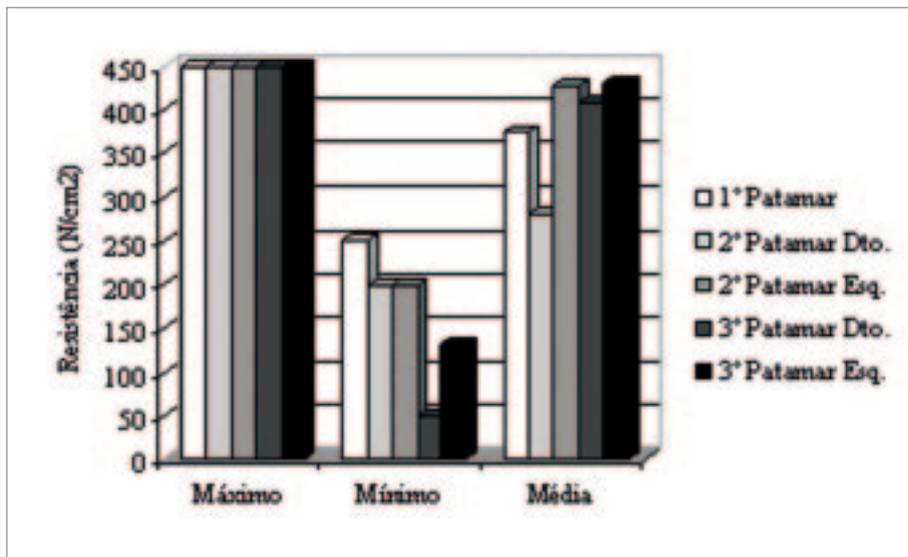


Figura 17 – Valores médios da resistência em profundidade, nos vários patamares

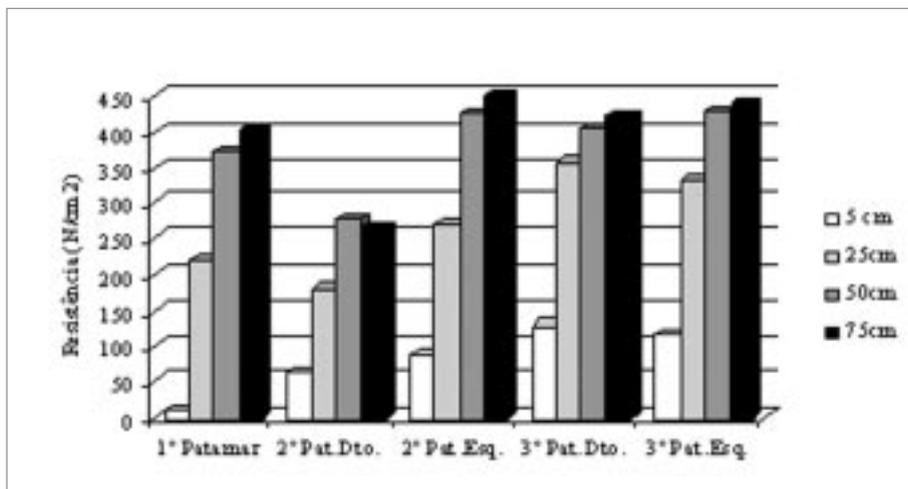


Figura 18 – Variação da resistência no segundo e terceiro patamares das margens direita e esquerda da cicatriz

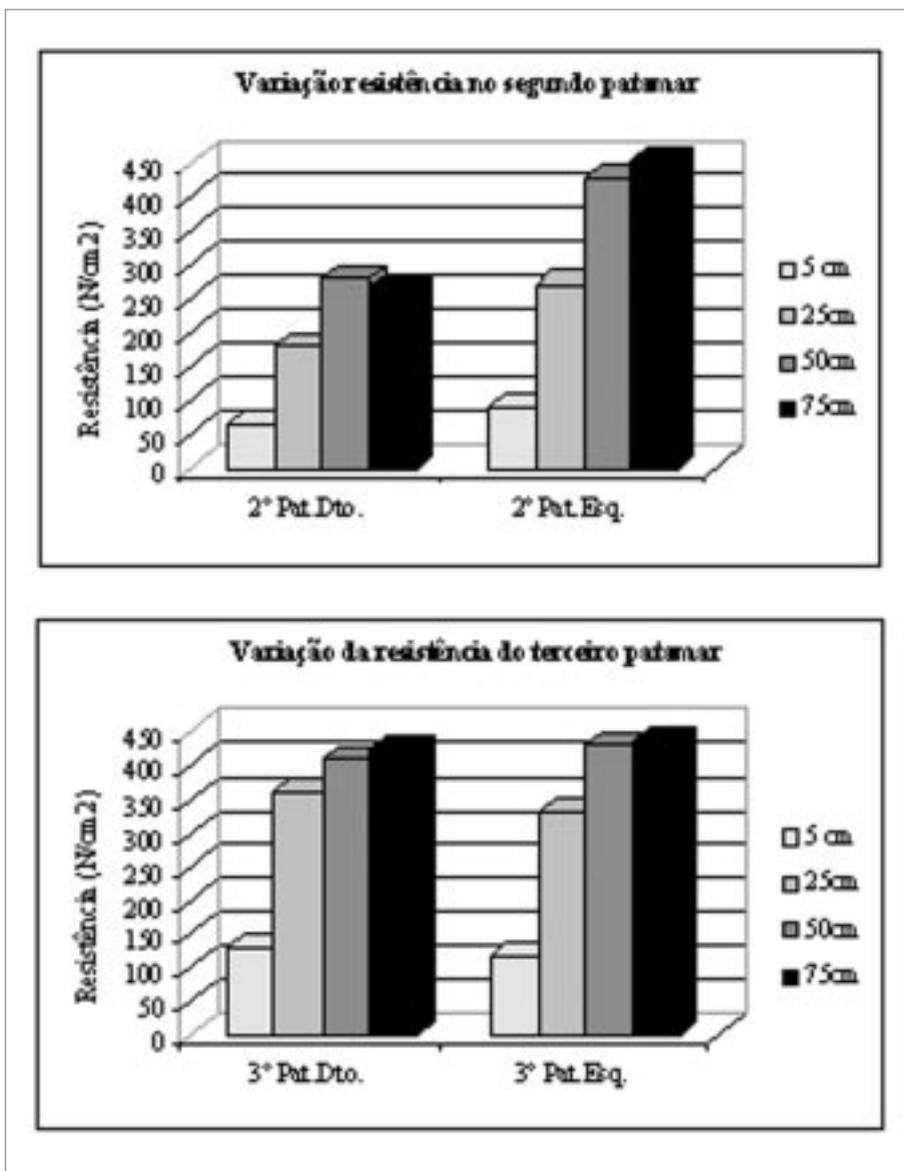
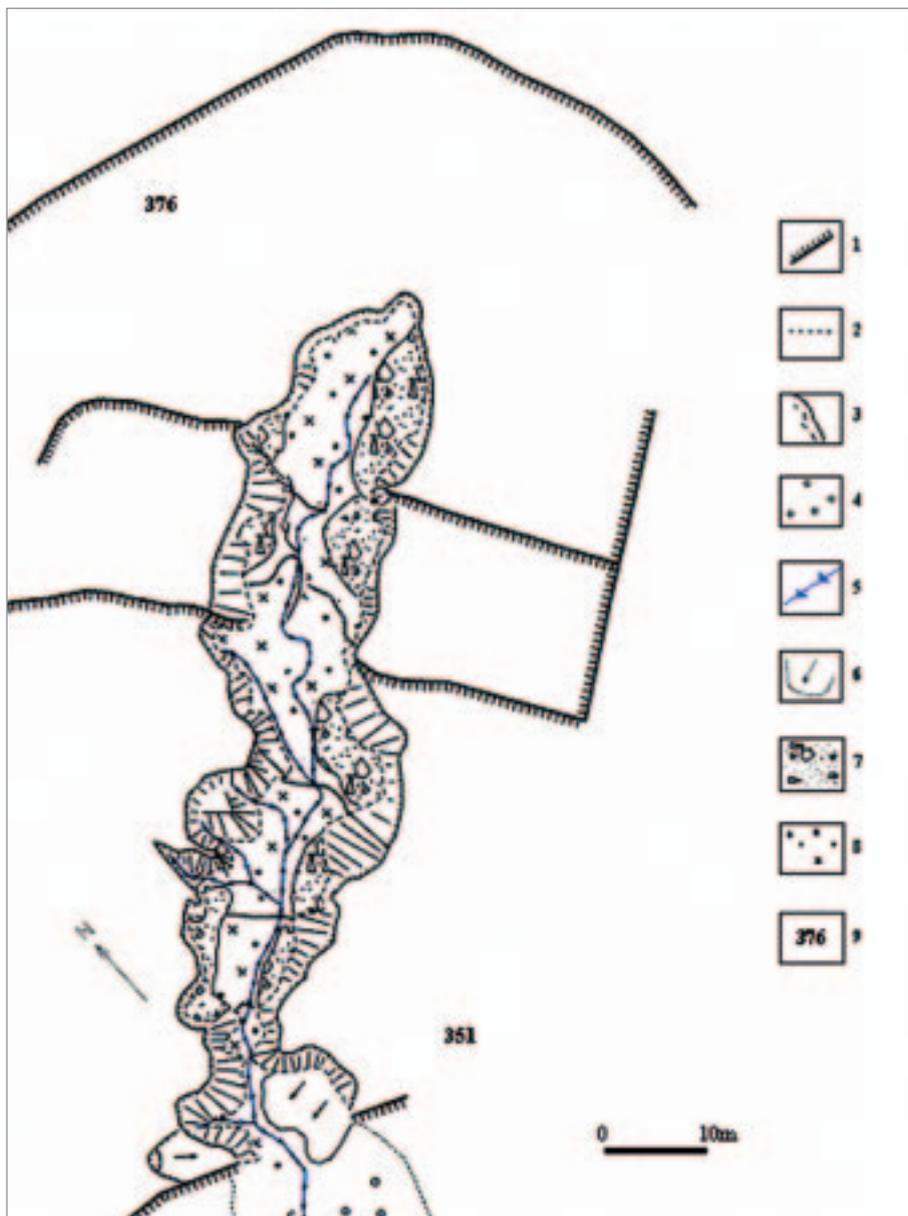


Figura 19 – Esboço morfológico de pormenor



1. Muros divisórios dos patamares; 2. Limite da área de transporte e deposição; 3. Cicatriz principal do fluxo; 4. Área de transporte e deposição; 5. Ravinas; 6. Bloco abatido; 7. Material desabado ao longo da cicatriz; 8. Material x; 9. Pontos cotados.

Figura 20 – Parâmetros relacionados com a condutividade hidráulica (4, 5 e FIII, correspondem a pontos de amostragem)

