

# **INFLUÊNCIA DA COBERTURA VEGETAL NA RESISTÊNCIA AO ESCORRIMENTO DE TALUDES**

## **INFLUENCE OF THE VEGETATION COVER ON THE RESISTANCE TO DEBRIS-FLOWS IN SLOPES**

Falcão Neves, Paula, *Centro de Geotecnia, IST, Lisboa, Portugal, pfalcaoneves@mail.ist.utl.pt*  
Reis e Sousa, Manuel, *Centro de Geotecnia, IST, Lisboa, Portugal, reis.sousa@mail.ist.utl.pt*  
Oliveira, José, *Centro de Geotecnia, IST, Lisboa, Portugal, josezagallo@yahoo.com*

### **RESUMO**

A existência de cobertura vegetal nos solos dos taludes contribui para o aumento da sua resistência ao corte e, conseqüentemente, aos escorrimientos, mormente em épocas de apreciável precipitação. Porém, a influência da cobertura vegetal na resistência ao escorrimiento de taludes não tem sido objecto de quantificação. Com o objectivo de determinar a influência da cobertura vegetal na resistência ao escorrimiento de taludes, foram ensaiadas amostras de dois tipos distintos de solo, uns no estado simples, isto é, sem qualquer cobertura vegetal e outros com cobertura vegetal, de relva previamente semeada para o efeito. Descrevem-se os ensaios de erodibilidade, apresentam-se os resultados obtidos e comparam-se os comportamentos sem e com cobertura vegetal e são tiradas conclusões baseadas naqueles mesmos resultados.

### **ABSTRACT**

The existence of vegetation cover in soil slopes contributes to the increase of their resistance to sliding, namely at times of considerable precipitation. However, in spite of many studies on ground erosion, the influence of vegetation covers on the resistance to the sliding of slopes has not been duly quantified. With the purpose of determining that influence, specimens of samples of two distinct types of soil were tested; each type of soil tested specimens with and without any vegetal cover. In this article the methodology followed in the erosion tests is described. Results of the carried out tests are compared with those obtained with soil samples with and without any vegetal cover and conclusions based on those results are presented.

### **1. INTRODUÇÃO**

Em épocas de grande pluviosidade, a estabilidade dos taludes, especialmente os constituídos por materiais terrosos (solos), para além de depender de inúmeros factores intrínsecos aos próprios taludes, de que se destacam as características de corte dos solos que os constituem, a dimensão média das partículas e o ângulo de declive do próprio talude, depende, também, da existência ou não de cobertura vegetal [3]. Em muitos casos, as fracas características coesivas dos materiais e o excessivo declive do talude podem motivar o seu escorrimiento, mormente em épocas de pluviosidade mais intensa [1].

As características físicas e mecânicas dos solos constituintes dos taludes, desde há muito que vêm sendo determinadas mediante ensaios laboratoriais e, também, por meio de ensaios no campo, pelo que se torna simples avaliar o contributo de cada uma dessas características para o grau de estabilidade do talude. Uma vez que este trabalho se destinou apenas ao estudo e comparação do grau de erosão de solos, com e sem cobertura vegetal, para além da fracção

granulométrica, não foram determinadas quaisquer características físicas ou mecânicas respeitantes aos solos submetidos a ensaios de erodibilidade.

Existem processos, uns mais sofisticados e dispendiosos que outros, de aumentar o grau de estabilidade dos taludes, mesmo em épocas de pluviosidade mais intensa [5]. Embora seja sabido que a existência de cobertura vegetal no talude aumenta a sua resistência ao escoamento, tal aumento não tem sido quantificado.

Uma vez que é relativamente fácil o processo que conduz à formação de cobertura vegetal nos taludes terrosos, este trabalho teve por objectivo procurar quantificar, de algum modo, o aumento da resistência à erosão dos taludes com cobertura vegetal, comparativamente com a resistência à erosão de taludes constituídos por solos idênticos, mas sem qualquer cobertura vegetal.

## 2. ENSAIOS REALIZADOS

Para se avaliar a influência da cobertura vegetal na resistência ao escoamento de taludes, foram realizados diversos ensaios laboratoriais, em erodímetro construído para o efeito, baseado no ensaio proposto por Inderbitzen [4].

Basicamente, o erodímetro (Figura 1) é formado por uma plataforma em material acrílico com 100 cm de comprimento e 18 cm de largura, fixa sobre o tampo basculante de uma mesa, por dispositivo para contenção do provete de ensaio (amostrador) com 4 cm de profundidade e uma

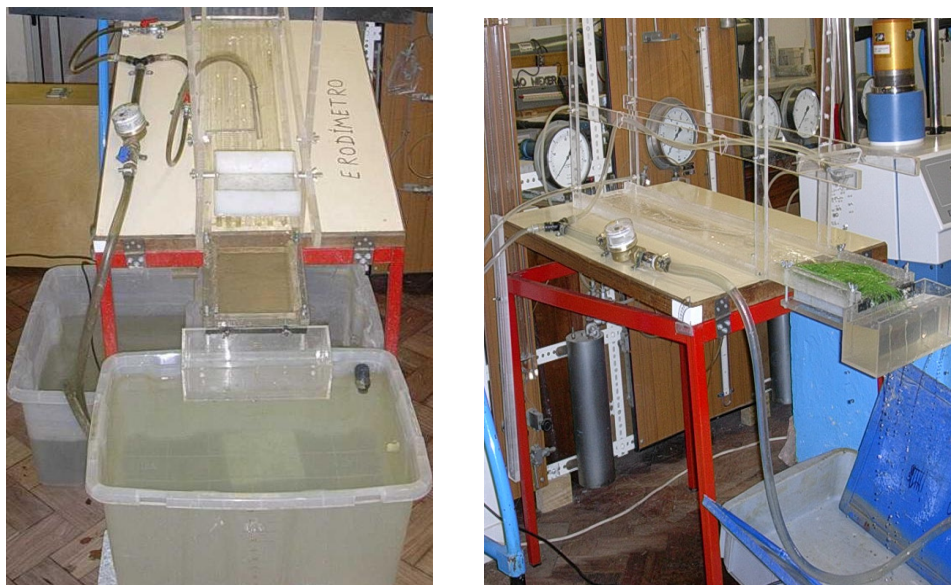


Figura 1 – Ensaio de erodibilidade – Provetes sem e com cobertura vegetal

área correspondente a 15 cm x 13 cm, por medidor de inclinações da rampa, por dois dispositivos de distribuição e medição de caudais de água e por caixa de recolha do solo arrastado. Do equipamento de ensaio fazem ainda parte uma bomba aspirante premente e três depósitos para água com a capacidade de 50 l cada.

## 2.1 Provetes de ensaio

Foram ensaiados dois tipos de solo: um, designado por A, constituído de solo arenoso, de fracção granulométrica 0/5 mm, formado de detritos de pedra de granito porfíroide (região de Viseu); o outro, designado por B, constituído por solo areno-siltoso com matéria orgânica (dos terrenos do IST), de fracção granulométrica 0/3 mm. De cada tipo de solo foram ensaiados provetes em condições bem distintas e com diferentes inclinações da rampa. Dentro de cada tipo de solo foram ensaiados no erodímetro provetes nas condições naturais, ou seja, sem qualquer cobertura vegetal e provetes com cobertura vegetal, cobertura esta constituída por relva com 8 a 10 cm de comprimento, previamente semeada. Do solo tipo A foram preparados dois grupos de provetes com relva: os de um grupo tinham a densidade de 200 pés de relva por  $\text{dm}^2$ ; os do outro grupo tinham a densidade de 80 pés de relva por  $\text{dm}^2$ . Do solo tipo B foram preparados provetes com relva, cuja densidade era de 120 pés por  $\text{dm}^2$ . Dos provetes com relva, uns foram ensaiados com a relva no estado verde e outros com a relva depois de seca.

Os provetes com o solo nas condições naturais (sem qualquer cobertura vegetal) foram moldados directamente no amostrador pelo que, ao solo, depois de seco e pesado, se adicionou uma determinada quantidade de água e se submeteu a uma ligeira compactação, por forma a adquirir alguma consistência (Figura 2). Depois de preparados os provetes e antes do ensaio, o teor em água dos da amostra de solo do tipo A era de 11,2% e o dos provetes preparados da amostra de solo do tipo B era de 15,4%. O peso de solo seco de cada provete da amostra A foi de 1267 g e o peso de solo seco de cada provete da amostra B foi de 1230 g.



(Solo tipo A)



(Solo tipo B)

Figura 2 – Provetes, sem cobertura vegetal, para ensaio de erodibilidade

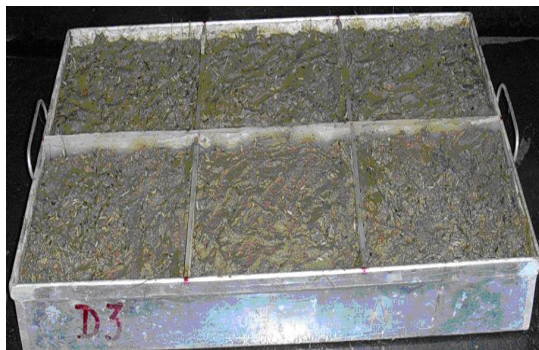


Figura 3 – Preparação de amostras para ensaio de provetes com cobertura vegetal (relva)

Para os provetes a ensaiar com cobertura vegetal, foram preparados, em tabuleiros metálicos, talhões de solo com dimensões idênticas às do amostrador e semeada relva (Figura 3).

Para se averiguar até que ponto apenas as raízes da cobertura vegetal contribuem para a resistência do solo à erosão, caso essa mesma cobertura se degrade, parcial ou totalmente, devido a condições climáticas extremamente adversas à sua manutenção, foram ensaiados vários provetes do solo tipo B, que apenas apresentavam vestígios muito ténues de relva seca. Para isso, a relva depois de germinada e crescida deixou de ser regada durante um período de cerca de oito meses antes dos ensaios. Quando verde, a densidade daquela relva era da ordem de 200 pés/dm<sup>2</sup>.

## **2.2 Realização dos ensaios**

A erosão dos solos dos taludes, quando expostos a pluviosidade intensa, é composta de duas fases distintas [2]; numa primeira fase, as partículas do solo são desagregadas devido à acção directa da queda das gotas de chuva, numa segunda fase as mesmas partículas são arrastadas pela água escorrente ao longo do talude. Assim, o erodímetro utilizado nos ensaios dispõe de dois dispositivos distintos de distribuição de água: um, consta de uma caixa de fundo perfurado e com área equivalente à da superfície livre do provete, que lança gotas de água directamente sobre o provete, o outro, consta de um tubo perfurado (8 furos) que lança água no topo superior da rampa (a 80 cm da caixa contentora do provete em ensaio), água esta que escorre e galga o próprio provete, com maior ou menor velocidade, consoante a inclinação da rampa.

O ensaio de erodibilidade consistiu, fundamentalmente, em sujeitar a superfície livre do solo em ensaio a impactos de gotas de água e, simultaneamente, ao galgamento dessa mesma superfície por uma lâmina de água escorrente ao longo da plataforma. Na Figura 3 podem ver-se dois provetes em ensaio; um, de solo simples e outro, de solo com cobertura vegetal (relva).

Para uma mais fácil comparação dos resultados obtidos com os diferentes provetes de ensaio e nas diversas condições, o tempo de duração de cada um dos ensaios realizados foi de 1 hora e 30 minutos e o caudal de água, distribuído pelos dois dispositivos, foi de sensivelmente 1 litro/minuto; o caudal de água lançado na parte superior da rampa foi sensivelmente duplo do caudal lançado directamente sobre o provete.

Para que, durante todo o ensaio, o plano médio da superfície livre do provete não se afaste consideravelmente do plano de escoamento da água sobre a plataforma, a caixa contentora do provete (amostrador) possui fundo móvel, o qual, por meio de parafusos, faz coincidir o plano médio daquela superfície com o plano da plataforma. Para a quantificação do solo erodido durante o ensaio, foram pesadas, depois de secas, a parte arrastada e a parte não arrastada, do provete ensaiado.

## **3. RESULTADOS**

### **3.1 Amostra de solo do tipo A (solo arenoso)**

Os resultados dos ensaios de erodibilidade realizados com provetes de solo arenoso, designado de tipo A, estão expressos nos Quadros 1 e 2 e nos diagramas das Figuras 4 e 5. O Quadro 1 e a Figura 4 respeitam à evolução da erosão do solo em função da inclinação da rampa, e incluem provetes sem e com cobertura vegetal (relva). O Quadro 2 e a Figura 5 respeitam à evolução da erosão do solo, sem cobertura vegetal, em função do tempo de ensaio.

Quadro 1 – Solo tipo A – Erosão do solo, sem e com cobertura vegetal, em função da inclinação da rampa (90 minutos de precipitação em cada ensaio)

Situação do solo	Proвете (ensaio)	Inclinação da rampa	Peso de solo seco (g)		Porcentagem do solo arrastado (%)
			Antes do ensaio	Arrastado	
Sem cobertura vegetal	1	5°	1267	165,9	13,1
	2	10°	1267	234,8	18,5
	3	15°	1267	364,0	28,7
	4	20°	1267	613,2	48,4
	5	25°	1267	843,8	66,6
Com cobertura vegetal (verde) de 80 pés/dm <sup>2</sup>	6	5°	1152,4	2,8	0,24
	7	10°	1069,1	14,6	1,37
	8	15°	1071,3	27,4	2,56
	9	20°	1073,8	45,4	4,23
	10	25°	1093,9	54,8	5,01
Com cobertura vegetal (verde) de 200 pés/dm <sup>2</sup>	11	5°	1174,6	1,1	0,09
	12	10°	1205,2	1,3	0,11
	13	15°	1247,9	1,8	0,14
	14	20°	1251,3	2,7	0,22
	15	25°	1262,2	7,0	0,55
Com cobertura vegetal (seca) de 200 pés/dm <sup>2</sup>	16	5°	1262,8	1,4	0,11
	17	15°	1270,1	1,7	0,13
	18	25°	1212,7	8,6	0,71

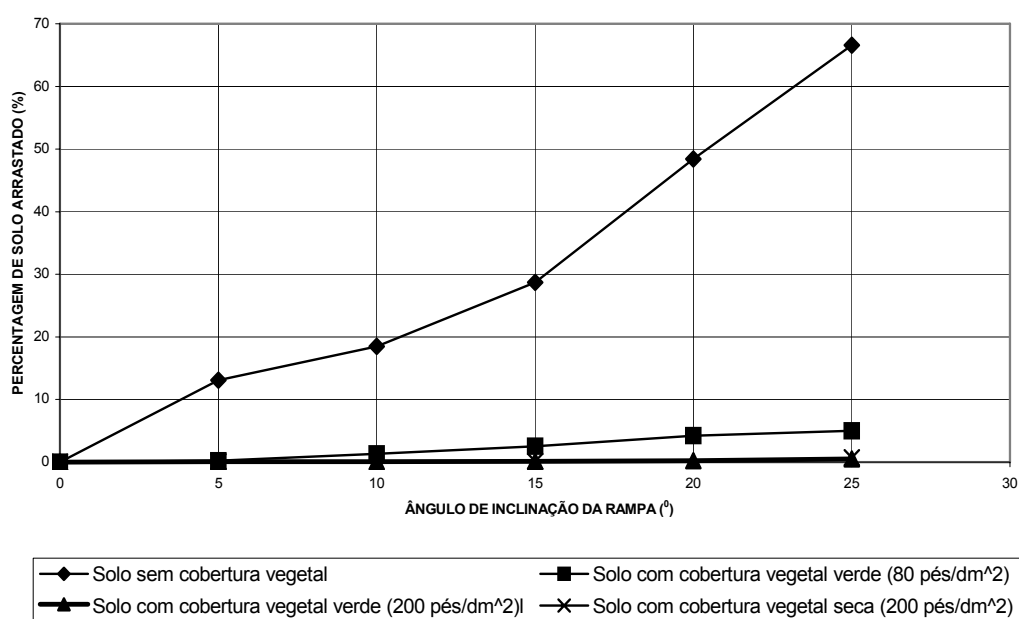


Figura 4 – Solo A: Erosão do solo, sem e com cobertura vegetal, em função da inclinação da rampa (90 minutos de precipitação em cada ensaio).

Quadro 2 – Solo tipo A – Erosão do solo sem cobertura vegetal, em função do tempo de pluviosidade (15 minutos em cada ciclo)

Situação do solo	Ciclo	Inclinação da rampa	Peso de solo seco (g)		% acumulada de solo arrastado
			Antes do ensaio	Arrastado no ciclo	
Sem cobertura vegetal	1	10°	1267	185,9	14,7
	2			21,3	16,4
	3			19,3	17,9
	4			17,7	19,3
	5			9,8	20,0
	6			6,8	20,6
Sem cobertura vegetal	1	20°	1267	478,9	37,8
	2			44,8	41,3
	3			39,0	44,4
	4			30,3	46,8
	5			33,2	49,4
	6			23,9	51,3

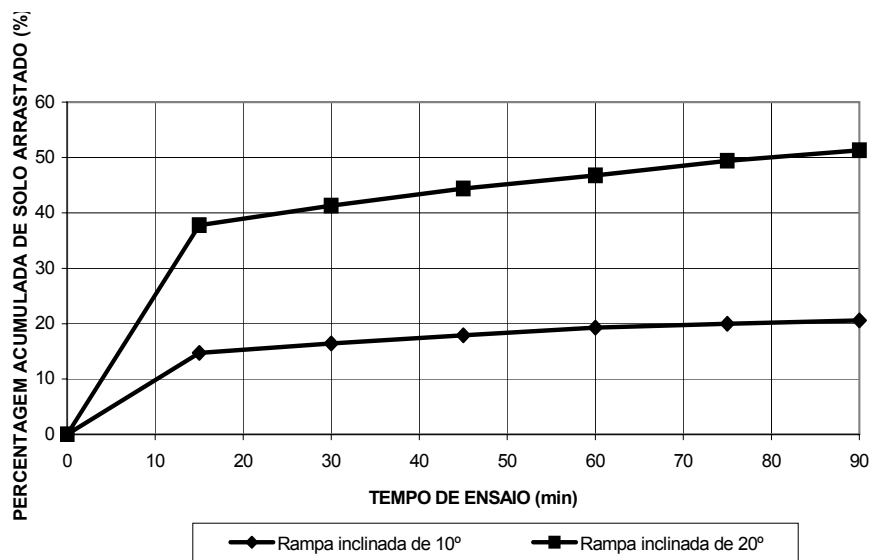


Figura 5 – Solo A – Erosão do solo sem cobertura vegetal, em função do tempo de pluviosidade.

### 3.2 Amostra de solo do tipo B (solo areno-siltoso com matéria orgânica)

Nos Quadros 3 e 4 e nos diagramas das Figuras 6 e 7 são apresentados os resultados dos ensaios de erodibilidade realizados com provetes de solo areno-siltoso com matéria orgânica, designado de tipo B. O Quadro 3 e a Figura 6 respeitam à evolução da erosão do solo em função da inclinação da rampa, e incluem provetes sem e com cobertura vegetal (relva) e, também, provetes que continham apenas vestígios de relva seca e as raízes da cobertura vegetal, entretanto degradada. O Quadro 4 e a Figura 7 respeitam à evolução da erosão do solo, sem cobertura vegetal, em função do tempo de ensaio.

Quadro 3 – Solo tipo B – Erosão do solo, sem e com cobertura vegetal, em função da inclinação da rampa (90 minutos de precipitação em cada ensaio)

Situação do solo	Proвете (ensaio)	Inclinação da rampa	Peso de solo seco (g)		Porcentagem do solo arrastado (%)
			Antes do ensaio	Arrastado	
Sem cobertura vegetal	1	5°	1230	390,2	31,7
	2	10°	1230	515,0	41,9
	3	15°	1230	688,2	56,0
	4	20°	1230	811,1	65,9
	5	25°	1230	968,0	78,7
	6	30°	1230	1079,9	87,8
Com vestígios de cobertura vegetal <i>seca</i> e raízes (200 pés/dm <sup>2</sup> )	7	5°	976,5	121,8	12,5
	8	10°	959,8	134,8	14,0
	9	15°	964,0	149,2	15,5
	10	20°	1010,9	159,1	15,7
	11	25°	984,4	174,8	17,8
	12	30°	965,4	198,9	20,6
Com cobertura vegetal ( <i>verde</i> ) de 120 pés/dm <sup>2</sup>	13	5°	1078,2	32,1	3,0
	14	10°	1171,9	66,2	5,6
	15	15°	1200,2	84,8	7,1
	16	20°	1142,8	109,3	9,6
	17	25°	1186,9	118,8	10,0
	18	30°	1179,8	120,7	10,2
Com cobertura vegetal ( <i>seca</i> ) de 120 pés/dm <sup>2</sup>	19	5°	1077,0	59,9	5,6
	20	10°	1170,1	84,2	7,2
	21	15°	1191,9	114,8	9,6
	22	20°	1131,5	150,1	13,3
	23	25°	1185,4	250,4	21,1
	24	30°	1103,5	281,8	25,5

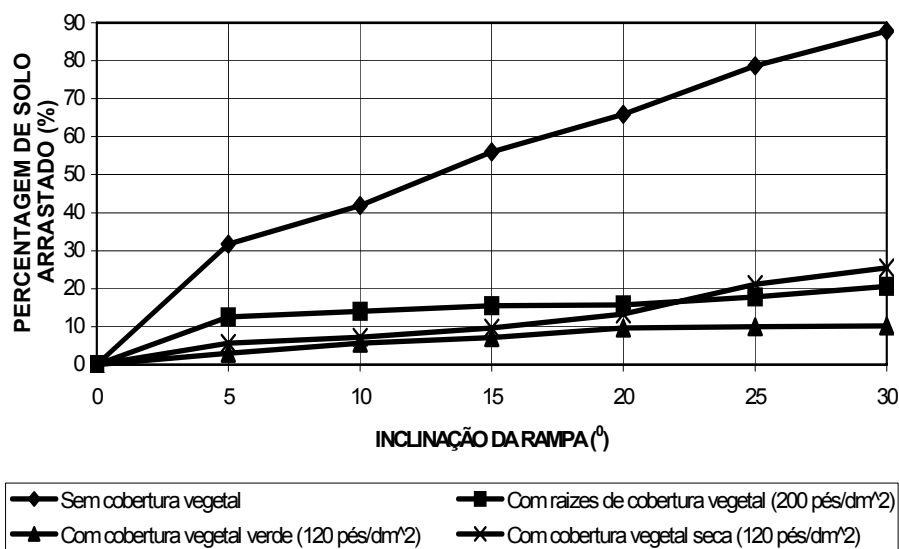


Figura 6 - Solo tipo B – Evolução da erosão do solo, sem e com cobertura vegetal, com a inclinação da rampa (90 minutos de precipitação em cada ensaio)

Quadro 4 – Solo tipo B – Erosão do solo sem cobertura vegetal, em função do tempo de pluviosidade (15 minutos em cada ciclo)

Situação do solo	Ciclo	Inclinação da rampa	Peso de solo seco (g)		% acumulada de solo arrastado
			Antes do ensaio	Arrastado no ciclo	
Sem cobertura vegetal	1	20°	1230	255,9	20,8
	2			183,2	35,7
	3			158,0	48,5
	4			137,2	59,7
	5			101,1	67,9
	6			72,8	73,8

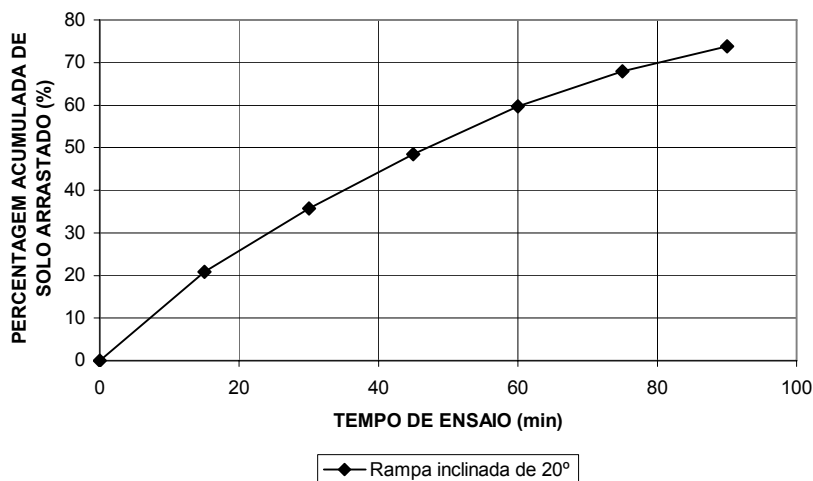


Figura 7 – Solo B – Erosão do solo sem cobertura vegetal, em função do tempo de pluviosidade

### 3.3 Determinação do Índice de resistência do solo à erosão

A partir das porcentagens de solo arrastado em cada um dos ensaios efectuados (Quadros 1 a 4), determinaram-se, para cada tipo de solo, os índices de resistência do solo à erosão em função de cada uma das diferentes variáveis do ensaio (inclinação do talude, densidade da cobertura vegetal e tempo de pluviosidade). Para a situação em que não se verifica qualquer arrastamento do solo, considerou-se a unidade como índice de resistência máxima à erosão. Assim, e relativamente a cada uma das variáveis, o índice de resistência,  $I_r$ , do solo à erosão é dado por:

$$I_r = \frac{A - B}{A}, \quad (1)$$

sendo A, a totalidade do solo ensaiado (peso seco) e B, a quantidade de solo arrastado no ensaio (peso seco)

Com base nos valores dos índices de resistência correspondentes a cada uma das condições de ensaio e respectivos valores das variáveis, determinaram-se os parâmetros da função que, dentro do intervalo das variáveis dos ensaios (inclinação do talude,  $\alpha$ , densidade da cobertura vegetal, D, e tempo de ensaio, T) e para o caudal de água dos ensaios ( $\cong 1$  l/min), relacionam o índice de resistência do solo à erosão, motivada pela água das chuvas, com aquelas três variáveis em simultâneo. O índice de resistência do solo em função das variáveis dos ensaios é bem descrito por uma função múltipla linear.



No Quadro 5 apresentam-se as funções que relacionam o índice de resistência à erosão dos solos ensaiados com as variáveis de ensaio, bem como os correspondentes coeficientes de correlação e, ainda, os intervalos daquelas mesmas variáveis.

Quadro 5 – Correlações do índice de resistência do solo à erosão, em função das restantes variáveis de ensaio

Solo	Índice de resistência do solo ( $I_r$ )	Coef. de correlação	Variáveis (intervalos)		
			Inclinação do talude ( $\alpha$ )	Densidade da cobertura vegetal (D)	Tempo de ensaio (T) horas
Tipo A	$I_r = 1 - 0,7634 \text{ sen}\alpha + 0,0017 D - 0,0970 T$	0,864	0° a 25°	0 a 200 pés /dm <sup>2</sup>	0 a 1,5
Tipo B	$I_r = 1 - 0,7413 \text{ sen}\alpha + 0,0042 D - 0,2555 T$	0,913	0° a 30°	0 a 120 pés /dm <sup>2</sup>	0 a 1,5

#### 4. ANÁLISE DOS RESULTADOS

Os resultados obtidos nos ensaios de erodibilidade realizados sobre os dois tipos distintos de solo mostram que:

##### **Solos sem qualquer cobertura vegetal:**

- Comparativamente, para a mesma inclinação do talude, e para o mesmo caudal de precipitação, os solos constituídos por partículas de granulométrica mais elevada, solo tipo A, oferecem maior resistência à erosão do que solos de granulometrias mais finas, solo tipo B;
- Para o mesmo caudal de precipitação e mesmo tempo, a quantidade de solo erodido aumenta de forma acentuada com a inclinação do talude;
- Para o mesmo talude, mesmo caudal de precipitação e mesmo período de tempo, a quantidade de solo erodido no início da precipitação é apreciavelmente superior ao que é erodido nos períodos seguintes, porque os constituintes mais finos, por serem de mais fácil desagregação e arrastamento, são removidos logo no início da precipitação.

##### **Solos com cobertura vegetal:**

- Para o mesmo tipo de solo, mesmas inclinações da rampa, mesmo caudal de água e mesmo tempo de ensaio, a quantidade de solo arrastado em provetes com cobertura vegetal (relva) verde ou seca, é muito reduzido, quando comparado com o solo arrastado em provetes sem qualquer cobertura vegetal;
- Para as mesmas condições de ensaio, dentro do mesmo tipo de solo com diferentes densidades de relva, não se observaram diferenças significativas entre as quantidades de solo erodido;
- Mesmo para situações em que, devido a condições climatéricas extremamente adversas, apenas restem as raízes da cobertura vegetal do talude, a resistência do solo à erosão é bastante superior (cerca de 4 vezes) à do mesmo tipo de solo, sem quaisquer vestígios de matéria vegetal;

- Em termos médios (nos dois solos ensaiados), para a mesma inclinação do talude, mesmo tipo de solo e mesmo caudal de precipitação, o peso de solo erodido em taludes com cobertura vegetal é da ordem de 7% do solo que seria arrastado, caso o talude não tivesse qualquer cobertura vegetal.

## **5. CONCLUSÕES**

A inclinação dos taludes tem influência preponderante na erosão dos solos que os constituem, principalmente se estes são desprovidos de qualquer cobertura vegetal.

A erosão dos terrenos superficiais dos taludes com cobertura vegetal é sempre menor do que a que ocorreria caso, os mesmos taludes não possuíssem qualquer cobertura vegetal. Entre solos com cobertura vegetal verde e cobertura vegetal seca, não se verificam grandes diferenças quanto à respectiva resistência à erosão.

Detectaram-se elevadas correlações entre o índice de resistência dos solos à erosão, a inclinação dos taludes, a densidade da cobertura vegetal e a pluviosidade.

Com base nas observações descritas pode concluir-se que a resistência ao corte dos solos deverá aumentar com a aplicação de cobertura vegetal. Seria interessante verificar, em trabalhos futuros a existência de correlações entre os valores da resistência à erosão e os parâmetros de corte dos solos com e sem cobertura vegetal, considerando diferentes tipos de solos.

## **6. REFERÊNCIAS**

- [1] Bastos, C.A.; Gehling, W; Militsky, J (2002) - Estudo Geotécnico sobre a Erodibilidade de Solos Residuais e Subtropicais – 8º Congresso Nacional de Geotecnia, Lisboa
- [2] Guerra, A. T.; Cunha, S.B.(1995) - Geomorfologia, Uma Actualização de Bases e Conceitos. Ed. Bertrand Brasil, Rio de Janeiro
- [3] Hunt, R. E (2005) - Geotechnical Engineering Investigation Handbook (Second Edition). Taylor & Francis.
- [4] Inderbitzen, A. L. (1961) - An erosion tests for soils. Material Research & Standards
- [5] Nascimento, U.; Castro, E. (1976) - Defesa de taludes contra a erosão. Critérios de selecção de solos. Geotecnia, Lisboa