Silva Lusitana, nº especial: 55 - 67, 2008
© EFN, Lisboa. Portugal

Avaliação da Sustentabilidade dos Sistemas Florestais em Função da Erosão

Alfredo Gonçalves Ferreira*, Ana Cristina Gonçalves e Susana Saraiva Dias*****
*Professor Catedrático
**Professor Auxiliar
ICAM. Universidade de Évora. Departamento de Engenharia Rural, Apartado 94, 7002-554 ÉVORA
***Equiparada Professora Adjunta
ICAM. Instituto Politécnico de Portalegre. Escola Superior Agrária de Elvas, Apartado 254, 7350-903 ELVAS

Sumário. A sustentabilidade de um sistema depende em primeira análise da sua capacidade de não ultrapassar a resiliência de qualquer dos elementos que o compõem. Assim, o risco de erosão, a susceptibilidade e a tolerância à perda de solo aferem a sua resiliência aos factores externos, sendo uma medida da manutenção do potencial produtivo do sistema. Com base na Equação Universal de Perda de Solo foi desenvolvido um modelo de risco de erosão, que posteriormente foi implementado tendo em conta a tolerância à perda de solo, de acordo com a metodologia da FAO, que considera a profundidade do solo e as características do material originário, integrando a informação ao nível de um sistema de informação geográfica. Este trabalho deu origem ao desenvolvimento de uma metodologia de aferição da sustentabilidade do sistema florestal em função das características do solo e do coberto florestal. Assim, foi possível avaliar a manutenção do potencial produtivo dos sistemas florestais.
Palavras-chave: sustentabilidade; sistema florestal; características do solo; risco de erosão; resiliência

Sustainability Evaluation in Forest Systems as Function of Erosion

Abstract. The sustainability of a system depends on its capacity of not overcoming the resilience of each of its components. So the risk of erosion, susceptibility and soil loss tolerance evaluates the soil resilience against the erosion agents, and measures the system productive potential. From the Universal Soil Loss Equation a soil erosion risk model was developed, and later implemented considering the soil loss tolerance according to FAO methodology, which takes in account soil depth and parent material characteristics, using a geographic information system. This development resulted in a methodology that evaluates the forest system sustainability based on soil and forest cover characteristics. This allowed to measure the forest systems productive potential.
Key words: sustainability; forest system; soil characteristics; erosion risk; resilience

---

1º Autor E-mail: alfredo@uevora.pt

Evaluation de la Sustenabilité des Systèmes Forestiers en Fonction de l'Érosion

Résumé. Le développement soutenable d'un système dépend dans une première analyse de sa capacité à ne pas dépasser la résilience de chacun des éléments qui le composent. Ainsi, le risque d'érosion, la susceptibilité et la tolérance à la perte de sol mesurent sa résilience aux facteurs externes, constituant une mesure de la manutention du potentiel productif du système. Basé sur l'Équation Universel de Perte de Sol un modèle de risque d'érosion a été développé, en fonction de la tolérance à la perte de sol, conformément à la méthodologie de la FAO, qui considère la profondeur du sol et les caractéristiques du matériel originaire, intégrant les informations au niveau d'un système d'informations géographiques.
Ce travail a donné origine au développement d'une méthodologie d'étalonnage du développement durable du système forestier en fonction des caractéristiques du sol et du couvert forestier. Ainsi, il a été possible de procéder à l'évaluation de la manutention du potentiel productif des systèmes forestiers.
Mots clés: soutenable; système forestier; caractéristiques du sol; risque d'érosion; résilience

Introdução

Segundo vários autores (ÖZHAN *et al.*, 2005; SCHOENHOLTZ *et al.*, 2000; SILVA, 1999; RICHARDSON *et al.*, 1999; JENNY, 1983; WISCHMEIER e SMITH, 1965; KOHNKE e BERTRAND, 1959) a sustentabilidade de um sistema florestal é condicionada por um conjunto de factores de entre os quais se destaca o solo. Assim, a conservação e a manutenção dos recursos do solo através de um conjunto de práticas de gestão pode determinar a produtividade da estação e o equilíbrio do sistema.

O solo é a base do sistema florestal e a sua gestão deve ser baseada na sua compreensão holística. Os solos promovem o crescimento das raízes; armazenam e fornecem água; armazenam, fornecem e reciclam nutrientes minerais; promovem a optimização das trocas gasosas; promovem a actividade biológica; e armazenam e libertam carbono. Estes atributos são uma função das propriedades e processos físicos do solo (SCHOENHOLTZ *et al.*, 2000).

O conceito de qualidade do solo inclui a avaliação das suas propriedades e processos que se relacionam com a sua capacidade de servirem múltiplas funções, tanto em termos produtivos como ambientais (SCHOENHOLTZ *et al.*, 2000). Segundo os mesmos autores, o cerne para a sustentabilidade de um sistema agrícola e/ou florestal deve ser a protecção e a promoção da qualidade do solo.

A qualidade do solo está associada às suas propriedades e processos físicos, que tanto podem ser estáticos como dinâmicos e variam no seu grau de resistência à alteração induzida pela gestão do sistema (SCHOENHOLTZ *et al.*, 2000).

A perda de solo devido à erosão, eólica ou hídrica, é talvez o processo de erosão do solo mais disseminado (SCHOENHOLTZ *et al.*, 2000). A quantificação da vulnerabilidade ou susceptibilidade do solo à erosão é essencial para a gestão deste recurso (SILVA, 1999). Dado que é praticamente impossível evitar a perda de solo, é necessário estabelecer limites permitidos para a erosão, em função do solo e do clima, devendo esta ser igual ou inferior à taxa de formação do solo (JENNY, 1983; KOHNKE e BERTRAND, 1959).

Nos sistemas florestais a erosão assume menor importância dado que a

superfície do solo permanece coberta por vegetação e/ou por folhada, sendo vulneráveis durante períodos de tempo reduzidos, no período que medeia entre o corte final do povoamento e a sua regeneração (SCHOENHOLTZ *et al.*, 2000).

Dado que a tanto a erosão como a conservação do solo são processos cumulativos, quanto mais um solo sofreu processos de erosão mais vulnerável se torna. Assim, independentemente das técnicas utilizadas, as aproximações para a conservação do solo podem ser apresentadas em quatro grupos (KOHNKE e BERTRAND, 1959):

1 - manter o solo protegido do impacto da chuva e do vento,

2 - manter e promover a estabilidade dos agregados do solo para o tornar resistente ao destacamento e transporte e aumentar a infiltração superficial,

3 - reduzir o escoamento superficial,

4 - desenvolver formas seguras para minimizar o efeito erosivo do escoamento superficial.

Segundo KOHNKE e BERTRAND (1959) um dos objectivos específicos de conservação do solo é manter a erosão a uma taxa reduzida, de modo que a perda de solo não exceda o seu desenvolvimento natural. A cobertura permanente do solo pela vegetação e por uma camada morta vegetal ("empalhamento"), faz com que as florestas e as pastagens sejam as formas de uso do solo que mais contribuem para a sua conservação (JENNY, 1983; KOHNKE e BERTRAND, 1959).

Neste estudo foi desenvolvida uma metodologia de aferição da sustentabilidade do sistema florestal em função das características do solo e do coberto florestal, que permitem avaliar a manutenção do potencial produtivo dos sistemas florestais. Esta metodologia, implementada num sistema de informação geográfica, com base na Equação Universal de Perda de Solo (WISCHMEIER e SMITH, 1965), permitiu o desenvolvimento de um modelo de risco de erosão, que posteriormente foi avaliado pela resiliência à perda de solo, ou seja a tolerância à perda de solo, de acordo com a metodologia da FAO (FAO, 1977), tendo em conta a profundidade do solo e as características do material originário

Equação Universal de Perda de Solo

A equação universal de perda de solo USLE, (WISCHMEIER e SMITH, 1965) estima a perda de solo média anual, construída a partir de um conjunto vasto de dados de campo através de regressão múltipla. Todas as variáveis são referidas a uma parcela referência de 22,1 m de comprimento e 9% de declive e que esteja livre de vegetação por mobilização do solo ao longo da linha de maior declive (WISCHMEIER e SMITH, 1965). Esta equação pode ser usada em combinação com a detecção remota e sistemas de informação geográfica para calcular as perdas por erosão em bacias hidrográficas (ÖZHAN *et al.*, 2005).

A USLE, eq. (1) é geralmente usada para dois objectivos principais. O primeiro envolve a orientação metodológica da tomada de decisão no planeamento de conservação do solo, dado que permite estimar a taxa média anual de perda de solo para cada sistema de cultura, técnicas de gestão e práticas de controlo numa dada estação. O nível de tolerância da perda de solo pode então ser estabelecido pela comparação do valor aceite com o estimado para a erosão do solo. O segundo objectivo envolve a predição da perda total de solo

com a equação em função de dados representativos das condições locais (ÖZHAN *et al.*, 2005).

$$A = R \times K \times L \times S \times C \times P \quad (1)$$

onde A é a perda de solo, erosão específica (t.ha^{-1}); R o factor de erosividade da precipitação, mede o efeito da chuva na perda de solo (MJ.mm.ha^{-1}.h^{-1}); K o factor de erodibilidade do solo, mede a resistência do solo ao destacamento e transporte (t.h.MJ^{-1}.mm^{-1}); L o factor do comprimento da encosta, considera o efeito do comprimento da encosta na perda de solo (adimensional); S o factor de declive, considera o efeito do declive na perda de solo (adimensional); C o factor de gestão do coberto, considera a influência das acções de gestão do coberto na perda de solo (adimensional); P o factor de gestão do solo, considera as práticas culturais (adimensional).

A erodibilidade do solo (K) é função da resiliência do solo à precipitação. Este parâmetro mede o efeito das propriedades físicas e químicas do solo, nomeadamente a capacidade de infiltração, a resistência ao destacamento e ao transporte, na sua resistência à erosão (SILVA, 1999).

Carta de risco de erosão

A carta de risco de erosão foi desenvolvida com base na Equação Universal de Perda de Solo (WISHMEIER e SMITH, 1965, eq. (1)) a partir de um modelo de avaliação de risco de erosão (RE, eq. (2)), por modelação geográfica de álgebra de mapas (Figura 1).

$$RE = R \times K \times L \times S \times C \quad (2)$$

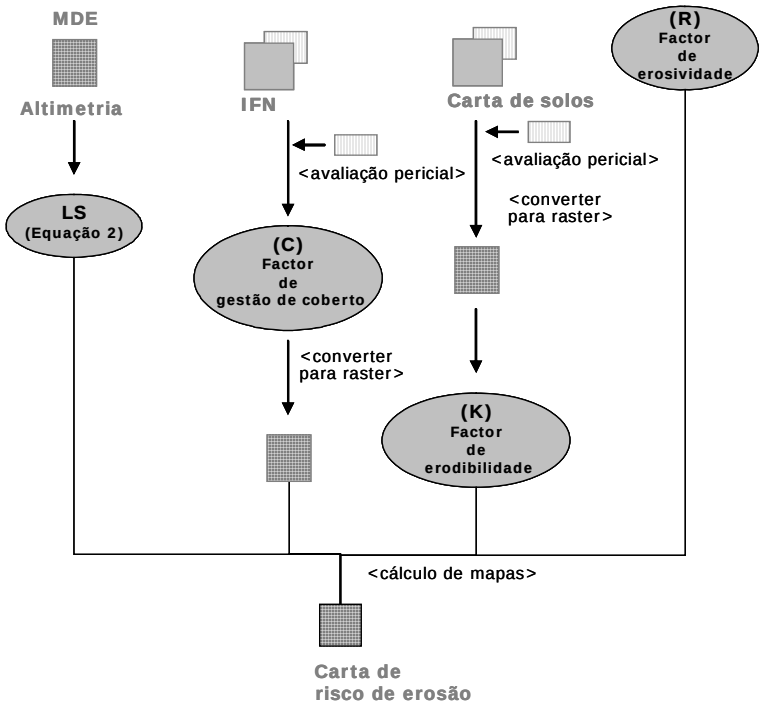

Figura 1 - Representação esquemática do modelo cartográfico para o cálculo do risco de erosão

Admitiu-se um valor médio do factor de erosividade da precipitação (*R*) de 1000 MJ.mm.ha^{-1}.h^{-1} (COUTINHO, 1986).

Para o factor de erodibilidade do solo (*K*) consideraram-se os valores apresentados por SILVA (1999), tendo sido construída uma tabela de avaliação pericial sobre os atributos do solo para dar origem ao tema *Erodibilidade do solo (ES)*.

Os factores comprimento da encosta (*L*) e declive (*S*) representam o factor topográfico, sendo por isso combinados, representando a taxa de perda de solo para um solo sem coberto, quando comparado com a parcela de referência (JENNY, 1983). Este factor foi gerado a partir do modelo digital de elevação de acordo com procedimentos standard em ArcView Spatial Analyst a partir da eq. (3), dando origem ao tema *Topografia (LS)*.

$$LS = \left(\left(\frac{flowaccGrid}{22,13} \right)^{0,4} \right) \times 1,4 \left(\left(\frac{SlopeGrid.sin}{0,0896} \right)^{1,3} \right) \quad (3)$$

Os valores do factor de gestão do coberto (*C*) foram calculados em função do inverso do grau de cobertura e gestão da vegetação herbácea e arbustiva. Este factor representa a área de solo descoberta quando ocorre precipitação, sendo máximo (1) para o solo sem cobertura, normalizado segundo o menor declive e mínimo (0) para solo totalmente coberto (ROSEWELL, 1993).

Foi utilizada a carta de uso do solo do IFN95 (DGF, 2001), tendo-se considerado seis classes de ocupação do solo (Quadro 1) para o valor do factor de gestão do coberto (*C*), para dar origem ao tema *Gestão do coberto (GC)*.

Quadro 1 – Factor de gestão de coberto

Ocupação do Solo		C
Agrícola		0,6500
Florestal	10-30% coberto	0,0220
	30-50% coberto	0,0176
	50-100% coberto	0,0132
	Percorrido por fogo	0,0055
	corte raso	0,0220
	povoamentos dispersos	0,0209

A carta de *risco de erosão* (*RE*) foi então obtida pela sobreposição destes três temas, *Erodibilidade do solo (ES), Topografia (LS)* e *Gestão do coberto (GC)* numa operação de álgebra de mapas, segundo a eq. (4).

$$RE = 1000 \times ES \times LS \times GC \quad (4)$$

Tolerância à perda de solo

O nível de tolerância à perda de solo foi estabelecido utilizando os valores limite definidos pela FAO (FAO, 1977), em função da profundidade do solo (Quadro 2). Com base na descrição dos solos de CARDOSO (1965) foram construídas tabelas de avaliação pericial sobre os atributos do solo de forma a classificar a tolerância de cada complexo de solo, dando origem ao tema *Tolerância à perda de solo* (*TS*) (Figura 2).

Quadro 2 – Tolerância à perda de solo (ton.ha^{-1}) em função da profundidade do solo

Profundidade (cm)	Tolerância (ton.ha^{-1})
0 – 30	2,2
30 - 60	4,5
60 - 90	6,7
90 - 120	9,0
>120	11,2

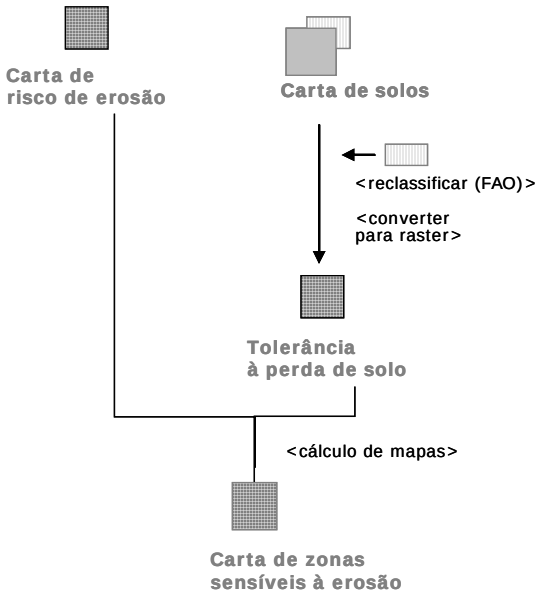

Figura 2 – Representação esquemática do modelo cartográfico para o cálculo da tolerância à perda de solo

Zonas sensíveis à erosão

Na avaliação das zonas sensíveis à erosão foram utilizadas duas abordagens; uma considerando o coberto existente e outra considerando a inexistência de qualquer tipo de coberto, simulando dois cenários de gestão do sub coberto, mobilização do solo por gradagem e corta mato.

Considerando o coberto existente, *as zonas sensíveis à erosão* (*ZS*) foram determinadas através de uma operação de álgebra de mapas, pela diferença entre o *risco de erosão* (*RE*) e a *tolerância à perda de solo* (*TS*). Se a tolerância for inferior à perda de solo provocada pelo risco de erosão é atribuída a classificação de zona sensível, caso contrário é classificada como não sensível.

Considerando inexistência de coberto, foi produzida a carta de *sustentabilidade do sistema (SS)*. Foi criado um tema, denominado *risco de erosão do solo sem coberto* (*REC*), a partir da utilização da equação universal de perda de solo, considerando a inexistência de coberto herbáceo, arbustivo e/ou arbóreo, de acordo com a eq. (5).

$$REC = 1000 \times ES \times LS \qquad (5)$$

A carta de sustentabilidade do sistema foi produzida através de uma operação de álgebra de mapas, pela diferença entre o *risco de erosão do solo sem coberto* (*REC*) e o tema *tolerância à perda de solo* (*TS*). Da mesma forma, se a tolerância for inferior à perda de solo provocada pelo risco de erosão é atribuída a classificação de zona sensível, caso contrário é classificada como não sensível (Figura 3).

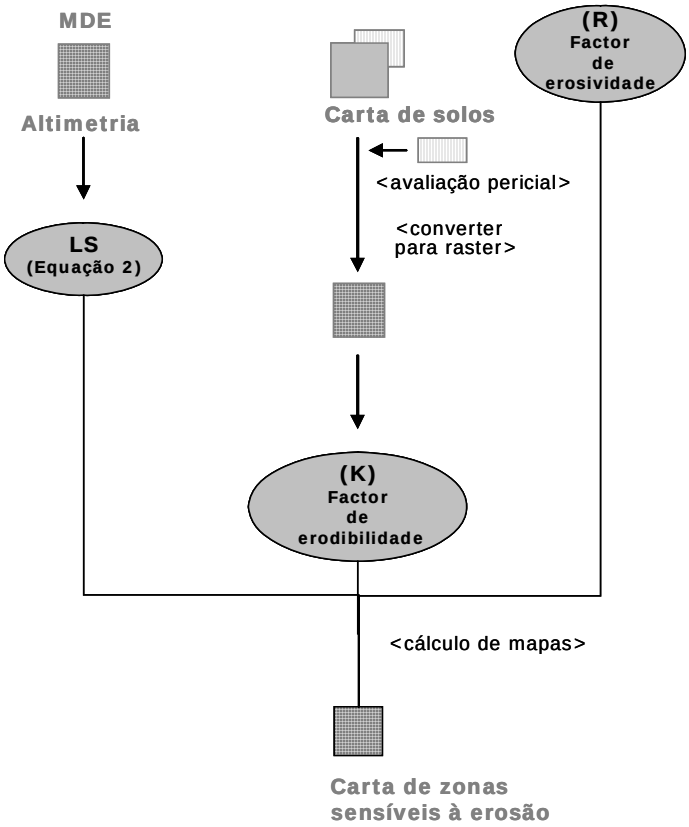

Figura 3 – Representação esquemática do modelo cartográfico para o cálculo das zonas sensíveis à erosão

Resultados

Risco de erosão

Da aplicação da metodologia acima referida verificou-se que mais de 96% da área florestal do Alto Alentejo, Alentejo Central, Alentejo Litoral e Baixo Alentejo se encontra na classe de perda de solo de 0 a 2,2 ton.ha^{-1} (Figuras 4 e 5). Refira-se ainda que as áreas em que a perda de solo é superior a 6,7 ton.ha^{-1} são pouco representativas (Quadro 3).

Da análise do risco de erosão do solo sem coberto verifica-se um aumento das áreas nas classes de perda de solo superiores a 2,2 ton.ha^{-1}, destacando-se o aumento da área nas classes de perda de solo de 2,2 a 4,5 ton.ha^{-1}, 4,5 a 6,7 ton.ha^{-1} e > 11,2 ton.ha^{-1} (Quadro 3).

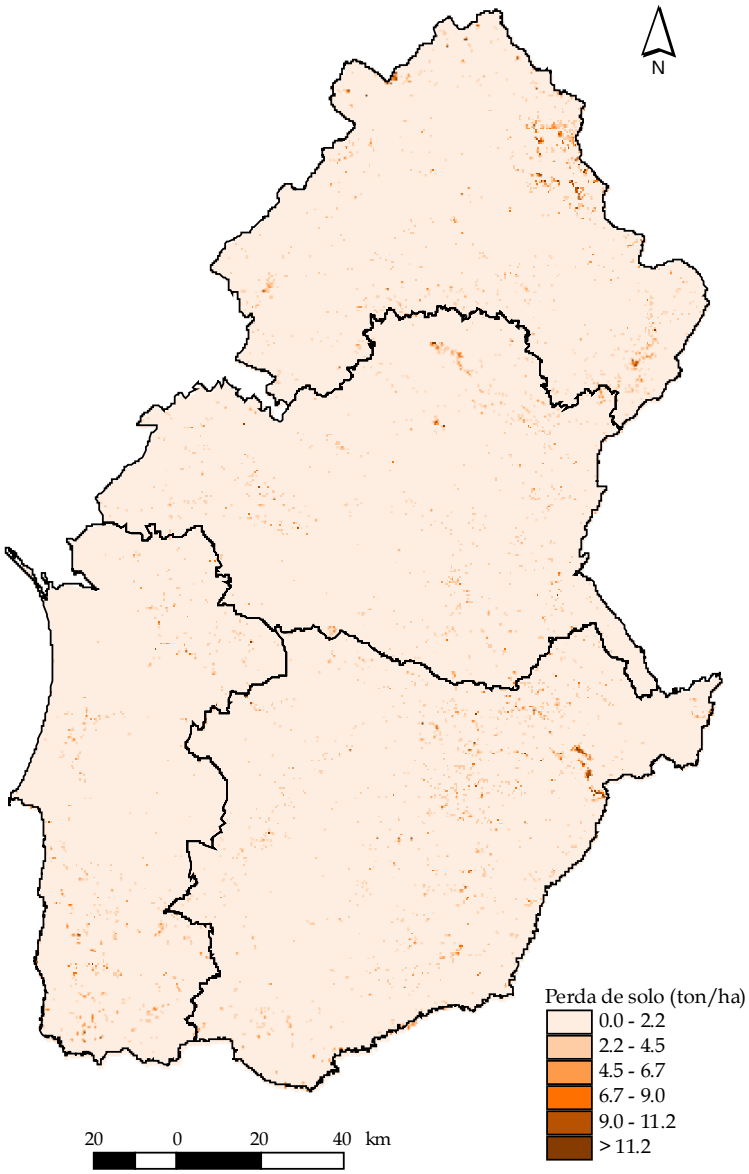

Figura 4 – Carta de risco de erosão (*RE*) para o Alentejo

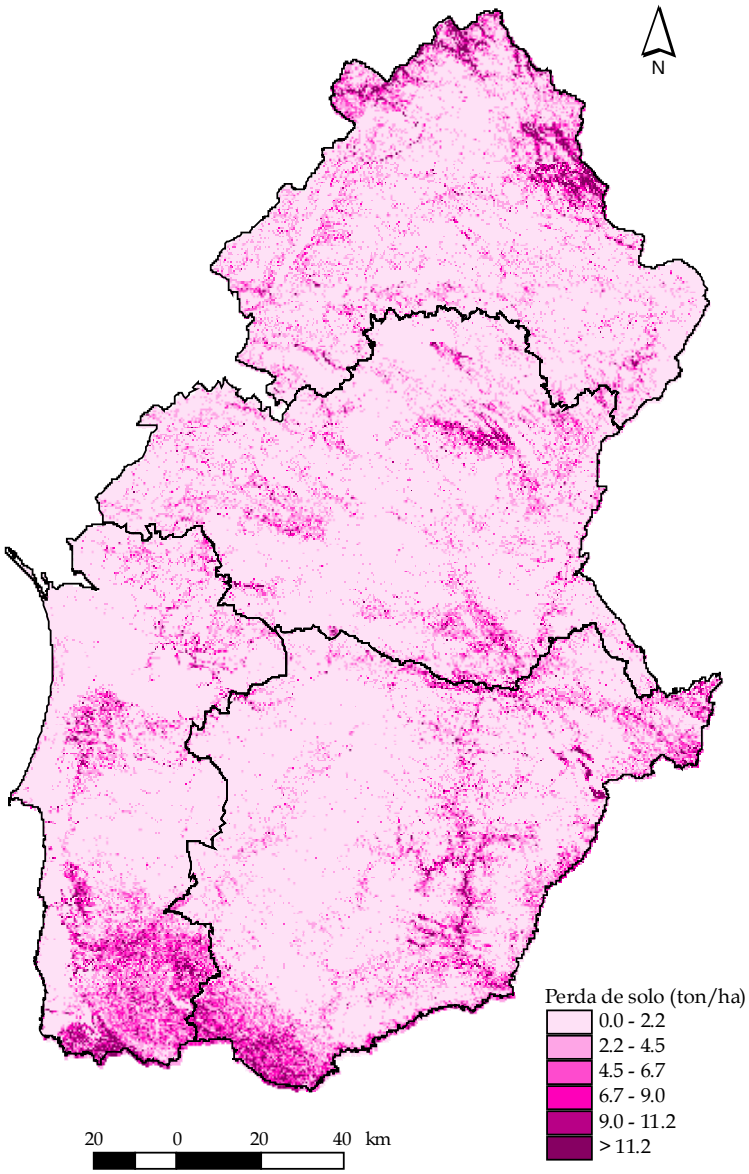

Figura 5 – Carta de risco de erosão do solo sem coberto (*REC*) para o Alentejo

Quadro 3 – Classes de perda de solo (% em relação à área total da NUT III)

Classes de Perda de Solo (ton.ha^{-1})	Alto Alentejo	Alentejo Central	Alentejo Litoral	Baixo Alentejo
Com Coberto (RE)				
0,0 - 2,2	96,4	97,5	97,7	96,8
2,2 - 4,5	2,6	2,1	1,8	2,6
4,5 - 6,7	0,6	0,3	0,4	0,4
6,7 - 9,0	0,2	0,1	0,1	0,1
9,0 - 11,2	0,1	0,0	0,0	0,1
>11,2	0,1	0,0	0,0	0,0
Sem Coberto (REC)				
0,0 - 2,2	70,7	77,1	68,3	71,1
2,2 - 4,5	18,4	15,9	15,8	17,1
4,5 - 6,7	5,2	4,2	7,7	6,1
6,7 - 9,0	2,3	1,6	4,2	2,9
9,0 - 11,2	1,2	0,6	2,0	1,4
>11,2	2,2	0,6	2,0	1,4

Zonas sensíveis à erosão

As áreas das zonas sensíveis à erosão, onde a tolerância à perda de solo é excedida, apresentam fraca expressão nas três regiões consideradas, tendo valores inferiores a 2% no Alentejo Central, no Alentejo Litoral e no Baixo Alentejo e apresentando um valor mais elevado de 4,6% no Alto Alentejo (Figuras 6 e 7). De facto a zonas sensíveis à erosão encontram-se predominantemente em locais onde o declive é mais acentuado, daí a sua maior expressão no Alto Alentejo (Quadro 4)

A comparação das zonas sensíveis à erosão num cenário de inexistência de coberto verifica-se um aumento entre 6,1% e 9,4% da área sensível à erosão (Quadro 4).

Considerações finais

Verifica-se que mais de 96% da área do Alto Alentejo, Alentejo Central, Alentejo Litoral e no Baixo Alentejo apresenta um risco de perda de solo baixo, considerando a aproximação e a escala de trabalho, que representa o nível regional, a que uma área sensível à perda de solo da ordem dos 5% no Alto Alentejo e no máximo de 2% no Alentejo Central, Alentejo Litoral e Baixo Alentejo.

Também no que diz respeito ao limite aceitável de perda de solo, tolerância à perda de solo, os resultados indicam que os limites aceitáveis, a nível regional, são respeitados.

A escala regional os riscos de perda de solo e as necessidades de medidas extraordinárias de protecção só se fazem sentir quando o coberto permanente é removido.

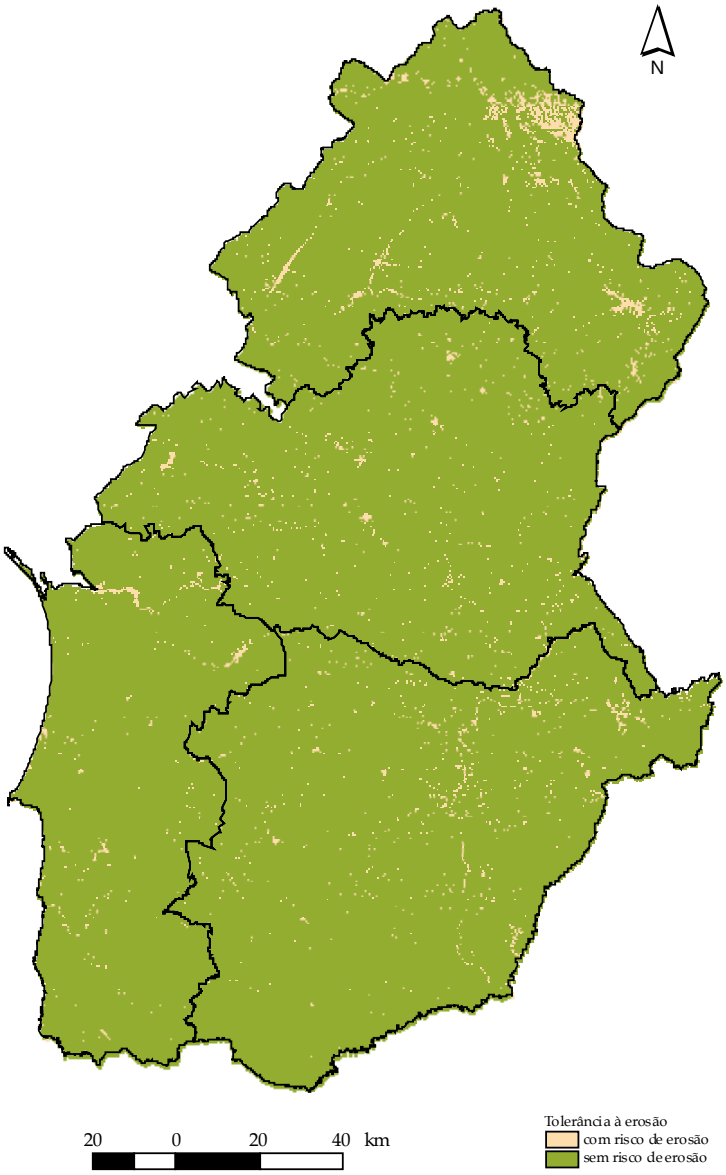

Figura 6 – Carta de zonas sensíveis à erosão (*ZS*) para o Alentejo

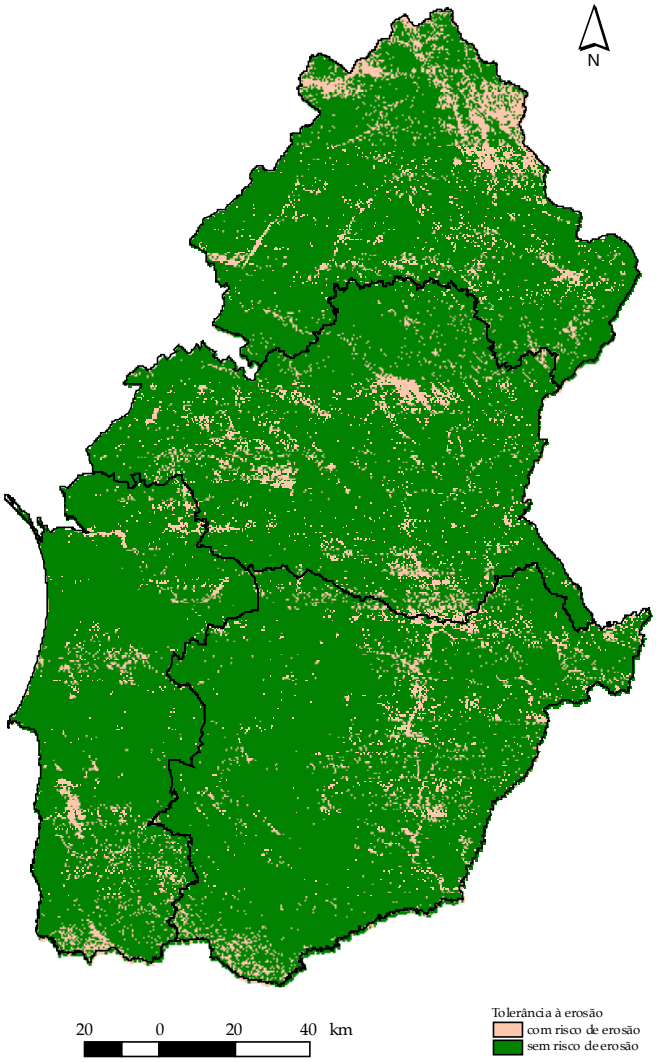

Figura 7 – Carta de sustentabilidade do sistema (*SS*) para o Alentejo

Quadro 4 – Classes de sensibilidade ao risco de erosão (% em relação à área total da NUT III)

Zonas Sensíveis	Alto Alentejo		Alentejo Central		Alentejo Litoral		Baixo Alentejo	
	com Coberto	*sem Coberto*	*com Coberto*	*sem Coberto*	*com Coberto*	*sem Coberto*	*com Coberto*	*sem Coberto*
Sensível	4,6	14,0	2,0	10,1	1,7	8,2	2,0	8,1
Não sensível	95,4	86,0	98,0	89,9	98,3	91,8	98,0	91,9

Agradecimentos

Os autores agradecem a colaboração, as sugestões e observações críticas dos membros das Associações de Produtores Florestais da Chamusca, Setúbal, Ponte de Sor, Alcácer do Sal e Coruche, da União da Floresta Mediterrânica, aos Colegas da Direcção Geral dos Recursos Florestais, da Universidade de Évora, Departamentos de Engenharia Rural, Fitotecnia, Planeamento Biofísico e Paisagístico e Economia e do Instituto Superior de Agronomia, Departamento de Engenharia Florestal.

Bibliografia

CARDOSO, J. C., 1965. Os solos de Portugal. Sua classificação, caracterização e génese. 1 – A sul do rio Tejo. Lisboa, 311 pp.

COUTINHO, M.A., TOMÁS, P.P., 1986. *Erosividade da precipitação.* II Simpósio Luso-Brasileiro de Hidráulica e Recursos Hídricos. Lisboa.

DGF, 2001. *Inventário Nacional Florestal. Portugal Continental. 3ª Revisão, 1995-1998. Relatório Final.* Direcção-Geral das Florestas. Lisboa, 233 pp.

FAO, 1977. *Guidelines for watershed management.* Food and agriculture organization of the United Nations. Rome.

FERREIRA, A.G., GONÇALVES, A.C., JÚLIO, C., DIAS, S.S., PINHEIRO, A.C., D'ABREU, A.C., NEVES, N., AFONSO, T., 2006a. *Base de ordenamento florestal*. Volume I – Alto Alentejo. Universidade de Évora, 219 pp. +anexos+CD.

FERREIRA, A.G., GONÇALVES, A.C., JÚLIO, C., DIAS, S.S., PINHEIRO, A.C., D'ABREU, A.C., NEVES, N., AFONSO, T., 2006b. *Base de ordenamento florestal*. Volume II – Alentejo Central. Universidade de Évora, 223 pp. +anexos+CD.

FERREIRA, A.G., GONÇALVES, A.C., JÚLIO, C., DIAS, S.S., PINHEIRO, A.C., D'ABREU, A.C., NEVES, N., AFONSO, T., 2006c. *Base de ordenamento florestal*. Volume III – Alentejo Litoral. Universidade de Évora, 217 pp. +anexos+CD.

JENNY, H., 1983. The soil resourse. Origin and behaviour. Ecological Studies, 37. Springer-Verlag. 377 pp.

KOHNKE, H., BERTRAND, A.R., 1959. *Soil conservation*. McGraw-Hill book Company. New York, 298 pp.

ÖZHAN, S., BALCI, A.N., ÖZYUVACI, N., HIZAL, A., GÖKBULAK, F., SERENGIL, Y., 2005. Cover and management factors for the Universal Soil-Loss. Equation for forest ecosystems in the Marmara region, Turkey. *Forest Ecology and Management* **214**: 118-123.

RICHARDSON, B., SKINNER, M.F., WEST, G., 1999. The role of forest productivity in defining the sustainability of plantation forests in New Zealand. *Forest Ecology and Management* **122**: 125–137.

ROSEWELL, C.J., 1993. SOILOSS. A program to assist in the selection of management practices to reduce erosion. *Technical Handbook* nº 11. 2nd Edition. 107 pp.

SCHOENHOLTZ, S.H., MIEGROET, H., BURGER, J.A., 2000. A review of chemical and physical properties as indicators of forest soil quality: challenges and opportunities. *Forest Ecology and Management* **138**: 335-356.

SILVA, J.R.M., 1999. *Susceptibilidade do solo à erosão hídrica.* Dissertação de Doutoramento. Universidade de Évora. 176 pp.

WISCHMEIER, W.H., SMITH, D.D., 1965. *P*redicting rainfall erosion losses from cropland east of Rocky Mountyains. *Agr. Handbook* nº 282, Dept. Agr. Washington DC.