

# **SUSCEPTIBILIDADE À EROÇÃO HÍDRICA NA BACIA DA RIBEIRA SECA (SANTIAGO, CABO VERDE)**

**Fernando L. Costa & M. Carmo Nunes**

Dep. C. Naturais, Instituto de Investigação Científica Tropical (IICT)  
flcosta1955@gmail.com; mcarmonunes@hotmail.com

## **Resumo:**

Na Ilha de Santiago, em Cabo Verde, a erosão hídrica é o processo que afecta áreas mais extensas. A ocorrência de aguaceiros intensos e concentrados no tempo e no espaço promovem uma marcada erosividade das precipitações, com forte irregularidade regional. A grande variabilidade dos declives e das formas das vertentes, associadas à diversidade litológica, bem como à multiplicidade de ocupação do solo, permitem condições de erodibilidade muito contrastadas no espaço.

O objectivo deste trabalho é obter um mapa de susceptibilidade à erosão hídrica para a bacia da Ribeira Seca (Santiago oriental) com base no modelo digital do terreno (MDT), nos mapas geológico e de ocupação do solo e na distribuição da erosividade das precipitações.

Verifica-se que o sector sudeste da bacia é o mais susceptível à erosão hídrica, pois nele ocorrem a maior concentração diária das precipitações e as condições geomorfológicas e de coberto do solo de mais elevada erodibilidade.

**Palavras-chave:** erosão hídrica / erodibilidade / erosividade / Cabo Verde.

## **Susceptibility to hidric erosion in the Ribeira Seca basin (Santiago, Cape Verde)**

### **Abstract:**

In Santiago Island, Cape Verde, the hidric erosion is the most widespread process. The rainfall events are high centred and intense promoting strong precipitation erosivity and have a great spatial variability. The high diversity of slopes steepness, lanforms, geological units and land cover is responsible for the great spatial contrast of erodibility conditions.

The goal of this study is to produce a susceptibility hidric erosion map for Ribeira Seca basin (Santiago oriental) based on a Digital Elevation Model (DEM) and on geological, land cover and rain erosivity maps.

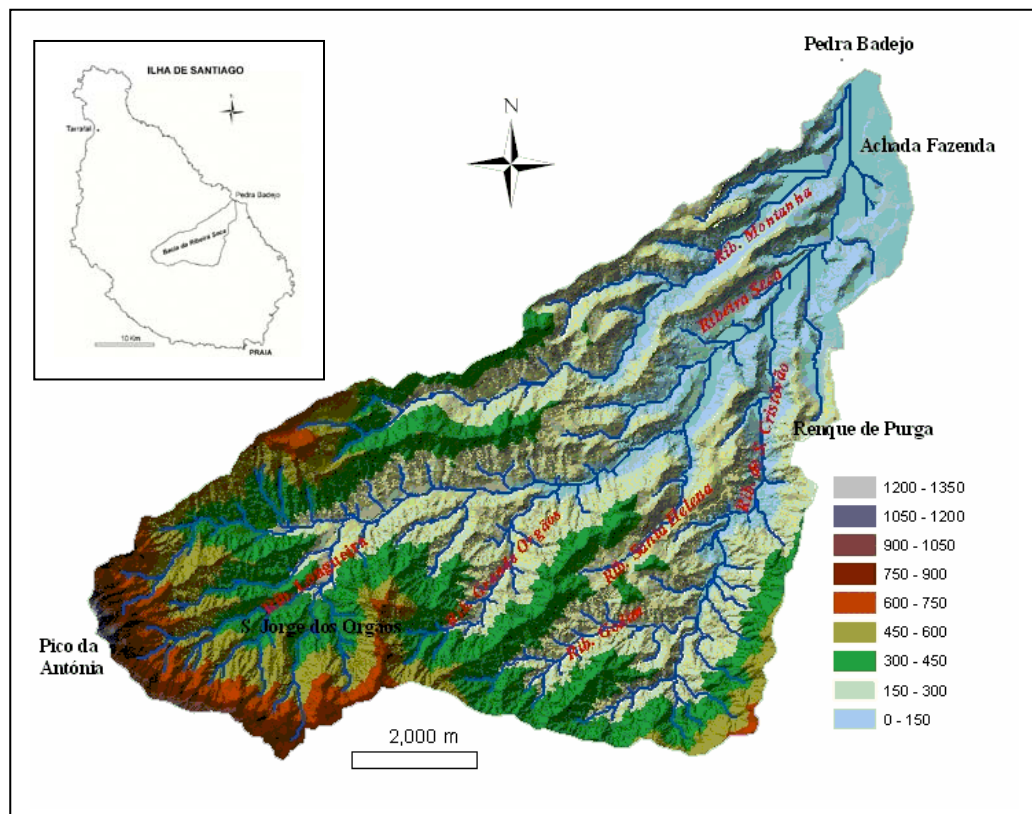
The results show that the south-eastern area of the basin is the most susceptible to hidric erosion, due to local daily rainfall concentration and geomorphological and land cover conditions of higher erodibility.

**Keywords:** Hidric erosion / erodibility / erosivity / Cape Verde.

## 1 - Introdução

A bacia da Ribeira Seca é a maior da Ilha de Santiago, com uma área aproximada de 70Km<sup>2</sup>, e desenvolve-se na sua fachada oriental, mais pluviosa, entre o Maciço do Pico da Antónia (1350m) e a costa leste a sul de Pedra Badejo (figura 1). Apresenta uma grande diversidade de condições geomorfológicas, litológicas, pedológicas, hidrográficas, pluviométricas e de cobertura vegetal, sendo uma das bacias da Ilha mais relevantes do ponto de vista de produção agrícola.

FIGURA 1 – Modelo Digital do Terreno da Bacia da Ribeira Seca (Costa e Nunes, 2007b).



À semelhança do que acontece em todo o arquipélago, os processos de erosão hídrica são os mais activos e que afectam áreas mais extensas, apesar da curta duração da estação húmida, de três meses, durante a qual ocorrem precipitações em apenas 10% dos dias. Na bacia a grande diversidade das formas de relevo, marcada por declives acentuados e por uma grande variabilidade de formas das vertentes e a existência de rochas com diferentes graus de erodibilidade, induzem a uma erosão hídrica, que embora generalizada a toda a bacia, tem uma intensidade muito diversificada no espaço, na dependência de condicionantes locais

(Costa, 2002). A estes factores associam-se a fraca cobertura vegetal, o remeximento do solo para fins agrícolas e as condições de clima semi-árido saheliano, com chuvas concentradas e intensas, que acentuam ainda mais aquela dinâmica.

Os estudos de geomorfologia levados a cabo na bacia permitiram definir como principais condicionantes responsáveis pelos processos de erosão hídrica o declive, o perfil e traçado das vertentes e ainda a erodibilidade das rochas e dos materiais de cobertura (Costa e Nunes, 2007a).

A maioria dos autores referiu o declive como um dos factores mais relevantes (Marques, 1984 e Bertrand, 1994). Salientam que em declives entre 20 e 70%, mais frequentes a meia vertente e no seu sector superior, ocorrem os testemunhos mais evidentes da acção do escoamento. Nestes sectores formam-se sobretudo sulcos, que aqui registam uma maior densidade e dimensão (Costa, 2004). Em declives abaixo dos 20% surgem ravinas, que, embora extensas e de maiores proporções, têm uma menor densidade. Acima dos 70% observa-se algum rebaixamento topográfico e os vestígios de erosão hídrica vão escasseando com o aumento do declive.

O perfil das vertentes foi igualmente considerado como um factor muito marcante de erodibilidade. Nos sectores rectilíneos, predominantes na bacia, verifica-se a presença de uma elevada densidade e uma maior extensão, largura e profundidade dos sulcos (Costa, 2004). Nos sectores de perfil côncavo, em particular para a base das vertentes onde os declives diminuem, predominam ravinas que embora extensas são pouco densas.

O traçado das vertentes foi também referenciado como um dos factores importantes de erosão hídrica, de acordo com observações detalhadas de campo (Costa, 2004). Nos sectores de traçado côncavo os sulcos atingem uma maior densidade, comprimento, largura e profundidade e as ravinas são mais extensas, estas têm, no entanto, maior densidade em sectores de traçado rectilíneo.

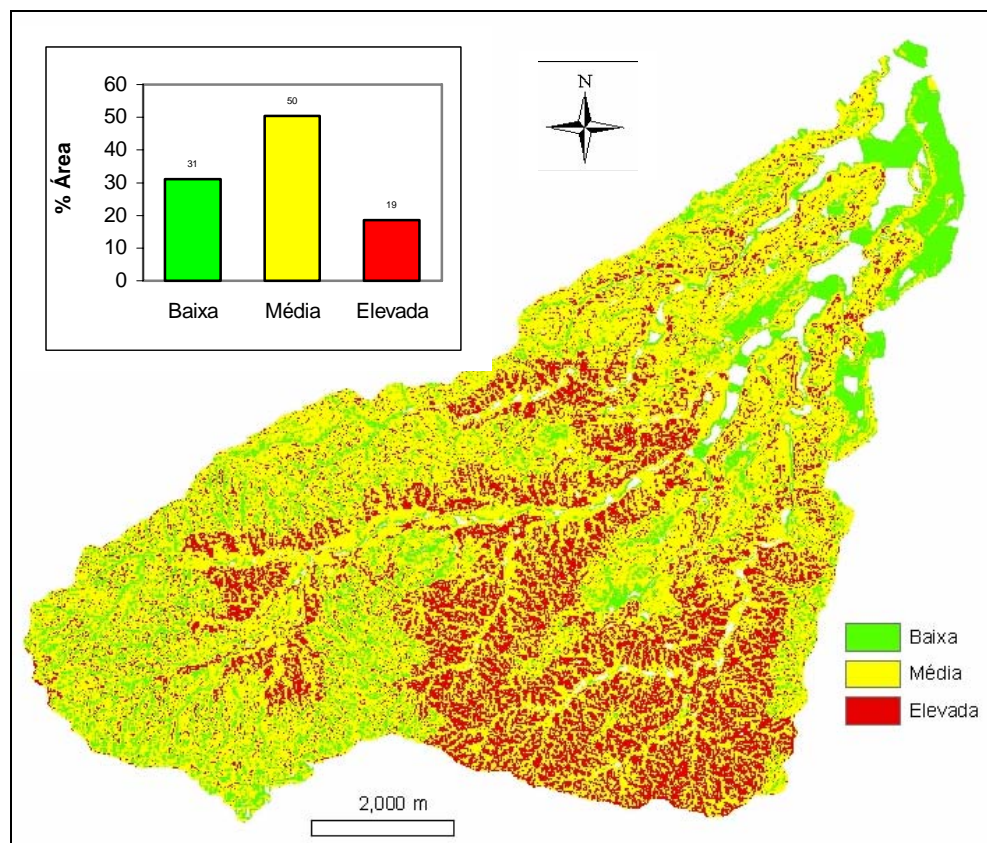
Do conjunto dos factores relacionados com o relevo, conclui-se que os sectores das vertentes mais susceptíveis à erosão hídrica na bacia são os de perfis rectilíneo e convexo, que ocupam respectivamente 40 e 21% da sua área, bem como os de traçados côncavo e convexo, que correspondem respectivamente a 14 e 39% da superfície (Costa e Nunes, 2007a).

A litologia foi também assinalada como uma das condicionantes de erodibilidade, sendo as áreas mais susceptíveis as talhadas em materiais friáveis, com texturas granulares a finas, como alguns piroclastos, depósitos fluviais e sobretudo conglomerados e brechas sedimentares, que ocupam aproximadamente 40 % da área da bacia, onde são mais comuns os sulcos e o rebaixamento topográfico. O processo resultante do escoamento elementar em

toalha ou laminar difuso, é pouco visível nas áreas cobertas por cascalheiras. As ravinas são mais frequentes no contexto das mesmas unidades geológicas dos sulcos e também em vertentes onde afloram lavas em almofada e em sectores cobertos por cascalheiras (Costa, 2002). Estes últimos sectores podem-se considerar de erodibilidade média e encontram-se em apenas 14% da superfície da bacia. As unidades menos susceptíveis à erosão hídrica são as formações sedimentares plio-quaternárias e os mantos lávicos do complexo eruptivo dominante na bacia, ocupando metade da sua área.

Com base nestes factores geomorfológicos (perfil, traçado e declive das vertentes e litologia) Costa e Nunes (2007a e 2007b) elaboraram um modelo de avaliação da susceptibilidade de erosão hídrica, de que resultou o mapa da figura 2.

**FIGURA 2 – Susceptibilidade à erosão hídrica em função de factores geomorfológicos na bacia da Ribeira Seca (Costa e Nunes, 2007b).**

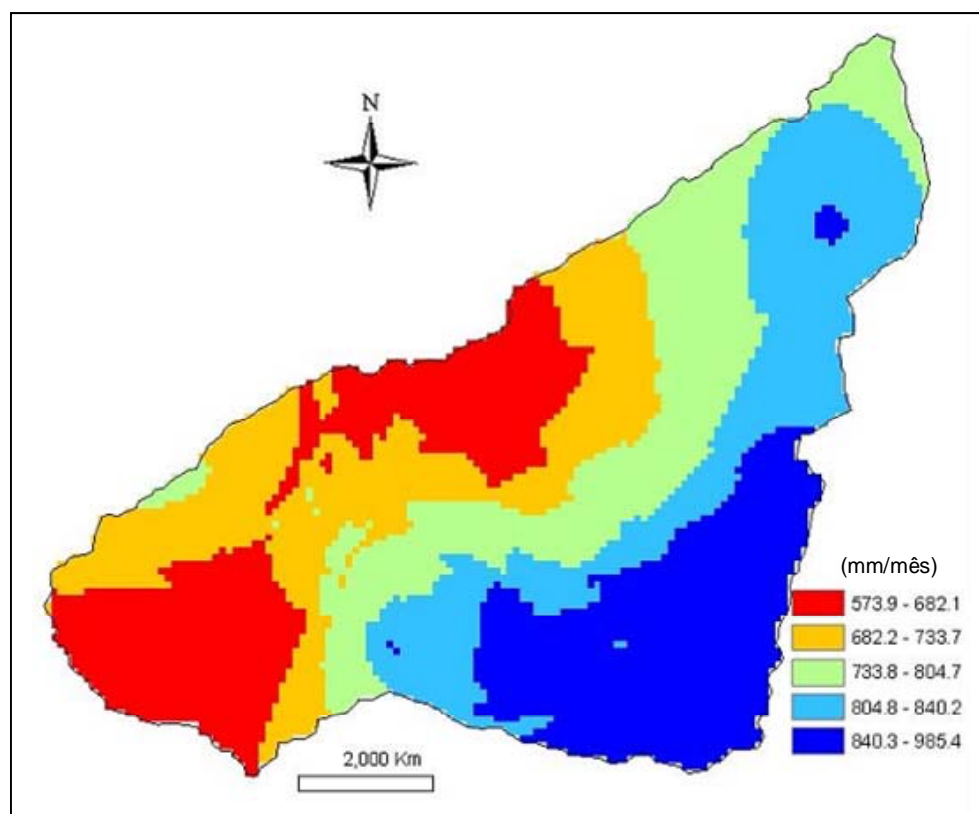


Os resultados deste modelo mostraram que as vertentes irregulares são mais sujeitas à erosão hídrica, sendo os sectores mais afectados os que têm declives entre 20 e 35%, com perfil rectilíneo e traçado côncavo, onde predominam o rebaixamento topográfico e a sulcagem. Seguem-se os troços com declives de 10 a 20% e de 35 a 70%, com perfil e traçado

convexo. Os menos susceptíveis são os sectores com declive entre 2 e 10% e acima de 70%, com perfil côncavo e traçado rectilíneo, onde é mais frequente o ravinamento (Costa e Nunes, 2007a).

As regiões mais susceptíveis são as do sector centro oriental, sobretudo devido à elevada erodibilidade das unidades geológicas locais. Na realidade são os tipos de rochas, nomeadamente as coberturas de cascalheiras e a fraca representatividade dos sectores das vertentes com traçados côncavos, que atenuam a elevada erodibilidade que os declives e os perfis das vertentes indiciam (Costa e Nunes, 2007a e 2007b). Este sector central e sudeste encontra-se entre os mais susceptíveis à erosão hídrica de toda a bacia, dado que à mais elevada erodibilidade acresce a mais marcada erosividade das precipitações, conforme sugere a sua acentuada intensidade pluviométrica (figura 3) (Costa e Nunes, 2008).

**FIGURA 3 - Intensidade pluviométrica (IP) na bacia da Ribeira Seca (Costa e Nunes, 2008).**



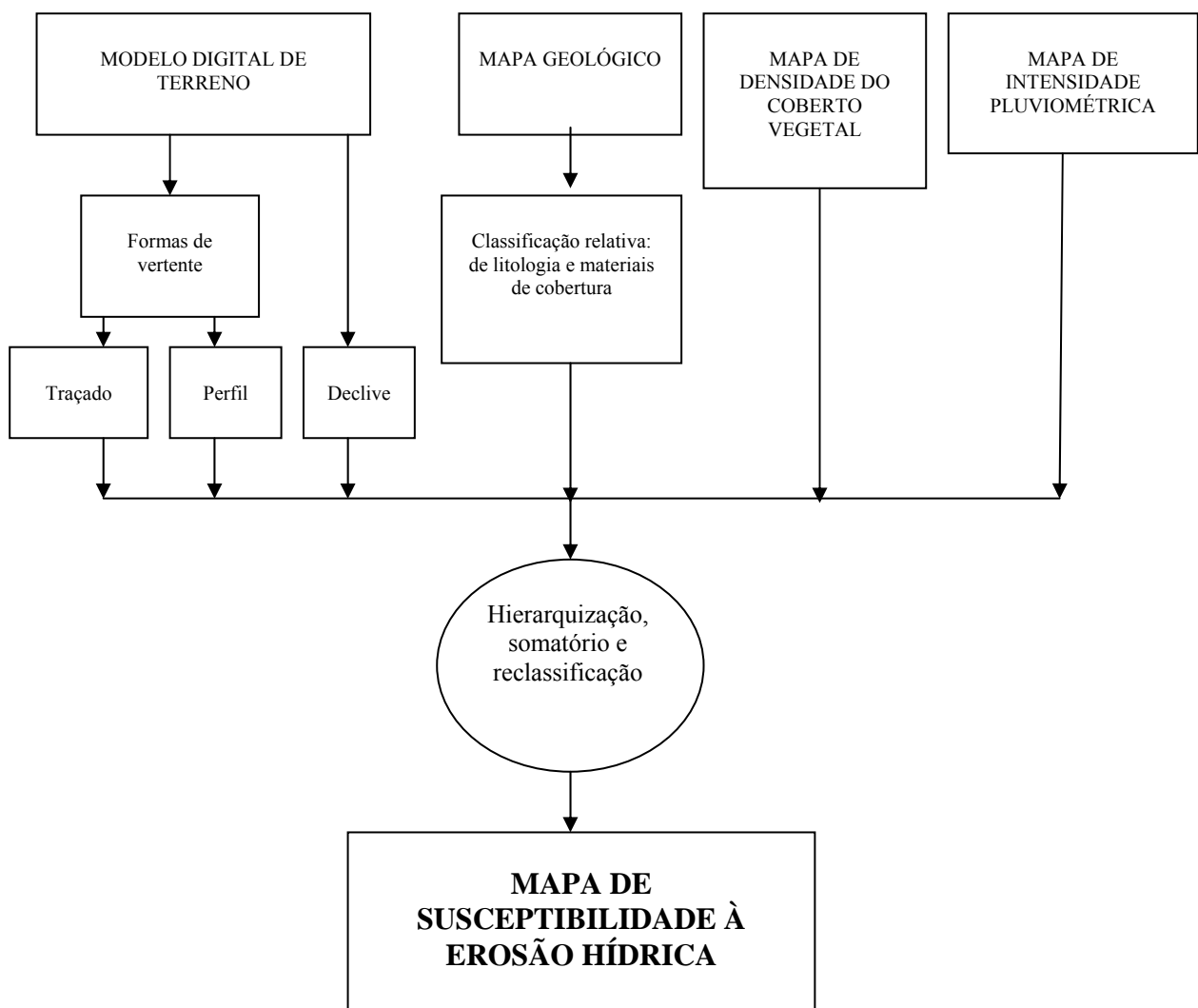
## 2 - Metodologia e dados

Neste estudo pretende-se avaliar a erosão hídrica na bacia da Ribeira Seca através de uma modelo espacial que integre todas as condicionantes naturais referenciadas para a região.

O fluxograma da figura 4 apresenta a sequência dos procedimentos realizados para obter um mapa de susceptibilidade à erosão hídrica, como produto final. Este modelo inclui factores geomorfológicos (geologia, perfil, traçado e declive), de densidade do coberto vegetal (figura 5) e de intensidade pluviométrica (figura 3).

Cada factor foi discretizado em três classes, cuja hierarquia relativa depende da susceptibilidade à erosão hídrica, de acordo com informações detalhadas de campo e as fornecidas pelos vários autores que estudaram esta região (Roose, 1994; Barry *et al.* 1995; Costa, 2002) (Tabela 1).

**FIGURA 4 – Modelo de susceptibilidade à erosão hídrica em função de factores geomorfológicos, de densidade de coberto do solo e da intensidade pluviométrica.**



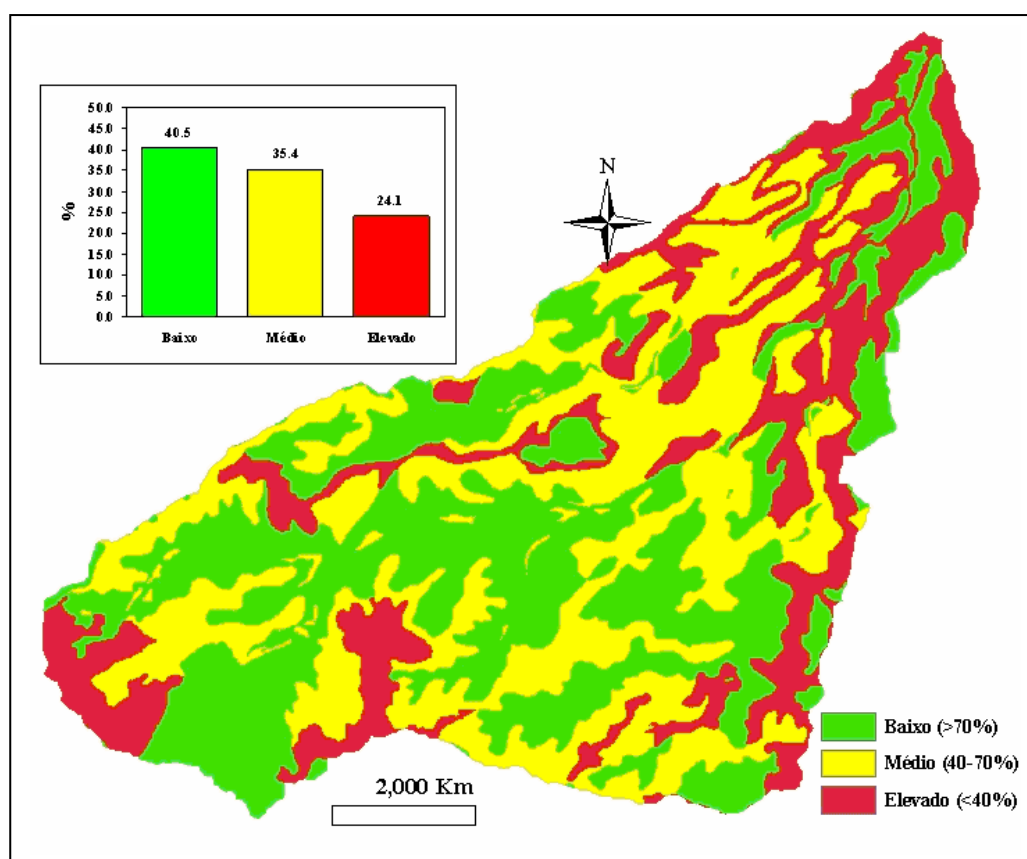
**TABELA 1 – Hierarquia da susceptibilidade à erosão hídrica dos factores integrantes do modelo.**

Hierarquia	Declive (%)	Perfil	Traçado	Geologia	Densidade do coberto vegetal (%)	Intensidade pluviométrica (mm/dia)
1 (Baixo)	]2-10] e >70	Côncavo	Rectilíneo	Sedimentos plio-quaternários e lavas com raros piroclastos mio-pleiocénicos	≥70	]573.9-733.7]
2 (Médio)	]10-20] e ]35-70]	Convexo	Convexo	Piroclastos e mantos submarinos mio-pleiocénicos e cascalheiras de vertente	40-70	]733.8-840.2]
3 (Elevado)	]20-35]	Rectilíneo	Côncavo	Conglomerados e brechas sedimentares miocénicos e cones de piroclastos quaternários	≤40	>840.3

As condicionantes associadas às formas de relevo e declive das vertentes foram obtidas a partir do modelo digital do terreno, e a respeitante à geologia do mapa geológico (JIU/IICT, 1976) e de observações detalhadas de campo (Costa e Nunes, 2007a e 2007b).

A informação referente à densidade de coberto vegetal resultou do mapa de ocupação do solo (SCETAGRI, 1981), reclassificado em três classes de susceptibilidade à erosão hídrica, de acordo com a respectiva densidade (figura 5).

**FIGURA 5 – Susceptibilidade à erosão hídrica em função da densidade de coberto vegetal na bacia da Ribeira Seca.**



O mapa referente à intensidade da precipitação ( $I_p$ ) (figura 3), foi obtido com base em dados da precipitação mediana anual, de 43 postos udométricos de observação, distribuídos pela área da bacia e circundante, relativos a um período de 20 anos, aplicando a equação 1, de Crepani *et al.* (2004, citando Buckman e Brady, 1976), que expressa em mm/mês a pluviosidade total anual (Panual) por dias de chuva mensais.

$$I_p = \text{Panual} / (\text{N}^\circ \text{ de dias de chuva}/30) \quad \text{Equação 1}$$

A intensidade pluviométrica exprime “a energia potencial disponível para se transformar em energia cinética responsável pela erosividade das precipitações” (Crepani et al., 2004), envolvida nos processos de erosão hídrica.

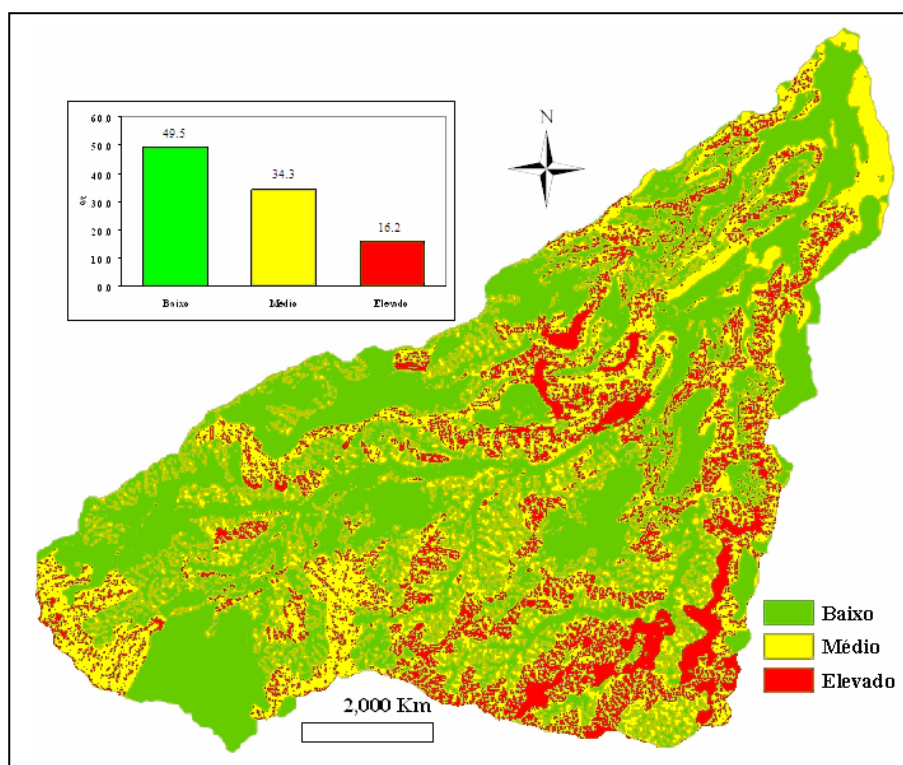
Do modelo, esquematizado na figura 4, foi produzido um mapa de susceptibilidade à erosão hídrica, que resultou do somatório em *rank* dos seis mapas reclassificados relativos aos declives, perfil, traçado, geologia, densidade do coberto vegetal e intensidade pluviométrica. Posteriormente, foi sujeito a uma reclassificação para três classes de susceptibilidade (baixa, média e elevada), de que resultou o mapa final da figura 6.

### **3 - Resultados e conclusões**

Do modelo de susceptibilidade à erosão hídrica em função de variáveis geomorfológicas de Costa e Nunes (2007a) verificou-se que apenas 19% da bacia tem uma susceptibilidade à erosão elevada, 31% baixa e 50% média (figura 2). As regiões do centro oriental são as mais susceptíveis, sobretudo devido à elevada erodibilidade das unidades geológicas locais, à maior frequência de sectores das vertentes com declives médios e com perfis rectilíneos, embora, em parte, atenuados pela fraca representatividade dos traçados côncavos.

A inclusão do factor densidade de coberto vegetal no modelo anterior teve como resultado um aumento das áreas de susceptibilidade baixa, para 49,5%, e a redução das com susceptibilidade média e elevada, respectivamente para 34,3% e 16,2% (figuras 2 e 6). Conclui-se, assim que as áreas mais susceptíveis do ponto de vista geomorfológico dispõem de uma cobertura vegetal que lhes pode conferir menor erodibilidade. As regiões mais susceptíveis continuam a ser as do sector sudeste da bacia (figura 6), a que se associam as vertentes dos vales mais encaixados, em particular dos sectores central e oriental, bem como as escarpas rochosas a oeste, no bordo do Maciço do Pico da Antónia (figura 1).

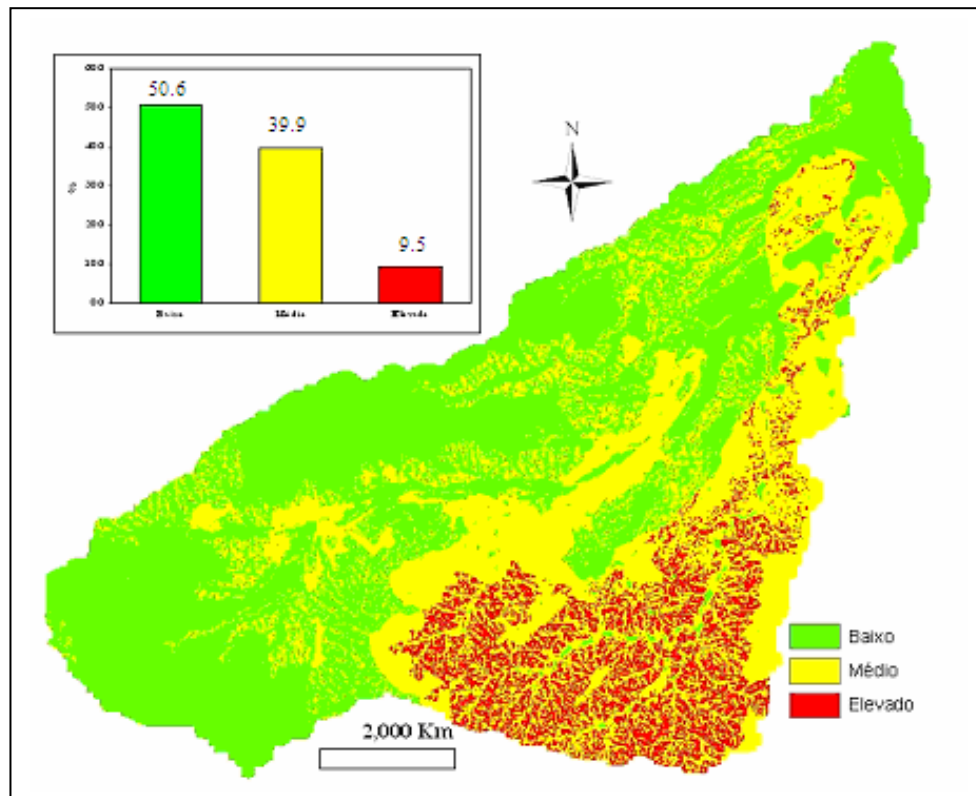
**FIGURA 6 – Susceptibilidade à erosão hídrica em função de factores geomorfológicos e da densidade de coberto vegetal na bacia da Ribeira Seca.**



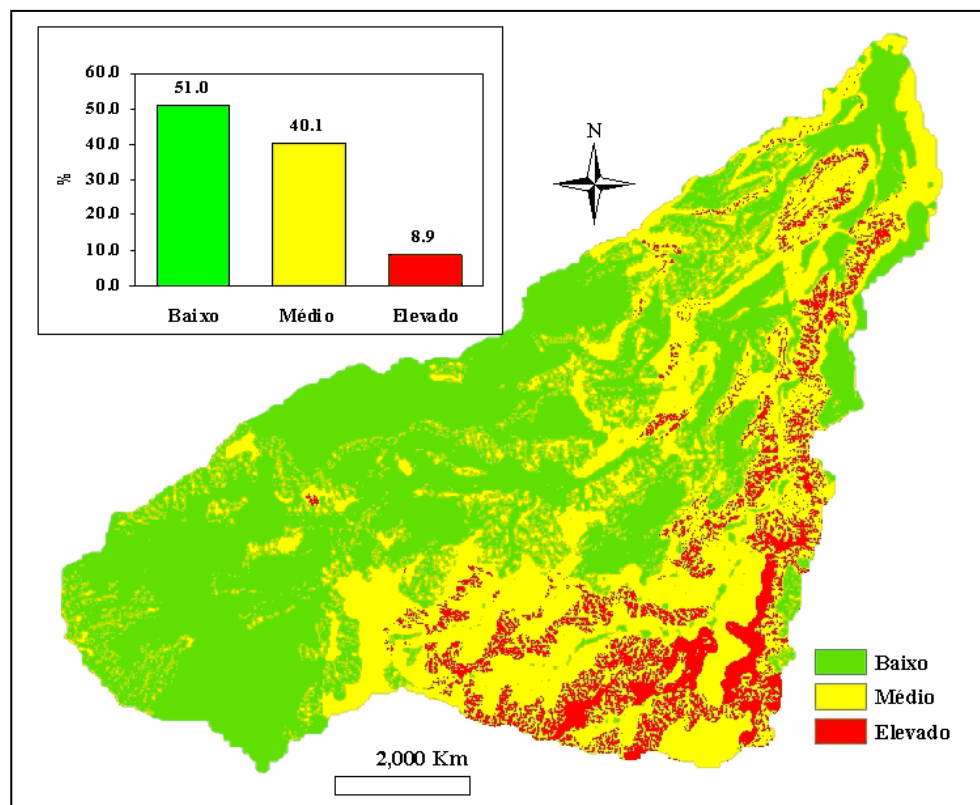
Ao integrar a intensidade pluviométrica no modelo de susceptibilidade à erosão hídrica, em função de factores geomorfológicos, aumentam as áreas de susceptibilidade baixa, para 50,6%, e decrescem as de susceptibilidade média e elevada, respectivamente para 39,9% e 9,5% (figuras 2 e 7). Conclui-se que as regiões mais susceptíveis continuam a ser as do sector sudeste de bacia, quer pela sua elevada erodibilidade em função dos factores geomorfológicos, quer pela sua acentuada erosividade, definida pela intensidade pluviométrica (figura 3).

A integração de todos os factores, geomorfológicos, de densidade do coberto vegetal e de intensidade pluviométrica, permite obter um mapa onde a área de susceptibilidade baixa ocupa 51% da bacia, a média 40,1% e a elevada apenas 8,9% (figura 8). Verifica-se que os sectores sudeste e leste continuam a ser os mais susceptíveis, em particular as vertentes dos vales, quer pela acentuada erodibilidade em função dos factores geomorfológicos e da fraca cobertura vegetal, quer pela sua acentuada intensidade pluviométrica. Este último factor desempenha um papel fundamental pois individualiza claramente as regiões mais susceptíveis à erosão do sudeste da bacia (figuras 7 e 8).

**FIGURA 7 – Susceptibilidade à erosão hídrica em função de factores geomorfológicos e da intensidade pluviométrica na bacia da Ribeira Seca.**



**FIGURA 8 – Susceptibilidade à erosão hídrica em função de factores geomorfológicos, de coberto vegetal e de intensidade pluviométrica.**



Em face destes resultados, neste sector sudeste da bacia as formas de ocupação e utilização do solo, nomeadamente o tipo de práticas agrícolas, bem como as medidas de conservação de solos, devem evitar o remeximento superficial excessivo e a criação de condições que provoquem a retenção das águas pluviais, que se encontram na origem dos processos de erosão hídrica mais gravosos.

Os resultados obtidos pelo modelo de susceptibilidade à erosão hídrica que integra todos os factores (figura 8), poderão vir a ser melhorados, no que diz respeito às formas de relevo e declives, através de um modelo digital de terreno mais preciso.

No que concerne à erosividade das precipitações, o recurso a outros indicadores de concentração e intensidade das precipitações, obtidos a partir registos diários e à escala do episódio chuvoso, associados à exposição aos fluxos pluviogénicos, poderão dar outro contributo para a definição mais concisa deste factor.

A informação sobre o coberto vegetal poderá ser igualmente melhorada, com base em registos que tenham em conta a sazonalidade da densidade, a discriminação das práticas agrícolas mais comuns, bem como as medidas de conservação do solo responsáveis pelo desencadeamento de diferentes formas e intensidades de erosão hídrica.

#### **4 - Bibliografia**

- BARRY, O.; SMOLIKOWSKI, B. e ROOSE, E. (1995): Un projet de développement innovant au Cap Vert: le PRODAP. *Agriculture et Développement*, Montpellier, 5: 57-68.
- BERTRAND, R. (1994): *Étude des sols dans les paysages du haut bassin versant de Ribeira Seca*. CIRAD / PRODAP-FIDA / MA INIDA, Montpellier, 78 p.
- COSTA, F.L. (2002): *Evolução geomorfológica quaternária e dinâmica actual na bacia da Ribeira Seca (Santiago oriental - Cabo Verde)*. Provas para Investigador Auxiliar apresentadas ao Instituto de Investigação Científica Tropical, 270 p.
- COSTA, F.L. (2004): “Contribuições para o conhecimento dos processos erosivos em Cabo Verde”, *GeoInova. Revista do Departamento de Geografia e Planeamento Regional*, 15: 215-244.

- COSTA, F. L. e NUNES, M.C. (2007a): “Condicionantes geomorfológicas de erosão hídrica na bacia da Ribeira Seca (Santiago, Cabo Verde)”, *Publicações da Associação Portuguesa de Geomorfólogos*, 5: 107-120.
- COSTA, F. L. e NUNES, M.C. (2007b): “Contributos para o conhecimento da perda de solo na bacia da Ribeira Seca (Santiago, Cabo Verde)”, *1º Congresso Lusófono de Ciência Regional*, 16 p..
- COSTA, F. L. e NUNES, M.C. (2008): “A precipitação como factor de erosão hídrica na bacia da Ribeira Seca, Santiago, Cabo Verde”, *Workshop Internacional sobre Clima e Recursos Naturais nos Países de Língua Portuguesa. Parcerias na Área do Clima e Ambiente*, 16 p..
- CREPANI, E.; MEDEIROS, J. & PALMEIRA, A., (2004): *Intensidade pluviométrica: uma maneira de tratar dados pluviométricos para análise da vulnerabilidade de paisagens à perda de solo*, São José dos Campos, Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, 30 p..
- JIU/IICT (1976): *Carta Geológica de Cabo Verde. Ilha de Santiago. Na escala de 1:25.000*. Lisboa, Junta de Investigações do Ultramar (lev. A. Serralheiro, 1970) (folhas 52, 54 e 55).
- MARQUES, M. (1984): *Relatório técnico da missão de cooperação (5ª fase) realizada na República de Cabo Verde em Jun/Jul 1983. 1 - Ensaio de compartimentação da paisagem na bacia hidrográfica da Ribeira Seca (ilha de Santiago)*. Centro de Estudos de Pedologia, Lisboa, 50 p.
- NUNES, M.C. e COSTA, F. L. (2008): “Interpolação espacial da precipitação na bacia da Ribeira Seca por procedimentos geoestatísticos”, *Workshop Internacional sobre Clima e Recursos Naturais nos Países de Língua Portuguesa. Parcerias na Área do Clima e Ambiente*, 11 p..
- Roose, E. (1994) - *La gestion conservatoire de l’eau, de la biomasse et de la fertilité des sols (GCES) une nouvelle méthode de lutte antiérosive testée par le projet PRODAP dans une zone semi aride montagneuse au Cap Vert (Godim, Ribeira Seca, île de Santiago). Compte rendu de la mission du 17 au 29 mai 1994 en appui au PRODAP-FIDA*. S/ ed., S/ local, 18 p.
- SETAGRI (1981): *Carta de ocupação dos solos na escala de 1/25.000*. [Praia], Ministério do Desenvolvimento Rural / SCET AGRI (Santiago - folhas Leste e Oeste).