

## USO DA GEOTECNOLOGIA NA ESTIMATIVA DA EROSIVIDADE DAS CHUVAS E SUA RELAÇÃO COM O USO E OCUPAÇÃO DO SOLO PARA O ESPÍRITO SANTO

*Nathália Suemi Saito*

Eng. Florestal, Estudante de mestrado em Ciências Florestais – UFES – Universidade Federal do Espírito Santo E-mail:  
nssaito@gmail.com

*Roberto Avelino Cecílio*

Engenheiro Agrícola, D. Sc., Professor Adjunto, Departamento de Engenharia Florestal, Área de recursos hídricos e manejo de  
bacias hidrográficas. Bolsista de Produtividade em Pesquisa do CNPq. E-mail: racecilio@yahoo.com.br

*José Eduardo Macedo Pezzopane*

Eng. Florestal, D.Sc., Bolsista de Produtividade em Pesquisa do CNPq, Professor Adjunto do Departamento de Engenharia Florestal  
– UFES – Universidade Federal do Espírito Santo

*Alexandre Rosa dos Santos*

Eng. Agrônomo, D.Sc., Professor Adjunto do Departamento de Engenharia Rural – UFES – Universidade Federal do Espírito Santo

*Giovanni de Oliveira Garcia*

Eng. Agrônomo, D.Sc., Professor Adjunto do Departamento de Engenharia Rural – UFES – Universidade Federal do Espírito Santo  
E-mail: giovanni@cca.ufes.br

**Resumo:** O presente trabalho teve por objetivo utilizar técnicas da geotecnologia para estimar a erosividade das chuvas (R), e analisar a relação com o uso e ocupação do solo no Estado do Espírito Santo. Equações empíricas foram utilizadas para calcular os valores de R em estações pluviométricas do estado, sendo os mapas de distribuição espacial deste fator criados a partir do uso do interpolador krigagem esférica. O fator R foi classificado em três classes: alta erosividade (AE), média erosividade (ME) e baixa erosividade (BE). O uso e ocupação do solo foi classificado em três tipos: Floresta (F), Agricultura (A) e não Vegetado (NV). O software ArcGIS 9.2 foi utilizado para realizar o cruzamento entre os mapas de erosividade e de uso e ocupação do solo. Áreas com AE foram inferiores a 1% do Estado. Áreas com ME ocuparam mais de 2 / 3 da superfície, sendo 38,5% desta ocupada pela agricultura. Áreas NV, que geralmente apresentam maior susceptibilidade à erosão, não estão contribuindo em uma forma alarmante a degradação do solo, pois representa apenas 9,62% do total da área capixaba.

**Palavras-chaves:** erosão, EUPS, sensoriamento remoto, recursos ambientais

## USO DE LA GEOTECNOLOGIA EN LA ESTIMATIVA DE LA EROSIVIDADE DE LAS LLUVIAS Y SU RELACIÓN CON EL USO Y OCUPACIÓN DEL SUELO PARA ESPÍRITO SANTO

**Resumen:** El presente trabajo tuvo por objetivo utilizar técnicas de la geotecnología para estimar la erosividad de las lluvias (R), y analizar la relación con el uso y ocupación del suelo en el Estado de Espírito Santo. Ecuaciones empíricas fueron utilizadas para calcular los valores de R en estaciones pluviométricas del estado, siendo los mapas de distribución espacial de este factor creados a partir del uso del interpolador krigagem esférica. El factor R fue clasificada en tres clases: alta erosividad (AE), media erosividad (ME) y baja erosividad (BE). El uso y ocupación del suelo fue clasificado en tres tipos: Floresta (F), Agricultura (A) y no Vegetado (NV). El software ArcGIS 9.2 fue utilizado para realizar el cruce entre los mapas de erosividad y de uso y ocupación del suelo. Áreas con AE fueron inferiores la un 1% del Estado. Áreas con ME ocuparon más de 2 / 3 de la superficie, siendo un 38,5% de esta ocupada por la agricultura. Áreas NV, que generalmente presentan mayor susceptibilidad a la erosión, no están contribuyendo en una forma alarmante la degradación del suelo, pues representa sólo un 9,62% del total del área capixaba. Palabras-llaves: erosión, EUPS, sensoriamento remoto, recursos ambientales

## USE OF GEOTECHNOLOGY TO PREDICT RAINFALL EROSIVITY AND ITS RELATIONSHIP TO LAND USE AND MANAGEMENT AT ESPIRITO SANTO STATE

**Abstract:** This paper presents the use of Remote Sensing tools to predict and to develop spatial distribution map of rainfall erosivity (R), and to analyze its relationship with land use and management. Empirical equations were used to calculate R-factor to all the raingauge stations. R-factor spatial distributon map was developed using spherical kriging (SK) interpolator and the R-factor map was classified in: high erosivity (HE), average erosivity (AE) and low erosivity (LE). Land use and management was classified in: Forest (F), Agriculture (A) and Not Vegetated (NV). Land use and management and R-factor maps were crossed, using ArcGis 9.2 software. Despite of the irregular relief and high rainfall amount of Espirito Santo, HE areas were lower than 1% of the State. AE areas occupied more than 2/3 of the surface, being 38.5% of this surface was occupied by agriculture. NV areas, which generally presents greater susceptibility to erosion, are not contributing in an alarming way to soil degradation, therefore represents only 9.62% of total area.

**Keywords:** erosion, USLE, remote Sensing, environmental resources

### INTRODUÇÃO

No Brasil, um dos fatores de desgaste que mais seriamente tem contribuído para a improdutividade dos solos, assoreamento de rios e barragens, danos a obras de engenharia, diminuição das áreas para exploração agrícola e empobrecimento da população rural é sem dúvida a erosão hídrica facilitada e acelerada pelo homem com práticas inadequadas de manejo do solo (BERTONI & LOMBARDI NETO, 1999; MARTINS et al., 2003; MOREIRA et al., 2006a; PRUSKI, 2006).

As perdas anuais de solo e água em áreas agrícolas brasileiras ocasionadas pela erosão hídrica são da ordem de 822,7 milhões de toneladas e 171 bilhões de m<sup>3</sup>, respectivamente, sendo que a estes valores está associada uma perda de US\$ 4,2 bilhões por ano, referente aos custos relativos à reposição de fertilizantes, a menores produtividades, aos maiores custos de produção, ao tratamento de água, à manutenção de estradas e ao maior consumo de energia, entre outros (HERNANI et al., 2002).

Dessa forma a utilização de modelos capazes de estimar as perdas ocasionadas pelo processo erosivo é de fundamental importância para a escolha de práticas de conservação da água e do solo que possam minimizar estes impactos.

Para minimizar os problemas causados pela erosão, o planejamento do uso racional do solo tem sido feito com o auxílio da Equação Universal de Perdas de Solo (USLE) (WISCHMEIER & SMITH, 1978) e a Equação Universal de Perdas de Solo Revisada (RUSLE), que consistem em modelos empíricos destinados a estimar perdas de solo e identificar os fatores que exercem o maior efeito sobre estas.

Dentre os fatores da USLE, o fator erosividade da chuva (R) expressa o potencial da chuva em causar erosão hídrica em uma área sem proteção (PRUSKI, 2006).

O fator R é o único fator da USLE calculado diretamente a partir de registros pluviográficos (WISCHMEIER & SMITH, 1958; PRUSKI, 2006), gerando os índices médios de erosividade conhecidos como EI30 e KE>25. No Brasil, porém, esses registros são escassos e muitas vezes de difícil acesso, o que torna sua obtenção lenta e trabalhosa (BERTONI & LOMBARDI NETO, 1999; MOREIRA et al., 2006a; MELLO et al., 2007).

Visando superar esta limitação, alguns autores propõem a utilização de equações empíricas, para as oito regiões homogêneas do país, baseadas nas precipitações médias mensais e na precipitação média anual, para a estimativa do valor de R (SILVA, 2004; PRUSKI, 2006). Além disso, o uso de técnicas de geoprocessamento tem contribuído de forma satisfatória para o estabelecimento de planos integrados de conservação do solo e da água (FUJIHARA, 2002).

A geotecnologia encontra-se fortemente influenciada pelo debate difundido em torno da crescente degradação ambiental do planeta e do desafio de alcançar um desenvolvimento verdadeiramente sustentável (BITAR et al., 2000). Nesse sentido, o uso de Sistemas de Informações Geográficas (SIG's) pode vir a facilitar o processo de análise e, ainda, facilitar a manipulação de informações em grandes áreas, o que consiste em procedimento por vezes oneroso quando são utilizados métodos convencionais.

O presente trabalho teve por objetivo utilizar técnicas da geotecnologia para estimar a erosividade das chuvas, e analisar sua relação com o uso e ocupação do solo de modo a auxiliar na elaboração de práticas adequadas de uso, manejo e conservação do solo e da água no Estado do Espírito Santo.

## MATERIAL E MÉTODOS

A área de estudo compreende o Estado do Espírito Santo, o qual é uma das 27 unidades federativas do Brasil. Está localizado entre as latitudes  $-17^{\circ}53'$  e  $-21^{\circ}17'$  e entre as longitudes  $-39^{\circ}39'$  e  $41^{\circ}52'$ , apresentando um relevo bem acidentado, correspondendo a uma área total de 46.077,519 km<sup>2</sup>. De acordo com Ross (1998), o relevo do Estado é constituído de duas unidades: Planícies e tabuleiros litorâneos e Planaltos e serras do Atlântico-Leste-Sudeste, que também são conhecidos como: Baixada Espírito-Santense e a Serra Capixaba, respectivamente. A Baixada Espírito-Santense acompanha todo o litoral e ocupa cerca de 40% do território estadual; altitude média: 40 a 50 m. Por outro lado a Serra Capixaba, no interior, possui uma altitude média de 700 m (Freitas, 2007).

Devido a sua localização, o clima do estado é caracterizado por grande variação espacial na magnitude de seus elementos, principalmente no sentido leste-oeste, ou seja, de baixa altitude (áreas litorâneas) para altitudes

elevadas (áreas serranas). Entretanto, os principais tipos climáticos são o tropical úmido e tropical de altitude (Ross, 1998).

Os dados pluviométricos usados no presente estudo foram coletados em 88 estações pluviométricas pertencentes à área em estudos (Figura 1a), disponibilizados no Sistema de Informações Hidrológicas da Agência Nacional de Águas - (HIDROWEB), e abrangendo séries históricas com duração mínima de 25 anos. Os dados foram organizados em planilhas no aplicativo computacional Microsoft Excel em arquivo contendo as respectivas coordenadas geográficas (coordenadas UTM), sendo posteriormente georreferenciados no aplicativo computacional ArcGis 9.2. Os dados de Uso e Ocupação do Solo foram obtidos no Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE, 2007), sendo apresentados na Figura 1b. As principais classes de Uso e Ocupação do solo são: Solo exposto, Agricultura, Floresta, Manguezais, Pastagem, Oceano, Restinga, Rios, Áreas alagadas e Áreas urbanas

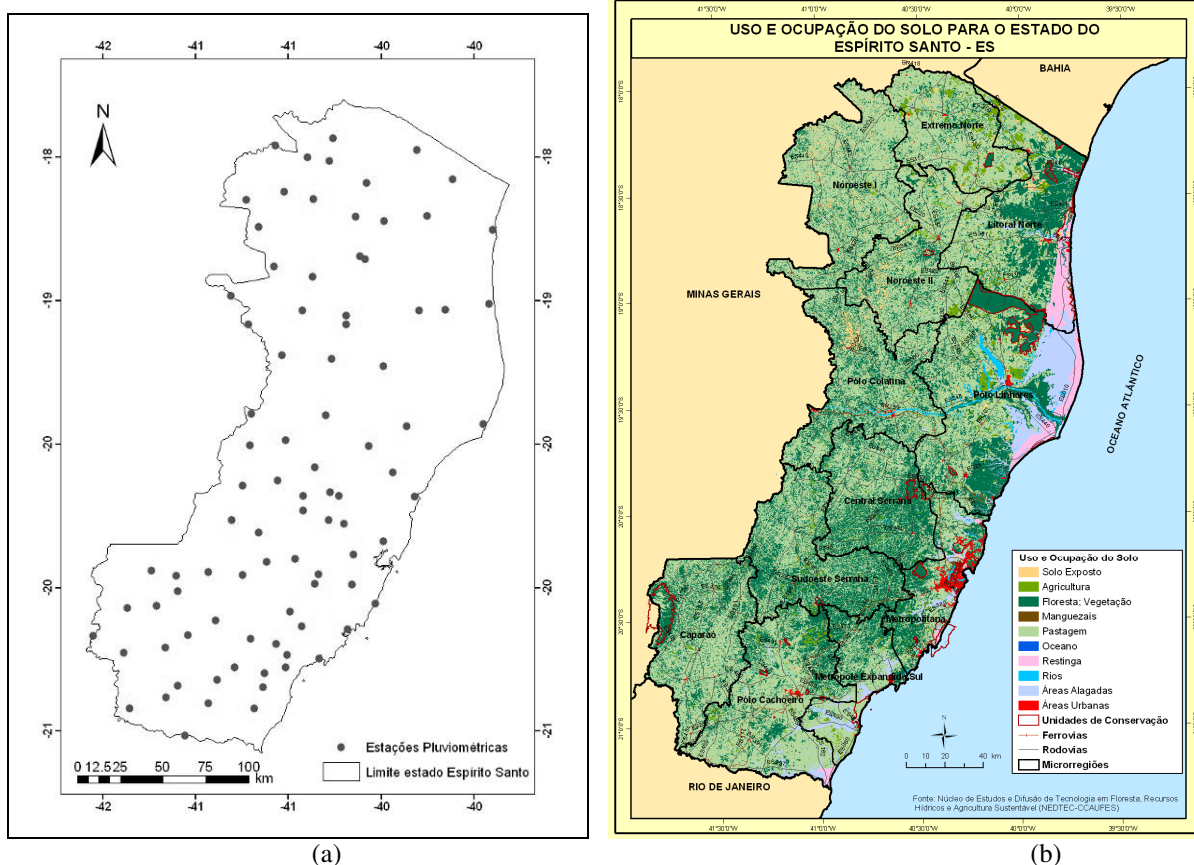


Figura 1 – Bases de dados utilizadas: (a) distribuição espacial das estações pluviométricas e (b) mapa do uso e ocupação do solo para o estado do Espírito Santo

Para o cálculo dos índices médios mensais de erosividade das chuvas (Rx) utilizou-se a equação 1, proposta por Lombardi Neto & Moldenhauer (1992).

$$Rx = 67,355(p^2/P)^{0,85} \quad (eq. 1)$$

em que

Rx = erosividade média mensal da chuva, MJ mm h<sup>-1</sup> ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup>;

p = precipitação média histórica mensal, mm; e

P = precipitação total anual (média da série histórica), mm.

A determinação da erosividade média anual (R) foi obtido através do somatório dos valores médios mensais de erosividade (BERTONI & LOMBARDI NETO, 1999; BERTOL, 1993).

Para análises da erosividade média anual foram utilizadas técnicas de geoestatística para a espacialização da erosividade através do software geoestatístico GS+ e ArcGis 9.2. Após ajuste do modelo teórico de semivariograma ao semivariograma experimental foram realizados estudos com base no grau dependência espacial (GD) e validação cruzada para avaliar o desempenho do interpolador krigagem esférica

Através da validação cruzada pode-se calcular o erro produzido pelo interpolador geoestatístico, através do erro quadrático médio (EMQ). Para avaliação do desempenho do modelo também se utilizaram os coeficientes de correlação (r); o índice de concordância (d), proposto por Willmott (1981); e, o índice de confiança (c), que é o produto entre “r” e “d”. O índice de concordância pode ser calculado pela equação 2.

$$d = 1 - \frac{\sum_{i=1}^J (O_i - E_i)^2}{\sum_{i=1}^J (|E_i - \bar{O}| + |O_i - \bar{O}|)^2} \quad (\text{eq. 2})$$

2)

em que

J é o número de observações;

O é o valor observado experimentalmente;

E é o valor estimado pelo modelo; e

$\bar{O}$  é a média dos valores observados experimentalmente.

Foram calculados também o coeficiente de eficiência (E) definido por Nash & Sutcliffe (1970) (equação 3); o erro médio absoluto (EMA) indicado, por Legates & McCabe Jr. (1999) (equação 4); o erro médio percentual (EMP) (equação 5); e, a raiz do erro médio quadrado (REMQU) representada pela equação 6.

$$E = 1 - \frac{\sum_{i=1}^J (O_i - E_i)^2}{\sum_{i=1}^J (O_i - \bar{O})^2} \quad (\text{eq. 3})$$

3)

$$\text{EMA} = \frac{\sum_{i=1}^J |O_i - E_i|}{J} \quad (\text{eq. 4})$$

$$\text{EMP} = \frac{\sum_{i=1}^J \frac{|O_i - E_i|}{O_i}}{J} \cdot 100 \quad (\text{eq. 5})$$

$$\text{REMQU} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^J (O_i - E_i)^2}{J}} \quad (\text{eq. 6})$$

Uma vez estabelecido o mapa do fator R anual foi gerado um mapa de zonas de erosividade, por intermédio de reclassificação, considerando três classes: alta erosividade (AE), superior a 7200 MJ mm h<sup>-1</sup> ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup>; média erosividade (ME), de 5850 a 7200 MJ mm h<sup>-1</sup> ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup>; e baixa erosividade (BE), para valores menores que 5850 MJ mm h<sup>-1</sup> ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup>.

Para a criação dos mapas relacionando a erosividade das chuvas e o uso e ocupação do solo utilizou-se o procedimento de sobreposição dos mapas que caracterizam a erosividade média anual e as classes de uso e ocupação dos solos favoráveis à ocorrência de erosão hídrica no Estado do Espírito Santo.

Com os dados de uso e ocupação do solo foi realizado uma dissolução das classes, através do software ArcGis 9.2, o qual produziu-se um mosaico onde através deste realizaram-se reclassificações para que fosse possível relacionar os dois temas em estudo. A nova classificação do uso e ocupação do solo considerou três classes: florestas (F), agricultura (A) e áreas não vegetadas (NV) que incluem principalmente as áreas urbanas.

A partir dos novos mapas de classificação da erosividade e do uso e ocupação do solo foram realizados operações de sobreposição e classificação, gerando um modelo em que estes fatores encontrassem interrelacionados para o mapeamento das áreas de potencial erosivo: Floresta com Baixa erosividade (F-BE), Floresta com Média erosividade (F-ME), Floresta com Alta erosividade (F-AE), Agricultura com Baixa erosividade (A-BE), Agricultura com Média erosividade (A-ME), Agricultura com Alta erosividade (A-AE), Não Vegetado e Baixa erosividade (NV-BE), Não Vegetado e Média erosividade (NV-ME), Não Vegetado e Alta erosividade (NV-AE).

O esquema de todas as operações envolvidas no processo de manipulação e execução das diversas etapas que culminaram nos mapas finais do zoneamento da erosividade relacionado com o uso e ocupação do solo é mostrado na Figura 3.

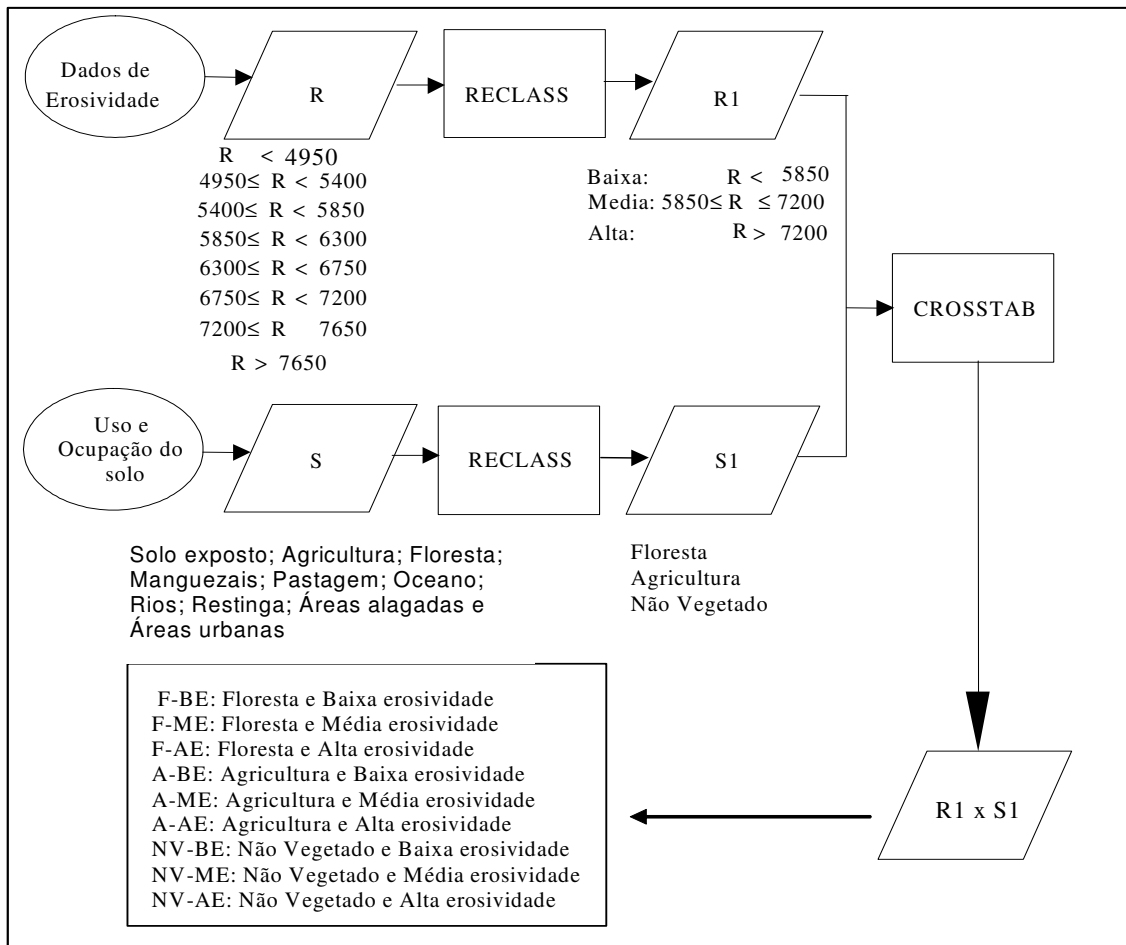


Figura 3 – Fluxograma das etapas de execução das atividades para obtenção do mapa do zoneamento da relação entre a erosividade e o uso e ocupação do solo no estado do Espírito Santo

**RESULTADOS E DISCUSSÃO**

Na Tabela 1 são apresentados os valores calculados para o índice de erosividade das chuvas nas 88 estações pluviométricas do Espírito Santo. Observa-se que o índice R apresentou valor médio anual de 6.104 MJ mm h<sup>-1</sup> ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup> variando entre 4700 e 8050 MJ mm h<sup>-1</sup> ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup>. Esses valores são semelhantes ao encontrado por Cardoso

(2004) para o Município de Aracruz no período de 1999 a 2002. Os dados de Aracruz foram calculados a partir de dados pluviométricos e de registros pluviográficos, o que os torna mais confiáveis, indicando que o modelo utilizado no presente estudo alcançou de forma satisfatória resultados próximos à realidade, justificando desta forma, a utilização da equação de Lombardi Neto & Moldenhauer (1992) para o estado do Espírito Santo.

Tabela 1 – Estações utilizadas na estimativa da erosividade das chuvas (R, em MJ mm ha<sup>-1</sup> h<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup>) e suas respectivas coordenadas geográficas (x e y, no sistema UTM)

<b>Estação</b>	<b>Latitude</b>	<b>Longitude</b>	<b>R</b>	<b>Estação</b>	<b>Latitude</b>	<b>Longitude</b>	<b>R</b>
1839000	398.687,00	7.976.411,42	5066	1941012	286.645,34	7.891.385,49	4792
1839001	421.146,48	7.947.439,74	5499	2040000	326.564,72	7.747.366,76	7657
1839006	419.516,25	7.904.492,54	5422	2040001	345.029,63	7.741.885,10	5707
1840000	316.164,61	7.901.696,88	6444	2040002	317.662,00	7.717.442,10	6859
1840001	380.698,31	7.900.625,53	5760	2040003	362.194,03	7.766.907,08	6048
1840002	361.015,44	7.952.136,59	5453	2040004	342.837,23	7.715.603,29	5460
1840003	384.867,61	7.955.308,23	5256	2040005	309.946,25	7.700.717,64	6742
1840004	300.376,39	7.925.366,55	5364	2040006	296.898,39	7.681.832,14	5297
1840005	350.632,73	7.929.922,45	5406	2040007	317.648,53	7.784.425,30	6322
1840006	332.445,15	7.999.869,50	5448	2040008	293.531,13	7.771.423,60	6544
1840007	291.396,17	7.948.026,07	5955	2040009	327.639,52	7.698.694,12	5221
1840008	395.435,79	7.900.899,00	5822	2040010	340.272,77	7.776.682,19	6735
1840009	300.468,76	7.995.263,58	5337	2040011	311.169,69	7.725.859,76	7435
1840010	321.846,69	7.919.371,32	6157	2040012	324.473,21	7.742.025,14	6869
1840011	318.262,06	7.988.335,18	5524	2040013	297.842,34	7.689.779,71	6311
1840012	378.997,70	7.993.327,46	5325	2040014	345.514,75	7.758.894,50	7039
1840013	305.532,01	7.968.347,85	6359	2040015	313.795,73	7.756.121,34	7039
1840014	321.834,85	7.964.262,91	6404	2040017	303974,51	7.706.800,70	7220
1840015	330.446,13	7.986.324,03	5510	2040018	332.001,20	7.778.910,77	6313
1840016	345.422,87	7.954.506,66	5602	2040022	357.818,58	7.730.864,72	5086
1840017	351.343,70	7.973.983,32	5579	2040023	298.056,39	7.754.529,45	5693
1840019	347.952,71	7.931.684,17	5481	2041000	271.701,27	7.685.935,92	5567
1841009	276.532,14	7.907.905,22	5601	2041001	220.801,68	7.700.580,57	7303
1841010	284.502,53	7.963.664,19	5995	2041002	270.746,78	7.719.948,37	6277
1939002	416.675,10	7.835.070,34	5293	2041003	243.209,79	7.703.891,82	6652
1940000	303.740,51	7.801.313,27	5737	2041004	281.494,63	7.693.019,44	5362
1940001	324.144,35	7.809.185,66	5507	2041010	289.992,41	7.709.523,74	7107
1940002	379.200,16	7.792.767,89	6332	2041011	266.221,59	7.747.943,67	6730
1940005	353.462,10	7.821.966,71	6332	2041012	249.611,96	7.736.879,57	6860
1940006	329.704,15	7.839.621,28	5487	2041013	235.081,68	7.748.199,64	6327
1940009	305.167,48	7.873.754,02	6102	2041014	203.499,35	7.710.010,62	7039
1940010	337.536,64	7.792.923,89	7766	2041015	250.336,84	7.682.091,45	6224
1940012	307.589,52	7.824.698,03	5873	2041016	222.056,03	7.726.421,44	7478
1940013	332.728,00	7.872.120,44	6160	2041018	248.556,47	7.745.571,36	6937
1940016	340.440,07	7.892.082,67	5951	2041019	238.118,59	7.728.030,14	6789
1940018	332.543,86	7.795.091,06	6323	2041020	284.864,45	7.746.587,57	6680
1940020	317.738,51	7.792.545,09	6316	2041021	255.372,37	7.711.426,41	8012
1940021	366.767,65	7.806.821,25	6118	2041023	278.162,20	7.778.401,48	6183
1940022	374.347,17	7.833.593,93	5678	2041047	279.759,86	7.692.996,71	4984
1940023	361.201,52	7.868.300,59	6018	2140000	309.246,20	7.675.918,76	4736
1940025	340.551,88	7.865.794,94	6446	2141014	244.340,02	7.653.044,68	5898
1941003	288.646,27	7.839.985,10	5109	2141015	254.521,36	7.668.861,51	6693
1941008	284.545,90	7.798.136,45	5843	2141016	224.350,51	7.671.494,96	6780
1941009	288.253,44	7.821.434,11	5214	2141017	267.135,90	7.669.289,89	6802

A Tabela 2 apresenta a avaliação dos interpolador krigagem esférica para a estimativa dos valores de erosividade das chuvas no Espírito Santo. São apresentados os valores os valores coeficiente de correlação (r), índice de concordância (d), índice de confiança (c), coeficiente de eficiência (E), erro médio absoluto (EMA), erro médio quadrático (EMQ), raiz do erro médio quadrático (REMQR) e erro médio percentual (EMP).

Tabela 2 – Resultados das análises estatísticas obtidas entre os valores, de erosividade do Estado do Espírito Santo, observados e estimados pelo modelo

Índices	Krigagem esférica
Coef. Correlação (r)	0,71
Índice de concordância(d)	0,79
Índice de confiança (c)	0,56
Coefficiente de eficiência (E)	0,50
Erro médio absoluto (EMA)	403,99
Erro médio quadrático (EMQ)	264695,58
Raiz do erro médio quadrático (REMQ)	514,49
Erro médio percentual (EMP)	6,70%

A interpolação dos dados de erosividade pelo método de krigagem esférica apresentou menores valores de erro médio percentual (6,70%), raiz do erro quadrático médio (514,49) e bons valores para o coeficiente de correlação (0,71) e índice de confiança (0,56). A análise dos dados pelo modelo esférico gerou uma dependência espacial (GD) maior que 86% o que representa, de acordo com Mello (2004), uma forte dependência espacial. Quanto maior seu valor mais eficiente será o mapeamento da variável pela Krigagem. Tal fato corrobora estudos realizados por outros pesquisadores que comprovaram o melhor desempenho deste modelo para o mapeamento da erosividade (AQUINO, 2005; MELLO et al., 2007).

Segundo Camargo & Sentelhas (1997), a precisão do modelo é dada pelo coeficiente de correlação (r) e a exatidão está relacionada ao afastamento dos valores estimados em relação aos observados, dado pelo índice de concordância (d). Quanto mais próximo de 1 (um), melhores são os resultados de precisão e exatidão para o “r” e “d”, respectivamente.

O coeficiente de eficiência (E) vem sendo utilizado por diversos pesquisadores na avaliação de modelos hidrológicos e na quantificação dos constituintes da água para estimação de sua qualidade (MORIASI, 2007). Valores de “E” maiores ou iguais a 0 (zero) indicam

melhor performance do modelo. Sendo o presente trabalho com um coeficiente de aproximadamente 0,50 o que pode ser considerado de boa performance.

O erro médio percentual (Tabela 2) ocorrido no estudo encontra-se abaixo de 10%. Moreira et al. (2006b), encontraram valores similares de EMP na espacialização da erosividade das chuvas para o Estado de São Paulo. Segundo os mesmos autores valores próximos a 10% são considerados baixos para a estimação da erosividade das chuvas. Quanto menor a porcentagem de erro maior a eficiência do método utilizado.

Na Figura 4 tem-se o mapa de erosividade das chuvas no Espírito Santo, criado a partir do modelo de interpolação avaliado como de melhor desempenho no presente estudo. Os maiores valores desse fator estão na região Centro-Sul do estado, onde se encontram as maiores altitudes, propiciando um aumento na quantidade de chuva orográfica e com isso maior potencialidade à erosão devido a maior velocidade de escoamento pela elevada inclinação do terreno. Na região Norte do Estado e em todo o litoral predominam-se as baixadas, ou seja, menores altitudes e maiores deficiências hídricas mantendo uma correlação com as menores taxas de erosividade.

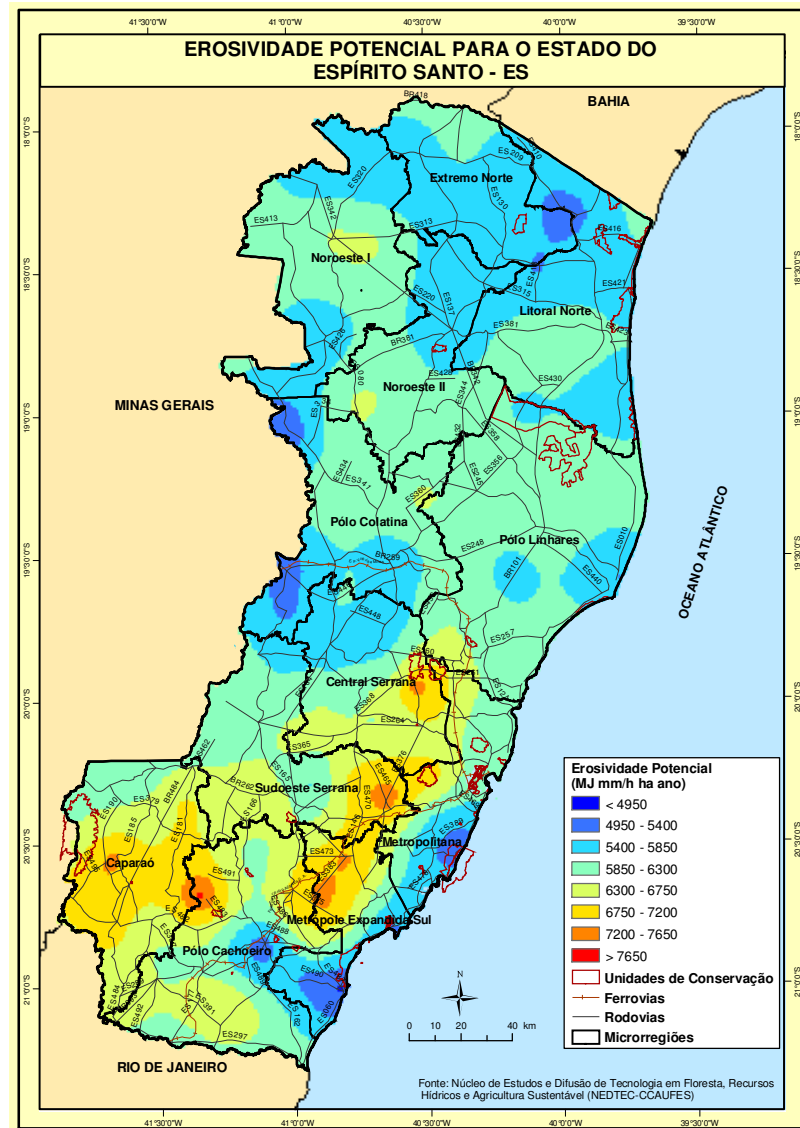


Figura 4 – Espacialização da erosividade das chuvas no Estado do Espírito Santo

Após a reclassificação dos mapas de erosividade das chuvas e uso e ocupação do solo no Espírito Santo (Figuras 5 e 6, respectivamente), pode-se observar que o estado apresenta 0,851% de seu território com alta erosividade, 67,596% com média e 31,539% com baixa. Além disso, o estado possui 32% de áreas com florestas, 58,38% com agricultura e 9,62% não vegetadas.

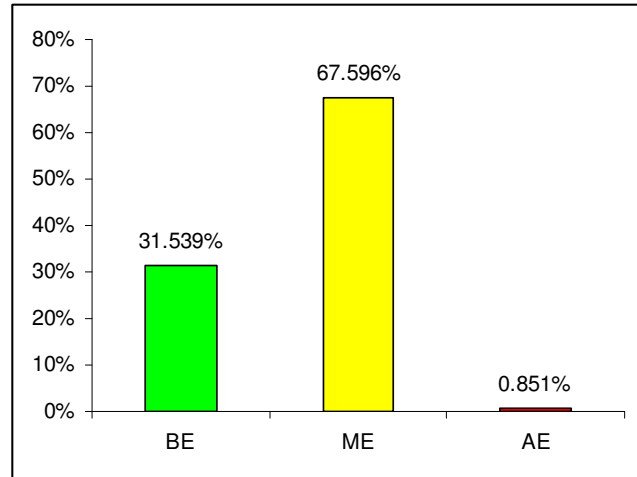
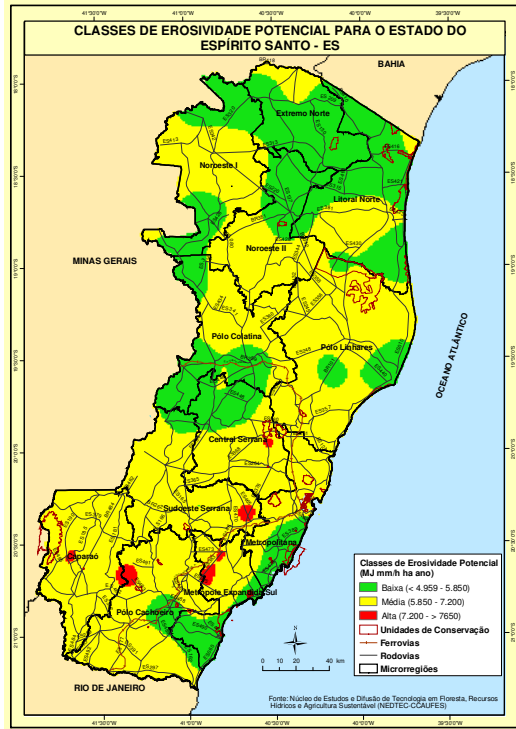


Figura 5 – Áreas com diferentes classes de erosividade da chuva no Espírito Santo

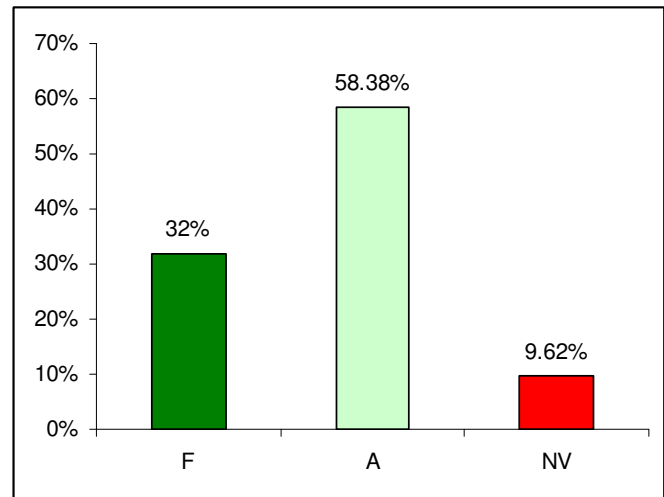
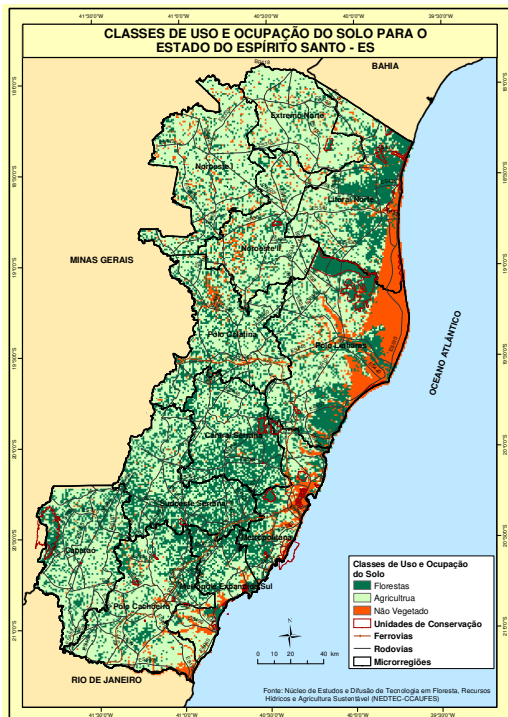


Figura 6 – Áreas com diferentes classes de uso e ocupação do solo no Espírito Santo

A Figura 7 mostra o mapa contendo a relação entre as diferentes classes de erosividade das chuvas e o uso e ocupação do solo no Espírito Santo e a Figura 8 o percentual do Estado ocupado por cada uma.

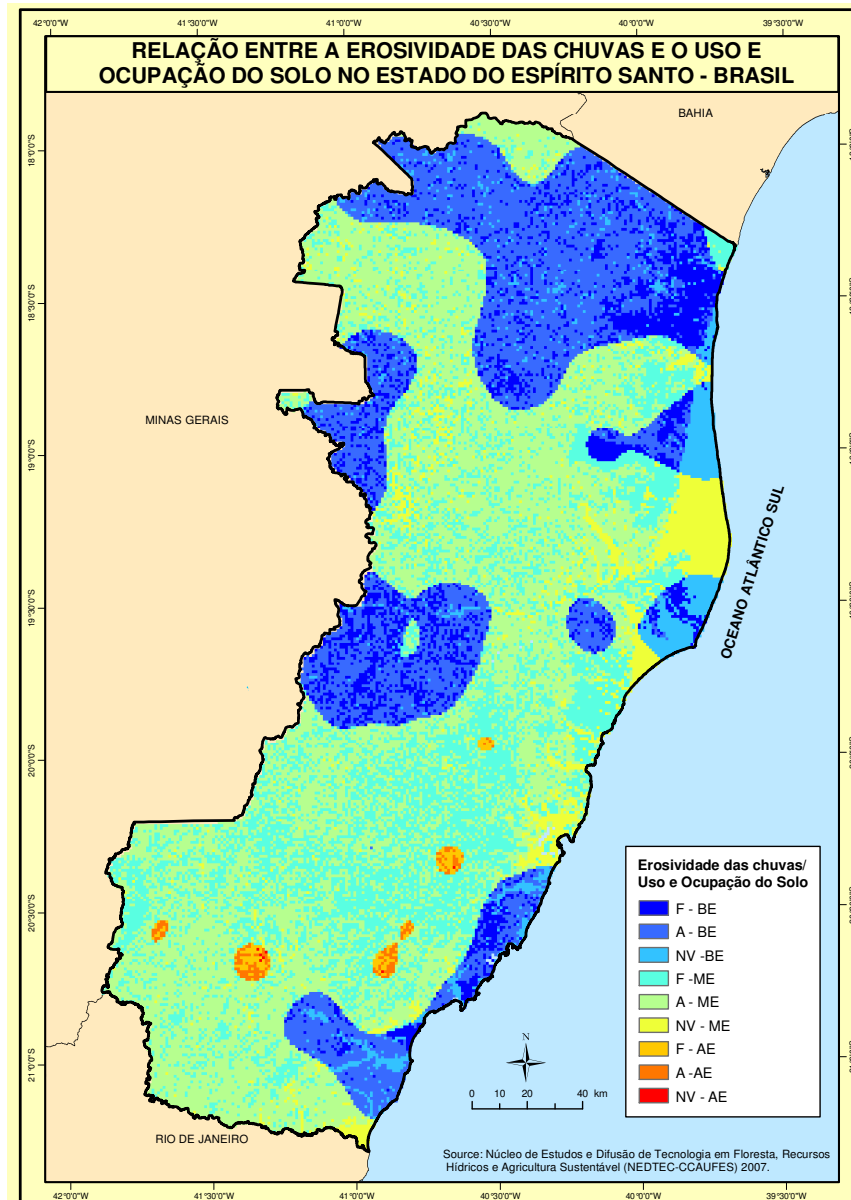


Figura 7 – Mapa da relação entre a erosividade das chuvas e uso e ocupação do solo do estado do Espírito Santo

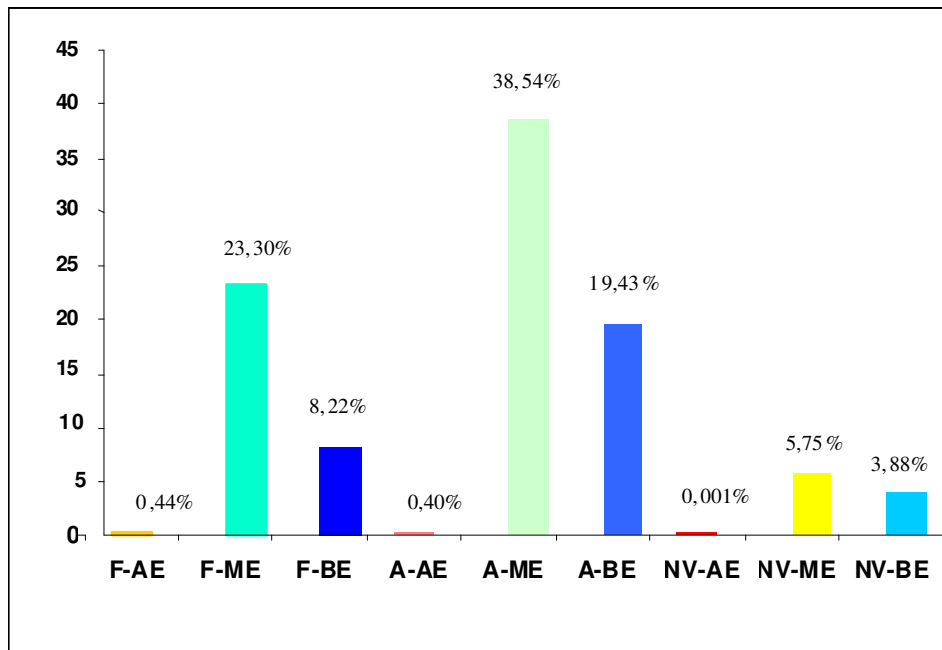


Figura 8 – Porcentagem da distribuição da relação existente entre erosividade das chuvas e uso e ocupação do solo do estado do Espírito Santo, sendo AE, BE e ME: alta, média e baixa erosividade, respectivamente; F, A, e NV: floresta, agricultura e não vegetado, respectivamente

O total de áreas com AE foi menor do que 1% do Estado, áreas com ME ocuparam mais de 2/3 da superfície, sendo 38,5% desta ocupada por agricultura. Entretanto, as áreas NV representam apenas 9,62% do total da área.

Pode-se observar que a maior parte de seu território é ocupado com agricultura, poucos são os remanescentes florestais ainda existentes e as áreas pertencentes às regiões urbanas são nitidamente observadas pela não cobertura vegetal.

Esse dado é preocupante, pois culturalmente, no Estado do Espírito Santo, enormes áreas de pastagens degradadas são abandonadas, acarretando em processos erosivos mais intensos quando comparados a áreas com cobertura florestal.

No ano 1999, o Estado do Espírito Santo possuía apenas 8,1% de seus remanescentes florestais conservados (SEAG, 1999; DADALTO et al., 1992), sendo confirmado pelo presente trabalho. Entretanto, a presença da cobertura vegetal é de grande importância para minimizar os processos erosivos.

A proteção conferida pela vegetação pode afetar diretamente a erodibilidade de um solo e varia de acordo com a espécie, a densidade de plantio, a altura da vegetação, a área foliar e tipologia florestal (BRANDT, 1986; HOUGHTON, 1984). Quanto mais protegida pela cobertura vegetal estiver a superfície do solo contra a ação da chuva, menor será nele a propensão de ocorrência de erosão. Além de aumentar a quantidade de água interceptada, a vegetação amortecer a energia de impacto das gotas de chuva, reduzindo a destruição dos agregados, a obstrução dos poros e o selamento superficial do solo. A cobertura vegetal na superfície também reduz a velocidade

do escoamento superficial, pelo aumento da rugosidade hidráulica do seu percurso (PRUSKI, 2006).

Segundo Rosa (1990), o conhecimento atualizado das formas de utilização e ocupação do solo, bem como seu uso histórico, tem sido um fator imprescindível ao estudo dos processos que se desenvolvem na região, tornando-se de fundamental importância, na medida em que os efeitos do seu mau uso, causam deterioração no ambiente.

Neste contexto, as demandas em geotecnologia no Estado do Espírito Santo, estão hoje associadas, sobretudo às necessidades de caracterização, avaliação e solução de problemas decorrentes da intensificação das relações continuadas entre intervenções humanas e o meio, principalmente na utilização de recursos naturais, sob a perspectiva da sustentabilidade. A sua contribuição está no que se refere aos mananciais superficiais, o controle da erosão dos solos, de modo que evite o assoreamento de reservatórios e represas e a conseqüente perda da capacidade de armazenamento.

Através da análise dos dados de Erosividade das chuvas e Uso e Ocupação do Solo obtiveram-se, para o Estado do Espírito Santo, resultados satisfatórios da correlação desses dados com os processos de Erosão.

O zoneamento das áreas de risco, através da associação desses dados, permitirá a aplicação de modelos conservacionistas e a implantação de projetos de forma mais rápida e abrangente uma vez que esses dados são mais facilmente obtidos.

## CONCLUSÕES

A metodologia aplicada mostrou-se eficiente para correlacionar a erosividade das chuvas com o uso do solo.

O Espírito Santo apresenta maior parte de sua área com média erosividade das chuvas.

A maior parte do Espírito Santo encontra-se sobre ocupação agrícola.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AQUINO, R.F. Padrões de chuva e variabilidade da erosividade para o Sul de Minas Gerais. Lavras: Universidade Federal de Lavras, 2005. 95p. (Dissertação de Mestrado)

BERTOL, I. Índice de erosividade (EI30) para Lages (SC) – 1ª aproximação. Pesquisa Agropecuária Brasileira, v.28, n.4, p.515-521, 1993.

BERTONI, J.; LOMBARDI NETO, F. Conservação do solo. 4 ed. São Paulo: Ícone Editora, 1999. 355p.

Bitar, O.Y.; Iyomasa, W.S.; Cabral Jr., M. Geotecnologia tendências e desafios. São Paulo em perspectiva, v.14, n.3, 2000.

BRANDT, C.J. Transformation of the kinetic energy of rainfall with variable tree canopies. Londres: Universidade de Londres, 1986, 446 p. (Tese de Doutorado.)

CAMARGO, A.P.; SENTELHAS, P.C. Avaliação do desempenho de diferentes métodos de estimativa da evapotranspiração potencial no Estado de São Paulo, Brasil. Revista Brasileira de Agrometeorologia, v.5, n.1, p.89-97, 1997.

CARDOSO, D.P.; Silva, M.L.N.; Curi, N.; Sáfiadi, T.; Fonseca, S.; Ferreira, M.M.; Martins, S.G.; Sá, J.J.G.; Marques, M. Erosão hídrica avaliada pela alteração na superfície do solo em sistemas florestais. Scientia forestalis, n.66, p.25-37, 2004.

DADALTO, G.G.; BARBOSA, C.A.; SARTORI, M. Aptidão Florestal das Terras do Estado do Espírito Santo, Vitória, 1992. 16p.

Freitas, E. Brasil Escola: Aspectos naturais do Espírito Santo. Disponível em: <http://200.226.135.50/brasil/aspectos-naturais-espirito-santo.htm>. Acesso em março de 2008.

FUJIHARA, A.K. Predição de erosão e capacidade de uso do solo numa microbacia do oeste paulista com suporte de geoprocessamento. Piracicaba: ESALq, 2002. 118p. (Dissertação de Mestrado)

HERNANI, L.C.; FREITAS, P.L.; PRUSKI, F.F.; DE MARIA, I.C.; CASTRO FILHO, C.; LANDERS, J.C. A erosão e seu impacto. In: Manzatto, C.V.; Freitas Júnior, E.; Peres, J.R.R. Uso agrícola dos solos brasileiros. Rio de Janeiro: EMBRAPA, 2002. 174p.

HOUGHTON, D. Trees and erosion control. Queensland Agricultural Journal, v. 110, n. 1, p. 9-12, 1984.

IBGE- Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Disponível em: <http://www.ibge.gov.br/>. Acesso em: 20 de julho de 2007.

LEGATES, D.R.; MCCABE JR., G.J. Evaluating the use of “goodness- of-fit” measures in hydrologic and hydroclimatic model validation. Water Resources Research, v.35, n.1, p.233-241, 1999.

LOMBARDI NETO, F.; MOLDENHAUER, W.C. Erosividade da chuva: sua distribuição e relação com perdas de solo em campinas, SP. Bragantia, v.51, n.2, p.189-196, 1992.

MARTINS, S.G.; SILVA, M.L.N.; CURTI, N.; FERREIRA, M.M.; FONSECA, S.; MARQUES, J.J.G.S.M. Perdas de solo e água por erosão hídrica em sistemas florestais na região de Aracruz (ES). Revista Brasileira de Ciência do Solo, v.27, p.395-403, 2003.

MELLO, J.M. Geoestatística aplicada ao inventário florestal. Piracicaba: Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, 2004. 110p. (Tese de Doutorado)

MELLO, C.R.; SÁ, M.A.C.; CURTI, N.; MELLO, J.M.; VIOLA, M.R.; SILVA, A.M. Erosividade mensal e anual da chuva no estado de Minas Gerais. Pesquisa Agropecuária Brasileira, v.42, n.4, p.537-545, 2007.

MOREIRA, M.C.; CECÍLIO, R.A.; PINTO, F.A.C.; LOMBARDI NETO, F.; PRUSKI, F.F. Programa computacional para estimativa da erosividade da chuva no estado de São Paulo utilizando redes neurais. Engenharia na Agricultura, v.14, n.2, p.88-92, 2006a.

MOREIRA, M.C.; CECÍLIO, R.A.; PINTO, F.A.C.; PRUSKI, F.F. Desenvolvimento e análise de uma rede neural artificial para estimativa da erosividade da chuva para o Estado de São Paulo. Revista Brasileira de Ciências do Solo. v.30, n.6, 2006b.

MORIASI, D.N., ARNOLD, J.G., VAN LIEW, M.W., BINGNER, R.L., HARMEL, R.D., VEITH, T.L. Model evaluation guidelines for systematic quantification of accuracy in watershed simulations. Transactions of American Society of Agricultural and Biological Engineers. v.50, n.3, p.885-900, 2007.

- Nash, J. E.; Sutcliffe, J.V. River flow forecasting through conceptual models part I — A discussion of principles. *Journal of Hydrology*, v.10, n.3, p.282–290, 1970.
- Pruski, F.F. Conservação de solo e água: práticas mecânicas para o controle da erosão hídrica.. 1. ed. Viçosa - MG: Editora UFV, 2006. 240 p.
- Rosa, R.A. Utilização de imagens TM/LANDSAT em levantamento de uso do solo. In: Simpósio Brasileiro De Sensoriamento Remoto, 6., Manaus, 1990, Anais... São José dos Campos, INPE, 1990. v.2, p.419-425.
- ROSS, J.L.S. Geografia do Brasil. São Paulo: Ed. USP, 2ed. 1998, 547p.
- SEAG. Secretaria de Agricultura do Estado do Espírito Santo. Rumos da Agricultura Capixaba, Plano de Ação 2000 – 2003, 1999, 71p.
- SILVA, A.M. Rainfall erosivity map for Brazil. *Catena*, v.57, p.251-259, 2004.
- WISCHMEIER, W.H.; SMITH, D.D. Rainfall energy and its relationship to soil loss. *Transaction of the American Geophysical Union*, v.39, p.285-291, 1958.
- WISCHMEIER, W.H.; SMITH, D.D. Predicting rainfall erosion losses: a guide to conservation planning. Washington: USDA, 1978. 58p.