

**MAPAS DE RISCO À EROSÃO DO SOLO NA BACIA DO RIO PIRACICABA,  
UTILIZANDO TÉCNICAS DE GEOPROCESSAMENTO**

CARLOS EDUARDO P. CERRI<sup>1</sup>, MARIA VICTORIA R. BALLESTER<sup>1</sup>,  
LUÍZ ANTONIO MARTINELLI<sup>1</sup> E CARLOS ALBERTO VETTORAZZI<sup>2</sup>.

<sup>1</sup>CENA – Centro de Energia Nuclear na Agricultura /USP  
Caixa Postal 96, 13416-970, Piracicaba, SP, Brasil.

<sup>2</sup>ESALQ - Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”/USP  
Caixa Postal 9, 13418-900, Piracicaba, SP, Brasil.

**Abstract.** A technique for mapping areas of soil erosion risk based on Remote Sensing, Geographical Information Systems and the Universal Soil Loss Equation model is presented and its use in a meso-scale river basin (Piracicaba River Basin) is discussed. The Universal Soil Loss Equation allows methodological decision-making in soil conservation planning on a site basis. This study generated maps of the risk of soil erosion for two different hydrological periods, with different conservation practices and different land use scenarios. The results from the mapping show that the most of the watershed has a small erosion risk. The procedure showed that the combination of these techniques is a good tool and can be useful for environmental modeling and decision-making.

**Keywords:** Soil Erosion, Watershed, Remote Sensing, Geographical Information Systems and Universal Soil Loss Equation.

## 1 INTRODUÇÃO

Os recursos naturais tais como a vegetação, a água e o solo, vêm sendo submetidos a uma progressiva pressão antrópica. A erosão, sobretudo na forma hídrica, é uma das principais formas de degradação dos solos e ocorre na maioria dos Estados brasileiros (Bertoni & Lombardi Neto, 1990), e também na bacia do rio Piracicaba, uma das regiões mais desenvolvidas do país, situada no centro oeste do Estado de São Paulo.

Uma das maneiras mais eficientes para fornecer subsídio à seleção de áreas prioritárias do ponto de vista de conservação e recuperação do solo, é a utilização de mapas de risco de erosão. O propósito destes mapas é mostrar a expectativa de perda de solos sob sistemas de ocupação da terra alternativos (Bergsma, 1983).

Estudos têm sido realizados empregando procedimentos de integração de dados para caracterização da degradação de solos (como a erosão), com a aplicação Sistemas de Informações Geográficas (Pinto, 1991; Castro, 1992; Bacellar, 1994; Ranieri, 1996, dentre outros).

As técnicas de sensoriamento remoto e de integração de dados, aplicadas ao estudo de degradação de solos em bacias hidrográficas, em geral, têm-se apoiado em modelos de estimativa de perdas de solos e o mais adotado tem sido a Equação Universal de Perdas de Solo - EUPS (Wischmeier & Smith, 1965).

O objetivo deste estudo é mapear as áreas de risco à erosão dos solos da bacia do rio Piracicaba, na escala de 1:500.000, para os meses de janeiro e julho de 1978, através da aplicação da EUPS com a utilização do geoprocessamento.

Esses mapas podem auxiliar na tomada de decisão, para que se possa adquirir (ou readquirir) a qualidade ambiental desejável.

## 2 ÁREA DE ESTUDO

A bacia do rio Piracicaba está localizada entre os paralelos 22°00' e 23°30' de latitude sul e os meridianos 46°00' e 48°30' de longitude oeste. Ocupa uma extensão de 12.400 km<sup>2</sup> e é constituída de 61 municípios, localizados nos Estados de São Paulo e Minas Gerais. As cidades mais populosas são: Campinas, Piracicaba, Limeira, Americana e Rio Claro, perfazendo quase 60% da população (São Paulo, 1991b).

A geologia da região é constituída pelas formações Bauru, Serra Geral e Botucatu-Pirambóia, pelos grupos Passa-Dois e Tubarão e Pré-Cambriano-Cristalino. As principais classes de solos são: Podzólico Vermelho-Amarelo, Latossolo Vermelho-Amarelo (São Paulo, 1991a).

A precipitação média anual é de 1400 mm, com regime climático caracterizado por duas estações bem distintas: seca no inverno (meses de abril a setembro) e chuvosa no verão (outubro a março).

A estimativa da distribuição das classes de uso da terra, mostra que 56% da área da bacia é constituída por pastagem, 20% por cana-de-açúcar, 8% por citros, 6% por vegetação nativa e silvicultura e 10% por áreas urbano-industriais e outros usos (IGC, 1980; IGC, 1981).

## 3 MATERIAL E MÉTODOS

Para calcular as perdas de terra por erosão na bacia do rio Piracicaba, foi aplicada a Equação Universal de Perda de Solos - EUPS (Wischmeier & Smith, 1965), através de técnicas de geoprocessamento (Mertes et al., 1997). A EUPS é uma equação empírica que exprime a ação dos principais fatores que sabidamente influenciam a erosão pela chuva, sendo expressa em função de seis variáveis ambientais e de manejo:  $A = R K L S C P$ , sendo: A = estimativa de perda total de terra por unidade de área; R = erosividade da chuva; K = erodibilidade do solo; L = comprimento do declive; S = declividade da encosta; C = fator cultural e P = práticas conservacionistas.

Cada um dos membros da equação (erosividade, erodibilidade, comprimento do declive, declividade, uso e cobertura do solo e práticas conservacionistas), foi especializado de modo a

gerar um conjunto de grades, de modo a atribuir para cada unidade mapeada (30 x 30 m) o valor numérico correspondente ao fator analisado.

Os mapas temáticos foram gerados e manipulados, através do SIG (ARC-INFO versão 7.0.3 e ARCVIEW versão 2.0), gerando mapas de perdas de terra por erosão, que foram reclassificados em quatro categorias, resultando mapas de risco de erosão dos solos da bacia, na escala 1: 500.000.

Os procedimentos utilizados para a obtenção dos membros da EUPS, são descritos a seguir:

*Erosividade (R)* - os mapas de distribuição da precipitação média mensal para os meses de janeiro e julho de 1978 (períodos de máxima e mínima pluviosidade, respectivamente) foram gerados no SIG, a partir da interpolação dos valores de precipitação mensais pelo Método do Inverso do Quadrado da Distância. A erosividade foi calculada então, para os dois meses citados, aplicando-se o modelo:  $EI = 6,886 (r^2/P)^{0,85}$ , sendo: EI = média mensal do índice de erosão; r = precipitação média mensal em milímetros e P = precipitação média anual em milímetros (Lombardi Neto & Mondenhauer, 1992).

*Erodibilidade (K)* - foi utilizada uma equação apresentada por Denardin (1990), que se baseia no monograma de Wischmeier et al. (1971), como segue:  $K = 0,00000748 (M) + 0,00448059 (P) - 0,06311750 (DMP) + 0,01039567 (R)$  sendo: K = valor estimado para o fator erodibilidade do solo, em t.h / Mj.mm; M = variável adimensional calculada a partir de parâmetros granulométricos, ou seja: % novo silte x (% novo silte + % nova areia); P = permeabilidade do solo; DMP = diâmetro médio ponderado das partículas menores que 2mm (mm) e R = relação entre teor de matéria orgânica e o teor da nova areia (MO x % nova areia)/100.

O modelo foi testado para os solos do Brasil e utiliza variáveis de análises de rotina, com exceção do parâmetro "M". Para o cálculo deste é necessário dividir a fração areia em: areia muito fina, areia fina, areia média, areia grossa e areia muito grossa. Como na base de dados disponível havia apenas a divisão areia grossa e areia fina, a equação de Denardin (1990), foi adaptada por Levy (1995). A partir desta adaptação, a fração novo silte, foi substituída pelas frações silte e areia fina e a fração nova areia, por areia grossa.

Os valores dos diâmetros médios das partículas (Tabela 1) foram obtidos a partir de Ranieri (1996), que utilizou a seguinte expressão:  $DMP = \sum (Ct \times Pm)$ , na qual: Pm = peso médio de cada classe e Ct = centro de cada classe textural expresso em mm pela escala phi.

O modelo matemático desenvolvido por Denardin (1990) e adaptado por Levy (1995), foi aplicado para os solos existentes na bacia do rio Piracicaba, tomando-se como base a Carta de solos do Estado de São Paulo, na escala de 1:500.000 (Brasil, 1960).

*Fator topográfico (LS)* - foi calculado utilizando-se a metodologia descrita por Hickey et al. (1994), a qual consiste em gerar um mapa de declividade e comprimento do declive, a partir do Modelo Numérico do Terreno (MNT). O fator topográfico (LS) é obtido então, pela multiplicação do comprimento do declive (fator L) pela declividade (fator S). A equação utilizada para este cálculo é expressa da seguinte forma:  $Fator\ LS = (\lambda/22,13)^t (65,41 \text{ sen}^2 \beta + 4,56 \text{ sen } \beta + 0,065)$ , sendo t = 0,5 se o declive  $\beta < 3^\circ$ ; t = 0,4 se o declive  $1,7 < \beta < 3$ ; t = 0,3 se o declive  $0,6 < \beta < 1,7$  e t = 0,2 se o declive  $\beta > 0,6$ ; na qual:  $\lambda$  = comprimento do declive acumulado;  $\beta$  = ângulo da declividade morro abaixo e t = inclinação da variável contingencial.

O MNT foi gerado através da interpolação das curvas de nível, referentes as cartas planialtimétricas na escala de 1:50.000 (IBGE, 1983), equidistantes 20 metros e reamostradas para 30 metros. A entrada desses dados foi realizada, através da técnica da vetorização semi-automatizada (Ballester, 1996).

*Fator cultural (C)* - a partir de uma análise dos padrões de uso e ocupação do solo da bacia, foram estabelecidos os valores de C, segundo Bertoni & Lombardi Neto (1990) e Castro (1992). Para tal análise, a carta de utilização da terra do Estado de São Paulo, na escala de 1:250.000 (IGC, 1980; IGC, 1981), foi digitalizada manualmente obtendo-se o uso e cobertura do solo para o ano de 1978 (Ballester, 1996).

*Práticas conservacionistas (P)* - foram simulados dois cenários distintos. No primeiro considerou-se o valor de P, para todas as culturas existentes na bacia, como sendo igual a 0,5, que corresponde a prática de plantio em contorno. No segundo, o valor de P foi considerado igual a 1,0, correspondente a prática de plantio morro abaixo.

Os mapas de risco de erosão dos solos da bacia do rio Piracicaba foram gerados para os meses de janeiro e julho de 1978 e com duas práticas conservacionistas distintas: plantio morro abaixo e plantio em contorno. Foram realizadas também simulações, nas quais as áreas ocupadas por pastagem, foram substituídas pelo cultivo de cana-de-açúcar, silvicultura e vegetação nativa, para o mês de janeiro de 1978 com prática de plantio em contorno.

O ano de 1978 foi escolhido por se tratar da informação analógica mais recente disponível para utilização.

#### **4 RESULTADOS E DISCUSSÃO**

Os riscos de erosão foram obtidos para duas épocas distintas de pluviosidade: máxima (mês de janeiro) e mínima (mês de julho) para o ano de 1978. Em cada uma dessas épocas efetuou-se os cálculos para duas práticas conservacionistas contrastantes: plantio morro abaixo e plantio em contorno.

A análise visual da figura 1, para o risco de erosão no período de chuva, mostra que a maior parte da área da bacia está enquadrada no risco de erosão baixo, para as duas práticas conservacionistas. Essa análise também mostra que o risco de erosão com plantio morro abaixo (Figuras 1a e 2a) é sensivelmente maior quando comparado com o plantio em contorno (Figuras 1b e 2b).

A constatação desta afirmativa pode ser observada na Figura 3a e b, na qual o risco de erosão baixo para o plantio morro abaixo é de 94,83% enquanto que para o plantio em contorno o valor é superior (97,56%).

A análise das figuras de riscos à erosão para o mês de julho com prática de plantio morro abaixo (Figuras 1c e 2c) e plantio em contorno (Figuras 1d e 2d), evidenciam as mesmas tendências dos riscos de erosão observados para o período de chuva.

Pode-se constatar, que as áreas com risco de erosão baixo na época da seca, foram maiores (99,5%) do que as áreas de risco apresentado na época da chuva (94,8%). Isso demonstra que a precipitação influencia diretamente o risco de erosão da área. Pode-se verificar também, que nas áreas com prática de plantio morro abaixo os riscos de erosão foram, independentemente da época, maiores (cerca de 4%) em relação de plantio em contorno (aproximadamente 2%). Através dessa comparação constata-se que a erosão é influenciada de maneira direta por fatores antrópicos, como a prática conservacionista.

Os riscos de erosão mais acentuados estão localizados principalmente, em duas áreas: ao redor do eixo de maior desenvolvimento urbano (entre as cidades de Piracicaba e Campinas) e próxima às nascentes dos rios que compõem a bacia. Na primeira região mencionada, o maior risco se deve, provavelmente, a exposição de solos de textura arenosa às chuvas, especialmente sob o cultivo da cana-de-açúcar, que em seu estágio inicial de desenvolvimento, não oferece uma boa cobertura vegetal. As causas do risco de erosão elevado, na área próxima as nascentes, estão relacionadas à integração dos agentes: relevo acidentado, solos pouco profundos, pastagem mal manejada (algumas vezes bastante degradadas) e pluviosidade elevada (Figura 4).

As Figuras 1e, f e g e 2e, f e g mostram os riscos de erosão que poderiam ocorrer se a área ocupada por pastagem em 1978, fosse transformada em cultivo de cana-de-açúcar, silvicultura e vegetação nativa, respectivamente.

A análise destas figuras mostra que a vegetação nativa é a cobertura do solo que propiciou o menor risco de erosão. A área de pastagem, hipoteticamente transformada em cana-de-açúcar foi a que apresentou o maior risco de erosão. A silvicultura ocupa uma posição intermediária (Tabela 2).

O fator práticas conservacionistas constituiu-se em uma variável não contemplada em detalhes neste trabalho, comparada com os demais fatores da EUPS. De difícil avaliação, o fator P representa uma influência considerável na determinação do índice de estimativa de perdas de terra.

Embora considerado como válido no âmbito do trabalho, a adoção de  $P = 1,0$  para todas as culturas da bacia, pode implicar em uma superestimativa dos valores finais de perda de terra por erosão. A simples atribuição de  $P = 0,5$  resulta em uma redução de 50% na estimativa final de perda de terra por erosão, em relação ao mapa de risco de erosão com a adoção de  $P = 1,0$ .

## 5 CONCLUSÃO

Os riscos de erosão da bacia do rio Piracicaba, calculados para o ano de 1978, variaram de 0 a 460 toneladas de terra por hectare.

Nos dois meses analisados, a maior parte da área da bacia está sujeita a um baixo risco de erosão, ou seja, de  $0-2 \text{ ton ha}^{-1}$ . Restritas áreas da bacia estão sujeitas a riscos de erosão mais acentuados, o que representa cerca de  $490 \text{ km}^2$ . Essa área, não contínua, necessita maiores cuidados agrônômicos, principalmente na período chuvoso.

O método de geoprocessamento utilizado mostrou-se adequado para o mapeamento de áreas de risco à erosão e pode ser utilizado no monitoramento dessas áreas. Foi suficientemente sensível para detectar os efeitos das condições climáticas (precipitação), do uso e cobertura do solo e das práticas conservacionistas.

O método também foi adequado para montar rapidamente, possíveis cenários de reocupação das áreas e detectar as diferenças ocorridas entre elas.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BALLESTER, M.V.R. Uso de sistemas de informações geográficas no estudo da paisagem da bacia do rio Piracicaba –São Paulo, Brasil. Piracicaba: FAPESP, 1996. 27p. (Projeto de Pesquisa enviado à FAPESP)
- BERTONI, J.; LOMBARDI NETO, F. Conservação do solo. São Paulo: Icone, 1990. 335p.
- BACELLAR, A.A.A. Estudo da erosão na microbacia hidrográfica do ribeirão Cachoeirinha – município de Iracemápolis, utilizando um sistema de informação geográfica. Campinas: FEAGRI/UNICAMP, 1994. 30p. (Relatório técnico)
- BERGSMAN, E. Rainfall erosion survey for conservation planning. ITC Journal, Enschede, v.2, p.116-174, 1983.
- BRASIL. Carta de solos do Estado de São Paulo. São Paulo, 1960. Escala 1:500.000.
- CASTRO, A.G de. Técnicas de sensoriamento remoto e sistemas geográficos de informações no estudo integrado de bacias hidrográficas. São José dos Campos, 1992. 145p. Dissertação (Mestrado) – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais.
- DENARDIN, J.E. Erodibilidade do solo estimada por meio de parâmetros físicos e químicos. Piracicaba, 1990. Tese (Doutorado) – Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz (ESALQ), Universidade de São Paulo.
- HICKEY, R.; SMITH, A.; JANKOWSKI, P. Slope length calculations from a dem within ARC/Info grid. Comput., environ. and urban system, v.18, n.5 p.365-380, 1994.
- INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA - IBGE. Cartas do Brasil, 1983. Escala 1:50.000.
- INSTITUTO GEOGRÁFICO E CARTOGRÁFICO DO ESTADO DE SÃO PAULO - IGC. Carta de utilização da terra do Estado de São Paulo. Folhas de Campinas, Guaratinguetá e Santos. Escala de 1:250.000. São Paulo, 1980.

INSTITUTO GEOGRÁFICO E CARTOGRÁFICO DO ESTADO DE SÃO PAULO - IGC. Carta de utilização da terra do Estado de São Paulo. Folhas de Bauru e São Paulo. Escala de 1:250.000. São Paulo, 1981.

LEVY, M. do C.T.C. Avaliação da sustentabilidade das terras de Piracicaba por comparação de cenários. Piracicaba, 1995. Dissertação (Mestrado) – Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz (ESALQ), Universidade de São Paulo.

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

MERTES, L. Computational techniques for watershed analysis. Class notebook. 654p. 1997.

PINTO, S.A.F. Sensoriamento remoto e integração dos dados aplicados no estudo de erosão dos solos: contribuição metodológica. São Paulo, 1991 Tese (Doutorado) – Ciências/Geografia Física, Universidade de São Paulo.

SÃO PAULO. Conselho Estadual de Recursos Hídricos. Plano estadual de recursos hídricos: primeiro plano do Estado de São Paulo. São Paulo: DAEE, 1991a.

SÃO PAULO. Secretaria de Energia e Saneamento. Departamento de Águas e Energia Elétrica. Centro Tecnológico de hidráulica e Recursos Hídricos. Inventário dos postos hidrométricos operados pelo DAEE. São Paulo: CTH, 1991b, 127p.

RANIERI, S.B.L. Avaliação de métodos e escalas de trabalho para a determinação de risco de erosão em bacia hidrográfica utilizando sistema de informações geográficas. São Carlos, 1996, 128p. Dissertação (Mestrado) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo.

WISCHMEIER, W.H.; SMITH, D.D. Predicting rainfall erosion losses from cropland east of the Rocky Mountains. Washington: Department of Agriculture, 1965. 47p. (USDA. Agriculture Handbook, 282)

WISCHMEIER, W.H.; JOHNSON, C.B.; CROSS, B.W. A soil erodibility monograph for farmland and construction sites. **Journal of Soil and Water Conservation**, v.26, n.5, p.189-193, 1971.

Tabela 1 – Diâmetro médio de cada classe textural para o cálculo do diâmetro médio ponderado das partículas, segundo Ranieri (1996).

Classe textural	Diâmetro (escala phi)
Areia grossa	0,65000
Areia fina	0,15000
Silte	0,01170
Argila	0,00024

Tabela 2. Distribuição percentual das áreas de risco de erosão na bacia do rio Piracicaba, para os diferentes usos e coberturas do solo, para o mês de janeiro de 1978 com prática de plantio em contorno.

Risco	Vegetação Nativa	Pastagem	Silvicultura	Cana-de-açúcar
Baixo	98,13	97,56	93,21	87,15
Médio	1,15	1,56	4,02	6,17
Alto	0,61	0,78	2,52	5,88
Muito alto	0,10	0,11	0,25	0,79

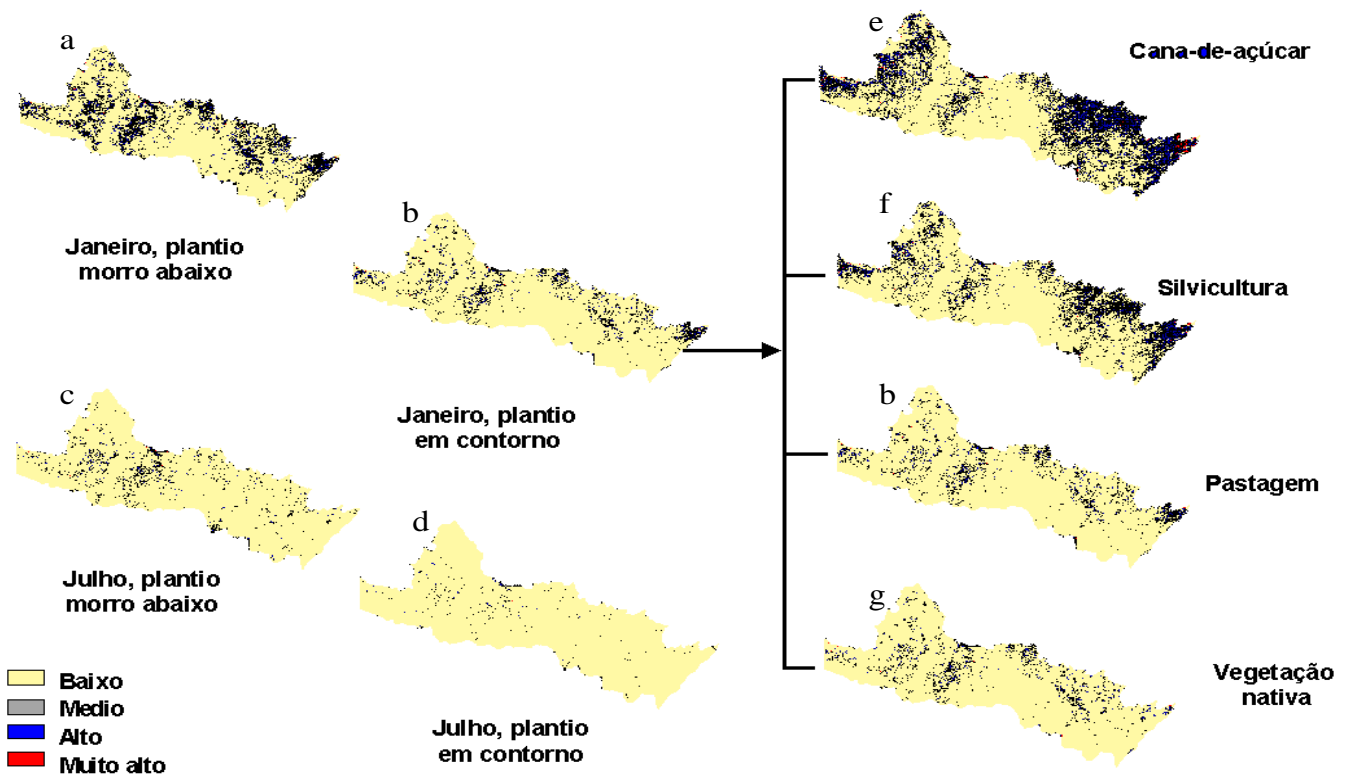


Figura 1 – Mapas de risco de erosão da bacia do rio Piracicaba, para o ano de 1978: a) janeiro com plantio morro abaixo; b) janeiro com plantio em contorno; c) julho com plantio morro abaixo; d) julho com plantio em contorno; e) simulação com substituição da pastagem por cana-de-açúcar; f) simulação com substituição da pastagem por silvicultura; b) janeiro com plantio em contorno e g) simulação com substituição da pastagem por vegetação nativa.



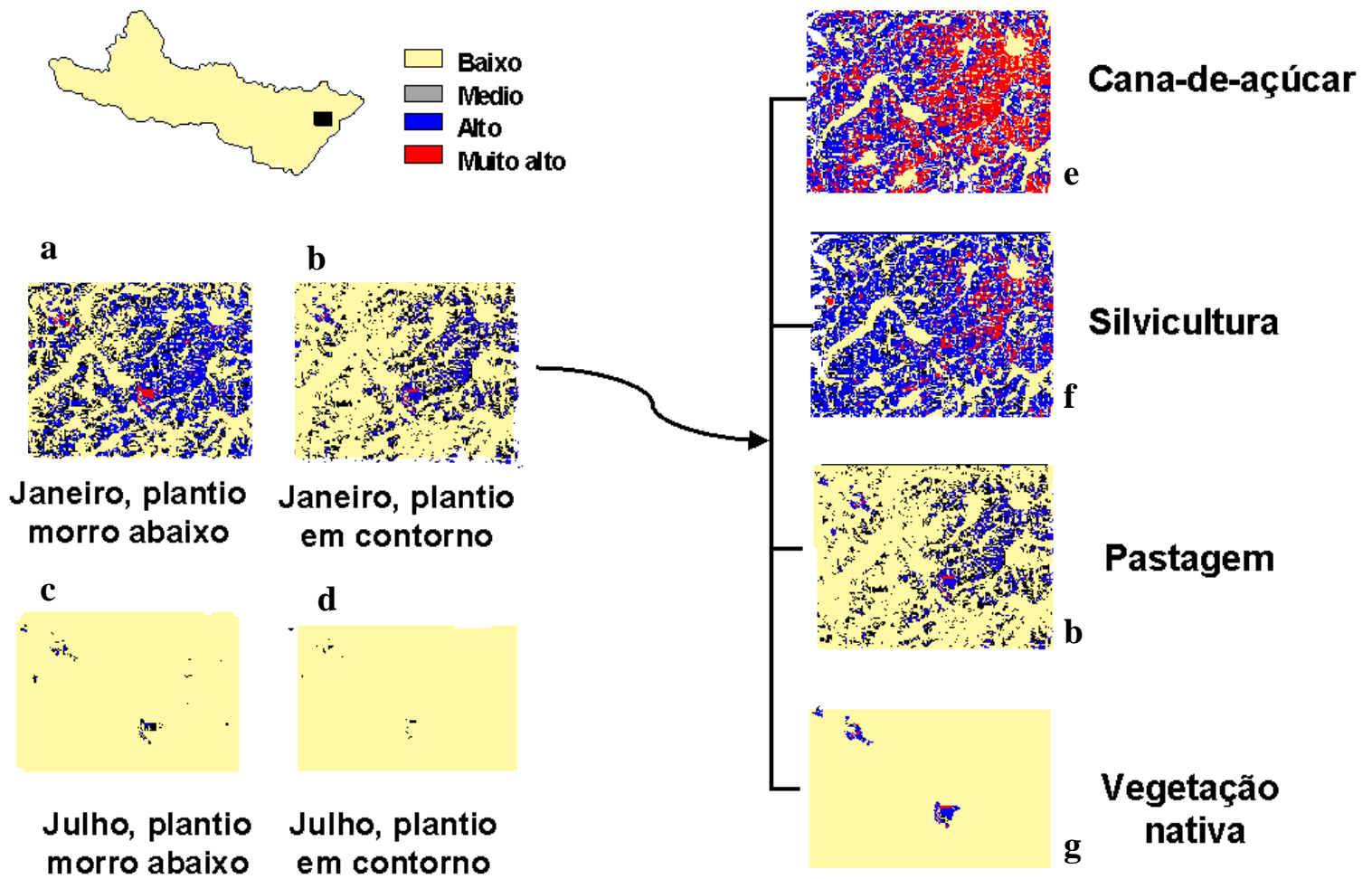


Figura 2 – Detalhes dos mapas de risco de erosão da bacia do rio Piracicaba, para o ano de 1978: a) janeiro com plantio morro abaixo; b) janeiro com plantio em contorno; c) julho com plantio morro abaixo; d) julho com plantio em contorno; e) simulação com substituição da pastagem por cana-de-açúcar; f) simulação com substituição da pastagem por silvicultura; b) janeiro com plantio em contorno e g) simulação com substituição da pastagem por vegetação nativa.

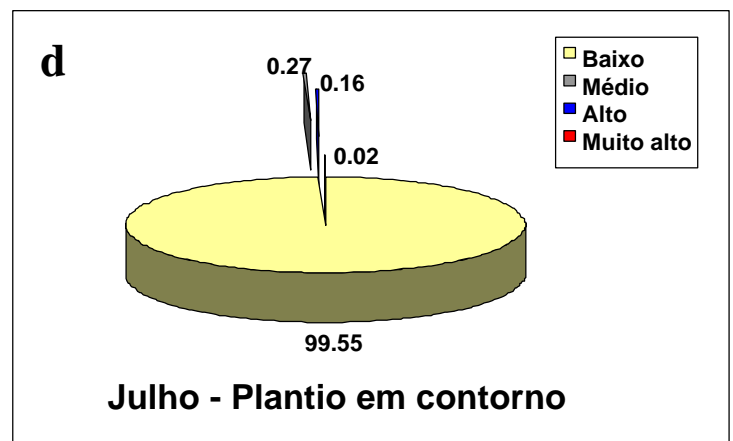
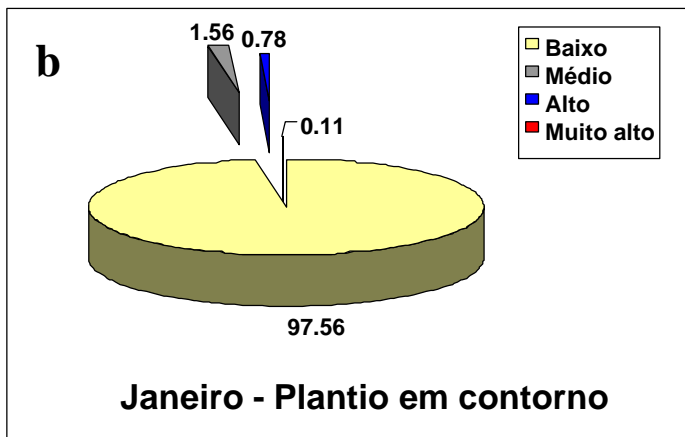
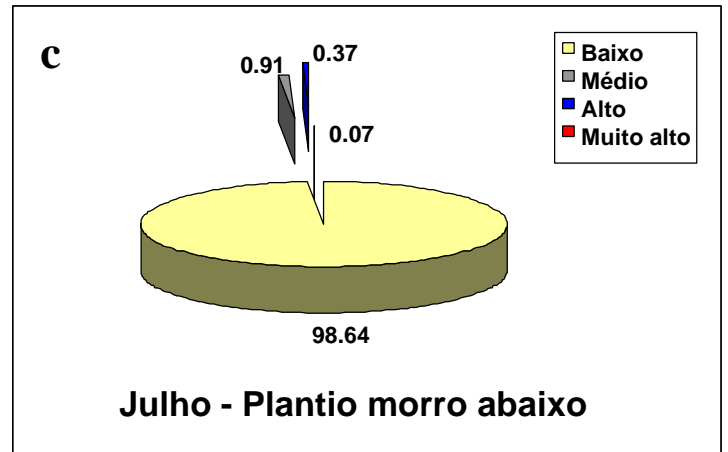
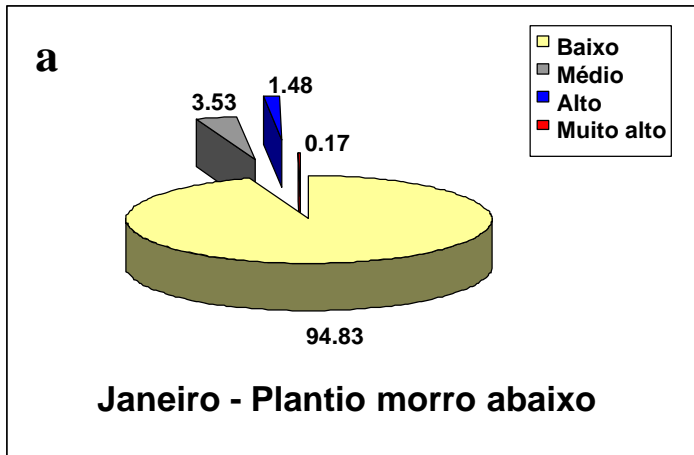


Figura 3 – Distribuição percentual das áreas de risco de erosão da bacia do rio Piracicaba, para o ano de 1978: a) janeiro com plantio morro abaixo; b) janeiro com plantio em contorno; c) julho com plantio morro abaixo e d) julho com plantio em contorno.

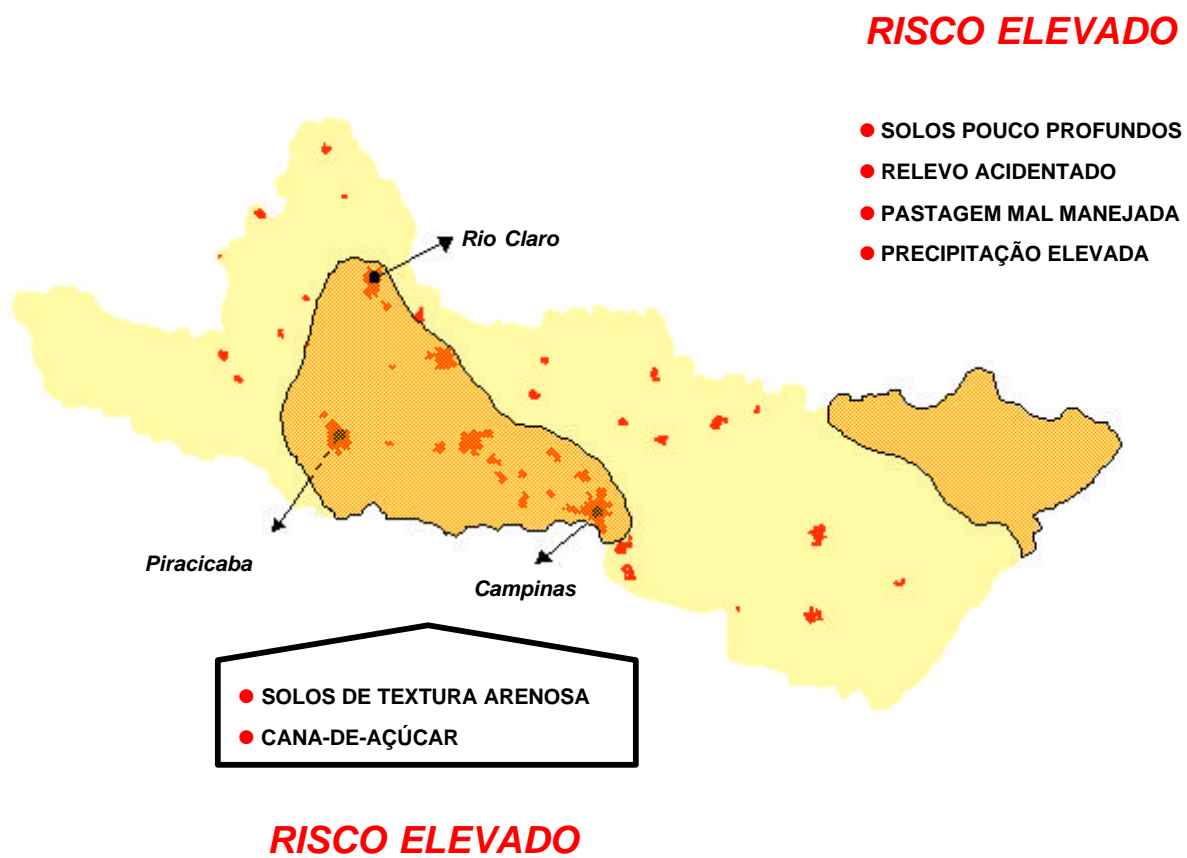


Figura 4 – Mapa esquemático das áreas com risco de erosão elevada na bacia do rio Piracicaba, para o ano de 1978.