

# Determinação de Sequências Culturais em Microbacia Hidrográfica para Caracterização do Fator C da EUPS, Utilizando Fotografia Aérea

GONZALO ÁLVARO VÁZQUEZ-FERNÁNDEZ<sup>1</sup>  
ANTÔNIO ROBERTO FORMAGGIO<sup>2</sup>  
JOSÉ CARLOS NEVES EPIPHANIO<sup>2</sup>  
JOSÉ MARINALDO GLERIANI<sup>3</sup>

INPE - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais  
CP 515, 12201 São José dos Campos, SP, Brasil  
{gonzalo, formag, epiphani, gleriani}@ltid.inpe.br

1 - Aluno do curso de mestrado em Sensoriamento Remoto, INPE.

2 - Pesquisador da Divisão de Sensoriamento Remoto, INPE.

3 - Bolsista RHAEE.

**Abstract.** Deriving crop sequences to determine USLE's factor C (Universal Soil Loss Equation) from satellite imagery has led to a little number of classes. For some applications, when more detail is desired, aerophotography is the one alternative. This better detailing is encouraged by some of the characteristics of the USLE's factor C, which has a greater variability, greater number of classes, and higher values among annual crops than among perennials. Annual crops are also known to cause greater impacts on erosion than perennials. Associated to ancillary data, it was possible to derive up to 47 different classes of crop sequences based on colour aerophotos (visible spectrum), in contrast to a number of around 7 when mapping from multispectral and multitemporal Landsat or SPOT imagery. Some sequences were associated to their values for factor C.

**Keywords:** Land use; crop sequence; factor C; USLE; aerophotography.

## 1 Introdução

A Equação Universal de Perdas de Solo (EUPS) tem sido utilizada no formato proposto por Wischmeier e Smith (1978). Para o Brasil, alguns estudiosos têm proposto uma adequação dos fatores às condições climáticas e culturais do país (ver Bertoni e Lombardi Neto, 1985; Lombardi Neto e Moldenhauer, 1992; e De Maria et al., 1994, por exemplo).

A EUPS estima as perdas de solo por erosão através da multiplicação de seis fatores. Quatro deles são intrínsecos às propriedades do solo, da paisagem e do meio ambiente. São o fator R (poder erosivo das chuvas), fator K (susceptibilidade de um determinado solo à erosão) e os fatores L e S (influência da topografia na erosão do solo, sendo L comprimento de encosta e S declividade de rampa). Os outros dois fatores refletem a ação do homem sobre os solos. O fator C pondera o efeito da cobertura vegetal e do manejo sobre a erosão, e o fator P pondera o efeito de práticas conservacionistas sobre o controle da erosão (Wischmeier e Smith, 1978).

Dentre os seis fatores, talvez seja o fator C especificamente o mais difícil de ser determinado. Esta dificuldade se deve à grande dinâmica do uso do solo agrícola, à necessidade de determinar com precisão a sequência cultural; o manejo e as datas de cada operação, e à escassez de dados experimentais que

calculem as Razões de Perdas de Solo (RPS) para cada uma das sequências culturais, para a definição do valor do fator C. Consideradas as inúmeras possibilidades de combinações de sequências culturais, conclui-se por uma quase impossibilidade de tabelar todos os valores possíveis de C. Isto não ocorre com os outros fatores, os quais são mais facilmente determinados. Para detalhes nos cálculos, o leitor pode se referir a Wischmeier e Smith (1978); Bertoni e Lombardi Neto (1985); Lombardi Neto e Moldenhauer, (1992); De Maria et al. (1994) e De Maria (1995).

A espacialização da EUPS tem sido feita por diversos autores (Pinto, 1991, IPT 1986, Donzelli et al., 1992 e Castro, 1992). De forma geral, estes autores utilizaram a EUPS com a finalidade de obter subsídios para planejamento ambiental ou fazer análise das condições de preservação da área estudada. Além disso, estes trabalhos enfatizaram o fator C e utilizaram imagens orbitais multiespectrais, TM ou SPOT, como fonte principal de dados sobre o uso do solo. Donzelli et al. (1992), por exemplo, tomaram os fatores R, K L e S e calcularam o PNE (Potencial Natural de Erosão) para a área de estudo, o qual foi utilizado tanto para diagnose como para simplificação do cálculo final da estimativa de perdas de solo por erosão. Ao fator P foi dado um valor único para toda a microbacia estudada. Para a determinação do fator C, porém, foram utilizadas 5 imagens orbitais (4 TM e 1 SPOT), cobrindo um

período de 9 meses.

Além de ser o fator que impõe maior variabilidade à estimativa de perdas de solo através da EUPS, o fator C pode ser relacionado com o uso permitido a cada unidade a fim de preservar as condições adequadas à produção agrícola. A relação entre as perdas toleradas de solo (T) pelo PNE\*P (Práticas Conservacionistas), resulta na UMP (Capacidade de Uso-Manejo Permissível), que equivale ao fator C da EUPS (Donzelli et al. 1992). Sendo a UMP uma medida do risco de erosão, torna-se um limite máximo para o fator C sobre a gleba em estudo, podendo ser associada a classes de capacidade de uso das terras.

Apesar da importância do fator C e do uso de várias imagens e de dados de campo, devido às limitações intrínsecas dos dados orbitais, os autores acima conseguiram definir apenas seis classes de uso do solo, quais sejam: culturas anuais, citros, cana-de-açúcar, pasto, reflorestamento e vegetação nativa. Observando a tabela apresentada pelos próprios autores (pág. 108), verifica-se que o fator C é mais detalhado, tem uma variabilidade maior e possui valores maiores entre as culturas anuais que entre as perenes. De Maria (1995), trabalhando apenas com milho e diversos tipos de manejo da cultura, não conseguiu chegar a um valor único para a cultura do milho, como fizeram De Maria et al. (1994) para a cana-de-açúcar.

Outros trabalhos evidenciam a limitação dos dados orbitais no mapeamento do uso do solo (Pereira Neto, 1994 e Pinto, 1989). Esta limitação se impõe principalmente na discriminação de lavouras temporárias.

A alternativa, quando se deseja um melhor detalhamento do uso do solo, são as fotografias aéreas. Estas têm como vantagem a melhor resolução espacial. Esta característica permite utilizar feições texturais ou características de direcionamento de linhas de plantio, por exemplo, na discriminação das classes de uso. Ainda, a clareza dos carregadores e dos limites entre talhões, permite parcelar melhor a área estudada, e conseqüentemente, uma melhoria na modelagem da dinâmica natural do uso do solo.

O presente trabalho objetiva mostrar o potencial da fotografia aérea na discriminação das classes de uso, e como este mapeamento, aliado a dados de campo, permite uma caracterização das várias seqüências culturais existentes no campo. Uma vez determinadas estas seqüências pode-se proceder o cálculo do fator C.

## 2 Material

A área escolhida para estudo é a microbacia do córrego Pinheirinho. Esta se localiza no Município de Sumaré, no centro-oeste paulista. A área total da microbacia é de 26 km<sup>2</sup>.

A microbacia possui uma atividade agrícola em torno da cana-de-açúcar, porém com presença de várias

culturas, como tomate, milho, batatinha, sorgo, feijão e pastagens. Existe também a presença de cinco solos diferentes, a topografia é ondulada, e em torno de 90% de sua área total é destinada a fins agrícolas. Estas características tornam a microbacia bem adequada ao estudo da erosão.

Para o mapeamento do uso do solo utilizou-se um par de fotografias aéreas coloridas, da faixa do visível, obtidas em 3 de junho de 1995, numa escala aproximada de 1:38.000.

A base cartográfica compôs-se de 4 cartas em escala 1:10.000 do Instituto de Cartografia e Geografia (IGC) do Estado de São Paulo.

Foi utilizado um sistema de informações geográficas - SPRING - para definir os limites geográficos da microbacia e manipular os dados disponíveis.

## 3 Métodos

A área da microbacia foi delimitada a partir das curvas de nível nas cartas do IGC, sobre as quais se traçaram os divisores de água. As isolinhas eram espaçadas em cinco metros na altitude. Estas foram digitalizadas no SPRING, unindo os dados de quatro cartas. Com estes dados gerou-se um mapa 1:50.000, sobre o qual foi traçado o divisor de águas. A digitalização foi feita diretamente no SPRING, usando o mapa em papel como guia.

Outro dado introduzido no sistema foi a rede viária e a rede de drenagem existentes nas cartas. De posse destes dados foi gerada uma carta em poliéster, na escala da fotografia. Para cada região da carta onde estas redes coincidiam com a fotografia, foram traçados os limites entre as Unidades de Manejo (UM).

O objetivo desta primeira fotoleitura foi identificar áreas que o agricultor tratasse como unidade mínima de manejo. Identificaram-se inicialmente 227 UM.

Foram feitas quatro visitas a campo, para levantamento de dados: 19 de abril, 26 de maio, 14 de setembro e 25 de outubro de 1995. Nestas visitas observou-se a cobertura de cada UM, subdividindo-as ou unindo-as. Muitos dados foram obtidos a partir de conversas com agricultores, os quais caracterizaram as rotações praticadas. Contudo, os limites de cada UM foram derivados da foto aérea.

Após a caracterização das diversas classes de uso para cada UM no verão de 1994 e no inverno de 1995, usando uma planilha eletrônica ordenaram-se alfabeticamente as UM. As seqüências culturais repetidas foram reduzidas a uma classe de uso e manejo. Assim, as várias UM que tinham cana no verão e cana no inverno constituíram uma classe de manejo, à qual pôde ser atribuído um valor do fator C.

#### 4 Resultados e discussão

O mapeamento da área resultou em 46 tipos de rotações ao longo do ano agrícola 94/95 (de 1º de outubro 94 a 30 de setembro de 1995). Este mapeamento está expresso na Tabela 1. As culturas de milho, feijão, sorgo, as pastagens, o algodão e as poucas áreas de eucalipto são, de modo geral, independentes da cultura da cana-de-açúcar. Já as culturas de tomate, batatinha, às vezes milho e feijão, visam completar a renda advinda da cana-de-açúcar entre o fim de um ciclo e a renovação da área cultivada com cana-de-açúcar.

Observa-se o grande detalhamento de classes de sequências culturais existentes, em contraste às poucas classes definidas a partir de dados orbitais, como já destacado anteriormente.

Um fato interessante é a impossibilidade de dividir o ano agrícola em inverno e verão simplesmente. Algumas das rotações observadas consistem em três safras anuais. Um exemplo claro é a cana-de-açúcar cortada em fins de outubro, seguida de milho, colhido em abril, seguido de duas safras de feijão. Ao fim deste ciclo faz-se a renovação da cana-de-açúcar, com cana de ano e meio, no início de outubro.

VERÃO 94/INVERNO 95	
Rotação	Valores de fator C
1 Algodão/pousio	0,4737
2 Área industrial	0,0000
3 Área resid. rural	0,0000
4 Área urbana	0,0000
5 Arvoredo	0,0001
6 Café	0,1350
7 Cana	0,0500
8 Cana/batata	0,1040
9 Cana/feijão/batata/milho	0,4679
10 Cana/milho/batata	0,1899
11 Cana/milho/feijão	0,1855
12 Cana/milho/pousio	0,1065
13 Cana/pousio	0,0598
14 Cana/sorgo	0,0585
15 Cana/tomate	0,1008
16 Capineira	0,0500
17 Capoeira	0,0001
18 Confín./galinha	0,0000
19 Crotalaria/feijão/tomate	0,4131
20 Estação de força	0,0000

21 Eucalipto	0,0001
22 Feijão/batata irrigada	0,5118
23 Feijão/feijão	0,5054
24 Feijão/pousio	0,5054
25 Gramado de futebol	0,0080
26 Granja	0,0000
27 Lavouras/tomate+repolho	0,5000
28 Milho/aveia	0,1104
29 Milho/feijão/feijão	0,1415
30 Milho/feijão/girassol	0,1670
31 Milho/feijão/tomate	0,1670
32 Milho/pousio	0,1104
33 Milho/pousio/batata	0,1338
34 Milho/pousio/feijão	0,1233
35 Milho/pousio/feijão	0,1415
36 Milho/tomate	0,1670
37 Pasto	0,0080
38 Pasto degradado	0,0300
39 Pasto/batata	0,0856
40 Pasto/tomate	0,0792
41 Pomar abandonado	0,0500
42 Pomar de citrus adulto	0,1350
43 Pousio/tomate	0,1152
44 Solo exposto	1,0000
45 Sorgo/pousio	0,1104
46 Várzea/pasto	0,0000

Tabela 1 - classes de sequências culturais identificadas na microbacia do córrego Pinheirinho e valores aproximados do fator C para algumas rotações. Valores de Fator C de acordo com Donzelli et al. (1992), De Maria et al. (1994), Nascimento (1994), De Maria (1995) e IAC (1996).

De todas as culturas observadas, as únicas duas que não se sucedem a si mesmas em nenhuma situação são o tomate e a batatinha, devido a problemas fitossanitários.

O milho se sucede em anos sequenciais, mas não de forma contínua, por ser considerada uma cultura de verão exclusivamente, mesmo em áreas irrigadas. No inverno planta-se ou feijão ou batatinha em rotação com o milho. Há o caso de uma área irrigada por pivô central que é utilizada apenas para a cultura do milho,

com queima da palhada e pousio no inverno.

Destaca-se a forte presença de culturas anuais em relação a culturas perenes. Entre as práticas agrícolas perenes encontram-se pomares abandonados e plantações de eucaliptos de pequena expressão espacial. As áreas de pastagens estão geralmente associadas a várzeas, representando a única forma viável de exploração econômica destas áreas. Com pequenas declividades, estas áreas são pouco suscetíveis à erosão, além de serem áreas de deposição de sedimentos. Por outro lado, as culturas de ciclo curto, além de serem mais representativas no total da área, têm permitido uma exposição maior do solo a situações erosivas, por ausência de cobertura vegetal nas épocas de colheita e/ou preparo do solo.

Os valores de fator C exibidos foram apresentados por Donzelli et al. (1992), De Maria et al. (1994) e De Maria (1995). Para estes valores não foi feito nenhum cálculo, apenas correlação entre as classes de uso e manejo apresentados pelos autores supra citados e as classes obtidas para o presente trabalho. Os valores de fator C para algumas sequências não foram apresentados por exigirem valores não disponíveis para o cálculo.

Os valores de fator C estimados variaram entre 0.0500 e 0.5118 entre as culturas anuais. No caso específico de um solo continuamente exposto este valor é igual a 1. Entre as culturas perenes estes valores variaram entre 0.0001 e 0.1350. Uma pequena área coberta com capoeira tem um valor aproximado de 0.00004 para o fator C. Estes valores refletem o maior impacto das culturas anuais sobre a erosão em relação às culturas perenes.

O presente trabalho objetivou mapear as sequências culturais, focalizando a atividade agrícola dentro da microbacia do córrego Pinheirinho. Às áreas residenciais e industriais foi dado o valor zero para o fator C por estas não serem objeto do presente estudo.

Outras áreas que receberam valor zero para o fator C foram as áreas de várzeas, associadas a pastagens. Todas as áreas de várzeas observadas estavam sendo utilizadas por pastagens naturais. Isto poderia caracterizar um uso e manejo do solo e conseqüente exposição do solo à erosão. Contudo, se a posição topográfica das áreas de várzea for considerada, esta é uma área de sedimentação por natureza. Como o uso destinado não é intensivo, no sentido de expor o solo excessivamente, optou-se pelo valor zero.

Estes resultados, que ainda devem ser melhor trabalhados para sua utilização dentro do modelo EUPS, refletem a complexidade de se modelar adequadamente o fator C através do mapeamento do uso do solo. O grande número de dados envolvidos na determinação deste fator é sem dúvida um grande obstáculo a sua modelagem. Este problema se torna crítico quando se trabalha com o modelo espacializado, estudando várias

Unidades de Manejo dentro de um mesmo conjunto espacial de dados. É o caso do presente estudo, que focaliza uma microbacia hidrográfica.

## 5 Conclusão

A caracterização da dinâmica cultural de uma microbacia a partir de fotografia aérea mostrou que este produto de sensoriamento remoto deve sempre ser considerado. Enquanto os trabalhos que utilizaram imagens orbitais chegaram a cinco ou seis classes de uso do solo, a fotografia aérea permitiu discriminar 46 classes de uso do solo. O trabalho presente também levou em consideração não apenas a cobertura vegetal no momento do imageamento, mas a dinâmica desta cobertura vegetal ao longo do período estudado.

O uso de técnicas de sensoriamento remoto não exclui a necessidade de dados ancilares. Para completa caracterização desta dinâmica, além dos dados de sensoriamento remoto, foram utilizados os dados coletados em quatro visitas ao local. Nestes dias de campo foi-se a cada uma das UM. As inferências foram feitas a partir dos restos culturais observados, estádios das culturas, culturas presentes, datas de plantio e conversas com os produtores. A experiência dos autores quanto aos ciclos culturais e épocas de plantio também deve ser considerada.

A dinâmica de uso do solo, na microbacia do Pinheirinho, mapeada a partir de aerofotos, e no caso específico da EUPS, centrou-se nas culturas temporárias, as quais afetam o processo erosivo mais intensamente que as culturas perenes ou cobertura nativa. Caracterizou-se assim o potencial da foto aérea no estudo de modelos espaciais, que exijam um grande número de dados para poder ser calibrados.

À luz destes resultados propõe-se como trabalhos futuros, testes de sensibilidade da EUPS ao maior ou menor detalhamento do fator C. Este maior ou menor detalhamento seria derivado do mapeamento a partir de aerofotos ou de imagens orbitais TM ou SPOT. Conquanto este trabalho mostre a possibilidade de melhor detalhar o uso do solo e modelar a dinâmica agrícola através da foto aérea, nada se pode concluir em termos de resposta da EUPS, no sentido de saber se esta é ou não é sensível ao maior detalhamento do fator C. Uma adaptação do teste como o realizado por Chaves (1991) para medir a sensibilidade dos diversos parâmetros da EUPS-modificada (MUSLE) poderia ser desenvolvido para este fim.

Também devem ser procurados métodos de aproveitar as características próprias dos sistemas orbitais, visando ao detalhamento do fator C. Uma possibilidade é correlacionar dados de reflectância com índices de cobertura vegetal em imagens multiespectrais. Para melhor correlacionar dados de reflectância com porcentagem de cobertura vegetal, os modelos de reflectância devem ser melhor estudados e

correlacionados com condições brasileiras.

Os dados gerados neste trabalho permitem o cálculo o fator C da EUPS, desde que aliados a dados de bibliografia sobre Razões de Perdas de Solo.

### Referências

Bertoni, J. e Lombardi Neto, F. *Conservação do Solo*, Piracicaba, Livroceres, 1985. 392p.

Castro, A.G. de. *Técnicas de Sensoriamento Remoto e Sistemas Geográficos de Informações no Estudo Integrado de Bacias Hidrográficas*. Dissertação de Mestrado, INPE, São José dos Campos, 1992 (INPE-5494-TDI/511).

Chaves, H.M.L. Análise global de sensibilidade dos parâmetros da equação universal de perdas de solo modificada (MUSLE). *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 15:345-350, 1991.

De Maria I. C. *Perdas de terra por erosão hídrica e razão de perdas de solo para sistemas de manejo da cultura de milho*. Tese de Doutorado, Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, Piracicaba, 1995. 93p.

De Maria I. C. et al. Fator da equação universal de perdas de solo (EUPS) para a cultura da cana-de-açúcar. X Reunião Brasileira de Manejo e Conservação do Solo e da Água. *Resumos*. Florianópolis, SC. 1994.

Donzelli, P. L. et al. Técnicas de sensoriamento remoto aplicadas ao diagnóstico básico para planejamento e monitoramento de microbacias hidrográficas. In: Lombardi N°, F.; Camargo, A.O. coord. *Microbacia*

*do Córrego São Joaquim* (Município de Pirassununga, SP). Campinas, Instituto Agrônômico, 1992. 138 p.

IAC - Dados da Seção de Conservação de Solos. *Não publicados*. 1996.

IPT - *Orientações para o combate à erosão no Estado de São Paulo* (Bacia do Peixe-Paranapanema). Relatório n° 24.739, v. 3. 1986. 110 p.

Lombardi N°, F.; Moldenhauer, W.C. Erosividade da chuva: sua distribuição e relação com as perdas de solo em Campinas (SP). *Bragantia*, 51(2):189-196. 1992.

Nascimento, P.C. do. *Razão de perdas de solo sob cultivo de três leguminosas*. Dissertação de Mestrado, ESALQ, Piracicaba, 1994. 59p.

Pereira Neto, O.C. *Técnicas de Geoprocessamento Aplicadas ao Estudo da Adequação do Uso do Solo em Bacias Hidrográficas*. Dissertação de Mestrado, INPE, São José dos Campos, 1994.

Pinto, S.A. *Sensoriamento Remoto e Integração de Dados Aplicados no Estudo da Erosão dos Solos: Contribuição Metodológica*. Tese de doutoramento, USP - Geografia, São Paulo, 1991.

Pinto, S.A., Valério Filho, M. e Garcia, G.J. Utilização de imagens Landsat-TM na análise comparativa entre dados de uso da terra e de aptidão agrícola. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, (13):101-110, 1989.

Wischmeier, W.H. and Smith, D.D. Predicting Rainfall Erosion Losses - a Guide to Conservation Planning. U.S. Department of Agriculture, *Agriculture Handbook* N° 537, 1978.