

Variação anual do Índice de Vegetação, correlacionada ao fator Uso-Manejo do solo

Marcelo Viana Feitosa¹
Jener Fernando Leite de Moraes²
Luiz Alberto Ambrósio²
Samuel Fernando Adami²

¹Pos-graduando – Instituto Agronômico – IAC
Caixa Postal 28 – 13012-970 – Campinas – SP, Brasil
marcelovfeitosa@hotmail.com

² Instituto Agronômico – IAC
Caixa Postal 28 – 13012-970 – Campinas – SP, Brasil
{jfmoraes, donzeli, ambrosio, samuel}@iac.sp.gov.br

Abstract: This study proposes a methodological approach applying remote sensing and geographical information system (GIS) to estimate the Vegetable Cover Index of the soil and its correlation with “C” Factor of the Universal Soil Loss Equation (EUPS), intending to characterize soil erosion indicators from cultivated areas in Conchal county, São Paulo State. It were used images from sensor CCD/CBERS-2 (China and Brazil Earth Resort Satellites). “C” Factor is a combination of all relations from cover and management variables, and depends on the rainfall that occurs during the different periods evaluated. Considering this definition, it was established a correlation among “C” Factor, the Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) and the Rain Erosivity Index (EI), determined for different phenological crop stages of the analysed cultures, intending to establish a regression equation to the “C” Factor prediction in areas where this information was not studied. The results showed a good correlation between NDVI and “C” factor of the Universal Soil Loss Equation and that is a powerful tool to monitoring soil loss a long different crops cycles.

Palavras-chave: Erosion; Universal Soil Loss Equation; USLE; Normalized Difference Vegetation Index; NDVI; Geographic Information System; Remote Sensing

1. Introdução

O solo é um recurso natural que, se bem utilizado, pode representar um importante elemento para o desenvolvimento da economia de uma nação, assim como para a qualidade de vida do seu povo. Em contrapartida aos fenômenos degradantes, a conservação da integridade produtiva do solo pode ser assegurada com a aplicação de medidas simples, exequíveis e econômicas de manejo dos solos. Como parte dessas medidas, surge a necessidade da aplicação do planejamento ambiental, buscando formas alternativas de monitoramento e fiscalização para as áreas que correm o risco de erosão.

Respondendo a essa necessidade, o geoprocessamento e a utilização de informações de sensoriamento remoto vêm se destacando como importantes ferramentas, pois possibilitam a abrangência de grandes áreas, a periodicidade das informações, a vantagem de se monitorar áreas remotas e de difícil acesso e a espacialização das informações (que auxilia o processo de planificação das mesmas). Muitos trabalhos envolvendo informações de sensoriamento remoto vêm sendo realizados para estimar variáveis biofísicas, a exemplo da cobertura vegetal que pode ser mapeada com a ajuda de imagens índices. Dentre esses índices destaca-se o Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI), que segundo Bernardes (1996), faz a estimativa da cobertura vegetal com nível aceitável de precisão. O desenvolvimento de tais metodologias pode representar um trunfo para prefeituras, instituições ou empresas interessadas em monitorar e fiscalizar áreas de forma rápida, com baixo custo e sem a necessidade de se deslocar um grande contingente humano para a realização dessas tarefas.

O objetivo do presente trabalho é o desenvolvimento de uma metodologia para a determinação do Fator C, da Equação Universal de Perdas de Solo (EUPS), através do processamento de imagens do satélite CBERS-2, para caracterização e mapeamento do índice de cobertura vegetal do terreno (NDVI). Baseado na premissa de que esse índice guarda uma estreita correlação com o Fator C, devido à sua grande variação durante os diferentes estádios fenológicos das culturas.

2. Material E Métodos

A área de estudo foi o município de Conchal, situado a 186 km da cidade de São Paulo, na Região Centro-Oeste do estado, a 22°20' de Latitude Sul e 47°10' de Longitude Oeste. Conchal tem 212 km², sendo 5,1 km² representados por área urbana e 206,9 km² representados por área rural.

2.1 Processamento de imagens CBERS-2

A primeira etapa do tratamento das imagens foi o georeferenciamento ou correção geométrica, pelo sistema de coordenadas - UTM - datum SAD-69. Essa operação é fundamental, pois o projeto envolve a manipulação de dados espaciais, dentro dos Sistemas de Informações Geográficas (SIGs).

Os mapas da hidrografia e das principais estradas, provenientes da base cartográfica (Romeiro, 2004), juntamente com verificação de campo forneceram os pontos de controle utilizados para georeferenciar as imagens de satélite. Após a georeferência, foi possível determinar uma coordenada para cada pixel da imagem, com grandeza verdadeira dentro da projeção escolhida.

2.2 Obtenção do mapa de uso da terra

O Levantamento do uso da terra através da verificação de campo, juntamente com o encaminhamento de DGPS, forneceram a localização das glebas referentes aos diferentes usos da terra. Essas informações serviram de base para o trabalho em laboratório, onde as imagens previamente corrigidas e calibradas passaram por processamentos digitais objetivando uma maior distinção entre as glebas, para a classificação final do uso da terra.

O processamento das imagens de satélite segundo metodologia descrita em Novo (1992) e Crósta (1992), foi realizado através do programa SPRING 4.0 e constou de composições coloridas em RGB, onde as imagens sofreram um realce com a Ampliação Linear de Contraste (ALC) e Análise por Componentes Principais (PC), onde:

2.3 Obtenção do NDVI

De posse do mapa de uso atual das terras e escolhidas as culturas a serem estudadas (milho, mandioca e algodão), o próximo passo foi a obtenção do NDVI. Para tanto, foram selecionadas as glebas de maior representatividade, levando em consideração o tamanho da gleba e a porcentagem de cobertura de nuvens da imagem.

O tamanho da gleba é uma informação fundamental, pois o valor contido em um pixel (menor elemento da imagem) refere-se a uma área de 20 x 20 metros, dada a resolução espacial da imagem CCD/CBERS-2. Nesse caso, glebas com pequenas extensões vão conter uma pequena quantidade de pixels, insuficientes para a representação da variabilidade do fenômeno estudado.

A Razão de Bandas (NDVI), obtida a partir da combinação das bandas espectrais referentes ao vermelho (CCD3) e ao infravermelho próximo (CCD4), seguiu a seguinte formulação:

$$\text{NDVI} = 127 * [(\text{CCD } 4 - \text{CCD } 3) / (\text{CCD } 4 + \text{CCD } 3)] + 128$$

Os valores de saída do NDVI foram expressos em Níveis de Cinza, e para cada gleba escolhida foram amostrados 125 pixels, dos quais foi obtida a média aritmética que representou o valor de NDVI utilizado na correlação com o fator “C”.

Em vista da necessidade de se obter dados de NDVI referentes aos diferentes períodos do Fator C, foram utilizadas imagens CCD/CBERS-2 capturadas nas datas 29/12/2003, 19/02/2004, 16/03/2004, 11/04/2004, 24/07/2004, 14/09/2004 e 01/12/2004, as quais foram suficientes para cobrir todos os períodos em questão.

2.4 Obtenção dos parâmetros da EUPS

A Equação Universal de Perdas de Solo (EUPS), Wishmeier & Smith (1978), adaptada para as condições brasileiras por Bertoni & Lombardi Neto (1999), foi utilizada para proporcionar a avaliação de perdas de solo no município de Conchal. Através da geração dos mapas de Potencial Natural de Erosão (PNE) e de Erosão Atual, foi possível identificar a ação dos principais fatores que influenciam a erosão e conhecer o processo de degradação atual da área estudada. Além desses aspectos, a presente pesquisa também focou na estimativa do fator C, dessa equação, com base em análises de regressões a partir do NDVI obtido do processamento das imagens CBERS-2.

A equação é expressa pela seguinte fórmula:

$$A = R \cdot K \cdot L \cdot S \cdot C \cdot P$$

Onde:

A = Perda de solo calculada por unidade de área, (t /ha/ano);

R = Fator erosividade da chuva: índice de erosão pela chuva, (MJ.ha⁻¹.mm.ha⁻¹), determinado conforme a metodologia de Lombardi Neto e Moldenhauer (1992), é expresso pela seguinte fórmula:

K = Fator erodibilidade do solo: intensidade de erosão por unidade de índice de erosão da chuva, para um solo específico que é mantido continuamente sem cobertura, mas sofrendo as operações culturais normais, em t / ha / (MJ.ha⁻¹. mm.ha⁻¹).

L = Fator comprimento da vertente: relação de perdas de solo entre um comprimento de declive qualquer e um comprimento de rampa de 25 m para o mesmo solo e grau de declive;

S = Fator declividade da vertente: relação de perdas de solo entre um declive qualquer e um declive de 9% para o mesmo solo e comprimento de rampa

C = Fator uso-manejo do solo: relação entre perdas de solo de um terreno cultivado em dadas condições e as perdas correspondentes de um terreno mantido continuamente descoberto, isto é, nas mesmas condições em que o fator K é avaliado. A cobertura vegetal oferece uma proteção gradual, durante o seu ciclo vegetativo. Na prática, dividiu-se o ano agrícola em cinco períodos ou estágios da cultura, definidos de maneira que os efeitos de cobertura e manejo possam ser considerados aproximadamente uniformes dentro de cada período, descrito a seguir:

- **Período D** – preparo do solo: do preparo até o plantio;
- **Período 1** – plantio: do plantio até um mês após o plantio;
- **Período 2** – estabelecimento: do fim do período um até dois meses após o plantio;
- **Período 3** – crescimento e maturação: de dois meses após o plantio até a colheita;
- **Período 4** – resíduo: da colheita até o preparo do solo.

Para o presente trabalho foi realizado um mapeamento do uso e cobertura vegetal do município de Conchal com as prováveis datas de preparo e plantio. Para cada classe de uso da terra atribuiu-se um valor do fator C, segundo proposta de Bertoni e Lombardi Neto (1999);

P = Fator práticas conservacionista: relação entre as perdas de solo de um terreno cultivado em determinada prática e as perdas quando se planta morro abaixo

2.5. A escolha das variáveis independentes

O NDVI tem uma relação direta com o vigor da vegetação, tornando possível o mapeamento de áreas com diferentes índices de cobertura vegetal e vigor de biomassa. A cobertura vegetal oferece uma proteção gradual, durante o seu ciclo vegetativo, essa proteção não só depende do tipo de vegetação, da sua permanência e do desenvolvimento durante o ciclo da cultura, como também, tem grande variação nos diferentes meses ou estações do ano. A eficácia de reduzir a erosão, portanto, depende da quantidade de chuvas erosivas que ocorrem durante esse período, quando a cultura e as práticas de manejo apresentam uma proteção mínima. Sendo o fator C uma combinação de todas as relações das variáveis de

cobertura e manejo acima enumeradas, foram escolhidos o NDVI e o EI como variáveis independentes para a determinação do fator C estimado.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1. Análise descritiva dos dados, para as variáveis NDVI, Fator C e EI.

O número de observações (N) para cada cultura, representado na Tabela. 1 variou de 10 a 35 em função das quantidades de glebas avaliadas. Apenas a cultura do algodão apresentou baixo número de observações, devendo-se neste caso, analisar com cuidado os resultados da regressão. Os valores máximos e mínimos mostram que, as amplitudes dos valores das variáveis estão de acordo com a literatura. Os valores das médias similares aos valores das medianas indicam que os dados representam distribuição normal, isto ocorre com maior evidência para a variável “NDVI”. A variável “Fator C” apresenta, de modo geral, valores da mediana maiores do que os valores das médias, indicando uma distribuição com assimetria negativa (há mais valores próximos ao valor mínimo). E a variável “EI” apresenta, de modo geral, valores das medianas menores que os valores das médias, indicando uma distribuição com assimetria positiva (há mais valores próximos ao valor máximo).

Para a análise da regressão entre o NDVI, EI e fator C, foram aplicados os seguintes modelos estatísticos:

- Linear simples: $C = a + b_1 \text{ NDVI}$;
- Linear múltiplo: $C = a + b_1 \text{ NDVI} + b_2 \text{ EI}$;
- Linear múltiplo por transformação (quadrático):
 $C = a + b_1 \text{ NDVI} + b_2 \text{ EI} + c_1 \text{ NDVI}^2 + c_2 \text{ EI}^2$.

Onde:

C = Fator C para a cultura do milho, referente aos períodos D, 1, 2, 3, ou 4;

NDVI = Valor de NDVI correspondente ao período do fator C;

EI = Índice de Erosão acumulado, correspondente ao período do fator C.

A seguir estão representados os coeficientes de regressão e coeficientes de determinação para as diferentes culturas avaliadas.

Tabela 1. Análise descritiva dos dados observados para as variáveis: NDVI, Fator C e EI.

Culturas	Nº	Máximo	Mínimo	1º Quartil	Mediana	3º Quartil	Média	Desvio padrão
Variável NDVI								
Milho 1	35	199,30	118,94	136,60	158,08	178,24	158,94	25,68
Milho 2	35	200,77	126,12	143,78	156,92	172,44	160,71	20,70
Mandioca 1	25	181,28	132,72	137,94	157,48	176,38	156,49	17,77
Mandioca 2	20	186,12	120,45	137,85	146,62	178,71	154,13	22,04
Algodão	10	197,92	125,64	139,36	161,54	181,21	161,81	24,24
Variável Fator C								
Milho 1	35	0,0327	0,0035	0,0259	0,0290	0,0320	0,0246	0,0109
Milho 2	35	0,0559	0,0022	0,0101	0,0512	0,0558	0,0350	0,0241
Mandioca 1	25	0,4005	0,0025	0,0735	0,1097	0,2052	0,1583	0,1404
Mandioca 2	20	0,3182	0,0025	0,1742	0,1844	0,2088	0,1776	0,1041
Algodão	10	0,1225	0,0175	0,07585	0,0995	0,1074	0,0874	0,0381
Variável EI								
Milho 1	35	86,07	0,93	15,15	25,81	42,88	34,17	29,77
Milho 2	35	92,56	1,52	25,81	42,88	75,68	47,69	33,44
Mandioca 1	25	100,93	3,83	11,57	21,73	42,88	36,19	35,64
Mandioca 2	20	100,93	3,83	25,81	42,88	75,68	49,83	35,60
Algodão	10	92,56	0,93	19,59	42,88	78,26	47,14	34,53

O modelo que melhor se ajustou aos dados foi o quadrático múltiplo, o qual foi utilizado na estimativa do Fator C em novas glebas, para efeito de validação da metodologia proposta. Para tanto foram escolhidas as culturas que apresentaram maior coeficiente de determinação ajustado (Milho 1 com R² ajustado = 99,9 %; Mandioca 2 com R² ajustado = 89,7 % e Algodão com R² ajustado = 92,1%).

A seguir estão descritas as equações de regressão do modelo quadrático múltiplo e sua representação gráfica:

- **Para a cultura do milho obteve-se a seguinte equação de regressão:**

$$\text{Fator C} = 0,056528 - 0,00030628 \cdot \text{NDVI} - 0,00004495 \cdot \text{EI} + 0,00000097 \cdot \text{NDVI}^2 - 0,00000339 \cdot \text{EI}^2$$

Essa equação pode ser representada graficamente como observado na Figura 1:

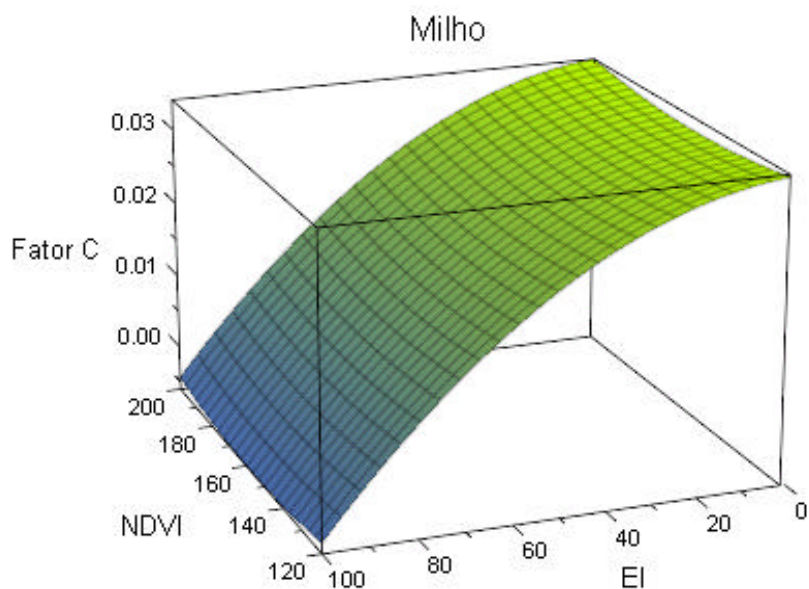


Figura 1. Representação gráfica da equação de regressão para o modelo quadrático múltiplo (milho).

- Para a cultura do algodão, obteve-se a seguinte equação de regressão:

$$\text{Fator C} = -0,1335 + 0,002438 \cdot \text{NDVI} + 0,0017811 \cdot \text{EI} - 0,00000611 \cdot \text{NDVI}^2 - 0,00002860 \cdot \text{EI}^2$$

Essa equação pode ser representada graficamente conforme observado na Figura 2:

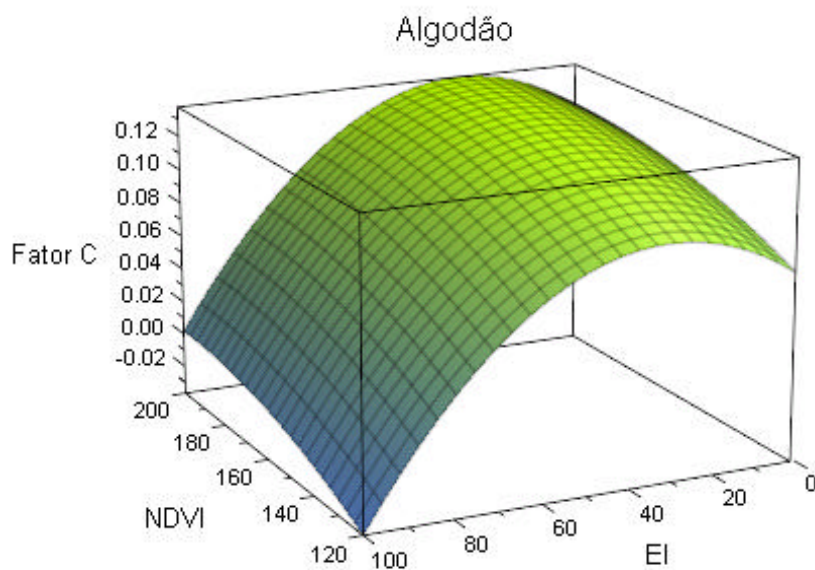


Figura 2. Representação gráfica da equação de regressão para o modelo quadrático múltiplo (algodão).

Pode ser notado que o Fator C aumenta à medida que o NDVI diminui, fato observado devido à diminuição da proteção oferecida pela cobertura vegetal, indicada pela diminuição no NDVI.

4. CONCLUSÕES

O Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI) apresentou evolução temporal compatível com o ciclo vegetativo das culturas do milho, mandioca e algodão, mostrando-se adequado para representar o comportamento dinâmico da cobertura vegetal, e conseqüentemente adequando-se na caracterização dos condicionantes naturais do Fator C.

O Fator C estimado pelo NDVI, através da utilização de métodos estatísticos de análise de regressão, proporcionou uma ótima integração entre o produto do tratamento das imagens CCD/CBERS-2 e a Equação Universal de Perdas de Solo (EUPS), possibilitando a geração de subsídios para a estimativa de perdas de solo no município de Conchal – SP.

A utilização de um modelo não linear para a análise de regressão, representado pelo modelo quadrático, obteve um melhor ajuste aos dados devido ao comportamento curvilíneo do crescimento vegetal.

A resolução espacial de 20 metros das imagens CCD/CBERS-2 proporciona um direcionamento da metodologia empregada para estudos que demandam um maior nível de detalhamento, e sua resolução temporal foi satisfatória para a observação das mudanças sazonais do comportamento da vegetação.

Portanto, a metodologia proposta mostrou que a EUPS pode ser adotada de forma rápida e de baixo custo, sem perder sua confiabilidade.

Referências

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

BERNARDES, S. **Índices de vegetação e valores de proporção na caracterização de floresta tropical primária e estágios sucessionais na área de influência da Floresta Nacional do Tapajós - Estado do Pará**. 1996. 86 p. (Dissertação de Mestrado em Sensoriamento Remoto) - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos.

CRÓSTA, A.P. **Processamento digital de imagens de sensoriamento remoto**. Campinas: IG/UNICAMP, 1992, p. 97-102.

NOVO, E.M.L.M. **Sensoriamento remoto – princípios e aplicações**. São Paulo, Edgard Blücher, 1992, 2ª ed. p.189-191 e 287-292.

ROMEIRO, A.R. **Diagnóstico ambiental da agricultura no estado de São Paulo bases para um desenvolvimento rural sustentável**, UNICAMP. Projeto FAPESP no.02/06685-0, 2004.

WISHMEIER, W.H.; SMITH, D.D. **Predicting rainfall erosion losses: a guide planning**. Washington, D.C., USDA, 1978. 58p. (Handbook, 537).

Agradecimentos: A FAPESP pelo financiamento do projeto temático (02/06685-0)