



Avaliação da cobertura vegetal pelo índice de vegetação por diferença normalizada (IVDN)

doi: 10.4136/ambi-agua.959

**Gabriela Camargos Lima^{*1}; Marx Leandro Naves Silva¹; Nilton Curi¹;
Mayesse Aparecida da Silva¹; Anna Hoffmann Oliveira¹; Junior Cesar Avanzi²
Marta Eichemberger Ummus²**

¹Universidade Federal de Lavras – Lavras, MG, Brasil

²EMBRAPA - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária – Palmas, TO, Brasil

*Autor correspondente: e-mail: gabslima@yahoo.com.br,
marx@dcs.ufla.br, niltcuri@dcs.ufla.br, mayesse@gmail.com,
anna.ufla@gmail.com, junior.avanzi@embrapa.br,
marta.ummus@embrapa.br

RESUMO

A perda de solo por erosão hídrica é a principal causa da degradação do solo no Brasil. No entanto, a erosão pode ser reduzida pela presença da vegetação. O cálculo do Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (IVDN) permite avaliar o vigor vegetativo de culturas ou vegetação natural o que facilita a identificação de áreas com cobertura vegetal. Esta informação é muito importante para identificar o fenômeno que pode estar ocorrendo em uma determinada área, especialmente aqueles relacionados à degradação do solo por erosão hídrica. Assim, o objetivo deste trabalho foi avaliar o índice de cobertura vegetal por IVDN e verificar a precisão utilizando o Índice de Cobertura (IC) de Stocking, na sub-bacia das Posses, a qual pertence ao Sistema Cantareira, localizada no município de Extrema, Minas Gerais, Brasil. Para tanto, utilizou-se as imagens Landsat-5 TM. A sub-bacia das Posses mostrou-se alterada quando comparada com a área de entorno. A técnica do IVDN mostrou-se com boa acurácia para identificar os usos que ocorrem na sub-bacia das Posses, sendo validados pela metodologia de Stocking. O mapeamento pelo IVDN permitiu localizar na sub-bacia a distribuição geográfica dos diferentes usos do solo e identificar as áreas críticas em relação à cobertura vegetal, e, assim planejar esforços para recuperação e proteção do solo nas áreas desnudas e com pastagem degradada, visando diminuição dos passivos ambientais. O IC não ultrapassou 40% para a maioria dos usos que ocorrem na sub-bacia (91%), excetuando as áreas de vegetação arbórea.

Palavras-chave: IVDN, Planejamento agrícola, Stocking, sub-bacia das Posses, Extrema, MG.

Evaluation of vegetation cover using the normalized difference vegetation index (NDVI)

ABSTRACT

Soil loss by water erosion is the main cause of soil degradation in Brazil. However, erosion can be reduced by the presence of vegetation. The Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) makes it possible to identify the vegetative vigor of crops or natural vegetation which facilitates the identification of areas with vegetation covers. This information is very important in identifying the phenomena which might be occurring in a particular area, especially those related to soil degradation by water erosion. Thus, the aim of this work was

to assess the canopy cover by using NDVI, checking the image accuracy using the Coverage Index (CI) based on the Stocking method, in the Sub-basin of Posses, which belongs to the Cantareira System, located in the Extrema municipality, Minas Gerais, Brazil. Landsat-5 TM images were used. The sub-basin of Posses was very altered in comparison to the surrounding areas. The NDVI technique proved to be a suitable tool to assess the uses that occur in the sub-basin of Posses, as validated by the Stocking methodology. The map derived from NDVI allowed the geographic distribution of different land uses to be observed and allowed for the identification of critical areas in relation to vegetation cover as well. This finding can be used to optimize efforts to recover and protect soil in areas with bare soil and degraded pasture, in order to reduce environmental degradation. The CI has not exceeded 40% for land use classes that occur in the majority of the sub-basin (91%), except in areas of woody vegetation.

Keywords: NDVI, Agriculture planning, Stocking, Posses sub-basin, Extrema, MG.

1. INTRODUÇÃO

A principal causa de degradação do solo nas condições brasileiras, associada principalmente ao manejo incorreto e ausência de práticas conservacionistas, é a erosão hídrica (Bertoni e Lombardi Neto, 1999; Ferreira et al., 2011). A exposição da superfície do solo pela redução da cobertura vegetal é o fator desencadeante do processo erosivo. As perdas de solo decorrentes podem ocasionar prejuízos ao ambiente e ao setor agrícola, pois resultam no depauperamento dos solos, poluição e assoreamento dos cursos d'água (Bertoni e Lombardi Neto, 1999).

Apesar de constituir um fator passivo de proteção do solo, a vegetação possui grande participação na redução da erosão hídrica (Cardoso et al., 2012). A cobertura vegetal auxilia na redução da erosão hídrica interceptando as gotas de chuva que impactariam diretamente a superfície do solo. Como consequência há uma diminuição na energia cinética da chuva causada pelo impacto da gota de chuva, na desestruturação, no selamento superficial do solo e na velocidade da enxurrada, aumentando a infiltração de água no solo. Estudos realizados em áreas florestadas com eucalipto têm mostrado, por exemplo, que a ausência de cobertura vegetal nos primeiros anos após instalação das florestas tem gerado maiores perdas de água e de solo sendo que estas perdas são reduzidas após o fechamento das copas (Silva et al., 2011). Cardoso et al. (2012) avaliaram o uso do feijão de porco, crotalária júncea e milheto como plantas de cobertura, cultivadas em dois espaçamentos visando a proteção do solo. Neste estudo, os autores verificaram que diferentes espécies proporcionaram proteção ao solo distinta, e, portanto, perdas de solo por erosão hídrica. Assim, mudanças na cobertura vegetal afeta diretamente a taxa de escoamento superficial (Santos et al., 2000) e conseqüentemente o assoreamento de mananciais. Neste sentido, a adoção de um manejo que vise a redução da erosão hídrica em sub-bacias hidrográficas deve considerar a importância da cobertura vegetal no ciclo hidrológico.

Os índices de vegetação gerados a partir de dados oriundos de sensores remotos constituem uma importante ferramenta para o monitoramento de alterações naturais ou antrópicas no uso e na cobertura da terra. Estes índices têm sido usados na estimativa de diversos parâmetros da vegetação como, por exemplo, o índice de área foliar (Holben et al., 1980; Baret e Guyot, 1991) e a quantidade de biomassa verde (Tucker, 1979), bem como na avaliação do uso e manejo do solo e da recuperação de áreas degradadas, estabelecendo práticas conservacionistas adequadas para cada ambiente (Rizzi e Fonseca, 2001; Okin, 2007).

O índice de vegetação por diferença normalizada (IVDN) permite avaliar o vigor vegetativo dos estágios sucessionais de determinada vegetação ou cultura, bem como

identificar e diferenciar áreas com algum tipo de vegetação e áreas sem cobertura vegetal. De acordo com Epiphany et al. (1996), os índices de vegetação realçam o comportamento espectral da vegetação e se correlacionam com o vigor da vegetação verde, porcentagem de cobertura do solo, atividade fotossintética e produtividade. Assim, as assinaturas espectrais permitem distinguir a vegetação nativa das áreas com uso agropecuário (Wardlow et al., 2007), o que facilita o planejamento e direcionamento das políticas públicas e privadas relacionadas ao manejo e conservação do solo e da água.

Segundo Oliveira et al. (2012), o IVDN foi eficiente em avaliar as variações de densidade das diferentes coberturas vegetais presentes na área avaliada, a região estudada foi caracterizada por grande parte de sua área ocupada por pastagens degradadas, possuindo menor IVDN o que compromete o acúmulo de matéria orgânica (MO) no solo e conseqüentemente, a preservação e conservação destes ambientes.

Dada a importância da cobertura vegetal para a conservação do solo e da água, objetivou-se com esse trabalho a determinação e quantificação das classes de vegetação na sub-bacia das Posses, Extrema – MG, utilizando o índice de vegetação por diferença normalizada e a verificação da acurácia da imagem obtida utilizando a metodologia de Stocking.

2. MATERIAL E MÉTODOS

A área de estudo possui 1.200 ha e compreende a sub-bacia das Posses, localizada no município de Extrema, ao sul do Estado de Minas (figura 1). Esta sub-bacia está inserida na Bacia do Rio Jaguari, um dos rios que abastece o Reservatório do Sistema Cantareira no estado de São Paulo. Situa-se entre as coordenadas UTM 374.500 e 371.500 E (longitude oeste) e 7.468.200 e 7.474.800 N (latitude sul) (Datum SAD 69, Zona 23 S) e entre as altitudes de 1.144 e 1.739 m. O clima na sub-bacia das Posses é do tipo Cwb, conforme classificação de Köppen, caracterizado como mesotérmico de verões brandos e suaves e estiagem de inverno. A temperatura média anual é de 18°C, tendo no mês mais quente e no mês mais frio temperaturas médias de 25,6 e 13,1°C, respectivamente, com ocorrência anual de geadas e precipitação média anual de 1.477 mm (Agência Nacional de Águas, 2008). Os solos ocorrentes na sub-bacia das Posses são Argissolo Vermelho Amarelo, Cambissolo Háplico, Cambissolo Húmico, Neossolo Litólico e Neossolo Flúvico e o relevo corresponde principalmente às classes de relevo ondulado e forte ondulado (Silva et al., 2013).

Para o cálculo do IVDN da sub-bacia de Posses, foi utilizada a cena 216/076 obtida através do satélite LANDSAT, sensor Thematic Mapper (TM), do dia 5 de agosto de 2009, disponibilizadas gratuitamente pelo site da Divisão de Geração de Imagens (DGI) do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (Instituto de Pesquisas Espaciais, 2009).

O pré-processamento da imagem foi realizado através de seu registro com base nos mosaicos das imagens *GeoCover* disponibilizados pela *National Aeronautics and Space Administration* (NASA). Para a correção geométrica foram utilizados pontos de controle coletados *in situ*, a saber: três pontos na classe sem cobertura vegetal, cinco pontos na classe pastagem degradada, oito pontos na classe de pastagem não degradada, quatro pontos na floresta de eucalipto e seis pontos na floresta nativa. Foram admitidos erros abaixo de um pixel.

Ainda na etapa de pré-processamento, realizou-se a correção atmosférica da cena para atenuar a influência dos constituintes atmosféricos, tais como vapor d'água e aerossóis. Para tanto, utilizou-se o pacote X-6Scorr (Montanher e Paulo, 2013), o qual se baseia no método de correção atmosférica 6S, proposto por Vermote et al. (1997).

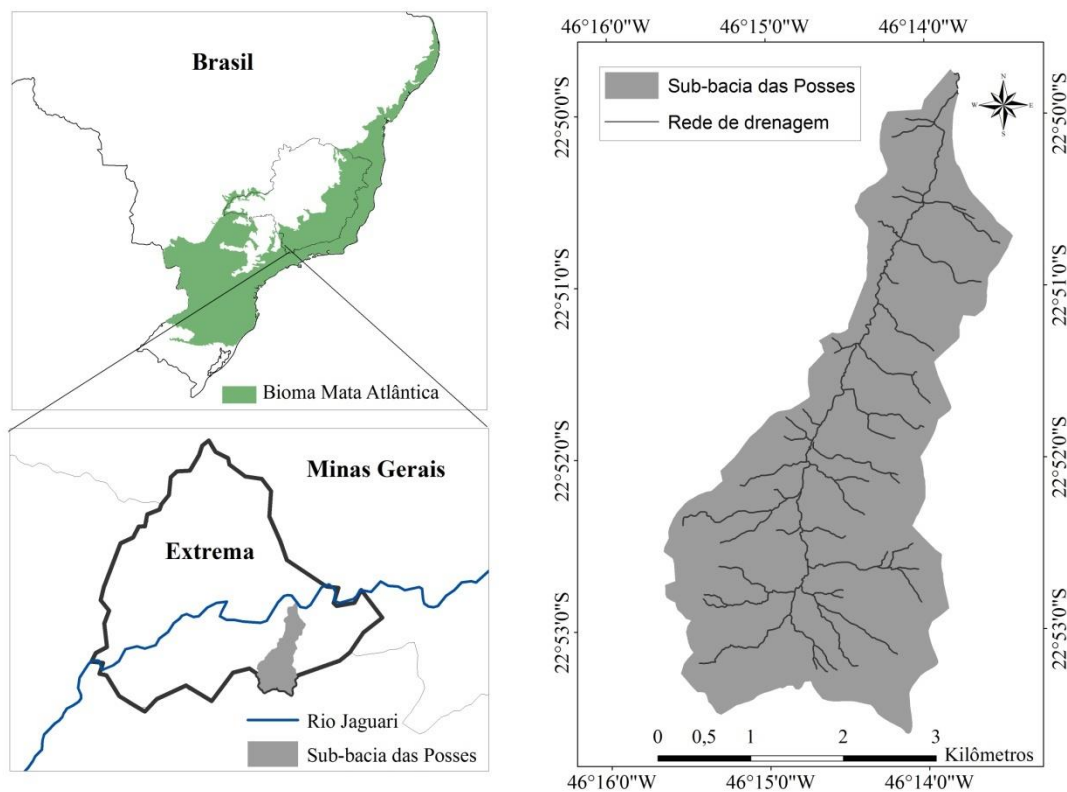


Figura 1. Mapa de localização da sub-bacia das Posses e sua rede de drenagem, Extrema (MG).

O processamento da imagem foi realizado considerando-se as bandas espectrais 3 (Vermelho, faixa de 400 a 700 nm) e 4 (Infravermelho próximo, faixa de 700 a 1300 nm) da imagem Landsat. Admite-se que essas bandas são mais afetadas pela absorção da clorofila na folhagem de vegetação verde. O IVDN foi calculado a partir das bandas, empregando a equação descrita por Asrar et al. (1984):

$$IVDN = \frac{\rho_4 - \rho_3}{\rho_3 + \rho_4}$$

em que:

IVDN = índice de vegetação por diferença normalizada;

ρ_3 = refletância na banda 3 e

ρ_4 = refletância na banda 4

Os valores do IVDN oscilam de -1 a +1, sendo que quanto mais próximo de +1, maior a densidade da cobertura vegetal (Costa et al., 2007). A água possui refletância na banda 3 maior que na banda 4, portanto, apresenta valores negativos, próximos a -1. O solo desnudo, ou com vegetação rala e esparsa, apresenta valores positivos, mas não próximos à +1. Nesta situação, ocorre absorção da radiação na faixa do infravermelho próximo, justificando o baixo valor de IVDN nessas áreas (Poeking et al., 2007).

Através de medidas radiométricas obtidas em campo, Franco e Rosa (2004) diferenciaram as pastagens degradadas em três diferentes níveis de degradação, sendo que os resultados de IVDN variaram entre 0,46 (alto nível de degradação), 0,63 (nível médio de

degradação) e 0,52 (baixo nível de degradação). De acordo com Eduardo e Silva (2013), o IVDN após a correção atmosférica em imagens Landsat assumiu valores médios de 0,82 para vegetações de grande porte, 0,52 para pastagens e 0,05 ou menos para áreas sem cobertura vegetal.

Dessa forma, considerando a capacidade do IVDN de apontar as diferenças na intensidade de reflectância de diferentes alvos, principalmente de vegetação, e com base nas informações obtidas em campo, foi possível assumir para a presente pesquisa os seguintes valores: locais sem cobertura vegetal (-0,87 a 0,45); pastagem degradada (0,46 a 0,55), pastagem não degradada (0,56 a 0,75) e locais com vegetação arbórea (0,76 a 1).

Para verificar a acuraria do mapeamento da cobertura vegetal pelo IVDN e validar os resultados, foi realizada uma avaliação direta em campo utilizando-se a metodologia proposta por Stocking (1988). Para esta validação foram selecionados 63 pontos aleatoriamente na sub-bacia. Estes pontos contemplaram os principais usos do solo que ocorrem na sub-bacia (vegetação arbórea, solo exposto e pastagens).

A metodologia de Stocking consiste em um aparato horizontal (figura 2a) de 2,0 m de comprimento e 1,5 m de altura do solo. Na parte horizontal do equipamento de campo há 19 orifícios de 9 mm de diâmetro, espaçados 10 cm entre si. Por estes orifícios o operador realiza visadas de cima para baixo (figura 2b). De acordo com a visualização do operador, da cobertura presente, pelos orifícios do equipamento registra-se o valor da cobertura vegetal. Convencionou-se a contagem de 0 para visadas que correspondessem a solo desnudo ou com restos de vegetação, o valor 0,5 quando a visada foi parcialmente formada por vegetação e o valor de 1,0 quando se visualizou a própria vegetação (Stocking, 1988). Levando-se em consideração que a classe arbórea ultrapassa a altura da régua do aparato utilizada para avaliação, foi colocado um dispositivo espelhado na parte inferior dos orifícios, de maneira a permitir a visualização de baixo para cima, conforme descrito em Stocking (1988). Nestes casos, registrou-se o valor 0 quando se visualizou o céu pelo espelho, o valor 0,5 quando a visada foi parcialmente formada por vegetação aérea e o valor de 1,0 quando se visualizou somente a vegetação. Após a realização das visadas em campo, determinou-se o índice de cobertura vegetal em cada ponto por meio da seguinte equação:

$$IC(\%) = \frac{\text{número de visões}}{\text{total de visões}} \times 100$$

em que:

$IC(\%)$ = índice de cobertura do solo em porcentagem.

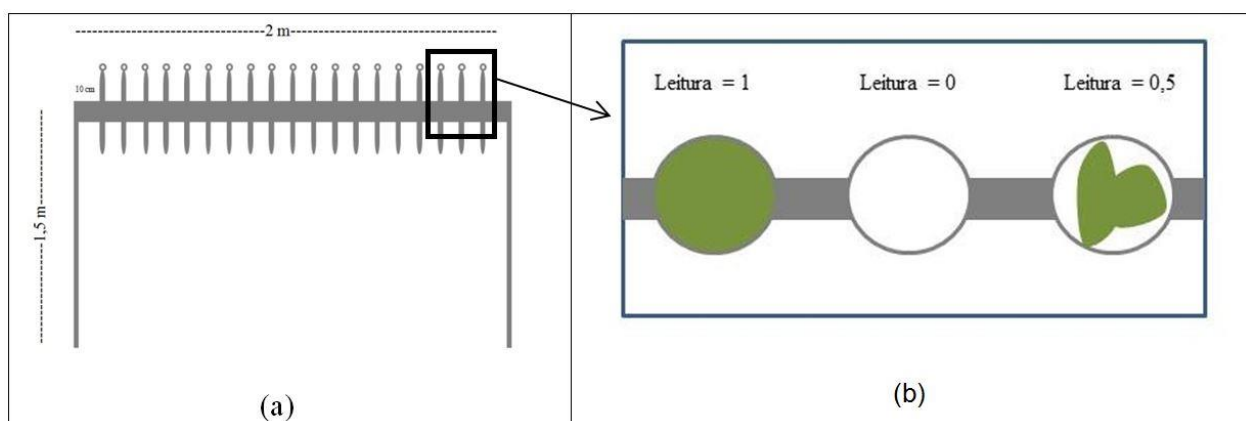


Figura 2. Demonstração do aparato vista frontal (a) e visualização de cima (b) para avaliação do índice de cobertura vegetal conforme Stocking (1988).

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados do IVDN mostraram que 9% da sub-bacia de Posses é ocupada por vegetação arbórea (mata nativa e silvicultura), enquanto que 27% de seu entorno é ocupado pela mesma classe, conforme pode ser observado na Tabela 1 e Figura 3. Apesar da área do entorno não apresentar grande área ocupada com vegetação arbórea, esse resultado mostra que a vegetação nativa da sub-bacia das Posses encontra-se bastante alterada quando comparada com a paisagem do entorno, indicando que o uso do solo na sub-bacia tem reduzido a cobertura vegetal natural. Isso é comprovado pela alta porcentagem de área da sub-bacia ocupada por pastagens degradadas ou não degradadas (cerca de 88%), as quais são representadas principalmente pela pecuária de baixo nível tecnológico, em associação aos declives acentuados dominantes (relevo ondulado e forte ondulado), favorecendo a redução da cobertura vegetal proporcionada pela pastagem.

Tabela 1. Distribuição das classes de cobertura do solo obtidas pelo IVDN na sub-bacia das Posses, Extrema (MG) e na área de entorno obtido pela imagem do satélite Landsat para o dia 5 de agosto de 2009.

| Classe de cobertura do solo | Sub-bacia das Posses | | Área de entorno | |
|-----------------------------|----------------------|--------------|-----------------|--------------|
| | ha | % | ha | % |
| Sem cobertura vegetal | 33 | 2,7 | 228 | 4,0 |
| Pastagem degradada | 321 | 26,8 | 985 | 17,4 |
| Pastagem não degradada | 738 | 61,5 | 2.897 | 51,2 |
| Vegetação arbórea | 108 | 9,0 | 1.551 | 27,4 |
| Total | 1.200 | 100,0 | 5.661 | 100,0 |

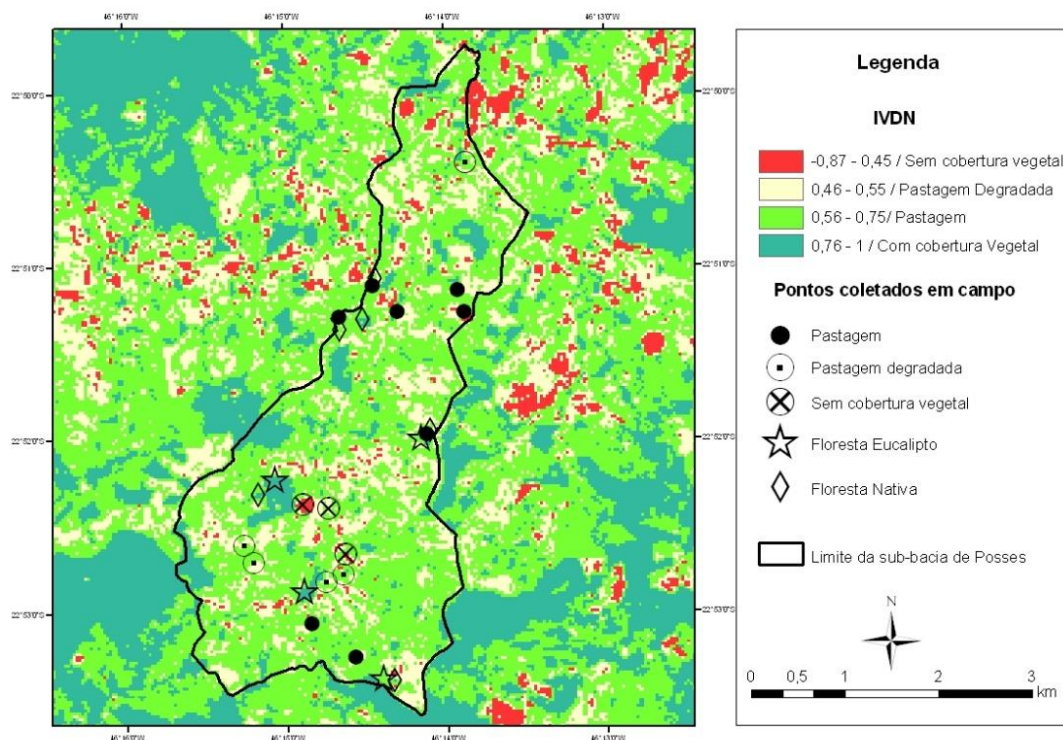


Figura 3. Mapa de cobertura do solo da sub-bacia das Posses, Extrema (MG), pontos de coleta de dados e da área de entorno.

Na sub-bacia das Posses as áreas ocupadas por pastagens degradadas e áreas sem vegetação ocupam 29,5% da sub-bacia (Tabela 1; Figura 3), caracterizando-se como áreas críticas em relação à degradação, pois a ausência de vegetação pode aumentar os riscos de erosão na área, reduzir a capacidade de infiltração de água no solo, por conseguinte, redução da capacidade do solo em promover a recarga de água nos aquíferos. As perdas de solo ainda pode causar assoreamento dos mananciais, estes são essenciais ao bom funcionamento do Sistema Cantareira. A área de entorno, apesar de haver mais áreas desnudas, a porcentagem de uso do solo com pastagem degradadas é bem inferior ao encontrado na sub-bacia de estudo.

Os dados obtidos diretamente em campo confirmam a situação da cobertura vegetal na sub-bacia das Posses obtida por IVDN. Os valores dos índices de cobertura, em porcentagem, para cada classe de vegetação apresentaram a seguinte variação: i) solo sem cobertura vegetal, IC de 0 à 5; ii) solo com pastagem degradada, IC de 18 à 26; iii) solo com pastagem não degradada, IC de 34 a 39 e; solo com cobertura arbórea, IC de 92 à 100. Na Tabela 2 são apresentados os resultados das classes de vegetação em cada ponto de observação no campo, pela metodologia de Stocking, e sua respectiva classe de vegetação identificado pelo IVDN.

Tabela 2. Classes de vegetação em cada faixa do índice de cobertura de Stocking e do valor de IVDN.

| Stocking | | | | IVDN | | | |
|-------------|---------------|-------------------|-------------------|-------------|---------------|-------------------|-------------------|
| Sem cobert. | Past. degrad. | Past. não degrad. | Cobertura arbórea | Sem cobert. | Past. degrad. | Past. não degrad. | Cobertura arbórea |
| | | 33 | | | 2 | 31 | |
| | 3 | | | 1 | 2 | | |
| | | | 21 | | | | 21 |
| 6 | | | | 4 | 2 | | |

Pela Tabela 2 pode-se verifica a acurácia do IVDN com os pontos de checagem no campo, pelo método de Stocking. Desta maneira observa-se que todos os pontos identificados no campo como vegetação arbórea caíram dentro da área com os IVDN's para esta cobertura. Para os demais usos do solo, esta acurácia foi de 94% para a cobertura com o uso identificado como pastagem não degradada e de 67% para os usos pastagem degradada e sem cobertura do solo. Considerando todos os usos, o percentual de acerto foi de 92%.

Em relação aos pontos cobertos por vegetação arbórea verificou-se que esta cobertura apresenta elevados valores do IC, conforme descrito anteriormente, o que mostra que estas áreas oferecem uma adequada proteção ao solo. Porém a sub-bacia das Posses, de modo geral, pode ser caracterizada como bastante degradada, pois dos 63 pontos de checagem no campo, 67% destes locais encontram-se com índices de cobertura do solo inferior a 40%. Em termos de área pode-se verificar que estes usos, com baixo valor de IC, ocupam 91% da área da sub-bacia (Tabela 1).

Estudos de erosão conduzidos em diferentes classes de solo sob vegetação de Mata Atlântica mostraram valores de perdas de solo na ordem de 0,06 Mg ha⁻¹ ano⁻¹. Já em solo descoberto o valor médio das perdas de solo foram de 9,48 Mg ha⁻¹ ano⁻¹ (Martins et al., 2010). Estes resultados reforça a importância da cobertura vegetal na proteção do solo e no controle da erosão hídrica. Assim, a recuperação das pastagens presentes na sub-bacia das Posses deverá aumentar a cobertura vegetal do solo e reduzir consideravelmente as perdas de solo e água nesta região, ocasionando aumento da infiltração de água no solo e posterior recarga. Além disso, as áreas com pastagens degradadas presentes na sub-bacia das Posses são

passíveis de recuperação, sem a necessidade de renovação do pasto, pois a distância entre as plantas das espécies forrageiras é inferior a 2 m (Oliveira e Corsi, 2005).

Pastagens degradadas apresentam rarefação da cobertura do solo, o que pode ser um dos fatores mais graves no tocante ao impacto ambiental. Conforme Bonato et al. (2007), as perdas de solos e nutrientes, associadas a menor capacidade de produção de biomassa condicionam o assoreamento dos mananciais e cursos d'água, dificultando as pastagens degradadas de manter a conservação do solo e da água. Machado e Vettorazzi (2003) relatam a forte relação entre o uso do solo e a erosão e produção de sedimento, notadamente para uso com pastagens.

Do ponto de vista ambiental, a recuperação de pastagens é muito interessante, porque, entre outras razões, evita o desmatamento de novas áreas para a formação de pastagens, melhora a conservação do solo, recompõe a fertilidade do solo, aumenta a cobertura do solo, preserva a matéria orgânica do sistema e aumenta a retenção de água, sendo que estes fatores são consonantes com a busca da sustentabilidade do ambiente, ou seja, a recuperação da infraestrutura ambiental mínima para que funções ecológicas possam ser reativadas (Oliveira e Corsi, 2005).

A área da sub-bacia com solos descoberto foi observado nas classes de solo Argissolo Vermelho Amarelo e Cambissolo Háptico (Tabela 3). Estes solos estão localizados em relevos caracterizados como ondulados a forte ondulados. A ocorrência de áreas de pastagens degradadas também seguiu a mesma tendência, incluindo áreas de solo mais frágeis, como os Neossolos. A ausência de cobertura vegetal e de pastagens degradadas impacta o ambiente de maneira que a chuva não é interceptada antes de atingir o solo tendo assim uma maior desagregação das partículas de solo e, devido ao relevo, a enxurrada atinge velocidade suficiente para carrear estas partículas da superfície do solo. Levando-se em consideração a velocidade e força com que a água da chuva pode chegar em um solo tendo pouca ou nenhuma cobertura vegetal, o escoamento superficial nas pastagens degradadas sob Argissolo Vermelho Amarelo e Cambissolo Háptico é mais favorecido em relação à infiltração de água no solo. Ressalta-se que áreas de Cambissolo são mais propensas ao selamento superficial, reduzindo sobremaneira as taxas de infiltração de água no solo (Silva et al., 2005). A utilização destas ferramentas facilita na tomada de decisão por parte dos produtores e agências regulatórias em relação à prioridade de implantação de práticas de conservação e de recuperação do solo.

Tabela 3: Número de observações em cada classe de solo e em seus respectivos valores de IVDN.

| Classe de solo | IVDN | | | |
|----------------------------|---------------|--------------------|------------------------|-------------------|
| | Sem cobertura | Pastagem degradada | Pastagem não degradada | Vegetação arbórea |
| Argissolo Vermelho Amarelo | 3 | 3 | 9 | 3 |
| Cambissolo Húmico | 0 | 0 | 6 | 12 |
| Cambissolo Háptico | 2 | 1 | 6 | 3 |
| Neossolo Flúvico | 0 | 1 | 2 | 0 |
| Neossolo Litólico | 0 | 1 | 8 | 3 |

Os maiores valores de IVDN foram encontrados em áreas de Cambissolo Húmico, Neossolo Flúvico, Neossolo Litólico, bem como de Argissolo Vermelho Amarelo, indicando as áreas com presença de floresta nativa. Ressalta-se a importância de se preservar estes ambientes nativos, uma vez que estes se encontram, em sua maioria, em solos considerados

frágeis ambientalmente. Os resultados obtidos por IVDN foram confirmados com a avaliação em campo, de acordo com a metodologia de Stocking.

4. CONCLUSÕES

A técnica do IVDN permitiu a identificação dos seguintes usos na sub-bacia das Posses: solo descoberto, pastagem degradada, pastagem não degradada e cobertura arbórea. Estes usos foram confirmados pela metodologia de Stocking.

A classificação da cobertura vegetal com base no IVDN permitiu localizar na sub-bacia a distribuição geográfica dos diferentes usos do solo e identificar as áreas críticas em relação à cobertura vegetal, indicando esforços para recuperação da proteção do solo nas áreas desnudas e com pastagem degradada, visando a diminuição dos passivos ambientais.

O uso do IVDN para identificação de cobertura vegetal foi validado pela metodologia de Stocking, apresentando uma acurácia de 92%.

O índice de cobertura do solo, pela metodologia de Stocking, não ultrapassou 40% para os usos que ocorrem na sub-bacia (91%), excetuando as áreas de vegetação arbórea.

5. AGRADECIMENTOS

À CAPES, FAPEMIG e ao CNPq pela concessão da bolsa aos autores e co-autores deste trabalho, à FAPEMIG (CAG-APQ-01423-11) e ao CNPq (processo: 471522/2012) pelo financiamento de parte do projeto e à Prefeitura Municipal de Extrema, Minas Gerais, na pessoa do secretário de Meio Ambiente, Paulo Henrique Pereira, pelo suporte logístico, e ao funcionário, Benedito Arlindo Cortes, pelo auxílio nos trabalhos de campo.

6. REFERÊNCIAS

- AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS – ANA (Brasil). **Programa produtor de água superintendência de usos múltiplos**. Brasília: Ministério do Meio Ambiente. 2008.
- ASRAR, G.; FUCHS, M.; KANEMASU, E. T.; HATFIELD, J. L. Estimating absorbed photosynthetic radiation and leaf area index from spectral reflectance in wheat. *Agronomy Journal*, Madison, v. 76, n. 2, p. 300-306, 1984.
- BARET, F.; GUYOT, G. Potential and limits of vegetation indices for LAI and APAR assessment. *Remote Sensing of Environment*, Toulouse, v. 35, p. 161-173, 1991. [http://dx.doi.org/10.1016/0034-4257\(91\)90009-U](http://dx.doi.org/10.1016/0034-4257(91)90009-U)
- BERTONI, J.; LOMBARDI NETO, F. **Conservação do Solo**. 4. ed. São Paulo: Ícone, 1999. 355p.
- BONATO, F.; MARTINS, A. K. E.; BARROS, E. K. E. Uso de geotecnologia para a classificação de pastagens em diferentes níveis de degradação da bacia do Ribeirão Matança localizada no Município de Pium - TO. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 13., 2007, Florianópolis. *Anais...* São José dos Campos, INPE, 2007. p. 791-798.
- CARDOSO, D. P.; SILVA, M. L. N.; CARVALHO, G. J.; FREITAS, D. A. F.; AVANZI, J. C. Plantas de Cobertura no Controle das Perdas de Solo, Água e Nutrientes por Erosão Hídrica. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, Campina Grande, v. 16, p. 632-638, 2012. <http://dx.doi.org/10.1590/S1415-43662012000600007>

LIMA, G. C.; SILVA, M. L. N.; CURI, N.; SILVA, M. A.; OLIVEIRA, A. H.; AVANZI, J. C.; UMMUS, M. E. Avaliação da cobertura vegetal pelo índice de vegetação por diferença normalizada (IVDN). *Ambi-Agua*, Taubaté, v. 8, n. 2, p. 204-214, 2013. (<http://dx.doi.org/10.4136/ambi-agua.959>)

COSTA, F. H. S.; FILHO, C. R. S.; RISSO, A. Análise temporal de NDVI e mapas potencias naturais de erosão na região do Vale do Ribeira, São Paulo. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 13., 2007. *Anais...* São José dos Campos: INPE, 2007. p. 3833-3839.

EDUARDO, B. F. S.; SILVA, A. J. F. M. Avaliação da influência da correção atmosférica no cálculo do índice de vegetação NDVI em imagens Landsat 5 e RapidEye. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 16., 2013. *Anais...* São José dos Campos: INPE, 2013. p. 1442-1449.

EPIPHANIO, J. C. N.; GLERIANI, J. M.; FORMAGGIO, A. R.; RUDORFF, B. F. T. Índices de vegetação no sensoriamento remoto da cultura do feijão. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, Brasília, v. 31, n. 6, p. 445-454, 1996.

FERREIRA, V. M.; SILVA, M. L. N.; CURI, N.; OLIVEIRA, A. H.; SILVA, M. A.; AVANZI, J. C. Influência antrópica e atributos de solo: inter-relações em ambientes de voçorocas na mesorregião Campos das Vertentes, MG. *Geografia*, Rio Claro, v. 36, p. 209-219, 2011.

FRANCO, J. B. S.; ROSA, R. Análise da possibilidade de identificar pastagens degradadas utilizando dados radiométricos de campo. *Sociedade & Natureza*, Uberlândia, v. 16, n. 31, p. 37-55, 2004.

HOLBEN, B. N.; TUCKER, C. J.; FAN, C. J. Spectral assessment of soybean leaf area and leaf biomass. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, v. 46, p. 651-656, 1980.

INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS - INPE. **Catálogo de imagens**. Disponível em: <<http://www.dgi.inpe.br/CDSR>>. Acesso em: 26 ago. 2009.

MACHADO, R. E.; VETTORAZZI, C. A. Simulação da produção de sedimentos para a microbacia hidrográfica do Ribeirão Dos Marins (SP). *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Viçosa, v. 27, n. 4, p. 735-741, 2003. <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-06832003000400018>

MARTINS, S. G.; SILVA, M. L. N.; AVANZI, J. C.; CURI, N.; FONSECA, S. Fator cobertura do solo e perdas de solo, água, nutrientes e carbono orgânico em cultivo de eucalipto nos Tabuleiros Costeiros, ES. *Scientia Forestalis*, Piracicaba, v. 38, n. 87, p. 517-526, 2010.

MONTANHER, O. C.; PAULO, M. C. M. X-6SCORR: Conversão semi-automática de ND de imagens orbitais para FRB baseada em metadados XML e código 6s. *Revista Brasileira de Cartografia*, 2013. [Ahead of print].

OKIN, G. S. Relative spectral mixture analysis — a multitemporal index of total vegetation cover. *Remote Sensing of Environment*, Toulouse, v. 106, p. 467-479, 2007. <http://dx.doi.org/10.1016/j.rse.2006.09.018>

OLIVEIRA, A. H.; SILVA, M. A.; SILVA, M. L. N.; AVANZI, J. C.; CURI, N.; LIMA, G. C. Caracterização ambiental e predição dos teores de matéria orgânica do solo na sub-Bacia do Salto, Extrema, MG. *Semina: Ciências Agrárias*, Londrina, v. 33, p. 143-154, 2012. <http://dx.doi.org/10.5433/1679-0359.2012v33n1p143>

LIMA, G. C.; SILVA, M. L. N.; CURI, N.; SILVA, M. A.; OLIVEIRA, A. H.; AVANZI, J. C.; UMMUS, M. E. Avaliação da cobertura vegetal pelo índice de vegetação por diferença normalizada (IVDN). *Ambi-Agua*, Taubaté, v. 8, n. 2, p. 204-214, 2013. (<http://dx.doi.org/10.4136/ambi-agua.959>)

OLIVEIRA, P. P. A.; CORSI, M. **Recuperação de pastagens degradadas para sistemas intensivos de bovinos**. São Carlos: EMBRAPA, 2005. (Circular Técnica 38).

POELKING, E. L.; LAUERMANN, A.; DALMOLIN, R. Imagens CBERS na geração de NDVI no estudo da dinâmica da vegetação em período de estresse hídrico. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 13., 2007, Florianópolis. *Anais...* São José dos Campos: INPE, 2007. p. 4145-4150.

RIZZI, R.; FONSECA, E. L. Análise da variação espacial e temporal do NDVI no Estado do Rio Grande do Sul através de imagens AVHRR. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 10., 2001, Foz do Iguaçu. *Anais...* São José dos Campos: INPE, 2001. p.1735-1737.

SANTOS, C. A. G.; SUZUKI, K.; WATANABE, M.; SRINIVASAN, V. S. Influência do tipo da cobertura vegetal sobre a erosão no semi-árido paraibano. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, Campina Grande, v. 4, n. 1, p. 92-96, 2000. <http://dx.doi.org/10.1590/S1415-43662000000100017>

SILVA, M. A.; FREITAS, D. A. F.; SILVA, M. L. N.; OLIVEIRA, A. H.; LIMA, G. C.; CURI, N. Sistemas de informações geográficas no planejamento de uso do solo. *Agrária* (UFRPE), Pernambuco, v. 9, p. 316-323, 2013.

SILVA, A. M.; SILVA, M. L. N.; CURI, N.; LIMA, J. M.; AVANZI, J. C.; FERREIRA, M. M. Perdas de solo, água, nutrientes e carbono orgânico em Cambissolo e Latossolo sob chuva natural. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, Brasília, v. 40, p. 1223-1230, 2005. <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-204X2005001200010>

SILVA, M. A.; SILVA, M. L. N.; CURI, N.; AVANZI, J. C.; LEITE, F. P. Sistemas de manejo em plantios florestais de eucalipto e perdas de solo e água na região do Vale do Rio Doce, MG. *Ciência Florestal*, Piracicaba, v. 21, n. 4, p. 765-776, 2011.

STOCKING, M. A. Assessing vegetative cover and management effects. In: LAL, R. (Ed.). **Soil erosion research methods**. Ankeny: Soil and Water Conservation Society, 1988. p.163-185.

TUCKER, C. J. Red and photographic infrared linear combinations for monitoring vegetation. *Remote Sensing of Environment*, v. 8, p. 127-150, 1979. [http://dx.doi.org/10.1016/0034-4257\(79\)90013-0](http://dx.doi.org/10.1016/0034-4257(79)90013-0)

VERMOTE, E. F.; TANRE, D.; DEUZE, J. L.; HERMAN, M.; MORCRETTE J. J. Second Simulation of the satellite signal in the solar spectrum, 6S: an overview. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, v. 35, n. 3, p. 675-686, 1997. <http://dx.doi.org/10.1109/36.581987>