

Verificação de mudança da cobertura da terra para quantificação de áreas com solo exposto, um subsídio à análise de sustentabilidade de reservatórios de geração de energia hidrelétrica

Celso de Souza Catelani ¹
Silvio Jorge Coelho Simões ¹
Isabel Cristina de Barros Trannin ¹

¹ Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”
Faculdade de Engenharia de Guaratinguetá – Depto. Engenharia Civil
Av. Ariberto Pereira da Cunha, 333 Pedregulho
Guaratinguetá – SP CEP: 12.516-410
cscatelani@gmail.com
silvio.jorge.simoese@gmail.com
isatrannin@gmail.com

Abstract. Changes in patterns of land use for decades can produce impacts and damages on the environment. Among these impacts, the acceleration of physical processes such as erosion damage, can reduce the productive capacity of hydroelectric reservoirs, water resources and the productive capacity of the soil. The objective of this paper was to quantify the change in land use over 27 years, to check the area of exposed soil, a key element of the process of reducing the generating capacity of hydroelectric reservoirs. The study was conducted with the use of remote sensing, GIS and satellite images LandSat TM5 in dates from 1984 to 2011. The results obtained at this time demonstrates a considerable increase in the exposed soil rates, with a large escalation of this use type, to 26.79% in the investigated period. These rates are high in the Brazilian savannas, and the damages on the environment can be irreversible or very expensive to reverse. However, the land use on the basin indicates a future problems if the users of natural resources do not implement policies to recuperate the environment and to reduce the exposure soil rates for erosion damages.

Palavras-chave: remote sensing, image processing, erosion, reservoir, sensoriamento remoto, processamento de imagens, erosão, reservatórios.

1. Introdução

Dentre as muitas aplicações de sensoriamento remoto, a detecção de mudanças no uso da terra permite um desdobramento ainda maior no entendimento de alterações ligadas principalmente a questões ambientais. Determinadas alterações na cobertura vegetal podem desencadear e ou acelerar processos do meio físico, com consequências ambientais que podem resultar em perdas econômicas e sociais.

Uma das formas de aceleração nos processos do meio físico que produz grandes perdas para a sociedade é a erosão, que carrega literalmente a riqueza da fertilidade e outras propriedades do solo para os cursos d'água, provocando ainda o assoreamento de rios e reservatórios, além de danos ao meio ambiente que podem se tornar irreversíveis ou inviáveis para sua recuperação.

Em especial, a vida útil de reservatórios de geração de energia hidrelétrica é um dos empreendimentos mais afetados pela produção de sedimentos, cuja origem predominante está na aceleração de processos do meio físico.

Nesse sentido, baseando-se em técnicas de sensoriamento remoto para detecção de mudanças no uso da terra, o presente trabalho buscou quantificar a área de solo efetivamente exposto na bacia hidrográfica do Alto Sucuriú, nos anos de 1984 e 2011, utilizando imagens do satélite da série LandSat, sensor TM5, órbita ponto 224-073, como subsídio para posterior determinação do potencial de geração de sedimentos para o reservatório da PCH Costa Rica.

A fase de detecção de mudança objeto desse trabalho faz parte de um projeto de P&D “Reabilitação de voçorocas para a contenção do assoreamento e melhoria do desempenho de reservatórios na produção de energia elétrica”, desenvolvido por meio de convênio firmado entre a FUNDUNESP- Fundação para o Desenvolvimento da UNESP e empresas do Grupo EDP (Energset; Enerpeixe; Lajeado Energia; Invesctico e Pantanal).

Os resultados obtidos demonstram um aumento na área de solo exposto a intempéries da ordem de 26,79%, ao longo de 27 anos de intervalo, o que significa aproximadamente 1% ao ano.

2. Metodologia de Trabalho

2.1 Área de Estudo

A área objeto desse estudo compreende a bacia do Alto Sucuriú, no município de Costa Rica-MS, ao sul da tríplice divisa entre os Estados do Mato Grosso, Mato Grosso do Sul e Goiás, e ao sul do Parque Nacional das Emas, à montante do reservatório da PCH-Costa Rica. A localização geográfica da bacia fica inserida num retângulo limitado pelas coordenadas do canto inferior esquerdo com latitude S 18°37'40" e longitude W 53°16'40", e canto superior direito com latitude S 18°11'08" e longitude W 52°45'15", conforme se observa na Figura 1.

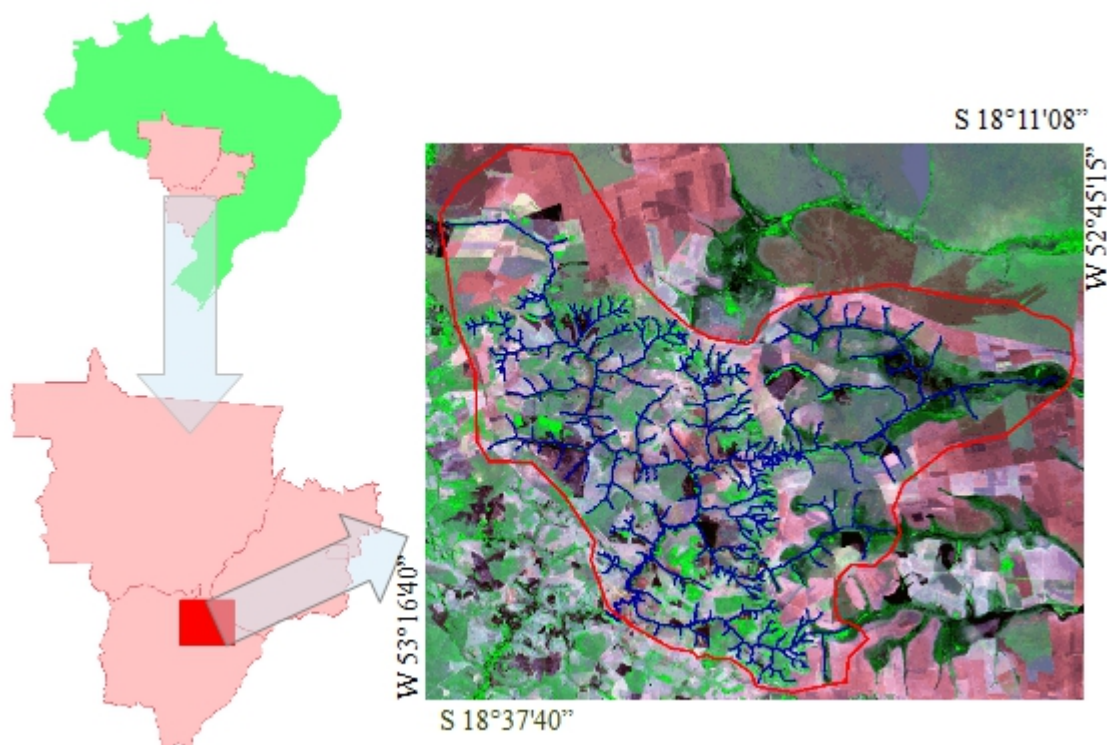


Figura 1. Localização da área de estudo, na imagem do sensor LandSat TM5, o quadrante superior direito apresenta parte do Parque Nacional das Emas.

2.2 Dados e softwares utilizados

Para a elaboração do mapeamento do uso do solo e detecção de mudanças nas datas supra foram utilizados o software Mutispec[®] (BIEHL e LANDGREBE, 1996), e o SIG completo SPRING – Sistema de Processamento de Informações Georreferenciadas (CÂMARA et al. 1996), na versão 5.2, no qual foi criado um banco de dados georreferenciado e um projeto correspondente ao tamanho das cenas de satélite descritas, utilizando-se a projeção UTM referenciada ao Datum WGS84, Fuso 22 e Meridiano Central de 51° W de Greenwich.

As cenas ou imagens do satélite LandSat são recebidas em formato GEOTIFF, e necessitam ser registradas/georreferenciadas para correção geométrica e compatibilização com o Datum do banco de dados georreferenciado. Para a realização do registro da imagem

utilizou-se uma cena georreferenciada LandSat GeoCover (Figura 2), disponível a partir de <http://glcf.umiacs.umd.edu/>, a qual serviu de parâmetro para a obtenção de pontos de controle utilizados no georreferenciamento das cenas a serem classificadas.

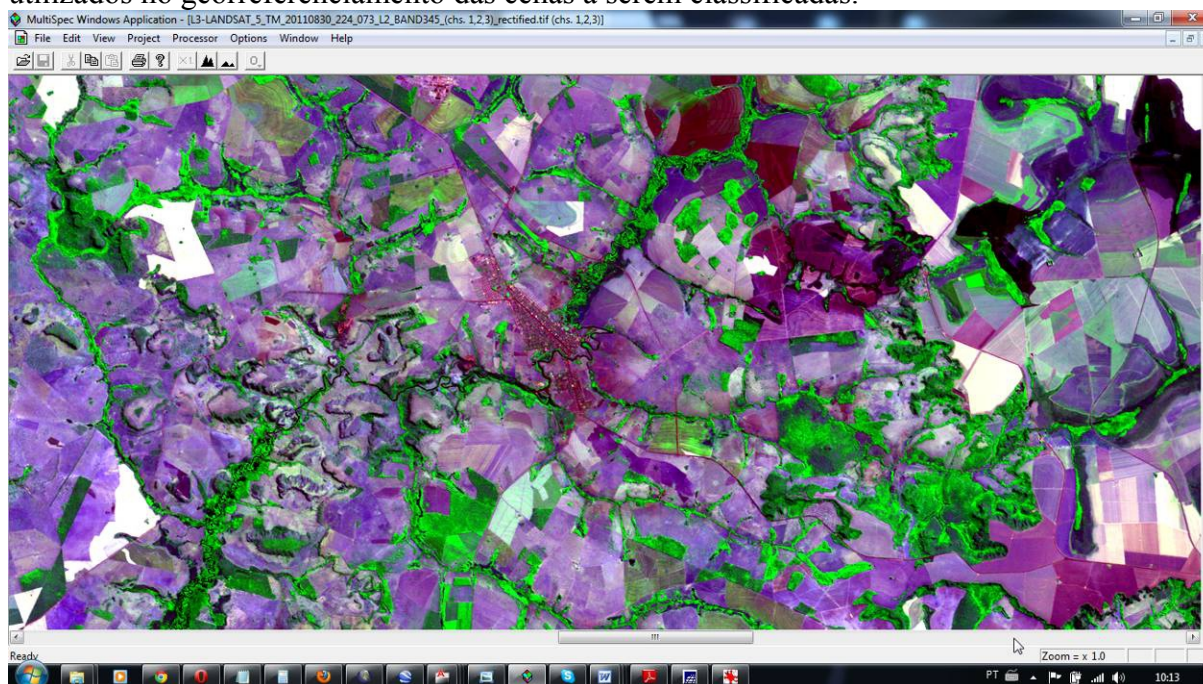


Figura 2. Imagem LandSat GeoCover em composição colorida R3G4B5 utilizada como parâmetro para a correção geométrica das cenas a serem classificadas quanto ao uso do solo, visualizada com MultiSpec[®], ao centro o núcleo urbano do município de Costa Rica, MS .

2.3 Procedimentos Metodológicos

Vários métodos de detecção de mudanças no uso do solo já foram apresentados pela comunidade científica, dentre os quais os métodos de subtração de imagens, razão entre bandas e componentes principais são as mais utilizadas (GRAÇA et al., 2005; SANTOS et al., 2001; ARAGÃO et al., 2001). No entanto, todos eles se enquadram em duas formas principais de abordagem do problema, quer sejam por técnicas de pré-classificação ou de pós-classificação, nesse trabalho foi adotada a segunda.

As imagens recebidas do INPE em formato GEOTIFF são disponibilizadas separadas por faixas radiométricas distintas (Figura 3), e para proceder a correção geométrica em relação ao georreferenciamento das cenas de duas datas distintas, estas necessitam ser agrupadas em imagens com três bandas espectrais, procedimento este que foi realizado pelo uso do software MultiSpec[®].

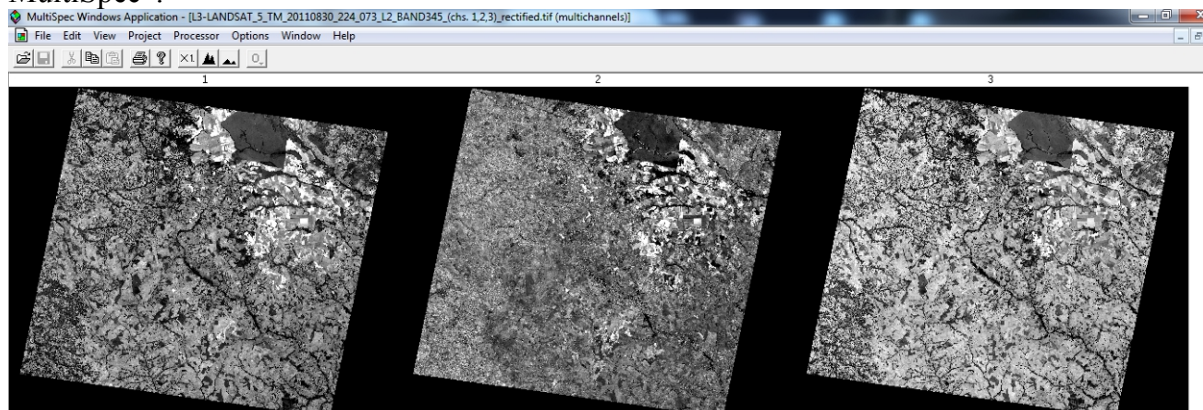


Figura 3. Vista dos canais 3, 4, e 5 da imagem do do LandSat TM5 órbita/ponto 224-073 de 30/08/2011, correspondentes respectivamente as faixas espectrais do Vermelho (RED, no

visível, com o intervalo espectral 0,6 – 0,7 μm), Infra Vermelho Próximo (NIR 0,7-1,2 μm) e Infra Vermelho Médio (SWIR 1,55 – 1,75).

O agrupamento dos canais separados em uma única imagem com três bandas espectrais agiliza o procedimento de correção geométrica e garante o exato posicionamento em relação aos canais, fato que dificilmente se consegue quando os canais são registrados um a um, o resultado do agrupamento dos canais para as duas datas estudadas está apresentado na Figura 4.

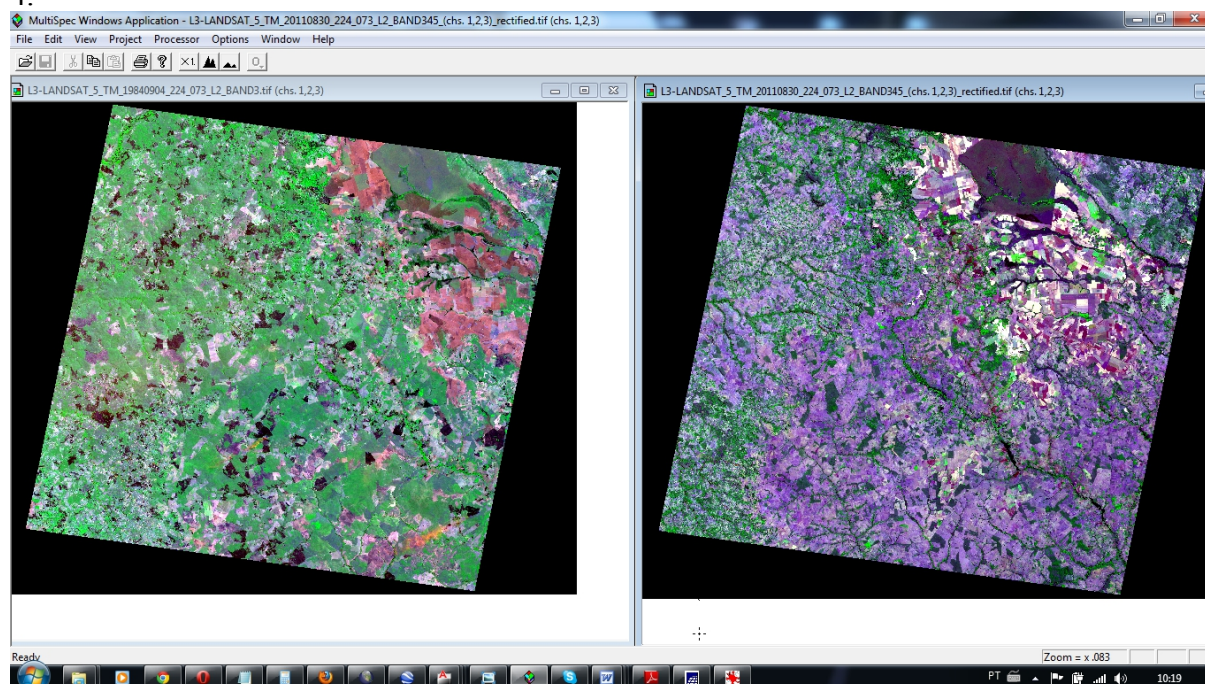


Figura 4. Visualização das imagens agrupadas em composição colorida falsa cor RGB 345, na esquerda a imagem de 1984, à direita a imagem de 2011.

A classificação das imagens para obtenção do mapa de uso do solo foi conduzida no sentido de se verificar mudanças significativas nos padrões de uso com relação direta ao fenômeno objeto do projeto de P&D, que são os processos erosivos, considerando-se então o período mais seco do ano, quando as formações perenes ficam evidenciadas na paisagem, ressaltando a porção de solo que fica exposto aos processos de intemperismo, assim foram mapeadas as grandes classes de uso do solo, a saber:

- Solo exposto – Solo desprovido de cobertura vegetal ou com resposta espectral cuja presença de solo é superior as demais identidades dos alvos, como áreas urbanizadas, por exemplo;
- Floresta – Fisionomias florestais perenes com dossel em grau de cobertura com folhas verdes em fechamento cuja resposta espectral produzida por processos fotossintéticos supera as demais identidades dos alvos;
- Água/queimadas – Corpos d'água e áreas de queimadas produzem respostas espectrais semelhantes, todavia de pequena participação em área quadrática;
- Campo/vegetação rasteira – Feições cuja resposta espectral corresponde a mistura com presença de culturas e cobertura vegetal com resposta de solo.

Definidas as classes de uso do solo a serem classificadas, e com as imagens já inseridas e georreferenciadas no banco de dados, foi então realizado o procedimento de mapeamento do uso do solo.

O algoritmo classificador do uso do solo escolhido para o procedimento foi o MAXVER, que vem do método estatístico de Máxima Verossimilhança, e é o método de classificação

"pixel a pixel" mais comum. Considera a ponderação das distâncias entre médias dos níveis digitais das classes, utilizando parâmetros estatísticos.

Os conjuntos de treinamento definem o diagrama de dispersão das classes e suas distribuições de probabilidade, considerando a distribuição de probabilidade normal para cada classe do treinamento.

Os índices de exatidão obtidos para cada uma das classes (Figura 5), situaram-se predominantemente acima de 90%.

matriz_confusao_imagem_1984 - Bloco de notas			matriz_confusao_imagem_2011 - Bloco de notas		
Arquivo	Editar	Formatar	Exibir	Ajuda	
	Exatidão do produtor	Exatidão do usuário		Exatidão do produtor	Exatidão do usuário
solo_exp1	86.35%	58.77%	solo_exp1	82.26%	97.81%
solo_exp2	58.99%	85.04%	solo_exp2	92.69%	86.48%
solo_exp3	92.70%	91.46%	solo_exp3	68.16%	97.49%
solo_exp4	63.91%	87.27%	solo_exp4	94.53%	94.89%
cerrado	98.28%	93.09%	agua_queim	97.38%	95.14%
mata_capoe	72.01%	79.57%	cerrado	99.76%	95.74%
agua_queim	93.33%	95.61%	mata_capoe	78.82%	98.15%
campo_veg_	58.62%	83.86%	campo_veg_	90.81%	91.10%

Figura 5. Captura de tela dos resultados estatísticos de exatidão do mapeamento, à direita os resultados sobre a imagem de 2011, e à esquerda os resultados sobre a imagem de 1984.

3. Resultados e Discussão

Após a verificação dos índices de exatidão procedeu-se a classificação das imagens nas datas supra, obtendo-se então os respectivos mapas de uso do solo, demonstrados nas Figuras 06 e 07, de 1984 e 2011 respectivamente.

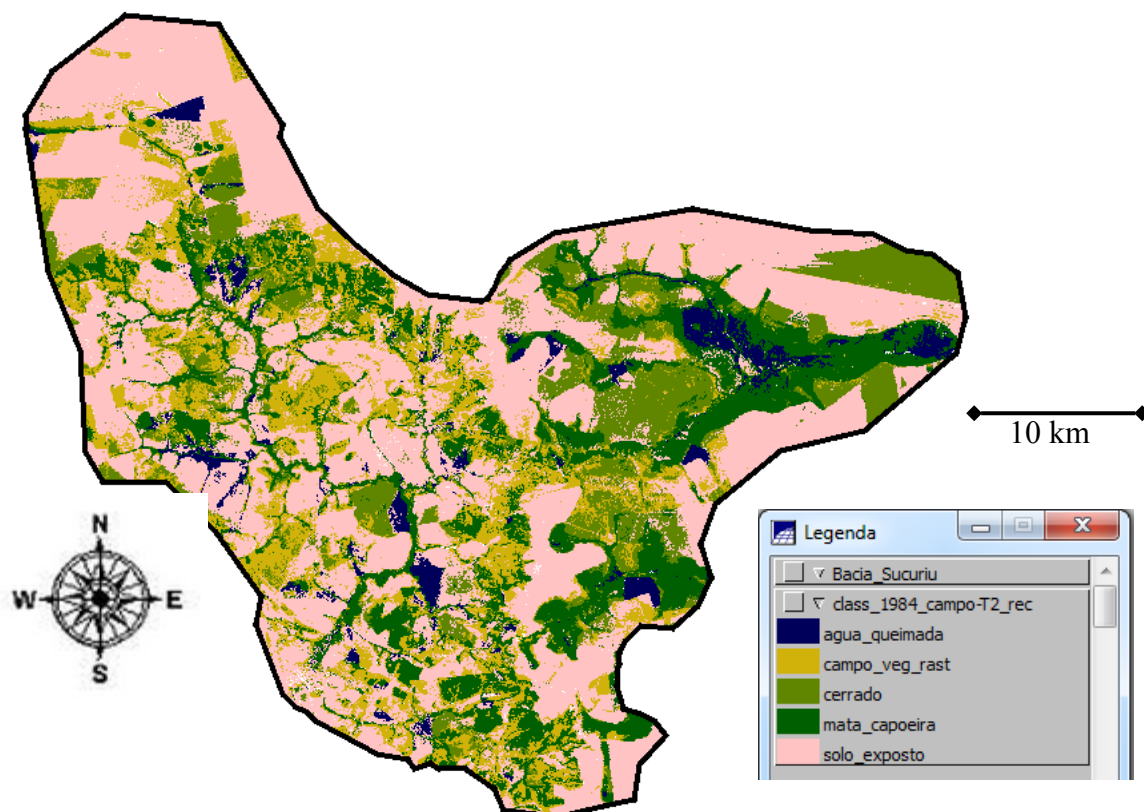


Figura 06. Vista da imagem do uso do solo em 04/09/1984, nota-se que já em 1984 havia forte presença de solo exposto.

Os resultados dos percentuais de áreas de cada classe estão apresentados na Tabela 1.

Tabela 1 – Resultados da classificação do uso do solo na bacia à montante do reservatório da PCH Costa Rica, em 1984, expressos em km² e porcentagem.

Classe de uso 1984	Área km ²	%
Solo exposto	588,31	45,86
Água/queimada	46,43	3,62
Cerrado	198,93	15,51
Floresta	219,4	17,10
Campo/vegetação rasteira	229,75	17,91
Área total das classes	1282,82	100,00

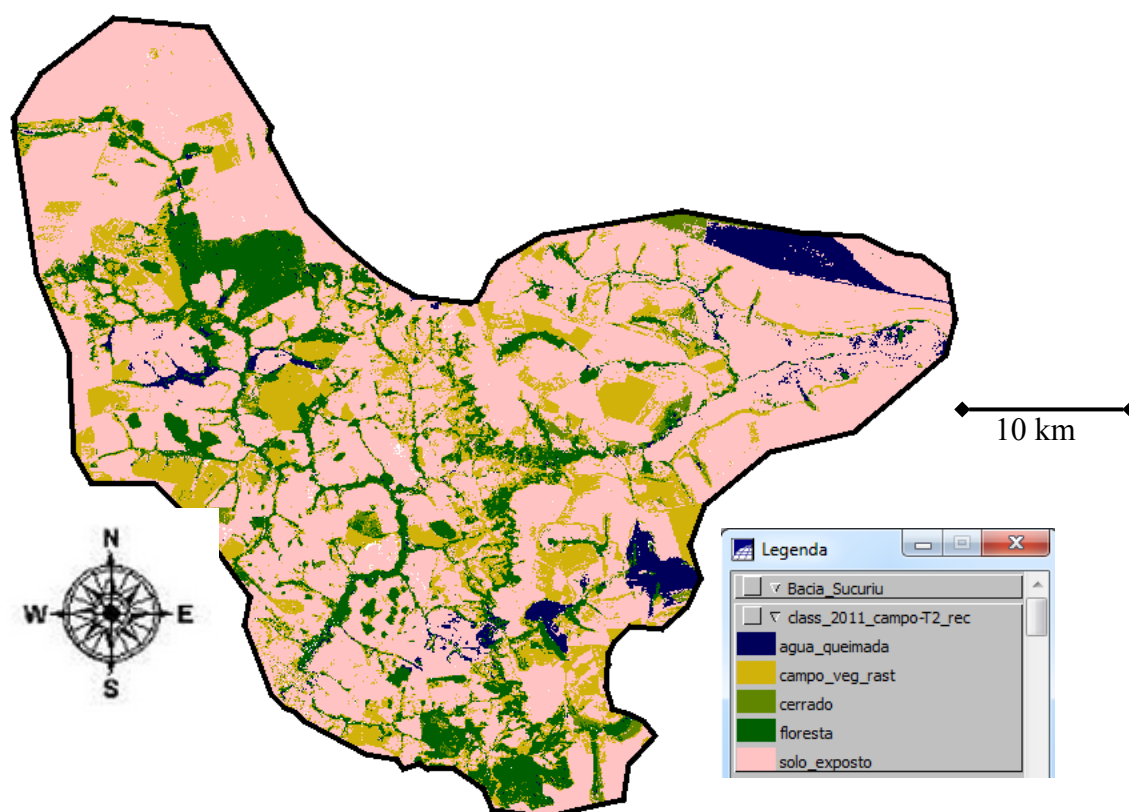


Figura 07. Vista da imagem do uso do solo em 30/08/2011, nota-se novamente uma forte presença de solo exposto.

Os resultados dos percentuais de áreas de cada classe estão apresentados na Tabela 2.

Tabela 2 – Resultados da classificação do uso do solo na bacia à montante do reservatório da PCH Costa Rica, MS em 2011, expressos em km² e porcentagem.

Classe de uso 2011	Área km ²	%
Solo exposto	803,61	62,64
Água/queimada	48,28	3,76
Cerrado	44,45	3,47
Floresta	168,37	13,12
Campo/vegetação rasteira	218,11	17,00
Área total das classes	1282,82	100,00

Para uma melhor compreensão do significado das mudanças nos padrões de uso do solo, foi realizado o procedimento de tabulação cruzada. A operação de tabulação cruzada permite calcular a área das intersecções entre as classes de dois PI's temáticos. A operação é realizada entre PI's no formato matriz.

A tabulação cruzada compara as classes de dois planos de informações (camadas), determinando a distribuição de suas intersecções. Os resultados são apresentados em tabelas de duas dimensões, a Tabela 3 apresenta os resultados da tabulação cruzada dos mapeamentos de uso do solo realizados para as datas supra.

Tabela 3 – Resultados em km² da tabulação cruzada do mapeamento de uso do solo na bacia à montante do barramento da PCH de Costa Rica, MS. Os dados nas linhas representam o mapeamento da imagem de 1984, os dados nas colunas representam o mapeamento da imagem de 2011.

Classe de uso	Solo exposto	Água/queimada	Cerrado	Floresta	Campo/vegetação rasteira
Solo exposto	451,08	15,44	12,46	12,87	94,66
Água/queimada	31,78	1,9	2,46	5,11	5,99
Cerrado	122,95	9,43	9,46	24,7	35,79
Floresta	79,82	19,34	11,62	84,74	25,97
Campo/vegetação rasteira	117,52	1,91	8,29	36,83	60,7

Na Tabela 3, os dados em vermelho representam a redução da cobertura florestal, os dados em verde representam o incremento da classe Floresta, os dados em azul na diagonal representam a não mudança, ou seja, são áreas que permanecem nas mesmas classes em que se encontravam em 1984, os dados em laranja representam a redução do cerrado que em 2011 está ocupado por outras classes de uso do solo, e, os demais dados relacionam-se as respectivas classes nas intersecções de linhas e colunas.

4. Conclusões

Com relação a cobertura da classe Floresta, dos 219,49km² existentes em 1984, 79,82km² (36,03%) foram convertidos para a classe Solo exposto, 25,97km² (11,72%) foram convertidos para a classe Campo/vegetação rasteira e 19,34km² foram convertidos para a classe Água/queimadas.

Nos totais, a classe Floresta sofreu uma redução de 221,49km² para 168,37km², ou seja foi reduzida em 23,98%.

A classe Solo exposto, no sentido inverso, passou de 588,31km² para 803,61km², o que representa um incremento de 26,79%.

Os dados analisados até este ponto demonstram que as alterações nos padrões de uso do solo na área estudada contribuem de certa forma para a formação de processos erosivos, pois um dos principais elementos causadores da erosão é o solo sem a presença de cobertura vegetal, preferencialmente nativa.

No entanto, há que se observar que o incremento da classe solo exposto ao longo de 27 anos de intervalo foi de 26,79%, o que significa aproximadamente 1% ao ano, o que é uma aceleração considerável, e nos leva a questionar o posicionamento das políticas de incentivos à preservação ambiental e de recursos hídricos na região.

Agradecimentos

Agradecemos aos apoiadores deste trabalho, que representa parte de um projeto maior de P&D do Grupo EDP Energias, e em especial a Coordenadoria de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – CAPES pela concessão de bolsa de doutorado.

Referências

Biehl, L. and David Landgrebe, "MultiSpec - A Tool for Multispectral-Hyperspectral Image Data Analysis," **13th Pecora Symposium, Sioux Falls, SD, August 20-22, 1996.**

Aragão, L.E.; Graça, P.M.L.A.; Rivera-Lombardi, R.J.; Krug, T. Utilização de técnicas de classificação digital de imagens Landsat TM-5 na identificação de áreas florestais afetadas pela extração seletiva de madeira: parte baixa do Rio Capim, PA. In: X Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto. Foz do Iguaçu, PR, 21-26 abr, 2001. **Anais...**São José dos Campos: INPE, 2001, p. 1509-1512. [INPE-8244-PRE/4033].

Câmara, G.; Souza, R.C.M.; Freitas, U.M.; Garrido, J. SPRING: Integrating remote sensing and GIS by objectoriented data modeling. **Computers & Graphics**, v.20, n. 3, p. 395-403, 1996.

Graça, P.M.L.A.; Santos, J.R.; Soares, J.V.; Souza, P.E.U. Desenvolvimento metodológico para detecção e mapeamento de áreas florestais sob exploração madeireira: estudo de caso, região norte do Mato Grosso. In: XII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto. Goiânia, GO, 16-21 abr, 2005. **Anais...**São José dos Campos: INPE, 2005, p.1555-1562. [INPE-12649-PRE/7941].

Santos, J.R.; Krug, T.; Araujo, L.S.; Meira Filho, L.G.; Almeida, C.A. Dados multitemporais TM/Landsat aplicados ao estudo da dinâmica de exploração madeireira na Amazônia In: X Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto. Foz do Iguaçu, PR, 21-26 abr, 2001. **Anais...**São José dos Campos: INPE, 2001, p. 1751-1755. [INPE-8219-PRE/4008].