

Uso de Imagens Orbitais no Geoprocessamento Algébrico da Microrregião da Campanha Ocidental, Rio Grande do Sul

Emanuel Araújo Silva¹, Rudiney Soares Pereira¹, Caroline Kist da Silva²,
Laura Camila de Godoy Goergen¹, Mateus Sabadi Schuh²

¹Programa de Pós-graduação em Engenharia Florestal, Universidade Federal de Santa Maria – UFSM, Santa Maria/RS, Brasil

²Departamento de Engenharia Florestal, Universidade Federal de Santa Maria – UFSM, Santa Maria/RS, Brasil

RESUMO

Para analisar a transformação temporal da cobertura e do uso das terras de Campanha Ocidental no Rio Grande do Sul, utilizou-se um mosaico de imagens do satélite LANDSAT 5 (sensor *Thematic Mapper*), que recobre a região de estudo nos períodos de 1985, 1996 e 2011. Essas imagens foram processadas e analisadas no aplicativo SPRING 5.2.1, onde pelo qual o cruzamento dos mapas temáticos, com o auxílio da programação LEGAL (Linguagem Espacial para Geoprocessamento Algébrico), foi realizado. A agricultura e o campo foram as classes que mais influenciaram as mudanças de Uso da Terra.

Palavras-chave: LANDSAT 5, sensoriamento remoto, LEGAL.

Use of Satellite Images in Algebraic Geoprocessing in the Microregion of Campanha Ocidental, Rio Grande do Sul state, Brazil

ABSTRACT

To analyze the temporal transformation of land cover and use in the microregion of Campanha Ocidental, Rio Grande do Sul state, a mosaic of LANDSAT 5 satellite images (*Thematic Mapper* sensor) covering the study region was used for the periods of 1985, 1996 and 2011. These images were processed and analyzed in SPRING 5.2.1 application, and the intersection of thematic maps was conducted with the aid of LEGAL (Spatial Language for Algebraic Geoprocessing) program. Agricultural and native areas were the classes that most influenced the changes in Land Use.

Keywords: LANDSAT 5, remote sensing, LEGAL.

1. INTRODUÇÃO

Alterações do uso e da cobertura do solo por meio do aumento das fronteiras agrícolas e da expansão pecuária vêm se tornando um fator considerável no sudoeste do Rio Grande do Sul, mais precisamente na microrregião da Campanha Ocidental. Um exemplo dessas alterações consiste nas culturas da soja e do arroz, além do sobrepastoreio, como agentes condicionantes da transformação ambiental. Suertegaray (1998) afirma que essa região caracteriza-se por uma paisagem extremamente frágil, a qual está em processo de constituição pedogenética e vegetal recente, com a presença de áreas arenosas.

A expansão da silvicultura, neste contexto, torna-se importante para o desenvolvimento da região, principalmente como uma alternativa viável e interessante na recuperação do cenário, imprescindível na minimização da degradação ambiental. Para isso, devem ser adotados estudos da paisagem e a caracterização da dinâmica do uso e da cobertura do solo.

O sensoriamento remoto é uma das técnicas que possibilitam o estudo e a caracterização da dinâmica do uso e da ocupação da terra. Segundo Santos (2003), sua caracterização em séries temporais, quando bem espacializadas e avaliadas, constitui uma eficiente forma de análise das mudanças. As séries temporais são marcadas por períodos que indicam fortes transições e, com isso, podemos encontrar grau significativo de evolução de uma atividade específica ou característica do meio. Trabalhos que visem ao monitoramento do uso e da cobertura da terra, utilizando-se imagens orbitais, nos remetem à possibilidade de detectarmos tendências de mudanças em âmbitos local, regional e global, além de esta técnica ser econômica e de rápida aquisição de resultados.

Nesse contexto, o presente estudo visa a identificar e analisar a variação temporal no uso e na cobertura do solo na Região da Campanha Ocidental, no Rio Grande do Sul, em três períodos distintos – 1985, 1996 e 2011 – por meio do mapeamento temático, com base em imagens do satélite LANDSAT 5 (sensor *Thematic Mapper*), e utilizando como ferramenta a programação LEGAL (Linguagem Espacial para Geoprocessamento Algebrico).

2. MATERIAL E MÉTODOS

O estudo foi conduzido na Microrregião da Campanha Ocidental, que fica na Mesorregião do Sudoeste Rio-Grandense. A Microrregião fica localizada entre as latitudes 27°56'37" S e 30°33'41" S, e entre as longitudes 54°42'7" W e 57°41'28" W. Abrange os Municípios de Alegrete, Barra do Quaraí, Garruchos, Itaqui, Maçambará, Manoel Viana, Quaraí, São Borja, São Francisco de Assis e Uruguaiana (Figura 1).

O relevo da região é suavemente ondulado, com áreas planas, em decorrência do desgaste geológico, compondo uma superfície aplainada inferior que contrasta com os platôs de arenito silicificado da paisagem regional (Souto, 1984). A geologia é formada principalmente por áreas de arenito Botucatu, que dá uma característica frágil ao solo, caracterizando-se pela presença de gramíneas, com os campos se assemelhando fisionomicamente a estepes (Medeiros et al., 1995).

Foram utilizadas imagens de diferentes períodos do satélite LANDSAT 5, conforme se observa na Tabela 1.

Com a aquisição das imagens, criou-se um banco de dados no Spring 5.2.1, para posteriormente serem processadas e analisadas. As imagens foram adquiridas no formato .tif, que é utilizado no armazenamento de imagens de alta resolução, sendo convertidas no formato .spg no módulo IMPIMA, que é associado ao SPRING.

O georreferenciamento das imagens foi realizado utilizando-se como base uma imagem Geocover ortorretificada do site da NASA, referente ao programa *Global Land Cover Facility*, da Universidade de Maryland (GLCF, 2000). Neste processo, foram escolhidos 20 pontos notáveis bem distribuídos na imagem e alcançaram-se erros médios inferiores a 0,7 pixel.

Após o registro das imagens, foi realizado um mosaico contendo toda a área de estudo. Realizou-se também o realce de contraste linear, para que fosse melhorada a qualidade dos critérios subjetivos ao olho humano.

Posteriormente, as mesmas foram segmentadas por meio do algoritmo “por regiões” com

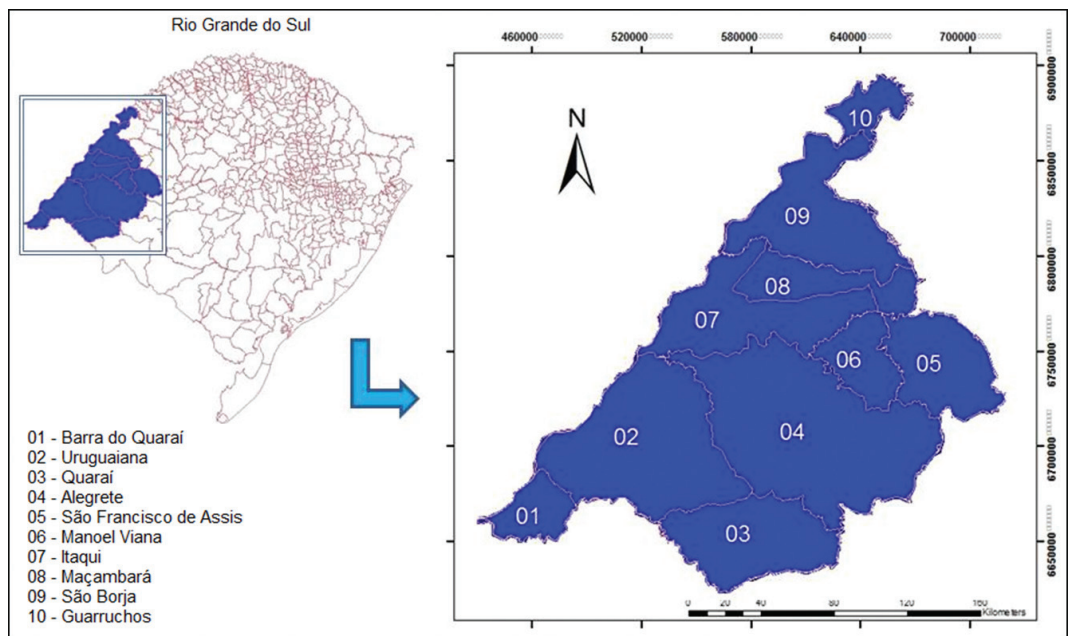


Figura 1. Localização da Microrregião da Campanha Ocidental, que fica no Estado do Rio Grande do Sul, Brasil.
Figure 1. Location of the Campanha Ocidental microregion, located in the state of Rio Grande do Sul, Brazil.

Tabela 1. Informações do satélite LANDSAT 5 TM utilizadas no estudo.

Table 1. Information LANDSAT 5 TM satellite used in the study.

Ano	Órbita-Ponto
1985	223-80 223-81 224-79 224-80 224-81 225-80 225-81
1996	223-80 223-81 224-79 224-80 224-81 225-80 225-81
2011	223-80 223-81 224-79 224-80 224-81 225-80 225-81

similaridade 10 e área 100. Foi realizada a classificação supervisionada, na qual o algoritmo classificador foi o Bhattacharya, com limiar de aceitação de 99%. Assim, as classes temáticas foram definidas, nesta pesquisa, como: Floresta, Campos, Agricultura, Areal e Lâmina d'Água. Não foi utilizada a classe de solo exposto porque as áreas correspondentes pertenciam à classe de agricultura, que se encontrava em pousio.

Para avaliar a eficiência da classificação, utilizou-se a estatística Kappa (Tabela 2), proposta por Landis & Koch (1977).

Tabela 2. Classificação baseada na estatística Kappa.
Table 2. Kappa statistics based on classification.

Estatística Kappa	Qualidade da classificação
<0,00	Péssima
0,00-0,20	Ruim
0,21-0,40	Razoável
0,41-0,60	Boa
0,61-0,80	Muito boa
0,81-1,00	Excelente

Fonte: Landis & Koch (1977).

No aplicativo SPRING, é utilizada a estatística conhecida como Matriz de Confusão (também chamada de Matriz de Erros ou Tabela de Continência). Suas linhas são as classes verdadeiras, correspondentes a realidade do campo, e suas colunas correspondem às classes do mapa, obtidas pela classificação.

Os valores do Índice de Kappa (K) variam entre -1 e 1, sendo que o valor 1 reflete uma total concordância entre a imagem classificada e a imagem real, e o valor -1, quando há uma total discordância. Esses valores são comparados e confrontados com os conceitos definidos por Landis & Koch (1977), que servem para avaliar a exatidão do mapa temático obtido da classificação da imagem. Sua diagonal

principal compreende o número de pixels que foram classificados corretamente, ou seja, de acordo com a realidade de campo. Com base nessa matriz, o Índice Kappa (κ) pode ser obtido pela seguinte expressão (adaptada de Congalton & Green, 1998):

$$k = \frac{t \sum X_{ij} - \sum X_i X_j}{t^2 - \sum X_i X_j} \quad (1)$$

Em que:

t= número total de amostras da matriz de confusão;

X_{ij}= elementos da diagonal principal da matriz de confusão;

X_i= total de elementos para cada linha das classes da imagem classificada;

X_j= total de elementos para cada coluna das classes da imagem de referência.

Por meio da classificação digital, foram confeccionados os mapas de uso e cobertura da terra para todos os períodos analisados. Para os mapas de transições dessas classes, empregou-se uma programação criada em Linguagem Espacial para Geoprocessamento Algébrico – LEGAL. Esta programação, segundo Barbosa & Cordeiro (2001), é estruturada em uma lista de sentenças que descrevem um procedimento ou um conjunto de ações sobre dados espaciais. Tais sentenças são estruturadas em quatro grandes grupos: declarações das variáveis, instanciações das variáveis, operações de álgebra de mapas e comandos de controle. Dessa programação, geraram-se mapas de uso e cobertura da terra a cada par de datas, 1985-1996, 1996-2011, o que resultou em mapas sínteses com 16 classes.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na avaliação da eficiência da classificação para os anos de 1985, 1996 e 2011, obteve-se um Índice Kappa de 0,9975 (99,75%), 0,9981 (99,81%) e 0,9923 (99,23%), respectivamente, enquadrando-se na categoria excelente. A partir da classificação de imagens LANDSAT 5, foi possível quantificar o uso e a cobertura da terra da Campanha Ocidental de modo satisfatório. A Tabela 3 descreve os resultados encontrados nas classificações dos períodos avaliados nas classes escolhidas.

Os resultados encontrados refletem o aumento de áreas florestadas e o aumento de áreas agriculturáveis, devido ao incentivo fiscal governamental e ao melhoramento e à modernização da produção, atrelados à diminuição da classe Campo. Os resultados encontrados estão de acordo com os dados do inventário florestal realizado no Estado entre os anos de 1983 e 2001, quando as áreas de floresta nativa sofreram um acréscimo de mais de 33 mil km² (Rio Grande do Sul, 2010). Os mapas de uso e cobertura da terra para os anos de 1985, 1996 e 2011 podem ser visualizados nas Figuras 2, 3 e 4.

No mapeamento realizado para o ano de 1985, mais da metade da área da microrregião era coberta por campo (54,73%) e apenas 10,67% eram cobertos por florestas. Na Figura 2, pode ser visualizado o mapa de cobertura da terra para o ano de 1985 para a microrregião e para os municípios, separadamente. De acordo com essa Figura, é possível observar que o município com maior cobertura florestal, na região, é São Francisco de Assis. Os municípios de Garruchos, Barra do Quaraí, Uruguaiana e São Borja possuem maior área de agricultura.

Tabela 3. Quantificação do uso e da cobertura da terra, em hectares, e suas respectivas porcentagens entre os anos de 1985, 1996 e 2011.

Table 3. Use and land cover quantification, in hectares, and theirs percentages among the years 1985, 1996 and 2011.

Classes de uso	1985		1996		2011	
	Área (ha)	%	Área (ha)	%	Área (ha)	%
Floresta	328.311,09	10,67	420.624,37	13,67	437.403,04	14,22
Agricultura	951.523,2	30,93	822.481,69	26,73	991.585,94	32,23
Campo	1.684.038,7	54,73	1.734.035,50	56,36	1.555.366,89	50,55
Areal	16.944,75	0,55	17.357,61	0,56	11.419,22	0,37
Lâmina d'água	95.954,85	3,12	82.273,41	2,67	80.997,49	2,63
Total	3.076.772,58	100	3.076.772,58	100	3.076.772,58	100

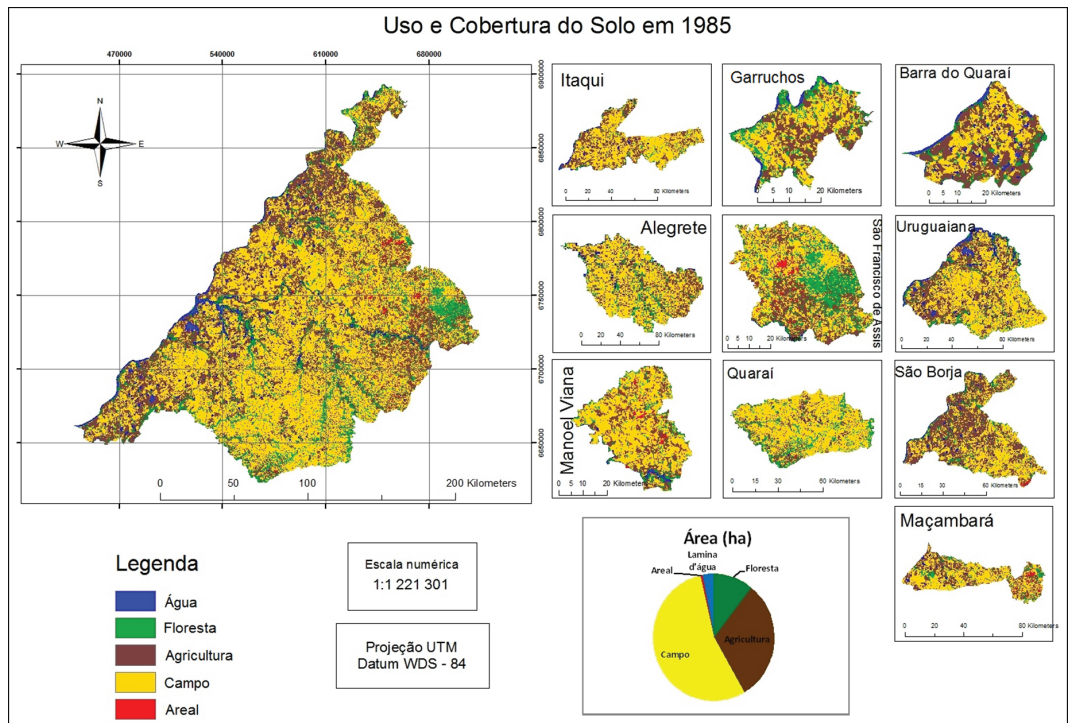


Figura 2. Mapa de uso e cobertura das terras de Campanha Ocidental no ano de 1985.
Figure 2. Use and land cover map in Campanha Ocidental of 1985.

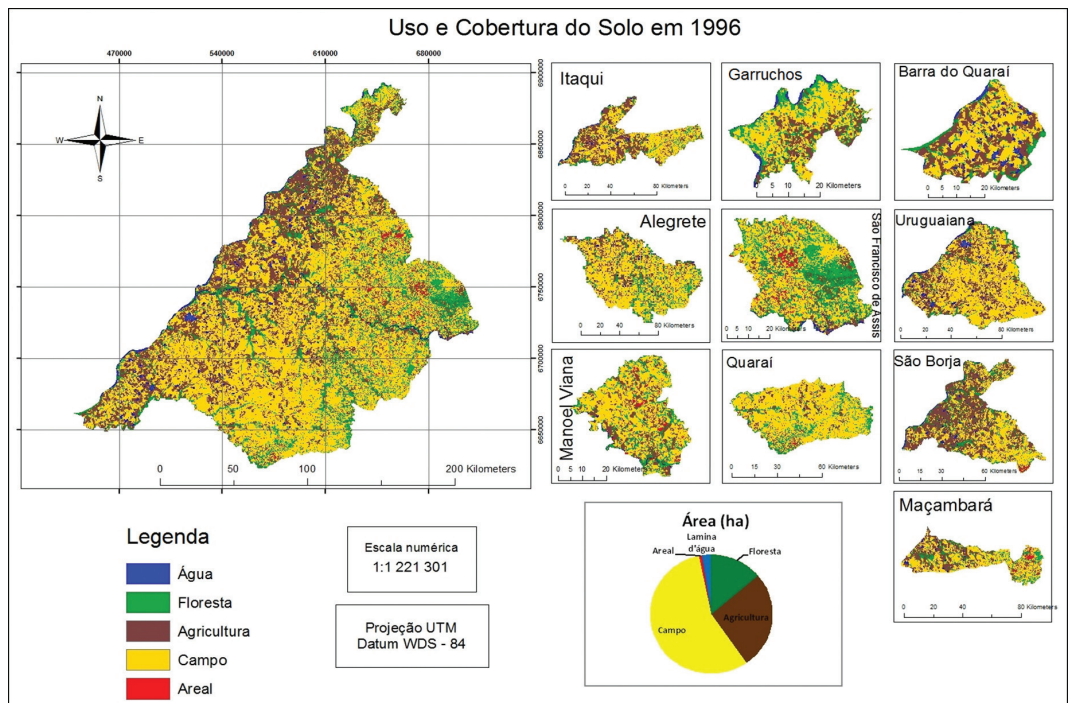


Figura 3. Mapa de uso e cobertura da terra da Campanha Ocidental no ano de 1996.
Figure 3. Use and land cover map in Campanha Ocidental in the year 1996.

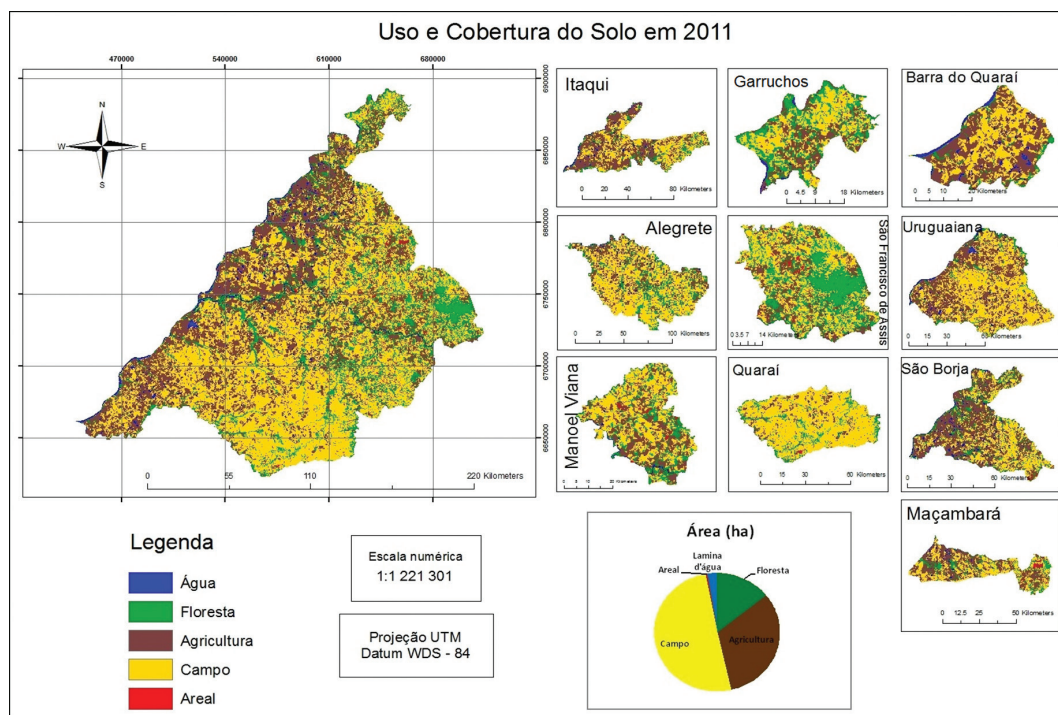


Figura 4. Mapa de uso e cobertura da terra da Campanha Ocidental no ano de 2011.

Figure 4. Use and land cover map in Campanha Ocidental in the year 2011.

O mapa de uso e cobertura do solo para o ano de 1996 (Figura 3) aponta um aumento na área de campo (56,36%) e florestas (13,67%), e uma redução na área de agricultura (26,73%).

Em 2011, a área do uso agricultura aumentou em quase 6%, quando comparada a 1996; diversamente, a área de campo diminuiu.

Na Tabela 4, é possível visualizar a evolução do uso e da cobertura da terra nos períodos de estudo, em que está retratada a variação percentual e em área de cada classe, sendo que valores negativos representam redução de áreas da classe de uso. Destaca-se o considerável aumentando de florestas, com 28,12% entre os anos de 1985 e 1996, e 3,99% entre os anos de 1996 e 2011.

Diante disso, presume-se que está ocorrendo preservação nessa região, bem como o aumento de áreas reflorestadas e nativas, graças aos incentivos fiscais. Este fato é um retrato decorrente do abandono de áreas mais difíceis de serem cultivadas, do maior rigor da legislação e também da conscientização dos proprietários sobre a importância das florestas para o meio ambiente e como mais uma fonte de renda.

Hendges et al. (2012), estudando a dinâmica das áreas de floresta nativa do Rio Grande do Sul, encontraram como resultado que o crescimento de áreas do uso referente às florestas nativas novas e regeneradas, ao longo dos últimos 20 anos, no Estado do Rio Grande do Sul, corresponde a um crescimento médio de 1,15% por década de análise, em relação à área total desse Estado, ou seja, um ganho de aproximadamente 3.237,8 km² de florestas nativas a cada dez anos. Isso demonstra que esse Estado está em processo de recuperação de áreas florestais, suprindo uma carência de áreas nativas, as quais, em 2007, constituíam apenas 15% da área total.

Benedetti et al. (2013), usando o produto MOD13Q1 do sensor Modis para análise temporal e mapeamento das florestas nas Serras do Sudeste e na Campanha Meridional do Rio Grande do Sul, entre os anos de 2000 e 2008, obtiveram como resultado o aumento das áreas florestais; os autores atribuem esse aumento ao estabelecimento da regeneração e posterior formação florestal nativa observada, na maioria das vezes, ao longo da rede de drenagem,

Tabela 4. Evolução do uso e da cobertura da terra, em hectares, e suas respectivas porcentagens entre os períodos de 1985-1996 e 1996-2011 na Campanha Ocidental-RS.

Table 4. Use and land cover evolution, in hectares, and their respective percentages between the periods of 1985-1996 and 1996-2011 in the Campanha Ocidental – RS.

Classes de Uso	1985-1996		1996-2011	
	Área (ha)	%	Área (ha)	%
Floresta	92.313,28	28,12	16.778,67	3,99
Agricultura	-129.041,51	-13,6	169.104,24	20,56
Campo	49.996,81	2,97	-178.668,61	-10,30
Areal	412,86	2,44	-5.938,39	-34,21
Lâmina d'água	-13.681,44	-14,3	-1.275,92	-1,55

em áreas de maior declividade e, muitas vezes, em áreas anteriormente utilizadas para a atividade agropecuária.

Segundo os mesmos autores, a legislação para proteção ambiental e as práticas de fiscalização tornaram-se, com o passar dos anos, mais rigorosas; a aplicação das multas e mesmo a conscientização da população contribuem para a manutenção e o acréscimo dos recursos florestais. A segunda forma de expansão florestal está atrelada à introdução de espécies exóticas, principalmente de *Eucalyptus*, *Pinus* e *Acacia*, por meio de florestamentos e reflorestamentos.

Ferrari (2008), utilizando imagens Landsat para modelagem de uso e cobertura da terra da Quarta Colônia-RS, para previsão de um cenário para o ano de 2018, observou também aumento das áreas florestais na simulação de um cenário para o ano de 2018. Assim como Torres (2011) também verificou esse aumento sistemático das áreas florestais em seu estudo, no qual utilizou uma série temporal com cinco classificações digitais de imagens Landsat – 1987, 1998, 2002, 2005 e 2007 – e uma de imagem do satélite ALOS de 2010.

A classe Agricultura, no primeiro período analisado, sofreu uma queda de 13,6%, o que contabiliza 129.041,51 ha a menos. Essa diminuição, nesse primeiro período, pode ser explicada pelo fato de a economia regional ter passado por diversas transformações e crises. Conceição et al. (2010), fazendo um balanço da economia gaúcha na visão das contas regionais entre 1981 e 2009, durante esses 28 anos, constatou que houve crescimento negativo do PIB em 11 deles.

As piores quedas aconteceram em 1990 (-6,6%) e 1995 (-5,0%), o que seria um dos motivos para

a queda da agricultura nesse período. Segundo o mesmo autor, em 1985, a agropecuária participava com 16,9% no Valor Acrescentado Bruto (VAB) total do Estado. Essa participação caiu para 14,4% em 1994. A revisão metodológica redimensionou seu tamanho para 9,7% em 1995. Nos anos seguintes, as taxas de crescimento do setor melhoraram, acarretando o aumento do seu tamanho relativo na economia gaúcha, que, em 2008, atingiu 11,2%.

Já no segundo período, houve um incremento de 20,56%, com um aumento de 169.104,24 ha. Esse fato explica-se através de uma nova economia, abertura de fronteiras agrícolas, novas tecnologias e necessidade da produção em aumentar a disponibilidade de alimentos.

Furlan (2012), estudando a modelagem dinâmica de uso e cobertura da Microbacia do Arroio Grande-RS por meio de imagens LANDSAT 5 e 7, também verificou aumento na atividade agrícola entre os anos de 2002 e 2011.

A classe Campo, no primeiro período analisado, obteve um aumento discreto de 2,97%, com um incremento de 49.996,81 ha. Esse crescimento pode estar relacionado à diminuição de áreas agriculturáveis nesse primeiro momento. Já no segundo período, entre 1996 e 2011, houve um decréscimo na classe de 10,30%, totalizando 178.668,61 ha a menos do que no período anterior analisado, devido principalmente ao aumento das florestas e da agricultura na região.

Segundo Kleinpaul (2005), a diminuição na classe Campo está relacionada principalmente com a conversão dessas áreas em agricultura. Foi encontrada a mesma tendência nos resultados das pesquisas realizadas por Ferrari (2008), Torres (2011) e Furlan (2012).

Tabela 5. Transições quantitativas dos usos e cobertura da terra, em hectares, na Campanha Ocidental, entre os períodos 1985-1996 e 1996-2011.**Table 5.** Quantitative transitions of uses and land cover in hectares in West Campaign period between 1985-1996 and 1996-2011.

		1985-1996			
De ¹	Para ²	Floresta	Agricultura	Campo	Areal
Floresta			54.089,15	75.966,53	422,55
Agricultura		96.582,92		437.176,13	4.637,61
Campo		112.848,53	350.972,69		3.628,89
Areal		778,95	3.304,89	5.281,74	
		1996-2011			
De	Para	Floresta	Agricultura	Campo	Areal
Floresta			61.422,47	105.394,94	565,65
Agricultura		71.123,03		286.474,85	2.130,48
Campo		116.648,00	456.024,77		2.782,98
Areal		1.365,66	5.438,25	3.816,45	

¹ Classes iniciais localizadas nas colunas. ² Classes finais localizadas nas linhas.

No período de 1985-1996, a classe Areal sofreu uma leve alta de 2,44%, totalizando um incremento de 412,86 ha de novas áreas sofrendo com o processo de arenização. Essas novas áreas podem estar relacionadas ao fato de a arenização ser um problema tanto ambiental quanto econômico, pois a cada dia novas áreas poderão se tornar degradadas e impossibilitadas para a agropecuária.

A classe Lâmina d'Água, no primeiro período de pesquisa, entre 1985 e 1996, foi caracterizada por um percentual de queda de 14,3%, o que, em termos de hectare, equivale a 13.681,44 ha a menos. Esse resultado expressivo pode estar associado ao acúmulo de chuvas no ano de 1985 e à associação dessas áreas alagadas com agricultura irrigada. Já no segundo período, de 1996 a 2011, houve a estabilidade dessa classe com uma queda percentual de 1,55%, o que é praticamente insignificante. Em trabalhos encontrados de dinâmicas da paisagem, essa classe é a que mais oscila, pois depende muito da quantidade do volume de chuvas do ano.

Após a evolução de cada classe para os períodos pesquisados, fez-se a análise das transições do Uso e da Cobertura da Terra através da Linguagem Espacial de Geoprocessamento Algébrico (LEGAL), os valores de transições de cada classe entre os períodos de 1985-1996 e 1996-2011 (Tabela 5).

Destaca-se, nas zonas de transições, que houve aumento entre as classes Floresta para Campo e

Agricultura de 1996-2011, em comparação a 1985-1996. Em relação à Classe Agricultura, ocorreu uma menor mudança, no segundo período, desta classe para Campo e Floresta. Em compensação, a evolução de Campo para Agricultura e Floresta foi maior no segundo período.

A área correspondente à classe Areal diminuiu ao longo dos períodos, destacando-se a transição entre Areal para Agricultura, que, no segundo período analisado, foi bem superior ao primeiro. Áreas que antes eram areia tornaram-se, em sua maioria, áreas agriculturáveis; essa evidência é possível em virtude da utilização de tecnologias e da recuperação dessas áreas. Outra observação a ser feita é também o aumento de áreas florestais, através de pesquisas e empresas que estão recuperando essas áreas, tanto para estudos quanto para a produção.

4. CONCLUSÕES

As imagens do satélite LANDSAT 5 possibilitaram a identificação e a quantificação dos padrões de Uso e Cobertura da Terra de forma adequada. Observou-se que a classe Floresta aumentou em todos os períodos analisados, apresentando um incremento de 109.091,95 ha, refletindo em mudanças que buscam a sustentabilidade na região.

A classe Campo foi influenciada pela classe Agricultura, pois demonstraram comportamentos

inversos. No ano de 2011, a classe Agricultura apresentou um aumento em relação a 1985, como consequência da maior demanda e busca por alimentos. Com isso, a classe Campo teve uma diminuição, sendo a classe que mais perdeu área na comparação com as outras.

Nos areais, houve uma queda acentuada de 5.938,39 ha, devida principalmente ao aumento da recuperação dessas áreas, através de reflorestamento e de técnicas silviculturais.

Na avaliação das mudanças ocorridas entre as classes de estudo por meio da programação Legal, detectou-se que as classes que mais influenciam as mudanças de uso e cobertura da terra foram Agricultura e Campo.

STATUS DA SUBMISSÃO

Recebido: 01 dez., 2013

Aceito: 17 jul., 2014

Publicado: 28 ago., 2014

AUTOR(ES) PARA CORRESPONDÊNCIA

Emanuel Araújo Silva
Programa de Pós-graduação em Engenharia
Florestal, Universidade Federal de Santa
Maria – UFSM, CEP 97105-900, Santa Maria, RS,
Brasil
e-mail: emanuelmadster@gmail.com

REFERÊNCIAS

- Barbosa CCF, Cordeiro JPC. *Manual de referência: LEGAL*. São José dos Campos: INPE; 2001.
- Benedetti ACP, Lippert DB, Pereira RS, Almeida CM, Cardoso CDV, Hendges ER. Uso do produto MOD13Q1 do sensor Modis para análise temporal e mapeamento das florestas nas Serras do Sudeste e Campanha Meridional do Rio Grande do Sul. *Revista Árvore* 2013; 37(3): 459-467. <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-67622013000300009>
- Conceição OAC, Grandó MZ, Teruchkin SU, Faria LAE. *Três décadas de economia gaúcha: o movimento da produção*. Porto Alegre: FEE; 2010. [cited 2014 Mar. 12]. Available from: <http://www.fee.rs.gov.br/3-decadas/movimento-da-producao.php>.
- Congalton RG, Green K. *Assessing the accuracy of remotely sensed data: principles and practices*. New York: Lewis Publishers; 1998. <http://dx.doi.org/10.1201/9781420048568>
- Ferrari R. *Modelagem dinâmica do uso e cobertura da terra da Quarta Colônia, RS* [dissertação]. Santa Maria: Centro de Ciências Rurais, Universidade Federal de Santa Maria; 2008.
- Furlan MC. *Modelagem dinâmica de uso e cobertura da microbacia do Arroio Grande - RS* [dissertação]. Santa Maria: Centro de Ciências Rurais, Universidade Federal de Santa Maria; 2012.
- Global Land Cover Facility - GLCF. *A landcover earth science information partnership*. Maryland; 2000.
- Hendges ER, Pereira RS, Andres J. Dinâmica das áreas de floresta nativa no Rio Grande do Sul no período de 1988 a 2020. *Ciência Rural* 2012; 42(5): 828-833.
- Kleinpaul JJ. *Análise multitemporal da cobertura florestal da Microbacia do Arroio Grande, Santa Maria, RS* [dissertação]. Santa Maria: Centro de Ciências Rurais, Universidade Federal de Santa Maria; 2005.
- Landis JR, Koch GG. The measurement of observer agreement for categorical data. *Biometrics* 1977; 33(1): 159-174. <http://dx.doi.org/10.2307/2529310>
- Medeiros E, Robaina LE, Cabral ILLC. Degradação ambiental na região sudoeste do Rio Grande do Sul. *Ciência & Ambiente* 1995; 11:53-64.
- Rio Grande do Sul. Secretaria do Meio Ambiente - SEMA. *Cobertura florestal*. Rio Grande do Sul; 2010. [cited 2014 Mar. 7]. Available from: http://www.sema.rs.gov.br/conteudo.asp?cod_menu=355.
- Santos MA. *Construção de cenários em ambiente SIG para avaliar mudanças de uso das terras induzidas por usinas hidrelétricas na região agrícola de Andradina* [dissertação]. Campinas: Faculdade de Engenharia Agrícola, Universidade Estadual de Campinas; 2003.
- Souto JJP. Deserto, uma ameaça? *Estudo dos núcleos de desertificação na fronteira sudoeste do Rio Grande do Sul*. Porto Alegre: Diretoria Geral, Secretaria de Agricultura; 1984. 172 p.
- Suertegaray DM. *Deserto Grande do Sul: controvérsia*. 2. ed. Porto Alegre: Editora da UFRGS; 1998. 130 p.
- Torres DR. *Análise multitemporal do uso da terra e cobertura florestal com dados dos satélites LANDSAT e ALOS* [dissertação]. Santa Maria: Centro de Ciências Rurais, Universidade Federal de Santa Maria; 2011.