



CLASSIFICAÇÃO DO USO E COBERTURA DA TERRA COM DISTINTAS RESOLUÇÕES ESPACIAIS: APLICAÇÃO A BACIA DO LAJEADO RINCÃO

Cezar Cerutti Ponssoni¹, Fábio Marcelo Breunig², Rudinei De Marco³, Rafaelo Balbinot⁴

1. Engenheiro Florestal Técnico da Natuur Serviços Ambientais Ltda, Passo Fundo, Brasil
2. Professor Doutor em Sensoriamento Remoto da Universidade Federal de Santa Maria - *Campus* Frederico Westphalen, Brasil
(fabio-breunig@gmail.com)
3. Pós-Graduando em Agronomia - Responsável – Agricultura e Ambiente da Universidade Federal de Santa Maria - *Campus* Frederico Westphalen, Brasil
4. Professor Doutor em Ciências Florestais da Universidade Federal de Santa Maria - *Campus* Frederico Westphalen, Brasil

Recebido em: 12/04/2014 – Aprovado em: 27/05/2014 – Publicado em: 01/07/2014

RESUMO

O mapeamento do uso e ocupação da terra constitui uma etapa essencial no planejamento em diferentes escalas. O estudo avaliou a dependência do algoritmo de classificação de máxima verossimilhança (Maxver) de imagens de média resolução espacial. A área de estudo foi a microbacia do lajeado Rincão, localizada no município de Taquaruçu do Sul – RS, no sul do Brasil. Para conduzir a avaliação, foi utilizada uma imagem ortorretificada do satélite Worldview-II, adquirida em novembro de 2011. A imagem original com 0,5 metros foi redimensionada para 5, 30, 100 e 250 m. Uma classificação de referência foi elaborada a partir da interpretação manual, visitas de campo e edição vetorial dos polígonos. Para as classificações Maxver, foram selecionadas amostras de treinamento para todas as classes e imagens. A avaliação da acurácia das classificações foi realizada com base nas matrizes de confusão, índice Kappa e na acurácia global. Os resultados mostraram que as classificações Maxver apresentaram baixa qualidade, indicando que o uso o Maxver é inadequado para o estudo de microbacias hidrográficas com alta frequência espacial, típicas de regiões de agricultura familiar. Uma grande confusão entre classes correlacionadas espectralmente foi encontrada (p. ex. campo e agricultura). A melhor classificação foi obtida com a imagem de 5 m de resolução espacial (50,53%). À medida que a resolução espacial aumenta (> 5 m), a qualidade geral da classificação diminui. Além disso, verifica-se que novos estudos são necessários considerando o uso de um maior número de classes, filtragem prévia das imagens e/ou classificadores orientados a objeto.

PALAVRAS-CHAVE: Acurácia, Máxima verossimilhança, Reamostragem, Taquaruçu do Sul, Worldview-2

DEPENDENCE OF LAND USE AND COVER CLASSIFICATION ON THE SPATIAL RESOLUTION: CASE OF STUDY OF LAJEADO RINCÃO WATERSHED ABSTRACT

Land use and cover mapping is essential for planning in different scales. The study aimed to evaluate the dependence of maximum likelihood (ML) classification

algorithm on mean spatial resolution images. The study area was the watershed lajeado Rincão, located in the municipality of Taquaruçu do Sul – RS, in South of Brazil. In order to conduct the evaluation, an orthorectified image of Worldview-II, acquired in November 2011 was used. The original image with 0.5 m was resampled to 5, 30, 100 and 250 m. A reference classification was created by the visual interpretation, field inspections and polygons edition. For the ML classifications, training samples were collected for each class and for each image. The accuracy of the maps was evaluated by confusion matrices and, global accuracy and kappa indices. The results showed that ML classifications presented low quality, indicating that ML is not adequate for watersheds with high spatial frequency, typical in regions of family agriculture. Spectrally correlated classes (p. e.g. field and crops lands) presented high confusion. The best classification was obtained with a 5 m spatial resolution image (50.53%). As the spatial resolution increases (> 5 m), the general quality of the classifications decreased. Furthermore, new studies are necessary considering more classes, image filtering and/or object based classification methods.

KEYWORDS: Accuracy, Maximum Likelihood, Resampling, Taquaruçu do Sul, Worldview-2

INTRODUÇÃO

Ano após ano a população mundial cresce, acarretando no aumento da demanda de produtos e serviços (SCOLARI, 2009). Estes produtos, muitas vezes, estão vinculados ao campo, constituindo-se principalmente de alimentos de origem vegetal e animal. A medida que a demanda cresce a produção precisa ser incrementada para supri-la com a respectiva oferta. Em se tratando da produção agrícola, isso muitas vezes resulta na expansão de áreas de plantio e pastagens. Assim, parte desse avanço das lavouras e pastagem ocorre sobre áreas de florestas e campos nativos (CAVALCANTI & AGUIAR, 1996).

O avanço das lavouras sem planejamento provoca o desequilíbrio dos ecossistemas nativos, gerando impactos negativos evidentes, como a diminuição da diversidade da flora, mortandade da fauna, destruição de seu habitat natural e redução da biodiversidade local. Todas essas alterações resultam em problemas que muitas vezes são difíceis de serem ligados a seus exatos fatores de causa específicos (PRIMAVESI, 2006). Tal problema se manifesta nas mais diversas escalas de análise: local, regional, global. Fica evidente e nítida a necessidade de haverem mais pesquisas relacionando o meio ambiente, a forma como o este é utilizado e as consequências da exploração nos moldes atuais. Os estudos do uso e ocupação da terra caracterizam uma das primeiras etapas desse processo, especialmente no âmbito das bacias hidrográficas (FERREIRA et al., 2012).

Conhecer o uso e ocupação da terra permite entender a situação ambiental da área em avaliação, de forma a disponibilizar uma ampla gama de informações que servem de base para diagnósticos ambientais, planejamento e tomada de decisões, bem como fiscalização de atividades agrícolas e delimitação de áreas (BEGON et al., 2007). Existe a necessidade de uma atualização constante das informações de uso e ocupação da terra, para que suas tendências possam ser analisadas e monitoradas de forma adequada (LOCH, 2008). O mapeamento baseado nas inspeções de campo geralmente é oneroso financeiramente e demanda muito tempo. Assim, o uso de ferramentas geotecnológicas e imagens de satélite são fundamentais.

Existem diversas ferramentas que tornam a realização da classificação do uso e ocupação da terra cada vez mais rápida e precisa. Imagens orbitais de alta resolução espacial e espectral são fontes de informações para diversos estudos,

tanto nas zonas rurais como áreas urbanas, servindo de base para o uso de ferramentas geotecnológicas especializadas (JENSEN, 2009; MIRANDA, 2010). Considerando a necessidade e maior acessibilidade das ferramentas como os Sistemas de Informações Geográficas (SIG), é imprescindível que haja esse tipo de informação para diagnósticos ambientais, tomadas de decisões, formulações de planos administrativos de gestões públicas e até mesmo para levar esse conhecimento até a população em geral (BEZERRA et al., 2011). Atualmente a automação dos processos de classificação dispõe de um grande número de algoritmos (p. ex. MaxVer - Máxima Verossimilhança), com características específicas, contudo, os resultados devem sempre ser submetidos a validações (JONATHAN, 2005).

Imagens orbitais de alta resolução espacial estão sendo cada vez mais utilizadas para fins de classificação de uso e cobertura da terra. O sensor orbital WorldView-II foi lançado em outubro de 2009, sendo o primeiro sistema de alta resolução espacial que possui oito bandas multiespectrais: *Coastal, Blue, Green, Yellow, Red, Red-Edge, NearInfra-Red1 (NIR-1) e NearInfra-Red 2 (NIR-2)*. Sua resolução espacial nominal é de 0,5 m (DIGITAL GLOBE, 2010). Este sensor representa uma inovação, em relação aos sensores de alta resolução espacial atuais. Por exemplo, a banda *Red-Edge* é estrategicamente centralizada em 725 nm, no início da porção de alta refletividade da resposta da vegetação, fornecendo dados importantes para seu estudo (DIGITAL GLOBE, 2010).

Dessa forma, o objetivo desse trabalho foi comparar a acurácia das classificações do uso e ocupação do solo da microbacia do Lajeado Rincão, no município de Taquaruçu do Sul - RS, a partir de imagens de diferentes resoluções espaciais (alta e média) utilizando o classificador MaxVer. Apesar de classificadores orientados a objetos serem indicados para imagens de alta resolução espacial, o estudo propõem o uso do MaxVer para a classificação de imagens de média resolução espacial pela sua ampla utilização nas empresas e instituições governamentais e pela disponibilização de imagens de todo território brasileiro com resolução de cinco metros da constelação Rapideye.

MATERIAL E MÉTODOS

O estudo foi desenvolvido no município de Taquaruçu do Sul, no Rio Grande do Sul. Localizado na região norte do estado, pertence à microrregião de Frederico Westphalen, às coordenadas centrais são S-27°24'00" e W-53°28'02", com altitude média de 545 m (Figura 1). Segundo a classificação Köppen, o clima regional é do tipo *Cfa* correspondendo ao clima temperado úmido com verão quente. A temperatura média anual é em torno de 18° C, com máximas no verão podendo atingir 41° C e mínimas no inverno atingindo valores inferiores a 0° C. A precipitação média anual é elevada, geralmente entre 1.800 e 2.100 mm com distribuição regular ao longo do ano (SEMA, 2005; ALVARES et al., 2013). O município de Taquaruçu do Sul possui população de aproximadamente 3.000 habitantes (IBGE, 2010). A microbacia em estudo, onde vivem aproximadamente 250 habitantes, é denominada Lajeado Rincão (Figura 1) e apresenta predominância de uso rural, marcada pelo cultivo de milho, soja, tabaco e pela presença de pastagens para criação de bovinos e caprinos, além da suinocultura.

O estudo foi conduzido a partir de uma imagem de alta resolução espacial (0,5 m ortorretificada) adquirida pelo satélite Worldview-II no dia 11 de novembro de 2011. A imagem consiste em uma composição colorida do tipo cor-verdadeira realçada. Os dados foram tratados a partir do número digital da imagem. O estudo

com a imagem foi conduzido com base no datum *World Geographic System* de 1984 (WGS84) e no sistema de projeção *Universal Transversa de Mercator* (UTM) zona 22.

Para delimitação da microbacia foram realizadas visitas de campo em janeiro de 2012, com caminhadas de reconhecimento e uso de um receptor GPS Garmin Map 76 CSX. Foram extraídos os pontos das nascentes dos afluentes do rio principal, bem como alguns trechos do mesmo, para digitalização da hidrografia da bacia (Figura 1c).

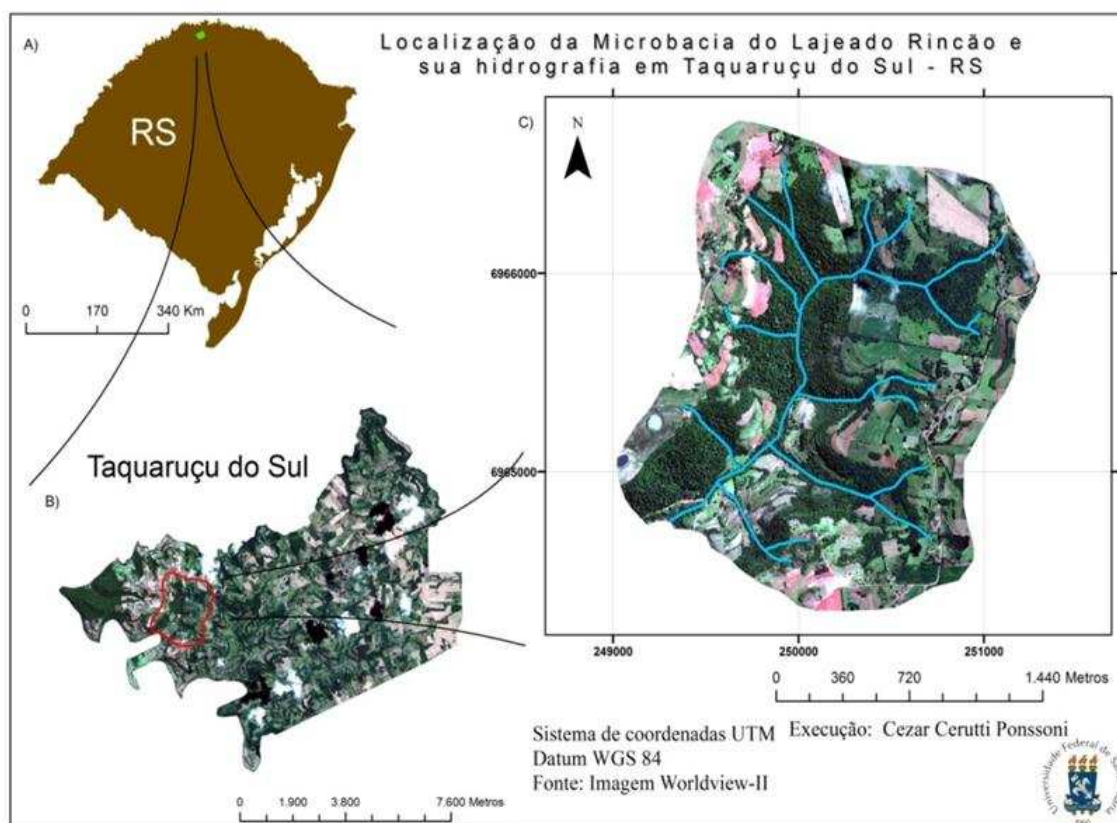


FIGURA 1. (c) Localização da microbacia hidrográfica do Lajeado Rincão com 383 ha, (a) no RS, (b) no município de Taquaruçu do Sul, com sua rede hidrografia, sobreposta a uma imagem Worldview-II de novembro de 2011.

Fonte: os autores.

Com o auxílio de uma imagem *Shuttle Radar Topography Mission* (SRTM) da área, adquirida pelo projeto SRTM da EMBRAPA (EMBRAPA, 2014) e da carta topográfica: SG-22-Y-C-II-3-SO foi elaborado o modelo de relevo. A partir do modelo de elevação foram delimitadas as curvas de nível equidistantes em 30 metros. Esses procedimentos foram necessários para a delimitação dos limites da microbacia, sendo a mesma vetorizada e salva em arquivos vetoriais.

Inicialmente a imagem foi mascarada com base no limite da microbacia hidrográfica do Lajeado Rincão (Figura 1c), utilizando ao aplicativo ENVI 4.6 (ITT, 2008). Utilizando a imagem mascarada, foram geradas novas imagens, com diferentes resoluções espaciais. Esse procedimento foi executado sempre a partir da imagem com resolução espacial original (pixels de 0,5 m) pela ferramenta de reamostragem (sem observação da *Full Width of Half Maximum* - FWHM) implementada no ENVI 4.6 e no IDRISI (Clark Labs Inc., 2012). Com as quatro

novas imagens redimensionadas, de pixels representando resoluções espaciais médias de 5, 30, 100 e 250 m, partiu-se para a classificação automática supervisionada.

A etapa da classificação foi realizada de forma independente para cada resolução espacial: a original e as outras quatro redimensionadas. Dessa forma, o procedimento foi o mesmo para cada repetição. O mapeamento foi feito com base nas seguintes classes: Floresta, Palha, Solo Exposto, Água, Agricultura e Pastagem. Após o mapeamento das classes, foram realizados os ajustes terminológicos e de representação para cada classe, como nome e coloração dos polígonos. O arquivo vetorial de cada classe com os pixels de treinamento foi utilizado para a realização da classificação automática das imagens. Ao final desse processo obtiveram-se cinco novos arquivos de imagens temáticas com a classificação do uso e ocupação do solo para a imagem de tamanho de pixel original (0,5 m) e as imagens redimensionadas. Após o mapeamento e os ajustes finos da classificação, foram geradas quantificações para cada classe e a avaliação da qualidade das classificações.

Uma classificação de referência foi elaborada a partir da interpretação visual da imagem de 0,5 m e amparada em inspeções de campo. As visitas a campo foram realizadas aproximadamente dois meses após a aquisição da imagem. Apesar da defasagem temporal, foi possível reconstituir o uso e cobertura do solo para o momento da aquisição da imagem Worldview-II. Essa imagem classificada de referência foi utilizada para a avaliação da qualidade das classificações supervisionadas MaxVer.

Após as etapas de produção das classificações de uso e ocupação da terra e dos ajustes finos, foram confeccionados mapas representativos de cada resolução espacial, e extraídas as respectivas medidas de cada classe.

A qualidade dos mapeamentos foi avaliada a partir de matrizes de confusão. Como mapa de referência foi utilizado o mapeamento visual gerado a partir da interpretação das imagens e do trabalho de campo. Esses dados foram cruzados com os diferentes mapas gerados pelas classificações. Por fim, foram elaboradas matrizes de confusão e calculada a Acurácia Global e Índice Kappa (HUDSON & RAMM, 1987; ITT, 2008).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A cobertura florestal é a que apresenta maior área, com 162,41 ha (Tabela 1), representando 42,39% do total da microbacia. Essa alta cobertura florestal fica nítida na Figura 2, referente à classificação manual gerada a partir da interpretação visual e de visitas a campo. As áreas agrícolas, incluindo solo exposto e de pastagem, representam aproximadamente 202 ha (52,72%) da área. Uma pequena área com água foi encontrada, distribuída na forma de diversos açudes (aproximadamente três ha). A presença de solo exposto está associada ao preparo do solo pelo sistema convencional, que consiste no revolvimento de camadas superficiais em área total, o que foi observado no trabalho de campo.

A Figura 3a apresenta o mapa de uso e ocupação da terra gerado a partir da classificação automática da imagem original (0,5 m). Essa classificação apresentou toda a heterogeneidade presente na microbacia hidrográfica em estudo. Cabe ressaltar que o pequeno número de classes utilizado pode ocasionar erros na classificação, tendo em vista que o algoritmo irá agrupar os dados de acordo com as estatísticas das amostras de treinamento.

Na classificação MaxVer (Figura 3a) é possível observar a grande diversidade encontrada na ocupação do solo na microbacia hidrográfica do Lajeado Rincão, característica de regiões de topografia acidentada e alto índice de ocupação humana, resultando em imagens com alta frequência espacial. A grande presença de florestas na área é outro fator que pode ser atribuído à topografia, pois os proprietários não utilizam as áreas de declividade acentuada para implantarem suas lavouras, resultando na preservação da mata nativa.

TABELA 1. Áreas das classes de uso do solo e área total da microbacia do Lajeado Rincão para cada imagem classificada a partir da interpretação visual e visitas a campo.

Resolução da imagem	Classes de uso do solo (ha)						Total
	Floresta	Palha	Solo exp.	Água	Agricultura	Pastagem	
Visual	162,41	15,36	19,60	3,35	78,63	103,77	383,12
0,5 m	124,51	41,20	18,06	20,09	57,40	121,86	383,12
5 m	168,20	28,87	13,64	18,89	36,19	117,33	383,12
30 m	161,10	12,60	20,52	2,43	66,69	122,22	385,56*
100 m	162,00	8,00	42,00	63,00	36,00	82,00	393,00*
250 m	0,00	0,00	325,00	75,00	0,00	0,00	400,00*

* Imagens com essa resolução espacial tendem a apresentar variações na área total, considerando a máscara matricial aplicada (forma errática dos pixels das bordas).

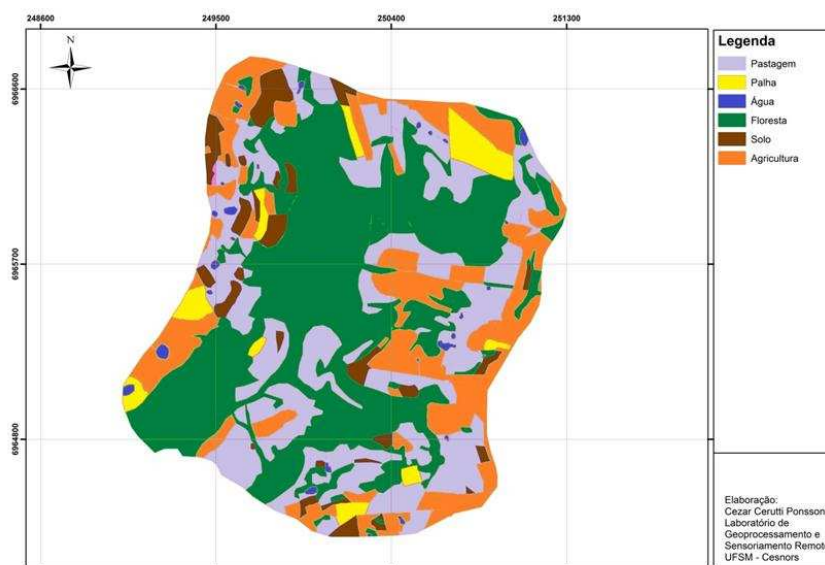


FIGURA 2. Mapeamento do uso e ocupação do solo gerado a partir da interpretação visual da imagem Worldview-II de novembro de 2011, com resolução espacial de 0,5 m e de atividades de inspeção de campo.

Fonte: os autores.

Para algumas regiões visualmente identificadas como sendo de floresta, a classificação Maxver aplicada à imagem original (0,5 m) atribuiu outras classes como “campo/pecuária” e até mesmo, “água”. Isto pode ser delegado ao fato de as regiões de cobertura florestal apresentar uma tonalidade de verde que se assemelha a dos campos, bem como as regiões de sombreamento de grandes árvores, que podem ser confundidas pelo classificador com açudes e lagos (Figura 3). A análise comparativa visual entre as Figuras 2 e 3a permite verificar que existe uma

coerência significativa entre ambas, em quase todas as classes, apesar das diferenças quantitativas verificadas na Tabela 1.

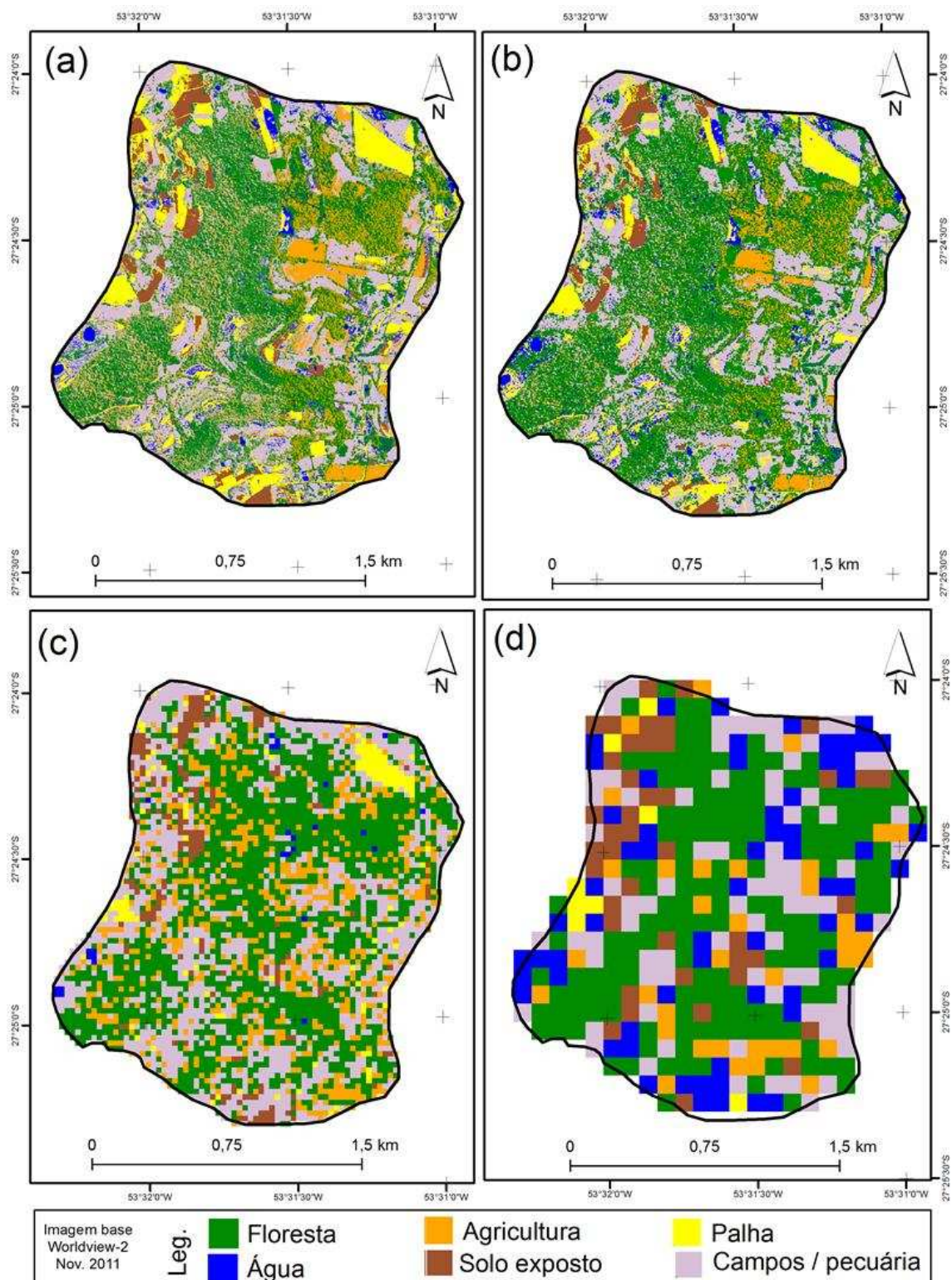


FIGURA 3. Mapa de classificação MaxVer do uso e ocupação do solo para a imagem Worldview-II de novembro de 2011, com resolução espacial de (a) 0,5 m, (b) 5 m, (c) 30 m e (d) 100 m.

Fonte: os autores.

Considerando a classificação sobre a imagem de resolução espacial média de 5 m (Figura 3b) é possível notar diferenças com a anterior, apesar de visualmente as duas classificações serem muito parecidas. Devido a reamostragem dos pixels, que agora correspondem a uma área de 25 m², algumas feições do terreno começam a apresentar mudanças, principalmente em regiões de brusca alteração da paisagem. Porém, essa classificação ainda representa bem o uso do solo da região e não apresenta alterações na área total da bacia. Nessa imagem, ainda são bem discriminados pequenos açudes e áreas com vegetação arbórea isolada, o que já não pode ser tão bem evidenciado na classificação da imagem com pixels de 30 m (Figura 3c).

Com resolução espacial de 30 m a classificação perde informações de feições com pequenas áreas, tornando a imagem imprópria para estudos que exigem uma excelente representação do uso do solo. No entanto, para estudos de grandes áreas ainda pode ser viável, trazendo também a vantagem de apresentar um processamento mais rápido que as classificações anteriores. Isso mostra que sensores de média resolução como o Landsat atendem muito bem a estudos agrícolas e florestais, quando aplicados ao monitoramento dessas áreas. Em termos de área, a classificação da imagem de 30 m não apresentou grandes diferenças em relação à classificação de referência, conforme pode ser visto na Tabela 1. Isso sugere que imagens de média resolução podem gerar estimativas razoáveis do uso e ocupação do solo em regiões de agricultura familiar. Contudo, sempre que disponíveis imagens de melhor resolução espacial devem ser utilizadas.

Com o aumento significativo das dimensões de pixel, começam a ocorrer perdas de informação significativas, limitando o uso das classificações, bem como deformações muito expressivas da área da microbacia hidrográfica. Essas alterações podem ser visualizadas na Figura 3d que representa a classificação do uso e ocupação do solo com imagem de pixels redimensionados para 100 m. Com uma área de um hectare, a classificação de pixel de 100 m representa classes com grandes áreas, como florestas e de pastagens. Porém, passa a perder muita informação de áreas onde há grande diversidade de uso do solo em pequeno espaço, passando a apresentar erros exagerados, como a classe “água”.

Devido a grande disponibilidade de imagens com baixa resolução espacial, como por exemplo, do *Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer* (MODIS) com pixels de 250, 500 e 1000 m, *Advanced Very High Resolution Radiometer* (AVHRR), com pixels de 1100 m ou *Système Pour l’Observation de la Terre* (SPOT) com mais de um km de pixel, estas imagens são usadas frequentemente. Nesse sentido, a avaliação da classificação Maxver sobre uma imagem com um pixel de 250 metros, caracterizando uma baixa resolução espacial, foi inadequado (imagem não apresentada no texto). Esse fato mostra que o mapeamento do uso e ocupação da terra em regiões onde predomina a agricultura familiar e a consequente elevada diversidade no uso e ocupação das propriedades (alta frequência espacial) demanda produtos de alta ou média resolução espacial.

Na segunda classificação MaxVer (5 m) realizada, percebe-se um aumento na área da classe Floresta e diminuição nas áreas das demais classes. As classes Palha e Agricultura apresentaram a maior diferença em relação à classificação original. Contudo, a classificação não distorceu a forma da microbacia, que permaneceu apresentando uma área total de 383,12 ha. Valor que se altera na área total apresentada pela classificação de pixel de 30 m, que recebeu o acréscimo de 3,44 ha, representando uma pequena alteração no formato da microbacia hidrográfica. Nesta classe há uma queda da classe Água e grande variação da

classe Agricultura, que quase dobra o seu valor, passando de 36,19 para 66,69 ha, em relação à classificação anterior Porém, apresenta um número mais coerente com a classificação visual. Partindo para a classificação de pixels de 100 m a primeira observação a ser considerada é que a área total da microbacia aumentou em quase 10 ha, valor que passa a ser considerado alto se tratando da pequena área de estudo (devido à inclusão de pixels das bordas, com forte padrão errático – serrilhado). Cabe lembrar que com essa dimensão de pixel a interpretação pode confundir o classificador e não há uma grande disponibilidade de pixels para treinamento do mesmo. Na última classificação (sobre a imagem de 250 m de resolução espacial) existe uma grande perda de informação do uso e ocupação do solo da microbacia. As classes Floresta, Palha, Agricultura e Pastagem apresentaram valores nulos e as classes Solo exposto e Água foram superdimensionadas.

Conforme demonstram os gráficos da Figura 4 é possível perceber que a classe Floresta mantém uma regularidade nas quatro primeiras classificações, variando em apenas 10%, tornando a classificação supervisionada do uso da terra aceitável para o estudo de áreas florestadas em imagens de resolução espacial até 100 m, desde que esta variação esteja dentro de um limite aceitável de acurácia exigido pelo cliente/usuário. Outra classe que apresentou variação semelhante foi a campo/pecuária, devido a sua grande presença na região de estudo. Essas classes apresentam uma menor variância interna e uma grande diferenciação com relação às demais classes.

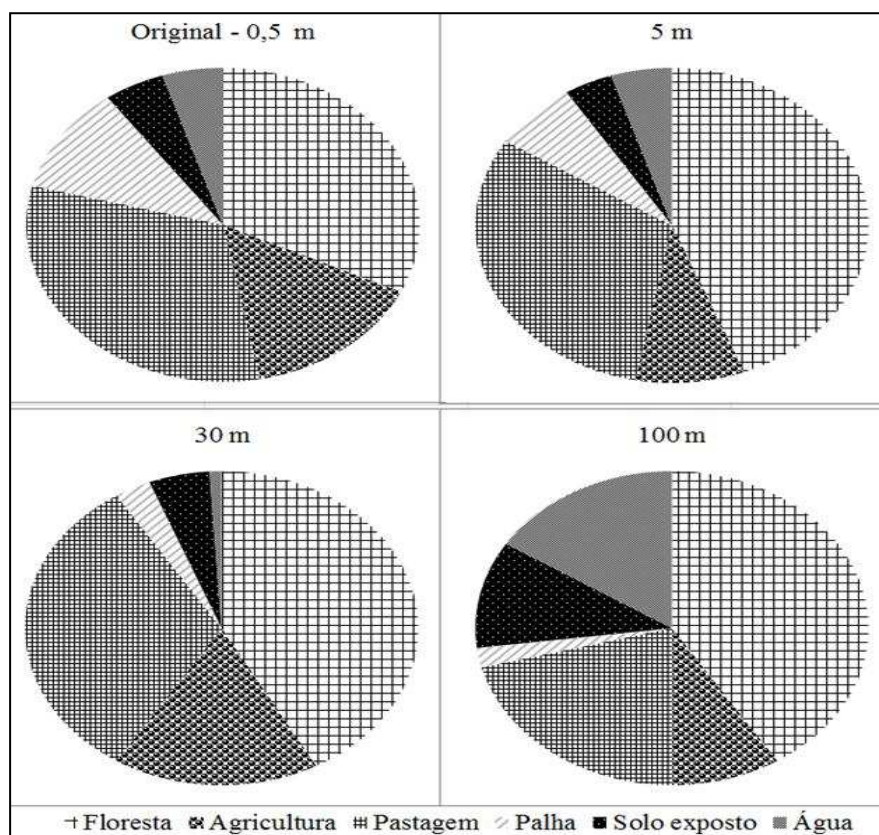


FIGURA 4. Porcentagens das áreas das classes de uso de solo para cada classificação.

Fonte: os autores.

No entanto nem todos os elementos são bem classificados. A classe água acabou por apresentar variações muito contraditórias, pois nas duas primeiras imagens, sendo estas as de melhores resoluções espaciais, esteve em torno de 5% da área total, depois ocorreu uma queda para 1% e em seguida para 16% da área total. Isso representa que a reamostragem dos pixels acaba por misturar muita informação, confundindo o classificador, sendo necessário também um novo treinamento, com aquisição de maior número de pixels nas regiões de interesse.

As matrizes de confusão serviram para a avaliação da qualidade das classificações. Consistem no cruzamento pixel-a-pixel entre a classificação de referência e as classificações MaxVer. A partir desse cruzamento, foi possível calcular a acurácia global e o índice Kappa. Ambos os índices são indicativos da qualidade das classificações. A avaliação da classificação da imagem de 0,5 m mostrou que os cruzamentos das classes palha (83,87%) e solo (66,77%) apresentaram mais da metade de acerto na classificação. Entretanto, as demais classes não apresentaram uma boa acurácia, como é observado na classe agricultura, em que apenas 17,84% do total foram classificados corretamente, enquanto um valor maior dessa classe foi atribuído para classe campo/pecuária (45,42%). Isso mostra que utilizando a imagem original, nem todas as feições do terreno são bem classificadas devido a grande heterogeneidade espectral da região. Portanto, ao analisar a acurácia global de 48,74% e o índice Kappa de 0,30, nota-se que pelos baixos valores a classificação não é satisfatória. Esses baixos valores de acerto refletem o pequeno número de classes utilizadas para a realização das classificações, de forma a limitar o classificador.

A avaliação do conjunto das classificações mostra que a imagem de 5 m permitiu obter a melhor estimativa do uso e ocupação do solo, considerando o classificador MaxVer (Tabela 2). A partir da imagem de 5 m, as classificações MaxVer tendem a apresentar uma rápida perda de qualidade a medida que a resolução espacial aumenta. Apesar dos baixos valores obtidos para as classificações, verificou-se que os erros de classificação tendem a ocorrer entre classes correlacionadas entre si em termos de padrão de resposta espectral (campo/pecuária e agricultura). Esse resultado mostra que o uso de atributos adicionais à resposta espectral (como forma e textura) pode resultar em melhores classificações do uso e ocupação do solo.

TABELA 2. Avaliação das classificações MaxVer com o índice Kappa e a Acurácia Global, calculados a partir da matriz de confusão.

Imagem (m)	Índice Kappa	Acurácia Global (%)
0,5	0,30	48,74
5	0,30	50,53
30	0,24	47,13
100	0,12	33,86
250	0,01	04,34

Partindo para a matriz de confusão da melhor classificação (5 m) (Tabela 3), as classes palha e solo tiveram uma redução na porcentagem de classificação correta (78,70% e 55,22%) Porém, na classe floresta pode ser observado um aumento em relação à classificação anterior, apresentando 68,79% de acerto. Entretanto, ainda é um valor muito baixo. As classes agricultura, campo/pecuária e floresta, devido à semelhança da coloração verde da imagem, geraram consideráveis erros de classificação. Nesse momento é importante destacar que a

utilização de classificadores orientados a objeto é recomendada para imagens de alta resolução espacial (< 5 m).

Considerando a possibilidade da aplicação de um classificador MaxVer para avaliações preliminares de áreas de preservação permanentes (APP), a resolução espacial da imagem utilizada é um fator importante. Dessa forma, usuários devem atentar para os efeitos derivados de diferentes resoluções espaciais.

TABELA 3. Avaliação da classificação gerada a partir das imagens com resolução espacial de 5 m. Matriz de confusão em porcentagem.

Classe	Água	Agricultura	Solo	Palha	Pastagem	Floresta	Total
Água	44,09	6,33	2,01	2,55	5,32	3,80	4,95
Agricultura	1,143	11,01	0,42	0,28	4,14	14,13	9,41
Solo	0,22	0,90	55,22	2,08	1,34	0,19	3,56
Palha	8,17	7,75	13,00	78,70	6,26	0,86	7,53
Pastagem	22,51	52,06	23,74	13,02	47,20	12,20	30,58
Floresta	23,44	21,75	5,42	3,32	35,67	68,79	43,88
Total	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00

CONCLUSÕES

A análise dos resultados das classificações de uso e ocupação da terra geradas e suas comparações permitiu concluir que tanto a imagem original (0,5 m), como as imagens redimensionadas para maiores tamanhos de pixel, não são apropriadas quando utilizadas como base para geração de classificações supervisionadas do tipo MaxVer em bacias hidrográficas de pequeno porte com agricultura familiar e alta frequência espacial.

Os resultados mostraram que a partir de cinco metros de resolução espacial, à medida que a resolução aumenta a qualidade da classificação MaxVer diminui. As distorções são derivadas da grande heterogeneidade no uso e na ocupação da terra e da pequena disponibilidade de amostras para o treinamento do algoritmo. Os melhores resultados foram encontrados para a imagem de cinco metros de resolução espacial.

Cautela quando este tipo de classificação supervisionada for utilizado para mapeamentos preliminares em imagens de média e baixa resolução espacial (< 5 m). Além disso, estudos de microbacias hidrográficas com utilização de imagens de alta resolução espacial (< 5 m) requerem a aplicação de classificações orientadas ao objeto, a utilização de um maior número de classes temáticas seguido de um pós-processamento, filtragem da imagem de entrada.

AGRADECIMENTOS

A Prefeitura Municipal de Taquaruçu do Sul – Rio Grande do Sul, por ter fornecido a imagem Worldview II para este estudo através da Secretaria de Agricultura e Meio Ambiente. A Fundação de Amparo a Pesquisa do Estado do Rio Grande do Sul (FAPERGS) pelo apoio financeiro (projeto ARD Processo: 12/0383-5 do edital 03/2012). A Universidade Federal de Santa Maria pelo apoio institucional.

REFERÊNCIAS

ALVARES, C. A.; STAPE, J. L.; SENTELHAS, P. C.; GONÇALVES, J. L. M.; SPAROVEK, G. Köppen's climate classification map for Brazil. **Meteorologische Zeitschrift**, Stuttgart, p. 941-948, 2013.

BEGON, M.; HARPER, J. L.; TOWNSEND, C. R. **Ecologia: de indivíduos a ecossistemas**. 4ª ed. Porto Alegre: Artmed, 2007. 752p.

BEZERRA, J. M.; SILVA, P. C. M.; BATISTA, R. O.; FEITOSA, A. P. Uso de geotecnologias para avaliação ambiental da deterioração do município de Mossoró. **Revista de Geografia**, Recife, v. 28, n. 3, p. 127-140, 2011.

CAVALCANTI, J. E. A.; AGUIAR, D. R. D. **Política agrícola e desenvolvimento rural**. Viçosa/MG, Universidade Federal de Viçosa. 1996. 202p.

DIGITAL GLOBE. **Spectral Response for Digital Globe WorldView 1 and Worldview 2 Earth Imaging Instruments**. Disponível em: <http://www.digitalglobe.com/downloads/spacecraft/WV1_WV2_SpectralResponse.pdf>. Acesso em: 20 de dezembro de 2010.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA – EMBRAPA. **Coleção o Brasil Visto do Espaço - Brasil em Relevo. Embrapa Monitoramento por Satélite**. [online], 2014. Disponível em: <http://www.relevobr.cnpm.embrapa.br/rs/hth0/rs11_52.htm>. Acesso em: 20 de janeiro de 2014.

FERREIRA, S. L. S.; OKA-FIORI, C.; KOZCIAK, S. Análise multitemporal da erosão nas bacias hidrográficas dos rios São João, Iporã e do Prado, Altônia - PR, decorrente da dinâmica agropastoril. **Revista Caminhos de Geografia**, Uberlândia, v. 13, n. 44 p. 15–34, 2012.

HUDSON, W. D.; RAMM, C. W. Correct formulation of the kappa coefficient of agreement. **Photogrammetric Engineering & Remote Sensing**, Maryland, v. 53, n. 4, p. 421-422, 1987.

INSTITUTO NACIONAL DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA – IBGE. **Censo demográfico de 2010. IBGE – Cidades. Rio Grande do Sul**. [online], 2010. Disponível em: <<http://www.cidades.ibge.gov.br/painel/populacao.php?lang=&codmun=432132&search=rio-grande-do-sul|taquarucu-do-sul|infograficos:-evolucao-populacional-e-piramide-etaria>>. Acesso em: 20 de fevereiro de 2014.

INTERNATIONAL TELEPHONE AND TELEGRAPH - ITT. **Visual Information Solutions**. ENVI – IDL 4.6. Boulder, USA. 2008.

JENSEN, J. R. **Sensoriamento Remoto do Ambiente: Uma perspectiva em recursos terrestres**. University of South Carolina. São Paulo: Ed. Parêntese. 2009. 672p.

LOCH, C. A. **Interpretação de imagens aéreas: noções básicas e algumas aplicações nos campos profissionais**. 5ª ed. Florianópolis: Editora da UFSC, 2008. 103p.

MIRANDA, J. I. **Fundamentos de Sistemas de Informações Geográficas**. 2ª ed. n 4259. Brasília, DF: Embrapa Informática Agropecuária. 2010.

JONATHAN, M. **Classificação do uso e cobertura do solo em escala regional a partir de sequências temporais de dados MODIS**. 2005. 147f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Computação) Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro.

PRIMAVESI, A. **Manejo ecológico do solo**. 18 ed. São Paulo: Nobel, 2006.

SCOLARI, D. D. G. **Produção agrícola mundial: o potencial do Brasil**. Embrapa Roraima. 2009. 42p. Disponível em:<
http://www.abifina.org.br/arquivos/abf_publicacoes/producao_agricola_mundial.pdf>. Acesso em: 22 de fevereiro de 2014.

SECRETARIA ESTADUAL DO MEIO AMBIENTE – RIO GRANDE DO SUL (SEMA/RS). **O Plano de Manejo do Parque Estadual do Turvo - RS**. Porto Alegre: SEMA, 2005. Disponível em:
<www.sema.rs.gov.br/upload/Plano_manejo_PETurvo.pdf>. Acesso em: 19 de fevereiro de 2014.