



Análise da relação entre a evolução florestal e a declividade utilizando imagens Landsat

Juliana MARCHESAN¹*, Letícia Daiane PEDRALI¹, Juliana TRAMONTINA¹,
Elisiane ALBA¹, Eliziane Pivoto MELLO¹, Rudiney Soares PEREIRA¹

¹ Departamento de Engenharia Rural, Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, Rio Grande do Sul, Brasil.

* E-mail: marchesan.ju@gmail.com

Recebido em outubro/2015; Aceito em janeiro/2016.

RESUMO: O presente estudo teve por objetivo analisar a evolução da cobertura florestal e sua relação com a declividade, no município de Agudo, RS, entre os anos de 2010 e 2014. Foram utilizadas imagens do satélite Landsat 5, para o ano de 2010, e Landsat 8, para o ano de 2014, para o mapeamento do uso e cobertura da terra, por meio da classificação MaxVer, criando-se quatro classes: “Floresta”, “Agricultura/Pecuária”, “Solo Exposto” e “Água”. O mapa de declividade foi gerado a partir de dados de radar SRTM (*Shuttle Radar Topography Mission*), com a criação de quatro classes de declividade: inferior à 15°, entre 15° e 30°, entre 30° e 45° e superior à 45°. O aplicativo SPRING 5.1.8 foi utilizado para o processamento dos dados. Para quantificar a transição entre as classes de uso e cobertura da terra utilizou-se a programação LEGAL (Linguagem Espacial de Geoprocessamento Algébrico), após realizou-se o cruzamento entre o mapa de declividade e o de evolução florestal. A partir dos resultados obtidos, verificou-se que aproximadamente 70% da área de estudo possui declividade menor ou igual a 15°, evidenciando que no município predominam terrenos planos, suavemente ondulado e ondulado, a agricultura e pecuária são predominantes nessas áreas, enquanto que as florestas predominam em declividades maiores, porém a regeneração florestal foi maior em áreas com declividade de até 15° totalizando um aumento de 2.611,11 ha. Portanto, nota-se que as áreas de floresta estão aumentando e ocupando áreas que anteriormente eram ocupadas por agricultura ou pecuária.

Palavras-chave: classificação MaxVer, programação LEGAL, sensoriamento remoto.

Relationship analysis between forest evolution and declivity using Landsat images

ABSTRACT: This study aimed to analyze the evolution of forest cover and its relationship with the declivity in the city of Agudo, RS, Brazil, between the years 2010 and 2014. We used Landsat 5 satellite images, for the year 2010, and Landsat 8 images, for the year 2014, in order to produce the mapping of the use and coverage of the land, through MaxVer classification, thus generating four classes: “Forest”, “Agriculture/Livestock”, “Exposed Soil” and “Water”. The declivity map was generated from SRTM radar data (*Shuttle Radar Topography Mission*), with the production of four declivity classes: less than 15°, between 15° and 30°, between 30° and 45° and more than 45°. The SPRING 5.1.8 application was used for data processing. With the purpose of quantifying the transition between the classes of use and coverage of the land, we used the LEGAL programming (Spatial Language for Algebraic Geoprocessing). Then, we held the intersection between the declivity map and the forest evolution map. From the obtained results, we found that approximately 70% of the study area has declivity less than or equal to 15°, thus indicating the predominance of flat lands, mildly wavy and wavy, in the municipal territory. Agriculture and livestock are predominant in these areas, whilst forests are predominant in bigger declivities, but the forest regeneration was greater in areas with declivity of up to 15°, totaling an increase of 2,611.11 ha. Therefore, one should realize that forest areas are increasing and occupying areas that were formerly occupied by agriculture or livestock.

Keywords: MaxVer classification, LEGAL programming, remote sensing.

1. INTRODUÇÃO

O estudo das interações existentes entre a declividade e o uso da terra é importante para identificação de áreas propensas a degradação, pois a intensificação da agricultura e da pecuária extensiva provocou diversos processos de modificação no uso e cobertura da terra, acarretando na diminuição das áreas florestais e no aumento de áreas degradadas.

A declividade da superfície do solo produz, em conjunto com outros fatores, uma variedade de situações ambientais, tais como: gradientes de umidade no solo entre o topo e a base da vertente; favorecimento do transporte de partículas de solo ao longo do perfil; interferência na organização vertical do dossel, ocasionando variações nos ângulos de penetração e distribuição de luz no interior de florestas; promoção da aparente elevação da copa de indivíduos menores e mais jovens de áreas

superiores, de modo que alcancem mais rápido o dossel em áreas de declividade acentuada (GANDOLFI, 2000). As variações na topografia, além de terem sido utilizadas para investigar a pedogênese, têm também sido alvo para estudos da distribuição da vegetação (NOBRE, 1989).

Por esses motivos, nos últimos anos tornou-se relevante analisar as mudanças de uso e cobertura da terra para a compreensão das dinâmicas e processos que atuam nos diferentes espaços, e com as informações geradas por estas análises, auxiliar no planejamento ambiental, na definição de áreas prioritárias para a recuperação (SEABRA et al., 2015).

O município de Agudo-RS, apresenta uma economia baseada no setor agrícola, onde encontra-se uma vasta área ocupada por várzea, que propicia o cultivo de seu principal produto, o arroz, seguido do fumo (IBGE, 2013). Desse modo, ao longo da ocupação de seu território, as áreas de floresta foram cedendo espaço para esses cultivos, a rizicultura ocupando áreas destinadas muitas vezes as matas ciliares, e a fumicultura gerando desmatamento em áreas mais declivosas.

As mudanças ocorridas na cobertura florestal devido ao aumento desenfreado da agricultura são claramente percebidas e necessitam serem localizadas e quantificadas, nesse sentido, as técnicas de Sensoriamento Remoto e Sistemas de Informação Geográfica (SIG) são de extrema importância, visto que, a obtenção dos resultados é de forma relativamente rápida e eficaz.

Uma nova abordagem para estas questões ecológicas surgiu com a possibilidade de se trabalhar com as relações entre elementos da paisagem, utilizando informação espacial. A forma mais usual de representação da informação espacial é por meio de mapas. Eles permitem visualizar áreas ou fenômenos específicos e perceber conexões, padrões e estruturas referentes ao objeto mapeado (KRAAK; ORMELING, 1996).

Diante do exposto, o presente estudo tem por objetivo analisar a evolução da cobertura florestal em diferentes declividades, no município de Agudo, Rio Grande do Sul, entre os anos de 2010 e 2014, por meio de imagens de satélite e técnicas de geoprocessamento.

2. MATERIAL E MÉTODOS

2.1. Área de estudo

O município de Agudo localiza-se na região central do estado do Rio Grande do Sul (Figura 1), entre as coordenadas geográficas 29°27'6" e 29°49'59" de latitude sul e 53°24'18" e 52°59'39" de longitude oeste, sua extensão territorial é de

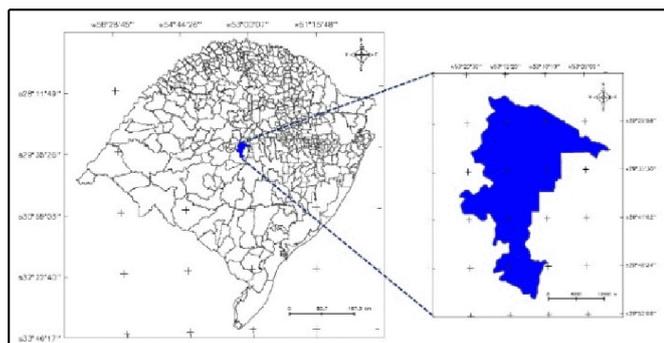


Figura 1. Localização do município de Agudo no estado do Rio Grande do Sul

aproximadamente 537 Km² com uma população estimada de 17.120 habitantes (IBGE, 2013).

O município está posicionado na transição entre a Depressão Central, constituída de rochas sedimentares da Bacia do Paraná, apresentando relevos suaves a ondulados, e o Planalto, formado por rochas vulcânicas da formação Serra Geral, que apresentam um relevo aproximadamente tabular, muito escavado pelos rios (STRECK et al., 2008). A vegetação original predominante dessa região é denominada de Floresta Estacional Decidual, porém, atualmente, encontra-se apenas remanescentes dessa formação nativa (MARCHIORI, 2002).

De acordo com a classificação de Köppen, o clima da região é subtropical úmido (Cfa), com temperaturas que variam entre 14°C e 25°C, as precipitações, por sua vez, são distribuídas durante o ano, apresentando média anual de 1.700 mm (MORENO, 1961).

2.2. Material

Utilizou-se imagens Landsat, sendo uma imagem do satélite Landsat 5, sensor *Thematic Mapper* (TM), com resolução espacial de 30 metros, bandas espectrais 1, 2, 3, 4, 5 e 7, órbita-ponto 222-081, datada de 18/02/2010, e uma imagem do satélite Landsat 8, sensor *Operational Land Imager* (OLI), constituída pelas bandas visíveis e do infravermelho (2, 3, 4, 5, 6 e 7) com resolução espacial de 30 metros, órbita-ponto 222-81, datada de 28/01/2014, ambas as imagens são disponibilizadas gratuitamente pelo *United States Geological Survey* (USGS).

O aplicativo computacional utilizado foi o SPRING - Sistema de Processamento de Informações Georreferenciadas (CÂMARA et al., 1996) versão 5.1.8 para processamento e análise das imagens.

2.3. Métodos

No *software* SPRING foi criado um banco de dados espaciais, onde foram importadas as imagens e o arquivo vetorial correspondente ao polígono limite da área de estudo. No projeto foi utilizado a projeção *Universal Transverse Mercator* (UTM) e o Datum WGS 1984 (*World Geodetic System*). As imagens foram adquiridas georreferenciadas, desse modo, não foi necessário o georreferenciamento das mesmas.

Para que fosse possível amostrar a área de estudo e assim classificar as imagens, foi necessário realizar testes de composição de bandas, com o objetivo de selecionar as melhores combinações para diferenciar os alvos de interesse. Após realizou-se a classificação de forma supervisionada "pixel a pixel" por meio do algoritmo MaxVer (Máxima Verossimilhança), pois segundo Venturieri; Santos (2003) esse é um dos métodos iterativos de classificação mais utilizado por apresentar sob certos aspectos maior precisão na classificação.

Para o mapeamento temático foram definidas quatro classes de uso da terra: "Floresta" que corresponde à florestas nativas e plantadas, "Agricultura/Pecuária" incluem campos naturais, pastagens plantadas, vegetação rasteira, além de áreas com plantio agrícola, "Solo Exposto" referente à solos agrícolas em preparação ou em pousio e "Água" que incluem rios, arroios, banhados e açudes.

Utilizou-se o coeficiente *Kappa*, proposto por Cohen (1960), para avaliar a eficiência da classificação. Os resultados foram gerados diretamente no aplicativo SPRING, onde, para o cálculo do coeficiente, é utilizada a Matriz de Confusão (também chamada de Matriz de Erros ou Tabela de Continência), em

que apresenta a distribuição dos pixels classificados correta ou erroneamente, indicando assim, o quanto o classificador de uma imagem confunde uma classe com outra. A tabela proposta por Landis; Koch (1977) foi utilizada para avaliar a qualidade da classificação (Tabela 1).

Após a classificação do uso e cobertura da terra, realizou-se a programação em Linguagem Espacial de Geoprocessamento Algébrico (LEGAL) para analisar a evolução da cobertura florestal durante o período de estudo, realizando o cruzamento dos mapas de uso e cobertura da terra. Desse modo, foram criadas quatro novas classes: “Manutenção Florestal” são áreas correspondentes de florestas que não sofreram alterações entre os anos de estudo, “Expansão Florestal” áreas em que seu uso foi convertido para floresta no último ano, neste caso enquadra-se áreas de regeneração natural e/ou de recuperação ambiental, “Desmatamento” são áreas de floresta que foram subtraídas e convertidas para outro uso e “Outros usos” que se referem às áreas ocupadas pelos demais usos (Agricultura/Pecuária, Solo Exposto e Água) que se mantiveram inalteradas nos anos de estudo.

Tendo gerado uma representação temática das áreas florestais que sofreram alteração entre 2010 e 2014, o próximo passo foi a criação do mapa de declividade. Para tal, utilizou-se dados de radar SRTM (*Shuttle Radar Topography Mission*) obtidos no Banco de Dados do Projeto Topodata, na qual oferece o Modelo Digital de Eleveção (MDE) com resolução espacial de aproximadamente 30 metros, processo este que foi realizado por meio da interpolação geoestatística dos dados originais, que apresentam resolução espacial de aproximadamente 90 metros.

Tabela 1. Qualidade da classificação segundo intervalos do coeficiente *Kappa*

Valor <i>Kappa</i>	Qualidade da classificação
<0,00	Péssima
0,00 – 0,20	Ruim
0,20 – 0,40	Razoável
0,40 – 0,60	Boa
0,60 – 0,80	Muito Boa
0,80 – 1,00	Excelente

No *software* SPRING, após o processo de geração do mapa de declividade, foi realizado o mapeamento temático desta, para isto foram definidas quatro classes de declividade: inferior a 15°, entre 15° e 30°, entre 30° e 45° e superior a 45°. A definição das referidas classes teve por objetivo analisar também como estão ocorrendo os desmatamento e as regenerações florestais em Áreas de Preservação Permanente (APPs), que segundo o Novo Código Florestal Lei nº 12.561/2012 considera-se APP encostas ou partes dessas com declividade superior a 45°.

Para a quantificação das classes de uso e cobertura da terra em cada classe de declividade foi realizado o cruzamento dos planos de informação por meio da programação LEGAL, do mesmo modo, efetuou-se o cruzamento dos planos de informação da declividade e da evolução da cobertura florestal.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Através da classificação supervisionada das imagens dos anos de 2010 e 2014, foram obtidos os mapas de uso e cobertura da terra. Para esses mapas, os resultados do coeficiente *Kappa* foram respectivamente: 0,970 (97,0%) e 0,956 (95,6%), portanto enquadra-se em uma classificação “excelente” de acordo com a Tabela 1.

Com a geração do mapa de declividade, notou-se que aproximadamente 70% da área de estudo possui declividade menor ou igual a 15°, evidenciando que o município é predominante de terrenos planos, suavemente ondulado e ondulado, o mesmo pode ser observado na Figura 2. Enquanto que áreas com relevo acima de 30° representam apenas 4% da área total do município. Segundo Schirmer (2011) o município de Agudo é caracterizado por três regiões distintas, uma é composta por extensa área de planície de inundação, outra é formada pelo rebordo do planalto e a terceira por uma área suavemente ondulada de altitudes elevadas.

Segundo Roos; Figueiró (2012) o município de Agudo apresenta sua economia baseada no setor agropecuário onde os principais produtos são o arroz, o fumo e o milho, com predomínio de pequenas propriedades. No presente estudo

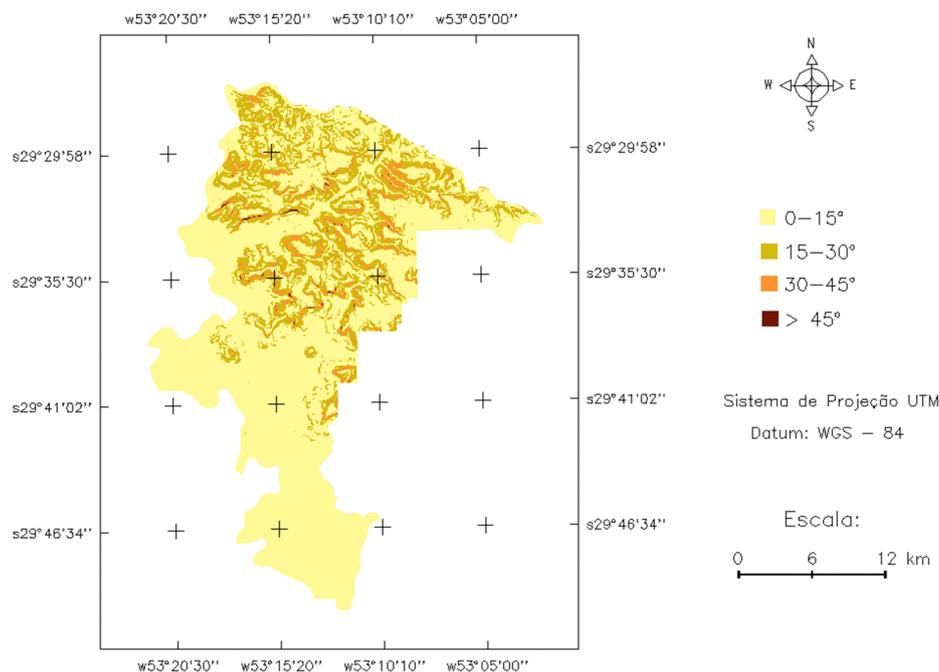


Figura 2. Mapa de declividade do município de Agudo, RS

observou-se que o uso da terra que predomina no município é voltado para fins de agricultura e pecuária, que compreende as classes “Agricultura/Pecuária” e “Solo Exposto”. Schirmer (2011) através de estudo realizado na mesma região constatou que, as lavouras, os campos, e a pecuária estão situadas predominantemente nas áreas de fundo de vale, colinas suavemente onduladas e patamares entre-escarpas, sendo essas áreas de menor declividade.

Com os resultados obtidos na Tabela 2 e 3, nota-se que em declives de até 15° predominam áreas de cultivo agrícola e pecuária, enquanto que em áreas com declives maiores, ou seja, acima de 15°, predominam áreas cobertas por florestas. Este fato ocorre porque as áreas declivosas dificultam a ação antrópica, pois impedem o acesso e consequentemente o desenvolvimento de atividades produtivas.

No ano de 2010 as áreas ocupadas pelas classes “Agricultura/Pecuária” e “Solo Exposto” abrangiam aproximadamente 78,0% da área referente à declividade entre 0° e 15°. Porém, conforme essa declividade aumenta as áreas ocupadas por essas duas classes vão se tornando menos expressivas. O contrário ocorre com as áreas de florestas, em que 68% da área ocupada por floresta se encontra em declividades superiores a 15°. No ano de 2014 as áreas abrangidas por agricultura e pecuária diminuíram suas áreas em todas as declividades estudadas, enquanto que a classe “Floresta” aumentou sua representatividade em todas as declividades em estudo.

Nas Áreas de Preservação Permanente, referentes a declividade superior à 45°, nota-se que sua maior abrangência está ocupada por florestas, porém 5,76 ha (correspondente a 6% dessa área) são ocupados por agricultura e pecuária, no ano de 2010. No ano de estudo seguinte, 2014, houve um aumento das áreas florestais e uma consequente redução das áreas de pecuária e agricultura, isso nos mostra indícios de maior fiscalização sobre essas áreas.

Com os resultados da programação LEGAL foi possível analisar a evolução florestal durante o período de estudo, conforme mostra a Tabela 4. Observa-se que o maior desmatamento ocorre em áreas com pouco declive, sendo este possivelmente relacionado a retirada de árvores para o cultivo agrícola e demanda fumicultora.

Tabela 2. Quantificação das classes temáticas em diferentes classes de declividade, no município de Agudo, RS, no ano de 2010

2010 – Área em ha				
Declividade	Floresta	Agricultura/ Pecuária	Solo exposto	Água
0° – 15°	7.980,21	26.255,88	3.961,26	961,38
15° – 30°	7.570,35	3.936,24	252,18	4,68
30° – 45°	1.796,94	298,08	12,69	0,00
>45°	89,19	5,31	0,45	0,00
Total	17.489,25	30.682,35	4.269,96	1.275,00

Tabela 3. Quantificação das classes temáticas em diferentes classes de declividade, no município de Agudo, RS, no ano de 2014

2014 – Área em ha				
Declividade	Floresta	Agricultura/ Pecuária	Solo exposto	Água
0° – 15°	9.463,78	25.324,71	3.719,61	650,52
15° – 30°	8.298,91	3.240,27	220,05	4,32
30° – 45°	1.859,41	235,89	12,42	0,00
>45°	90,9	3,78	0,27	0,00
Total	19.774,72	29.031,67	3.964,69	945,51

Tabela 4. Evolução florestal em diferentes classes de declividade entre 2010 e 2014

Entre 2010 e 2014 (área em ha)				
Declividade	Manut.	Regen.	Desmat.	Outros usos
0° – 15°	6.851,97	2.611,11	1.127,97	28.566,81
15° – 30°	7.237,53	1.061,28	332,82	3131,82
30° – 45°	1.762,65	96,66	34,29	214,11
>45°	88,11	2,79	1,08	2,97
Total	15.974,59	3.801,18	1.512,63	32.428,19

Manut. = Manutenção Florestal; Regen. = Regeneração Florestal; Desmat. = Desmatamento Florestal.

Através da análise dos resultados do mapeamento da evolução florestal em cada declividade estudada, nota-se que em terrenos com até 15° de declive houve desmatamento de 1.127,97 ha, porém a regeneração dessa mesma área foi de 2.611,81 ha, na qual somando-se a área em que manteve-se a cobertura florestal tem-se uma área florestal total de 9.463,78 ha.

Em áreas com declividade superior a 15° observa-se a mesma tendência da declividade anterior, ou seja, há ocorrência de desmatamentos, porém estes são em áreas relativamente pequenas quando comparados às áreas de regeneração florestal.

Estes resultados, juntamente com os anteriores, evidenciam o cumprimento do Código Florestal Brasileiro aprovado em 1965, e reformulado em 2012, onde juntamente com a pressão dos órgãos ambientais, trouxeram restrições às práticas dos agricultores, limitando o corte de florestas principalmente em Áreas de Preservação Permanente, em áreas de mata ciliar e de declividade do terreno superior à 45° (ITAQUI, 2002; FERRARI, 2008).

4. CONCLUSÕES

Com a realização deste estudo pode-se notar que houve um aumento das áreas de floresta durante o período de estudo, porém, quanto ao uso da terra é evidente o predomínio da agricultura e pecuária. As áreas de desmatamento foram supridas pela regeneração ocorrida neste período, o que mostra uma diminuição no corte de árvores nesta região.

Estes fatos podem estar relacionados ao aumento das fiscalizações e cumprimento das leis vigentes, ao êxodo rural (fenômeno crescente nos últimos anos) e até mesmo a conscientização da população em relação à preservação ambiental.

Os resultados obtidos mostraram o potencial das técnicas de Geoprocessamento e Sensoriamento Remoto para geração de mapas de uso e cobertura da terra e de declividade além de ser possível o cruzamento dessas duas informações. De um modo geral, através da programação LEGAL foi possível melhor entender e apresentar a relação existente entre a declividade e o uso da terra na área de estudo.

Tais mapas gerados poderão auxiliar em futuros planejamentos de recuperação de áreas degradadas, além de serem aproveitados por gestores para tomada de decisão ambiental e agrícola.

5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

CÂMARA, G.; SOUZA, R. C. M.; FREITAS, U. M.; GARRIDO, J. Spring: Integrating remote sensing and GIS by object-oriented data modelling. *Computers & Graphics*, v. 20, n. 3, p. 395-403, 1996. [http://dx.doi.org/10.1016/0097-8493\(96\)00008-8](http://dx.doi.org/10.1016/0097-8493(96)00008-8)

- COHEN, J. A. Coeficient of agreement for nominal scales. **Journal of Educational and Measurement**, Washington, v. 20, n. 1, p. 37-46, 1960.
- FERRARI, R. **Modelagem Dinâmica do Uso e Cobertura da Terra da Quarta Colônia, RS**. 2008. 130 f. Dissertação (Mestrado em Geomática) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2008.
- GANDOLFI, S. **História natural de uma floresta estacional semidecidual no município de Campinas (SP, Brasil)**. 2000. 520 f. Tese (Doutorado em Ciências) –Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2000.
- IBGE. **Produção Agrícola Municipal 2012**. Rio de Janeiro: IBGE, 2013.
- INPE – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. Disponível em: <<http://www.inpe.br>>. Acesso em: 10/09/2014.
- ITAQUI, J. **Quarta Colônia** – Inventário Técnico de Flora e Fauna. Santa Maria: Condesus, 2002.
- KRAAK, M. J.; ORMELING, F. J. **Cartography – visualization of spatial data**. Inglaterra: Longman Group United Kingdom, 1996. 205 p.
- LANDIS, J.; KOCH, G. G. The measurements of agreement for categorical data. **Biometrics**, Washington, v. 33, n. 3, p. 159-179, 1977.
- MARCHIORI, J. N. C. **Fitogeografia do Rio Grande do Sul: enfoque histórico e sistemas de classificação**. Porto Alegre: Ed. EST, 2002. 118p.
- MORENO, J. A. **Clima do Rio Grande do Sul**. Porto Alegre: Secretaria da Agricultura, 1961. 42 p.
- NOBRE, A. D. **Relação entre matéria orgânica e mineral de uma topossequência Latossol-Podzol e a cobertura de floresta tropical úmida na bacia do rio Curiaú, Amazônia Central**. 1989. 100 f. Dissertação (Mestrado em Biologia) INPA, Manaus, 1989.
- ROOS, A.; FIGUEIRÓ, A. S. Interpretando a transformação da paisagem no município de Agudo (RS) a partir da história ambiental. **Revista Geonorte**, Manaus, v. 3, n. 4, p. 1032-1044, 2012.
- SCHIRMER, G. J. Análise do uso do solo e sua relação com o relevo no município de Agudo, RS. **Revista Geográfica da América Central**, Costa Rica, v. 2, n. 47E, p.1-18, 2011.
- SEABRA, V. DAS.; XAVIER, R. A.; DAMASCENO, J.; DORNELLAS, P. DA C. Análise das mudanças de uso e cobertura da terra na bacia do rio Taperoá-PB entre os anos de 1990 e 2009. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO (SBSR), 16. (SBSR), 2015, João Pessoa, PB. **Anais...** São José dos Campos: INPE, 2015. p. 108-115. On-line. ISBN 978-85-17-0076-8. Disponível em: <<http://www.dsr.inpe.br/sbsr2015/files/p0026.pdf>>. Acesso em: 17 set 2015.
- STRECK, E. V.; KÄMPF, N.; DALMOLIN, R. S. D.; KLAMT, E.; NASCIMENTO, P. C.; SCHNEIDER, P.; GIASSON, E.; PINTO, L. F. S. **Solos do Rio Grande do Sul**. Porto Alegre: EMATER-RS/UFRGS, 2008. 222 p.
- VENTURIERI, A.; SANTOS, J. R. DOS. Técnicas de classificação de imagens para análise da cobertura vegetal. In: ASSAD, E. D.; SANO, E. E. (Org.). **Sistemas de Informações Geográficas: Aplicações na Agricultura**. 2. ed. Brasília: EMBRAPA, 1998. p. 351-371.