

Modelagem Dinâmica do uso e cobertura da terra do município de Sobradinho-RS

Juliana Tramontina¹
Letícia Pedrali¹
Elisiane Alba¹
Eliziane Mello¹
Emanuel Araújo Silva¹
Rudiney Soares Pereira¹

¹ Universidade Federal de Santa Maria - UFSM
Caixa Postal 5082 - 97105-900 - Santa Maria - RS, Brasil
{tramontina.ju, emanuelmadster, elisianealba, rudiney.s.pereira}@gmail.com; {lepedrali, elizianemello}@yahoo.com.br

Abstract. Changes in use and cover land are evident and need to be quantified. Remote sensing and GIS present themselves as important tools for the observation, analysis and quantification of these changes. The dynamic modeling through dynamic spatial models seek to explain the occurrence of phenomena and their evolution over time considering the system as a whole, ie, the interactions between all components. The study area, the municipality of Sobradinho-RS, has the base of its economy on agriculture, mainly in the production of tobacco. For the processing of this culture is necessary drying which uses wood as a source of heat. This demand causes changes of uses and cover land. The aim of this study is modeling the spatial dynamics of use and cover land in the municipality of Sobradinho-RS, in the period between 2011 and 2013. A dynamic spatial modeling was three steps: construction and calibration of the model, simulation and validation, which were performed in Dinamica EGO software. The data model input encompassed dynamic and static variables. As dynamic variables, the thematic maps of use and cover land for the years 2011 and 2013. Maps of roads, hydrography, hypsometric, soils and geology of the study area were used as static variables. The simulated map of 2013, parameterized by Bayesian weights of evidence, satisfactory results obtained by the method of validation by the fuzzy similarity index. The parameterized model showed a high level of acceptance, which allows to perform simulations for future scenarios.

Palavras-chave: Dinamica EGO, remote sensing, similarity, Dinamica EGO, sensoriamento remoto, similaridade.

1. Introdução

A conversão de áreas de florestas para fins de atividades agrícolas ou expansão de território urbano para atender as demandas de consumo humano, têm sido os grandes causadores da diminuição da disponibilidade e da qualidade de florestas.

O Brasil possui a maior extensão de florestas tropicais do mundo, havendo uma enorme diversidade de formações florestais ao longo do território brasileiro e, que são vitais para manutenção do equilíbrio ambiental em escalas regional e global, como a manutenção do regime de chuvas, fluxo de água doce, conservação da biodiversidade, preservação das culturas tradicionais e mitigação das mudanças climáticas. Contudo, as florestas brasileiras vêm passando por uma rápida conversão para outros usos (Soares Filho e Hissa, 2010).

O município de Sobradinho-RS, possui a base da sua economia na atividade agrícola, principalmente na produção de fumo. De acordo com a UICN - *International Union for Conservation of Nature* (2014) a cadeia produtiva de tabaco é atualmente de grande importância econômica e social, sendo o Brasil o maior exportador do produto no mundo. O processamento das folhas de fumo implica na sua secagem. A secagem é realizada de forma convencional por meio do calor gerado da queima de madeira, as quais são obtida de plantios de espécies exóticas, como *Pinus* e *Eucalyptus*, afetando decisivamente a composição da paisagem.

As mudanças de uso da terra devido às demandas da atividade fumicultora na área de estudo são evidentes e necessitam ser devidamente quantificadas. Nesse sentido, o

sensoriamento remoto e o geoprocessamento apresentam-se como importantes ferramentas para a observação, análise e quantificação destas transformações.

As técnicas de sensoriamento remoto são ferramentas que desempenham um importante papel no processo de planejamento e reestruturação, as imagens permitem identificar as características dos objetos e correlacioná-los às origens dos agentes modificadores do espaço. Além disso, permitem verificar a extensão e a intensidade das alterações provocadas pelas ações antrópicas (Bias, 2002).

Os modelos dinâmicos, por sua vez, buscam explicar a ocorrência de fenômenos e sua evolução ao longo do tempo, sendo a grande vantagem do uso dos modelos de sistemas, neste caso, um modelo de simulação dinâmica espacial, é que estes procuram descrever o sistema como um todo, tentando representar as interações entre todos os seus componentes (Pedrosa e Camara, 2007). Uma característica chave destes modelos é a eficiência com que abordam a dimensão espacial, implementando conceitos como as relações de vizinhança e suportando o uso combinado de múltiplas escalas.

Com base nestas características, o objetivo deste estudo é a modelagem dinâmica espacial do uso e cobertura da terra do município de Sobradinho-RS, no período compreendido entre 2011 e 2013.

2. Metodologia de Trabalho

A área de estudo corresponde ao limite político do município de Sobradinho, localizado na região Centro-Serra do estado do Rio Grande do Sul, Brasil (Figura 1). Geograficamente está inserido entre as Longitudes $-52^{\circ} 56' 15''$; $53^{\circ} 05' 38''$ e Latitudes $-29^{\circ} 20' 22''$ e $-29^{\circ} 27' 51''$, possui extensão territorial de aproximadamente 130 km² e população equivalente a 14.904 habitantes no ano de 2014 (IBGE, 2014). O principal produto agrícola do município é o fumo, seguido de milho e soja (IBGE, 2012). Quanto ao clima, segundo a classificação Köppen é do tipo Cfa, subtropical úmido, sem estação seca (Moreno, 1961).

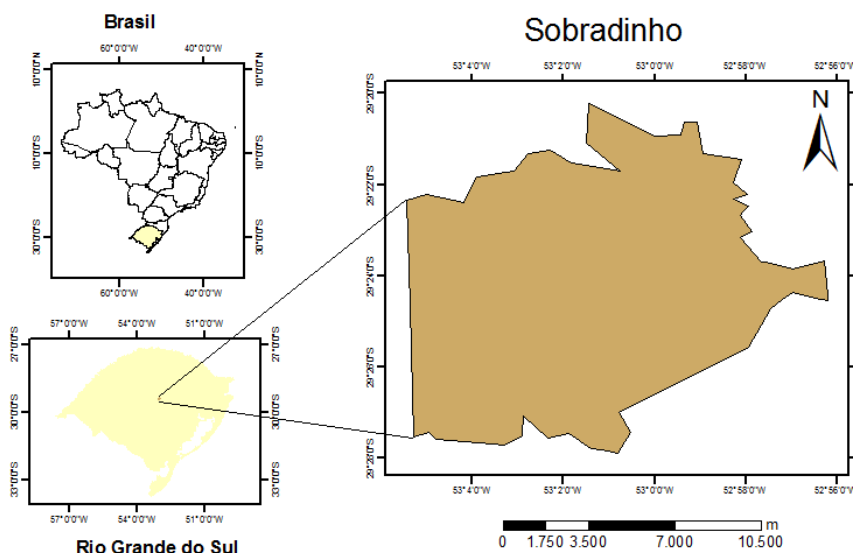


Figura 1. Localização da área de estudo, Sobradinho, Rio Grande do Sul, Brasil.

2.1 Dados de entrada

Os dados de entrada do modelo englobaram variáveis dinâmicas e estáticas. Como variáveis dinâmicas utilizou-se os mapas temáticos do uso e cobertura da terra para os anos de

2011 e 2013. Mapas de rede viária, hidrografia, hipsométrico, solos e geologia da área de estudo, foram utilizados como variáveis estáticas.

Os mapas de uso e cobertura da terra, referente aos anos 2011 e 2013, foram cedidos pelo projeto desenvolvido desde o ano 2011 pela Universidade Federal de Santa Maria, em parceria com o Sinditabaco - Sindicato Interestadual da Indústria do Tabaco. O projeto visa o monitoramento automatizado da Cobertura Florestal em áreas de Floresta Estacional Decidual na Região Centro-Serra do RS.

Os mapas de uso e cobertura da terra cedidos foram elaborados através da classificação supervisionada de dados multiespectrais do sistema sensor REIS (*RapidEye Earth Imaging System*), com resolução espacial de 5 m, dos meses de dezembro e setembro de 2011 e 2013, respectivamente. O algoritmo classificador utilizado foi o *Bhattacharya* e, as imagens segmentadas seguiram índices de similaridade 10 e área 100. A classificação considerou seis classes de uso e cobertura da terra: floresta nativa, floresta plantada, agricultura, solo exposto, campo e água. A área urbana foi digitalizada e recortada da área de estudo.

Os mapas de rede viária e rede hidrográfica foram geradas a partir de *Shapfiles* do estado do Rio Grande do Sul na escala 1:50.000, obtidos junto ao laboratório de Geoprocessamento da Universidade Federal do Rio Grande do Sul - UFRGS, e recortados para a área de estudo.

Os mapas de geologia e solo foram gerados tendo como base os *Shapfiles* do banco de dados da Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais (CPRM). Para a confecção do mapa de hipsometria, obteve-se, através do acervo de imagens do Instituto nacional de pesquisas espaciais (INPE), dados geomorfométricos da base reamostrada *Shuttle Radar Topography Mission (SRTM)* do projeto TOPODATA (Valeriano, 2008), para a cena 29S54.

Todos os mapas vetoriais foram convertidos para arquivos matriciais e editados para conter a mesma resolução espacial, número de linhas e colunas e o mesmo sistema de coordenadas.

A formação do banco de dados, entrada dos dados, armazenamento, manipulação e geração dos mapas vetoriais e edições, foram realizados no Sistema de Informações Geográfica SPRING versão 5.2.6 (Câmara et al., 1996). A projeção utilizada foi a *Universal Transversa de Mercator (UTM)*, *Datum WGS-84*.

2.2 Modelagem espacial dinâmica

A modelagem espacial dinâmica correspondeu a três etapas: construção e calibração do modelo, simulação e validação. Todas as etapas foram realizadas no *software* Dinamica EGO, na versão 2.4.1.

Iniciou-se a construção e calibração do modelo efetuando-se o cálculo das matrizes de transições históricas, as quais indicam a forma como as classes de uso e cobertura da terra variam em dois instantes de tempo distintos. Obteve-se nessa etapa as transições ocorridas anualmente, representada pela matriz *multiple step*, bem como, as transições ocorridas no intervalo total de estudo, que neste caso corresponde a dois anos, tempo decorrido entre o ano 2011 e 2013. Essas transições são apresentadas pela matriz *single step*.

A partir das taxas de transições utilizou-se o método de pesos de evidências baseado no teorema da probabilidade condicional de Bayes, adotado pelo Dinamica EGO, para definir as probabilidades de transição, ou seja, quais áreas mais favoráveis para possíveis mudanças (Soares Filho et al., 2009). Como resultado desse processo obteve-se um arquivo esqueleto dos pesos de evidência, o qual foi usado como entrada para o cálculo dos coeficientes, além do mapa de uso da terra final, inicial e as variáveis estáticas.

A suposição necessária para o método dos Pesos de Evidência é que os mapas de entrada devem ser espacialmente independentes. Para avaliar a correlação das variáveis utilizaram-se dois índices, o *índice de Cramer* e o *Join Information Uncertainty*. Como requisito para a seleção das variáveis permanecerem no modelo adotou-se um limiar de correlação 0,5, ou

seja, as variáveis que apresentaram correlação acima de 0,5 foram descartadas, sendo que, num intervalo de zero a um, as variáveis são independentes quando seu valor é igual a zero e completamente dependentes quando for igual a um.

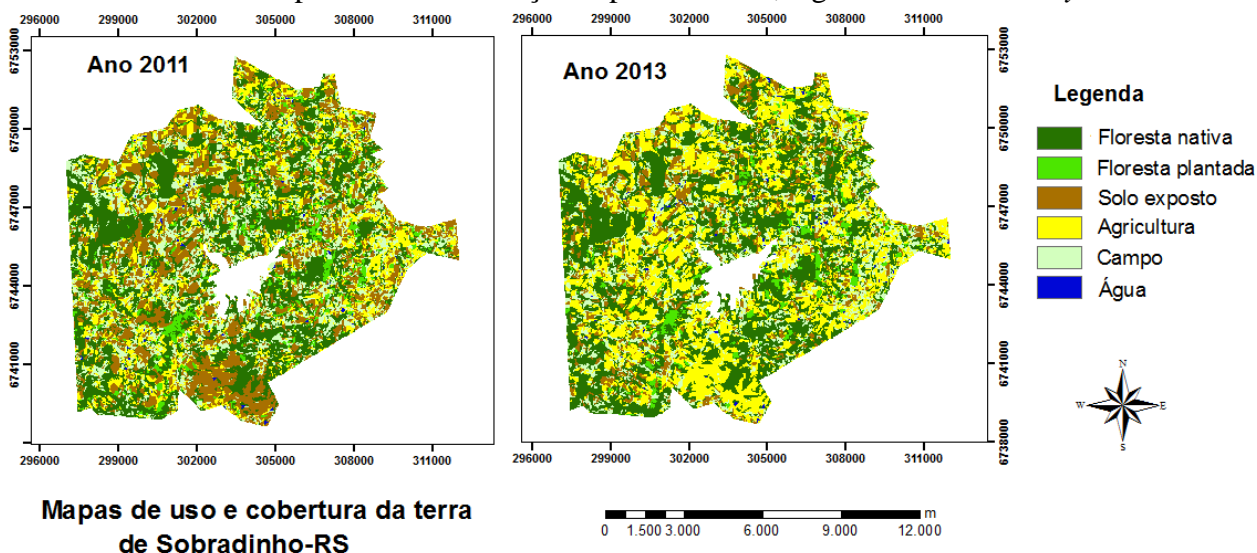
Para o modelo de simulação das transições dos padrões espaciais das classes de usos considerou-se os algoritmos *patcher* e *expander*, incorporados no Dinamica EGO, além da variância da área de mudança calculados no mapa de mudanças e o índice de isometria. Variando os parâmetros de entrada, testes foram realizados para obter o modelo mais adequado.

O modelo mais adequado foi definido através da validação do mesmo, que se deu mediante ao teste de comparação de similaridade *fuzzy* entre o mapa simulado de 2013 e o mapa de referência para a mesma data. Esse teste é uma adaptação do índice de similaridade *fuzzy* desenvolvido por Hagen (2003) para aplicação no *software* Dinamica EGO, e utiliza função de decaimento exponencial e função de decaimento constante (Soares Filho et al., 2009), os quais foram avaliados no estudo. Quanto mais próximo de 1, maior a similaridade entre os mapas. Assim, foram identificadas as distinções entre os mapas de uso final e inicial reais; e final simulado e inicial real.

3. Resultados e Discussão

Os mapas de uso e cobertura da terra do município de Sobradinho-RS, elaborados a partir da classificação supervisionada utilizando algoritmo *Bhattacharya*, dos anos 2011 e 2013 são apresentados na Figura 2. A Tabela 1 apresenta a quantificação correspondente a cada classe de uso e cobertura da terra de Sobradinho-RS, nos anos 2011 e 2013.

Figura 2. Mapas de uso e cobertura da terra de Sobradinho-RS, do ano 2011 e 2013, elaborados a partir da classificação supervisionada, algoritmo *Bhattacharya*.



De acordo com os dados apresentados na Tabela 1, observa-se que entre os anos de estudo a classe ocupada por floresta nativa obteve um acréscimo de 3,52%, referente a 448,02 ha da área de estudo, enquanto que a área de floresta plantada decresceu 1,71%, referente apenas a 217,75 ha da área total estudada. A diminuição das áreas cobertas por florestas plantadas e acréscimo das áreas ocupadas pela classe de florestas nativas é positivo, pois indica a preocupação com a manutenção destas áreas e demonstra que as ações para conservação das mesmas têm-se apresentado eficientes. Por outro lado, devido as atividades de fucicultura desenvolvidas no município demandarem recursos madeireiros para o

processamento do produto, a redução de áreas com floresta plantada poderá acarretar na pressão sobre as florestas nativas, das quais será extraída a matéria-prima demandada.

Tabela 1. Quantificação das classes de uso e cobertura da terra de Sobradinho-RS, dos anos 2011 e 2013.

Classes	Área em ha		Percentual em relação a área de estudo	
	2011	2013	2011	2013
Floresta nativa	4450,98	4899,00	34,97	38,49
Floresta plantada	632,67	414,92	4,97	3,26
Solo exposto	3172,45	1426,98	24,93	11,21
Agricultura	1998,68	3893,68	15,70	30,59
Campo	2432,13	2043,06	19,11	16,05
Água	40,35	50,29	0,32	0,40
TOTAL	12727,26	12727,93	100%	100%

Ainda de acordo com a Tabela 1, a classe campo e água foram as que apresentaram menor variação entre 2011-2013, sendo que na primeira ocorreu decréscimo de 3,06% (389,07 ha) e na segunda classe ocorreu acréscimo de cobertura de 9,94% (0,08 ha da área total de estudo).

Quanto as classe de agricultura, essa duplicou sua área efetiva entre os anos 2011 a 2013, passando de 15,70% do total da área de estudo para 30,59%, o equivalente a um acréscimo de 1895 ha. Em contrapartida, a classe solo exposto obteve uma queda considerável, o equivalente a 1745,47 ha. Da mesma forma, a classe campo apresentou redução de 389,07 ha. Essas alterações podem ser claramente observadas através da análise visual dos mapas de uso e cobertura da terra, apresentados na Figura 2. Percebe-se que as áreas ocupadas por solo exposto em 2011 cederam lugar para áreas ocupadas por agricultura em 2013, que pode estar relacionado com as diferentes fases de preparação do solo para as atividades de agricultura, uma vez que as imagens utilizadas para a extração das informações são de épocas distintas.

3.1 Calibração do modelo

As taxas de transição obtidas na etapa de calibração do modelo no Dinamica EGO, por meio do cálculo da matriz de transição, são dispostas na Tabela 2. As células sem representação e sombreadas indicam a mesma classe, onde não há transição.

Tabela 2. Taxas percentuais anuais de transição das classes de uso e cobertura da terra de Sobradinho-RS, do ano 2011 a 2013.

<i>Single step (2011-2013)</i>						
De/Para	Floresta Nativa	Floresta plantada	Solo exposto	Agricultura	Campo	Água
Floresta nativa		0,027	0,018	0,066	0,064	0,000
Floresta plantada	0,514		0,027	0,055	0,065	0,003
Solo exposto	0,064	0,006		0,592	0,176	0,003
Agricultura	0,106	0,011	0,238		0,236	0,002
Campo	0,200	0,015	0,142	0,356		0,004
Água	0,150	0,004	0,075	0,092	0,214	

Com base nas taxas obtidas na matriz de transição, procedeu-se a segunda etapa da calibração do modelo, a seleção das variáveis que comporiam o modelo. A escolha das variáveis se deu por meio da avaliação do *Índice de Cramer e Incerteza Conjunta*, que indicam a dependência espacial entre as variáveis. A variável estática geologia apresentou alta

correlação com a variável solo e hipsometria, sendo expressa por valores superiores 0,5. Sendo assim, optou-se pela exclusão da variável estática geologia.

3.2 Simulação e validação

Nesta etapa definiu-se os parâmetros para o algoritmo *patcher e expander*. Após alguns testes até obter o resultado esperado, comparando visualmente as mudanças de uso da terra ocorridas no período, obteve-se os seguintes parâmetros: 20, 20 e 1 para *Mean patch size*, *Patch size variance* e *Patch isometry*, respectivamente, sendo que os dois primeiros parâmetros são definidos pela unidade de área em hectare, e a isometria varia de 0 a 2. Por fim, efetuou-se a simulação.

O mapa simulado de uso e cobertura da terra para o ano 2013 é apresentado na Figura 3.

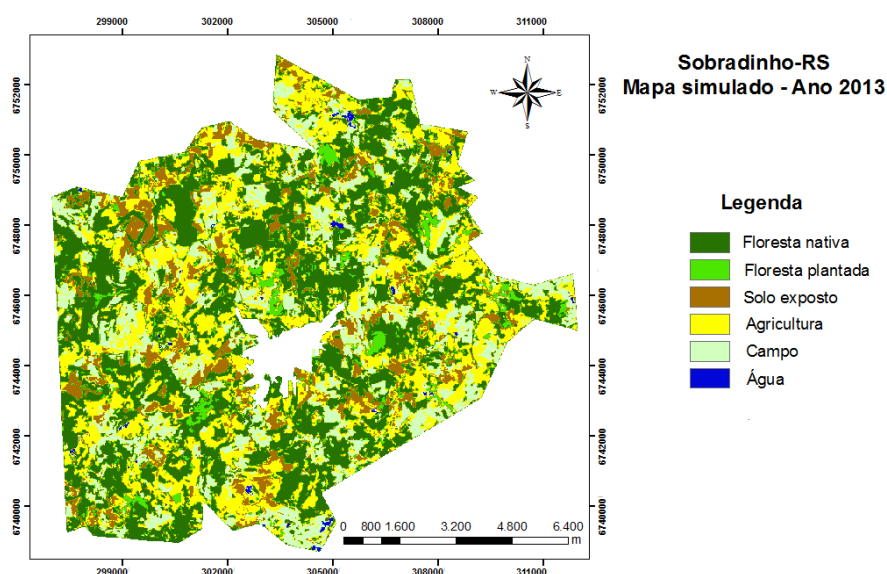


Figura 3. Mapa simulado de uso e cobertura da terra do município de Sobradinho-RS, do ano 2013, elaborado a partir do *Software* Dinamica EGO.

A validação do modelo dada pelos índices de similaridade *fuzzy*, calculados por decaimento exponencial e por decaimento constante, obtidos para a simulação resultante da modelagem espacial dinâmica dos anos de 2011 a 2013, são apresentados na Tabela 3.

Tabela 3. Índices de similaridade *fuzzy* calculados através das funções de decaimento constante e decaimento exponencial para distintos tamanhos de janela.

Janela	2011-2013	
	Constante	Exponencial
3x3	0,7380	0,7075
5x5	0,8018	0,7371
7x7	0,8463	0,7509
9x9	0,8788	0,7577
11x11	0,9036	0,7612

Considerando que os índices de similaridade são calculados tendo como base a diferença entre o mapa real subtraído do mapa inicial e o mapa simulado subtraído do mapa inicial, e que variam de 0 a 1, os valores de similaridade encontrados apresentaram valores satisfatórios.

Observou-se índices de similaridade com valores de 0,7380 e 0,7075 na menor janela de pixel (3x3) para função de decaimento constante e exponencial, respectivamente. Até valores de 0,9036 na janela de pixel 11x 11 para a função de decaimento constante.

De acordo com outros estudos, os resultados obtidos são considerados adequados e satisfatórios. Essa afirmativa, segundo Benedetti (2010) é pertinente devido o método implementado no Dinamica EGO desconsiderar células que não passaram por alterações no período de estudo, eliminando a possibilidade de superestimar esse índice, tornando esse um método rigoroso de avaliação.

4. Conclusões

O *software* Dinamica EGO mostrou-se uma ferramenta eficiente na modelagem da dinâmica espacial de uso e cobertura da terra do município de Sobradinho-RS, para o período de estudo.

O mapa simulado de 2013, parametrizado pelo método bayesiano de pesos de evidência, obteve resultados satisfatórios pelo método de validação pelo índice de similaridade *fuzzy*, por decaimento exponencial e constante.

Os índices de similaridade, que demonstram os erros e acertos para os resultados esperados, apresentaram um elevado nível de aceitação, sendo assim, é possível efetuar simulações para cenários futuros utilizando o modelo definido nesse estudo. A simulação de cenários futuros permite avaliar a continuidade do processo de uso e cobertura da terra, a fim de auxiliar no gerenciamento de políticas públicas mediante a tomada de decisões.

Agradecimentos

Ao convênio UFSM/SINDITABACO, projeto nº 030624 (GAP-CCR), pelos mapas de uso e cobertura disponibilizados. À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - CAPES, pelo aporte financeiro viabilizado por meio de concessão de bolsa de pós-graduação.

Referências Bibliográficas

Benedetti, A. C. **Modelagem dinâmica para simulações de mudanças na cobertura florestal das Serras do Sudeste e Campanha Meridional do Rio Grande do Sul**. 2010. 166 p. Tese (Doutorado em Engenharia Florestal) - Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2010.

Bias, E. de S. Brites, R. S. Rosa, N. A. C. de S. 2012. Imagens De Alta Resolução Espacial In: Meneses, P. R. Almeida, T. Rosa, A. N.C. S. Sano, E. E. Souza, E. B. Baptista, G. M. M. Brites, R. S. **Introdução ao Processamento de Imagens de Sensoriamento Remoto**. Brasília – Brasil. UnB/CNPq. 239-255.

Burrough, P.A. (1998). Dynamic Modelling And Geocomputation. Geocomputation. In: Longley, P.A., Brooks, S.M., McDonnell, R. and MacMillan, W., editors. **Geocomputation: a primer**. Chichester: Wiley, 165–91.

Câmara, G. et al. Spring: Integrating Remote Sensing and Gis by Object-oriented Data Modelling. **Computers & Graphics**. v. 20, n. 3, p. 395-403, 1996.

Hagen, A. Fuzzy set approach to assessing similarity of categorical maps. **International Journal of Geographical Information Science**, v.17. n.3, p.235-249, 2003.

IBGE. **Produção Agrícola Municipal 2012**. Rio de Janeiro: IBGE, 2013.

IBGE. Estimativas de população: estimativas 2014. Disponível em: <ftp://ftp.ibge.gov.br/Estimativas_de_Populacao/Estimativas_2014/nota_metodologica_2014.pdf>. Acesso em: 07 nov. 2014.

Moreno, J. A. **Clima do Rio Grande do Sul. Porto Alegre**: Secretaria da Agricultura, Diretoria de Terras e Colonização, Seção de Geografia, 1961. 46p.

Pedrosa, B. M., Camara, G. Modelagem dinâmica e geoprocessamento. In: Meirelles, M. S. P. Camar, G., de Almeida, C. M. **Geomática Modelos e Aplicações Ambientais**. Cap. 5. Brasília: EMBRAPA Informação Tecnologia. 2007. 593p.

Soares Filho, B. S. et al. **Modeling Environmental Dynamics with Dinamica EGO**. Belo Horizonte: UFMG, 2009. 1ª ed., v.1, 115p.

Soares Filho, B. S; Hissa. L. **Estudo de baixo carbono para o Brasil: Emissões Associadas à Mudanças do uso do solo**. 2010. 61 p Disponível em: <<http://www.cabo.pe.gov.br/pners/CONTE%C3%9ADO%20DIGITAL/ESTUDOS%20BAIXO%20CARBONO/EMISS%C3%95ES%20USO%20DO%20SOLO.pdf>>. Acesso em 10 nov. 2014.

UICN. Produtores de tabaco buscam espécies nativas para produção sustentável de lenha no Brasil. 2014. Disponível em: <<http://www.iucn.org/es/noticias/?18380/Producao-sustentavel-de-lenha-no-Brasil>> Acesso em: 07 Nov. 2014.

Valeriano, M. De M. **TOPODATA: guia para utilização de dados geomorfológicos locais**. São José dos Campos: Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais – INPE, 2008. 72 p. INPE-15318-RPQ/818. 2. Disponível em: <<http://mtc-m18.sid.inpe.br/col/sid.inpe.br/mtc-m18@80/2008/07.11.19.24/doc/publicacao.pdf>>. Acesso em: 20 out. 2013.