

Análise multitemporal do uso e ocupação do solo, através de geoprocessamento

Sandro Luciano Barreto Fensterseifer¹
Leonardo Roggen e Silva²

Resumo

O objetivo deste estudo foi analisar o uso e ocupação do solo no município de São Leopoldo/RS, no período de 33 anos, entre 1984 e 2017. Por meio da utilização de técnicas de geoprocessamento, dois mapas temáticos foram elaborados, que foram classificados em área urbanizada, agricultura, vegetação e solo exposto. Com base na análise multitemporal, foi possível quantificar a tendência de crescimento das áreas de zona urbana e de solo exposto, as quais acarretam em uma redução substancial das demais classes de vegetação e de atividade agrícola.

Palavras-chave: Análise multitemporal. Geoprocessamento. Sistemas de Informação Geográfica (SIG).

Abstract

The objective of this study was to analyze soil use and occupation in the municipality of São Leopoldo, RS, during the period of 33 years, between 1984 and 2017. Through the use of geoprocessing techniques, two thematic maps were prepared, which were classified in urbanized area, agriculture, vegetation and exposed soil. Based on the multitemporal analysis, it was possible to quantify the growth trend of the urban area and exposed soil areas, which resulted in a substantial reduction of the other types of vegetation and agricultural activity.

Keywords: Multitemporal analysis. Geoprocessing. Geographic Information System - GIS.

¹ Doutor em Engenharia Florestal pela Universidade Federal de Santa Maria (UFSM), Santa Maria, RS, Brasil. Professor do Magistério Superior no Departamento de Engenharia e Tecnologia Ambiental e no Departamento de Engenharia Florestal na UFSM, Campus Frederico Westphalen, RS. E-mail: sandrolbf@gmail.com.

² Acadêmico de Engenharia Ambiental e Sanitária pela UFSM, Campus Frederico Westphalen. E-mail: leonardo.roggen@gmail.com

Artigo recebido em 07.09.2018 e aceito em 25.02.2019.

1 Introdução

As ações antrópicas, associadas às mais diversas mudanças climáticas, podem ser expressas como fatores influenciadores dos impactos ocorridos na paisagem de uma determinada região. As características físicas dos municípios brasileiros têm sofrido com as mudanças no uso e a ocupação do solo, uma vez que tais mudanças estão diretamente relacionadas com a qualidade ambiental das mais diversas matrizes que compõem uma cidade (COELHO *et al.*, 2014; DOZENA, 2001).

Há uma crescente preocupação com os impactos ambientais, decorrentes das alterações das condições de equilíbrio natural dos sistemas ambientais, tendo em vista o progresso no desenvolvimento de legislações ambientais. No entanto, muitos instrumentos da lei brasileira têm sua ineficiência revelada por meio da falta de recursos e de fiscalização, o que dificulta o levantamento de informações confiáveis para objeto de estudo (DIEGUES, 2001).

Conforme Blaschke e Kux (2005), em resposta aos desafios encontrados, no que diz respeito à busca de informações sobre impactos ambientais, causados pelas alterações nos padrões de uso e cobertura do solo, o emprego de técnicas de sensoriamento remoto, geoprocessamento e de Sistemas de Informação Geográfica (SIG) têm sido utilizadas com mais frequência em estudos ambientais por análises multitemporais. Tais análises possibilitam um estudo mais aprofundado a respeito das transformações que ocorreram na superfície terrestre de determinada área de estudo em um específico intervalo de tempo.

Desde o início da década de 1970, imagens de satélite vêm sendo utilizadas para mapeamento de cobertura territorial. Técnicas de processamento digital de imagens são aplicadas no melhoramento da qualidade das imagens obtidas pelo satélite, para que se tenha uma melhor interpretação e análise das informações nelas contidas. Para compreensão das informações existentes na imagem, torna-se necessário uma caracterização dos dados que nela se encontram. Sendo assim, técnicas de classificação digital são aplicadas na imagem fornecida pelo satélite com o objetivo de atribuir cada pixel, da imagem em estudo, a uma categoria de um grupo de classes (BAKR *et al.*, 2010; NOVO, 2011; FARINASSO *et al.*, 2006).

As imagens fornecidas pelos sensores remotos apresentam diferentes faixas de fator de brilho para cada tipo de cobertura do solo. Bolfe *et al.* (2012) explicam que o fator de brilho tem relação direta com a quantidade de radiação refletida em determinada faixa do espectro eletromagnético. A razão entre a

radiação, que é refletida, e a radiação incidida sobre o alvo é conhecida como refletância. Com isso, as diferentes classes de cobertura da terra (solo, vegetação, água, etc.) apresentam um padrão identificável com a aplicação de técnicas de fotointerpretação e/ou classificação de imagens (AMARAL *et al.*, 2009).

Dentre os métodos disponíveis para identificação das coberturas da terra, a distinção de classe pela fotointerpretação, por ser um processo manual, é oneroso, e a qualidade e confiabilidade dos resultados variam, principalmente, de acordo com a habilidade e experiência do fotointérprete (ALMEIDA FILHO *et al.*, 1998). A distinção pelo processo de classificação de imagens, por ser automatizado, torna o processo mais rápido, e a qualidade e a confiabilidade variam, principalmente, de acordo com o algoritmo de classificação adotado (CATEN *et al.*, 2015), tipo de classificador (supervisionado ou não supervisionado), método de classificação (pixel-a-pixel ou por região), assim como, experiência e habilidade da equipe (MELLO *et al.*, 2012).

O maior empecilho para a aplicação das técnicas de classificação de imagens é a distinção correta de áreas urbanas. Por apresentarem baixo grau de homogeneidade entre os fatores de brilho de seus pixels, explicado pela diversidade de coberturas da terra presente no ambiente urbano, as zonas urbanas geram maior matriz de confusão, para o classificador no processo de identificação das classes (FREITAS *et al.*, 2003). Toure *et al.* (2018) avaliaram a confusão, gerada pelos classificadores nos ambientes urbanos e, ainda, apresentaram uma pequena revisão de estudos que não obtiveram resultados satisfatórios em mapeamentos da cobertura da terra em ambientes urbanos. A dificuldade para distinção satisfatória da cobertura urbana e também entre as demais classes de cobertura da terra é associada à resolução espacial das imagens utilizadas, sendo tais resoluções responsáveis diretas por melhores resultados (MESSIAS, 2012).

O uso de mapas temáticos com informações de área urbanizada, vegetação, agricultura e solo exposto estão cada vez mais em pauta, uma vez que tal ferramenta serve de subsídio para uma fácil compreensão a respeito dos impactos ambientais ocasionados pela falta de gerenciamento no uso e ocupação do solo nas últimas décadas. O objetivo do presente estudo é realizar uma análise multitemporal no município de São Leopoldo, a partir de produtos de sensoriamento remoto, aplicação de técnicas de geoprocessamento e classificação de imagens, por meio da escolha de algoritmos de classificação, referentes aos anos de 1984 e 2017.

2 Materiais e métodos

2.1 Área de estudo

A área de estudo compreende o município de São Leopoldo, localizado na região da Encosta Inferior do Nordeste do Rio Grande do Sul, entre as coordenadas 29°45'37" e 51°08'50", com área de 103,91 km².

O município tem como principal sistema de

drenagem o Rio dos Sinos, com extensa planície de inundação. Há o uso e a ocupação do solo, característico de regiões metropolitanas em desenvolvimento. A população do município, segundo o censo de 2010, é de 214.087 habitantes.

São Leopoldo está distante 34 km da capital do estado (Rio Grande do Sul) e faz limite com os municípios de Novo Hamburgo, Estância Velha, Portão e Sapucaia do Sul, conforme a figura 1.

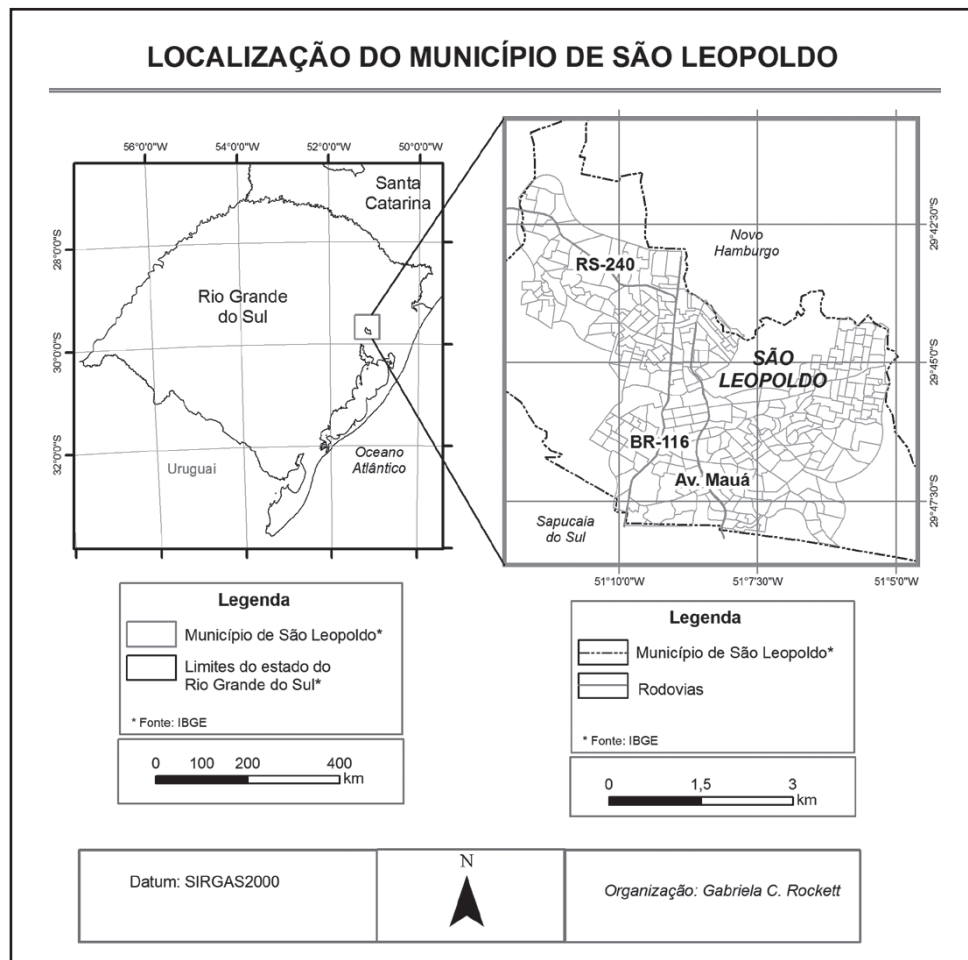


Figura 1 – Mapa de localização de São Leopoldo
Fonte: Rockett *et al.* (2016).

2.2 Materiais

Para análise e mapeamento do uso e ocupação do solo do município de São Leopoldo foram utilizados os materiais listados na tabela 1.

2.3 Aquisição de dados

A primeira etapa do trabalho consistiu na aquisição das imagens de satélite, através do aplicativo Google Earth Pro, levando em consideração as

datas das imagens. A dinâmica de escolha das imagens se deu, a partir da disponibilidade de obtenção da imagem mais antiga e também da imagem mais recente, para que fosse possível analisar as mudanças ao longo do tempo. Foram obtidas imagens para os anos de 2017 e de 1984, sendo que a imagem de 2017 corresponde a dados fornecidos pela empresa Digital Globe, enquanto a imagem mais antiga provém da plataforma Land Remote Sensing Satellite 5 (Landsat 5).

Tabela 1 – Lista de materiais

<i>Hardware</i>	<i>Software</i>
Processador: Intel Core i5	Google Earth Pro
Memória RAM: 4 GB	Photoshop CS4
Disco rígido: 1 TB	Microsoft Word 2007
Placa de vídeo: Intel HD Graphics 4400	ArcGis 10.3
Sistema operacional: Windows 8/64-bit	SPRING 5.0.6

Fonte: Os autores (2018).

O método de obtenção das imagens pelo aplicativo foi realizado, a partir do enquadramento da área do município na região central da tela de visualização. Foi feito o ajuste da altitude e horizontalidade, fazendo com que fosse necessária mais de uma imagem para representar a totalidade da área de estudo. Foram salvas imagens que cobrissem de 30 a 50% da imagem lateral, para que não se perdesse nenhum tipo de informação. Devido à diferença de resolução espacial, as imagens do ano de 2017 foram capturadas à altitude de 10km, totalizando 50 imagens, e do ano de 1984 à altitude de 15km, totalizando 12 imagens.

2.4 Processamento de dados

Após a aquisição das imagens, no *software* Photoshop CS4, foram realizadas as seguintes etapas: mosaico, remoção de ruídos, delimitação e alteração do fator de brilho das áreas identificadas por meio de fotointerpretação como: urbanas, conversão radiométrica de 8 bits para 16 bits e exportação do produto final no formato TIFF.

O processo de mosaico consiste na identificação de regiões semelhantes entre duas imagens e, posterior, união dessas, justificando a necessidade da sobreposição durante a etapa de aquisição das imagens. Em virtude das imagens serem adquiridas pelo aplicativo do Google Earth, fez-se necessário a remoção de eventuais linhas e logos que permaneceram nas imagens mosaicadas, os ruídos. Feito isso, realizou-se a delimitação da zona urbana do

município, a partir da separação de áreas com fatores de brilho correspondentes. Com as zonas urbanas delimitadas, foram atribuídos aos pixels, no seu interior, um valor de brilho igual para todos, a fim de evitar complicação na etapa de classificação que é recorrente às zonas urbanas por apresentar um grau de heterogeneidade entre os valores dos pixels.

2.5 Georreferenciamento e registro das imagens

Como passo seguinte, as imagens foram georreferenciadas e registradas no Sistema de Coordenadas Planas Projeção Transversa Mercator (UTM) datum World Geodetic System 1984 (WGS 84) fuso 22 Sul, a partir de pontos de controle coletados no aplicativo Google Earth Pro, sendo esses, posteriormente, atribuídos aos respectivos locais nas imagens. O processo de georreferenciamento e registro foi realizado no *software* ArcGis 10.3, com ajuste por polinômio de 3º grau.

A partir das imagens georreferenciadas, todos os processos utilizados no trabalho foram feitos no *software* SPRING, versão 5.0.6., Sistema de Informações Geográficas (SIG), desenvolvido pelo Departamento de Processamento de Imagens do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS, 1997). Como resultado desse processo, criou-se um banco de dados no SPRING 5.0.6, para dar início ao processo de classificação, por meio de diferentes classificadores e parâmetros, apresentados na tabela 2.

Tabela 2 - Classificadores utilizados para distinção das classes de uso do solo

Algoritmo	Tipo	Método	Parâmetro
MaxVer	Supervisionado	Pixel-a-pixel	100 % ; 95 %; 90%
ICM MaxVer	Supervisionado	Pixel-a-pixel	100 % ; 95 %; 90%
Distância Euclidiana	Supervisionado	Pixel-a-pixel	--
Kmedias	Não supervisionado	Pixel-a-pixel	4, 5, 6, 7 e 8 classes/ 10 interações

Fonte: Os autores (2018).

Com os produtos gerados na etapa de classificação, foi selecionada uma imagem para cada ano, correspondente ao classificador que apresentou os melhores resultados. Os classificadores com melhor desempenho foram determinados com a análise visual entre as imagens classificadas e as imagens RGB.

A fim de determinar quantitativamente as áreas para cada classe temática de vegetação, agricultura, solo exposto e zona urbana, foi selecionada uma imagem de cada ano, para que fosse possível quantificar

as medidas de classe. Posteriormente, fez-se a comparação entre os resultados de cada ano e foi elaborado um mapa temático com as imagens selecionadas.

3 Resultados e discussão

Com a classificação das imagens, foi possível quantificar formas de uso e ocupação do solo no município de São Leopoldo. Os resultados obtidos constituem dois mapas temáticos do local, dos anos de 1984 e 2017, representados pela figura 2.

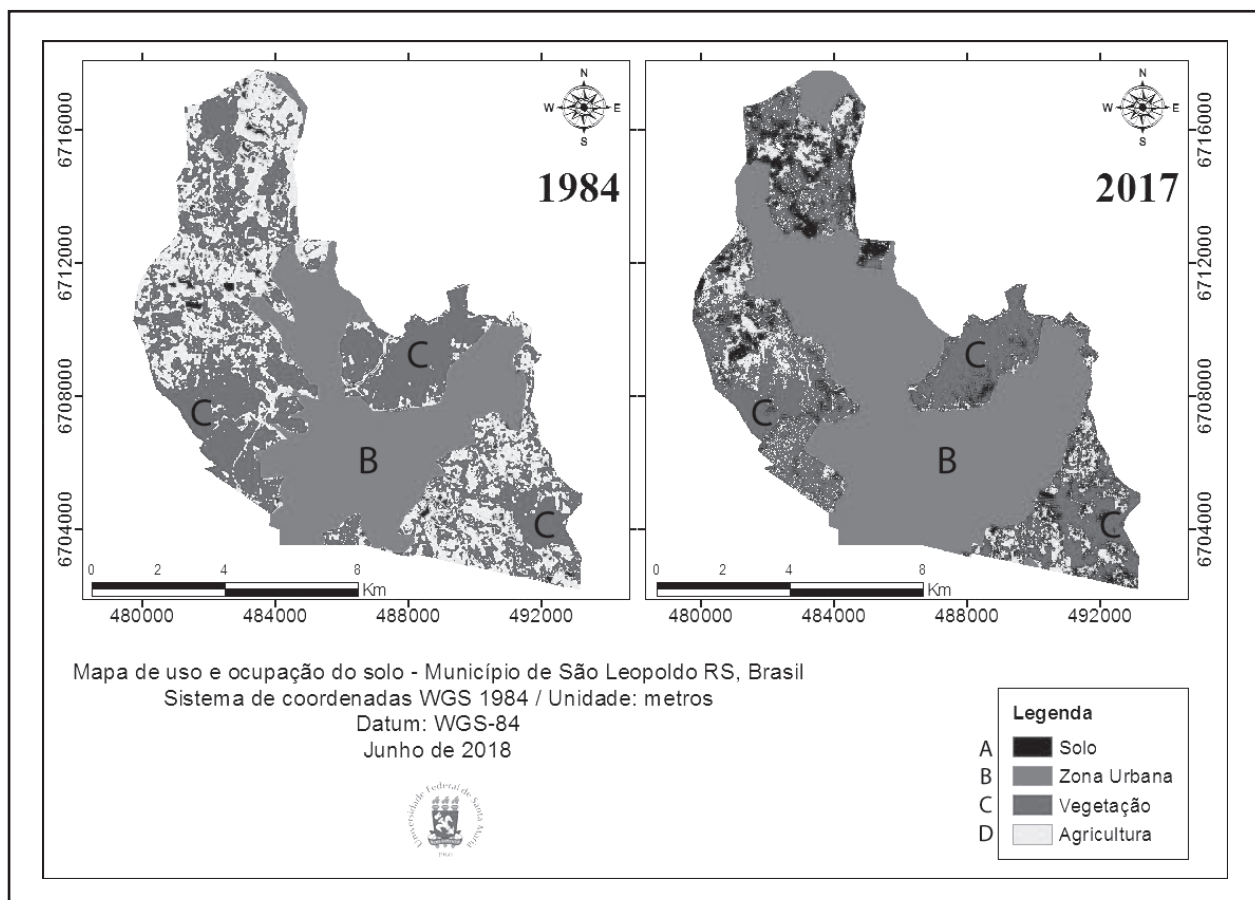


Figura 2 - Mapas temáticos das classes de uso e ocupação do solo
 Fonte: Os autores (2018).

Para confecção dos mapas temáticos, foi necessário fazer uma análise comparativa entre o desempenho dos classificadores, os quais foram delimitados, a partir de observação gráfica visual. Para o mapa de 1984, o classificador de melhor desempenho foi o de Distância Euclidiana. Já para o mapa do ano de 2017, o classificador por máxima verossimilhança com limite de aceitação de 100% (Maxver100) apresentou o melhor resultado de uma forma geral. A tabela 3 e a figura 3 apresentam

as áreas das classes de uso e ocupação de solo nos anos de 1984 e 2017, tanto em hectare, quanto em porcentagem, respectivamente.

O mapa temático de 1984 apresentou 41,64% do total da área de vegetação, cerca de 4434,62 ha (quadro 2). Seguida da classe de zona urbanizada, que está representada por 31,45%, aproximadamente 3347,28 ha, e 25,17% na classe de agricultura (por volta de 2681,09 ha). Há, também, solo exposto com 1,74% do total da área, abrangendo 185,42 ha.

Tabela 3 - Variação das áreas das classes de uso e ocupação do solo

Classe	Área em 1984		Área em 2017	
	(hetctare)	(%)	(hectare)	(%)
Agricultura	2681,09	25,17	816,40	7,72
Solo exposto	185,42	1,74	1098,90	10,41
Vegetação	4434,62	41,64	3140,38	29,76
Zona urbana	3347,28	31,45	5494,98	52,11

Fonte: Os autores (2018).

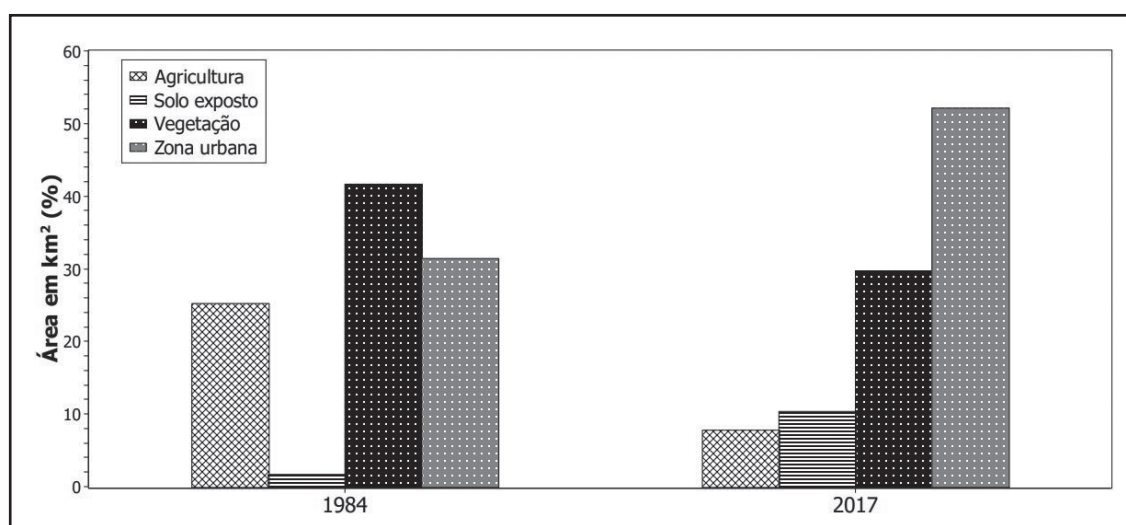


Figura 3 - Histograma da variação percentual das classes de uso e ocupação do solo no município de São Leopoldo, no período de 1984 a 2017

Fonte: Os autores (2018).

Percebe-se no mapa de 2017, na figura 2, que a classe mais representativa foi a de zona urbanizada, com 52,11% da área total, representada por 5494,98 ha. A classe de vegetação, que era a mais representativa em 1984, apresenta um decréscimo e totaliza 29,76% da área. A classe solo exposto tem um aumento significativo, perfazendo 10,41%. A porcentagem de área de agricultura no mapa de 2017 é de 7,72%, ou seja, 816,54 ha, apresentando um decréscimo se comparado há três décadas.

Os mapas de uso e ocupação do solo refletem as mudanças ocorridas no município de São Leopoldo, desde 1984 até o ano de 2017, uma vez que por meio da variação percentual das classes (figura 3), é possível observar um aumento do zoneamento urbano. Tal aumento é influenciado pelo êxodo rural de famílias do interior do estado na busca por melhores condições de vida na região do Vale dos Sinos, mais especificamente em São Leopoldo, cidade constituinte da Região Metropolitana de Porto Alegre que possui alta

concentração comercial e industrial. O processo de alteração demográfica, a partir da década de 1970, é produto de uma época de mudanças produtivas e tecnológicas na indústria coureiro-calçadista da região, que foram significativas a ponto de integrar um dos mais importantes setores da indústria gaúcha (SCHNEIDER, 2004).

Segundo Oliveira *et al.* (1990), a demanda por mão de obra por parte da crescente atividade industrial na região levou a transformações nas formas tradicionais de agricultura familiar. Fato esse que é possível observar, conforme a diminuição da área de agricultura no município leopoldense, exemplificado por meio da variação temporal da classe (figuras 2 e 3). O aumento significativo na área de solo exposto e a diminuição da área de vegetação podem ser explicados por meio do crescimento de atividades mineradoras na região que, acompanhadas do crescimento populacional no município, visam atender a demanda da construção civil e do desenvolvimento urbano (COLLAÇO, 2002).

4 Conclusão

A análise multitemporal de mapas de uso e ocupação do solo por meio de metodologias de sensoriamento remoto e geoprocessamento demonstram uma forma eficaz de levantar informações de variação temporal a respeito de municípios. Tal tipo de mapeamento possibilita uma precisão na identificação e monitoramento de diversas classes ao longo tempo, uma vez que se trata de uma tecnologia acessível e economicamente viável.

Os resultados obtidos, no presente estudo, indicam uma tendência de crescimento nas áreas de zona urbana e de solo exposto, o que, por consequência, acarreta em uma redução das demais classes de vegetação e agricultura. Pode se constatar que ao longo dos 33 anos (1984-2017) houve um índice de crescimento de área urbana de aproximadamente 165% e também um crescimento de 440% da área de solo exposto na cobertura territorial de São Leopoldo.

Entende-se a necessidade de uma melhor gestão e controle dos recursos naturais de São Leopoldo, bem como um olhar mais atento ao desenvolvimento urbano da região, visto que tais mudanças podem vir a acarretar em um acúmulo populacional já ocorrente nas grandes metrópoles do país.

Referências

ALMEIDA FILHO, R. *et al.* Avaliação de técnicas de segmentação e classificação automática de imagens LandsatTM no mapeamento do uso do solo na Amazônia. **Acta Amazonica**, v. 28, n.1, p. 41-41, mar. 1998.

AMARAL, M. V. F. *et al.* Avaliação e comparação de métodos de classificação de imagens de satélites para o mapeamento de estádios de sucessão florestal. **Revista Árvore**, v. 33, n. 3, p. 575-582, jun. 2009.

BAKR, N. *et al.* Monitoring land cover changes in a newly reclaimed area of Egypt using multi-temporal Landsat data. **Applied Geography**, v. 30, n. 4, p. 592-605, Dec. 2010.

BLASCHKE, T. KUX, H. (org.) **Sensoriamento remoto e SIG avançados**: novos sistemas sensores, métodos inovadores. São Paulo: Oficina de Textos, 2005. 286 p.

BOLFE, E. L. *et al.* Correlação de variáveis espectrais e estoque de carbono da biomassa aérea de sistemas agroflorestais. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 47, n. 9, p. 1261-1269, set. 2012.

CATEN, A. T. *et al.* Mapeamento multitemporal da cobertura de terra, por meio de árvore de decisão, na bacia hidrográfica do rio Marombas-SC. **Engenharia Agrícola**, v. 35, n. 6, p. 1198-1209, dez. 2015.

COELHO, V. H. R. *et al.* Dinâmica do uso e ocupação do solo em uma bacia hidrográfica do semiárido brasileiro. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 18, n. 1, p. 64-72, jan. 2014.

COLLAÇO, D. L. **Caracterização geológico-geotécnica do município de São Leopoldo - RS para fins de planejamento como subsídio ao Plano Diretor**. 2002. 151 f. Dissertação (Mestrado em Geotecnia) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2002.

DIEGUES, A. C. **Etnoconservação: novos rumos para a proteção da natureza nos trópicos**. 2. ed. São Paulo: Hucitec, 2001. 290 p.

DOZENA, A. **São Carlos e seu 'desenvolvimento': contradições urbanas de um pólo tecnológico**. 2001. 160 f. Dissertação (Mestrado em Geografia Humana) - Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2001.

FARINASSO, M. *et al.* Avaliação qualitativa do potencial de erosão laminar em grandes áreas por meio da EUPS - Equação Universal de Perdas de Solo, utilizando novas metodologias em SIG para o cálculo dos seus fatores na região do Alto Parnaíba - PI - MA. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, v. 2, p. 73-85, 2006.

FREITAS, R. N. *et al.* A utilização de fotografias aéreas na avaliação das transformações sócio-espaciais ocorridas na zona sul da cidade de São José dos Campos/SP, de 1962-1997. In.: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE **Sensoriamento remoto**, 11., 2003, Belo Horizonte. **Anais [...]**. São José dos Campos: INPE, 2003. p. 1811-1818.

INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS. **Manual do Spring**: noções de geoprocessamento. São José dos Campos, 1997.

MELLO, A. Y. I. *et al.* Avaliação de técnicas de classificação digital de imagens Landsat em diferentes padrões de cobertura da terra em Rondônia. **Revista Árvore**, v. 36, n. 3, p. 537-547, jun. 2012.

MESSIAS, C. G. Análise de uso do solo utilizando diferentes técnicas e imagens de média e alta resolução espacial. **Revista de Geografia**, v. 2, n. 1, p. 1-9, jan, 2012.

NOVO, E. M. L. M. **Sensoriamento remoto:** princípios e aplicações. 4. ed. São Paulo: Blucher, 2011. 388 p.

OLIVEIRA, N. *et al.* O processo de urbanização no Rio Grande do Sul : características recentes. In: ALMEIDA, P. F. C. **A economia gaúcha nos anos 80.** Porto Alegre: FEE, 1990. p. 131-163.

ROCKETT, G. C. *et al.* Sistemas de Informações Geográficas (SIG) para gestão municipal: análise espacial dos anúncios publicitários instalados no município de São Leopoldo/RS. , dez. 2016.

SCHNEIDER, S. O mercado de trabalho da indústria coureiro-calçadista do Rio Grande do Sul: formação histórica e desenvolvimento. In: ACHYLES, B. C.; PASSOS, M. C. (org.). **Indústria de calçados no Rio Grande do Sul.** São Leopoldo: Unisinos, 2004, p. 25-49.

TOURE, S. I. *et al.* Land cover and land use change analysis using multi-spatial resolution data and object-based image analysis. **Remote Sensing of Environment**, v. 210, p. 259-268, June 2018.