



UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS
Programa de Pós-Graduação em Análise e
Modelagem de Sistemas Ambientais



Dinâmica do uso e cobertura do solo nos municípios de Sete Lagoas e Prudente de Morais – MG: Uma análise espacial do crescimento urbano

Dalila de Fátima Moreira dos Santos

Belo Horizonte
2016

Dalila de Fátima Moreira dos Santos

Dinâmica do uso e cobertura do solo nos municípios de Sete Lagoas e Prudente de Moraes – MG: Uma análise espacial do crescimento urbano

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Análise e Modelagem de Sistemas Ambientais da Universidade Federal de Minas Gerais como requisito parcial para obtenção do título de mestre em Análise e Modelagem de Sistemas Ambientais.

Orientadora: Profa. Dra. Adriana Monteiro da Costa

Co-orientador: Prof. Dr. Fábio Soares Oliveira

**Belo Horizonte
Instituto de Geociências da UFMG
2016**

S237d Santos, Dalila de Fátima Moreira dos.
2016 Dinâmica do uso e cobertura do solo nos municípios de Sete Lagoas e Prudente de Morais – MG [manuscrito] : uma análise espacial do crescimento urbano / Dalila de Fátima Moreira dos Santos. – 2016. 57 f., enc.: il. (principalmente color.)

Orientadora: Adriana Monteiro da Costa.

Coorientador: Fábio Soares Oliveira.

Dissertação (mestrado) – Universidade Federal de Minas Gerais, Instituto de Geociências, 2016.

Inclui bibliografias.

1. Modelagem de dados – Aspectos ambientais – Teses. 2. Sensoriamento Remoto – Teses. 3. Planejamento urbano – Sete Lagoas (MG) – Teses. 4. Planejamento Urbano – Prudente de Morais (MG) – Teses. I. Costa, Adriana Monteiro da. II. Oliveira, Fábio Soares. III. Universidade Federal de Minas Gerais. Instituto de Geociências. IV. Título.

CDU: 911.2:519.6(815.1)



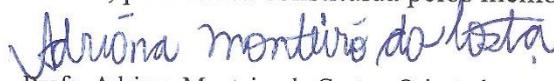
FOLHA DE APROVAÇÃO

Dinâmica do uso e cobertura do solo nos municípios de Sete Lagoas e Prudente de Morais – MG: Uma análise espacial do crescimento urbano

DALILA DE FÁTIMA MOREIRA DOS SANTOS

Dissertação submetida à Banca Examinadora designada pelo Colegiado do Programa de Pós-Graduação em ANÁLISE E MODELAGEM DE SISTEMAS AMBIENTAIS, como requisito para obtenção do grau de Mestre em ANÁLISE E MODELAGEM DE SISTEMAS AMBIENTAIS, área de concentração ANÁLISE E MODELAGEM DE SISTEMAS AMBIENTAIS.

Aprovada em 30 de maio de 2016, pela banca constituída pelos membros:



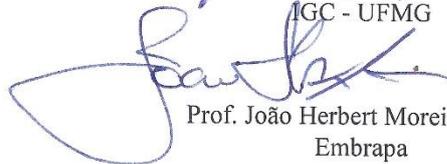
Profª. Adriana Monteiro da Costa - Orientadora
IGC - UFMG



Prof. Fábio Soares de Oliveira - Coorientador
IGC - UFMG



Prof. Frederico Wagner de Azevedo Lopes
IGC - UFMG



Prof. João Herbert Moreira Viana
Embrapa

Belo Horizonte, 30 de maio de 2016.

“Mudam-se os tempos, mudam-se as vontades,
Muda-se o ser, muda-se a confiança:
Todo o mundo é composto de mudança,
Tomando sempre novas qualidades.”

Luís Vaz de Camões, in *Sonetos*

AGRADECIMENTOS

À minha família, em especial a minha Vó Célia que é meu maior exemplo, a minha mãe e minhas irmãs Talita e Nathália pelo amor incondicional, compreensão e apoio irrestritos e indispensáveis.

À CAPES - Fundação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior, pelo auxílio financeiro.

À minha orientadora, Profa. Dra. Adriana Costa, pelo apoio, elucidação e contribuições ao longo de todo o processo de construção deste trabalho, ao meu co-orientador, Prof. Dr. Fábio Sorares, pelas contribuições sempre que oportunas e apoio que não se restringiram apenas a pesquisa e ao Dr. João Herbert Viana, pelas contribuições na banca de qualificação e pela disponibilização, auxílio e colaboração nos últimos meses da pesquisa.

Aos Professores do PPG, principalmente aos membros do Colegiado, não só pelas disciplinas ministradas e exemplo de profissionalismo, mas, também pelo apoio constante ao longo do curso e em especial aos professores: Dra. Úrsula Ruchkys, Dr. Rodrigo Nóbrega e Dr. Ricardo Alexandrino pelo incentivo e conselhos.

A todos os funcionários da UFMG que de várias formas colaboraram para a execução deste trabalho, em especial, à Pâmela Siqueira pelo pleno suporte e ajuda relacionadas as questões burocráticas do departamento.

Aos colegas de curso que se tornaram amigos inestimáveis Rayane, Luiza, Ítalo, Jefferson, Nabuco, Laila e Bia pelos momentos e ideias compartilhadas e ajuda durante o desenvolvimento do curso, e claro, companhia nos botecos que trouxeram alegria e leveza, e talvez, se não fosse por eles, não teria chegado até aqui nessa novela que foi o mestrado (risos) e a Josy pela ajuda na etapa de classificação.

A todos os meus familiares e amigos pelos bons momentos de conversas e descontração essenciais para tornar mais suave estes dois anos e compreenderam a minha ausência, em especial a Jussara, pela amizade e ajuda jurídica em um momento delicado do curso e aos irmãos Teixeira pelo apoio e incentivo profissional.

E por último não menos importante, a todas aquelas pessoas que de uma maneira ou outra contribuíram, e por omissão não constam nesta lista, peço desculpas e agradeço.

RESUMO

Em um cenário de expansão urbana, a preocupação com a gestão do território, considerando a sustentabilidade ambiental tem pautado discussões nas últimas décadas reforçando a necessidade de uma análise multitemporal, para compreender os fenômenos que envolvem as mudanças no uso e cobertura do solo. Neste sentido, várias metodologias que permitem monitorar as mudanças na paisagem têm se apresentado como fundamentais para analisar os padrões de organização do espaço. Nesta pesquisa foram utilizados imagens orbitais *Landsat 5-TM* e *8-OLI* com o objetivo de analisar a dinâmica do uso e cobertura do solo nos municípios de Sete Lagoas e Prudente de Morais, Minas Gerais, entre os anos de 1990 e 2015 a fim de verificar o padrão espacial de crescimento urbano, uma vez que, existe um conflito relacionado ao uso da água nesta região. que tem o seu abastecimento de água realizado principalmente por água subterrânea. Para tal, foi feita comparação quantitativa entre as classes dos mapas de uso e cobertura do solo e os resultados sugerem que a tendência do padrão espacial de crescimento urbano no município de Sete Lagoas ocorre no sentido do centro para nordeste, sudoeste e sudeste, sendo este último em direção à bacia do Córrego do Marinheiro, que representa um importante aquífero granular e sua ocupação por atividades industriais, como sinalizado pelos planos de gestão urbana, representa um potencial problema ambiental.

Palavras-chave: Análise espaço-temporal; Planejamento Urbano; Análise por Sensoriamento Remoto.

ABSTRACT

In a scenario of urban expansion, the concern about the management of the territory considering the environmental sustainability has guided discussions in recent decades reinforcing the need for a multi-temporal analysis to understand the phenomena that involve changes in the land use and in the land cover. In this regard, several methodologies that allow to monitor the changes in the landscape have been fundamental to analyze the patterns of the organization of space. This study used orbital images of the Landsat 5-TM and 8-OLI satellites, in order to analyze the dynamics of use and ground cover in the cities of Sete Lagoas and Prudente de Morais, at the Minas Gerais State, between 1990 and 2015, to verify the spatial pattern of urban growth, since there is a conflict related to water use in the region, which has its water supply exclusively by groundwater. To this aim the quantitative comparison was made between the maps of classes of land use and land cover and the results suggest that the trend of the spatial pattern of urban growth in Sete Lagoas occurs towards the center to the northeast, southwest and southeast directions, the latter being towards the Marinheiro stream, which basin represents an important granular aquifer and its occupation by industrial activities, as signaled by the plans of urban management, is a potential environmental problem.

Key-words: Spatiotemporal analysis; Urban planning; Analysis by Remote Sensing.

LISTA DE SIGLAS

APA Carste	Área de Proteção Ambiental Carste
CPRM	Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais
COPASA	Companhia de Saneamento de Minas Gerais
EMBRAPA	Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
ha	Hectare
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
IDHMB	Índice de Desenvolvimento Humano Municipal Brasileiro
INMET	Instituto Nacional de Meteorologia
INPE	Instituto Nacional de Pesquisas Especiais
LAGEOP	Laboratório de Geoprocessamento
PD	Plano Diretor
PM	Prudente de Morais
PMPM	Prefeitura Municipal de Prudente de Morais
M	Metros
MG	Minas Gerais
MS	Ministério da Saúde
OLI	<i>Operational Land Image</i>
ONU	<i>United Nations</i>
SAAE	Serviço Autônomo de Água e Esgoto
S.A.G.A	Sistema de Análise Geo-Ambiental
SCUT	Sistema de Classificação de Uso da Terra
SL	Sete Lagoas
SR	Sensoriamento Remoto
TM	<i>Thematic Mapper</i>
UFRJ	Universidade Federal do Rio de Janeiro
WWFN	<i>World Wide Fund for Nature</i>

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Fluxograma metodológico da Classificação.....	18
Figura 2 - Exemplo de registro das cenas.....	19
Figura 3: Recorte da área de estudo para classificação.....	20
Figura 4: Resultado da segmentação.....	21
Figura 5 - Chave de interpretação para coleta de amostras de classes.....	23
Figura 6 - Realce e Contraste.....	24
Figura 7: Matriz de Confusão.....	25
Figura 8 - Fluxograma da Monitoria.....	27
Figura 9 - Monitoria Simples no S.A.G.A. Vista.....	28

ARTIGO

Figura 1: Localização da Área de Estudo.....	5
Figura 2: Fluxograma metodológico da Classificação.....	7
Figura 3: Classificação do Uso e cobertura do Solo.....	11
Figura 4: Evolução das classes em Sete Lagoas.....	12
Figura 5: Evolução das classes em Prudente de Moraes.....	13
Figura 6: Expansão da Macha Urbana - 1990-2015. .	15
Figura 7: Área de Impedimento e/ou Restrição para expansão Urbana.....	16
Figura 8: Monitoria de Mudança A) Deixou de ser... e tornou-se Área Urbanizada..	17
Figura 9: Monitoria Múltipla.....	18
Figura 10: Monitoria Simples.....	18
Figura 11: Monitoria de Mudança - Área Urbanizada.....	19

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Imagens utilizadas para classificação	18
Tabela 2: Valor do Índice Kappa	26

ARTIGO

Tabela 1: Valor do Índice Kappa	8
Tabela 2: Acurácia da Classificação.....	10
Tabela 3: Classes de uso e cobertura da terra	10

SUMÁRIO

AGRADECIMENTOS.....	V
RESUMO	VI
ABSTRACT	VII
LISTA DE SIGLAS	VIII
LISTA DE FIGURAS.....	IX
LISTA DE TABELAS.....	X
SUMÁRIO	XI
1. INTRODUÇÃO.....	13
2. MATERIAL E MÉTODOS	17
2.1 PROGRAMAS COMPUTACIONAIS	17
2.2 PROCESSAMENTO DIGITAL DAS IMAGENS.....	17
2.2.2 AQUISIÇÃO DAS IMAGENS	18
2.2.3 REGISTRO.....	19
2.2.4 RECORTE	20
2.2.5 SEGMENTAÇÃO	20
2.2.6 CLASSIFICAÇÃO	21
2.2.7 EDIÇÃO.....	24
2.2.8 VALIDAÇÃO	25
2.3 MONITORIA DE MUDANÇAS.....	26
ARTIGO	
RESUMO	1
ABSTRACT	2
1. INTRODUÇÃO.....	2
2. MATERIAL E MÉTODOS	5
2.1 ÁREA DE ESTUDO	5
2.2 PROCESSAMENTO DIGITAL DAS IMAGENS.....	7
3. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	9

3.1 USO E COBERTURA DO SOLO ENTRE OS ANOS 1990-2015.....	9
4. CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	21
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	22
CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	29
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICA.....	30

1. INTRODUÇÃO

As intervenções antrópicas modificadoras de ambientes naturais sempre existiram. Entretanto, com o aumento populacional e mudança no sistema econômico mundial para o capitalismo, a demanda por recursos naturais aumentou significativamente, como destaca Alcofarado (2015, p.3) que nos últimos 45 anos a demanda por recursos naturais quase dobrou em decorrência do aumento dos padrões de vida dos países desenvolvidos e emergentes.

O atual padrão de consumo de recursos naturais, supera em 30% a capacidade do planeta de recuperá-los (WWF, 2008), e entre os recursos naturais que tem a maior projeção de consumo, é a água doce, segundo Alcofarado (2015, p.3). O atual consumo de água doce é estimado em 50% e nos próximos 40 anos poderá ser de 80%. O autor ainda destaca a importância para este dado uma vez que, 1/3 da população mundial hoje vive em regiões onde a água é escassa ou imprópria para o consumo.

A população mundial demorou cerca de 10 mil anos para chegar a 1 bilhão de pessoas, mas em apenas um século (1800 a 1900) este número dobrou para 2 bilhões (GIDDENS, 2005) e no século XX e início do século XXI quase quadruplicou. Segundo a ONU (2014), no período de 1901 a 2014, o número de habitantes da Terra passou de 1,6 para 7,2 bilhões, e segundo projeções do relatório *World Urbanization Prospects* (ONU, 2014) a população mundial deve chegar a 8,1 bilhões de pessoas em 2025 e a 9,6 bilhões em 2050.

Este crescimento populacional vertiginoso juntamente com o aumento demográfico vem acompanhado de uma crescente demanda por recursos, alterando significativamente o espaço e conduzindo a sérios problemas socioambientais.

Concomitante ao aumento populacional a população urbana em todo o mundo tem crescido rapidamente, passando de 746 milhões em 1950 para 3,9 bilhões em 2014 (ONU, 2014). Em 1950 a população urbana representava 30% da população mundial, passando a 54% em 2014 e, com estimativa de que represente 66% em 2050(ONU, 2014).

Essa mudança promoveu uma significativa alteração na organização do espaço, intensificando o processo de urbanização. A baixa capacidade de

infraestrutura das cidades para receber todo este contingente migratório populacional resultou em um crescimento urbano desordenado, com sérios impactos socioeconômicos e ambientais. No Brasil a população urbana superou a rural a partir da década de 1970 e atualmente 84% da população vive na área urbana (IBGE-Censo, 2010). Esse crescimento urbano, a *priori* e em sua maioria, foi desordenado e sem planejamento, sendo responsável por grandes alterações socioeconômicas, culturais, ambientais e políticas, além da alteração na configuração espacial do território

Analisar o crescimento e expansão urbana é extremamente complexo por incluir diversas variáveis, entre elas, o padrão de crescimento urbano em uma perspectiva geográfica que permite aferir informações que podem auxiliar no planejamento e gestão urbana.

O padrão de crescimento urbano geralmente ocorre de forma compacta (*dense-onion*), por verticalização e de forma dispersa (*leapfrog*), e por crescimento horizontal (FUCKNER, 2005, p.6). Ambas as formas ocorrem simultaneamente no espaço urbano e o que define a direção geográfica do crescimento é a legislação urbanística municipal, os condicionantes naturais (limitações abióticas e bióticas) e a infraestrutura urbana, presentes no planejamento urbano.

A ausência do planejamento urbano, pautado na sustentabilidade, pode vir a ser um problema não apenas paisagístico, mas também acarretar degradação do meio ambiente por meio da exploração dos recursos naturais de forma insustentável, principalmente os recursos hídricos. Esse cenário pode ser ainda mais grave devido à pressão que o crescimento urbano exerce sobre os sistemas de suporte, tais como mobilidade urbana, pela insuficiência de equipamentos urbanos, entre outros. Tornar uma cidade sustentável é primordial para se pensar e alcançar a sustentabilidade em nível global.

Os Planos Diretores¹ são instrumentos que norteiam todo o planejamento da cidade, tendo um papel fundamental no zoneamento e escolha para as melhores áreas destinadas à expansão urbana e que conte, ou esteja previsto a construção, de infraestrutura condizente com a demanda esperada de crescimento urbano.

¹ O Plano Diretor está definido no Estatuto das Cidades (Lei Federal 10.257/2001, regulamentação dos artigos 182 e 183 da Constituição Federal) como instrumento básico para orientar a política de desenvolvimento e de ordenamento da expansão urbana do município.

Para um planejamento urbano eficaz o conhecimento das mudanças nas paisagens é fundamental, pois ele permite analisar os padrões de organização do espaço. Nesta perspectiva, a classificação do uso e cobertura do solo apresenta-se como uma ferramenta essencial no auxílio ao planejamento e gestão territorial ambientalmente sustentável, uma vez que, permite analisar, orientar, monitorar, ordenar e zonar entre outras ações a cidade (AZEVEDO e MANGABEIRA, 2001). A classificação do uso e cobertura do solo geram informações importantes a respeito do crescimento urbano, permitindo inclusive, identificar os principais vetores de crescimento urbano.

O estudo de caso foi aplicado nos municípios de Sete Lagoas e Prudente de Morais, municípios que fazem parte do colar da Região Metropolitana² de Belo Horizonte – RMBH. Ambos vêm sofrendo processo de expansão urbana, suscitando o aumento da demanda por serviços urbanos e recursos naturais, como água, por exemplo. A questão hídrica é complexa nos municípios porque, mesmo estando em áreas com precipitação média anual de 1295,3 mm (INMET, 2015), ambos têm seu abastecimento de água realizado principalmente por águas subterrâneas, uma vez que se situam em domínio cárstico. A falta de um entendimento da dinâmica espacial de crescimento urbano nesses municípios tem levado nos últimos anos a sérios problemas de racionamento de água, ocasionando conflito pelo uso da água nesta região.

O conflito pelo uso da água nessa região é agravado com a ausência de informações sobre as condições da água no subsolo e sobre seus fluxos, recarga e potencialidades (BOTELHO, 2008), somados ao crescimento populacional e ao aumento na demanda por água dos setores agrícolas e industriais.

Atualmente, Sete Lagoas possui 232.107 habitantes (IBGE, 2015) com projeção para 317.012 habitantes em 2035 e Prudente de Morais, 10.388 habitantes (IBGE, 2015) com projeção para 13.756 habitantes em 2035. Com este crescimento haverá uma constante demanda por infraestrutura urbana tais como: distribuição energética, educação, saúde, moradia, lazer, entre outros e principalmente, abastecimento público de água e saneamento. Cabe ressaltar que, segundo o SAAE

² Colar Metropolitano segundo a Constituição Estadual de Minas Gerais (1989) Art. 51 é formado por Municípios do entorno da Região Metropolitana de Belo Horizonte afetados pelo processo de metropolização, para integrar o planejamento, a organização e a execução de funções públicas de interesse comum.

(Serviço Autônomo de Água e Esgoto), autarquia municipal de Sete Lagoas que controla 123 poços, com uma produção de 3.297.223 litros/hora (BOTELHO, 2008) e pela Companhia de Saneamento de Minas Gerais (COPASA) em Prudente de Morais, com 3 poços na sede municipal que produzem 30 litros/segundos (PMPM, 2016), a disponibilidade de oferta tende a não acompanhar a crescente demanda, surgindo a necessidade de captar água em áreas longínquas, como é o caso de Sete Lagoas ao captar água do rio das Velhas (NUNES et al, 2010). “A escassez hídrica qualitativa e quantitativa constitui fator limitante ao desenvolvimento de determinada região” (BOTELHO, 2008, p. 33) sendo um aspecto fundamental ao crescimento urbano no qual, reforça a necessidade de um planejamento urbano pautado na sustentabilidade ambiental.

Uma das metodologias que subsidia a análise da organização do espaço é o uso das geotecnologias, que podem vir a nortear políticas públicas.

Assim sendo, o objetivo desta pesquisa é analisar a dinâmica do uso e cobertura do solo nos últimos 35 anos e sopesar a expansão urbana sob a ótica da distribuição espacial nos municípios de Sete Lagoas e Prudente de Morais. O grande crescimento urbano de Sete Lagoas, nas últimas décadas, e as pressões crescentes sobre os recursos naturais foram norteadores desta pesquisa. O município de Sete Lagoas dobrou a sua área urbana no período analisado e o de Prudente de Morais nos últimos cinco anos teve sua área urbana aumentada de 2% para 4% de seu território. Este valor é significativo visto que o município é limítrofe à única microbacia que apresenta água superficial em quantidade e qualidade em Sete Lagoas.

Para cumprir tal objetivo, foram traçados como objetivos específicos:

- Elaborar o mapa de uso e cobertura do solo para os anos de 1990, 2000, 2010 e 2015.
- Analisar o padrão espacial de crescimento urbano na área de estudo.
- Verificar as mudanças de uso e de cobertura em relação à classe urbanizada e discutir sobre o padrão espacial do crescimento urbano.

A pesquisa será apresentada em formato de artigo, mas antes, será apresentada a metodologia detalhada da elaboração do mesmo.

2. MATERIAL E MÉTODOS

Nesta pesquisa foram utilizadas técnicas de Geoprocessamento³ na geração e tratamento das informações espaciais e técnicas de Sensoriamento Remoto⁴ (SR) para a interpretação de imagens de satélite.

2.1 Programas computacionais

Foram utilizados os seguintes softwares:

- eConignton® 4.0, desenvolvido pela DEFINIENS, para a classificação supervisionada das imagens.
- Sistema de Análise Geo-Ambiental - S.A.G.A Vista 2007, desenvolvido pelo LAGEOP da UFRJ, para a detecção de mudança.
- Arcgis® 10.3 1, software produzido pela ERSI, para o registro das imagens, mosaico e criação de layout.

2.2 Processamento digital das Imagens

A elaboração dos mapas de uso e cobertura do solo foi realizada em duas etapas, nas quais na primeira foram definidos os procedimentos metodológicos adotados e em seguida feita a aquisição das imagens de satélite para a realização dos pré-processamentos, e que tem como objetivo melhorar a qualidade das imagens com a manipulação de histogramas e uso de filtros e combinações de bandas; a

³ Segundo Moura (2005, p.8) o termo engloba “processamento digital de imagens, cartografia digital e sistemas informativos geográficos, ou sistemas de informação geográfica ou mesmo sistemas geográfico de informação”.

⁴ Pode ser entendido como uma técnica para obter informações sobre a superfície terrestre (objetos, áreas, fenômenos) através de dados coletados por instrumentos que não estejam em contato físico com os objetos investigados (CROSTA, 1992; BATISTA, 2003; FIGUEREDO, 2005; ANTUNES, 2014)

segmentação, que é o processo em que a imagem é dividida em regiões homogêneas que constituem os diversos objetos presentes na imagem; a classificação supervisionada, que é a etapa de reconhecimento dos objetos no qual define-se o padrão dos objetos e os divide em classes e a validação que nesta pesquisa foi adotado o método da matriz de confusão cujo objetivo é verificar a qualidade dos dados (Figura 1).

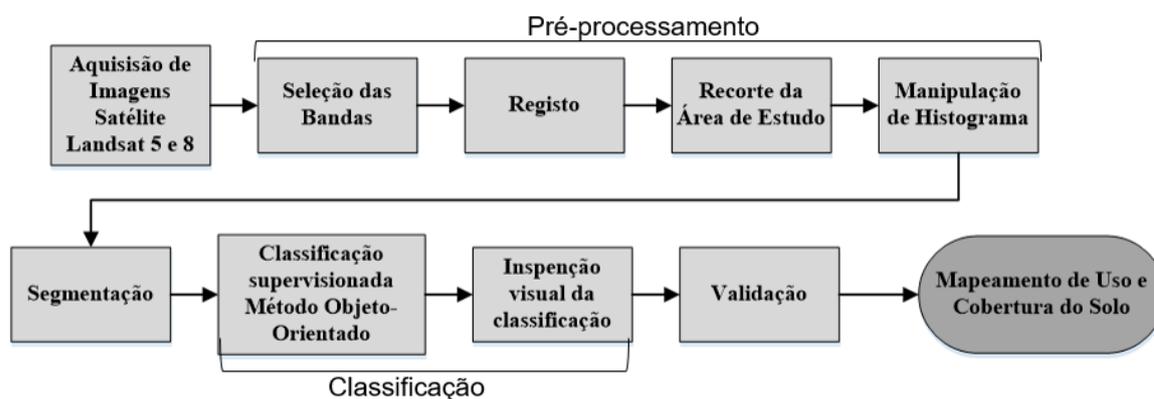


Figura 1: Fluxograma metodológico da Classificação. Elaboração: Autores.

2.2.2 Aquisição das imagens

Para o mapeamento do uso e cobertura do solo foi feita aquisição de imagens de satélite *Landsat-5 TM* e *Landsat-8 OLI* na Divisão de Processamento de Imagens do INPE. A escolha pelas imagens de satélite *Landsat* se deu pela disponibilidade de imagens históricas, pela gratuidade e por sua resolução espacial (aproximadamente 30 m).

O recorte temporal foi de 1990 a 2015. A escolha das datas das cenas se deu em virtude da ausência ou baixa cobertura de nuvens entre os meses de agosto e setembro nas diferentes décadas analisadas (Tabela 1).

Tabela 1: Imagens utilizadas para classificação

Ano	Satélite	Sensor	Orbita	Ponto	Data de passagem
1990	<i>Landsat-5</i>	TM	218	073 e 074	26/08/1990
2000	<i>Landsat-5</i>	TM	218	073 e 074	22/09/2000
2010	<i>Landsat-5</i>	TM	218	073 e 074	18/09/2010
2015	<i>Landsat-8</i>	OLI	218	074	31/08/2015

Fonte: INPE (2015)

Para a classificação foram utilizadas todas as bandas, exceto as que tinham resolução diferente, com objetivo de aumentar a separabilidade das áreas de treinamento das classes. Sendo assim, nas imagens do *Landsat-5 TM*, foram utilizadas as bandas 1, 2, 3, 4, 5 e 7, e no *Landsat-8* foram utilizadas as bandas 1, 2, 3, 4, 5, 7 e 9.

2.2.3 Registro

Embora as imagens disponibilizadas pelo INPE já se encontram georreferenciadas, o registro é um procedimento importante, principalmente, quando se está trabalhando com imagens históricas com sensores e datas diferentes. O registro é um processo que deve ser realizado para cada banda de cada cena da imagem. Ao todo, foram 43 imagens.

O registro foi realizado no ArcGis® (Figura 2) tendo com referências produtos cartográficos do projeto da Bacia do Rio das Velhas, na escala de 1:100.000, como a carta dos municípios de Sete Lagoas, Folha SE-23-Z-C-II (IBGE, 1975), na escala de 1:100.000, tendo como principal referência objetos notáveis como estradas e rede hidrográfica.

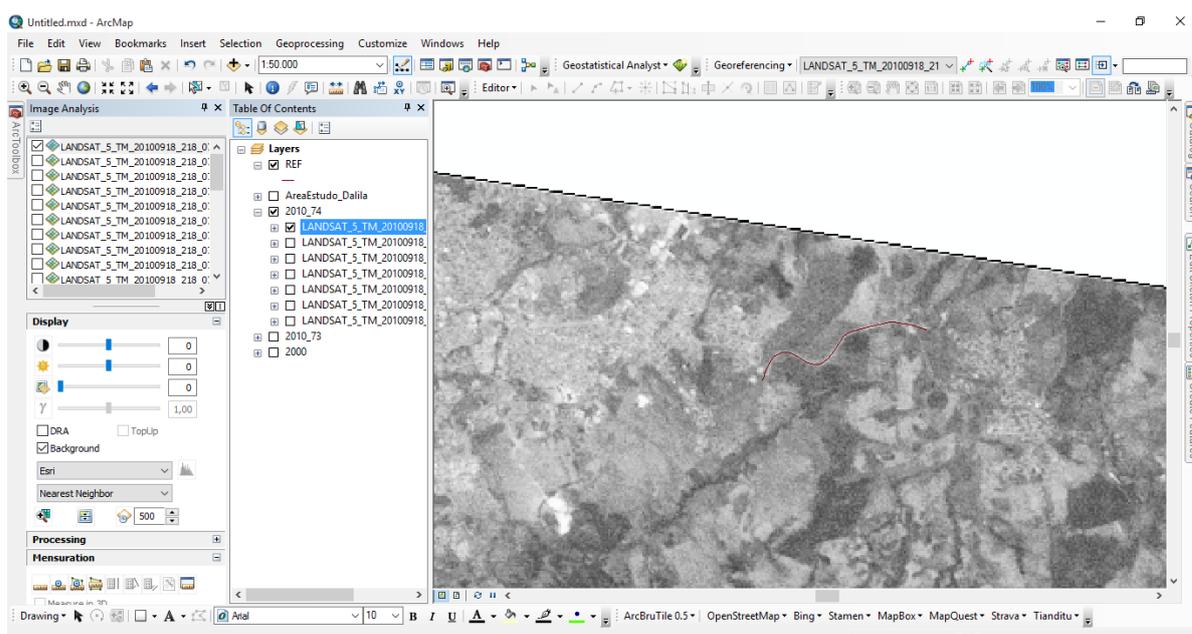


Figura 2: Exemplo de registro das cenas. Fonte: Pesquisa

2.2.4 Recorte

Após o registro no ArcGis®, foi feito um buffer de segurança (Figura 3) de 1 km do limite municipal (IBGE, 2014) na escala de 1:250.000, e utilizando a ferramenta *extract by mask*, foram extraídas de cada banda e de cada cena a área de estudo.

Após a finalização da classificação, foi feito outro recorte agora, considerando apenas o limite municipal para a detecção de mudança.

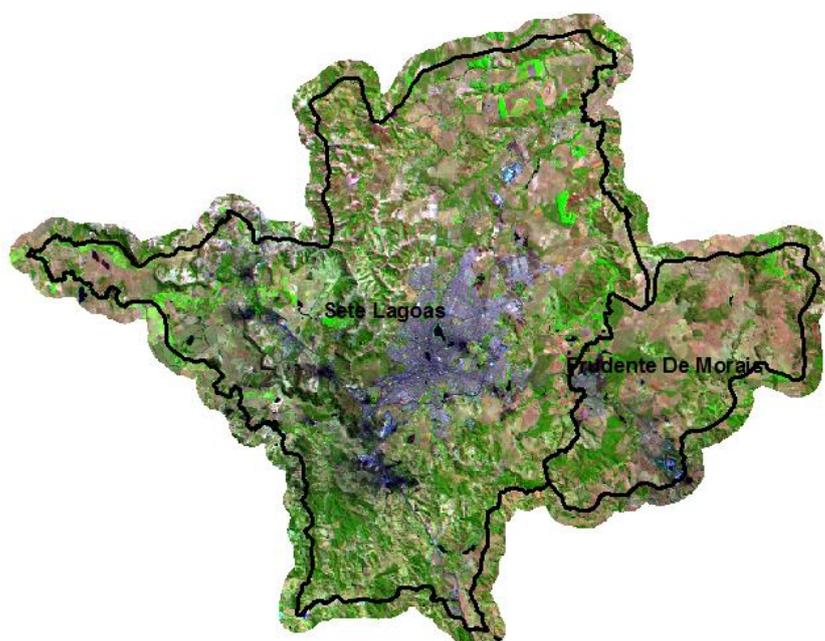


Figura 3: Recorte da área de estudo para classificação. Elaboração: Autores.

2.2.5 Segmentação

No processo de segmentação a imagem é particionada em grupos de pixels com características semelhantes (Figura 4). Um fator de escala definido durante o processo de segmentação define o grau dos agrupamentos.

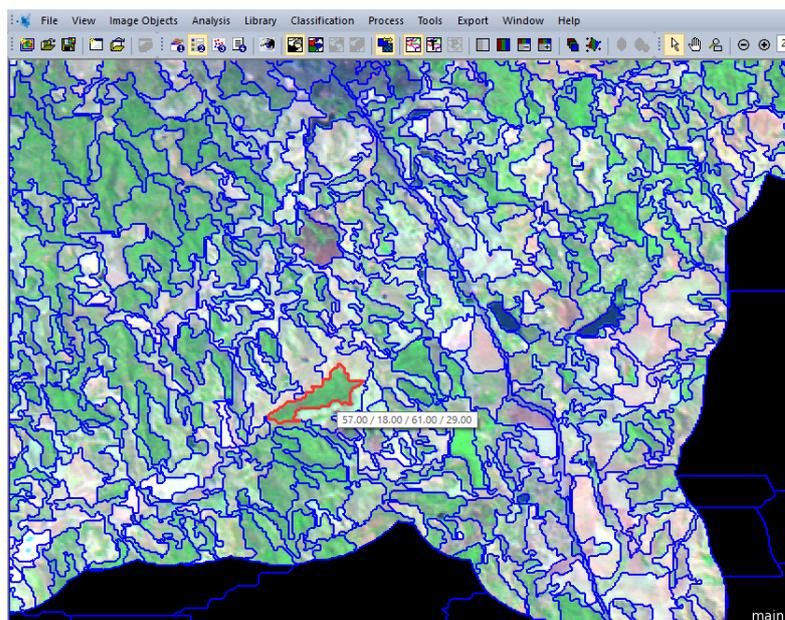


Figura 4: Resultado da segmentação. Fonte: Pesquisa

No eCognition®, foi criado um projeto para cada cena e importadas as imagens. Foi feita a composição RGB e aplicado realce e contraste para melhor verificar o resultado da segmentação. Cabe ressaltar que a composição RGB e as manipulações de histogramas não interferem no processo de segmentação ou classificação realizada pelo software, sendo utilizadas apenas para o operador visualizar melhorar a imagem na tela e assim, coletar as amostras com mais segurança.

A definição dos parâmetros da segmentação foram:

- Algoritmo de segmentação: *Multiresolution Segmentation*
- Fator de escala para as imagens do *Landsat-5*: 10
- Fator de escala para as imagens do *Landsat-8*: 200

A diferença no fator escala pode ser explicado porque o *Landsat-5* possui 8 bits e o *Landsat-8* possui 16 bits. A escolha foi através de melhor resposta visual.

2.2.6 Classificação

Foi realizada a classificação supervisionada feita por Objeto-Orientado. A escolha por este método de classificação se deu porque estudos recentes provaram a superioridade deste método sobre os classificadores tradicionais de pixel a pixel

(YOON et al, 2016; SCHUCKMAN, 2015; FROHN et al; 2011; WEIH, e RIGGAN, 2010; BLASCHKE, 2010; LEWIŃSKI, 2006; CLEVEL, 2008; WHITESIDE e AHMAD, 2005; ORUC et al, 2001). Para a realização desse processo é necessário ter feito previamente a segmentação, para em seguida, fazer a classificação através da coleta de amostras.

2.2.6.1 Classes

A definição das classes foi realizada conforme o Sistema de Classificação de Uso da Terra – SCUT (IBGE, 2013), sendo estas adaptadas ao que fosse visualmente possível identificar, como se observa na Figura 5 e na descrição abaixo:

- Área agrícola: inclui áreas com lavouras e culturas temporárias, podendo ter culturas permanentes.
- Solo agrícola, inclui as áreas de pastagem, áreas agrícolas queimadas ou sem cobertura vegetal (preparação do solo).
- Solo Exposto: inclui as áreas com solo exposto natural, áreas nas quais a vegetação foi removida e o solo encontra-se desnudo, áreas erodidas até áreas de recente expansão urbana.
- Água: inclui os corpos d'água da região, respeitando-se os limites da resolução espacial dos dados de origem (pixel de 30 metros), o que fez com que pequenos cursos d'água não fossem mapeados.
- Floresta e vegetação de porte arbóreo alto/médio: inclui as áreas de vegetação de porte arbóreo alto como matas ciliares, cerradão, áreas de reserva, entre outras áreas com vegetação densa.
- Vegetação porte arbóreo baixo/rasteiro e médio: inclui a vegetação natural de porte rasteiro e pequeno, sendo incluídas nesta classe as áreas de campo que revestem as encostas e também áreas de cerrado com presença de árvores muito esparsas. Inclui em alguns casos afloramentos rochosos.
- Área urbana: inclui a mancha urbana e as áreas urbanas isoladas que tenham aglomeração populacional.
- Área industrial e/ou mineral, inclui áreas de mineração e infraestrutura de apoio e plantas industriais.

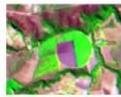
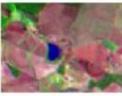
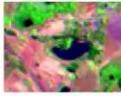
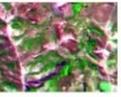
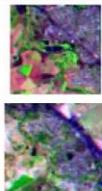
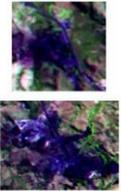
Classe	Cor	Forma	Textura	Amostra Landsat-5 R5G4B3	Amostra Landsat-8 R6G5B4	Descrição
Área Plantada	Verde claro	Geométricas bem definidas	Lisa			Inclui áreas com lavouras e culturas temporárias, podendo ter culturas permanentes.
Solo Agropecuário	Rosa ao lilás	Geométrica Regular	Rugosa Lisa			Pastagens, áreas agrícolas recém queimadas e uso não identificado.
Solo Exposto	Branco	Irregular	Rugosa			Área sem cobertura vegetal e sem ocupação.
Água	Azul, variando de acordo com o grau de sedimentos na água	Geométrica Irregular	Lisa			Corpos hídricos natural (rios e lagoas) e artificial (tanque)
Floresta e vegetação de porte arbóreo alto/médio	Verde escuro	Irregular	Rugosa			Vegetação natural densa (cerrado, mata ciliar)
Vegetação porte arbóreo baixo/rasteiro e médio	Tonalidade variada (avermelhada, cinza esverdeada) dependendo da presença de mais ou menos	Irregular	Rugosa			Vegetação de pequeno porte arboreo, com arvores esparsas, algum solo exposto, em alguns casos com afloramentos rochosos.
Área urbana	Roxo e azulado	Geométrica Irregular	Rugosa			Área urbanizada, apresenta características de aglomeração populacional organizada em cidades, vilas ou bairros.
Área industrial e/ou mineral	Azul escuro	Irregular	Rugosa			Áreas industriais, ou no caso, de mineração

Figura 5 - Chave de interpretação para coleta de amostras de classes. Elaboração: Autores.

Durante a coleta das amostras foi aplicada técnica de realce e contraste e composição RGB para melhor visualização das feições da imagem na tela. Estas técnicas foram empregadas conforme a feição que se desejava melhor visualizar na

tela durante a coleta. No caso dos realces e contraste, muitas vezes os valores de níveis de cinza podem ser evidenciados na concentração do histograma da imagem, como visualizado na Figura 6.

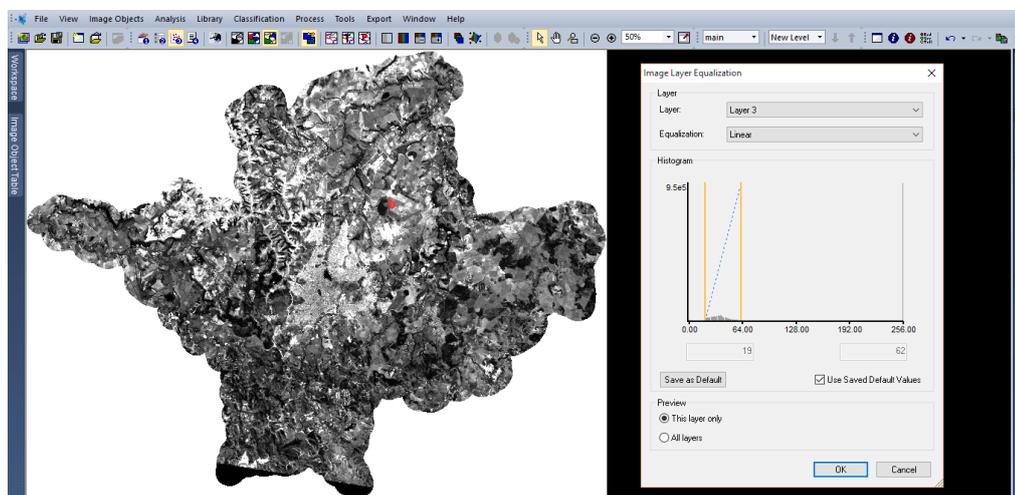


Figura 6 - Realce e Contraste. Fonte: Pesquisa

Este gráfico representa a frequência dos valores de cinza na imagem. O realce do contraste é utilizado como forma de “espalhar” este histograma através da mudança dos valores originais, de forma a aumentar a diferenciação dos valores entre os diferentes alvos imageados. O ajuste de contraste foi feito no eCognition®.

Para as imagens *Lansat-5* foi utilizada a composição R5G4B3 e para *Lansat-8* composição R6G5B4. Esta composição realça melhor as feições solo exposto, área urbanas e estradas. Outras composições foram aplicadas, como R4G3B2 para *Landsat-5* e R5G4B3 para *Landsat-8*, para melhor diferenciar os tipos de vegetação.

2.2.7 Edição

O objetivo da edição é de corrigir eventuais imperfeições geradas na classificação e pelo processo de associação das classes. Foram utilizadas informações secundárias tais como base hidrográfica disponibilizada pelo Comitê de Bacias do Rio das Velhas, Mapa de Cobertura Vegetal de 2009 do Zoneamento Ecológico Econômico de Minas Gerais, a Folha SE-23-Z-C-II (IBGE, 1975), na escala de 1:100.000 e séries históricas das imagens do Google Earth Pro® para realizar o processo de inspeção visual. Este processo foi realizado em ambiente SIG no software ArcGis®.

Nesta etapa também foi realizada a junção das classificações das diferentes cenas de mesma data, utilizando a ferramenta “merge” do ArcGis®. Neste processo, para os anos de 1990, 2000 e 2010 a classificação da cena 73 foi unida à classificação da cena 74. Esta etapa exclui o processo de criação de mosaico de imagem durante o processamento das imagens. Este seria um trabalho custoso visto a grande quantidade de imagens a serem trabalhadas. Para o ano de 2015 não foi necessário fazer junção de classificação, pois, toda área de estudo estava coberta por uma única cena do *Landsat-8*.

2.2.8 Validação

Após o procedimento de classificação, é necessário validar os resultados a fim de avaliar a acurácia da classificação. A acurácia vai definir o quanto a classificação representa ou não a realidade. “Um resultado com 100% de acurácia significa que todos os pixels da imagem foram classificados de forma correta, segundo um conjunto de dados que compõe a verdade terrestre” (MENESES e ALMEIDA p. 205).

Assim sendo, realizada a classificação, foram coletadas novas amostras (amostras tidas como verdade) das mesmas classes usadas na classificação. Essas novas amostras foram utilizadas na validação e o eConignton®, gera automaticamente o *Overall Accuracy* e o *Kappa* (Figura 7).

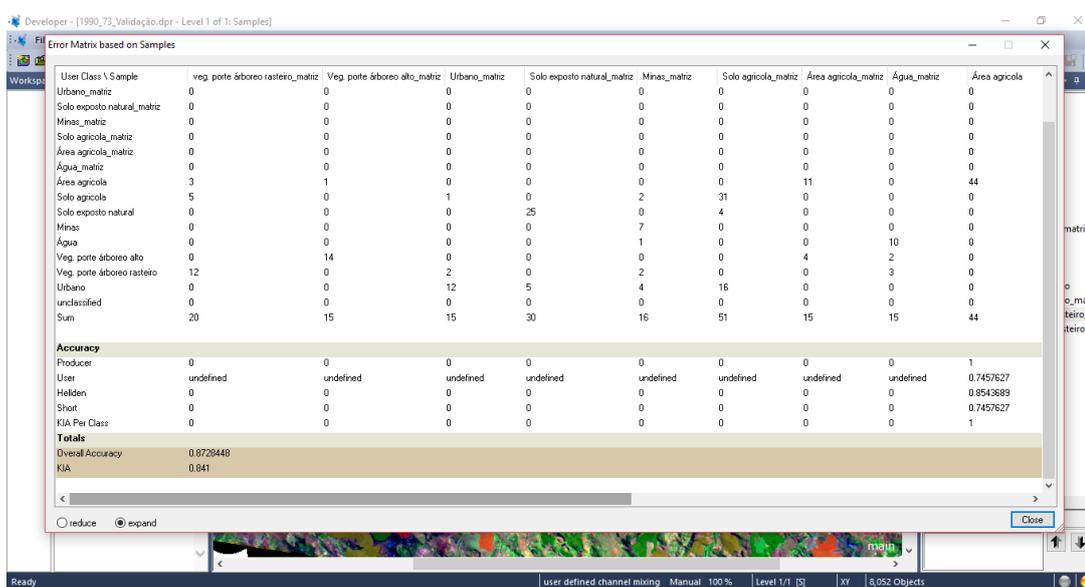


Figura 7: Matriz de Confusão. Fonte: Pesquisa

O Índice *Kappa* utiliza todas as células da matriz de erro, e não apenas os elementos da diagonal, ou seja, mede a probabilidade de um pixel ser corretamente classificado em relação à probabilidade da classificação incorreta (Equação 1).

$$K = \frac{P_o - P_{co}}{1 - P_{co}} \quad (1)$$

Onde, K = coeficiente de concordância *Kappa*

$P_o = \frac{\sum_{i=1}^M n_{ii}}{N}$, representando a proporção de pontos de verdade terrestre concordantes

$P_{co} = \frac{\sum_{i=1}^M n_{i+} n_{+i}}{N^2}$, representando a proporção de pontos atribuídos à classe ao acaso

N = número total de pontos da matriz de confusão

M = elemento da matriz de confusão

n_{ii} = elementos da diagonal principal da matriz de confusão

n_{i+} = somatório da linha para dada classes temática

n_{+i} = somatório da coluna para dada classes temática

Esse índice varia de -1 (concordância nula) a 1 (concordância perfeita) ou ainda conforme a Tabela 2.

Tabela 2: Valor do Índice Kappa

Valor de <i>Kappa</i>	Qualidade da Classificação
<0,00	Péssimo
0,0 – 0,2	Ruim
0,2 – 0,4	Razoável
0,4 – 0,6	Boa
0,6 – 0,8	Muito Boa
0,8 – 1,0	Excelente

Fonte: LANDIS e KOCK (1977)

2.3 Monitoria de mudanças

Para identificar as mudanças na classe “Área Urbanizada” entre os anos de 1990 e 2015, adotou-se a análise combinatória entre as classes de Cobertura e Uso da Terra, sendo realizada através da monitora simples e múltipla no software S.A.G.A Vista (Figura 8).

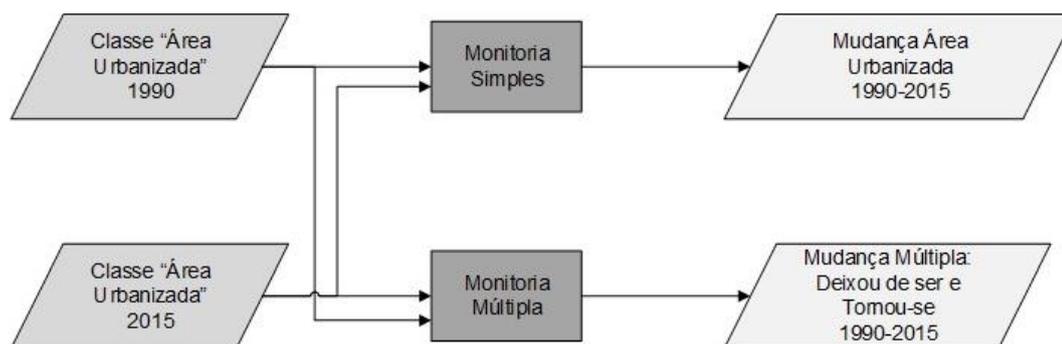


Figura 8 - Fluxograma da Monitoria. Elaboração: Autores.

Segundo MARINO (2005), a monitoria simples permite definir:

- os locais que não sofreram alteração, nos quais foi mantida, portanto, a ocorrência da característica na segunda ocasião registrada; "era e continua sendo"
 - os locais onde a característica passou a existir, por não ter sido registrada na primeira ocasião; "não era e passou a ser"
 - os locais onde a característica deixou de existir, tendo sido registrada apenas na primeira ocasião; "era e deixou de ser"
 - os locais onde a característica não existia na primeira ocasião e continua sem existir na segunda; "não era e continua sem ser"
- (MARINO, 2005, p. 20)

Já a monitoria múltipla, permite:

- indicar quais foram as categorias originais substituídas pela ocorrência da nova classe "tornou-se";
- quais as categorias que substituíram, no mapa mais novo, a classe "deixou de ser". (MARINO, 2005, p. 22)

Com estas rotinas buscou-se identificar alguns processos já verificados durante a classificação das imagens: o avanço da mancha urbana, o avanço ou recuo das áreas agrícolas, o crescimento ou não das áreas de vegetação, entre outras análises. Para tal, a partir do mapa temático da classificação de uso e cobertura do solo realizado para os anos de 1990 e 2015, os mesmos foram exportados no formato .TIFF para que pudessem ser convertidos em .RST e trabalhado no software S.A.G.A (Figura 9).

A monitoria simples foi feita para as sete classes do mapa de classificação de uso e cobertura do solo. Já a monitoria múltipla foi feita apenas para as classes "Área Urbanizada" e "Área não urbanizada".

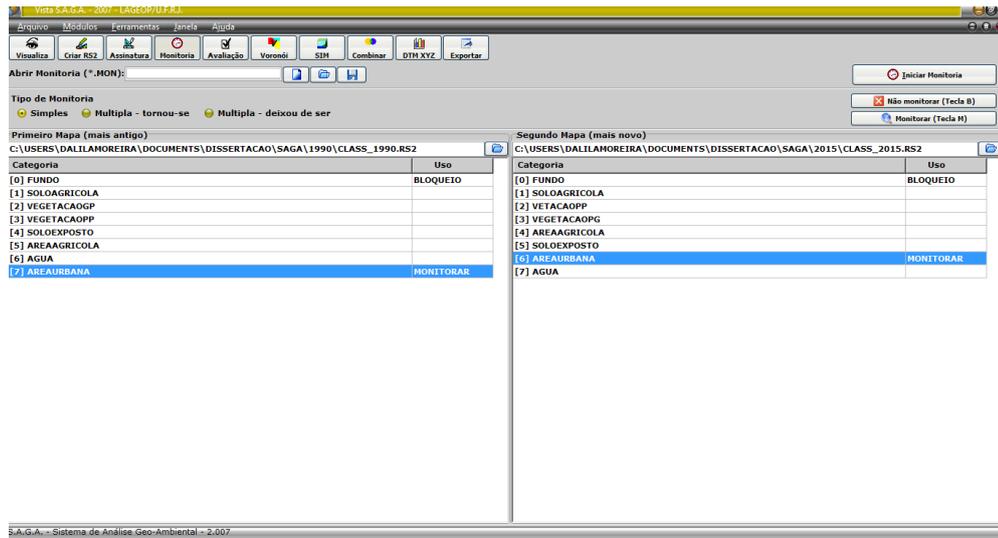


Figura 9: Monitoria Simples no S.A.G.A. Vista. Fonte: Pesquisa

Monitoramento do uso e cobertura do solo em Sete Lagoas e Prudente de Morais – MG entre 1990-2015¹

Dalila de Fátima Moreira dos Santos²

Adriana Monteiro da Costa³

Fábio Soares de Oliveira³

João Herbert Moreira Viana⁴

² Mestranda do Programa de Pós-graduação em Análise e Modelagem de Sistemas Ambientais da Universidade Federal de Minas Gerais, moreira_dalila@yahoo.com.br

³ Professores do Departamento de Geografia, Instituto de Geociências da Universidade Federal de Minas Gerais, drimonteiroc@yahoo.com.br e fabiosolos@gmail.com

⁴ Pesquisador da Embrapa Milho e Sorgo, joao.herbert@embrapa.br

RESUMO

Quantificar o crescimento urbano é fundamental para o planejamento territorial sustentável, pois pode nortear tomadas de decisão relacionadas ao zoneamento municipal. O presente trabalho fez uma análise multitemporal do uso e cobertura do solo e expansão urbana nos municípios de Sete Lagoas e Prudente de Morais – MG, de 1990 a 2015, com base nas informações extraídas de imagens de satélites do *Landsat*. Os resultados sugerem que a tendência espacial de crescimento urbano destes municípios tem ocorrido pela substituição de áreas cobertas por vegetação e atividades agropecuárias pelas estruturas urbanas. Em Sete Lagoas, a expansão ocorre no sentido do centro para nordeste, sudoeste e sudeste, podendo afetar a bacia do Córrego do Marinheiro, que representa uma importante área de recarga e abastecimento. Sua ocupação por atividades industriais representa um potencial problema ambiental. Este estudo contribui

¹ Este artigo faz parte da dissertação intitulada “Dinâmica do uso e cobertura do solo nos municípios de Sete Lagoas e Prudente de Morais – MG: Uma análise espacial do crescimento urbano” do Programa de Pós-Graduação em Análise e Modelagem de Sistemas Ambientais da Universidade Federal de Minas Gerais.

Os autores agradecem à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – CAPES, pela bolsa do primeiro autor e à FAPEMIG pelo auxílio financeiro do projeto. Artigo submetido a publicação em periódico.

para entender a dinâmica da expansão urbana local e subsidiar o planejamento urbano.

Palavras-chave: Análise espaço-temporal; Crescimento Urbano; Análise por Sensoriamento Remoto

ABSTRACT

Quantifying the urban growth is fundamental for the sustainable land planning, because it can guide the decision-making process related to the municipal zoning. The present work analysed in a multitemporal way the land use, its soil coverage, and urban expansion of the cities of Sete Lagoas and Prudente de Morais – MG, based on the information extracted from Landsat satellite images. The results suggest that the urban growth spatial trend is happening due to the replacement of native vegetation and agricultural land by urban structures. In Sete Lagoas the expansion occurs by the expansion from the center to northeast, southwest and southeast, which may affect the Marinheiro Creek watershed which is an important area of recharge and supply and its occupation by industrial activities represents an environmental problem. This work is a contribution to understanding of the dynamics of the local urban expansion and support the urban planning

Key-words: Space Time Analysis; Urban Growth; Remote Sensing Analysis.

1. INTRODUÇÃO

O processo de urbanização está diretamente relacionado ao vertiginoso crescimento populacional. Com isso, mais pessoas no mundo vivem em áreas urbanas que áreas rurais (ONU, 2014) e, desde a década de 1970, o Brasil tem acompanhado essa tendência mundial. Segundo o último censo demográfico, 84% da população vive em área urbana (IBGE, 2010).

Com o aumento da densidade demográfica em áreas urbanas, surge a necessidade de sua expansão. Essa expansão pode ser compreendida como um “processo de conotação espacial com dimensão temporal, ocorrendo quando as cidades requerem novos espaços para ampliação” (ROSSETTI, 2007, p.15). Ou seja, esse processo acarreta um aumento na demanda por recursos naturais diversos, com destaque para água e o solo. Por isso, a falta de planejamento adequado acarreta inúmeros impactos negativos, que direta e indiretamente podem surgir como problemas urbanos, tais como: desenvolvimento de área de vulnerabilidade social; ocupação desorganizada; ausência ou insuficiência de infraestrutura e de prestação de serviços públicos; inundação; erosão; desmoronamentos; poluição; aumento de resíduos; supressão de vegetação, entre outros.

Monitorar o espaço urbano é premissa para um planejamento e gestão sustentável do território. Neste sentido, um grande desafio à sociedade consiste em avançar na abordagem de processos dinâmicos e na análise de fenômenos de caráter geográfico, a partir da consideração do tempo e do espaço, de suas múltiplas articulações e da apreensão das escalas geográficas, que se configuram por meio dessas articulações (SPOSITO, 2006). Por isso a importância de se analisar holisticamente e em diferentes escalas espaço-temporais o processo de urbanização.

No Brasil, o planejamento urbano é uma prerrogativa constitucional da gestão municipal (BRASIL, 1988; BRASIL, 2001), a partir da qual define a função social da cidade. Embora existam ferramentas para auxiliar na elaboração dos planejamentos, enquanto produtos de investigação técnico-científica, muitas das tomadas de decisão têm orientação meramente política, sem conhecimento da dinâmica do espaço urbano, seja ela do presente ou passado. O conhecimento das mudanças na paisagem é fundamental para analisar os padrões de organização do espaço e permite monitorar o crescimento urbano e nortear tomadas de decisão. Como por exemplo, a classificação do uso e cobertura do solo através da extração de dados de imagens orbitais se apresenta como ferramenta essencial e de baixo custo, capaz de subsidiar o planejamento e gestão urbana.

Os municípios de Sete Lagoas (SL) e Prudente de Moraes (PM) estão localizados no colar metropolitano de Belo Horizonte, Minas Gerais, e, apesar da proximidade com a capital mineira, Sete Lagoas tem grande importância regional (NOGUEIRA, 2006; LANDAU *et al*, 2011), caracterizando-se como um polo que centraliza uma série de atividades de importância para os municípios vizinhos no que tange aos setores secundário (seguimento industrial, em que se destacam as indústrias minero-metalúrgica e automobilística) e, principalmente, terciário, tais como serviços médicos e hospitalares; educacionais; rede bancária, comércio varejista e atacadista, entre outros serviços. Prudente de Moraes é limítrofe a SL e exerce o papel de uma das principais cidades dormitórios de Sete Lagoas, no qual a mobilidade de seus moradores para exercer atividades profissionais e acessar serviços mais especializados é diária.

Ambos os municípios têm o abastecimento de água como um dos principais desafios do planejamento urbano. Elas situam-se em áreas predominantemente cársticas, com predomínio de drenagem subterrânea. Em Sete Lagoas, dentre as bacias com potencial para captação de água superficial, encontra-se a Bacia do Córrego Marinheiro, situada na região limítrofe a Prudente de Moraes. Seu principal tributário é um importante afluente do Ribeirão Jequitibá, que por sua vez é afluente do Rio das Velhas.

Nos últimos anos, em função dos problemas de escassez hídrica e do aumento da demanda de diferentes atores por captação de suas águas, a bacia do Córrego do Marinheiro tem despertado interesse quanto ao conhecimento da sua dinâmica físico-hídrica e dos possíveis conflitos futuros pelo uso da água que podem surgir, em função do comportamento espacial do crescimento urbano destes municípios.

O objetivo desta pesquisa foi analisar a dinâmica do uso e cobertura do solo e a expansão urbana sob a ótica da distribuição espacial dos municípios de Sete Lagoas e Prudente de Moraes, entre os anos de 1990 e 2015. A escolha desse período temporal se deu em virtude do grande crescimento urbano de nas últimas décadas. Já a escolha por analisar juntamente Prudente de Moraes, se deu por ser limítrofe à bacia do Marinheiro e este município ter dobrado sua área urbana em um período de 5 anos, o que pode trazer impactos à bacia.

2. MATERIAL E MÉTODOS

2.1 Área de Estudo

Os municípios de Sete Lagoas e Prudente de Moraes (Figura 1), estão localizados na Zona Metalúrgica do estado de Minas Gerais, situando-se na Mesorregião Metropolitana de Belo Horizonte e na microrregião de Sete Lagoas, a aproximadamente 70 km a noroeste da capital mineira, nas coordenadas 19°30'5"S e 44°12'12"W (Sete Lagoas) 19°28'42"S e 44°9'27"W (Prudente de Moraes). Juntos ocupam uma área de 664 km². Desses, 81% compreendem Sete Lagoas.

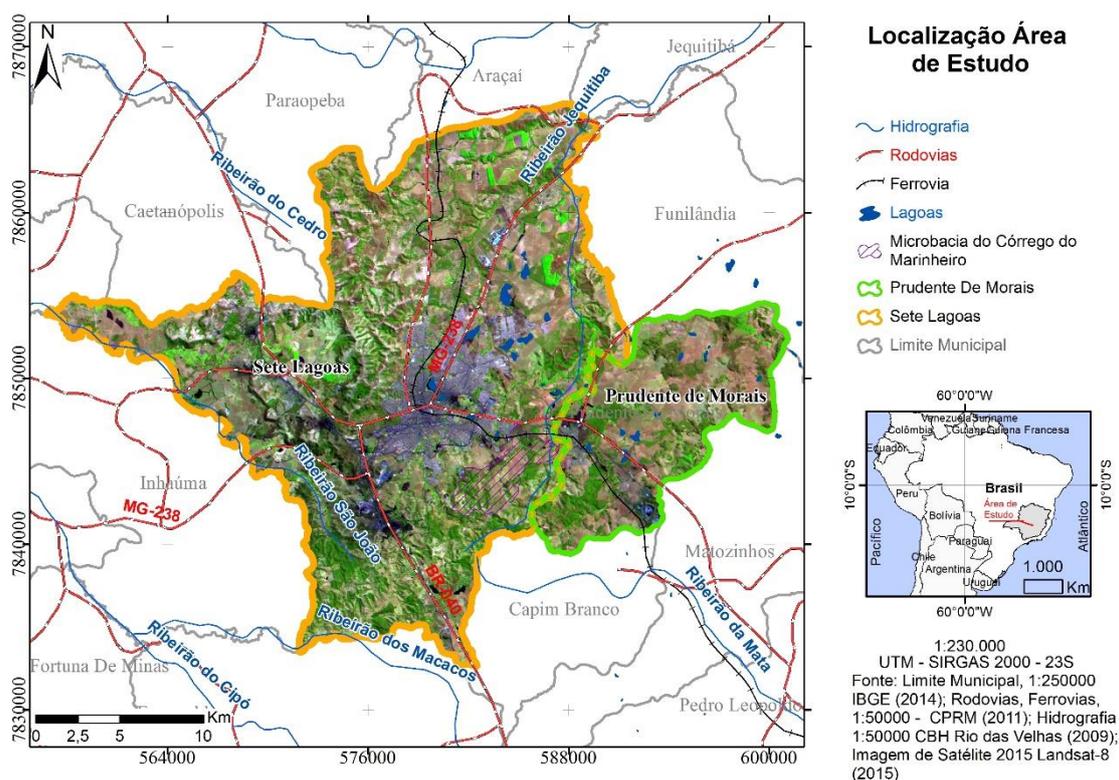


Figura 1: Localização da Área de Estudo. Elaboração: Autores.

A área de estudo está localizada na depressão São Franciscana, inserida em uma região de rochas do Grupo Bambuí, constituída de calcários cinzentos intercalados por mármore acinzentado (Formação Basal ou Sete Lagoas) e ardósias sobrepostas ao calcário (Formação Santa Helena). Apresenta relevo

constituído por colinas suaves, côncavo-convexos e altimetria mínima de 620 e máxima de 1070 m. Segundo CPRM (2009), a região exibe um relevo cárstico originado de exposições subaéreas destas rochas, principalmente devido aos densos fraturamentos. Neste domínio formam-se estruturas tais como sumidouros, dolinas, vales cegos, relevo ruiforme, lapiás, galerias e grutas.

Segundo a classificação *Köppen-Geiger*, o clima da região é Tropical de Altitude (AW), com verões quentes e chuvosos e invernos secos e total pluviométrico médio anual é de 1295,3 mm (INMET, 2015) condicionando a uma vegetação tropófila (Cerrado), característica de locais com as estações climáticas bem definidas (uma época bem chuvosa e outra seca). Os solos predominantes da região são Latossolos Vermelhos e Cambissolos Háplicos (UFV, 2011).

Segundo o IBGE (2015b; 2015c) o histórico de ocupação da área de estudo data desde o período do Brasil Colonial (1667) quando o então município de Sete Lagoas era conhecido como “território de Fernão Dias”. De 1667 até meados do século XVII a região pouco progrediu e o povoamento se iniciou por volta de 1820. Em 1867, o pequeno distrito de Santo Antônio das Sete Lagoas é elevado a vila, emancipando-se seis anos depois de Santa Luzia. Foi elevado à categoria de cidade em 1880, com o nome de Sete Lagoas (Lei Provincial nº 2672, de 30 de novembro de 1880). No decorrer dos anos, Sete Lagoas teve vários distritos pertencentes a seu território que mais tarde foram sendo anexados em outros municípios ou se emancipando. A atual divisão territorial (datada de 1-VII-1960) é constituída de dois distritos: Sete Lagoas (Sede do município) e Silva Xavier (vila) (IBGE, 2015b).

Já Prudente de Moraes foi fundada por Bandeirantes, conhecida na época como “Lagoa do Cercado”. Até por volta dos anos de 1870, pertencia ao município de Santa Luzia, passando a fazer parte da recém-criada “Freguesia de Pedro Leopoldo” e o desmembramento de Matozinhos, o já Prudente de Moraes, tornou-se seu distrito, sendo emancipado apenas em 1963 (Lei Estadual nº 2764 de 30 de dezembro de 1962) (IBGE, 2015c).

2.2 Processamento digital das Imagens

A elaboração dos mapas de uso e cobertura do solo foi realizada seguindo as seguintes etapas: (1) Aquisição de imagens de satélite. Foram utilizadas imagens *Landsat-5 TM* e *Landsat-8 OLI* (Orbita 218 e Ponto 073 e 074) dos anos de 1991, 2000, 2010 e 2015 entre os meses de agosto e setembro. (2) Seleção das bandas; (3) Registro; (4) Recorte da área de estudo; (5) Manipulação do histograma; (6) Segmentação; (7) Classificação.

A classificação das imagens foi supervisionada e realizada pelo método objeto-orientado, cuja análise é focada em grupos inteiros de *pixels* que satisfazem os critérios de homogeneidade predefinidos (LEWIŃSKI, 2006). (8) Inspeção visual da classificação; (9) Validação; e (10) Mapeamento de uso e cobertura do solo (Figura 2).

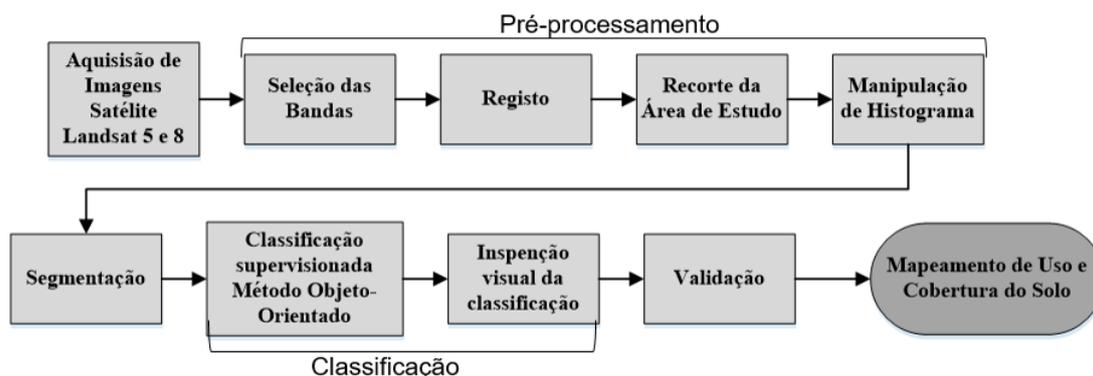


Figura 2: Fluxograma metodológico da Classificação. Elaboração: Autores.

A definição das classes foi adaptada a partir do Sistema de Classificação de Uso da Terra – SCUT (IBGE, 2013), utilizando elementos visualmente passíveis de serem identificados. Geraram-se sete classes de observação definidas como:

1. Área agropecuária: inclui áreas com culturas temporárias e permanentes; áreas de pastagem e pousio.
2. Solo Exposto: as áreas com solo exposto natural e antrópico.

3. Água: inclui os corpos d'água da região, respeitando-se os limites da resolução espacial dos dados de origem (pixel de 30 metros), o que fez com que pequenos cursos d'água não fossem mapeados.
4. Floresta e vegetação de porte arbóreo alto e médio: inclui as áreas de vegetação de porte arbóreo alto como matas ciliares, cerradão, áreas de reserva, entre outras áreas com vegetação densa.
5. Vegetação porte arbóreo baixo/rasteiro e médio: inclui a vegetação natural de porte rasteiro e pequeno. São incluídas nesta classe as áreas de campo que revestem as encostas e também áreas de cerrado com presença de árvores muito esparsas e inclui, em alguns casos afloramento rochoso.
6. Área urbana: inclui a mancha urbana e as áreas urbanas isoladas que tenham aglomeração populacional.
7. Área industrial e/ou mineral, inclui áreas de mineração e infraestrutura de apoio e plantas industriais.

Depois de realizada a classificação, foram coletadas novas amostras (amostras tidas como verdade) das mesmas classes para validação e acurácia dos dados. A acurácia foi realizada no mesmo software que a classificação, o eConighton® (TRIMBLE, 2014). Nele, o índice *Kappa* (LANDIS e KOCK, 1971) e gerado automaticamente. Esse índice varia de -1 (concordância nula) a 1 (concordância perfeita) ou ainda conforme a Tabela 1.

Tabela 1: Valor do Índice Kappa

Valor de <i>Kappa</i>	Qualidade da Classificação
<0,00	Péssimo
0,0 – 0,2	Ruim
0,2 – 0,4	Razoável
0,4 – 0,6	Boa
0,6 – 0,8	Muito Boa
0,8 – 1,0	Excelente

Fonte: LANDIS e KOCK (1977)

Com objetivo de analisar espacialmente e quantificar o crescimento urbano dos municípios, utilizou-se o software S.A.G.A Vista (UFRJ, 2015), para a análise de monitoria de mudança. Para tal, procedeu-se à junção das classes “Área Urbana” e “Industrial e/ou Mineral” e criou-se uma nova classe denominada de “Área Urbanizada”. Foram então realizados dois tipos de monitoria: a Monitoria Simples, para as seis classes do mapa de classificação de uso e cobertura do solo e a Monitoria múltipla (Deixou de ser.... e Tornou-se...) (MARINO, 2005) para as classes: “Área Urbanizada” e “Área Não Urbanizada” comparando a classificação da imagem de 1990 com a de 2015.

O software ArcGis® Desktop 10.3.1 (ESRI, 2015) foi utilizado para o registro das imagens (na etapa do pré-processamento) e elaboração dos layouts dos mapas. Também foram utilizados dados censitários dos anos de 1991, 2000 e 2010 sobre demografia e dados econômicos (IBGE, 1991; IBGE, 2000; IBGE, 2010; IBGE, 2015a; IBGE, 2015d; IBGE, 2015e; IDHMB, 2013), informações do Ministério da Saúde, através do Banco de Dados do Ministério da Saúde – DATASUS (MS, 2016) e dados sobre o histórico dos municípios (IBGE, 2015b; IBGE, 2015c) para auxiliar na análise espaço-temporal.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 USO E COBERTURA DO SOLO ENTRE OS ANOS 1990-2015

O município de Sete Lagoas teve sua ocupação inicial no entorno da lagoa Paulino, e o seu crescimento urbano se deu a partir da expansão da área central para as pericentrais e com os corredores viários (principalmente a BR-040 construída na década de 1950), foram os responsáveis pela está expansão urbana nas áreas mais periféricas da cidade. Já Prudente de Moraes sempre foi uma cidade com pouco crescimento urbano e usufruindo de alguns serviços ofertados por Sete Lagoas, por isso, apresenta-se como cidade dormitório. Apenas na última década, o município apresentou aumento no crescimento urbano.

Os resultados obtidos nas classificações do uso e cobertura do solo a partir da classificação supervisionada por objeto-direto das imagens *Landsat-5* e *Landsat-8* nos anos de 1990, 2000, 2010 e 2015 são considerados muito bom e excelente (Tabela 2), tendo o menor resultado acima de 83% (Classificação de 2010) e o maior resultado um pouco acima de 90% (Classificação de 2000).

Tabela 2: Acurácia da Classificação

Acurácia	1990	2000	2010	2015
Overall Accuracy	0.87284482759	0.9257918552	0.86263736264	0.87540628386
KIA	0.8409671683	0.90711584763	0.83190690228	0.85062649411

Fonte: Pesquisa

Ao analisar-se a dinâmica na área de estudo (Tabela 3 e Figura 3), observa-se em Sete Lagoas duas classes temáticas predominantes: Vegetação de porte arbóreo baixo/rasteiro, com média de 34%, e Solo agropecuário, com 32% em todo o período analisado. As demais classes tiveram variação ao longo dos anos analisados, como por exemplo, a Floresta e vegetação arbórea alta/média que apresentou aumento de área entre os anos de 1990-2000 passando, respectivamente de 19% para 24%. Já nos anos seguintes houve uma diminuição gradativa, passando de 21% em 2010 para 17% em 2015.

Tabela 3: Classes de uso e cobertura da terra

Classe	1990 Área (ha)		2000 Área (ha)		2010 Área (ha)		2015 Área (ha)	
	Prudente de Morais	Sete Lagoas						
Água	74	246	86	324	62	272	46	360
Área Agropecuária	5438	19113	5845	17518	5659	16189	6201	16753
Área Industrial e/ou Mineral	57	388	115	216	79	96	132	1228
Solo Exposto	83	2138	33	2110	13	808	98	2062
Área Urbana	146	2795	192	3986	229	4565	327	6160
Vegetação porte arbóreo baixo/rasteiro e médio	3588	18744	2344	16854	3777	20428	2881	18259
Floresta e vegetação de porte arbóreo alto/médio	3026	10306	3797	12721	2593	11371	2727	8908
Total	12412	53729	12412	53729	12412	53729	12412	53729

Fonte: Pesquisa.

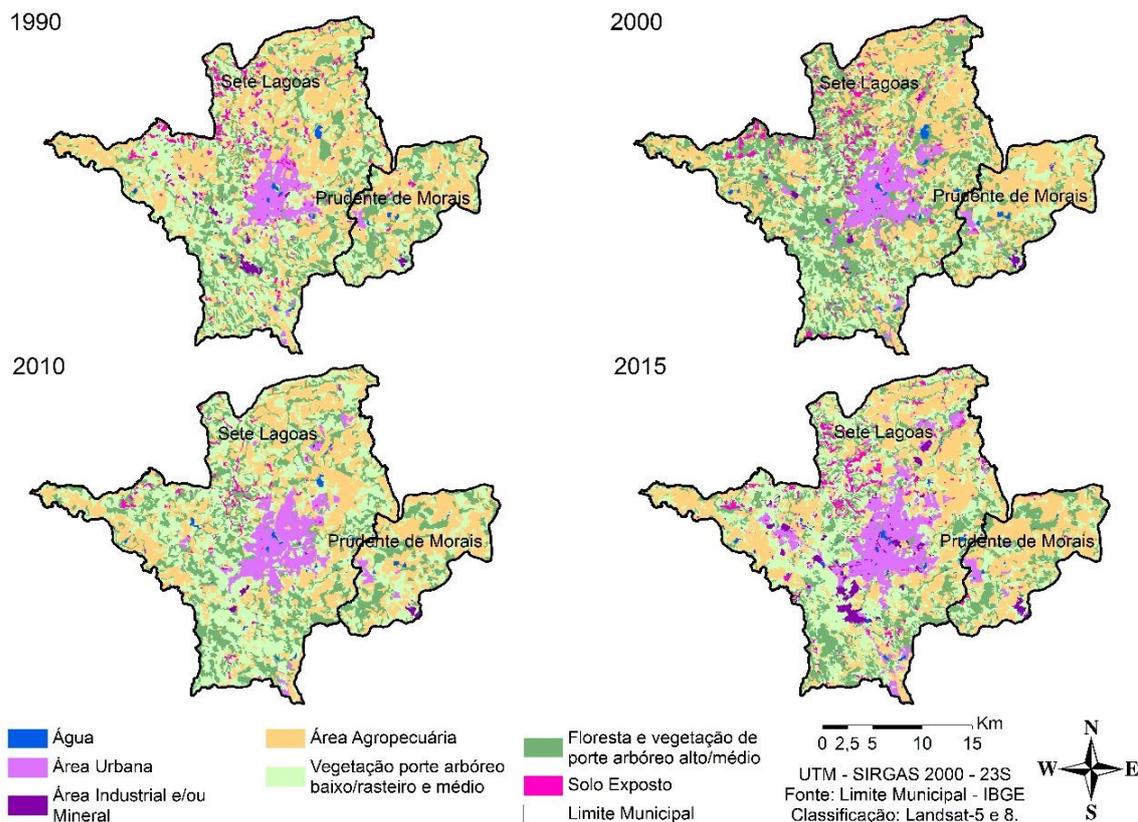


Figura 3: Classificação do Uso e cobertura do Solo. Elaboração: Autores.

A análise comparativa temporal na classe Área Urbana no período analisado permite constatar um significativo crescimento (Figura 4), saltando de 5% (2.795 ha) em 1990 para 11% (6.160 ha) da área total do município no ano de 2015, um crescimento de 55 %. A Área industrial e/ou mineral passou de 387,54 ha em 1990 para 1.228 ha em 2015, representando um crescimento de 68%. Toda esta mudança na conjuntura espacial do município ao longo de 25 anos é acompanhada pela mudança nos dados demográficos e socioeconômicos. A população urbana do município teve um aumento de 33%, e a rural de 27% (IBGE, 1991; IBGE, 2010) totalizando 60%, o que em números absolutos significa um aumento de 144.014 para 232.107 mil habitantes em 2015.

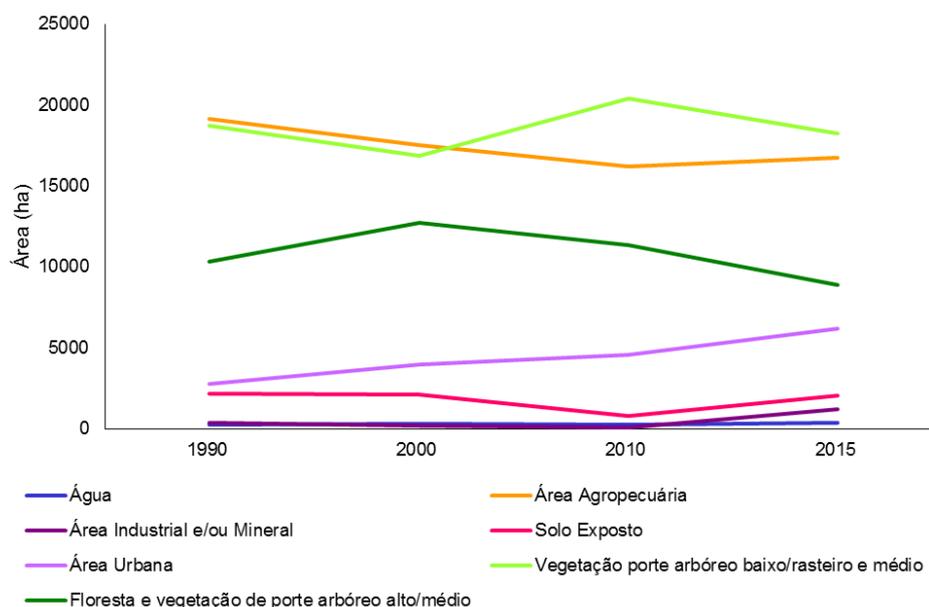


Figura 4: Evolução das classes em Sete Lagoas. Fonte: Pesquisa

O apogeu da indústria guseira nos anos de 1980 e 1990 permitiu que Sete Lagoas se firmasse como polo regional, atingindo, a partir de então, o status de cidade média. O crescimento explosivo da cidade levou a sua modernização e o setor terciário se expandiu, já que novas atividades comerciais e de serviços surgiram (Faria *et al.*, 2012). A partir de 2000, o município apresenta uma grande ampliação do seu parque industrial, com a instalação de importantes indústrias multinacionais (Iveco, 2000; Ambev, 2009; Elma Chips, 2011; Caterpillar, etc.). Conseqüentemente, ocorre uma grande migração de pessoas oriundas de vários estados do Brasil para o município, sobretudo com a expectativa de oferta de empregos nas empresas e, também, nas suas prestadoras de serviço.

O processo intenso de industrialização e urbanização vem acompanhado da grande ampliação do setor de serviços, e isto se reflete diretamente na economia do município e nas condições socioeconômicas da população. O produto interno bruto (PIB) passa de R\$ 1.002.255,1 em 2000 (IBGE, 2000) para R\$ 5.820.628 em 2010 (IBGE, 2010) e o PIB per capita de R\$ 5.432,38 para R\$ 27.190,17 (IBGE, 2010) no mesmo período, representando um aumento de 80% no PIB per capita em 10 anos. As atividades industriais representam em 2010, 46,2% do PIB, o setor de serviços 39,9%, impostos 13,14% e a agropecuária

0,50% (MS, 2016). O Índice de Desenvolvimento Humano (IDH) passa de 0,511 em 1991 para 0,760 em 2015 passando do nível baixo para o nível alto (ADHMB, 2013).

A classe de Área agropecuária por sua vez, apresentou uma média de 32% da área do município com decréscimo, em 2010, de 6% em relação a 1990. Esta redução é observada também na contribuição do setor agropecuária para o PIB, passando de 1,3% em 1990 para 0,5% em 2010. De maneira geral, o que se observa é que a urbanização em Sete Lagoas vem acompanhada do aumento do setor de serviços e declínio do setor agropecuário, ainda que esse tenha representado na década de 1940 o precursor do desenvolvimento industrial do município (NOGUEIRA, 2006).

Em Prudente de Moraes, a classe com maior representatividade é a *Área Agropecuária*, com média de ocupação de 46,5% (5.771,4 ha) no período observado (1990 a 2015), seguida pela *Vegetação porte arbóreo alto/médio* (25,5%) e *Vegetação porte arbóreo rasteiro/médio* (24%). A *Área Urbana* apresentou um aumento expressivo, passando de 1% em 1990 para 3% em 2015 (Figura 5).

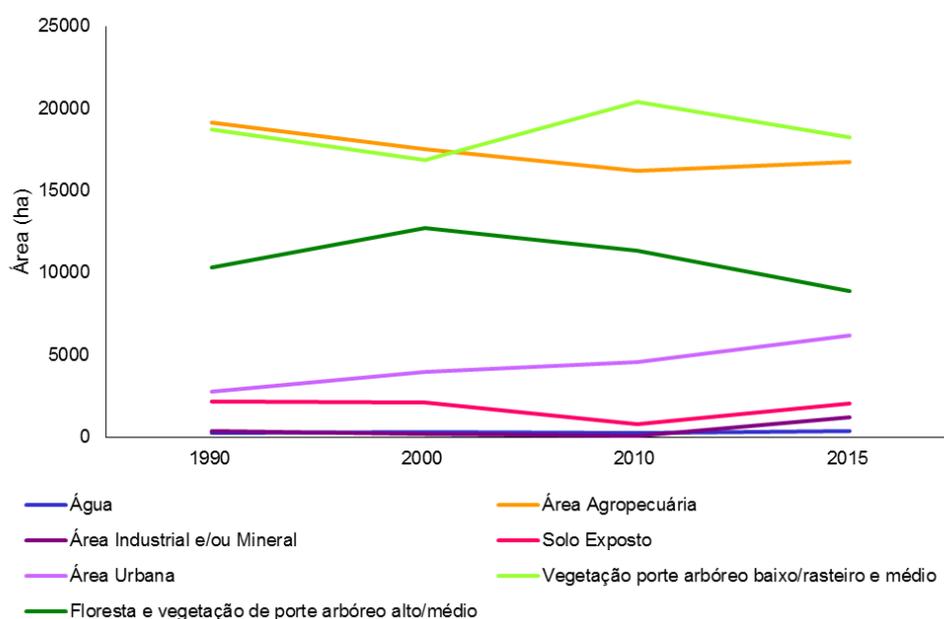


Figura 5: Evolução das classes em Prudente de Moraes. Fonte: Pesquisa.

Este crescimento espacial na Área Urbana é acompanhado pelo aumento populacional, que foi de 6.819 habitantes em 1991 para 13.638 habitantes em 2015, resultando em um processo de urbanização caracterizado pelo aumento de 34% na população urbana e uma de 70% da população rural. O IDHM passou de 0,46 em 1999 para 0,69 em 2010 (IBGE, 2010; IDHMB, 2013; IBGE, 2015a) caracterizando uma significativa melhora na qualidade de vida do município. O aumento nos indicadores relaciona-se ao PIB do município, que aumentou de R\$ 27.479.000,00 (1999) para R\$ 86.211.000,00 (2012), sendo 60% deste proveniente do setor de serviços, seguido pelos impostos (25,1%); indústria (10,2%) e agropecuária (5%) (MS, 2016).

A urbanização no município é representativa do Brasil, e típica dos países subdesenvolvidos, denominada como “urbanização terciária”, com crescimento de atividades terciárias qualitativamente pouco especializadas e de baixo valor agregado, inclusive as que fazem parte da economia formal (VIEIRA *et al.*, 2015). As demais classes (Água, solo exposto e industrial/mineral) apresentaram pouca alteração ao longo dos anos mantendo-se uma área média de 1%.

Analisando-se os eixos de expansão urbana dos dois municípios, nos últimos 25 anos observa-se que as alterações ocorreram principalmente nas áreas limítrofes ao centro urbano e próximo às rodovias (Figura 6).

Em Sete Lagoas, o crescimento orienta-se da sua área central para nordeste, sudeste e sudoeste, ambas próximas às vias de acesso do município (MG 238, MG 424 e BR 040). A nordeste, concentra-se o parque industrial do município onde estão as grandes multinacionais (Iveco, Ambev, Caterpillar) instaladas a partir de 2000 e as prestadoras de serviços destas. A porção sudoeste concentra grande área industrial/mineral e do setor de serviços. Nesta área também se localizam Centros Universitários. A porção sudeste compreende áreas de fazendas que estão sendo transformadas em empreendimentos mobiliários. Nesta direção também se localiza a fábrica da Elma Chips, da Bombril, o Estádio Municipal Joaquim Henrique Nogueira, a Universidade Federal de São João Dei Rei, próximos à via de acesso (MG 424).

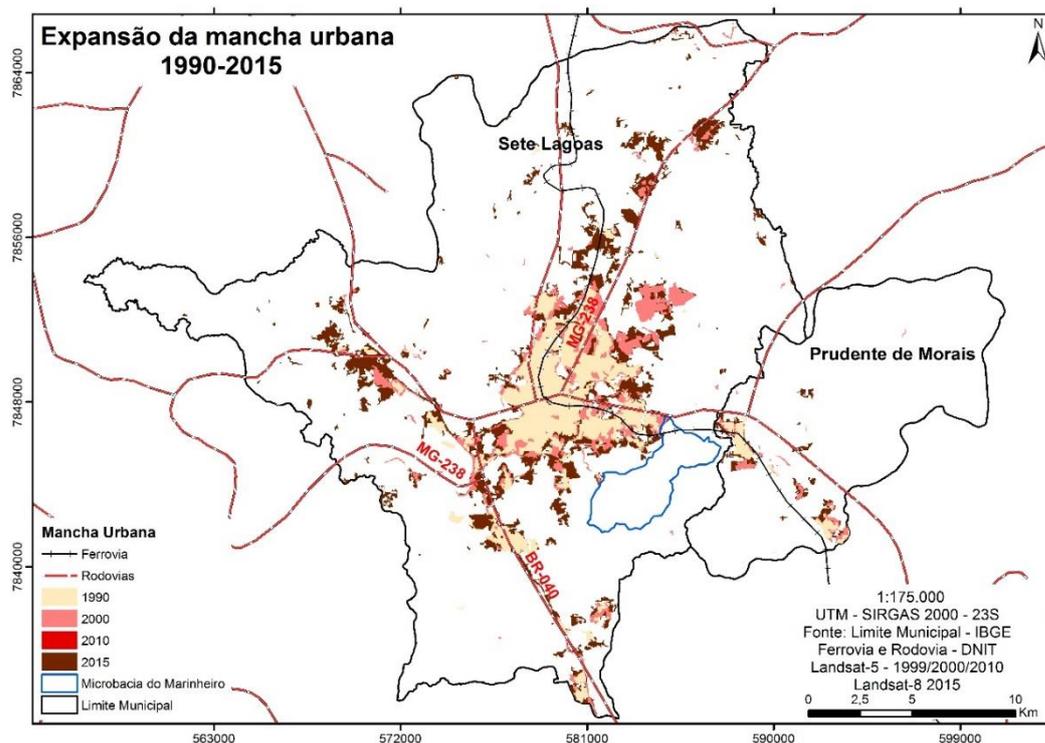


Figura 6: Expansão da Mancha Urbana - 1990-2015. Elaboração: Autores.

A urbanização, por sua vez, encontra barreiras físicas naturais na porção noroeste do município, onde se localiza a Serra de Santa Helena. Para esta área existem duas leis municipais que definem duas Áreas de Proteção Ambiental (APA), denominadas APA Serra de Santa Helena (Lei Municipal nº 8217 de 10 de Dezembro de 2012) e a APA do Ribeirão do Paiol (Lei Municipal nº 5748 de 18 de Dezembro de 1998). Já a Leste encontra-se o Centro Nacional de Pesquisa Milho e Sorgo - Embrapa, que consiste numa barreira política, cuja área de 1932,8 ha pertence à União (Figura 7).

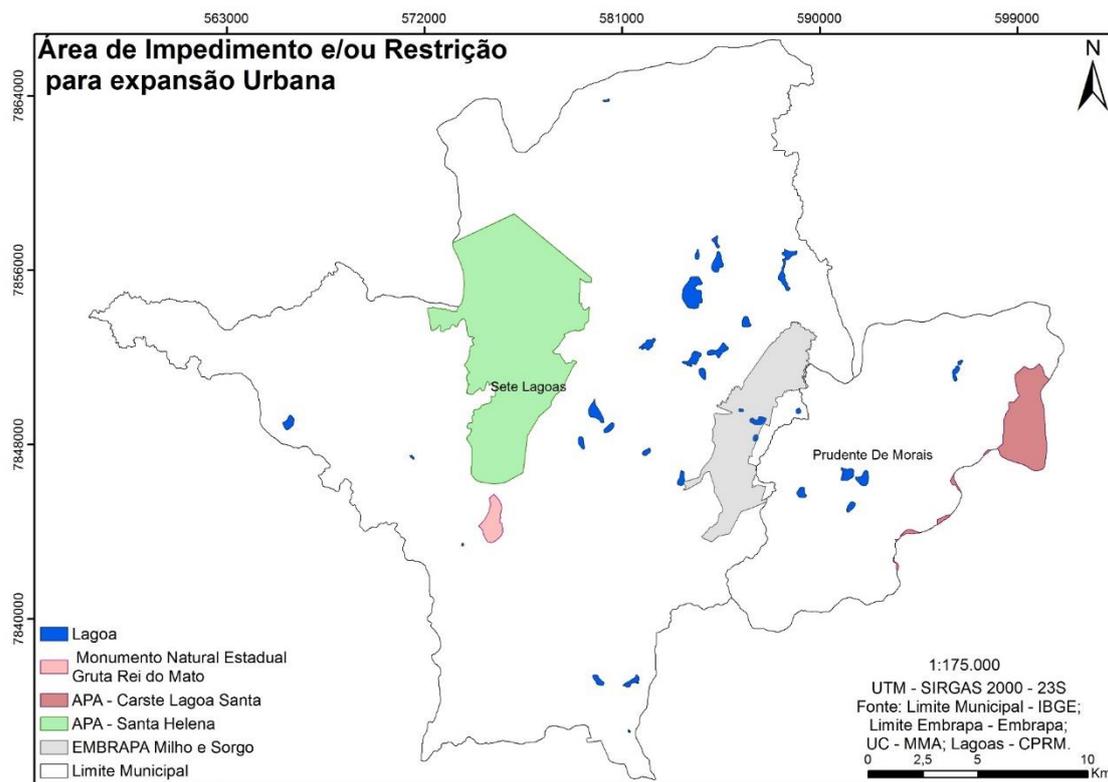


Figura 7: Área de Impedimento e/ou Restrição para expansão Urbana. Elaboração: Autores.

Prudente de Morais tem crescido nos sentidos sudeste em direção à Capim Branco e noroeste na área limítrofe a Sete Lagoas. Contudo, a porção sudeste é limítrofe à APA Carste Lagoa Santa (Decreto nº 98.881, de 25 de janeiro de 1990), o que restringe o crescimento nesta área e na porção noroeste do município desde 1999 (Decreto nº 1.876, de 25 de abril de 1996) possui restrições de ocupação em uma área de 776,4 ha pertencentes à APA Carste Lagoa Santa (PMPM, 2016) e a fazenda Santa Rita, da EPAMIG (Empresa de Pesquisa Agropecuária de Minas Gerais). Na a porção norte do município de Prudente de Morais existe uma proposta de criação de uma APA federal “Refúgio de Vida Silvestre Estadual Cauaia”, segundo PMM (2016), que propiciará a formação de um corredor ecológico com a APA Carste Lagoa Santa.

A avaliação da detecção de mudanças permitiu identificar espacialmente as áreas onde ocorrem mudanças dos diferentes tipos de uso do solo para a classe Áreas Urbanizadas, entre os anos de 1990 e 2015. Na monitoria múltipla

(Figura 8), são analisadas todas as classes, com a espacialização e quantificação da perda dessas classes para a “Área urbanizada”.

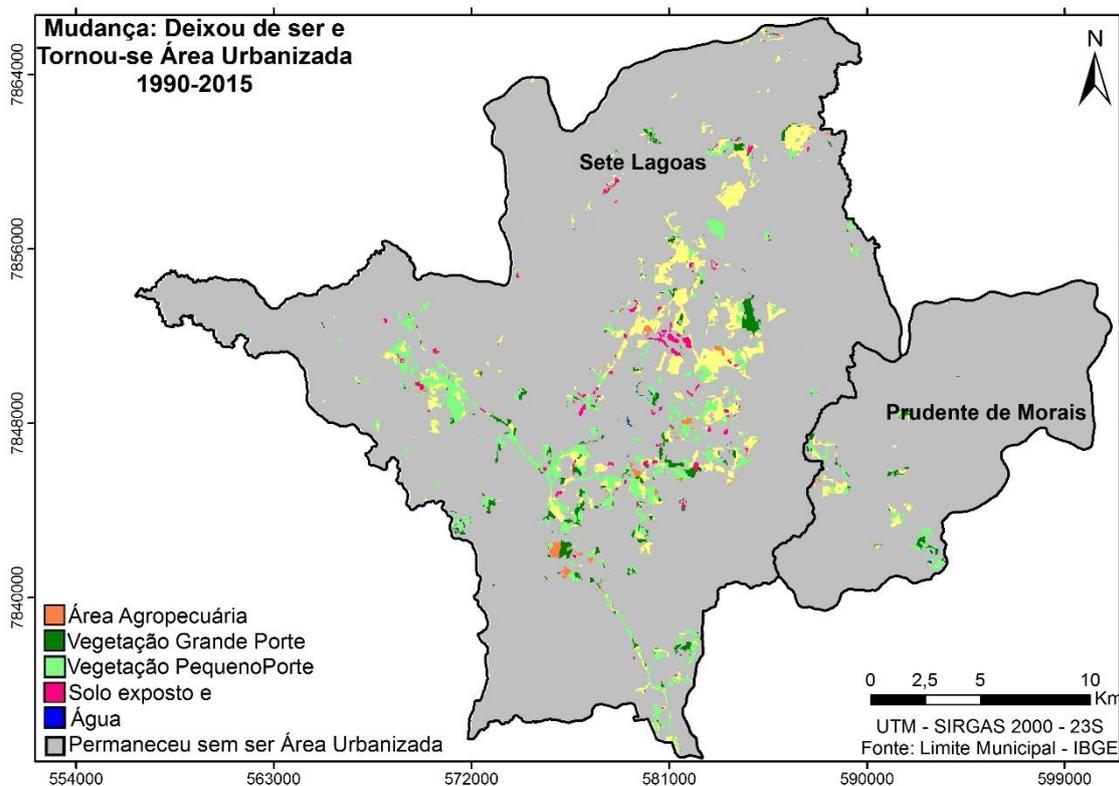


Figura 8: Monitoria de Mudança A) Deixou de ser... e tornou-se Área Urbanizada. Fonte: Autores.

Os resultados destacam que as Áreas Urbanizadas vêm substituindo, sobretudo, as Áreas Agropecuárias e de Vegetação de pequeno, médio e alto porte, em ambos os municípios. Essa mudança pode trazer séries de implicações no que se refere à redução da capacidade de produção agropecuária no município, impermeabilização dos solos, desmatamento, processos erosivos, dentre outros (Figura 9).

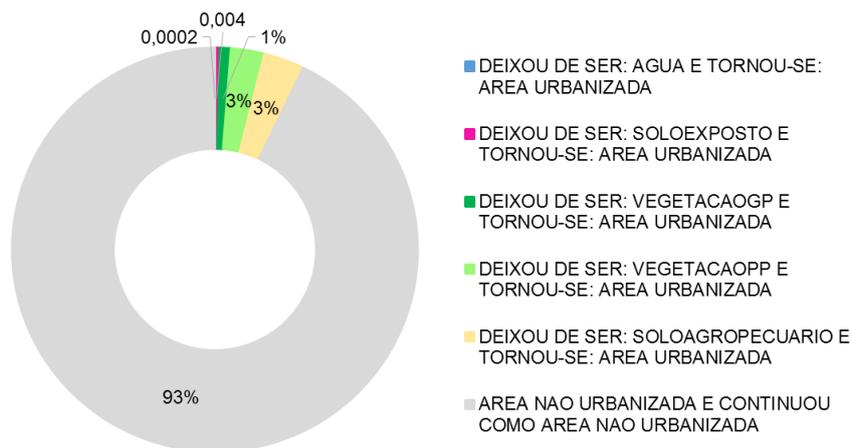


Figura 9: Monitoria Múltipla. Fonte: Pesquisa.

Na monitoria simples (Figura 11) é especializado: a) o que Não era Área Urbanizada em 1990 e continua Não Sendo em 2015; b) o que era Área Urbanizada e Deixou de Ser; c) o que se Tornou urbanizada e o que Continuou Sendo Urbanizada.

A área central de ambos municípios permaneceu urbanizada e a perda de área urbanizada foi insignificativa em Prudente de Moraes e em Sete Lagoas caracterizou-se principalmente em área que haviam exploração mineral e deixou de haver (Figura 10). As áreas que tornaram-se urbanizadas (7% da área) foram as pericentrais e próximas às rodovias, e na região norte de Sete Lagoas com o loteamento de áreas e, inclusive, a construção de casa populares.

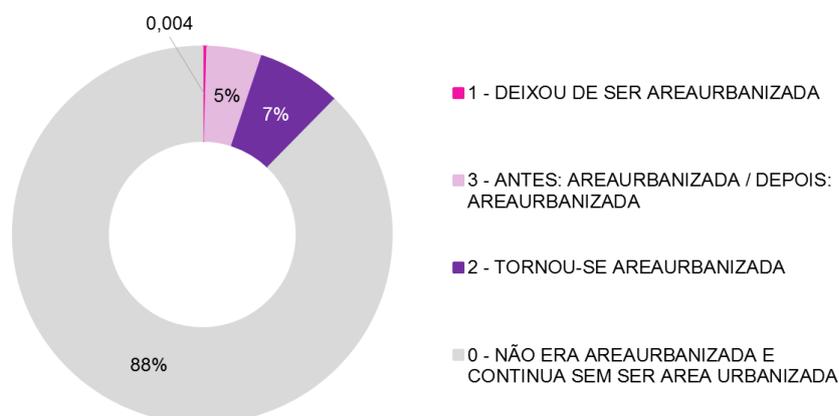


Figura 10: Monitoria Simples. Fonte: Pesquisa.

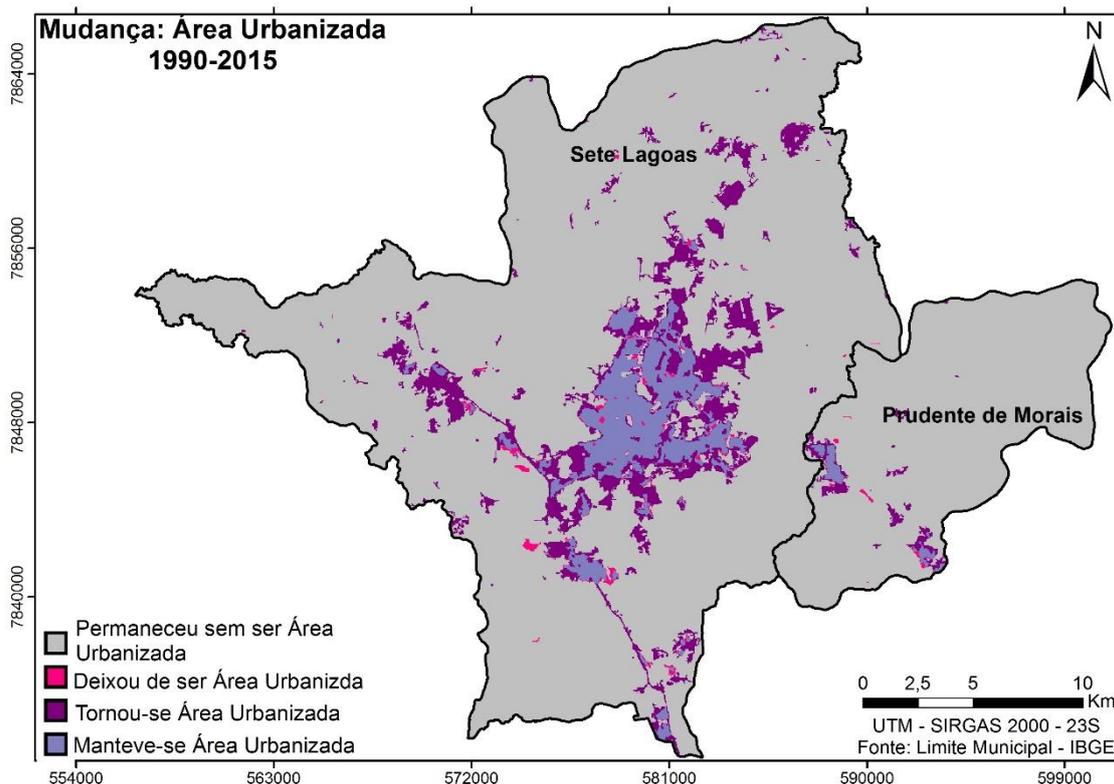


Figura 11: Monitoria de Mudança - Área Urbanizada. Fonte: Autores. Elaboração: Autores.

Observa-se que a Urbanização acompanha justamente as áreas onde não há impedimentos físicos e políticos para o seu crescimento, ou seja, sentido nordeste, sudeste e sudoeste em Sete Lagoas e sudoeste e noroeste em Prudente de Morais.

A tendência de urbanização nos dois municípios, considerando os cenários apresentados, direciona-se à área limítrofe entre eles, como na região sudeste de Sete Lagoas. Nesta região há uma área que tem sido objeto, nos últimos anos, de discussões sobre possíveis conflitos pelo uso da água e sobre a possibilidade de implantação do programa “Produtor de água”⁵ tendo em vista que na área encontram-se as nascentes do Córrego Marinheiro, afluente do Ribeirão Jequitibá, que por sua vez é fluente do Rio das Velhas. O Córrego do Marinheiro é um dos poucos cursos de água superficiais do município ainda com qualidade adequada para o abastecimento da população rural que reside nesta

⁵ O Produtor de Água é uma iniciativa da ANA que tem como objetivo a redução da erosão e assoreamento dos mananciais nas áreas rurais, para maiores informações acesse: <<http://produtordeagua.ana.gov.br/>>

área, além de ser principal fonte de água de irrigação da Embrapa Milho e Sorgo ser considerado um diluidor das águas do Ribeirão Jequitibá.

A Microbacia do Córrego Marinheiro apresenta, na conjuntura exposta, grande importância quanto a aspectos ambientais relacionados à disponibilidade hídrica e à proteção ambiental. Encontram-se ali Áreas de Proteção Ambiental e também uma espécie da flora brasileira ameaçada de extinção, o Faveiro de Wilson (*Dimorphandra wilsonii*) (MARTINS, *et al*, 2014). A expansão urbana dos municípios para a área da Microbacia pode trazer graves consequências para a mesma, com impactos na qualidade e quantidade de água disponível. Ressalta-se ainda que, em ambos os municípios, a captação de água para uso urbano pelo SAAE (Serviço Autônomo de Água e Esgoto) em Sete Lagoas, e pela COPASA (Companhia de Saneamento de Minas Gerais) em Prudente de Moraes, é feita através de poços artesianos, sendo exclusivamente subterrânea. Nos últimos anos os mesmos têm sofrido redução da disponibilidade hídrica, em consequência da sobre-exploração, dos longos períodos de estiagem, da redução da recarga pela redução da cobertura vegetal e pela impermeabilização dos solos.

Neste sentido, o avanço da área urbanizada para a área da microbacia pode agravar ainda mais estes problemas. No atual Plano Diretor do Município de Sete Lagoas, a área da microbacia em questão consta como área rural, mas no novo Plano Diretor que está em discussão, foi proposto que a área seja considerada como destinada à expansão industrial. Os impactos desta mudança no Plano seriam ainda mais drásticos na produção e gestão da água nessa bacia, diretamente influenciando os dois municípios limítrofes. A Bacia do Córrego Marinheiro representa, face ao cenário e expansão urbana dos municípios estudados, uma área potencial para conflitos pelo uso da água. Como a região possui muitas áreas cársticas, a captação em domínio de aquífero granular, como o que ocorre na bacia, pode sofrer fortes impactos caso o uso industrial seja permitido.

Assim, os dados deste trabalho podem contribuir para entender a dinâmica da expansão urbana, identificar as áreas onde esta pode causar

conflitos ou prejuízos à comunidade e servir para subsidiar o planejamento urbano pelos gestores públicos.

4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

O uso de ferramentas de geotecnologias permitiu a obtenção de dados espaciais com baixo custo, que são fundamentais para subsidiar o planejamento e gestão urbana, através do monitoramento da mudança do uso e cobertura do solo associados a dados censitários. Como é imprescindível pensar nas cidades com foco no planejamento urbano para a gestão do território, a análise de uso e cobertura do solo gera informações de suma importância para a tomada de decisão;

A expansão da urbanização nos municípios estudados tem ocorrido a partir da supressão de áreas antes ocupadas por atividades agropecuárias e pela retirada de vegetação de pequeno, médio e grande porte, reproduzindo um modelo exploratório de crescimento das cidades e que traduz a falta de um planejamento socioambiental.

A expansão dos municípios, observada neste trabalho, indica o esgotamento das áreas disponíveis e sinaliza o comprometimento de bacias hidrográficas periurbanas, que representam a garantia do abastecimento de água para a população. Como há a sinalização de interesses futuros na expansão de atividades industriais nessas áreas, como por exemplo na bacia do Córrego do Marinheiro, há a necessidade premente de investimentos em pesquisa consorciados com mecanismos de gestão pública para garantir que áreas vulneráveis sejam preservadas e que o crescimento desordenado não comprometa os recursos naturais disponíveis no município.

Neste sentido, os Planos Diretores dos municípios deveriam considerar estudos de viabilidade técnica e ambiental, subsidiados por dados como os deste trabalho, sobre os impactos que este crescimento pode vir a promover nas respectivas áreas.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BRASIL. Lei Provincial nº 2672, de 30 de novembro de 1880. A Princesa Imperial Regente, em Nome do Imperador, Faz saber a todos os subditos deste Imperio que a Assembléa Geral decretou e Ella Sanccionou a Lei seguinte: Eleva à categoria de Cidade a Vila de Sete Lagoas.

BRASIL. Constituição (1988). Constituição da República Federativa do Brasil. Brasília, DF: Senado, 1988.

BRASIL. Decreto nº 98.881, de 25 de janeiro de 1990. Dispõe sobre a criação de área de proteção ambiental no Estado de Minas Gerais, e dá outras providências. 1990.

BRASIL. Decreto nº 1.876, de 25 de abril de 1996. Altera o art. 3º do Decreto nº 98.881, de 25 de janeiro de 1990, que dispõe sobre a Criação de Área de Proteção Ambiental no Estado de Minas Gerais. 1996.

BRASIL. Estatuto da Cidade: Lei 10.257/2001 que estabelece diretrizes gerais da política urbana. Brasília, Câmara dos Deputados, 2001.

CPRM. Projeto Sete Lagoas-Abaeté, Estado de Minas Gerais: texto explicativo. TULLER, M. P. et al, Orgs.- Belo Horizonte: CPRM-BH, 2009 160p.

ESRI, ArcGIS® Desktop: Released Version 10.3.1. California/Estados Unidos. Environmental Systems Research Institute. 2015.

FARIA, T. C. A.; NOGUERIA, M.; OLIVEIRA, F. B. A centralidade de Sete Lagoas e sua Relação com os Fluxos Populacionais desde sua Industrialização efetiva (1960 -2010). In: ENCONTRO NACIONAL DE ESTUDOS POPULACIONAIS, XVIII, 2012, Águas de Lindóia. 2012. v. 1. p. 1-16.

Índice de Desenvolvimento Humano Municipal Brasileiro - IDHMB. PNUD, Ipea, FJP, Brasília. 2013. 96 p.

Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – IBGE. Censo Demográfico 1991. Rio de Janeiro, 1991. Disponível em: <<http://www.sidra.ibge.gov.br>> Último acesso em: 24/abr de 2016.

Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – IBGE. Censo Demográfico 2000. Rio de Janeiro, 2000. Disponível em: <<http://www.sidra.ibge.gov.br>> Último acesso em: 24/abr de 2016.

Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – IBGE. Censo Demográfico 2010. Rio de Janeiro, 2010. Disponível em: <<http://www.sidra.ibge.gov.br>> Último acesso em: 24/out de 2015.

Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – IBGE. Manuais técnicos em geociências nº 7. Manual Técnico de Uso da Terra. IBGE/Coordenação de Recursos Naturais e Estudos Ambientais. 3ª Edição. Rio de Janeiro, 2013.p.171. Disponível em:
<<http://biblioteca.ibge.gov.br/visualizacao/livros/liv81615.pdf> > Acesso 14/mai de 2014.

Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – IBGE. Base Cartográfica Contínua do Brasil – 1:250000. Rio de Janeiro. 2014

Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – IBGE. Estimativas da População Residente nos Municípios Brasileiros com data de referência em 1º de julho de 2015. Diretoria de Pesquisas - DPE - Coordenação de População e Indicadores Sociais - COPIS. Rio de Janeiro, 2015a. p.127.

Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – IBGE. Histórico da cidade de Sete Lagoas. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE): Rio de Janeiro. Disponível em: <
<http://www.cidades.ibge.gov.br/painel/historico.php?codmun=316720&search=%7Csete-lagoas&lang=>> Último acesso em: 16/fev de 2015b

Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – IBGE. Histórico da cidade de Prudente de Moraes. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE): Rio de Janeiro. Disponível em: <
<http://www.cidades.ibge.gov.br/painel/historico.php?lang=&codmun=315360&search=||infogr%E1ficos:-hist%F3rico>> Último acesso em: 16/fev de 2015c.

Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – IBGE. Cidades, Prudente de Moraes. Disponível em:
<<http://www.cidades.ibge.gov.br/xtras/perfil.php?lang=&codmun=315360&search=minas-gerais|prudente-de-morais>> Acesso em: Acesso em: 19/out de 2015d.

Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – IBGE. Cidades, Sete Lagoas. Disponível em:
<<http://www.cidades.ibge.gov.br/xtras/perfil.php?lang=&codmun=316720&search=minas-gerais|sete-lagoas>> Acesso em: 19/out de 2015e.

Instituto Nacional de Meteorologia - INMET. Série temporal de dados climáticos. Instituto Nacional de Meteorologia. Disponível em:
<<http://www.inmet.gov.br/portal/index.php?r=bdmep/bdmep>> Acesso 30/out de 2015.

LANDAU, E. C. et al. Expansão Urbana da Cidade de Sete Lagoas/MG entre 1949 e 2010. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO - SBSR, XV, 2011. Anais XV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto – SBSR, 2011, Curitiba, INPE, p.4011-4016.

LANDIS, J.R. e KOCH, G.G. The measurement of observer agreement for categorical data. **Biometrics**, v.33, p.159-174, 1977.

LEWIŃSKI, S. Object-Oriented Classification of Landsat ETM+ Satellite Image. **Journal of Water and Land Development**. Issue, No. 10, p. 91-106. 2006.

MARINO, T. B. **Vista Saga 2005 Sistema de Análise Geo-Ambiental**. 2005. Monografia em Departamento de Ciência da Computação do Instituto de Matemática da Universidade Federal do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro.

MARTINS, E. M. et al. **Plano de Ação Nacional para a conservação do Faveiro-de-Wilson (*Dimorphandra wilsonii* Rizzini)**. Rio de Janeiro: Editora: JBRJ - Instituto de Pesquisa Jardim Botânico do Rio de Janeiro, 2014.

MINAS GERAIS. Lei Estadual nº 2764 de 30 de dezembro de 1962. Contém a Divisão Administrativa do Estado de Minas Gerais.

MINISTÉRIO DA SAÚDE - MS. DATASUS – Dados demográficos e socioeconômicos. Ministério da Saúde. Rio de Janeiro. 2016. Disponível em: <<http://tabnet.datasus.gov.br>> Acesso em 05/ mai de 2016.

NOGUEIRA, M. A construção de uma centralidade urbana Sete Lagoas (MG). **Sociedade & Natureza**, Uberlândia, 18 (35): 109-121, 2006.

Plano Diretor Municipal de Sete Lagoas - PDSL, Plano Diretor do Município de Sete Lagoas. Prefeitura de Sete Lagoas. Sete Lagoas. 2006.

Prefeitura Municipal de Prudente de Moraes - PMPM. Plano Municipal de Saneamento Básico de Prudente de Moraes. MARTINS, G. M. (Coord). 2016. Disponível em: <http://cbhvelhas.org.br/images/subcomites/projetos/parauna/TutoriaPMSB/Produto5/P5_Prudente_de_Morais_23_12_Final.pdf> Acesso 24/abr de 2016.

ROSSETTI, L. A. F. G. **Geotecnologias aplicadas à caracterização e mapeamento das alterações da cobertura vegetal intra-urbana e da expansão urbana da cidade de Rio Claro (SP)**. Dissertação em Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista, São Paulo. 2007. Disponível em: <<http://hdl.handle.net/11449/95719>>. Acesso 24/mai de 2016

SETE LAGOAS. Lei Municipal nº 5748 de 18 de Dezembro de 1998. Declara Área de Proteção Ambiental (APA) no Ribeirão do Paiol, Município de Sete Lagoas.

SETE LAGOAS. Lei Municipal nº 8217 de 10 de Dezembro de 2012. Regulariza a Área de Proteção Ambiental (APA_ Serra de Santa Helena, estabelecendo novo perímetro, novo zoneamento ambiental e dá outras providências.

SPOSITO, M.E.B. O desafio metodológico da abordagem interescalar no estudo de cidades médias no mundo contemporâneo. **Cidades**, São Paulo, v. 3, n. 5, p. 143-157, 2006.

TRIMBLE. eCognition® Developer. Realeased Version 9. Munich/Germany. Trimble Germany. 2014.

United Nations - ONU, Population Division (2014). World Urbanization Prospects: The 2014 Revision, Department of Economic and Social Affairs, Highlights (ST/ESA/SER.A/352), United Nations, p.1-22. 2014.

Universidade Federal do Rio de Janeiro – UFRJ. Sistema de Análise Geo-Ambiental - S.A.G.A Vista. Versão 2007. Rio de Janeiro/Brasil. Laboratório de Geoprocessamento - LABGEO/UFRJ. Disponível em: <<http://www.viconsaga.com.br/lageop/saga.php>> Acesso 21/out de 2015.

Universidade Federal de Viçosa - UFV - CETEC - UFLA - FEAM. Mapa de solos do Estado de Minas Gerais. Belo Horizonte, Fundação Estadual do Meio Ambiente, 2010. 49p. Disponível em: <http://www.dps.ufv.br/?page_id=742>. Acesso: 28/abr de 2016.

VIERIA, J.D.; FONTANA, R.L.M.; BARROSO, R. C. A.; RODRIGUES, A.J.; SILVA, J.A.B. A urbanização no mundo e no Brasil sob um enfoque geográfico. Ciências Humanas e Sociais. **Cadernos de Graduação**, Aracaju, v. 3, n.1. p. 95-106, 2015..

CONSIDERAÇÕES FINAIS

O uso das geotecnologias à luz de uma perspectiva têmporo-espacial apresenta-se como ferramentas fundamental para estudos de intervenções antrópicas no meio ambiente, pois, possibilita a coleta, armazenamento e análise de grande quantidade de dados que, devido a sua complexidade, seria inviável ser trabalhado/tratado utilizando métodos analógicos e/ou tradicionais pelo alto custo e a necessidade de um tempo considerável para a análise dos dados, além da possibilidade de trabalhar em regiões remotas.

Os dados e informações geradas a partir do uso das geotecnologias são essenciais para a compreensão de um dado fenômeno e auxiliar no planejamento e gestão, além de subsidiar à tomada de decisões. Os resultados alcançados aqui permitem inferir que o padrão espacial de crescimento urbano no município de Sete Lagoas está no sentido centro para nordeste, sudoeste e sudeste, e em Prudente de Moraes no sentido sul e sudeste principalmente em áreas agropecuária e de vegetação de pequeno porte.

Este crescimento urbano, principalmente em Sete Lagoas, que pela sua importância regional tem grande tendência de expansão urbana horizontal, visto restrições geológicas para o crescimento vertical e ausência de corpos hídricos superficiais para captação de água, além de aspectos sociais e econômico, sugere a necessidade de novas pesquisas multidisciplinares sobre esta temática e com parcerias com as autarquias municipais.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICA

- ALCOFORADO, F. **Sustainable Development or Barbarism**. Disponível em: <http://www.academia.edu/3287483/SUSTAINABLE_DEVELOPMENT_OR_BARBARISM> acesso: 04/fev de 2015.
- ANTUNES, A.F.B. **Fundamentos de Sensoriamento Remoto em ambiente de geoprocessamento**. 2011. Apostila de SIG. UFPR. Geoprocessamento. Disponível em: <<http://people.ufpr.br/~felipe/sig.pdf>>. Acesso em: 05 jan. 2016.
- ArcGis®. **Software**: Licence type: Desktop Version 10.2. ESRI. 2016.
- BATISTA, J. **Apostila Introdutória de Sensoriamento Remoto e Geoprocessamento**. Universidade de Taubaté. 2003. Disponível em: <http://www.agro.unitau.br/sensor_remoto/Apostila_Perguntas_e_Respostas_SR.pdf> Acesso 22/mai de 2014.
- BLASCHKE T. Object based image analysis for remote sensing. **ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing**. Vol. 65, No 1, pg 2–16. 2010.
- BOTELHO, L. A. L. A. **Gestão dos Recursos Hídricos em Sete Lagoas/MG: uma abordagem a partir da evolução espaçotemporal da demanda e da captação de água**. Dissertação em Departamento de Geografia da Universidade Federal de Minas Gerais. Belo Horizonte. 2008
- CLEVE, C. et al. Classification of the wildland–urban interface: A comparison of pixel- and object-based classifications using high-resolution aerial photography. **Computers, Environment and Urban Systems** 32 (2008) 317–326. 2008
- CROSTA, A.P. **Processamento Digital de Imagens de Sensoriamento Remoto**. Campinas, SP. IG/UNICAMP, 1992.
- FIGUEREDO, D. **Conceitos Básicos de Sensoriamento Remoto**. 2005 Disponível em: <http://www.conab.gov.br/conabweb/download/SIGABRASIL/manuais/conceitos_sm.pdf> Acesso 14/mai de 2014.
- FROHN, R. C., et al. Segmentation and object-oriented classification of wetlands in a karst Florida landscape using multi-season Landsat7 ETM+ imagery. **International Journal of Remote Sensing**. Vol. 32, No 5. pg 1471-1489. 2011.
- FUCKNER, M. A. **Aplicações do sensoriamento remoto no estudo do crescimento urbano**. INPE—Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, SP. 2005. Disponível em: <http://www.dsr.inpe.br/geu/Monografia_Final_ISR_Fuckner.pdf> Acesso em: 19/mai de 2016.

GEDDINS, Antony. **Sociologia**. Tradução: Sandra Regina. Editora Artmed. 4ª Edição. Porto Alegre. 2005.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Carta do município de Sete Lagoas: Folha SE-23-Z-C-II**. Centro de Serviços Gráficos do IBGE. 1975.

Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – IBGE. Manuais técnicos em geociências nº 7. **Manual Técnico de Uso da Terra**. IBGE/Coordenação de Recursos Naturais e Estudos Ambientais. 3ª Edição. Rio de Janeiro, 2013.p.171. Disponível em: <<http://biblioteca.ibge.gov.br/visualizacao/livros/liv81615.pdf>> Acesso 14/mai de 2014.

INMET. **Série temporal de dados climáticos**. Instituto Nacional de Meteorologia. Disponível em: <<http://www.inmet.gov.br/portal/index.php?r=bdmep/bdmep>> Acesso 17/fev de 2015

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Base Cartográfica Contínua do Brasil – 1:250000**. Rio de Janeiro. 2014.

INPE. **Dados de Satélites. Catálogo de Imagens LANDSAT**. Disponível em <<http://www.dgi.inpe.br/CDSR>> Acesso em 03/jan de 2016.

LANDIS, J.R. e KOCH, G.G. The measurement of observer agreement for categorical data. **Biometrics**, v.33, p.159-174, 1977

LEWIŃSKI, S. Object-Oriented Classification of Landsat ETM+ Satellite Image. **Journal of Water and Land Development**. Issue, No. 10, p. 91-106. 2006.

MARINO, T. B. **Vista Saga 2005 Sistema de Análise Geo-Ambiental**. Monografia em Departamento de Ciência da Computação do Instituto de Matemática da Universidade Federal do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro. 2005.

MARTINS, E. M. et al. **Plano de Ação Nacional para a conservação do Faveiro-de-Wilson (*Dimorphandra wilsonii* Rizzini)**. Editora: JBRJ - Instituto de Pesquisa Jardim Botânico do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro. 2014.

MENESES, P.R.; ALMEIDA, T. de.(Org.). **Introdução ao Processamento de Imagens de Sensoriamento Remoto**. UNB e CNPq. Brasília, 2012. Disponível em: <<http://www.cnpq.br/documents/10157/56b578c4-0fd5-4b9f-b82a-e9693e4f69d8>> Acesso em: 07 dez. 2014.

MOURA, A. C. M. **Geoprocessamento na Gestão e Planejamento Urbano**. 2ª ed. Belo Horizonte: Ed. da autora, 2005. 294p.

NUNES, et al. PRESTAÇÃO DOS SERVIÇOS DE ÁGUA E ESGOTOS EM SETE LAGOAS-MG “O SAAE é Nosso” ou “Que Venha a Copasa”? **Revista Brasileira de Estudos Urbanos e Regionais**. V. 12 , N .1. 2010.

Disponível em:

<<http://unuhospedagem.com.br/revista/rbeur/index.php/rbeur/article/viewFile/235/219>>
> Acesso em: 19 mai. 2016.

ORUC M. et al. **Comparison of PixelBased and Object-Oriented Classification Approaches Using Landsat-7 ETM Spectral Bands**. Proceedings of ISPRS Conference, 19-23 July, Istanbul. 2001.

S.A.G.A Vista 2007. LABGEO/UFRJ. Disponível em:

<<http://www.viconsaga.com.br/lageop/saga.php>> Acesso 21/out de 2015.

SCHUCKMAN, K. et al. **Remote Sensing Image Analysis and Applications**.

College of Earth and Mineral Sciences The Pennsylvania State University. 2015.

Disponível em: <<https://www.e-education.psu.edu/geog883/node/523>> Acesso em 17/jan de 2016.

TRIMBLE. **eCognition® Developer**. Realeased Version 9. Munich/Germany. Trimble Germany. 2014.

United Nations - ONU, **Population Division (2014). World Urbanization Prospects: The 2014 Revision**, Department of Economic and Social Affairs, Highlights (ST/ESA/SER.A/352), United Nations, p.1-22. 2014

WEIH, R. C e RIGGAN, N. D. J. **Object-based classification vs. Pixel-based classification: comparative importance of multi-resolution imagery**;

Proceedings of GEOBIA 2010: Geographic Object-Based Image Analysis, Ghent, Belgium, 29 June–2 July 2010; 38. Part 4/C7, p. 6. Disponível em <http://www.isprs.org/proceedings/XXXVIII/4-C7/pdf/Weih_81.pdf> acesso em 17/jan de 2016.

WHITESIDE, T., e W. AHMAD. **A comparison of object-oriented and pixel-based classification methods for mapping land cover in northern Australia**. In Proceedings of SSC2005 Spatial intelligence, innovation and praxis: The national biennial conference of the Spatial Sciences Institute, 1225–31. Melbourne, Australia: Spatial Sciences Institute. 2005.

WWF. Living Planet Report 2008. HALLS. C.(Ed.). NGO - World Wide Fund for Nature. 2008. Disponível em:

<http://d3nehc6yl9qzo4.cloudfront.net/downloads/living_planet_report_2008.pdf> acesso em 04/fev de 2015.

YOON, Geun-Won, et al. **Object oriented classification using Landsat images**.

Disponível em: <http://www.ecognition.com/sites/default/files/567_acrs030110.pdf> acesso 17/ jan de 2016.