

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM SENSORIAMENTO REMOTO

SOFIA ROYER MORAES

**ABORDAGEM GEOBIA PARA A CLASSIFICAÇÃO
DO USO E COBERTURA DA TERRA EM ÁREA
URBANA ASSOCIADAS AO DESENVOLVIMENTO
DE *FRAMEWORK* PARA MONITORAMENTO DE
INUNDAÇÕES NO MUNICÍPIO DE LAJEADO/RS**

**PORTO ALEGRE
2018**

SOFIA ROYER MORAES

**ABORDAGEM GEOBIA PARA A CLASSIFICAÇÃO DO USO E COBERTURA DA
TERRA EM ÁREA URBANA ASSOCIADAS AO DESENVOLVIMENTO DE
FRAMEWORK PARA MONITORAMENTO DE INUNDAÇÕES NO MUNICÍPIO DE
LAJEADO/RS**

Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Sensoriamento Remoto e Geoprocessamento para obtenção do Título de Mestre em Sensoriamento Remoto e Geoprocessamento.

Área de Concentração: Sensoriamento Remoto Aplicado.

Orientador: Dr. Cláudio Wilson Mendes Jr.

PORTO ALEGRE
2018

CIP - Catalogação na Publicação

Moraes, Sofia Royer

ABORDAGEM GEOBIA PARA A CLASSIFICAÇÃO DO USO E COBERTURA DA TERRA EM ÁREA URBANA ASSOCIADAS AO DESENVOLVIMENTO DE FRAMEWORK PARA MONITORAMENTO DE INUNDAÇÕES NO MUNICÍPIO DE LAJEADO/RS / Sofia Royer Moraes. -- 2018.

103 f.

Orientador: Cláudio Wilson Mendes Junior.

Dissertação (Mestrado) -- Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Centro Estadual de Pesquisas em Sensoriamento Remoto e Meteorologia, Programa de Pós-Graduação em Sensoriamento Remoto, Porto Alegre, BR-RS, 2018.

1. GEOBIA. 2. Mineração de dados. 3. Árvores de decisão. 4. Monitoramento de Inundações. 5. Framework. I. Mendes Junior, Cláudio Wilson, orient.

II. Título.

Elaborada pelo Sistema de Geração Automática de Ficha Catalográfica da UFRGS com os dados fornecidos pelo(a) autor(a).

SOFIA ROYER MORAES

**ABORDAGEM GEOBIA PARA A CLASSIFICAÇÃO DO USO E COBERTURA DA
TERRA EM ÁREA URBANA ASSOCIADAS AO DESENVOLVIMENTO DE
FRAMEWORK PARA MONITORAMENTO DE INUNDAÇÕES NO MUNICÍPIO DE
LAJEADO/RS**

BANCA EXAMINADORA

DR. CLÁUDIO WILSON MENDES JUNIOR (ORIENTADOR), UFRGS

DR. DANIEL CAPELLA ZANOTTA - IFRS

DR. GUILHERME GARCIA DE OLIVEIRA- UFRGS

DR. MARCOS WELLAUSEN DIAS DE FREITAS - UFRGS

APROVADO EM: ____ DE _____ DE 2018

*Para todos aqueles que acreditam em seus
sonhos e que, protagonistas de suas próprias
vidas, são parte de um mundo melhor!*

AGRADECIMENTOS

A Deus, pelas incontáveis gratas experiências;

Ao meu orientador, Prof. Cláudio Wilson Mendes Jr., pela orientação, confiança, muitos conselhos e incentivo a mim dados, para o desenvolvimento deste trabalho;

Ao Marcos Wellausen Dias de Freitas, por toda ajuda e contribuição no desenvolvimento deste trabalho;

À Universidade Federal do Rio Grande do Sul e ao Centro Estadual de Pesquisas em Sensoriamento Remoto e Meteorologia, pela estrutura disponibilizada para o desenvolvimento desta dissertação;

A CAPES pela bolsa de estudo em nível de pós-graduação;

Aos amigos e colegas de curso, pelos momentos de discussão e crescimento pessoal;

Aos amigos aos quais acabei ficando mais longe nestes últimos dois anos, em especial a Sabrina M. Siebeneichler, que sempre esteve presente em minha vida, me apoiando, ouvindo, aconselhando, sendo também minha família.

Aos meus avós maternos, Cerenita (in memorian) e Aloisio Royer pelo empenho no ensino de valores, na educação e exemplo dado;

A minha mãe, Dalva Maris Royer, pelo aprendizado, determinação e exemplo de vida;

Aos meus tios Juleide e José Aloisio Royer e aos amigos Lúcia e João Saldanha por me receberem em suas casas, pelo cuidado e carinho recebido e;

Ao Rafael, por seu apoio incondicional, relevantes opiniões e discussões acerca da temática deste estudo.

*“A mente que se abre a uma nova ideia jamais
voltará ao seu tamanho original”*

Albert Einstein

RESUMO

O monitoramento, a previsão e o controle de eventos extremos, como as inundações, é imprescindível, principalmente em áreas urbanas, devido à maior densidade populacional, bens materiais, saneamento e infraestruturas envolvidos no processo. O objetivo deste estudo, consistiu em classificar de forma automática o uso e cobertura da terra em área urbana, em um ortofotomosaico com altíssima resolução espacial (16 cm), cobrindo a área do bairro centro de Lajeado (Estado do Rio Grande do Sul – Brasil) e sua posterior aplicação, com dados dos arruamentos e de um Modelo Digital de Elevação (MDE), para a estruturação de um *framework* automatizado, baseado em plataformas livres, com capacidade de monitorar níveis de inundações sobre essa área urbana, em escala espacial e temporal. Para a classificação do uso e cobertura da terra foram testados os classificadores por árvore de decisão *Boosted C5.0*, *Random Forests* e *Classification and Regression Trees (CART)*. Primeiramente, foram identificadas as seguintes classes: vegetação arbórea; vegetação herbácea (gramíneas); solo exposto; sistema viário (calçamento); telhados metálicos e telhados cerâmicos claros; telhados de concreto e fibrocimento; telhados metálicos e cerâmicos escuros; e sombra. Por meio do programa *eCognition* foram aplicados sete níveis de segmentação do ortofotomosaico, coletadas as amostras e definidos os atributos para cada classe. O treinamento para os classificadores foi realizado no programa R. Para a análise da exatidão de classificação, foram gerados pontos de checagem aleatórios, que foram comparados com as classes das três imagens classificadas, para o cálculo da matriz de erros e do índice *Kappa*. A imagem classificada pelo algoritmo *Random Forests* apresentou a maior Exatidão Global (EG = 82,20%) e Índice *Kappa* (K = 0,79), seguido pela imagem classificada pelo algoritmo *Boosted C5.0* (EG = 80,4%; K = 0,77) e pelo CART (EG = 64,90%; K = 0,57). Já o *framework* foi baseado na equação de regressão fluviométrica Encantado/Lajeado. Os resultados dessa equação podem ser visualizados como mapas em uma interface *WEBSIG*, onde estão simuladas as áreas e infraestruturas inundadas no bairro centro de Lajeado. Foram projetados diferentes níveis históricos de inundações e esse modelo foi validado a partir da comparação dos dados simulados com os medidos de uma inundação ocorrida em 10 de outubro de 2015. O erro altimétrico obtido foi inferior a 1 m. O *framework* deste estudo realiza o monitoramento do nível de inundação para a área urbana de Lajeado com até 6 horas de antecedência, demonstrando a eficácia desta simulação.

Palavras-chave: Classificação Orientada ao Objeto, Mineração de Dados, Fotogrametria, Medidas não estruturais, Previsão de Inundações, *WEBSIG*.

ABSTRACT

The monitoring, forecasting and control of extreme events, such as floods, is essential, especially in urban settlements, due to the greater population density, material assets, sanitation and infrastructures on these areas. This work aims to classify automatically the urban land use and land cover in an orthophoto mosaic with very high spatial resolution (16 cm) covering the central district area of Lajeado (Rio Grande do Sul State - Brazil) and its subsequent application, with data of the streets and a Digital Elevation Model (MDE), for the structuring of an automated framework, based on free platforms, with capacity to monitor flood levels in this urban area, on a spatial and temporal scale. We tested the decision tree classifiers Boosted C5.0, Random Forests and Classification and Regression Trees (CART). First, the following classes of land use and land cover were identified: forest land; herbaceous land (grasses); bare soil; road system (pavement); metal roofs and clear ceramic roofs; concrete and fiber cement roofs; dark metallic and ceramic roofs; and shade. The eCognition *software* were used to processes seven levels of segmentation of the orthophoto mosaic, and for collecting samples and attributes from each one these classes. The decision tree methods were performed in R *software*. For the classification accuracy assessment, we generated random check points, which were compared with the classes of the three classified images, in order to calculate the error matrix and Kappa index. The image classified by the algorithm Random Forests presented the highest Global Accuracy (GA = 82.20%) and Kappa Index (K = 0.79), followed by the image classified by the Boosted C5.0 (GA = 80.4%; = 0.77) and the CART algorithm (GA = 64.90%, K = 0.57). The *Framework* was based on the fluviometric regression equation Encantado/Lajeado. The results of this equation can be visualized as maps in a WEBGIS interface, where the flooded areas in the downtown neighborhood of Lajeado are simulated. Different historical flood levels were projected and this model was validated by comparing the simulated data with those measured from a flood occurred on October 10th, 2015. The altimetric error obtained was less than 1 m. The *framework* of this study carries out the monitoring of the flood level for the Lajeado urban area with 6 hours in advance, demonstrating the effectiveness of this simulation.

Keywords: Object-Oriented Classification, Data Mining, Photogrammetry, Non-Structural Measures, Flood Forecast, WEBSIG.

SUMÁRIO

RESUMO	vii
ABSTRACT	viii
SUMÁRIO	ix
LISTA DE ILUSTRAÇÕES	xii
LISTA DE TABELAS	xiii
LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS	xiv
1. INTRODUÇÃO	15
1.1. OBJETIVOS	18
1.1.1. OBJETIVO GERAL.....	18
1.1.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	18
1.2. ÁREA DE ESTUDO	18
1.3. JUSTIFICATIVA	20
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	23
2.1. IMAGENS DE ALTA RESOLUÇÃO ESPACIAL E FOTOGRAMETRIA	23
2.2. CLASSIFICAÇÃO DE IMAGENS E GEOBIA	26
2.3 INTEGRAÇÃO DE INFORMAÇÕES PARA MONITORAMENTO DE INUNDAÇÕES EM LAJEADO/RS	30
3. PRODUÇÕES ACADÊMICAS	34
PRIMEIRO ARTIGO – MÉTODO	34
ABORDAGEM GEOBIA PARA CLASSIFICAÇÃO DO USO E COBERTURA DA TERRA EM ÁREAS URBANAS UTILIZANDO IMAGENS FOTOGRAMÉTRICAS	36
1. INTRODUÇÃO	37

2. OBJETIVO	38
3. MATERIAIS E MÉTODOS	38
3.1 Área de estudo e descrição da imagem.....	38
3.2 Procedimentos Metodológicos.....	39
4. RESULTADOS E DISCUSSÕES	42
5. CONCLUSÕES E CONSIDERAÇÕES FINAIS	46
AGRADECIMENTOS	47
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	47
SEGUNDO ARTIGO – APLICAÇÃO	50
FRAMEWORK ESPAÇO-TEMPORAL PARA O MONITORAMENTO AUTOMATIZADO DE INUNDAÇÕES NO MUNICÍPIO DE LAJEADO/RS	52
1 Introdução	53
2 Área, materiais e métodos	57
2.1 Localização da área	58
2.2 Materiais.....	59
2.3 Métodos	60
3 Resultados	63
4 Discussão dos resultados	66
5 Conclusões	69
Agradecimentos	69
Referências bibliográficas	70
4. CONSIDERAÇÕES FINAIS	75
5. REFERÊNCIAS GERAIS	78

6.ANEXOS.....	86
6.1 SCRIPT CLASSIFICAÇÃO E VALIDAÇÃO ALGORITOS ORTOFOTOMOSAICO	86
6.2 SCRIPT FRAMEWORK MONITORAMENTO DAS INUNDAÇÕES	101

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – Localização do município de Lajeado – RS. 19

Artigo 1

Figura 1 – Localização da cena utilizada para o processo de segmentação e classificação.... 39

Figura 2 – Dados utilizados para os processos de segmentação, classificação e análise de exatidão da classificação. 40

Figura 3 – Fluxograma metodológico utilizado nos processos de segmentação e classificação da imagem. 40

Figura 4 – Níveis de segmentação da cena: nível 6 (a); nível 4 (b); nível 2 (c); e nível 1 (d).42

Figura 5 – Cobertura e uso do Solo resultante da aplicação dos algoritmos 5 (A) Random Forest, 5(B) C5.0 e 5(C) CART..... 43

Figura 6 - Detalhe do uso e cobertura da terra resultante da aplicação do algoritmo 6 (A) Random Forest, 6(B) C5.0 e 6(C) CART..... 44

Artigo 2

Figura 1 – Localização da área piloto para o *Framework* de monitoramento de inundações no bairro Centro de Lajeado - RS..... 59

Figura 2 – Fluxograma metodológico..... 60

Figura 3 - Magnitude das inundações geradas pela aplicação do *Framework*..... 64

Figura 4 - Manchas das inundações analisadas neste estudo 65

Figura 5 - Pontos de validação - Inundação 10/10/2015 - 23,81 m..... 67

Figura 6 – Projeção online de diferentes magnitudes de inundações no bairro Centro de Lajeado..... 68

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Chave de interpretação das classes de uso e cobertura da terra.	41
Tabela 2 - Níveis de segmentação aplicados no ortofotomosaico.	42
Tabela 3 - Acurácia da classificação do uso e cobertura da terra com a aplicação do algoritmo <i>random forest</i>	45
Tabela 4 - Acurácia da classificação do uso e cobertura da terra com a aplicação do algoritmo <i>c5.0</i>	45
Tabela 5 - Acurácia da classificação do uso e cobertura da terra com a aplicação do algoritmo <i>cart</i>	45

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

C5.0 - Boosted C5.0

CART - Classification and Regression Trees

CEMADEN - Centro Nacional de Monitoramento e Alertas de Desastres Naturais

EIA - Estudo de Impacto Ambiental

FNEA - Fractal Net Evolution Approach

GEOBIA - Geographic Object Based Image Analysis

GNSS - Sistema de Navegação Global por Satélites

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística

INPE - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais

MDE - Modelo Digital de Inundações

PDI - Processamento Digital de Imagens

PML - Prefeitura Municipal de Lajeado

RBC - Revista Brasileira de Cartografia

RF - Random Forests

RGB - Red/Green/Blue

RIMA - Relatório de Impacto Ambiental

RN - Referência de Nível

SIG - Sistemas de Informação Geográfica

SMAD RS - Sistema de Monitoramento e Alerta de Desastres do Rio Grande do Sul

SPAÉ - Sistema de Previsão e Alerta de Enchentes

UFPR - Universidade Federal do Paraná

UFRGS - Universidade Federal do Rio Grande do Sul

UTM - Universal Transversa de Mercator

UNIVATES - Universidade do Vale do Taquari

VANTs - Veículos Aéreos Não Tripulados

WGS84: Datum World Geodetic System 1984

WWW - World Wide Web

1. INTRODUÇÃO

Para Crosta (1992), um dos principais objetivos do Sensoriamento Remoto consiste em distinguir e identificar as composições de diferentes materiais superficiais, sejam eles tipos de vegetação, padrões de uso do solo, rochas e outros. A identificação destes alvos, é possível devido ao fato dos materiais superficiais terem comportamentos específicos ao longo do espectro eletromagnético, bem como alvos com características espaciais singulares, tais como tonalidade/cor, textura, forma, tamanho, densidade, padrão, sombras, etc.

O Sensoriamento Remoto tem suas bases nos princípios que levaram ao desenvolvimento das câmeras fotográficas aéreas para se obter, em nível suborbital, fotografias da superfície terrestre. O princípio básico é o registro dos alvos por meio da detecção do fluxo de radiação eletromagnética refletida pelas superfícies dos objetos terrestres. As fotografias aéreas proporcionaram grandes benefícios para a humanidade, como registros dos recursos naturais e antrópicos de várias regiões da superfície terrestre (MENEZES & ALMEIDA, 2012).

Logo, é preciso considerar que existe um significativo acervo de fotografias aéreas atuais e históricas, que podem contribuir com diversos estudos voltados para o entendimento da paisagem e desenvolvimento urbano, devendo-se considerar ainda a evolução do imageamento realizado por Veículos Aéreos Não Tripulados (VANTs), que vêm ganhando cada vez mais espaço no mercado. A evolução de *softwares* e métodos geotecnológicos de extração de informações de diferentes imagens, permite ao usuário sua aplicação na classificação de imagens fotogramétricas de alta resolução espacial e baixa resolução espectral (TEDESCO, 2015).

Para a extração de informações dessas imagens, são necessários métodos de análises com regras claras e lógicas, para que possam ser replicadas por qualquer analista na interpretação os dados. Essas regras estabelecem critérios para a análise dos elementos que compõem a paisagem, utilizando-se das propriedades da cor, tonalidade, textura, estrutura, sombras e formas, específicas de cada alvo (ROSA, 2013). Os Sistemas de Informação Geográfica (SIG) podem ser aplicados na análise espacial da ocupação urbana, possibilitando o reconhecimento de infraestruturas distintas, tais como residências, indústrias e arruamentos, além de áreas com vegetação que compõem a malha urbana de uma determinada área, município ou região (MENEZES, 2014). Além disso, permitem o cruzamento destes dados georreferenciados com os de outros estudos diversos, como de áreas suscetíveis a eventos extremos e desastres naturais.

Ao longo de sua existência e evolução, a humanidade se fixou próxima de recursos hídricos, pela necessidade de uso contínuo da água para o consumo ou para atividades como a agricultura, pecuária, indústria, bem como para o transporte, favorecendo o desempenho comercial e interligando populações ribeirinhas (OLIVEIRA, 2010). No entanto, a ocupação gradual ao longo das bacias hidrográficas foi realizada sem um planejamento adequado, com a mínima preocupação acerca da preservação do meio ambiente (TUCCI, 2013). Historicamente, ao ocupar as várzeas e planícies fluviais, é comum o enfrentamento, por parte da população, de problemas com o regime fluvial natural dos rios, onde se verifica com frequência, a ocorrência de enchentes e inundações, bem como a intensificação das mesmas, decorrentes da antropização (RIBEIRO E LIMA, 2011; GUASSELLI; OLIVEIRA; ALVES, 2013).

Diante desse contexto, projetos com múltiplas funcionalidades foram desenvolvidos em áreas suscetíveis a algum tipo de desastre. Logo, o entendimento e o planejamento da ocupação das bacias hidrográficas são importantes, principalmente no que diz respeito a ampliação dos usos e cobertura do solo urbano com garantia da preservação da qualidade ambiental. Como soluções ambientalmente sustentáveis para as atuais situações de infraestruturas, bem como para novos empreendimentos, se faz necessário o gerenciamento integrado das ocupações urbanas, iniciando pelas definições de ocupação do espaço (TUCCI, 2013; BENINI, 2015).

Como parte deste gerenciamento, Pinto *et al.* (2016) destacam que estudos sobre o entendimento hidrográfico e características físicas e antrópicas presentes nas bacias e microbacias hidrográficas, se constituem importantes instrumentos de diagnóstico da suscetibilidade à inundação, e que seus resultados podem nortear o planejamento e a implementação de medidas mitigadoras para evitar os prejuízos causados pelos alagamentos. Entretanto, para análises que envolvem a suscetibilidade, vulnerabilidade, danos e riscos à ocorrência de desastres, é necessária a utilização de informações com escala adequada, normalmente com detalhes que inviabilizam a utilização de dados de média resolução espacial, tais como o Landsat e o Sentinel.

Dessa maneira, para uma análise detalhada sobre a suscetibilidade as inundações em uma determinada área, município ou região, é importante a utilização de dados com alta resolução espacial. Nesse contexto, surge também a necessidade de desenvolver, testar e aplicar técnicas para o reconhecimento/detecção automática de alvos como estruturas urbanas, com o objetivo de reduzir o tempo e o custo associado à cartografia urbana, além de contribuir para a evolução de sistemas capazes de monitorar a ocorrência das inundações em tempo real, com a indicação das áreas urbanas suscetíveis ao desastre, possibilitando aos órgãos competentes, a tomada de decisão

e estratégias para a mitigação dos impactos causados pela lâmina da cheia, de ordem socioeconômica e ambiental.

Dentre as técnicas de reconhecimento de padrões, se destaca a GEOBIA (*Geographic Object Based Image Analysis*), abordagem esta, que consiste na análise de imagens orientada a objetos geográficos, ou seja, a classificação dos alvos considerando informações como contexto espacial, características de textura e informações espectrais dos objetos. Já, relacionado as técnicas que permitem integrar informações geográficas as plataformas de monitoramento de inundações, se destaca as tecnologias *open source* (código aberto), tais como *Framework*, que consiste em uma concepção, com capacidade de unir códigos comuns, entre vários projetos de *software*, provendo uma funcionalidade genérica, capazes de integrar informações geográficas, modelos matemáticos e dar respostas relacionadas ao monitoramento, de forma gratuita e funcional (AYALA FILHO, 2016).

A cidade de Lajeado – RS, colonizada por volta do ano de 1850, com seu desenvolvimento ocorrendo de forma espontânea às margens do Rio Taquari, de acordo com as necessidades de subsistência da época, contribuiu fortemente para a consolidação urbana atual do município. Uma vez que a região é suscetível a ocorrência das cheias do Rio Taquari, tal ocupação urbana sofre com os impactos relacionados a ocorrência destes fenômenos naturais (FERREIRA *et al.*, 2007). Nos últimos anos, diversos estudos vêm sendo fomentados e desenvolvidos para esta região, bem como adotadas políticas públicas restritivas, principalmente relacionadas ao uso do solo em áreas suscetíveis as inundações dispostas no atual Plano Diretor do município.

A partir deste contexto, no qual existe a preocupação e o reconhecimento da relevância, acerca dos cenários urbanos suscetíveis a ocorrência das inundações, associados a disponibilidade de uma série de informações geográficas e fotogramétricas e, somados a evolução crescente das tecnologias que envolvem o processamento digital de imagens e técnicas de sensoriamento remoto e geoprocessamento, o presente trabalho tem como perguntas norteadoras: qual é a capacidade da abordagem GEOBIA de classificar infraestruturas urbanas, em imagens fotogramétricas? Qual é o grau de eficiência para identificação destes alvos? Como aplicar tais resultados em análises de suscetibilidade associados às inundações e monitoramento das mesmas?

1.1. OBJETIVOS

1.1.1. OBJETIVO GERAL

O objetivo geral deste trabalho, consiste na classificação de infraestruturas urbanas, em área experimental no município de Lajeado (RS) suscetível às inundações, por meio de um Sistema de Informações Geográficas (SIG) e aplicação da abordagem GEOBIA com mineração de dados, em uma imagem fotogramétrica de alta resolução espacial, bem como sua posterior integração em um *Framework*, afim de realizar o seu monitoramento e a previsão automatizada acerca da ocorrência de inundações em tempo real.

1.1.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

*Realizar a classificação das infraestruturas urbanas de uma área experimental no município de Lajeado/RS, em um mosaico fotogramétrico, por meio da aplicação da abordagem GEOBIA associada a algoritmos mineradores de dados, definidos por meio de regras baseadas nos atributos dos alvos analisados, com apoio dos *softwares* eCognition Developer e *software* estatístico livre “R”, com a finalidade de avaliar a eficácia do método em imagens de alta resolução espacial e baixa resolução espectral, bem como, gerar dados que venham a contribuir para o avanço de estudos em áreas suscetíveis as inundações.

*Desenvolver um *framework* espaço-temporal para monitoramento automatizado de inundações para a referida área de estudo, que realize a detecção automática da mancha de inundação, também as edificações e vias a serem atingidas, de acordo com a previsão de cheia, a partir da execução da equação de regressão de níveis fluviométricos Encantado – Lajeado e, em caso de inundações, a projeção da mesma, em arquivos vetoriais e página *web*, vindo a servir como ferramenta para órgãos competentes, como a defesa civil, no que diz respeito a capacidade de contingência das inundações, contribuindo ainda para a tomada de decisões a cerca da retirada da população suscetível a determinada inundação, prevista pelo *framework* .

1.2. ÁREA DE ESTUDO

A área de estudo abrange a área urbana do município de Lajeado (FIGURA 1), Estado do Rio Grande do Sul (RS). Situado à margem direita do Rio Taquari, Lajeado dista cerca de 113 km da capital desse Estado, Porto Alegre. Na região central da área de estudo, está localizado o centro

comercial e administrativo da cidade, enquanto as áreas a nordeste e a sudoeste consistem em zonas residenciais (ECKHARDT, 2008).

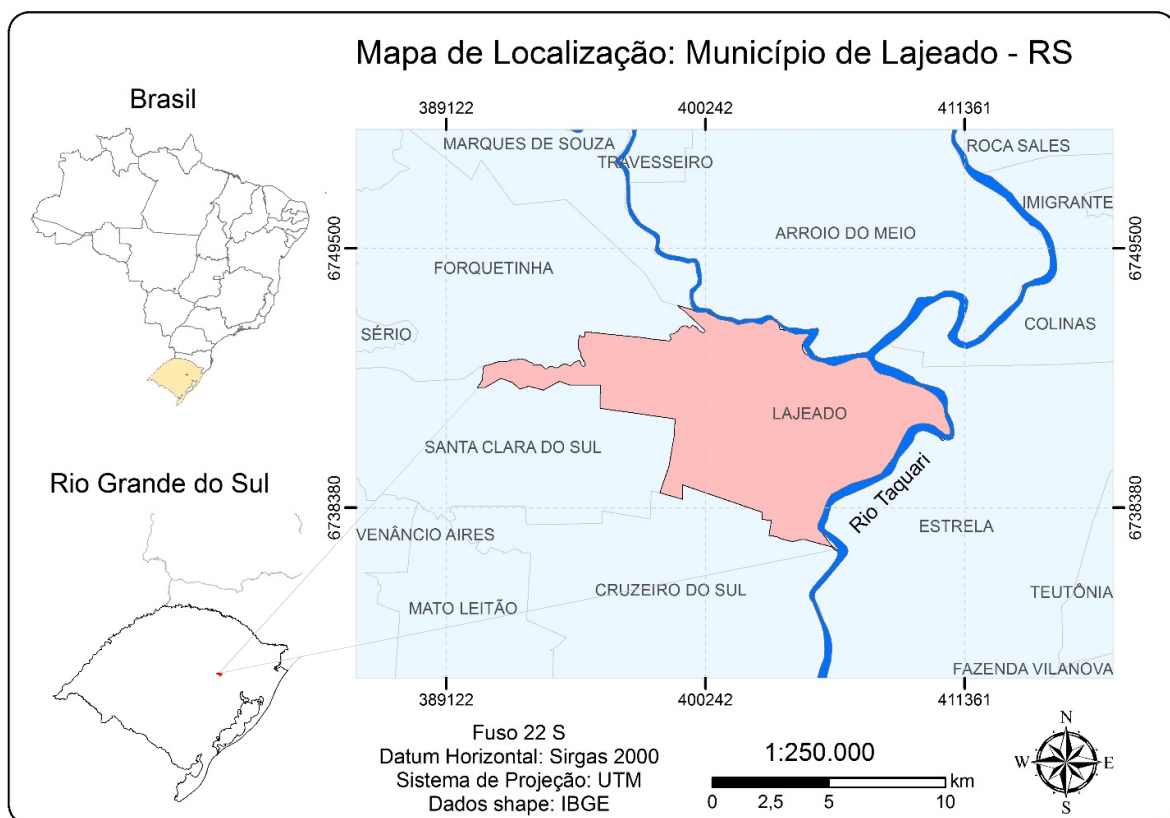


Figura 1 – Localização do município de Lajeado – RS.

De acordo com o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística - IBGE (2010), o município de Lajeado possui uma área territorial de 90,1 km² e uma população de 71.445 habitantes. A densidade populacional é de 793,07 hab./km². O território urbano de Lajeado, de acordo com a última alteração dos perímetros urbanos e rurais, realizado pelo Plano Diretor do Município em 2006, representa, 90% de sua área territorial municipal urbana, onde residem 99% da população municipal (GABE, 2017). Cabe destacar que Lajeado está situado na porção baixa da Bacia Hidrográfica do Rio Taquari Antas, região nordeste do RS, que possui uma área de 26.428 km², correspondendo a cerca de 9% do território gaúcho.

Com relação das características geomorfológicas de Lajeado, está localizado na Região Geomorfológica Planalto das Araucárias, abrangendo duas unidades de relevo principais, a unidade de relevo Serra Geral e unidade de relevo Patamares da Serra Geral. A primeira, compreende uma área menor, localizada a oeste do município, onde se encontram as maiores altitudes, que chegam a 386 metros. Com relação a segunda unidade, Patamares da Serra Geral,

esta corresponde a porção rebaixada que dá continuidade à unidade geomorfológica Serra Geral em Lajeado, se estendendo desde a região central até as proximidades do Rio Taquari, extremidade leste do município. Esta unidade apresenta relevo heterogêneo, com forte controle estrutural e poucas formas planares. A leste do município, às margens do Rio Taquari, são encontrados os terraços fluviais, constituídas por depósitos de sedimentos, que, de uma forma geral, são resultantes dos processos de inundações do Rio Taquari. Nessas áreas, as altitudes variam de 19 a 40 metros (IBGE, 2010).

Com relação a malha hidrográfica que compõe o município de Lajeado, se destacam como os principais cursos hídricos o Rio Taquari, a leste do limite municipal, o Rio Forqueta, localizado a norte do limite do município, e, a presença de arroios menores, localizados dentro do limite municipal, como o Arroio das Antas, Arroio Saraquá, Arroio Forquetinha e Arroio Engenho.

Já, o clima do Estado do Rio Grande do Sul, de acordo com a classificação de Köppen, é o tipo “Cf”, caracterizado como temperado úmido sem estação seca, sendo este, subdividido em “Cfa” e “Cfb”, diferenciados no que diz respeito as temperaturas médias do mês com maior predominância de calor, janeiro. Lajeado, é enquadrado pelo subtipo “Cfa”, cuja temperatura média das máximas, é superior a 22 °C. Quanto ao regime de chuvas, a média anual do município de Lajeado é igual a 1600 mm (TOMASINI, 2011).

1.3. JUSTIFICATIVA

No município de Lajeado, as inundações ocorrem com periodicidade e causam impactos no âmbito social, econômico e ambiental. Estima-se que em média a cada dois anos, Lajeado seja atingido por inundações (ECKHARDT, 2008). Cabe destacar que as inundações que ocorrem em Lajeado são naturais. O Rio Taquari drena as águas das cabeceiras, que em geral constituem áreas de grande declividade, produzindo escoamento superficial de alta velocidade e, como consequência, a variação do nível desse rio pode ser significativamente alta em um curto espaço de tempo (FERREIRA *et al.*, 2007; ECKHARDT, 2008).

As variações de nível do Rio Taquari no município de Lajeado são medidas a partir das réguas linimétricas do Porto Fluvial, no município de Estrela, sendo o Rio Taquari o divisor entre esses dois municípios. O Porto Fluvial de Estrela adotou, desde sua instalação em 1977, a Referência de Nível (RN) de 13 metros para a amarração da variação do nível do Rio Taquari. Em Lajeado, as inundações ocorrem quando o nível da água do Rio Taquari ultrapassa o nível de 19 metros nas réguas linimétricas do Porto Fluvial. A maior inundações já registrada, ocorreu em 06

de maio de 1941, quando o Rio Taquari atingiu a cota topográfica de 29,22 m em Lajeado (ECKHARDT, 2008; CIH, 2015;).

Em um levantamento feito pela Defesa Civil de Lajeado (ECKHARDT *et al.*, 2013), somente na inundação de julho de 2011, 83.643 pessoas foram afetadas, o que representa 27% da população do Vale do Taquari. Lajeado foi o município com maior número de pessoas afetadas, totalizando 39.216 habitantes. O prejuízo econômico nos municípios da região do Vale do Taquari, atingidos por essa inundação, foi de aproximadamente 45 milhões de reais. Somente no ano de 2015 houve três inundações que afetaram a cidade de Lajeado e no ano seguinte, 2016, ocorreram dois eventos. Essas inundações resultaram em várias famílias desabrigadas, escolas, indústrias e comércio parados (MORAES, 2015).

A disponibilidade de bases digitais de dados e de imagens de alta resolução espacial da área de estudo em questão, associada à problemática das inundações, despertam para uma série de estudos ambientais para a melhor compreensão da ocupação urbana, em cenários suscetíveis a desastres naturais, tornando possível a aplicação de técnicas que relacionam dados de alta resolução espacial, as técnicas de reconhecimento e detecção de alvos.

Dentre essas técnicas, a abordagem GEOBIA, que trás ênfase à relevância de se identificar de forma rápida estruturas e edificações urbanas para diversas aplicações e, no caso deste estudo, para análises de suscetibilidade às inundações, permitindo a sua associação a meios que possam contribuir para o monitoramento das inundações, em tempo real, que podem reduzir consideravelmente impactos sociais, econômicos e ambientais relacionados a ocorrência das cheias.

Dessa maneira, estudos que contribuam com a melhor compreensão da extensão e impactos provocados pelas áreas suscetíveis as inundações são essenciais para o planejamento urbano, apoio e tomada de decisões de órgãos públicos responsáveis pela gestão dessas áreas. Nesse sentido, o reconhecimento das infraestruturas urbanas suscetíveis as inundações em escala de detalhe, de forma automática, no município de Lajeado são de grande importância, servindo como informação para o planejamento e monitoramento dessa região. Assim, o desenvolvimento deste projeto, tem como objetivo também, contribuir para a gestão otimizada das inundações, para o planejamento urbano do município de Lajeado, bem como para o aprofundamento de técnicas de segmentação e classificação de imagens alta resolução espacial orientadas ao objeto e, monitoramento das áreas, edificações e sistemas de arruamento em tempo real, por meio de plataformas *open source*.

Esta dissertação foi organizada no formato de dois artigos científicos, a serem submetidos para duas revistas científicas, de Qualis entre A1 e B2 para Geociências. A submissão dos artigos foi realizada, após banca de defesa deste trabalho, com as complementações e sugestões da banca conferidas ao mesmo, com a finalidade de homologação desta dissertação, de acordo com as normas vigentes do atual regulamento do Programa de Pós-Graduação em Sensoriamento Remoto e Geoprocessamento.

Os artigos, apresentados do item três, “Produções Acadêmicas”, se apresentam com os seguintes títulos e objetivos, com a submissão já realizada para revistas correlatas ao nível exigido.

Artigo (1): ***ABORDAGEM GEOBIA PARA CLASSIFICAÇÃO DO USO E COBERTURA DA TERRA EM ÁREAS URBANAS UTILIZANDO IMAGENS FOTOGRAMÉTRICAS***

Objetivo: Desenvolver a classificação automática do uso e cobertura do solo urbano em um ortofotomosaico de altíssima resolução espacial (16 cm), a partir da abordagem GEOBIA.

Artigo (2): ***FRAMEWORK ESPAÇO-TEMPORAL PARA O MONITORAMENTO AUTOMATIZADO DE INUNDAÇÕES NO MUNICÍPIO DE LAJEADO/RS.***

Objetivo: Desenvolver um *Framework* com capacidade de monitorar de forma automatizada, as inundações do Rio Taquari, em área experimental no município de Lajeado, sob o uso de plataformas livres, com projeção da mancha de inundação, edificações e arruamento, sujeitos a determinada onda de cheia.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Este projeto de pesquisa é fundamentado em métodos de classificação orientada ao objeto, aplicados em imagens fotogramétricas com alta resolução espacial, bem como na sua aplicação para detecção de infraestruturas urbanas presentes em áreas suscetíveis à ocorrência de inundações, na região central urbana do município de Lajeado (RS).

2.1. IMAGENS DE ALTA RESOLUÇÃO ESPACIAL E FOTOGRAMETRIA

As áreas urbanas apresentam grande dinâmica, no tempo e no espaço, necessitando, portanto de tecnologias de aquisição de dados compatíveis com suas alterações. Para Rossetti *et al.*, (2006) e Cândido *et al.*, (2015), as geotecnologias se constituem em uma importante ferramenta para a fiscalização e análise ambiental, uma vez que apoia o gerenciamento da superfície terrestre e de seus recursos, de forma a contribuir decisivamente para o monitoramento, simulação de cenários e para a tomada de decisões das formas d uso e ocupação das terras.

Francisco & Almeida (2012) e Cândido *et al.*, (2015) descrevem que, para o desenvolvimento de mapas com áreas significativamente heterogêneas, como é o caso de áreas urbanas, imagens de média resolução espacial são insuficientes para mapeamentos como cobertura e uso do solo, pelo fato de existir infraestruturas com dimensões físicas menores do que a área de um pixel, em escalas cartográficas médias (*i.e.*, 1:25.000 a 1:250.000), a exemplo de imagens do sensor *Thematic Mapper - TM* (satélites Landsat 4 e 5), que possuem pixels com área reamostrada de 900 m².

Conforme Rosa & Breunig (2015), imagens com alta resolução espacial e temporal contribuem para obtenção de informações em escalas de maior nível de detalhamento, que seriam recomendáveis para a gestão municipal (por exemplo, para planos diretores, planejamento e cadastro urbano), análise ambiental (zoneamentos, EIA/RIMA – Estudo de Impacto Ambiental e Relatório de Impacto Ambiental), projetos executivos de Engenharia (saneamento, hidrológicos e transporte), redes de concessionárias de serviços públicos, agricultura de precisão, estudos geológicos e geotécnicos, dentre outros estudos ambientais específicos. Uma das técnicas muito usadas para o mapeamento destes temas é a análise e interpretação visual de imagens analógicas ou digitais, que fazem parte do sistema de análise de dados em Sensoriamento Remoto (NOVO, 2010).

A interpretação visual de imagens pode ser desenvolvida por diferentes técnicas, entre as quais, a Fotointerpretação e a Fotogrametria. A primeira consiste na identificação e classificação visual de objetos por meio de fotografias, produzindo dados qualitativos. Já a Fotogrametria obtém medidas precisas desses objetos, extraindo das fotografias dados geométricos e quantitativos. Essas técnicas são meios de apreensão e de estudo da paisagem e são aplicadas em diferentes temáticas (PANIZZA & FONSECA, 2011).

As técnicas de interpretação visual de imagens podem ser aplicadas tanto em fotografias aéreas quanto nas imagens de satélite (FRANCISCO & ALMEIDA, 2012). Embora seja crescente o uso de imagens de alta resolução espacial obtidas por satélites orbitais, ainda são utilizadas fotografias aéreas para o mapeamento temático, devido a sua crescente evolução e surgimento de técnicas inovadoras de captação de imagens.

Panizza & Fonseca (2011) ressaltam que a aquisição das fotografias aéreas demanda uma cuidadosa programação de voo, ótimas condições meteorológicas, horário adequado (pois a posição do sol interfere na projeção das sombras e dos reflexos dos objetos fotografados), velocidade de estol do avião e estabilidade durante o voo. As câmeras fotográficas (filtros, sistemas de lentes, velocidade do obturador e abertura do diafragma, filmes ou matrizes de detectores), suportes das câmeras aéreas (berço giro-estabilizado, sistemas de amortecimento de vibrações da plataforma) também são importantes elementos de qualidade que devem ser considerados em estudos que envolvem a Fotogrametria.

Uma parcela significativa de mapeamentos realizados com imagens aéreas ocorre por meio da Fotointerpretação. Isto depende da complexidade das infraestruturas presentes na área, do tempo para a execução destes estudos: quanto maior for o volume de dados, e a quantidade e complexidade das classes a serem mapeadas, maior será o tempo para a execução destes trabalhos e, sobretudo, a demanda por imagens de maior resolução espacial (PARANHO FILHO *et al.*, 2008; FRANCISCO & ALMEIDA, 2012; ROSA & BREUNIG, 2015).

No que se refere à Cartografia, tanto os aspectos qualitativos quanto quantitativos dos dados são importantes e seu grau de acurácia e/ou detalhe dependem da escala do mapeamento (ROSA & BREUNIG, 2015). Na Fotointerpretação são utilizados elementos de reconhecimento (fotoleitura), os quais servem de fatores guia no processo de reconhecimento e identificação dos alvos na superfície terrestre através de uma fotografia aérea ou imagem de satélite. Estes elementos básicos de leitura de uma fotografia ou imagem são os seguintes: tonalidade e cor, forma e tamanho, padrão, textura, densidade, sítio, associação e sombra (FLORENZANO, 2011).

As imagens aerofotogramétricas obtidas em escalas grandes (por exemplo, maiores do que 1:25.000) possuem como uma de suas características básicas a alta resolução espacial, possibilitando, como já mencionado anteriormente, a identificação de alvos de pequenas dimensões espaciais. Portanto, a utilização dessas imagens, por exemplo, permite a geração e atualização de plantas cadastrais urbanas, realização de análises das alterações do espaço intraurbano, resultantes de fenômenos naturais e das atividades exercidas pelo homem (ROSSETTI *et al.*, 2006).

O emprego de técnicas de Sensoriamento Remoto para extração de dados fotogramétricos é encontrado em diversos estudos, dentre eles o de Moreno *et al.* (2009), que utilizou fotografias aéreas de alta resolução, para a discriminação de usos do solo com a finalidade de utilização de serviços em incêndios florestais. Panizza & Fonseca (2011) apresentam um roteiro metodológico que contém critérios adaptados para a interpretação visual de fotografias aéreas. Outro estudo é o de Cândido *et al.* (2015), que testou técnicas de classificação supervisionada e não supervisionada em imagens aéreas digitais de alta resolução espacial obtidas por VANTs, por meio dos *softwares* SPRING e ArcGis (ESRI, *Inc.*) chegando a resultado de boa qualidade para ambas as classificações.

2.2. CLASSIFICAÇÃO DE IMAGENS E GEOBIA

O Sensoriamento Remoto fornece uma significativa fonte de dados para diversos estudos de monitoramento ambiental e gestão territorial. A partir de métodos e técnicas de Processamento Digital de Imagens (PDI), é possível a extração de características das imagens de Sensoriamento (ANTUNES *et al.*, 2014). De acordo com Meneses & Almeida (2012), o Sensoriamento Remoto tem como um de seus principais objetivos, distinguir e identificar as composições de diferentes materiais superficiais, sejam eles tipos de vegetação, padrões de uso do solo, rochas e outros. Essa distinção e identificação são possíveis devido ao fato de que os materiais superficiais apresentam comportamentos específicos ao longo do espectro eletromagnético, que por sua vez, permitem diferencia-los.

Para distinguir e identificar composições, faz-se necessário extrair informações das imagens, por meio do estabelecimento de métodos de análises com regras claras e lógicas, para que possam ser replicadas por qualquer analista na interpretação do significado dos dados. Tais regras estabelecem critérios para a análise dos elementos que compõem a paisagem, utilizando propriedades da cor, tonalidade, textura, estrutura, sombras e homologia, que são específicas de cada alvo (MENESES & ALMEIDA, 2012). O estabelecimento destas regras permite a classificação dos alvos.

A classificação automática de imagens em Sensoriamento Remoto diz respeito à associação de cada pixel a um "rótulo" ou classe, pixel a pixel ou por regiões, enfocando as diferenças espectrais para extração de informações que descrevem um objeto (FRANCISCO & ALMEIDA, 2012), ou seja, o processo de atribuir significado a um pixel em função de suas propriedades numéricas (NOVO, 2010). É importante ressaltar que existe uma significativa diversidade de métodos de classificação de imagens, cujas recomendações de uso variam de acordo com o detalhamento de imagem a ser analisada, como suas resoluções espectral e espacial.

Os métodos de classificação podem ser divididos segundo diferentes critérios: classificação paramétrica e não-paramétrica, classificação espectral e espacial, classificação supervisionada ou não-supervisionada e ainda, classificadores por pixel ou por regiões (objetos). A maioria dos classificadores executa a classificação por pixel, a partir de medidas de distâncias ou de probabilidades de um pixel pertencer a uma classe específica (MORENO *et al.*, 2009; MENESES & ALMEIDA, 2012). Estes métodos funcionam bem em imagens com alta resolução espectral e média ou baixa resolução espacial.

O processamento digital de imagens com alta resolução espacial permite extrair informações diversas da superfície terrestre, que venham a auxiliar, dentre outros estudos, no planejamento e gestão de áreas urbanas. Esta extração pode ser desenvolvida por meio da interpretação visual ou por métodos de classificação automática das imagens orbitais. No entanto, em imagens fotogramétricas que apresentam elevada resolução espacial e baixa resolução espectral, os métodos convencionais de classificação de imagens que levam em conta a resolução espectral de cada alvo presente na cena da imagem, não apresentam resultados satisfatórios de acurácia de classificação (BLASCHKE & KUX, 2007; RODRIGUES & KUX, 2015).

A maior demanda e acessibilidade às imagens fotogramétricas e orbitais de alta resolução espacial, sobretudo da necessidade de classificação dessas imagens, teve influências no desenvolvimento de novas metodologias e técnicas que ultrapassassem a análise pixel a pixel para a segmentação da imagem por regiões, surgindo posteriormente uma nova abordagem, denominada de GEOBIA (*Geographic Object Based Image Analysis*). Esta abordagem consiste na análise de imagens orientada a objetos geográficos, ou seja, a segmentos de uma imagem, levando em consideração o contexto espacial e características de textura, além das informações espectrais dos objetos. Hay & Castilla (2008) e Powers *et al.* (2015) complementam que este método, centralizado no paradigma baseado em objetos para incluir a localização espacial e o contexto como componentes-chave para determinada análise, permite uma classificação mais significativa da paisagem quando comparado a métodos de PDI baseado em pixels. Esta nova técnica possibilitou, assim, uma maior integração entre Sensoriamento Remoto e SIG (ANTUNES *et al.*, 2014).

Freitas (2013) e Powers *et al.* (2015) relatam que a abordagem GEOBIA caracteriza-se como um sistema de reconhecimento de padrões baseado no conhecimento do especialista, que permite classificar uma série de dados matriciais a partir de objetos vetoriais gerados por técnicas como segmentação multiresolução, por meio da identificação da heterogeneidade espacial (índices de forma, compacidade e suavidade), da heterogeneidade espectral (cor) e da diferença dos objetos de entorno (reconhecidos por análise topológica) e escala (tamanho dos objetos).

Para Blaschke (2013), a GEOBIA tem a tendência de superar problemas de técnicas tradicionais baseadas em imagens de alta resolução espacial. A partir da incorporação do conhecimento do especialista, este sistema combina funções complementares de PDI e de SIG, com implementação de regras de decisão nebulosas (*Fuzzy*), além da incorporação de atributos espectrais, espaciais (área e forma de objetos, textura) e topológicos (vizinhança, proximidade, pertinência, contiguidade, etc. de objetos em relação a outros objetos). A aplicação do GEOBIA

permite a detecção de atributos diversos para áreas diversas, como a Geomorfologia, Ecologia da paisagem, agricultura, urbanismo, etc. (FREITAS, 2013; BLASCHKE, 2014), a partir da segmentação da imagem e sua posterior classificação.

De acordo com Francisco & Almeida (2012), o domínio GEOBIA consiste basicamente de duas etapas metodológicas: a. segmentação, definida como o processo de divisão da imagem em grupos com características homogêneas, que considera aspectos como compacidade, escala e suavidade; e b. classificação, processo baseado em regras de decisão, que revela propriedades de objetos expressas a partir dos seus atributos. Para a aplicação do método GEOBIA, os pixels da cena são primeiramente agrupados em segmentos, de acordo com as suas propriedades geométricas e espectrais (VIEIRA *et al.*, 2015).

A segmentação da imagem consiste na divisão de uma imagem digital em regiões, gerando objetos com padrões internos que contrastam à sua vizinhança (GONZALES e WOODS, 2008). A técnica FNEA (*Fractal Net Evolution Approach*), desenvolvida por Baatz e Schäpe (1999), consiste em extrair os objetos pela segmentação e, posteriormente, classificá-los por meio da lógica *fuzzy*. A segmentação, pode ser feita em diferentes escalas, por meio da aplicação do algoritmo denominado segmentação multinível ou multiresolução, em *softwares* de PDI, neste projeto, no *eCognition*. Cada escala gera um nível de objetos e a conexão dos níveis ocorre de forma hierárquica (TEDESCO, ANTUNES E OLIANI, 2014).

Logo, a GEOBIA baseia-se no agrupamento de pixels a partir da segmentação, que é o passo preliminar que divide a imagem em objetos contíguos. É importante ressaltar que, quanto melhor for desenvolvido o processo de segmentação de uma imagem, ou seja, quanto melhor for a detecção dos objetos, melhor será o desempenho da classificação dos objetos e do método GEOBIA em si (YAN *et al.*, 2006). É necessário avaliar as características peculiares da imagem para escolher a técnica de segmentação que estabeleça bom resultado na classificação dos objetos de estudo (ANTUNES *et al.*, 2014).

Na rede hierárquica, cada objeto conhece seus vizinhos adjacentes, seus subobjetos e seus super-objetos, gerados nas diferentes escalas de segmentação, o que permite o uso de informação contextual na classificação, por meio de operações de vizinhança entre os objetos em rede. A informação espectral pode ser combinada com a forma dos objetos e características de textura para melhorar a classificação (BAATZ e SCHÄPE, 1999).

Já a classificação de imagens consiste em separar conjuntos de pixels que apresentem características similares (por exemplo, espectral, de forma ou textura) em classes de uso ou cobertura do solo. O resultado da classificação é um mapa temático mostrando a distribuição geográfica das classes. Foi construída para a classificação da imagem fotogramétrica, uma rede semântica (estrutura lógica que relaciona os objetos ou classes de acordo com os seus significados e relações), para atribuição das classes, funções, atributos e algoritmos a serem utilizados para diferenciar cada classe (BLASCHKE & KUX, 2007).

A classificação pode ser desenvolvida pela aplicação de algoritmos como o *Random Forests* ou "Florestas aleatórias", o qual é considerado como um dos melhores algoritmos de classificação, uma vez que possui a capacidade de classificar grandes quantidades de dados com elevada precisão (WALKER, 2013), baseado na técnica de árvores de decisão. Outro método usado, *Boosted C4.5* e ainda, o *CART (Classification and Regression Trees)*, métodos estes também baseados em árvores de decisão. Para ambos os algoritmos classificadores, a atribuição de classes aos objetos se baseia no conjunto de atributos selecionadas pelo usuário e, no reconhecimento dos seus índices numéricos, por meio de recursos como *machine learning* (aprendizado de máquina ou aprendizado automático), através de *softwares* estatísticos, tais como o Weka (Univesidade Waikato) ou R (*Bell Laboratories / Free Software Foundation's*). Cabe também ressaltar, que existem outras importantes técnicas de aprendizagem de máquinas, que não se baseiam em árvores de decisão, tais como as RNAs (Redes Neurais Artificiais) e o SVM (*Support Vector Machine*).

Diversos autores apresentam como metodologia, a aplicação de segmentação e classificação de imagens utilizando a GEOBIA e mostram resultados satisfatórios obtidos a partir da aplicação destes métodos. Francisco & Almeida (2012), analisaram a classificação de cobertura da terra feita a partir de imagens orbitais por meio de GEOBIA, onde o valor do *Kappa* obtido, alcançou 0,85. Carvalho *et al.* (2015) demonstra a extração de feições de áreas urbanas a partir de imagens orbitais por técnica GEOBIA, vindo a fazer análises comparativas entre bandas do satélite *RapidEye* para a melhor segmentação da técnica. Dentre outros trabalhos, destaca-se os trabalhos de Blaschke (2010), Freitas (2013), Drăguț *et al.*, (2014).

Diante deste contexto, este trabalho tem como um de seus objetivos, a aplicação de técnicas de segmentação e classificação não tradicionais para a classificação de infraestruturas urbanas em imagens fotogramétricas com alta resolução espacial. As informações geradas a partir da aplicação destes métodos, servirão como base para o mapeamento automatizado das áreas e infraestruturas

suscetíveis as inundações na referida área de estudo, vindo a atenter e consolidar os demais objetivos deste estudo, referenciados no capítulo a seguir.

2.3 INTEGRAÇÃO DE INFORMAÇÕES PARA MONITORAMENTO DE INUNDAÇÕES EM LAJEADO/RS

Historicamente, a formação e estabelecimento das cidades e populações ocorrem próximas aos rios. No entanto, com o crescimento desordenado destas cidades e seus respectivos centros urbanos, ocorre a supressão das áreas de várzea e a alteração da dinâmica dos cursos d'água, aumentando a frequência e a intensidade das inundações nestes locais (MORAES *et al.*, 2012; PARIZZI, 2014).

Em um ambiente natural, as enchentes e inundações fazem parte das características hidrológicas das bacias hidrográficas (OLIVEIRA, 2010). De acordo com Tucci & Bertoni (2003) e Tucci (2007), durante períodos chuvosos, os rios saem do seu leito menor e ocupam o leito maior, sendo este um processo natural. No entanto, como isto ocorre de forma irregular ao longo do tempo, há tem a tendência de ocupação antrópica do leito maior, ou seja, de áreas sujeitas aos impactos das inundações. As inundações são consideradas eventos catastróficos quando a área inundável apresenta ocupação inadequada, como a construção de residências nas áreas ribeirinhas ou nas planícies de inundação (SANTOS, 2007; MORAES, 2015).

O intenso crescimento populacional e a ocupação desordenada de áreas suscetíveis, como em outras regiões do Brasil, também ocorreram no Vale do Taquari, que por sua vez, corresponde a porção baixa da bacia hidrográfica Taquari-Antas, localizada na porção nordeste do Estado do RS. Embora já houvessem comunidades indígenas situadas ao longo do Vale do Taquari, o mesmo foi ocupado de forma mais intensiva a partir do processo de colonização europeia, em meados do século XIX. Dentre outros fatores que levaram à ocupação da referida região, destacam-se as terras férteis da região, bem como das várzeas do Rio Taquari e afluentes, que também foram úteis para o escoamento da produção e a comunicação regional com a capital do RS (AGOSTINI & GREVE, 2009).

Para Ferreira & Both (2001), as inundações que ocorrem na região baixa do Vale do Taquari são decorrência de fatores naturais existentes na bacia hidrográfica do Rio Taquari-Antas, tais como hidrografia, pedologia, geomorfologia, clima, vegetação, dentre outros. Logo, as inundações que ocorrem ao longo do Rio Taquari não são geradas por ações antrópicas, como o desmatamento, a impermeabilização do solo, as obras no canal fluvial, dentre outras.

Para Bombassaro & Robaina (2010), atualmente é crescente a necessidade pelo adequado planejamento da ocupação territorial. O uso de geotecnologias no mapeamento do uso e ocupação do solo urbano das áreas a serem estudadas, bem como a identificação de suas vulnerabilidades, são fundamentais para que o poder público possa trabalhar na ordenação da ocupação urbana de forma eficiente e na gestão preventiva de riscos a desastres naturais (CAVALCANTI *et al.*, 2013).

Guasselli *et al.* (2013) destaca que o mapeamento das áreas inundáveis e o aperfeiçoamento dos sistemas de previsão de inundações são medidas importantes para o planejamento de áreas urbanas com populações ribeirinhas, servindo como subsídio para o planejamento e reorganização do espaço urbano, o que contribui para reduzir os impactos causados por este tipo de fenômeno.

Para o município de Lajeado, estudos que envolvem o mapeamento de áreas inundáveis foi desenvolvido por Eckhardt (2008), que objetivou desenvolver um modelo para a previsão da área urbana inundável da cidade de Lajeado, realizado com uma base cartográfica em escala 1:2.000. Para tal, utilizou as técnicas de representação e análise espacial de ferramentas do Geoprocessamento, tais como o Sensoriamento Remoto e o SIG.

Já o estudo de Moraes (2015) atualizou os dados das cartas de inundação do Rio Taquari no município de Lajeado, de acordo com o estudo de Greiner (2014), que indicou uma diferença dos referenciais de nível de 0,70 m na área de estudo. Foram mapeadas neste trabalho, as áreas atingidas pelas inundações do nível de 19 m até 30 m, bem como mapeadas manualmente (de forma visual) as edificações atingidas pelas inundações. Um dos resultados deste trabalho, indicou que a inundação ocorrida em 10 de outubro de 2015, com nível de 23,81 m, atingiu uma área de 3,24 km², afetando e 466 edificações, que teve como consequência a remoção de 97 famílias desabrigadas (destinados ao ginásio municipal) e 55 desalojadas (casa de amigos e parentes).

As geotecnologias consistem no conjunto de tecnologias para coleta, processamento, análise e disponibilização de informação com referência geográfica. Dentre as geotecnologias estão os SIGs, Cartografia Digital, Sensoriamento Remoto, Fotogrametria, Geodésia, Sistema de Navegação Global por Satélites (GNSS), Topografia Clássica, etc., sendo as geotecnologias, ferramentas importantes para a tomada de decisões (PARANÁ, 2015).

De acordo com Almeida (2010), as mudanças nas tecnologias de informação e telecomunicações, relacionadas a uma velocidade no fluxo de informações sem precedentes, num mundo cada vez mais globalizado, fazem reconhecer o papel crucial das geotecnologias para o planejamento e gestão urbana e regional, assim como a conjeturar tendências futuras do sensoriamento remoto urbano, listados a seguir:

- I. Uso de tecnologias de ponta, com a fusão e sinergia de dados de diferentes sensores e de ferramentas avançadas de análise espacial;
- II. Emprego de modelos tridimensionais dinâmicos integrados (*e.g.*, acoplagem de modelos de mudanças de uso e cobertura do solo a modelos climáticos,);
- III. Utilização de realidade virtual no planejamento participativo e governamental;
- IV. Uso de dados de Sensoriamento Remoto com maiores resoluções espacial, temporal e radiométrica;
- V. Inclusão do uso de Veículos Aéreos Não Tripulados (VANTs) para o monitoramento rotineiro de ambientes urbanos;
- VI. Existência de sistemas cada vez mais sofisticados de análise orientada ao objeto e abordagens cognitivas para a interpretação automática de imagens digitais.

Os SIGs, com capacidades de armazenamento, integração, edição, extração, visualização e análise de diferentes tipos de dados georreferenciados, possibilitam um conhecimento de maior robustez a respeito de variadas situações, criando informações atualizadas, propiciando e facilitando a tomada de decisão. É notável o avanço dos SIGs para a integração das mais diversas funcionalidades, variando das análises e monitoramento de áreas com queimadas às análises e monitoramento de áreas suscetíveis a deslizamentos, inundações, etc. (GOMES et al., 2013).

Para Bruno (2017), tal tendência de evolução, tanto do Sensoriamento Remoto, quanto das aplicações das geotecnologias para a automatização de dados e informações geográficas, tem base nos usos combinados entre plataformas de programação e SIG, tais como o Weka (Universidade Waikato), o R (*Bell Laboratories / Free Software Foundation's*) e o QGIS (*Quantum GIS*), que, por sua vez, consistem em plataformas que permitem ao usuário trabalhar com informações baseadas em programação, SIG e Processamento Digital de Imagens (PDI) de forma livre e com a geração de informações relevantes e precisas.

Dentro do contexto de generalização e desenvolvimento do uso da internet, os SIGs deixaram de ser sistemas fechados e centralizados em aplicações *desktop*, assistindo-se recentemente ao desenvolvimento de um novo conceito, do *WebSIG*, que integra os SIGs a plataformas de internet estáticas e móveis. Surgem assim novas ferramentas e funcionalidades orientadas para a distribuição de informação geográfica, nomeadamente através de tecnologia *World Wide Web* (WWW), independentemente do seu formato, como mapas, imagens, bases de dados, operações de análise e relatórios, etc. (GOMES et al., 2013).

Ao nível dos *WebSIGs*, e dos *SIGs* como um todo, tem surgido diversas soluções tecnológicas, tanto particulares, como *Open Source*, para a sua implementação. O grande número de projetos *Open Source*, com todas as suas vantagens e desvantagens, diferentes níveis de complexidade e funcionalidade, torna a escolha da tecnologia *WebSIG Open Source* cada vez mais válida, quando comparada com as opções comerciais existentes. O amplo acesso às tecnologias computacionais, somado à crescente popularidade dos mapas distribuídos via internet, tem sido o maior impulsionador do desenvolvimento deste tipo de projetos, permitindo a difusão e o acesso a tecnologias *SIG* a um custo mais reduzido e de uma forma mais generalizada (GOMES et al., 2013; BRUNO, 2017).

Um dos módulos para o desenvolvimento mais complexo de plataformas *WebSIG* são os conhecidos como *Framework*. Pode-se dizer que o *Framework* é um conjunto de conceitos utilizados para resolver um problema de um domínio específico, não se tratando de um *software* executável, mas sim de um modelo de dados para um determinado domínio, com atuação onde há funcionalidades em comum para distintas aplicações (VALENTIM; SILVA; CONTE, 2017).

3. PRODUÇÕES ACADÊMICAS

A seguir são apresentados os dois artigos produzidos para este modelo de dissertação. Cabe ressaltar, que os mesmos já foram submetidos para revisas de acordo com o Qualis CAPES exigido pelo Artido 32 do Novo Regimento do PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM SENSORIAMENTO REMOTO – PPGSR / UFRGS.

PRIMEIRO ARTIGO – MÉTODO

26/06/2018

#2300 Sinopse



REVISTA BRASILEIRA DE CARTOGRAFIA

[CAPA](#) [SOBRE](#) [PÁGINA DO USUÁRIO](#) [PESQUISA](#) [ATUAL](#)
[ANTERIORES](#) [NOTÍCIAS](#)

[Capa](#) > [Usuário](#) > [Autor](#) > [Submissões](#) > #2300 > [Resumo](#)

#2300 SINOPSE

[RESUMO](#) [AVALIAÇÃO](#) [EDIÇÃO](#)

SUBMISSÃO

Autores	Sofia Royer Moraes
Título	ABORDAGEM GEOBIA PARA CLASSIFICAÇÃO DO USO E COBERTURA DA TERRA EM ÁREAS URBANAS UTILIZANDO IMAGENS FOTOGAMÉTRICAS
Documento original	2300-14235-1-SM.DOC 2018-06-26
Docs. sup.	INCLUIR DOCUMENTO SUPLEMENTAR
Submetido por	Sra. Sofia Royer Moraes
Data de submissão	junho 26, 2018 - 04:35
Seção	Artigos
Editor	Alan Salomão Graça

SITUAÇÃO

Situação	Em avaliação
Iniciado	2018-06-26

IDIOMA

Selecione o idioma

Português (Brasil) ▼

[Submeter](#)

USUÁRIO

Logado como:
sofia
[Perfil](#)
[Sair do sistema](#)

CONTEÚDO DA REVISTA

Pesquisa

Escopo da Busca

Todos ▼

[Pesquisar](#)

Procurar

[Por Edição](#)
[Por Autor](#)
[Por título](#)

AUTOR

[Submissões](#)
[Ativo \(1\)](#)
[Arquivo \(0\)](#)
[Nova submissão](#)

ABORDAGEM GEOBIA PARA CLASSIFICAÇÃO DO USO E COBERTURA DA TERRA EM ÁREAS URBANAS UTILIZANDO IMAGENS FOTOGRAMÉTRICAS

Geobia approach for classification of land use and land cover in urban areas using photogrammetric images

Sofia Royer Moraes ¹
Cláudio Wilson Mendes Júnior ¹

¹ Universidade Federal do Rio Grande do Sul - UFRGS
Centro Estadual de Pesquisas em Sensoriamento Remoto e Meteorologia - CEPSRM
Avenida Bento Gonçalves, 9500, Campus do Vale, Caixa Postal: 15044, Porto Alegre / RS, CEP: 91501-970
sofiaroyermoraes@gmail.com; geoclaudio@yahoo.com.br; marcoswfreitas@gmail.com

RESUMO

Este estudo tem como objetivo a classificação automática do uso e cobertura da terra em área urbana, num ortofotomosaico com altíssima resolução espacial (16 cm), a partir da abordagem GEOBIA. Foram testados os classificadores por árvore de decisão *Boosted C5.0*, *Random Forests* e *Classification and Regression Trees (CART)*. Primeiramente foram identificadas as seguintes classes de uso e cobertura da terra: vegetação arbórea; vegetação herbácea (gramíneas); solo exposto; sistema viário; telhados metálicos e telhados cerâmicos claros; telhados de concreto e fibrocimento; telhados metálicos e cerâmicos escuros; e sombra. Por meio do programa *eCognition* foram aplicados sete níveis de segmentação do ortofotomosaico, coletadas as amostras e definidos os atributos para cada classe. O treinamento para os classificadores foi realizado no programa R. Para a análise da exatidão de classificação, foram gerados pontos de checagem aleatórios, que foram comparados com as classes das três imagens classificadas, para o cálculo da matriz de erros e do índice *Kappa*. A imagem classificada pelo algoritmo *Random Forests* apresentou a maior Exatidão Global (EG = 82,20%) e Índice *Kappa* (K = 0,79), seguido pela imagem classificada pelo algoritmo *Boosted C5.0* (EG = 80,4%; K = 0,77) e pelo *CART* (EG = 64,90%; K = 0,57).

Palavras chaves: Segmentação de imagens, Classificação orientada ao objeto, Árvore de decisão.

ABSTRACT

This work aims to classify automatically the urban land use and land cover in an orthophoto mosaic with very high spatial resolution (16 cm), based on the GEOBIA approach. We tested the decision tree classifiers *Boosted C5.0*, *Random Forests* and *Classification and Regression Trees (CART)*. First, the following classes of land use and land cover were identified: forest land; herbaceous land (grasses); bare soil; road system (pavement); metal roofs and clear ceramic roofs; concrete and fiber cement roofs; dark metallic and ceramic roofs; and shade. The *eCognition* software were used to processes seven levels of segmentation of the orthophoto mosaic, and for collecting samples and attributes from each one these classes. The decision tree methods were performed in R software. For the classification accuracy assessment, we generated random checkpoints, which were compared with the classes of the three classified images, in order to calculate the error matrix and Kappa index. The image classified by the algorithm *Random Forests* presented the highest Global Accuracy (GA = 82.20%) and Kappa Index (K = 0.79), followed by the image classified by the *Boosted C5.0* (GA = 80.4% = 0.77) and the *CART* algorithm (GA = 64.90%, K = 0.57).

Keywords: Image Segmentation, Object-Oriented Classification, Decision Tree.

1. INTRODUÇÃO

O Sensoriamento Remoto tem suas bases nos princípios que levaram ao desenvolvimento das câmeras fotográficas aéreas para se obter, em nível suborbital, fotografias da superfície terrestre. O princípio básico é o registro dos alvos por meio da detecção do fluxo de radiação eletromagnética refletida pelas superfícies dos objetos terrestres. As fotografias aéreas proporcionaram grandes benefícios para a humanidade, como registros dos recursos naturais e antrópicos de várias regiões da superfície terrestre. Atualmente a fotografia aérea vem dividindo o seu espaço no mercado profissional, com imagens de satélites e VANTs -Veículos Aéreos não Tripulados (MENEZES; ALMEIDA, 2012).

Sabendo da existência de um significativo acervo de fotografias aéreas atuais e históricas, é preciso considerar que estas podem contribuir com estudos voltados para o entendimento da paisagem, desenvolvimento urbano ao longo do tempo. Rosa e Breunig (2015) descrevem que imagens com alta resolução espacial e temporal contribuem para obtenção de informações em escalas de maior nível de detalhamento, sendo recomendáveis para a gestão municipal, planos diretores, planejamento e cadastro urbano, zoneamentos, transporte, etc. A aplicação deste tipo de imagem, se dá pela evolução de *softwares* e métodos geotecnológicos de extração de informações de diferentes imagens, que já permitem ao usuário, a classificação de imagens fotogramétricas, de alta resolução espacial e baixa resolução espectral (TEDESCO, 2015), tais como áreas urbanas.

A interpretação visual de imagens, essencial para a identificação e classificação de alvos, pode ser desenvolvida por técnicas distintas, dentre elas, a Fotointerpretação e a Fotogrametria. Para identificar e distinguir alvos, faz-se necessário o uso de técnicas fotogramétricas e o estabelecimento de métodos de análises com regras claras e lógicas, para que possam ser replicadas por qualquer analista na interpretação do significado do dado. Essas regras estabelecem critérios para a análise dos elementos que compõem a paisagem, utilizando-se das propriedades da cor, tonalidade, textura, estrutura, sombras e homologia, específicas de cada classe de alvo (MENESES; ALMEIDA, 2012).

O processamento digital de imagens com alta resolução espacial permite extrair informações diversas da superfície terrestre. Esta extração pode ser desenvolvida por meio da interpretação visual ou por métodos de classificação automática das imagens orbitais. No entanto, em imagens fotogramétricas que apresentam elevada resolução espacial e baixa resolução espectral, os métodos convencionais de classificação de imagens que levam em conta a resolução espectral de cada alvo presente na cena da imagem, tais como Máxima Verossimilhança e método da distância mínima, não apresentam resultados satisfatórios de precisão de

classificação (BLASCHKE; KUX, 2007; RODRIGUES; KUX, 2015).

Um dos métodos capazes de reconhecer e classificar componentes urbanos, consiste na abordagem GEOBIA (*Geographic Object Based Image Analysis*), que vem sendo amplamente explorada para a classificação de imagens. A GEOBIA nada mais é, do que a análise de imagens orientada a objetos geográficos, que consiste na classificação de objetos a partir da segmentação da imagem, considerando elementos como a forma, tamanho, contexto espacial e textura, além das informações espectrais dos segmentos que compõem cada alvo (BLASCHKE, 2014). No entanto, raros são os estudos que utilizam essa técnica em imagens fotogramétricas, principalmente, devido à complexidade para extração de resultados, visto serem necessárias à busca de regras que possam complementar a falta de informações espectrais presentes nessas imagens.

Nesse sentido, a maior demanda e acessibilidade às imagens fotogramétricas e orbitais de alta resolução espacial, sobretudo da necessidade de classificação dessas imagens, influenciou o desenvolvimento de metodologias e técnicas de classificação, tal como a GEOBIA. Hay e Castilla (2008) e Powers *et al.* (2015) complementam que este método, centralizado no paradigma baseado em objetos para incluir a localização espacial e o contexto como componentes-chave para determinada análise, permite uma classificação mais significativa da paisagem quando comparado a métodos de PDI baseado em pixels. Esta técnica possibilitou, assim, uma maior integração entre Sensoriamento Remoto e SIG (ANTUNES *et al.*, 2014).

Aliado ao GEOBIA, cresce também a aplicação conjunta de diferentes algoritmos de classificação não-paramétricos, mineradores de dados, tais como o *Random Forests*, o C5.0 e o CART (*Classification and Regression Trees*), dentre outros. A aplicação conjunta destes recursos vem se mostrando cada vez mais como uma ferramenta essencial para a obtenção de dados e classificação de imagens com características heterogêneas, já que apresentam bons níveis de precisão de classificação, para diferentes tipos de resoluções de imagens. Para Rossetti *et al.*, (2006) e Cândido *et al.*, (2015), as geotecnologias e suas aplicações, como a classificação orientada ao objeto, se constituem em uma importante ferramenta para a fiscalização e análise ambiental, uma vez que apoia o gerenciamento da superfície terrestre e de seus recursos, de forma a contribuir decisivamente para o monitoramento, simulação de cenários e para a tomada de decisões das formas de uso e ocupação da terra.

Diversos autores vêm utilizando como metodologia a aplicação de segmentação e classificação de imagens utilizando a GEOBIA, bem como os algoritmos citados acima, com a obtenção de resultados satisfatórios. Francisco & Almeida (2012) fizeram a classificação do uso e cobertura da terra a partir de imagens orbitais, por meio de GEOBIA, com uma precisão de classificação com valor *Kappa* igual a 0,85. Carvalho *et al.*, (2015) extraíram feições de áreas urbanas

a partir de imagens orbitais pela técnica GEOBIA, fazendo análises comparativas entre bandas espectrais do sensor *RapidEye Earth Imaging System* (REIS - satélites RapidEye) para a melhor segmentação das imagens. Dentre outros trabalhos, destaca-se os de Blaschke (2010), Freitas (2013), Drăguț *et al.*, (2014), Anjos *et al.* (2017) e Sothe *et al.* (2017).

Com relação aos algoritmos de classificação citados, estudos comparativos entre os métodos *Random Forests* e CART já foram realizados, no entanto, devido a recém publicação do algoritmo *Boosted C5.0*, em dezembro de 2017, vem a necessidade de aplicar este método e compará-lo, principalmente em termos de eficácia e precisão junto aos demais. Estes mineradores de dados atuam com árvores de decisão, ou seja, a partir de um conjunto de dados previamente treinado, é desenvolvida a classificação da totalidade dos dados, com a aplicação automatizada da árvore de decisão.

Nesse sentido, este trabalho tem como objetivo classificar, de forma automatizada o uso e cobertura da terra em áreas urbana, em um ortofotomosaico colorido com altíssima resolução espacial (16 cm) em seus 3 canais do visível, por meio da abordagem GEOBIA, avaliando a exatidão dos resultados obtidos, com a aplicação dos classificadores por árvore de decisão *Boosted C5.0*, *Random Forests* e CART, com a finalidade de gerar informações estratégicas em área suscetível a ocorrência de inundações.

2. OBJETIVO

Este estudo tem como objetivo a classificação automática do uso e cobertura da terra em área urbana, num ortofotomosaico com altíssima resolução espacial (16 cm), a partir da abordagem GEOBIA.

3. MATERIAIS E MÉTODOS

Freitas (2013) e Powers *et al.* (2015) relatam que a abordagem GEOBIA caracteriza-se como um sistema de reconhecimento de padrões, baseado no conhecimento do especialista, que permite classificar uma série de dados matriciais a partir de objetos vetoriais gerados por técnicas como a segmentação multiresolução, envolvendo a identificação da heterogeneidade espacial (índices de forma, compacidade e suavidade), da heterogeneidade espectral (cor) e da diferença dos objetos de entorno (reconhecidos por análise topológica) e escala (tamanho dos objetos).

O processo de segmentação é a etapa inicial da GEOBIA. Consiste no particionamento da imagem em um conjunto de discrepância, ou seja, em regiões, para assim realizar a posterior categorização das classes da imagem (ANTUNES *et al.*, 2014). Dentre outros

algoritmos que realizam a segmentação em imagens, é destacado neste trabalho, o algoritmo de “segmentação multiresolução”, que possui 3 fatores importantes: escala, forma e compacidade. A escala determina o tamanho dos objetos segmentados; a forma prioriza o crescimento de regiões por sua similaridade de cores; a compacidade está relacionada à compactação dos pixels de um determinado objeto, ou seja, a união de pixels similares, componentes de um determinado objeto. O peso para o critério de forma e compacidade assume valores no intervalo de 0 a 1 (TEDESCO; ANTUNES; OLIANI, 2014).

A classificação dos segmentos pode ser desenvolvida pela aplicação de diversos algoritmos sobre amostragens de classes, podendo ser executada tanto em *softwares* de PDI (Processamento Digital de Imagens), como o *eGognition Definiens* (Trimble, Inc.), quanto em *softwares* estatísticos livres como o R (Bell Laboratories / Free Software Foundation's) ou Weka (Universidade Waikato), sendo o refinamento dos dados, desenvolvidos em plataformas SIG (Sistemas de Informações Geográficas), tal como o ArcGis (ESRI, Inc.). Para este estudo, foram aplicados três classificadores, dentre outros disponíveis no *software* R: Árvore de decisão *Boosted C5.0*, *Random Forests* e CART.

3.1 Área de estudo e descrição da imagem

A área de estudo corresponde a poligonal do bairro Centro do município de Lajeado, localizado na região centro oriental Rio-Grandense (Fig. 1). O limite do bairro Centro foi escolhido, devido à disponibilidade de dados geográficos, bem como sua importância enquanto área social e econômica, com presença de elevada taxa populacional e uma significativa rede de comércio e serviços, além de centros educacionais, de saúde e públicos, como prefeituras e suas sedes. Essa área também apresenta suscetibilidade a ocorrência de inundações do Rio Taquari, fato que torna estratégico a extração de informações sobre tais zonas, visto ser estratégico para o planejamento urbano, principalmente no que diz respeito a complementação de estudos que favoreçam a construção de medidas não estruturais, importantes para a prevenção e mitigação dos impactos socioeconômicos e ambientais decorrentes das inundações em áreas indevidamente antropizada.

De acordo com o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística - IBGE (2010), Lajeado possui uma área territorial de 90,1 km² e uma população igual a 71.445 habitantes. A densidade populacional igual a 793,07 hab./km². O território urbano de Lajeado, de acordo com a última alteração dos perímetros urbanos e rurais, realizado pelo Plano Diretor em 2006, representa, 90% de sua área territorial municipal urbana, onde residem 99% da população municipal (GABE, 2017).

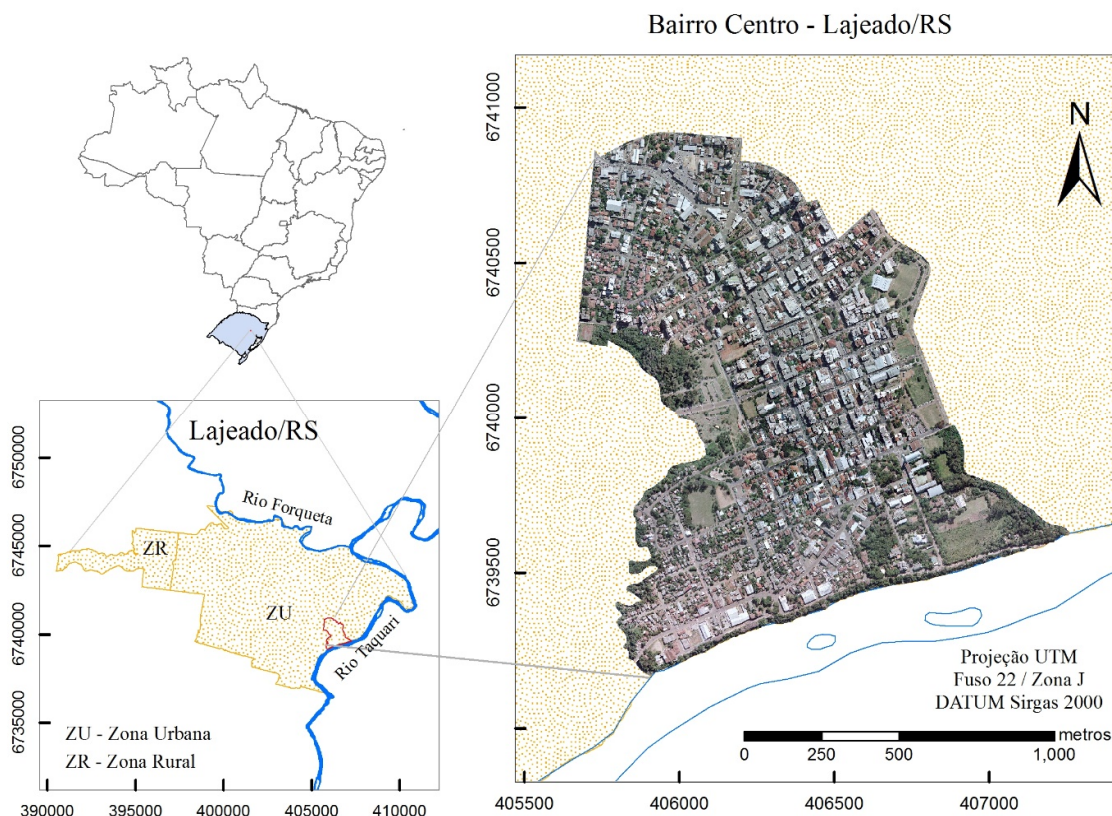


Fig. 1 - Localização da cena utilizada para o processo de segmentação e classificação.

Para a execução do presente estudo, foi utilizado um banco de dados disponibilizado pela Secretaria de Planejamento da Prefeitura Municipal de Lajeado (PML), que consiste em um ortofotomosaico obtido de forma fotogramétrica e em uma base cartográfica digital de informações. Essa base cartográfica foi elaborada pela empresa BASE Aerofotogrametria e Projetos S.A. de São Paulo, entre os anos de 2012 e 2014, na escala 1:2000, disponibilizada pela PML, no formato *dwg* (AutoCAD), contendo pontos cotados, curvas de nível e hidrografia do município de Lajeado. Esses dados foram obtidos por aerolevantamento e por levantamentos geodésicos.

As fotografias aéreas desse aerolevantamento são do tipo vertical e foram tomadas na escala 1:8.000, em aproximadamente 80 km² da área urbana de Lajeado. O levantamento aerofotogramétrico foi realizado com uma câmara analógica de grande formato, marca Leica, modelo RC-10. Os negativos das fotografias foram digitalizados por meio de um scanner fotogramétrico de alta precisão, modelo UltraScan 5000, marca VEXCEL, calibrado radiometricamente e geometricamente para esta finalidade. As fotografias digitalizadas apresentam as seguintes características: formato 16 por 16 cm; resolução geométrica mínima: 20 micras; resolução radiométrica: 24 bits; e precisão mínima: 5 µm. Neste estudo foi utilizado um Modelo Digital de Elevação (MDE) e ortofotomosaico colorido (RGB), ambos com resolução espacial de 16 cm.

3.2 Procedimentos Metodológicos

Para o processamento e manipulação dos dados, foram utilizados os *softwares* ArcGIS 10.3 e eCognition Developer 64 - 9.1, além do *software* R, para a classificação e análise de exatidão de classificação das imagens.

Por meio do ArcGIS, o polígono georreferenciado da área urbana de Lajeado foi utilizado para extração dos dados do ortofotomosaico, sistema de arramento e MDE localizados nesta área. Essa máscara foi exportada para o formato KML, sendo a mesma sobreposta às imagens históricas do *Google Earth Pro*, para a coleta dos dados usados posteriormente nas análises de validação e exatidão de classificação dos métodos por árvore de decisão *Boosted C5.0*, *Random Forests* e *CART*. A Fig. 2 apresenta os dados utilizados para auxílio a segmentação da imagem e exatidão global.

Após a organização do banco de dados, o trabalho seguiu quatro etapas:

- I. Definição das classes de uso e cobertura da terra;
- II. Segmentação da imagem;
- III. Classificação;
- IV. Análise da exatidão da classificação e validação dos dados.

A sequência metodológica do trabalho está apresentada no fluxograma abaixo (Fig. 3).

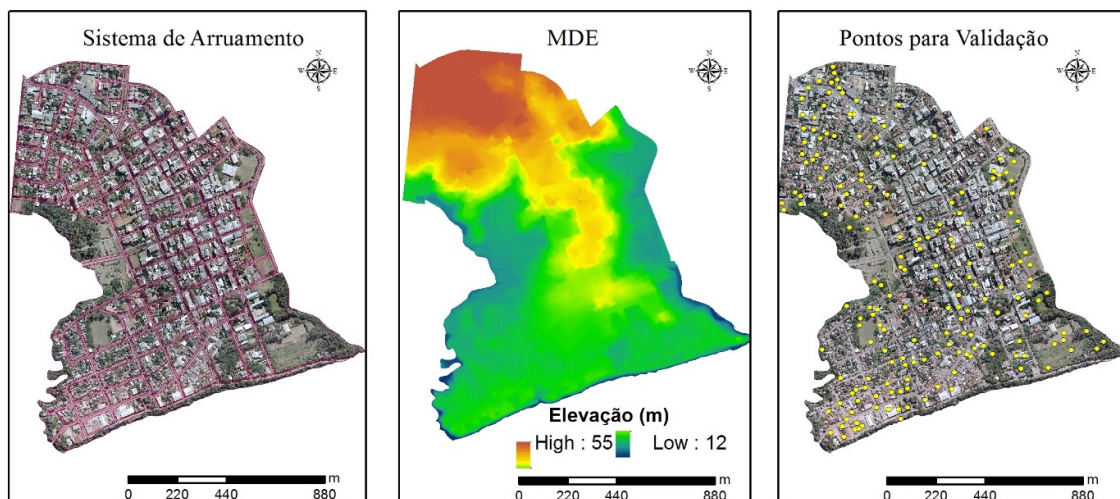


Fig. 2 - Dados utilizados para os processos de segmentação, classificação e análise de precisão da classificação.

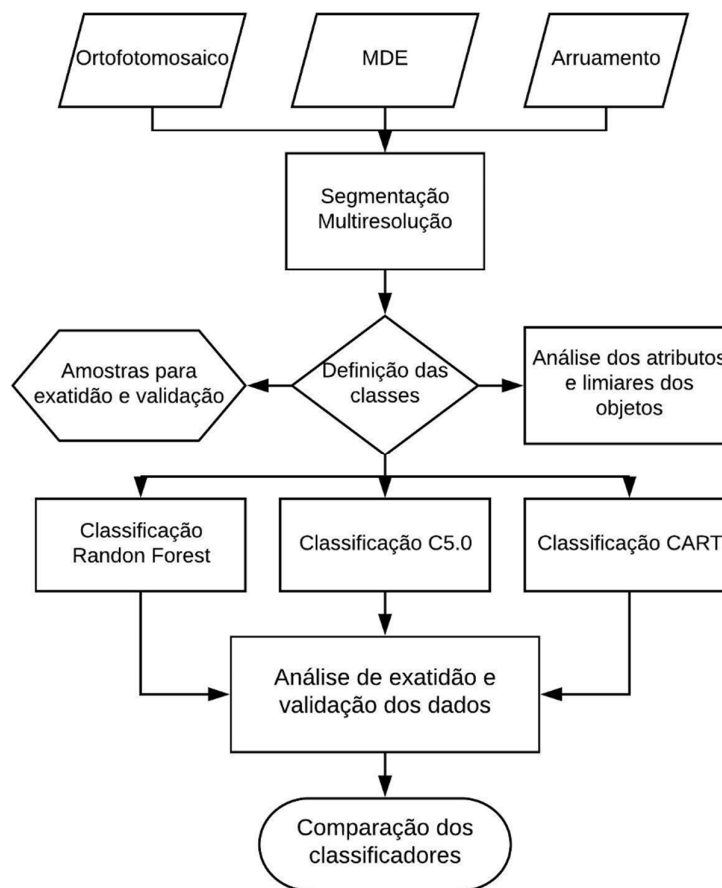










Fig. 3 - Fluxograma metodológico utilizado nos processos de segmentação e classificação da imagem.

A definição das classes foi baseada na observação dos diversos alvos que compõe o ortofotomosaico recortado. Ao todo foram definidas 8 classes: vegetação arbórea; vegetação herbácea (gramíneas); solo exposto; sistema viário (calçamento); telhados metálicos e telhados cerâmicos claros; telhados de concreto e fibrocimento; telhados metálicos e cerâmicos escuros; e sombra. A TABELA 1 apresenta a chave de interpretação dessas classes.

Cabe ressaltar que foram previamente identificados outros alvos no ortofotomosaico, como veículos e piscinas. Porém, uma vez que os veículos apresentam nesta imagem alta heterogeneidade com relação à forma, tamanho e cores, seu uso na classificação aumentou a confusão entre as classes e decidiu-se então desconsiderá-los. Já a classe piscina foi excluída por apresentar poucas amostras na imagem para o treinamento do classificador.

TABELA 1 - CHAVE DE INTERPRETAÇÃO DAS CLASSES DE USO E COBERTURA DA TERRA.

Classe	Ortofotomosaico RGB	Definição	Chave de interpretação
Vegetação Arbórea (1)		Vegetação densa, de grande porte	Cor: Verde Textura: Rugosa Tom: Médio a escuro Forma, tamanho e distribuição irregulares
Vegetação Herbácea (2)		Vegetação de baixo porte	Cor: Verde Textura: Lisa Tom: Médio a clara Forma com acentuada geometria retangular. Tamanho: Pequeno a médio
Solo Exposto (3)		Ausência de vegetação ou edificação sobre o solo	Cor: Avermelhado Textura: Mosquedo Tom: Médio a clara Forma com geometria retangular a irregular. Tamanho: Pequeno.
Vias (4)		Presença de vias de circulação de tráfego, pátios e calçadas	Cor: Chumbo Textura: Lisa Tom: Médio à claro; Forma retangular Tamanho: Pequenos a médios
Telhados Metálicos ou Cerâmicos Claros (5)		Telhados com cobertura metálica ou telhas cerâmicas clara, residenciais e não residenciais.	Cor: Cinza metalizado a branco Textura: Fina Tom: Claro Forma: retangular Tamanho: Pequenos a médios
Telhados Concreto e Fibrocimento (6)		Telhados com cobertura de concreto ou telhas de fibrocimento	Cor: Cinza Textura: Fina Tom: Médio; Forma Retangular Tamanho: Pequenos a médios
Telhados Metálicos ou Cerâmicos Escuros (7)		Telhados com cobertura metálica telhas cerâmicas escuras, residenciais e não residenciais.	Cor: Vermelho escuro Textura: Fina Tom: Forte Forma com geometria retangular Tamanho: Pequenos a médios
Sombra (8)		Telhados com cobertura de concreto ou telhas de fibrocimento	Cor: Cinza escuro a preto Textura: Lisa Tom: Forte Forma com geometria variável Tamanho: Pequenos a médios

Após a definição das classes, a imagem RGB foi segmentada no *software* eCognition Developer 64 – 9, visando sua partição em segmentos, também chamados de objetos (FRANCISCO; ALMEIDA, 2012). Foram aplicados sete níveis de segmentação, com escalas (tamanho dos segmentos) que variaram de 70 até 450, com parâmetros de forma igual a 0,1 e compacidade igual a 0,9. Os parâmetros utilizados para forma e compacidade se mostraram, em termos quantitativos, os valores com as melhores distinções entre objetos segmentados. O nível escolhido para a coleta de amostras e classificação da cena, foi o Nível 1, uma vez que foi o nível com a melhor definição dos segmentos objetos desta classificação. A TABELA 2 apresenta os níveis de segmentação aplicados no ortofotomosaico.

TABELA 2 - NÍVEIS DE SEGMENTAÇÃO APLICADOS NO ORTOFOTOMOSAICO.

Nível	Escala	Forma	Compacidade
Nível 6	450	0,1	0,9
Nível 5	350	0,1	0,9
Nível 4	250	0,1	0,9
Nível 3	150	0,1	0,9
Nível 2	100	0,1	0,9
Nível 1	80	0,1	0,9
Nível 0	70	0,1	0,9

Após a segmentação multiresolução do ortofotomosaico, foram amostradas classes, sob forma de números arábicos ou identificadores (IDs da TABELA 1). Por meio da ferramenta do eCognition *Manual Editing/Classify Image Objects* foram coletadas manualmente as amostras de cada classe. Foram coletadas uma média de 300 amostras (segmentos) para cada classe, com exceção para a classe solo exposto, que teve apenas 60 amostras, devido à sua baixa ocorrência na imagem. O grande número de amostras utilizadas neste processo se deve ao elevado nível de detalhamento dos segmentos presentes na cena, justificados pela altíssima resolução espacial apresentada pela imagem, bem como ao tamanho da área total desta (151 ha).

Ainda no *software* eCognition foram definidos os atributos de cada classe, disponíveis no *Toolbox Feature View*, que foram utilizados para o treinamento e classificação da imagem. Os atributos extraídos de cada segmento foram os seguintes: valor médio da intensidade da camada de um objeto e desvio padrão, MDE, assimetria, índice de fronteira, compactação, densidade, ajuste elíptico e retangular, valores de área, geometria, número de pixels, volume, e densidade dos objetos analisados e relações entre os objetos. Devido a muitas amostras apresentarem valores negativos para textura, optou-se por excluir este conjunto de atributos.

Posteriormente, as amostras foram exportadas em dois arquivos: um para o treinamento do classificador e outro com os objetos não classificados, a serem posteriormente cruzados em SIG, com o arquivo final de treinamento. O treinamento para os classificadores foi realizado no *software* estatístico R, onde foram testados três classificadores não-paramétricos (C5.0, *Random Forests* e CART), após os resultados provenientes dos algoritmos de classificação, foram aplicados ao arquivo

contendo as amostras não classificadas para a obtenção da classificação final do conjunto completo dos segmentos.

Por fim, foi realizada a análise da exatidão da classificação dos dados obtidos. Esta é uma importante etapa, uma vez que valida o processo e indica a funcionalidade dos métodos aplicados. Para a validação dos dados obtidos pela classificação, foram coletados pontos de checagem (verificação) aleatórios, visando abranger todas as classes de cobertura e uso da terra, por meio do *software* ArcGIS e R. A identificação da classe de cada ponto de checagem foi realizada a partir da interpretação visual da imagem do Google Earth com data mais próxima à do ortofotomosaico.

A análise da exatidão da classificação baseou-se no índice estatístico Kappa, no *software* R. Essa estatística é calculada a partir de uma matriz de erros, que apresenta as exatidões de cada classe, em conjunto com os erros de inclusão e omissão, acurácia do produtor e do usuário (LANDIS; KOCH, 1977; CONGALTON; GREEN, 1999). Uma das vantagens para uso do Kappa é que ele incorpora a informação dos segmentos mal classificados junto aos bem classificados como a exatidão global (TEDESCO, ANTUNES; OLIANI, 2014). Os valores da estatística Kappa (0 a 1) indicam a qualidade da classificação: entre 0,8 e 1,0, expressam uma classificação excelente; entre 0,6 e 0,8, muito boa; entre 0,4 e 0,6, boa; entre 0,2 e 0,4, razoável; entre 0 e 0,2, ruim; e abaixo de 0, considerado péssima (LANDIS; KOCH, 1977). No entanto, de acordo com Pontius e Millones (2011), a análise da matriz de confusão resultante destes processos se faz como o resultado mais importante para a discussão. Por fim, foram feitas comparações estatísticas entre os resultados obtidos pelos três métodos de classificação.

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Durante o processo de aplicação do método GEOBIA, um dos fatores mais importantes para a obtenção de um resultado de melhor qualidade é a correta segmentação da imagem. A detecção dos objetos nesta fase do processo influencia em todo o processo final de obtenção do mapa de uso e cobertura da terra. A Fig. 4 apresenta quatro dos sete níveis de segmentação obtidos para a cena analisada.



Fig. 4A - Nível 6 de segmentação da imagem.



Fig. 4B - Nível 4 de segmentação da imagem.



Fig. 4C - Nível 2 de segmentação da imagem.

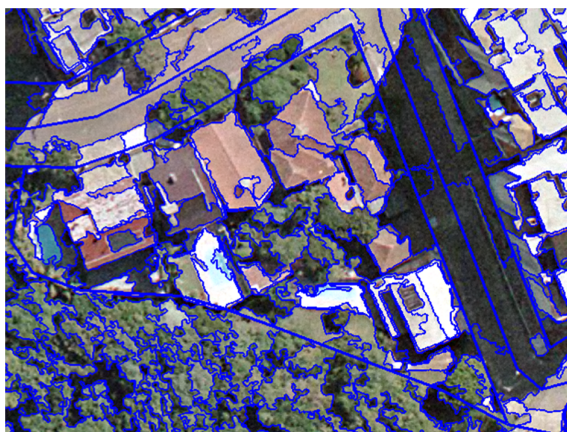
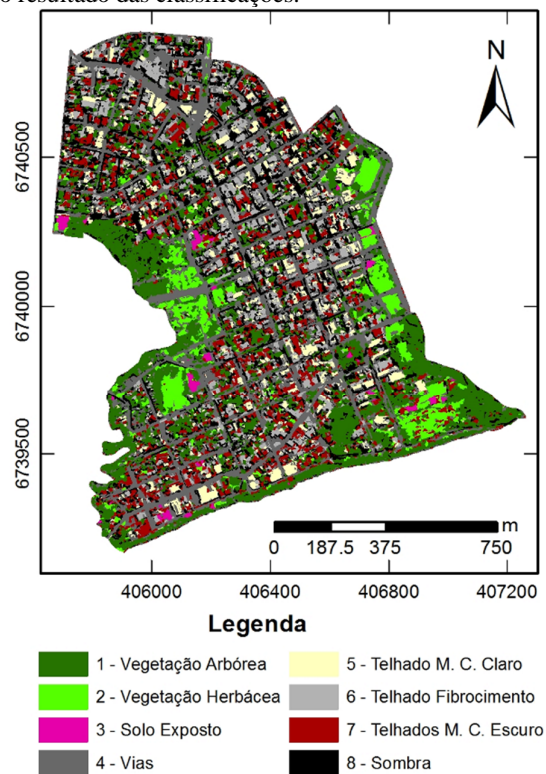
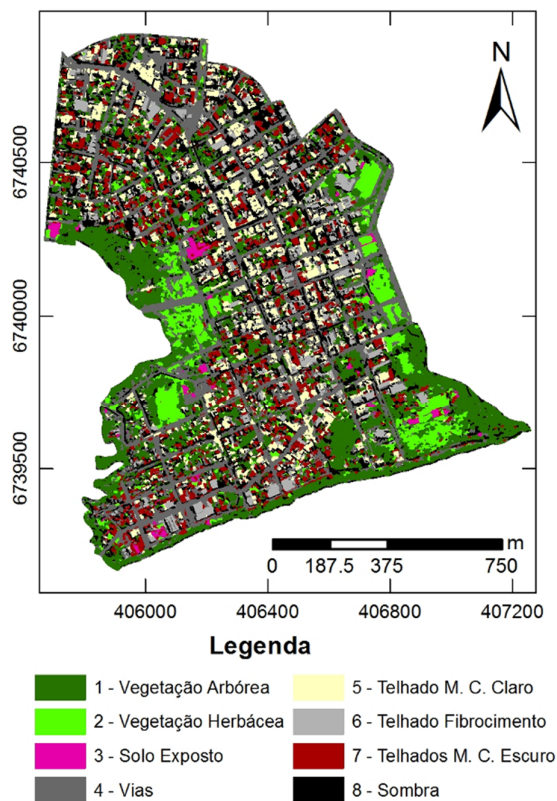


Fig. 4D - Nível 1 de segmentação da imagem.

Os resultados da segmentação do Nível 1 foram utilizados para gerar os arquivos para treinamento e execução da classificação. Sua escolha se justifica, devido a melhor delimitação dos objetos neste nível de segmentação. Tal fator influenciou na priorização de atributos provenientes de informação espectral (média, desvio padrão, brilho), contextual (proximidade entre vizinhos) e espacial (relacionada ao tamanho do objeto). A camada vetorial “arruamento”, utilizada no processo de segmentação, contribuiu significativamente para a determinação da classificação das vias, reduzindo a confusão entre esta classe e a classe “telhados de

fibrocimento e concreto”. As Fig. 5 e a Fig. 6, apresentam o resultado das classificações.

Fig. 5A - Uso e cobertura da terra resultante da aplicação do algoritmo *Random Forest*.Fig. 5B - Uso e cobertura da terra resultante da aplicação do algoritmo *C5.0*.

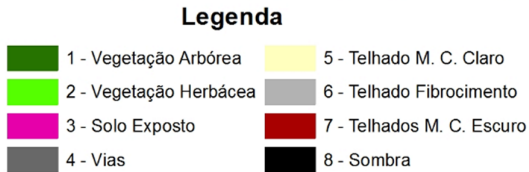
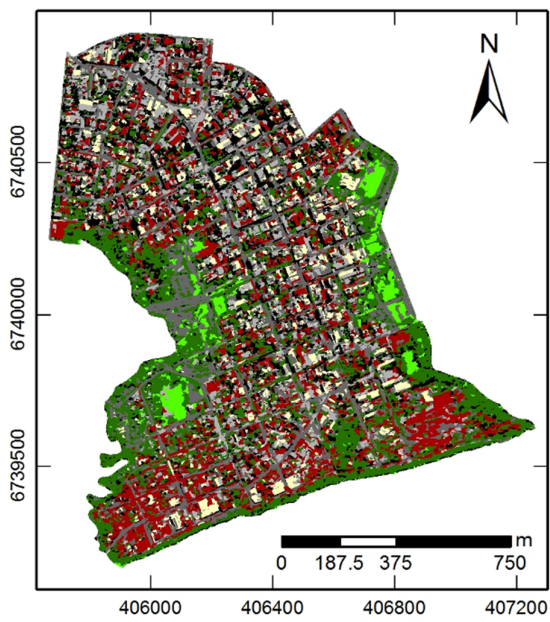


Fig. 5C - Uso e cobertura da terra resultante da aplicação do algoritmo CART.

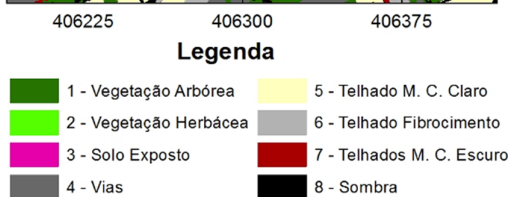
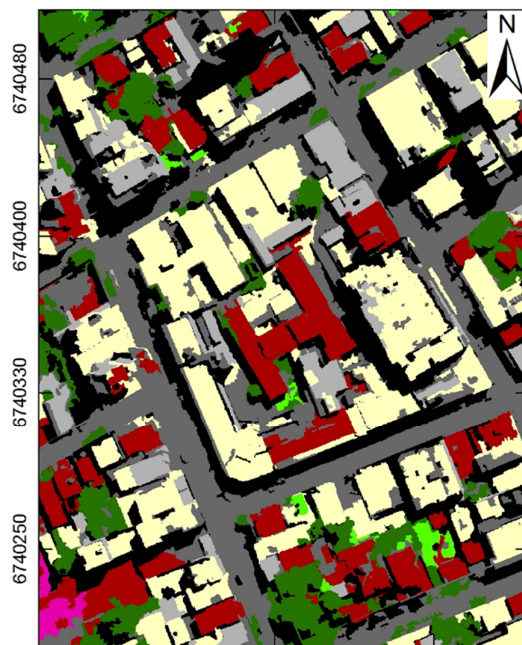


Fig. 6B - Detalhe do uso e cobertura da terra resultante da aplicação do algoritmo C5.0.

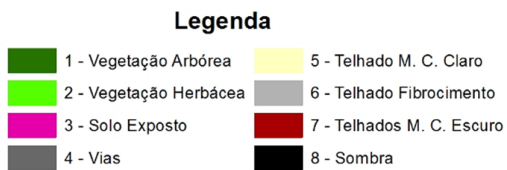
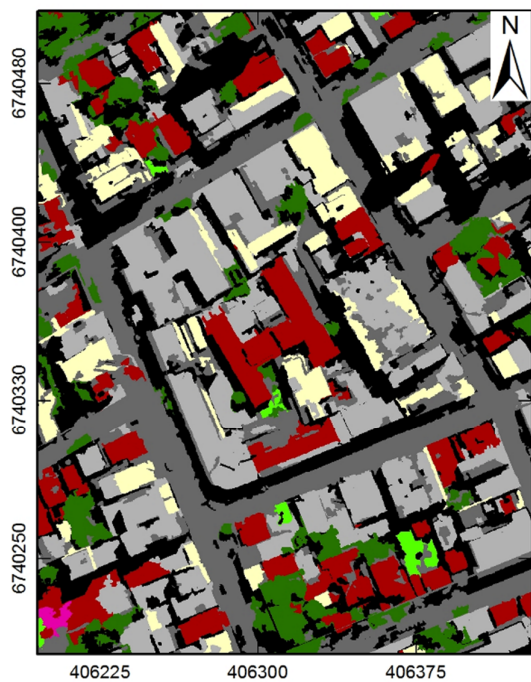


Fig. 6A - Detalhe do uso e cobertura da terra resultante da aplicação do algoritmo Random Forest.

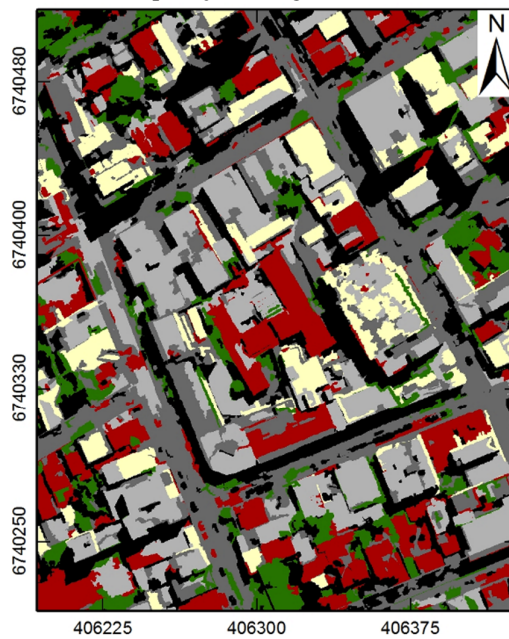


Fig. 6C - Detalhe do uso e cobertura da terra resultante da aplicação do algoritmo CART.

Para as classificações, um dos limiares que teve grande destaque, no sentido de melhorar a qualidade da classificação, foi o MDE utilizado, que veio a contribuir para o processo de classificação como um todo, principalmente na diferenciação das classes de vegetação arbórea e herbácea. De acordo com o ranking de atributos mais importantes, apresentada pelo *Random Forests*, o atributo avaliado MDE, ficou em primeiro lugar, como atributo mais importante para a classificação da imagem. As principais métricas de avaliação resultantes da aplicação dos três algoritmos classificadores estão descritas nas TABELAS 3, 4 e 5.

A análise das TABELAS 3, 4 e 5 indicou que o algoritmo com melhor desempenho para a classificação orientada ao objeto da imagem fotogramétrica foi o *Random Forest*, a partir do qual foram obtidas uma Exatidão Global de 82,20%, e Índice Kappa igual a 0,79 (muito boa classificação). O segundo melhor desempenho foi obtido pelo algoritmo C5.0, que apresentou Exatidão Global de 80,40 % e Kappa de 0,77 (muito boa classificação). Em terceiro, o algoritmo CART, com 64,90% de exatidão global e Kappa igual a 0,57 (boa classificação).

TABELA 3 - ACURÁCIA DA CLASSIFICAÇÃO DO USO E COBERTURA DA TERRA COM A APLICAÇÃO DO ALGORITMO *RANDOM FOREST*.

Classes de Uso da Terra	1	2	4	5	6	7	Total Classificado
1 – Vegetação Arbórea	26	0	0	0	0	0	26
2 – Vegetação Herbácea	1	20	3	0	0	1	25
4 – Vias/Calçadas	0	0	24	0	4	0	28
5 – Telhado M. C. Claro	0	0	5	17	4	3	29
6 – Telhados Fibrocimento C.	1	0	3	1	21	1	27
7 – Telhados M. C. Escuros	1	0	1	0	0	26	28
Total de pontos de checagem	29	20	36	18	29	31	163
Acurácia do produtor (%)	89,7	100	66,7	94,4	72,4	83,9	Exatidão Global = 82,2 %
Acurácia do usuário (%)	100	80	85,7	58,6	77,8	9,9	Índice Kappa = 0,79

TABELA 4 - ACURÁCIA DA CLASSIFICAÇÃO DO USO E COBERTURA DA TERRA COM A APLICAÇÃO DO ALGORITMO *C5.0*.

Classes de Uso da Terra	1	2	4	5	6	7	Total Classificado
1 – Vegetação Arbórea	27	0	0	0	0	0	27
2 – Vegetação Herbácea	1	20	3	0	0	2	26
4 – Vias/Calçadas	0	0	20	0	7	0	27
5 – Telhado M. C. Claro	0	1	4	18	4	2	29
6 – Telhados Fibrocimento C.	0	0	5	1	21	0	27
7 – Telhados M. C. Escuros	1	0	1	0	0	25	27
Total de pontos de checagem	29	21	33	19	32	29	163
Acurácia do produtor (%)	100	76,9	74,1	62,1	77,8	92,6	Exatidão Global = 80,4%
Acurácia do usuário (%)	93,1	95,2	60,6	94,7	65,6	86,2	Índice Kappa = 0,77

TABELA 5 - ACURÁCIA DA CLASSIFICAÇÃO DO USO E COBERTURA DA TERRA COM A APLICAÇÃO DO ALGORITMO *CART*.

Classes de Uso da Terra	1	2	4	5	6	7	Total Classificado
1 – Vegetação Arbórea	22	0	0	0	0	0	22
2 – Vegetação Herbácea	0	13	4	0	3	6	26
4 – Vias/Calçadas	1	2	15	1	6	3	28
5 – Telhado M. C. Claro	0	0	6	14	5	4	29
6 – Telhados Fibrocimento C.	0	0	4	3	16	4	27
7 – Telhados M. C. Escuros	1	0	1	0	3	24	29
Total de pontos de checagem	24	15	30	18	33	41	161
Acurácia do produtor (%)	100,0	50,0	53,6	48,3	59,3	82,8	Exatidão Global = 64,9%
Acurácia do usuário (%)	91,7	86,7	50,0	77,8	48,5	58,5	Índice Kappa = 0,57

De acordo com os dados observados, a matriz de confusão C5.0 apresenta acurácia de produtor e usuário entre muito bom e excelente, enquanto as demais, Random Forest e CART, apresentam acurácias que variam entre bom e excelente. De maneira geral, os valores mais elevados de acurácia de classificação ocorreram com a aplicação do algoritmo Random Forest. Os classificadores Random Forest, C5.0 e CART conseguiram classificar todos os usos definidos, com exceção da classe solo exposto, não reconhecida pelo algoritmo CART. Isso possivelmente ocorreu pelo restrito número de amostras utilizado em seu arquivo de treinamento. As acurácias do produtor e do usuário apresentaram os melhores resultados na aplicação do algoritmo classificador Random Forests e C5.0.

É importante ressaltar que as classes solo exposto (3) e sombra (8) foram desconsideradas da análise de classificação. Tais dados apresentaram elevada variabilidade para a coleta de dados na imagem do Google Earth, com finalidade de validação. O solo exposto, pelo fato de em pouco tempo ter apresentado modificações em seus usos (conforme imagens históricas do Google Earth), bem como por estar presente em uma área com elevada urbanização, teve poucas amostras para treinamento e pontos de checagem para a validação das informações. Já a classe sombra, pela sua área variável conforme o horário solar local da aquisição das fotografias do ortofotomosaico e das imagens do Google Earth.

As classes que apresentaram as melhores exatidões de classificação foram a vegetação arbórea (1) e vegetação herbácea (2). Os valores de Exatidão foram superiores a 89% para acurácia do produtor e superiores a 91% para a acurácia do usuário para a vegetação arbórea. Um dos fatores relevantes, para a classificação das mesmas, são suas características geométricas irregulares, que observadas na segmentação da imagem, correspondem a um índice de forma, superior para a classe vegetação arbórea em relação a todas outras classes. O índice de forma corresponde a suavidade apresentada pela borda de um objeto segmentado, ou seja, quanto mais irregular for a borda de um objeto, menor é a suavidade apresentada por ele e, conseqüentemente, maior será o índice de forma (CASAROTI, 2015).

Para a classe vegetação herbácea, os atributos com maior destaque foram largura, número de pixels e volume, estes que, apresentaram as maiores médias na comparação com outras classes. De acordo com o Plano Diretor do município estudado, as áreas abaixo da cota altimétrica de 27 metros, apresentam restrições de usos civis, uma vez que se constituem em área de inundação do Rio Taquari. A aplicação deste atributo (MDE) também o destacou entre as demais classes, ganhando destaque principalmente nos algoritmos Random Forests e C5.0. Com a aplicação desses algoritmos, observou-se uma maior confusão entre a classe vegetação herbácea (2) com a classe vias (4): a análise de dados mostrou que a similaridade foi de 99% para índice de forma.

Conforme a TABELA 1, a classe vias abrange as ruas com calçamento. Foi adicionado junto à segmentação da imagem uma camada temática vetorial, contendo dados das vias urbanas da área estudada. Tal camada favoreceu para a melhor segmentação da classe vias, contribuindo também para a distinção entre atributos, que apresentaram médias superiores em assimetria e, relação comprimento, compacidade e entorno (*roundness*). Já o atributo largura, apresentou a menor média observada dentre as classes. No entanto, a classe vias apresentou o maior número de erros na matriz de confusão, em todos os algoritmos aplicados, principalmente com as classes que caracterizam os telhados, sendo estes erros, influenciados principalmente pelos demais atributos geométricos que se assemelham entre essas duas classes.

A classe 6 apresentou uma boa acurácia de classificação nos algoritmos RF e C5.0, e regular para o CART. A elevada confusão apresentada entre as classes, principalmente com as classes 4 e 5, estão relacionadas às similaridades espectrais e geométricas observada entre essas classes. Cabe destacar ainda que a classe 6 apresentou a média mais alta de valores de MDE. Uma vez que abrange muitos objetos como edifícios, estes estão localizados, em maior quantidade, nas porções mais elevadas do terreno, uma vez que são porções menos suscetíveis aos impactos das inundações. Na classe 7 predominaram tonalidades avermelhadas, diferenciadas das demais classes, sendo este um atributo que contribuiu para a maior acurácia desta classe nos três algoritmos de classificação testados.

5. CONCLUSÕES E CONSIDERAÇÕES FINAIS

O objetivo do presente trabalho consistiu em explorar a análise de imagens orientada a objetos, GEOBIA, para a classificação da cobertura e uso da terra em espaços urbanos, utilizando imagem fotogramétrica de altíssima resolução espacial (16 cm) e baixa resolução espectral (RGB), por meio da segmentação da imagem e aplicação de algoritmos mineradores de dados. A partir da análise dos resultados obtidos da exatidão de classificação, pode-se concluir que a abordagem GEOBIA, com a aplicação dos classificadores Árvore de decisão Boosted C5.0, Random Forests e CART, apresentou resultados satisfatórios na classificação da cobertura e uso da terra urbana em imagens fotogramétricas, como o ortofotomosaico deste estudo. Foram obtidos valores muito bons de índice Kappa, de 0,79 para o algoritmo Random Forest e de 0,77 para o C5.0 e, portanto, esses métodos de classificação por árvore de decisão são recomendados para a classificação do uso e cobertura da terra de áreas urbanas em imagens de altíssima resolução espacial, orbitais ou adquiridas por câmaras fotogramétricas convencionais a bordo de aeronaves ou mesmo por sensores acoplados a drones.

A segmentação multiresolução possibilitou utilizar informações a respeito da geometria e diferenças entre as intensidades espectrais existentes na imagem, o que permitiu incrementar a exatidão de classificação. Esta exatidão poderia ainda ser aumentada com o uso de outros dados auxiliares georreferenciados, como, por exemplo, derivados de imagens multiespectrais, como índices de vegetação ou outros índices espectrais que confirmam discriminação entre as classes analisadas. Poderiam também ser usados dados auxiliares que relacionem os objetos ou segmentos a um sítio ou contexto do terreno, como aqueles derivados de um MDE (declividade do terreno e orientação de vertentes), uma vez que uso do MDE em si, se mostrou importante para o processo de classificação, dentro da mineração de dados.

As principais limitações observadas do método GEOBIA com a imagem de altíssima resolução espacial estão relacionadas a capacidade operacional de

computadores utilizados para o processo, uma vez que a técnica demanda de significativo espaço de memória. Tal limitação faz com que análises para municípios ou regiões, se tornem processos lentos

Os dados de uso e cobertura da terra gerados a partir deste estudo podem ser aplicados de diferentes formas em um SIG, seja para uso em inventários das edificações e da infraestrutura urbana, para o monitoramento e fiscalização de cadastros técnicos multifinalitários, para análises de cobertura e uso da terra suscetível a desastres, dimensionamento de áreas permeáveis e não permeáveis, medida não estrutural para sistemas de previsão e aleta de inundações, bem como estimativas de habitantes suscetíveis ao desastre pela quantificação de áreas e edificações presentes nestas áreas, monitoramento da vegetação arbórea existente, possíveis cortes ou retiradas ilegais de vegetação, dentre outras aplicações.

AGRADECIMENTOS

Este artigo apresenta resultados advindos da dissertação de mestrado em Geoprocessamento e Sensoriamento Remoto, no Centro Estadual de Pesquisas em Sensoriamento Remoto e Meteorologia da UFRGS, elaborada pela primeira autora.

Agradecemos à Prefeitura Municipal de Lajeado, pela disponibilização da base digital de informações, em escala 1:2.000, sem a qual o presente estudo não poderia ser realizado com a qualidade requerida e pela disponibilização da imagem fotogramétrica, principal insumo do estudo.

Cabe ainda um agradecimento especial à CAPES, pela oportunidade da bolsa de estudos concedida durante o mestrado.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANJOS, C. S.; ALMEIDA, C. M.; GALVÃO, L. S. Identificação de materiais urbanos por meio de métodos inovadores de classificação de imagens. In: XVII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto - SBSR, João Pessoa-PB, Brasil, 25 A 29 de Abril de 2015, INPE. João Pessoa, **Anais**, p. 4377-4384. abr. 2015.

ANJOS, C. S. *et al.* Análise do Nível de Legenda de Classificação de Áreas Urbanas Empregando Imagens Multiespectrais e Hiperespectrais Com os Métodos Árvore de Decisão C4.5 e Floresta Randômica. **Boletim de Ciências Geodésicas**, [s.l.], v. 23, n. 2, p.371-388, jun. 2017. FapUNIFESP (SciELO).

ANTUNES, D. *et al.* Abordagens em GEOBIA e aplicação da técnica em imagem Rapideye de uma área da bacia do rio Pitangui - PR. In: 5º Simpósio de Geotecnologias no Pantanal, Campo Grande - MS, v. 5, n. 1. **Anais**, p.631-640, nov. 2014.

BASE Aerofotogrametria e Projetos S. A. **Relatório Final** número 1169 – Lajeado /RS - 2013. Documento cedido pela empresa.

BLASCHKE, T.; KUX, H. **Sensoriamento Remoto e SIG Avançados: Novos Sistemas Sensores, Métodos Inovadores**. 2. Ed. São Paulo: Oficina de Textos, 2007.

BLASCHKE, T. *et al.* Geographic Object-Based Image Analysis – Towards a new paradigm. **Journal of Photogrammetry and Remote Sensing**, [s.l.], v. 87, p.180-191, Jan. 2014. Elsevier BV.

BLASCHKE, T. **Object based image analysis: a new paradigm in Remote Sensing**. ASPRS 2013 Annual Conference, Baltimore - Mariland (EUA), mar. 2013.

BREIMAN, L.; FRIEDMAN, J. H.; OLSEN, R. A.; STONE, C. J. **Classification and Regression Trees**. Belmont, CA: Wadsworth. 1984.

CÂNDIDO, A. K. A. A.; SILVA, N. M.; PARANHOS FILHO, A. C. Imagens de Alta Resolução Espacial de Veículos Aéreos Não Tripulados (VANT) no Planejamento do Uso e Ocupação do Solo. **Anuário do Instituto de Geociências**, Rio de Janeiro - RJ, v. 38, n. 1, p.147-156, jan. 2015.

- CASAROTI, C. J. **Detecção de alterações em área urbana litorânea a partir de imagens ikonos-II de duas épocas utilizando uma abordagem híbrida.** Dissertação - Universidade Federal do Paraná, Setor de Ciências da Terra, Programa de Pós-graduação em Ciências Geodésicas - Curitiba, 2015.
- CONGALTON, R.G., GREEN, K., **Assessing the Accuracy of Remotely Sensed Data: Principles and Practices.** Lweis Publishers, 1999.
- DRĂGUŢ, L. *et al.* Automated parameterisation for multi-scale image segmentation on multiple layers. **ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing**, [s.l.], v. 88, p.119-127, fev. 2014. Elsevier.
- FRANCISCO, C. N.; ALMEIDA, C. M. Interpretação de imagens orbitais por meio de sistema especialista para o mapeamento de cobertura da terra em região montanhosa. **Sociedade & Natureza**, Uberlândia - MG, v. 24, n. 2, p.283-302, ago. 2012.
- FREITAS, M. W. D. **Estudo integrado e modelagem da dinâmica da paisagem no Alto Uruguai (RS-SC).** 2013. 149 f. Tese (Doutorado) - Curso de Sensoriamento Remoto, Inpe, São José dos Campos - SP, 2013.
- HAY, G. J.; CASTILLA, G. **Geografic Object-Based Image Analysis (GEOBIA): a new name for a new discipline.** In: BLASCHKE, Thomas; HAY, Geoffrey J.; LANG, Stefan (Org.). *Object-Based Image Analysis.* Berlin: Springer - Verlag Berlin Heidelberg, 2008. Cap. 1. p. 75-90.
- LANDIS, J. R.; KOCH, G. G. The measurement of observer agreement for category data. **Biometrics**, 33(1), p.159-174. 1977.
- LOPES, T, D. *et al.* Aplicação do algoritmo Random Forest como classificador de padrões de falhas em rolamentos de motores de indução. In: XIII SBAI ISSN 2175 8905. Porto Alegre: SBAI, 2017. **Anais**, v. 13, p. 263 - 269.
- LIU, J.; LI, P.; WANG, X. A new segmentation method for very high-resolution imagery using spectral and morphological information. **ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing**, [s.l.], v. 101, p.145-162, mar. 2015. Elsevier BV.
- MENESES, P. R.; ALMEIDA, T. (Org.). **Introdução ao processamento de imagens de Sensoriamento Remoto.** Brasília - DF: Unb, 2012. 266 p.
- MORAES, S. R. **Mapeamento das áreas e edificações atingidas pelas inundações do Rio Taquari na área urbana do município de Lajeado/RS.** 2015. Monografia (Graduação em Engenharia Ambiental) – Centro Universitário UNIVATES, Lajeado, 24 nov. 2015. Disponível em: <http://hdl.handle.net/10737/997>.
- NOVO, E. M. L. M. **Sensoriamento remoto: princípios e aplicações.** 4º ed. São Paulo: Blucher, 2010. 387 p.
- PANIZZA, A. C.; FONSECA, F. P. Técnicas de interpretação visual de imagens. **GEOUSP - Espaço e Tempo**, São Paulo - SP, v. 30, n. 1, p.30-43, dez. 2011.
- PONTIUS, R. G.; MILLONES, M. Death to Kappa: birth of quantity disagreement and allocation disagreement for accuracy assessment. **International Journal of Remote Sensing**, [s.l.], v. 32, n. 15, p.4407-4429, 10 ago. 2011. Informa UK Limited.
- POWERS, R. P. *et al.* Remote sensing and object-based techniques for mapping fine-scale industrial disturbances. **International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation**, [s.l.], v. 34, p.51-57, fev. 2015. Elsevier BV.
- RODRIGUES, T. C. S; KUX, H. J. H. Uso do *software* livre Interimage para a classificação orientada a objetos em área de expansão urbana. **Revista Brasileira de Cartografia**, Rio de Janeiro, v. 3, n. 67, p.493-506, jun. 2015.
- ROSA, P. A.; BREUNIG, F. M. Influência da resolução espacial de imagens orbitais no mapeamento de fragmentos florestais. In: XVII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto – SBSR, João Pessoa - PB, v. 17, n. 1. **Anais**, p.635-642, abr. 2015.
- ROSSETTI, L. A. F. G.; PINTO, S. A. F.; ALMEIDA, C. M. Técnicas de sensoriamento remoto aplicadas no processamento de imagens aerofotogramétricas em áreas urbanas. In: VI Seminário de Pós-graduação em Geografia da UNESP, São Paulo - SP. **Anais**, v. 6, n. 1, p.390-398, dez. 2006.
- SOTHE, C. *et al.* Abordagens para classificação do estágio sucessional da vegetação do parque nacional de São Joaquim empregando imagens Landsat-8 e Rapideye. **Boletim de Ciências Geodésicas**, [s.l.], v. 23, n. 3, p.389-404, set. 2017. FapUNIFESP (SciELO).
- TEDESCO, A. **Delimitação de voçoroca com imagens de alta resolução e ALS por meio de árvore de decisão e GEOBIA.** 2015. 188 f. Tese (Doutorado) - Curso de

Ciências Geodésicas, Setor de Ciências da Terra, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2015.

TEDESCO, A; ANTUNES, A. F. B; OLIANI, L. O. Detecção de formação erosiva (voçoroca) por meio de classificação hierárquica e por árvore de decisão. **Boletim de Ciências Geodésicas**, [s.l.], v. 20, n. 4, p.1005-1026, dez. 2014. FapUNIFESP (SciELO).

TSO, B.; MATHER, P. M. **Classification Methods for Remotely Sensed Data**. Second Edition. CRC Press. Florida. 2009.

WALKER, M. **Random Forests Algorithm**. 2013. Disponível em:

<http://www.datasciencecentral.com/profiles/blogs/random-forests-algorithm>. Acesso em: 24 fev. 2017.

SEGUNDO ARTIGO – APLICAÇÃO

27/06/2018

#84301 Sinopse



[CAPA](#)
[SOBRE](#)
[PÁGINA DO USUÁRIO](#)
[PESQUISA](#)
[ATUAL](#)
[ANTERIORES](#)

[NOTÍCIAS](#)

Capa > Usuário > Autor > Submissões > #84301 > Sinopse

#84301 Sinopse

[SINOPSE](#)
[AVALIAÇÃO](#)
[EDIÇÃO](#)

Submissão

Autores	Sofia Royer Moraes
Título	FRAMEWORK ESPAÇO-TEMPORAL PARA O MONITORAMENTO AUTOMATIZADO DE INUNDAÇÕES NO MUNICÍPIO DE LAJEADO/RS
Documento original	84301-347564-1-SM.DOCX 27/06/2018
Docs. sup.	Nenhum(a) INCLUIR DOCUMENTO SUPLEMENTAR
Submetido por	Sofia Sofia Royer Moraes
Data de submissão	junho 27, 2018 - 18:05
Seção	Artigos
Editor	Nenhum(a) designado(a)

Autor

Submissões

- Ativo (1)
- Arquivo (0)
- Nova submissão

Conteúdo Da Revista

Pesquisa

Escopo da Busca

Todos ▼

Procurar

- Por Edição
- Por Autor
- Por título
- Outras revistas

Idioma

FRAMEWORK ESPAÇO-TEMPORAL PARA O MONITORAMENTO AUTOMATIZADO DE INUNDAÇÕES NO MUNICÍPIO DE LAJEADO/RS

Space-time framework for automated flood monitoring in the municipality of Lajeado / RS

Sofia Royer MORAES¹, Cláudio Wilson MENDES JUNIOR¹

- ⁽¹⁾ Programa de Pós-graduação em Sensoriamento Remoto e Geoprocessamento, Centro Estadual de Pesquisas em Sensoriamento Remoto e Meteorologia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Av. Bento Gonçalves, 9.500, Caixa Postal: 15044, CEP 91.501-970, Porto Alegre, RS, Brasil. E-mail: sofiaroyermoraes@gmail.com; geoclaudio@yahoo.com.br

Resumo. As inundações urbanas se constituem em um tema relevante da sociedade em todo o mundo, em especial devido aos impactos promovidos pelas cheias em áreas residenciais, interrupção em sistemas viários e sistemas de comércio e serviços. O objetivo deste estudo consistiu em estruturar um *framework* automatizado, baseado em plataformas livres, com capacidade de monitorar níveis de inundações e delimitar áreas urbanas e vias presentes nos níveis previstos. O *framework* foi desenvolvido no programa R e foi baseado na equação de regressão fluviométrica Encantado/Lajeado. Os resultados dessa equação podem ser visualizados como mapas em uma interface WEBSIG, onde estão simuladas as áreas inundadas no bairro centro de Lajeado. Foram projetados diferentes níveis históricos de inundações e esse modelo foi validado a partir da comparação dos dados simulados com os medidos de uma inundação ocorrida em 10 de outubro de 2015. O erro altimétrico obtido foi inferior a 1 m. O *framework* deste estudo realiza o monitoramento do nível de inundação para a área urbana de Lajeado com 6 horas de antecedência, demonstrando a eficácia desta simulação.

Palavras-chave. evolução geotecnológica, *websig*, inundações urbanas, medida não estrutural

Abstract. Urban floods are a relevant theme of society around the world, especially due to the impacts of floods in residential areas, disruption of road, trade and services systems. The objective of this study was to structure an automated framework, based on open source softwares, capable of monitoring flood levels and delimiting urban areas and roads present at the expected altimetric levels. The Framework was developed in R software and was based on the fluviometric regression equation Encantado/Lajeado. The results of this equation can be visualized as maps in a WEBSIG, where the flooded areas in the downtown neighborhood of Lajeado are simulated. Different historical flood levels were projected and this model was validated by comparing the simulated data with those measured from a flood occurred on October 10th, 2015. The altimetric error obtained was less than 1 m. The framework of this study carries out the monitoring of the flood level for the Lajeado urban area with 6 hours in advance, demonstrating the effectiveness of this simulation.

Keywords. geotechnologies evolution, *websig*, urban floods, non-structural measure.

1 Introdução

As enchentes e inundações são mais antigas que a existência do homem na Terra, pois constituem fenômenos naturais dos regimes dos rios, presentes no ciclo hidrológico natural de qualquer curso hídrico (TUCCI; BERTONI, 2003; ALVES et al., 2013). No entanto, a ocupação antrópica gradual ao longo das bacias hidrográficas foi realizada sem planejamento, com reduzida preocupação acerca da preservação do meio ambiente (TUCCI, 2013).

Ao ocupar as várzeas e as planícies fluviais é comum o enfrentamento, por parte da população, de problemas com o regime fluvial natural dos rios, onde se verifica a ocorrência de enchentes e inundações (GUASSELLI; OLIVEIRA; ALVES, 2013). De acordo com Pedrosa (2016), as inundações são os riscos naturais mais comuns, sendo responsável, todos os anos, pela perda de 20.000 vidas humanas e danos a aproximadamente 75 milhões de pessoas em todo o mundo. Entre 1900 a 2011, as cheias no Brasil corresponderam a 52% dos desastres naturais e, portanto, foram os eventos predominantes.

Os impactos causados pelas inundações fluviais são maiores, em regiões onde há populações que habitam as planícies de inundação, que com períodos de retorno variáveis, são afetados por inundações de dimensões diversas. Diante desse contexto, projetos com múltiplas funcionalidades foram desenvolvidos em áreas suscetíveis a algum tipo de desastre. Logo, o entendimento e o planejamento da ocupação das bacias hidrográficas são necessários numa sociedade com tendências de crescimento de ocupação de espaços (TUCCI, 2013).

Como soluções sustentáveis para as atuais situações das infraestruturas, bem como para novos empreendimentos, faz-se necessário o gerenciamento integrado das ocupações urbanas, iniciando pelas definições de ocupação do espaço (TUCCI, 2007), com processos que incluem padrões de elevação e usos, que possibilitam servir como ferramenta para diagnóstico, previsão e mitigação dos impactos relacionados aos desastres naturais.

Exemplos deste tipo de ferramenta, são as bases de dados que integram informações diversas de uma determinada área, desde informações geomorfológicas, envolvendo características de relevo, topologia, altimetria, informações sobre os usos antrópicos em áreas com registros de ocorrência de desastres naturais, bem como análises climatológicas, como a relação de desastres naturais diversos com fenômenos climáticos, e análises estatísticas. Ao considerar a integralidade de tais informações, usufruindo de meios digitais como os SIGs, há

a expansão do entendimento sobre a ocorrência de eventos naturais como as inundações, bem como o monitoramento e previsão desses eventos.

Neste contexto, o monitoramento, a previsão e o controle de eventos extremos, como as inundações, são imprescindíveis, principalmente em regiões urbanas, devido à maior densidade populacional, bens materiais, saneamento e infraestruturas envolvidos no processo (FERREIRA et al, 2007). Algumas medidas para o controle dos eventos extremos, como as inundações, são apresentadas por Tucci (2013), e constituem-se nas medidas não estruturais, relacionadas dentre outras, aos usos de sistemas de monitoramento e previsão de inundações. Para Tucci e Bertoni, (2003), os referidos sistemas têm a finalidade de evitar o fator surpresa na população, prevendo eventos intensos de chuva e o aumento do nível dos rios, facilitando a retirada das pessoas e dos bens móveis das áreas sujeitas às inundações, conseqüentemente auxiliando a reduzir impactos sociais, econômicos e ambientais.

Estes sistemas, normalmente complexos, são constituídos a partir de estudos e pesquisas relacionadas às séries históricas das áreas de ocorrência frequentes destes desastres, dados cadastrais diversos georreferenciados das áreas suscetíveis, como um Modelo Digital de Elevação (MDE), uso e ocupação da terra, sistema viário, dentre outros, que se apresentam como importantes fatores auxiliares na definição de sistemas de mapeamento das áreas afetadas pelas inundações, contribuindo para o ordenamento da ocupação das áreas de risco e, ainda, para a definição de estratégias preventivas e de contingência (Moraes, 2015).

É cada vez mais crescente, o uso de plataformas *open source* e de sistemas integrados de dados, como ferramentas para o monitoramento do meio ambiente natural e antrópico, bem como da suscetibilidade à ocorrência de fenômenos distintos, decorrentes de sua interação. Um exemplo é a plataforma computacional TerraMA², desenvolvida pelo Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), planejada no domínio de *softwares* abertos, integrado à biblioteca geográfica TerraLib, a partir da qual pode-se realizar o monitoramento, análise e alertas a respeito da qualidade do ar, qualidade da água, gasodutos, barragens de rejeito em área de mineração, incêndios florestais, movimentos de massa do tipo escorregamentos e corridas de lama, inundações e estiagens. Cabe destaque também, para outros dois sistemas com objetivos semelhantes, o Centro Nacional de Monitoramento e Alertas de Desastres Naturais (CEMADEN) e Sistema de Monitoramento e Alerta de Desastres do Rio Grande do Sul (SMAD RS).

Na área de estudo deste trabalho, o município de Lajeado, localizado no centro-leste do Estado do Rio Grande do Sul, às margens do Rio Taquari, as inundações ocorrem com frequência, provocando impactos de âmbito social, econômico e ambiental, em razão da ocupação urbana nas áreas suscetíveis às inundações no município ao longo do tempo. Tal fator despertou para o desenvolvimento de diversos estudos, principalmente no sentido de buscar a melhor compreensão da ocorrência das inundações sobre a área urbana de Lajeado.

Dentre estes estudos, são ressaltados os estudos de como Ferreira e Both (2001), que buscaram descrever sobre as causas das inundações na Região do Vale do Taquari, ressaltando como um de seus principais resultados, a constatação de que a ocorrência deste fenômeno nessa região é natural, ou seja, as condições geográficas de relevo propiciam o extravasamento de água da Bacia Hidrográfica do Taquari Antas na referida área. O estudo desenvolvido por Eckhardt (2008), um marco na determinação de cartas de inundação e geração de informações georreferenciadas sobre as inundações na região, gerou um modelo cartográfico aplicado ao mapeamento das áreas sujeitas as inundações urbanas em Lajeado.

Em 2012, o projeto “Revitalização da Infraestrutura e Aperfeiçoamento do Sistema de Previsão e Alerta de Enchentes do Vale do Taquari” (desenvolvida via consulta popular e pela Secretaria de Ciência e Tecnologia – SCIT/Univates, de 2012 a 2014), possibilitou a implantação de uma nova rede de equipamentos para o monitoramento da chuva e o nível dos rios ao longo da Bacia Hidrográfica Taquari-Antas, com operação em tempo real e de forma automatizada. As leituras de dados são disponibilizadas no site <http://netsenses.univates.br/>.

Entre os estudos desenvolvidos por este projeto, destaca-se a equação de regressão fluviométrica entre o nível de inundação na cidade de Lajeado e Encantado (localizado a montante de Lajeado). A equação de regressão, desenvolvida a partir dos níveis máximos de inundações pareados existentes para os municípios de Lajeado/Estrela e Encantado gerou um resultando no qual, a cada leitura do nível de inundação de Encantado, a equação modelada estima um valor correspondente de nível a jusante para Lajeado/Estrela. Esta equação de regressão entre os níveis, permite estimar o alcance dos níveis de inundação, com tempo médio de 6 horas de antecedência para a cidade de Lajeado (FERREIRA et al., 2007).

A partir do estudo de Greiner (2014), que avaliou o referencial de nível das inundações de Lajeado, Moraes (2015) atualizou a série histórica do município, com dados compilados que variaram de 1940 a 2015, gerando cartas de inundação por tempo de retorno das inundações e

probabilidade de ocorrência, refazendo o mapeamento das áreas suscetíveis as inundações, bem como o mapeamento das edificações urbanas presentes nas áreas de suscetibilidade ao desastre.

Por fim, cita-se ainda Gerhard (2018), que aprimorou a modelagem matemática de níveis fluviais de inundação no município de Lajeado, considerando os níveis extremos de inundação registrados em Lajeado e Encantado entre 1980 e 2016, além da precipitação média acumulada e filtrada a partir de um decaimento exponencial na área da bacia complementar. O modelo desenvolvido apresentou bom desempenho para a previsão de níveis de inundação na cidade de Lajeado, com coeficiente de eficiência Nash-Sutcliffe de validação igual a 0,951. Tal estudo reforça a importância de constantes atualizações de modelos e bases de informações relevantes, uma vez que resultam num aumento da qualidade de previsão.

Diante de tais estudos, associados a evolução geotecnológica, é verificada a necessidade de desenvolvimento de sistemas que possam automatizar a previsão de inundações e integrá-las com a paisagem previamente mapeada. Os Sistemas de Informação Geográfica (SIG) aplicados na análise espacial da ocupação urbana possibilitam o reconhecimento de infraestruturas distintas, tais como as edificações e as áreas permeáveis e impermeáveis que caracterizam uma dada região (MENEZES, 2014). Além disso, permitem o cruzamento e integração destes dados georreferenciados com os de estudos diversos, como de áreas suscetíveis a desastres, modelos matemáticos, com uma vasta rotina de aplicações a serem exploradas, com grande potencial de geração de informações úteis para a sociedade.

Com base na disponibilidade de dados e de plataformas *open source*, é possível a incorporação destes dados em *framework*, que se constitui em um modelo de integração de dados para um determinado domínio (VALENTIM; SILVA; CONTE, 2017), capazes de interagir de forma automatizada com bases de dados. Ferramentas como *framework*, se constitui numa importante medida não estrutural, com significativa relevância para o poder público e tomadores de decisão, principalmente no que diz respeito à constituição de salas de situação para o monitoramento de áreas urbanas passíveis a inundações, como base para a constituição de sistemas de monitoramento de maior complexidade, com *input* de níveis de dados, servindo ainda para o planejamento estratégico integrado de municípios que sofrem dessa problemática, com ótimo custo benefício, já que pode ser desenvolvido com bancos de dados disponíveis e plataformas de *softwares* livres.

Com base no exposto acima, o presente estudo busca trazer um olhar integrado acerca da incorporação das geotecnologias como ferramentas e medidas não-estruturais, que venham a contribuir para o avanço da compreensão sobre estudos de áreas suscetíveis a desastres, com ênfase em metodologias que permitam o monitoramento de tais áreas, possibilitando a integração de informações já observadas e validadas a novas plataformas geotecnológicas, gerando nesse sentido, novas oportunidades de aplicação de dados, que por sua vez, podem ser úteis para a integralização de sistemas mais complexos de informações, tornando-se dessa forma útil à sociedade como um todo.

Nesse sentido, tendo em vista a evolução geotecnológica, a relevância da temática das inundações associadas ao monitoramento e à previsão, em áreas suscetíveis a sua ocorrência, bem como o desenvolvimento necessário de medidas não estruturais e ainda, a disponibilidade de dados como a equação de regressão, a série histórica de inundações, dados para validação, usos do solo urbano, o presente trabalho tem como objetivo principal, integrar várias informações por meio de plataformas *open source*, de forma a estruturar um *framework* com capacidade autônoma de realizar a análise espaço-temporal do monitoramento e previsão de inundações do Rio Taquari, em área experimental no município de Lajeado, com arquitetura desenvolvida em plataformas livres, servindo ainda, como modelo para aplicação de outras equações, áreas maiores, e até mesmo, como base para o desenvolvimento de medidas não estruturais em outras regiões suscetíveis a ocorrência de inundações.

2 Área, materiais e métodos

Os SIGs, com capacidades de armazenamento, integração, edição, extração, visualização e análise de diferentes tipos de dados georreferenciados, possibilitam um conhecimento de maior robustez a respeito de variadas situações, criando informações atualizadas, propiciando e facilitando a tomada de decisão. É notável o avanço dos SIGs para a integração das mais diversas funcionalidades, variando das análises e monitoramento de áreas com queimadas às análises e monitoramento de áreas suscetíveis a deslizamentos, inundações, etc (GOMES et al., 2013).

Para Bruno (2017), tal tendência de evolução, tanto do Sensoriamento Remoto, quanto das aplicações das geotecnologias para a automatização de dados e informações geográficas, tem base nos usos combinados entre plataformas de programação e SIG, tais como o Weka (Univesidade Waikato), o R (*Bell Laboratories / Free Software Foundation's*) e o QGIS (Quantum GIS), que por sua vez, consistem em plataformas que permitem ao usuário trabalhar com informações baseadas em programação, SIG e Processamento Digital de Imagens (PDI) de forma livre e com a geração de informações relevantes e precisas. O presente estudo, tem em sua base, a busca por estes avanços geotecnológicos, de forma a apresentar novas possibilidades de uso deste campo em ascensão. Nos próximos subcapítulos são apresentados a área experimental do referido trabalho, materiais e métodos necessários para o desenvolvimento dos resultados objetivados.

2.1 Localização da área

A área de estudo do presente trabalho corresponde a poligonal do bairro Centro do município de Lajeado/RS. Esta área foi escolhida devido à disponibilidade de dados, à diversidade de alvos urbanos presentes no local, classificados na etapa inicial deste estudo para a geração automatizada de edificações e infraestruturas suscetíveis as inundações, do Rio Taquari. Importante ressaltar, que nesta área central do município, concentra um grande aporte comercial, instituições políticas, instituições de saúde e ensino e áreas de lazer. A imagem que ilustra sua localização, está disposta na Figura 1:

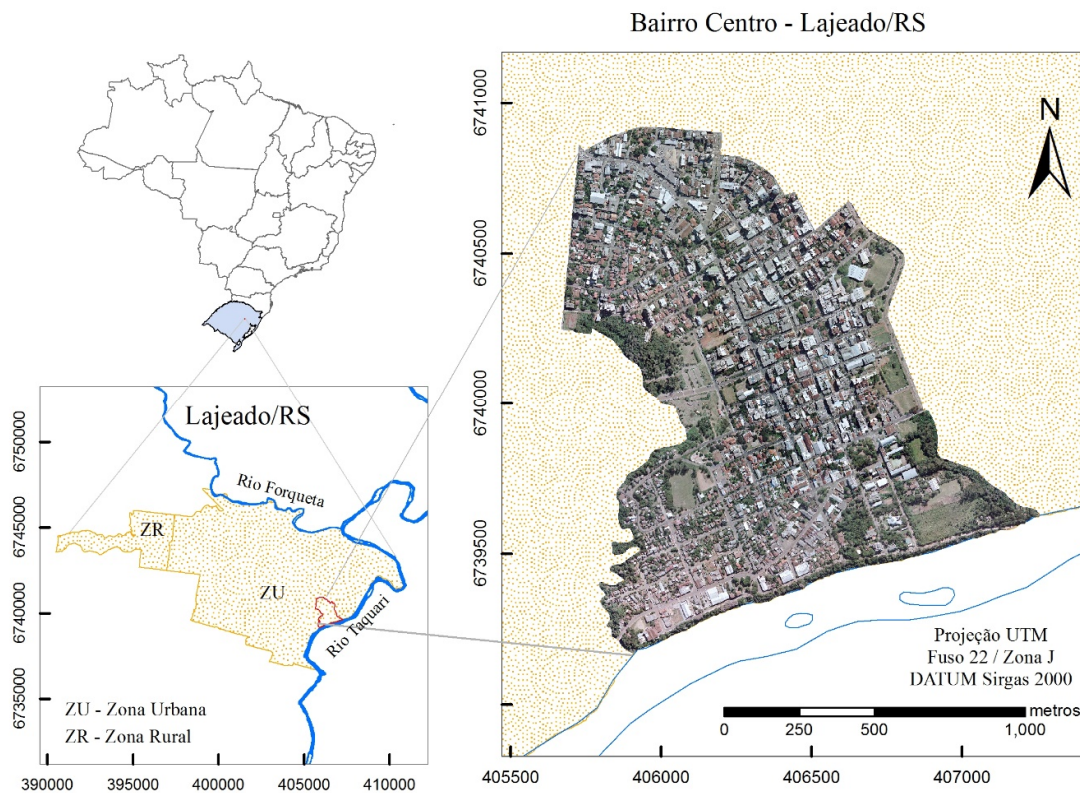


Figura 1. Mapa de localização do bairro centro de Lajeado.

Figure 1. Map of location of the district center of Lajeado.

2.2 Materiais

Para o presente trabalho, foram utilizados o *software* estatístico R (v.3.4.4), para o desenvolvimento do *script* de integração, processamento das informações automatizadas e informações estatísticas; os *softwares* de geoprocessamento ArcGIS (ESRI, Inc.) v.10.5 e QGIS v.2.18 (*software* livre/*Open source*), com a finalidade de cortes de informações geográficas georreferenciados, análise de saída das informações e validação do *framework*; e imagem do uso e cobertura da terra em área urbana do município de Lajeado, classificada a partir do *software* de processamento digital de imagens eCognition Developer 64. Também foram utilizados o *software* Microsoft Excel e um receptor do Global Positioning System (GPS) da

marca Garmin (frequência simples C/A). Foram utilizadas ainda, os setores censitários do IBGE, além de informações vetoriais de áreas públicas disponibilizados pelo poder público municipal.

2.3 Métodos

A metodologia para o desenvolvimento deste trabalho está representada no fluxograma metodológico da Figura 2.

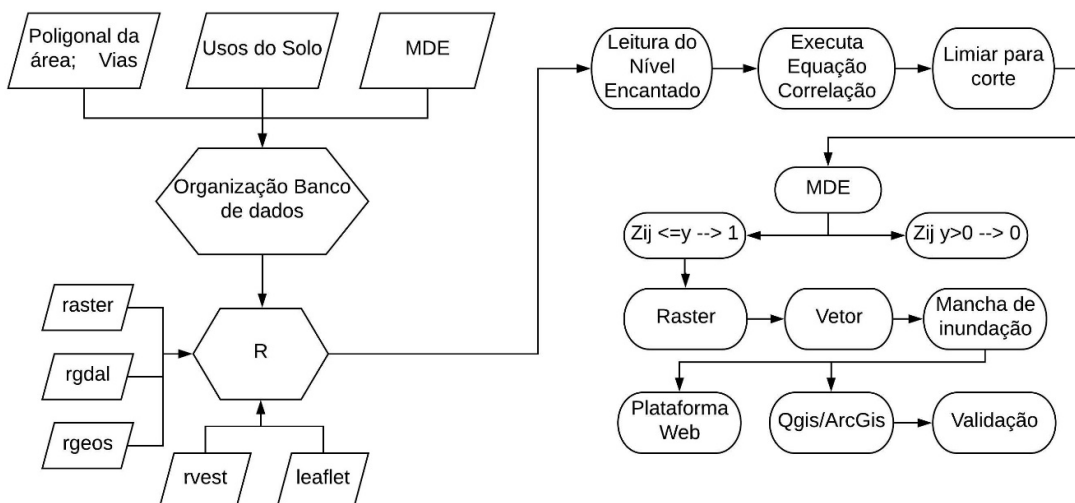


Figura 2. Fluxograma metodológico.

Figure 2. Methodological flowchart.

Como pode ser observado na Figura 2, o ponto de partida para o desenvolvimento do *framework* foi a disponibilidade de um banco de dados geográfico referenciado em WGS84, contendo: polígono da área, usos e ocupação da terra da área urbana e MDE. Os dados da poligonal da área, delimitação de bairros e arruamentos e o MDE (resolução espacial de 16 cm), assim como um ortofotomosaico da área urbana de Lajeado, foram gerados por levantamentos aerofotogramétrico e geodésico executados em 2012 pela empresa BASE Aerofotogrametria e Projetos S.A.

Já o mapa de uso da terra, utilizado neste *script*, foi derivado de uma imagem classificada, sendo um dos tópicos principais desenvolvidos na dissertação de mestrado de

Moraes (2018), obtida a partir da aplicação da abordagem GEOBIA e do método de classificação por árvore de decisão Random Forests no ortofotomosaico colorido de altíssima resolução espacial (16 cm). As classes do uso e cobertura da terra em área urbana de Lajeado mapeadas foram vegetação arbórea; vegetação herbácea (gramíneas); solo exposto; sistema viário (calçamento); telhados metálicos e telhados cerâmicos claros; telhados de concreto e fibrocimento; e telhados metálicos e cerâmicos escuros. A acurácia dessa imagem classificada foi avaliada a partir de pontos de checagem aleatórios, para o cálculo da matriz de erros, que indicou uma exatidão global de classificação de 82,2% e Índice Kappa igual a 0,79.

A equação escolhida para a utilização do monitoramento automatizado, foi a equação de regressão Encantado/Lajeado, desenvolvida pelo “Revitalização da infraestrutura e aperfeiçoamento do Sistema de Previsão e Alerta de Enchentes do Vale do Taquari - RS” da UNIVATES, em 2013. Outro resultado do referido projeto, também utilizado no desenvolvimento deste trabalho, foi a implantação de uma rede de linígrafos e pluviômetros com leituras a cada 15 minutos, disponibilizada em plataforma *online*. Atualmente, a estação linimétrica de Encantado faz a leitura no nível do Rio Taquari a cada 15 minutos e disponibiliza este dado no site http://netsenses.univates.br/station_map.php.

Optou-se pelo uso desta equação, em razão da mesma apresentar simplicidade na aquisição do dado, disponibilizado em tempo real em plataforma web, o que favorece a execução da equação, proporcionando maior robustez ao método. A função hipérbole apresenta as seguintes características:

$$y = \frac{-1371,9610}{x} + 55,3658 \quad (1)$$

Com base na Equação 1, a cada leitura dos níveis máximos de inundação em Encantado (a montante - x), a equação estima um valor correspondente do nível máximo para a cidade de Lajeado (a jusante - y).

A implementação do *script* para o desenvolvimento do *framework* permite ler o nível disponibilizado na plataforma *web*, de forma automatizada, e aplica o valor na equação de regressão dos níveis, estimando assim, o nível do Rio Taquari para o município de Lajeado. Na sequência, o valor da resultante y é comparado com o MDE da mancha urbana. As variações nos valores do MDE são superiores ao nível de referência do rio Taquari. Logo, na situação da

resultante y ser superior às variações de MDE, o *script* gera um vetor, contendo o limite dado por y, ou seja, a lâmina de inundação.

A metodologia para o desenvolvimento deste trabalho foi baseada no uso de pacotes *open source*, executados na linguagem de programação do *software* R. Os pacotes utilizados no *software* R que permitiram a execução do *script* foram *raster*, *rgeos*, *rvest*, *rgdal* e *leaflet*. O pacote *raster* fornece classes e funções para manipular dados geográficos (espaciais) no formato *raster*, permitindo a execução da leitura, escrita, manipulação, análise e modelagem de dados espaciais em grade. Esse pacote implementa funções básicas e de alto nível, permitindo o processamento de arquivos grandes (HIJMANS et al., 2017). A biblioteca *rgeos* se refere à interface para o *Geometry Engine - open source* ('GEOS'), utilizando extensões específicas para operações de topologia em geometrias (BIVAND et al., 2017). O pacote *rvest* viabiliza o *download* e a manipulação em HTML e XML (WICKHAM, 2016). O pacote *rgdal* fornece ligações à biblioteca de abstração de dados 'Geoespatial' ('GDAL') (BIVAND et al., 2018). Outro pacote utilizado foi o *leaflet* que, de acordo com Cheng *et al.* (2017), cria e personaliza mapas interativos utilizando biblioteca *Java Script* e o pacote 'html widgets'. Os arquivos digitais da base de informações puderam ser usados diretamente do console R, do 'RStudio' e em outros aplicativos.

Por fim, cabe ressaltar que foram geradas cartas temáticas de inundações com diferentes magnitudes. Considera-se o nível altimétrico de 13 metros como referência de nível para o Rio Taquari no município de Lajeado e a altitude de 19 metros como o estado inicial de inundação na área de estudo. De acordo com a classificação feita por Moraes *et al.* 2013, inundações reduzidas tem seus intervalos entre 19,00 e 22,00 metros, médias entre 22,01 - 25,00 metros, grandes entre 25,01 - 28,00 metros, e extremas quando atingem valores superiores a 28,00 metros.

A validação deste estudo foi desenvolvida para o nível de inundação de 23,81 metros, registrado em 10 de outubro de 2015, sobre o MDE. Foi analisada a diferença vertical e horizontal da mancha da inundação mapeada nos locais atingidos pela inundação no terreno e observada na época, *in loco*.

3 Resultados

Como resultado do desenvolvimento deste trabalho, um *framework*, de código aberto, que realiza o monitoramento e a previsão de inundações, de forma espacial (representação da inundação, vias e áreas urbanas enquadradas na mancha de inundação) e, temporal, onde atualiza tais projeções, a cada 15 minutos. Tal funcionalidade se dá a partir da leitura do nível fluviométrico do Rio Taquari em Encantado, disponibilizado na *web*, e, com base na leitura, executa a equação de regressão entre os níveis de Encantado e Lajeado. Ao verificar a ocorrência de áreas inundadas, o *framework* realiza a identificação dessas áreas, com base na plotagem do nível inundado em Lajeado em formatos vetorial e *web*.

Os arquivos vetoriais gerados, em casos de previsão de ocorrência de inundações, são armazenados no diretório indicado pelo usuário. Tais informações podem ser manipuladas no SIG de preferência do usuário, ou visualizados em plataforma *web*. A Figura 3, a seguir, apresenta manchas de inundações históricas, com diferentes magnitudes para o Bairro Centro do município de Lajeado, gerados a partir das simulações de níveis históricos. Para esta análise, foram considerados apenas as informações relativas aos níveis máximos de inundações ocorridas em Lajeado, apresentados por Moraes (2015), ou seja, com a ausência da execução da equação de regressão Encantado/Lajeado. As manchas de inundações representam inundações de pequena, média, grande e extrema magnitude, ocorridas em diferentes datas, no município de Lajeado.

Os mapas que compõe a Figura 3, indicam as proporções tomadas pelas inundações de acordo com a sua magnitude. Quanto maior o nível da inundação, maior será sua abrangência sobre o território do município e, conseqüentemente, maiores os impactos socioeconômicos e ambientais envolvidos. Dos quatro eventos de inundações estudados, que variam entre magnitude pequena, média, grande e extrema, suas proporções de área ocupada com relação ao bairro estudado, correspondem a 11,71%, 31,59%, 50,42% e 62,02%, respectivamente. Nota-se um incremento de mais de 50% de área inundada entre a magnitude extrema em relação à pequena, o que significa aumento proporcional da ocupação da lâmina de água sobre os usos urbanos, com principal impacto observado sobre residências familiares consolidados nessas áreas.

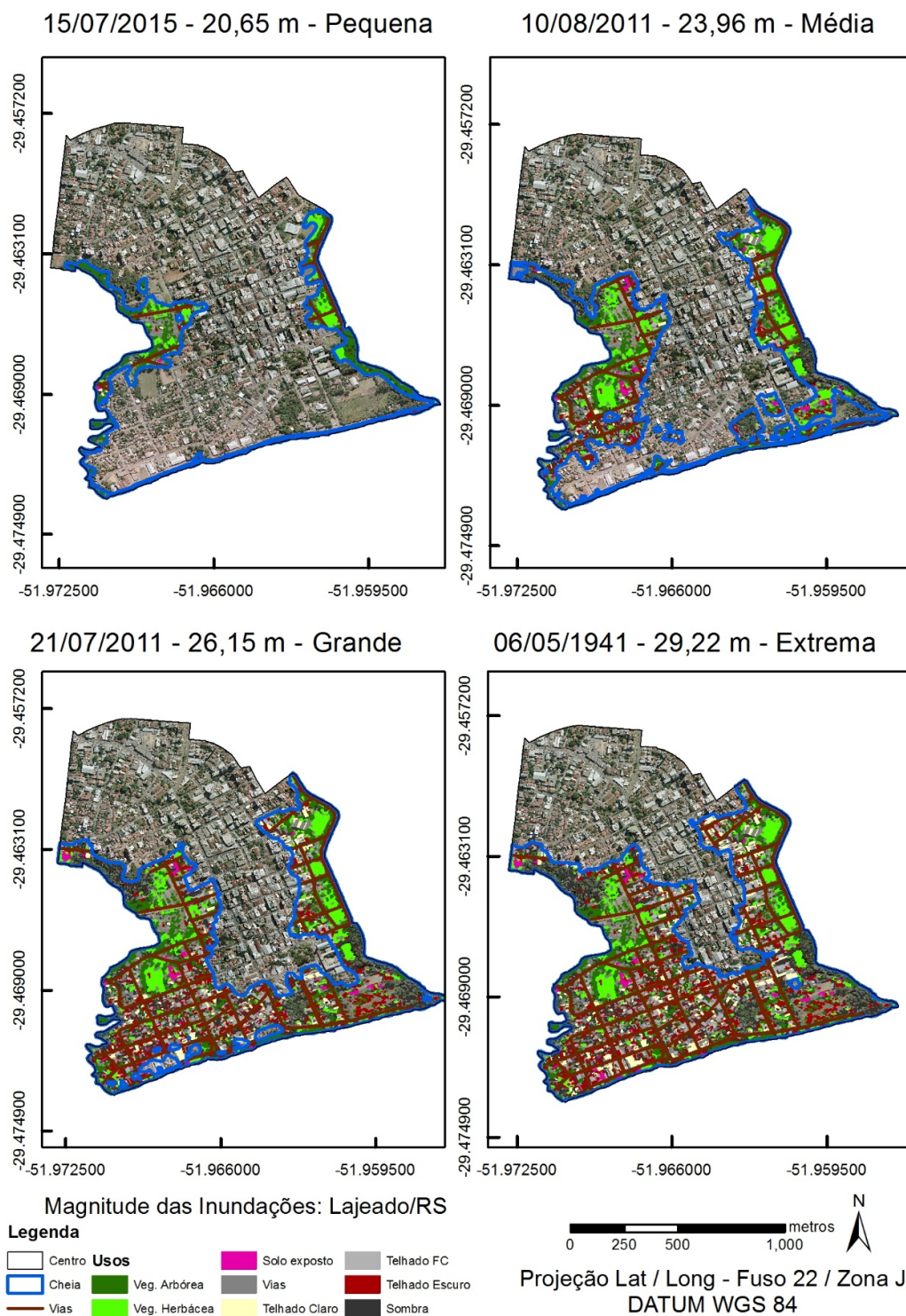


Figura 3. Magnitude das inundações geradas pelo *Framework*.

Figure 3. Greatness of the floods generated by the *Framework*.

O cruzamento com os dados dos setores censitários do IBGE, publicados em 2010, indicaram um total de 6.617 habitantes somente no Bairro Centro. Em uma inunda o pequena, como a de 15 de julho de 2015, com nível alcançado de 20.65 metros, 10% da popula o residente foi afetada. Para a inunda o média, com nível igual a 23.96 metros, a popula o afetada   de 26%, aumentando para 39% na magnitude grande (26,15 metros). Na Figura 4, estão as manchas de inunda o analisadas, bem como locais com amplo acesso de pessoas, como redes de ensino público, rede de saúde, assistência social e prédios públicos.

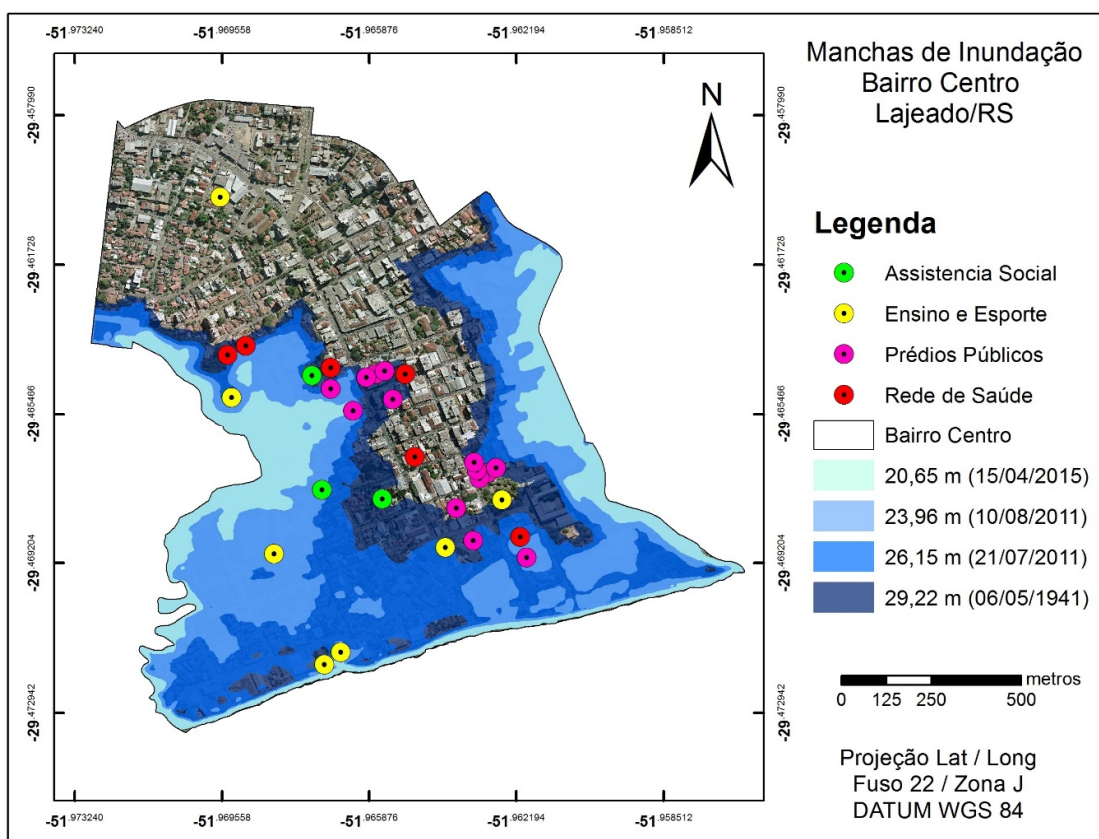


Figura 4. Manchas das inunda es geradas e analisadas.

Figure 4. Flood spots generated and analyzed.

Importante destacar, que a inunda o extrema observada (06/05/1941), que atingiu a altimetria de 29,22 metros,   o maior nível registado na série histórica do município de Lajeado, tendo um tempo de retorno de ocorrência de 131,58 anos e uma probabilidade de ocorrência

considerada baixa, de 0,76% (Moraes, 2015). Não há informações sobre os usos do solo da área de estudo nessa época, correlatas ao número de habitantes, comércio e serviços presentes na área de estudo. No entanto, sabe-se que, tendo em vista a lâmina de inundação projetada para a cheia de 1941 pelo *framework*, o cruzamento com os dados da divisão dos setores censitários do IBGE (2010) aponta para uma população suscetível a esta magnitude no Bairro Centro de Lajeado, igual a 3.327 habitantes, que representa 50% da população da área de estudo.

Quanto maior a lâmina de inundação, maior o número de escolas, prédios públicos, redes de saúde e assistência social suscetíveis a ocorrência das inundações. A implementação destas informações no *framework*, bem como sua identificação de forma mais detalhada, se faz útil para o monitoramento das inundações, automatizando o processo de acionamento para esvaziamento humano e operacional de tais estruturas, bem como para interditar seu acesso até o retorno da normalidade do Rio Taquari. O uso desta ferramenta pode contribuir para a redução em significativas proporções, principalmente de impactos econômicos, também sociais e ambientais, baseados nas medidas não estruturais de prevenção e preparo para o enfrentamento da ocorrência de inundações.

4 Discussão dos resultados

A validação do *framework* foi realizada com base na projeção da inundação de 10 de outubro de 2015. Esta projeção foi desenvolvida a partir da equação de regressão Encantado – Lajeado, utilizando como valor de “x”, o nível máximo registrado em Encantado. Foram utilizados pontos de controle registrados durante o pico da inundação com GPS de navegação.

A validação foi realizada para o nível de inundação mapeado de 23,81 m, sobre o MDE. As análises envolveram a diferença vertical e horizontal do nível de inundação projetado, entre o MDE e locais atingidos pela inundação no terreno e observada in loco. Sob cada ponto de checagem (validação) foi analisado o erro altimétrico (ϵ_a) do ponto com relação ao MDE (erro inerente à base topográfica) e também, o erro horizontal (ϵ_d), relacionado com a diferença entre a área de inundação projetada e a observada (FIGURA 5).

A partir dos 40 pontos de checagem utilizados para a validação, o erro altimétrico médio foi de 0,80 m, com desvio padrão (σ) de 0,86 m. Já o erro médio horizontal da cota de inundação

mapeada foi de 23,81 m; em relação à área inundada observada in loco foi de 9.91 m, com σ de 5,26 m. Eckhardt (2008) aponta que um dos fatores que influenciam o σ é a declividade.

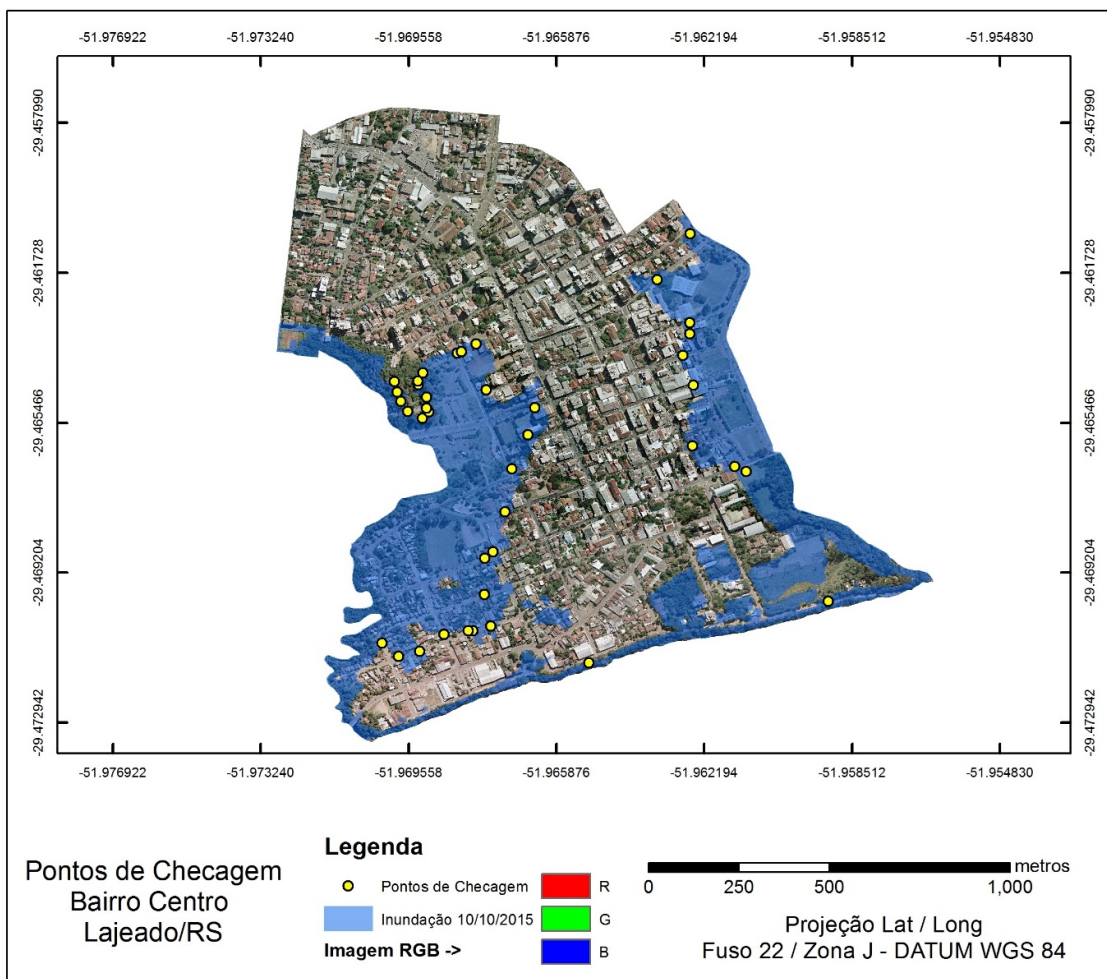


Figura 5. Pontos de validação da Inundação 10/10/2015 - 23,81 m.

Figure 5. Flood validation points 10/10/2015 - 23,81 m.

O *framework* desenvolvido, tem como saída final a plotagem automatizada da mancha de inundação, dos usos urbanos, delimitação de bairros e arruamentos em uma plataforma *web*, com a interseção de dados citados a serem atingidas pelo nível projetado de inundação do Rio Taquari no município de Lajeado, com base na equação de regressão Encantado/Lajeado (Equação 1), incluindo funções de zoom.

Cabe ressaltar que este *framework* se constitui num protótipo para o monitoramento de inundações, podendo ser implementado e melhorado com informações de alerta por nível altimétrico, bem como melhoradas a sua exatidão, com a implementação de outros modelos matemáticos, tais como o implementado por Gerhard (2018) e ainda sua expansão para áreas maiores, a nível de município e /ou de bacia hidrográfica.

Ressalta-se ainda que, para seu correto funcionamento, de forma automatizada, se faz necessária a implementação do caminho (*script*) em um servidor *web*. A Figura 6 apresenta a página *web* desenvolvida para realizar o monitoramento das inundações. Para esta fase, foram executados os caminhos em *web*, a partir dos níveis analisados anteriormente.

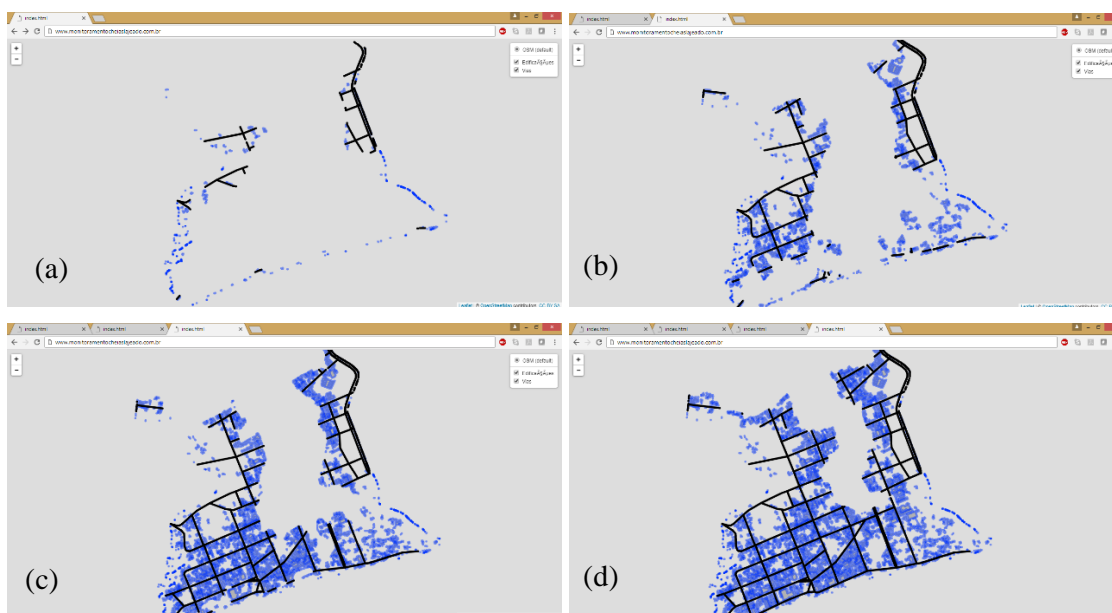


Figura 6. Projeção *online* de diferentes magnitudes de inundações no bairro Centro de Lajeado.
 Figure 6. Online projection of different magnitudes of floods in the downtown district of Lajeado.

Importante ressaltar que para a execução deste *framework* automatizado, com as leituras e execução da equação de regressão, bem como para o corte de camadas contendo informações geográficas, como usos do solo e outros, a máquina executora do processo requer grande espaço de memória para a execução do caminho completo do *script*, podendo comprometer o sistema automatizado, uma vez que a reduzida ou mesmo a falta de memória, compromete o

funcionamento temporal do *framework*, não rodando o caminho do *script* em seu devido tempo (a cada 15 minutos). Como soluções, é possível alterar a o tempo de leitura do *script*, para 30 minutos ou mais.

5 Conclusões

O desenvolvimento deste *framework*, em plataformas *open source*, vem a contribuir para a execução simplificada da previsão e monitoramento da lâmina de inundação, servindo como importante medida não estrutural, com elevada eficácia para a remoção de famílias suscetíveis aos impactos da cheia, quando ocorrida sua devida remoção e alocação.

Tal eficácia pode ser ampliada com o uso de equações e modelagens matemáticas mais complexas e robustas. No entanto, uma limitação do uso destas equações esta no fato de utilizar bancos de dados maiores que a equação de regressão Encantado/Lajeado por exemplo, como dados de precipitação de mais de um ponto do trecho referente a bacia hidrográfica a montante analisado, que hoje, ainda não há acesso as informações em tempo real destes dados, para que a ferramenta consiga ser executada no espaço-tempo proposto por este trabalho.

Uma das contribuições do desenvolvimento deste trabalho, é a indicação das áreas inundadas do bairro Centro do município de Lajeado/RS, conforme diferentes níveis altimétricos atingidos pela lâmina de água, em eventos de pequena, média, grande e extrema magnitude de inundação, com a estimativa do total de habitantes atingidos por esses eventos.

O desenvolvimento deste *framework*, a principal contribuição deste trabalho, poderá servir como base para a implantação de sistemas mais complexos e integrados de monitoramento de áreas inundáveis, tendo potencial de servir como base para outras áreas, apenas com a troca do banco de dados. Tendo em vista sua condição *open source*, torna-se um item interessante para aplicação em municípios que sofrem com a problemática das inundações.

Agradecimentos

Este estudo apresenta resultados advindos da dissertação de mestrado em Geoprocessamento e Sensoriamento Remoto, realizada no Centro Estadual de Pesquisas em Sensoriamento Remoto e Meteorologia da UFRGS. Agradecemos à Prefeitura Municipal de Lajeado, pela disponibilização da base digital de informações, em escala 1:2.000, sem a qual o presente estudo não poderia ser realizado com a qualidade requerida. Cabe ainda um agradecimento especial à CAPES, pela oportunidade da bolsa de estudos concedida durante o mestrado.

Referências bibliográficas

- Almeida, C.M. 2010. Aplicação dos sistemas de sensoriamento remoto por imagens e o planejamento urbano regional. *USJT Arq-urb*, v. 3: 98-123. Disponível em: <http://www.usjt.br/arq.urb/numero_03/8arqurb3-claudia.pdf>. Acesso em: 27 jun. 2018.
- Alves, A., Bianchini, C.D., Malheiros, M., Quartieri, M.T., Salvador P.F., Eckhardt, R.R. 2013. Correlação entre o nível atingido e os prejuízos causados pelas inundações do Rio Taquari no Município de Cruzeiro do Sul-RS. *Revista Destaques Acadêmicos*, 5(4): 20170-229. Disponível em: <<http://www.univates.br/revistas/index.php/destaques/article/view/341/336>>. Acesso em: 27 jun. 2018.
- Bivand, R. *et al.* 2017. Interface to Geometry Engine - *Open source* ('GEOS'): Package 'rgeos'. Eua: Cran, 77 p.
- Bivand, R. *et al.* 2018. *Bindings for the 'Geospatial' Data Abstraction Library*: Package 'rgdal'. Eua: Cran, 55 p.
- Bruno, L.O. 2017. Aplicabilidade de Sistemas de Informações Geográficas (SIGs) livres nas ciências ambientais: o uso do QGIS. *Revista Brasileira de Gestão Ambiental e Sustentabilidade*, 4 (8): 321-326. Disponível em: <https://www.researchgate.net/publication/321322804_Aplicabilidade_de_Sistemas_de_Informacoes_Geograficas_SIGs_livres_nas_ciencias_ambientais_o_uso_do_QGIS>. Acesso em: 27 jun. 2018.
- Cheng, J. *et al.* 2017. *Create Interactive Web Maps with the JavaScript 'Leaflet'*: Package 'leaflet'. Eua: Cran, 54 p.
- Eckhardt, R. R. 2008. *Geração de Modelo Cartográfico Aplicado ao Mapeamento das Áreas Sujeitas às Inundações Urbanas na Cidade de Lajeado / RS*. Porto Alegre, 121p. Dissertação de Mestrado - Programa de Pós-graduação em Sensoriamento Remoto,

Centro Estadual de Pesquisas em Sensoriamento Remoto e Meteorologia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

Eckhardt, R.R.; Quartieri M.T.; Alves, A.; Salvador P.F.; Malheiros, M.G.; Bianchini C.D. 2013. Impactos Econômicos das Inundações no Vale do Taquari. *In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS*, 20, 2013. Bento Gonçalves. *Anais... ABRH*. p. 1-8. Disponível em: <https://abrh.s3.sa-east-1.amazonaws.com/Sumarios/155/fc1fd7ecf4ba09f8e9b7c49997c609db_cb2bb4588ebc51708b404bb1c7666033.pdf> Acesso em 27 de jun de 2018.

Ferreira, E.R.; Both, G.C. 2001. Estudo das enchentes no Vale do Taquari: causas e propostas de controle. *In: SALÃO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA*, 13. 2001. Porto Alegre. *Anais... UFRGS*. p. 171. Disponível em: <<http://www.lume.ufrgs.br/handle/10183/84170>> Acesso em 27 de jun de 2018.

Ferreira, E.R.; Eckhardt, R.E.; Haetinguer, C.; Both, G.C.; Fava e Silva, J.; Diedrich, V.L.; Azambuja, J.L.F. 2007. Sistema de Previsão e Alerta de Enchentes do Vale do Taquari - RS - Brasil. *In: Simpósio Brasileiro de Desastres Naturais e Tecnológicos*, 2. 2007. Santos. *Anais... ABGE*. p. 85. CD-ROM.

Gerhard, F. 2018. *Previsão de níveis fluviais de inundação para a cidade de Lajeado, Rio Grande do Sul, a partir de diferentes abordagens matemáticas*. Lajeado, 137 p. Monografia – Curso de Graduação em Engenharia Ambiental, Universidade do Vale do Taquari - Univates.

Gomes, P. *et al.* 2013. Desenvolvimento de um Sistema de Informação e Apoio à Gestão Florestal Baseado em Tecnologia *Open source*. *Silva Lusitana*, 23 (Especial): 39-55. Disponível em: <http://www.scielo.mec.pt/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0870-63522013000100003>. Acesso em: 27 jun. 2018.

Greiner, C. 2014. *Avaliação do Referencial de Nível das Inundações da Cidade de Lajeado/RS*. Lajeado, 88 p. Monografia - Curso de Graduação em Engenharia Ambiental, Universidade do Vale do Taquari - Univates.

- Guasseli, L.A.; Oliveira, G.G de; Alves, R. de C.M. (Orgs.) 2013. *Eventos Extremos no Rio Grande do Sul: Inundações e Movimentos de Massa*. Porto Alegre: Evangraf.
- Hijmans, R. J. *et al.* 2017. *Geographic Data Analysis and Modeling: Package 'raster'*. Eua: Cran. 244 p.
- IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. *Censo Demográfico 2010*. Disponível em: <<http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/populacao/censo2010/default.shtm>> Acesso em: 20 de fevereiro de 2018.
- Kurek, M.K.R, C. 2012. *Avaliação do Tempo de Retorno dos Níveis das Inundações no Vale do Taquari/RS*. Lajeado, 92 p. Monografia - Curso de Graduação em Engenharia Ambiental, Universidade do Vale do Taquari - Univates.
- Meneses, P.R. & Almeida, T. de (Org.). 2012. *Introdução ao processamento de imagens de Sensoriamento Remoto*. Brasília: Unb, 266 p.
- Menezes, D.J. 2014. *Zoneamento das áreas de risco de inundação na área urbana de Santa Cruz do Sul - RS*. Santa Cruz do Sul, 137 p. Dissertação de Mestrado - Programa de Pós-graduação em Geografia, Universidade Federal de Santa Maria. Disponível em: <http://w3.ufsm.br/ppggeo/images/dissertacoes/dissertacoes_2014/Dissertacao_Daniel_Menezes.pdf>. Acesso em: 24 fev. 2018.
- Moraes, S.R. *et al.* 2013. Relação do fenômeno ENOS com a ocorrência de inundações no município de Lajeado/RS. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS, 20, 2013. Bento Gonçalves. *Anais...* ABRH. p. 1-8.
- Moraes, S.R. 2015. *Mapeamento das áreas e edificações atingidas pelas inundações do Rio Taquari na área urbana do município de Lajeado/RS*. Lajeado, 92 p. Monografia - Curso de Graduação em Engenharia Ambiental, Universidade do Vale do Taquari - Univates. Disponível em:<<https://www.univates.br/bdu/bitstream/10737/997/1/2015SofiaRoyerMoraes.pdf>> .

- Oliveira, G.G. 2010. *Modelos para Previsão, Espacialização e Análise das áreas Inundáveis na Bacia Hidrográfica do Rio Caí, RS*. Porto Alegre, 149p. Dissertação de Mestrado - Programa de Pós-graduação em Sensoriamento Remoto, Centro Estadual de Pesquisas em Sensoriamento Remoto e Meteorologia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul.
- Pedrosa, A.S. 2016. *As inundações fluviais no Brasil: importância do desenvolvimento de Unidades Dinâmicas de Avaliação de Riscos (UDAR) para a sua gestão*. Coimbra, Imprensa da Universidade de Coimbra: Disponível em: <<https://digitalis-dsp.uc.pt/handle/10316.2/39920>>. Acesso em: 27 jun. 2018.
- Tucci, C.E.M.; Bertoni, J.C. (Org.) 2003. *Inundações Urbanas da América do Sul*. Porto Alegre: Associação Brasileira de Recursos Hídricos, 471p.
- Tucci, C.M. 2007. *Inundações urbanas*. Porto Alegre: Associação Brasileira de Recursos Hídricos, 393p.
- Valentim, N.M.C; Silva, W., Conte, T.U. 2017. *Mapeamento Sistemático para a geração de um Framework que Projeta e/ou Avalia a Usabilidade nos Estágios Iniciais do Processo de Desenvolvimento de Software*. Universidade Federal do Amazonas: USES Technical Report, 307 p. Disponível em: <<http://uses.icomp.ufam.edu.br/wp-content/uploads/2017/03/TR-USES-2017-0003.pdf>> Acesso em: 27 jun. 2018.
- Wickham, H. 2016. *Easily Harvest (Scrape) Web Pages: Package 'rvest'*. Eua: Cran, 13 p.

4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A análise dos resultados obtidos durante o processo de aplicação do método GEOBIA, indica que um dos fatores mais importantes para a obtenção de um resultado de melhor qualidade, é a correta segmentação da imagem, uma vez que a detecção dos objetos nesta fase do processo, influencia fortemente em todo o processo final de obtenção do mapa de uso e cobertura da terra. Para este estudo, foram realizados diversos testes de segmentação, através da segmentação multiresolução, em diferentes escalas com diferentes índices de forma (f) e compacidade (c), até chegar aos valores de $f = 0,1$ e $c = 0,9$. Tais valores, inversamente proporcionais, conseguiram obter os super-objetos e subobjetos com o melhor detalhamento e entre objetos, influenciados principalmente, pela alta qualidade espacial apresentada pela imagem analisada nesta dissertação.

O nível de segmentação utilizado para gerar os arquivos para treinamento e execução da classificação, influenciou na priorização de atributos provenientes de informação espectral (média, desvio padrão, brilho), contextual (proximidade entre vizinhos) e espacial (relacionada ao tamanho do objeto). As camadas vetoriais “arruamento e MDE” acopladas ao processo de segmentação, contribuíram significativamente para a melhor diferenciação entre classes, vindo a reduzir a confusão existente entre as classes, principalmente entre as classes que representam as edificações (telhados) e vias/calçadas e; entre vegetação e edificações.

Com relação aos algoritmos mineradores de dados que realizaram a classificação das informações, ressalta-se, a partir dos dados observados, que a matriz de confusão C5.0 apresentou acurácia de produtor e usuário entre muito bom e excelente, enquanto as demais, Random Forest e CART, apresentam acurácias que variam entre bom e excelente. De maneira geral, os valores mais elevados de acurácia de classificação ocorreram com a aplicação do algoritmo Random Forest. Os classificadores Random Forest, C5.0 e CART conseguiram classificar todos os usos definidos, com exceção da classe solo exposto, não reconhecida pelo algoritmo CART. Isso possivelmente ocorreu pelo restrito número de amostras utilizado em seu arquivo de treinamento (solo exposto). As acurácias do produtor e do usuário apresentaram os melhores resultados na aplicação do algoritmo classificador Random Forests e C5.0.

Outro importante resultado desta dissertação, foi o desenvolvimento de um *framework*, de código aberto, capaz de realizar o monitoramento e a previsão de inundações, de forma a integrar em uma representação espacial a inundação prevista, as infraestruturas classificadas pela abordagem GEOBIA e algoritmo minerador de dados Random Forests, cuja classificação apresentou a mais alta exatidão global. O *framework*, também atua em escala temporal, onde atualiza tais projeções espaciais, a cada 15 minutos. Tal funcionalidade, que se dá a partir da leitura do nível fluviométrico do Rio Taquari em Encantado, disponibilizado na *web*, e, com base na leitura, executa a equação de regressão entre os níveis de Encantado e Lajeado. Ao verificar a ocorrência de áreas inundadas, o *framework* realiza a identificação dessas áreas, com base na plotagem do nível inundado em Lajeado em formatos vetorial e *web*.

Os arquivos vetoriais gerados, em casos de previsão de ocorrência de inundações, são armazenados em diretório indicado pelo usuário. Tais informações podem ser manipuladas no SIG de preferência do usuário, ou visualizados em plataforma *web*. O *framework* também desenvolve a simulação de inundações históricas, de forma a demonstrar ainda, os diferentes tempos de retornos associados a estas séries históricas, permitindo também simular o número de habitantes, vias, edificações, bem como instituições públicas de saúde, ensino e outros a serem impactados por determinado evento.

Conclui-se a partir do desenvolvimento do presente trabalho, a viabilidade de aplicações da abordagem GEOBIA para a classificação de alvos urbanos, até mesmo em imagens fotogramétricas. No entanto, para a melhorar o desempenho deste tipo de classificação, sugere-se a integração destas imagens de altíssima resolução espacial e baixa resolução espectral a imagens com alta resolução espectral, uma vez amplia a possibilidade de identificação e extração de alvos, por exemplo, pela implementação de razões entre bandas, como o NDVI. As principais limitações observadas do método GEOBIA, com a utilização de imagem de altíssima resolução espacial, estão relacionadas a capacidade operacional de computadores utilizados para o processo, uma vez que a técnica demanda de significativo espaço de memória. Tal limitação faz com que análises para municípios ou regiões, se tornem processos lentos.

Nota-se que a aplicação das informações geradas pela abordagem GEOBIA no *framework* de monitoramento de inundações, foram úteis no que diz respeito a geração passíveis de aplicação em ferramentas capazes de delimitar automaticamente, quais as infraestruturas e

vias suscetíveis a ocorrência da inundação prevista e monitorada, podendo ser útil ainda, no desenvolvimento de estudos sobre áreas urbanas permeáveis e não permeáveis, bem como no monitoramento da vegetação arborea existente.

O *framework* mostrou-se eficiente e útil, embora deva ainda ser aprimorado, em termos de complexidade dos dados a serem implementados, bem como no seu estabelecimento em servidor, para a garantia de sua funcionalidade. A ferramenta poderá ser útil para órgãos competentes, como a defesa civil, responsável pela remoção de famílias suscetíveis às inundações, no caso da ocorrência desses eventos, bem como poderá servir como modelo para o aprimoramento de ferramentas de monitoramento em outras regiões, a partir de banco de dados específicos e direcionados para a determinada área.

5. REFERÊNCIAS GERAIS

AGOSTINI, C.; GREVE, G. (org.). **Planejamento Estratégico Regional do Vale do Taquari**. Conselho de Desenvolvimento do Vale do Taquari (CODEVAT), 2009.

ANTUNES, Dinameres *et al.* **Abordagens em GEOBIA e aplicação da técnica em imagem Rapideye de uma área da bacia do rio Pitangui – PR**. Anais 5º Simpósio de Geotecnologias no Pantanal, Campo Grande - MS, v. 5, n. 1, p.631-640, nov. 2014.

AYALA FILHO, German Gregório Monterrosa. **Uso de plataformas livres de sistemas de informação geográfica aplicados em estudos de transportes**. 2016. 93 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia de Transportes e Logística. Universidade Federal de Santa Catarina, Joinville, 2016.

BASE Aerofotogrametria e Projetos S. A. **Relatório Final número 1169 – Lajeado /RS** - 2013. Documento cedido pela empresa.

BENINI, Sandra Medina. **Infraestrutura verde como prática sustentável para subsidiar a elaboração de planos de drenagem urbana: estudo de caso da cidade de Tupã/SP** / Sandra Medina Benini – Presidente Prudente: [s.n.], 2015.

BLASCHKE, T.; KUX, H. **Sensoriamento Remoto e SIG Avançados: Novos Sistemas Sensores, Métodos Inovadores** - 2a. Edição. São Paulo: Oficina de Textos, 2007.

BLASCHKE, Thomas. **Object based image analysis: a new paradigm in Remote Sensing?** ASPRS 2013 Annual Conference, Baltimore - Mariland (EUA), mar. 2013.

BLASCHKE, Thomas *et al.* **Geographic Object-Based Image Analysis – Towards a new paradigm**. ISPRS - Journal of Photogrammetry and Remote Sensing, [s.l.], v. 87, p.180-191, jan. 2014. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.isprsjprs.2013.09.014>.

BOMBASSARO M.; ROBAINA L. E. de S. **Contribuição Geográfica para o Estudo das Inundações na Bacia Hidrográfica do Rio Taquari-Antas, RS.** Geografias artigos científicos - Belo Horizonte 06(2) 69-86 julho-dezembro de 2010.

CÂNDIDO, Anny Keli Aparecida Alves; SILVA, Normandes Matos da; PARANHOS FILHO, Antonio Conceição. **Imagens de Alta Resolução Espacial de Veículos Aéreos Não Tripulados (VANT) no Planejamento do Uso e Ocupação do Solo.** Anuário do Instituto de Geociências – UFRJ, Rio de Janeiro - RJ, v. 38, n. 1, p.147-156, jan. 2015.

CAVALCANTI, Rafael Costa; TAVARES JUNIOR, João Rodrigues; CANDEIAS, Ana Lúcia Bezerra. **Simulação de mapeamento de riscos de inundações usando dados Lidar: estudo de caso da Bacia Do Rio Una – PE.** Revista Brasileira de Cartografia, Rio de Janeiro, v. 4, n. 65, p.703-716, ago. 2013.

CONGALTON, R.G., GREEN, K., **Assessing the Accuracy of Remotely Sensed Data: Principles and Practices,** Lweis Publishers, 1999.

CRÓSTA, Alvaro Penteadó. **Processamento Digital de Imagens de Sensoriamento Remoto.** 4. ed. Campinas - SP: IG/UNICAMP, 1992. 170 p.

DRĂGUNÍ, L. *et al.* **Automated parameterisation for multi-scale image segmentation on multiple layers.** Isprs Journal Of Photogrammetry And Remote Sensing, [s.l.], v. 88, p.119-127, fev. 2014. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.isprsjprs.2013.11.018>.

ECKHARDT, R. R. **Geração de Modelo Cartográfico Aplicado ao Mapeamento das Áreas Sujeitas às Inundações Urbanas na Cidade de Lajeado / RS.** Dissertação (Mestrado em Sensoriamento Remoto) – Centro Estadual de Pesquisas em Sensoriamento Remoto e Meteorologia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS), Porto Alegre, 2008.

FERNANDES, Rener Ribeiro *et al.* **Uso de geotecnologias na análise da ocorrência de unidades Fitofisionômicas na Região do Médio Araguaia.** Revista Brasileira de Cartografia, Rio de Janeiro, v. 5, n. 65, p.853-867, out. 2013.

FERREIRA, E. R.; BOTH, G. C. **Estudo das enchentes no Vale do Taquari: causas e propostas de controle**. In: MEEP, 4. Lajeado. Anais... Lajeado: UNIVATES, 2001. 171 p.

FERREIRA, E. R.; ECKHARDT, R. E.; HAETINGUER, C.; BOTH, G. C.; FAVA E SILVA, J.; DIEDRICH, V. L.; AZAMBUJA, J. L. F. **Sistema de Previsão e Alerta de Enchentes do Vale do Taquari - RS - Brasil**. In: Simpósio Brasileiro de Desastres Naturais e Tecnológicos (SIBRADEN), 2, 2007, Santos. Anais... São Paulo: ABGE, 2007. Artigos, p. 85. CD-ROM.

FLORENZANO, T. G. **Iniciação em Sensoriamento Remoto**. 3. ed. São Paulo: Oficina de Textos, 2011. 128p.

FRANCISCO, Cristiane Nunes; ALMEIDA, Cláudia Maria de. **Interpretação de imagens orbitais por meio de sistema especialista para o mapeamento de cobertura da terra em região montanhosa**. Sociedade & Natureza, Uberlândia - MG, v. 24, n. 2, p.283-302, ago. 2012.

FREITAS, Marcos Wellausen Dias de. **Estudo integrado e modelagem da dinâmica da paisagem no Alto Uruguai (RS-SC)**. 2013. 149 f. Tese (Doutorado) - Curso de Sensoriamento Remoto, Inpe, São José dos Campos - SP, 2013.

GABE, Mateus. **Flexibilização do perímetro urbano e suas repercussões sobre a expansão urbana: Estudo de Lajeado/RS (1984-2016)**. 2017. 208 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Programa de Pós-graduação em Planejamento Urbano e Regional, (propur/ufrgs), Ufrgs, Porto Alegre, 2017. Cap. 1.

GREINER, C. **Avaliação do Referencial de Nível das Inundações da Cidade de Lajeado/RS**. Trabalho de Conclusão de Curso em Engenharia Ambiental, Centro Universitário (UNIVATES), Lajeado, 2014.

GUASSELLI, L. A.; OLIVEIRA, G. G de; ALVES, R. de C. M. (orgs.) **Eventos Extremos no Rio Grande do Sul: Inundações e Movimentos de Massa**. Porto Alegre: Evangraf, 2013.

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Censo Demográfico 2010**. Disponível em: <<http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/populacao/censo2010/default.shtm>> Acesso em: 19 de abril de 2015.

HAY, Geoffrey J.; CASTILLA, Guillermo. Geografic Object-Based Image Analysis (GEOBIA): a new name for a new discipline. In: BLASCHKE, Thomas; HAY, Geoffrey J.; LANG, Stefan (Org.). **Object-Based Image Analysis**. Berlin: Springer - Verlag Berlin Heidelberg, 2008. Cap. 1. p. 75-90.

LIU, Jing; LI, Peijun; WANG, Xue. **A new segmentation method for very high resolution imagery using spectral and morphological information**. ISPRS Journal Of Photogrammetry And Remote Sensing, [s.l.], v. 101, p.145-162, mar. 2015. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.isprsjprs.2014.11.009>.

KUREK, M. K. R. **Avaliação do Tempo de Retorno dos Níveis das Inundações no Vale do Taquari / RS**. Trabalho de Conclusão de Curso em Engenharia Ambiental, Centro Universitário (UNIVATES), Lajeado, 2012.

MENEZES, Daniel Junges. **Zoneamento das áreas de risco de inundação na área urbana de Santa Cruz do Sul - RS**. 2014. 137 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Geografia, PPGGEO, Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria - RS, 2014. Disponível em: <http://w3.ufsm.br/ppggeo/images/dissertacoes/dissertacoes_2014/Dissertacao_Daniel_Menezes.pdf>. Acesso em: 24 fev. 2017.

MENESES, Paulo Roberto; ALMEIDA, Tati de (Org.). **Introdução ao processamento de imagens de Sensoriamento Remoto**. Brasília - DF: Unb, 2012. 266 p.

MORAES, Isabel Cristina *et al.* **Interferência do uso da terra nas inundações da área urbana do córrego da servidão, Rio Claro (SP)**. Revista Brasileira de Geomorfologia, Uberlândia - Mg, v. 13, n. 1, p.187-200, jun. 2012.

MORAES, Sofia Royer. **Mapeamento das áreas e edificações atingidas pelas inundações do Rio Taquari na área urbana do município de Lajeado/RS**. 2015. Monografia

(Graduação em Engenharia Ambiental) – Centro Universitário UNIVATES, Lajeado, 24 nov. 2015. Disponível em: <<http://hdl.handle.net/10737/997>>.

MORENO, Alberto Jesús Perea; LARRIVA, José Emilio Meroño de; UREÑA, Maria Jesús Aguilera. **Clasificación orientada a objetos en fotografías aéreas digitales para la discriminación de usos del suelo.** Interciencia, Caracas - Venezuela, v. 34, n. 9, p.612-614, set 2009.

NOVO, Evlyn M.L. de M. **Sensoriamento remoto: princípios e aplicações.** 4º ed. São Paulo: Blucher, 2010. 387 p.

OLIVEIRA, G. G. **Modelos para Previsão, Espacialização e Análise das áreas Inundáveis na Bacia Hidrográfica do Rio Caí, RS.** Dissertação (Mestrado em Sensoriamento Remoto) – Centro Estadual de Pesquisa em Sensoriamento Remoto e Meteorologia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS), Porto Alegre, 2010.

PANIZZA, Andrea de Castro; FONSECA, Fernanda Padovesi. **Técnicas de interpretação visual de imagens.** GEOUSP - Espaço e Tempo, São Paulo - SP, v. 30, n. 1, p.30-43, dez. 2011.

PARANHOS FILHO, A.C.; LASTORIA, G. e TORRES, T.G. **Sensoriamento Remoto Ambiental Aplicado: introdução às geotecnologias.** Campo Grande, UFMS. 198 p. 2008.

PARIZZI, M. G. **Desastres naturais e induzidos e o risco urbano.** GEONOMOS / CPMTCCentro de Pesquisa Professor Manoel Teixeira da Costa, Instituto de Geociências, Universidade Federal de Minas Gerais. 22(1), 1-9, 2014

PERIN, Marina das Graças; SALVADOR, Elizete Domingues; PERROTTA, Mônica Mazzini. **Planejamento do Geoparque Guaritas – Minas do Camaquã/RS por meio de classificação de imagens de satélite e análise espacial de dados do meio físico.** Revista Brasileira de Cartografia, Rio de Janeiro - RJ, v. 67, n. 7, p.1357-1369, dez. 2015.

PINTO, Vívian Gemiliano *et al.* **Influência do número de classes de vulnerabilidade na determinação da suscetibilidade morfométrica à inundação.** Ambiente e Água - An

Interdisciplinary Journal Of Applied Science, [s.l.], v. 11, n. 3, p.637-649, 23 jun. 2016. Instituto de Pesquisas Ambientais em Bacias Hidrograficas (IPABHi). <http://dx.doi.org/10.4136/ambi-agua.1842>.

POWERS, Ryan P. *et al.* **Remote Sensing and object-based techniques for mapping fine-scale industrial disturbances.** International Journal Of Applied Earth Observation And Geoinformation, [s.l.], v. 34, p.51-57, fev. 2015. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jag.2014.06.015>.

RIBEIRO, Celso Bandeira de Melo; LIMA, Ricardo Neves de Souza. **Simulação de inundações urbanas a partir da integração de técnicas de geoprocessamento à modelagem hidráulica e hidrológica.** Revista de Geografia: PPGEO, Juiz de Fora/mg, v. 2, n. 1, p.1-9, jun. 2011.

RODRIGUES, Taíssa Caroline Silva; KUX, Hermann Johann Heinrich. **Uso do software livre Interimage para a classificação orientada a objetos em área de expansão urbana.** Revista Brasileira de Cartografia, Rio de Janeiro, v. 3, n. 67, p.493-506, jun. 2015.

ROSA, Paulo Afonso da; BREUNIG, Fábio Marcelo. **Influência da resolução espacial de imagens orbitais no mapeamento de fragmentos florestais.** Anais XVII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto – SBSR, João Pessoa - PB, v. 17, n. 1, p.635-642, abr. 2015.

ROSA, Roberto. **Introdução ao Geoprocessamento.** Uberlândia: Universidade Federal de Uberlândia, 2013. 142 p. Disponível em: <http://professor.ufabc.edu.br/~flavia.feitosa/cursos/geo2016/AULA5-ELEMENTOSMAPA/Apostila_Geop_rosa.pdf>. Acesso em: 24 fev. 2017.

ROSSETTI, Lucimari Aparecida Franco Garcia; PINTO, Sérgio dos Anjos Ferreira; ALMEIDA, Cláudia Maria de. **Técnicas de sensoriamento remoto aplicadas no processamento de imagens aerofotogramétricas em áreas urbanas.** VI Seminário de Pós-graduação em Geografia da UNESP, São Paulo - SP, v. 6, n. 1, p.390-398, dez. 2006.

SANTOS, R. F. dos (org.). **Vulnerabilidade Ambiental** – Brasília: MMA, 2007.

TEDESCO, Andrea. **Delimitação de voçoroca com imagens de alta resolução e ALS por meio de árvore de decisão e GEOBIA**. 2015. 188 f. Tese (Doutorado) - Curso de Ciências Geodésicas, Setor de Ciências da Terra, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2015.

TOMASINI, Juliana. **Padrão de variabilidade do vento à superfície, em Lajeado, Rio grande do Sul, Brasil: Implicações Ambientais**. 2011. 59 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Ambiental, Univates, Lajeado, 2011. Cap. 1.

TRENTIN, Gracieli; MATTOS, Eliana Corrêa Aguirre de; FERREIRA, Marcos César. **Caracterização e delimitação da região de entorno imediato de áreas urbanas: um estudo para Piracica**. Revista Brasileira de Cartografia, Rio de Janeiro - RJ, v. 3, n. 67, p.621-635, jun. 2015.

TUCCI, C. E. M. (org.) **Hidrologia: ciência e aplicação**. 4 ed. 5ª reimp. Porto Alegre: Editora UFRGS/ABRH, 2013.

TUCCI, C. E. M.; BERTONI, J. C. (ORG.) **Inundações Urbanas da América do Sul**. Porto Alegre: Associação Brasileira de Recursos Hídricos, 2003. 471p.

TUCCI, C. M. **Inundações urbanas** – Porto Alegre: Associação Brasileira de Recursos Hídricos: 2007. 393p.

VIEIRA, Elaine Cunha; RODRIGUES, Taissa Caroline; SOUZA, Ulisses Denache Vieira. **Geobia e imagens de alta resolução espacial aplicadas ao estudo de áreas costeiras em são luís – ma: um estudo preliminar**. Anais XVII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto - SBSR, João Pessoa - PB, p.6867-6873, abr. 2015.

WALKER, Michael. *Random Forests Algorithm*. 2013. Disponível em: <<http://www.datasciencecentral.com/profiles/blogs/random-forests-algorithm>>. Acesso em: 24 fev. 2017.

YAN, G.; MAS, J.-F.; MAATHUIS, B.H.P.; XIANGMIN, Z.; VAN DIJK, P.M. **Comparison of pixel-based and object-oriented image classification approaches – a case**

study in a coal fire area, wuda, inner Mongolia, China. International Journal of Remote Sensing, v.27, p.4039-4055, 2006.

6.ANEXOS

6.1 SCRIPT CLASSIFICAÇÃO E VALIDAÇÃO ALGORITOS ORTOFOTOMOSAICO

```

require(randomForest)

require(MASS)

library(rpart)

library(C50)

setwd("~/Sofia/paper_1")

amostras <- read.csv(file="trein..csv", header=TRUE, sep=",")

dados <- read.csv(file="unclass..csv", header=TRUE, sep=",")

dados[1:5,]

amostras[1:5,]

#training Sample with 300 observations

#train=sample(amostras)

#RANDOM FOREST

fit=randomForest(as.factor(Class_name) ~ Border_len + Width_Pxl + Asymmetry + Rel_Border +
Elliptic_F +
Density + Number_of_ + Radius_of_ + Max_diff +
Rectangula + LengthWidt + Volume_Pxl + Radius_ofl +
Standard_d + Mean_mde + Mean_Red + Mean_Green + Mean_Blue +
Shape_inde +

```

```

Rel_bord_1 + Rel_bord_2 + Rel_bord_3 + Compactnes + Brightness +
Roundness + Area_Pxl + Border_ind,

data=amostras,

importance=TRUE,

ntree=2000)

fit

varImpPlot(fit)

Prediction <- predict(fit, dados)

submit <- data.frame(ObjectId = dados$FID, Class = Prediction)

write.csv(submit, file = "randomforest.csv")

#BOOSTED C5.0

fit=C5.0(as.factor(Class_name) ~ Border_len + Width_Pxl + Asymmetry + Rel_Border + Elliptic_F +
Density + Number_of_ + Radius_of_ + Max_diff +
Rectangula + LengthWidt + Volume_Pxl + Radius_ofl +
Standard_d + Mean_mde + Mean_Red + Mean_Green + Mean_Blue +
Shape_inde +
Rel_bord_1 + Rel_bord_2 + Rel_bord_3 + Compactnes + Brightness +
Roundness + Area_Pxl + Border_ind,

data=amostras,

importance=TRUE,

trials=100)

fit

```



```
varImpPlot(fit)
```

```
Prediction <- predict(fit, dados)
```

```
submit <- data.frame(ObjectId = dados$FID, Class = Prediction)
```

```
write.csv(submit, file = "c50.csv")
```

```
#CART
```

```
fit=rpart(as.factor(Class_name) ~ Border_len + Width_Pxl + Asymmetry + Rel_Border + Elliptic_F +
          Density + Number_of_ + Radius_of_ + Max_diff +
          Rectangula + LengthWid + Volume_Pxl + Radius_of1 +
          Standard_d + Mean_mde + Mean_Red + Mean_Green + Mean_Blue +
Shape_inde +
          Rel_bord_1 + Rel_bord_2 + Rel_bord_3 + Compactnes + Brightness +
Roundness + Area_Pxl + Border_ind,
          data=amostras)
```

```
fit
```

```
Prediction <- predict(fit, dados, type="class")
```

```
submit <- data.frame(ObjectId = dados$FID, Class = Prediction)
```

```
write.csv(submit, file = "cart.csv")
```

```
#ValidaÃ§Ã£o
```

```
library(psych)
```

```
library(asbio)
```

```
setwd("~/Documentos/Orientacoes/Sofia")
```

```
pts <- read.csv(file="c50_join_pts.csv", header=TRUE, sep=";")
```

```
pts[1:5,]
```

```
pts<-pts[!(pts$Name==3),]
```

```
pts<-pts[!(pts$Name==8),]
```

```
pts<-pts[!(pts$c50_Class==3),]
```

```
pts<-pts[!(pts$c50_Class==8),]
```

```
asbio::Kappa(pts$Name,pts$c50_Class)
```

```
pts <- read.csv(file="cart_join_pts.csv", header=TRUE, sep=";")
```

```
pts[1:5,]
```

```
pts<-pts[!(pts$Name==3),]
```

```
pts<-pts[!(pts$Name==8),]
```

```
pts<-pts[!(pts$cart_Class==3),]
```

```
pts<-pts[!(pts$cart_Class==8),]
```

```
asbio::Kappa(pts$Name,pts$cart_Class)
```

```
pts <- read.csv(file="RF_join_pts.csv", header=TRUE, sep=";")
```

```
pts[1:5,]
```

```

pts<-pts[!(pts$Name==3),]
pts<-pts[!(pts$Name==8),]
pts<-pts[!(pts$randomfo_1==3),]
pts<-pts[!(pts$randomfo_1==8),]

asbio::Kappa(pts$Name,pts$randomfo_1)

#Output (saÃ-da) do R

> library(psych)
> library(asbio)
> setwd("~/Documentos/Orientacoes/Sofia")
> pts <- read.csv(file="c50_join_pts.csv", header=TRUE, sep=";")
> pts[1:5,]

```

FID	FID_1	OID_ Name	FolderPath	SymbolID	AltMode	Base Snippet
1	0	156 0 7	valida_all.kml/valida_centro	0	-1	0,0000000000000000 NA
2	1	157 0 7	valida_all.kml/valida_centro	0	-1	0,0000000000000000 NA
3	2	123 0 5	valida_all.kml/valida_centro	0	-1	0,0000000000000000 NA
4	3	22 0 1	valida_all.kml/valida_centro	0	-1	0,0000000000000000 NA
5	4	21 0 1	valida_all.kml/valida_centro	0	-1	0,0000000000000000 NA

```


```

PopupInfo	HasLabel	LabelID	FID_2	Border_len	Width_Pxl	Asymmetry
1	NA	-1	0	294	392,0000000000000000	43,731289017500004 0,750612367640000
2	NA	-1	0	870	216,0000000000000000	19,915180784000000 0,870751683129000

3	NA	-1	0	1385	1368,0000000000000000	142,0000000000000000	0,454829941134000
4	NA	-1	0	1417	510,0000000000000000	76,0000000000000000	0,214839722866000
5	NA	-1	0	1631	910,0000000000000000	108,0000000000000000	0,426687375225000
	Rel_Border	Elliptic_F	Density	Number_of_	Radius_of_		
1	0,0000000000000000	0,750418200067000	1,876187983310000	2989,0000000000000000	1,501264344950000		
2	0,0000000000000000	0,216699801193000	1,229106501290000	503,0000000000000000	1,735128753690000		
3	0,0000000000000000	0,0000000000000000	0,700467273870000	1726,0000000000000000	5,274796789590000		
4	0,0000000000000000	0,575974025974000	2,116635321180000	3080,0000000000000000	1,618484210690000		
5	0,0000000000000000	0,653594019551000	2,191081183250000	8695,0000000000000000	1,293036155030000		
	Max_diff	Rectangula	Length_Pxl	LengthWidt			
1	0,953348419777000	0,893086867756000	98,312630166800005	2,248107302010000			
2	0,917067169577000	0,590571475008000	72,304078439500003	3,630601159170000			
3	0,908752644115000	0,149172209074000	168,0000000000000000	1,183098591550000			
4	0,585209756006000	0,771747325898000	80,0000000000000000	1,052631578950000			
5	0,105820810153000	0,798883227402000	145,0000000000000000	1,342592592590000			
	Volume_Pxl	Radius_o_1	Standard_d	Standard_1			
1	2989,0000000000000000	0,536419603892000	11,530931011700000	7,737198099660000			
2	503,0000000000000000	0,454903835125000	36,468023393599999	31,521227536600001			
3	1726,0000000000000000	0,024756904449900	22,958507854099999	21,530614205399999			
4	3080,0000000000000000	0,165871122467000	17,307979232499999	21,724827139700000			
5	8695,0000000000000000	0,677751109508000	11,135903877500001	12,089886305100000			
	Standard_2	Mean_mde	Mean_Red	Mean_Green			
1	8,067584280229999	50,126317106899997	159,554031449000010	134,126463699999990			

```

2 29,676468084400000 47,959383886799998 166,347912525000000 171,948310139000000
3 19,653221316400000 48,479942361600003 172,459443800999990 179,386442641999990
4 15,587900584400000 47,234286765299998 70,545129870099998 86,551623376600006
5 9,622895372630000 47,776486627200001 42,983553766500002 46,825991949399999

```

```

      Mean_Blue      Shape_inde  Class_name      Rel_bord_1      Rel_bord_2

```

```

1 115,323185012000000 1,792516319060000 unclassified 0,000000000000000 0,489795918367000
2 154,550695824999990 2,407740995170000 unclassified 0,203703703704000 0,000000000000000
3 175,877172653999990 8,232006607900001 unclassified 0,583333333333000 0,529239766082000
4 64,409090909100001 2,297390529870000 unclassified 0,215686274510000 0,121568627451000
5 43,585623921800000 2,439757197170000 unclassified 0,981318681319000 0,992307692308000

```

```

      Rel_bord_3      Compactnes      Brightness      Roundness

```

```

1 0,489795918367000 1,438386766110000 114,782499317000000 0,964844741060000
2 0,000000000000000 2,862721259530000 135,201575593999990 1,280224918560000
3 0,529239766082000 13,821552723100000 144,050750364000010 5,250039885140000
4 0,215686274510000 1,974025974030000 67,185032730299994 1,452613088220000
5 0,981318681319000 1,801035077630000 45,292914066199998 0,615285045518000

```

```

      Area_Pxl      Border_ind  id c50_field_ c50_Class

```

```

1 2989,000000000000000 1,647058823530000 294      295      7
2 503,000000000000000 1,963636363640000 870      871      4
3 1726,000000000000000 8,047058823530000 1385     1386     6
4 3080,000000000000000 2,276785714290000 1417     1418     1
5 8695,000000000000000 2,394736842110000 1631     1632     8

```

```
>
```

```
> pts<-pts[!(pts$Name==3),]
```

```
> pts<-pts[!(pts$Name==8),]
```

```

> pts<-pts[!(pts$c50_Class==3),]
> pts<-pts[!(pts$c50_Class==8),]
>
> asbio::Kappa(pts$Name,pts$c50_Class)

```

\$ttl_agreement

[1] 80.3681

\$user_accuracy

1 2 4 5 6 7

93.1 95.2 60.6 94.7 65.6 86.2

\$producer_accuracy

1 2 4 5 6 7

100.0 76.9 74.1 62.1 77.8 92.6

\$khat

[1] 76.5

\$table

reference

class1 1 2 4 5 6 7

1 27 0 0 0 0 0

2 1 20 3 0 0 2

4 0 0 20 0 7 0

5 0 1 4 18 4 2

```
6 0 0 5 1 21 0
```

```
7 1 0 1 0 0 25
```

```
>
```

```
> pts <- read.csv(file="cart_join_pts.csv", header=TRUE, sep=";")
```

```
> pts[1:5,]
```

	FID	FID_1	OID_	Name	FolderPath	SymbolID	AltMode	Base Snippet
1	0	156	0	7 valida_all.kml/valida_centro	0	-1	0,0000000000000000	NA
2	1	157	0	7 valida_all.kml/valida_centro	0	-1	0,0000000000000000	NA
3	2	123	0	5 valida_all.kml/valida_centro	0	-1	0,0000000000000000	NA
4	3	22	0	1 valida_all.kml/valida_centro	0	-1	0,0000000000000000	NA
5	4	21	0	1 valida_all.kml/valida_centro	0	-1	0,0000000000000000	NA

	PopupInfo	HasLabel	LabelID	FID_2	Border_len	Width_Pxl	Asymmetry
1	NA	-1	0	294	392,0000000000000000	43,731289017500004	0,750612367640000
2	NA	-1	0	870	216,0000000000000000	19,915180784000000	0,870751683129000
3	NA	-1	0	1385	1368,0000000000000000	142,0000000000000000	0,454829941134000
4	NA	-1	0	1417	510,0000000000000000	76,0000000000000000	0,214839722866000
5	NA	-1	0	1631	910,0000000000000000	108,0000000000000000	0,426687375225000

	Rel_Border	Elliptic_F	Density	Number_of_	Radius_of_
1	0,0000000000000000	0,750418200067000	1,876187983310000	2989,0000000000000000	1,501264344950000
2	0,0000000000000000	0,216699801193000	1,229106501290000	503,0000000000000000	1,735128753690000
3	0,0000000000000000	0,0000000000000000	0,700467273870000	1726,0000000000000000	5,274796789590000
4	0,0000000000000000	0,575974025974000	2,116635321180000	3080,0000000000000000	1,618484210690000

5 0,000000000000000 0,653594019551000 2,191081183250000 8695,000000000000000
1,293036155030000

Max_diff Rectangula Length_Pxl LengthWidt

1 0,953348419777000 0,893086867756000 98,312630166800005 2,248107302010000

2 0,917067169577000 0,590571475008000 72,304078439500003 3,630601159170000

3 0,908752644115000 0,149172209074000 168,000000000000000 1,183098591550000

4 0,585209756006000 0,771747325898000 80,000000000000000 1,052631578950000

5 0,105820810153000 0,798883227402000 145,000000000000000 1,342592592590000

Volume_Pxl Radius_o_1 Standard_d Standard_l

1 2989,000000000000000 0,536419603892000 11,530931011700000 7,737198099660000

2 503,000000000000000 0,454903835125000 36,468023393599999 31,521227536600001

3 1726,000000000000000 0,024756904449900 22,958507854099999 21,530614205399999

4 3080,000000000000000 0,165871122467000 17,307979232499999 21,724827139700000

5 8695,000000000000000 0,677751109508000 11,135903877500001 12,089886305100000

Standard_2 Mean_mde Mean_Red Mean_Green

1 8,067584280229999 50,126317106899997 159,554031449000010 134,126463699999990

2 29,676468084400000 47,959383886799998 166,347912525000000 171,948310139000000

3 19,653221316400000 48,479942361600003 172,459443800999990 179,386442641999990

4 15,587900584400000 47,234286765299998 70,545129870099998 86,551623376600006

5 9,622895372630000 47,776486627200001 42,983553766500002 46,825991949399999

Mean_Blue Shape_inde Class_name Rel_bord_1 Rel_bord_2

1 115,323185012000000 1,792516319060000 unclassified 0,000000000000000 0,489795918367000

2 154,550695824999990 2,407740995170000 unclassified 0,203703703704000 0,000000000000000

3 175,877172653999990 8,232006607900001 unclassified 0,583333333333000 0,529239766082000

4 64,409090909100001 2,297390529870000 unclassified 0,215686274510000 0,121568627451000

5 43,585623921800000 2,439757197170000 unclassified 0,981318681319000 0,992307692308000

	Rel_bord_3	Compactnes	Brightness	Roundness
1	0,489795918367000	1,438386766110000	114,782499317000000	0,964844741060000
2	0,000000000000000	2,862721259530000	135,201575593999990	1,280224918560000
3	0,529239766082000	13,821552723100000	144,050750364000010	5,250039885140000
4	0,215686274510000	1,974025974030000	67,185032730299994	1,452613088220000
5	0,981318681319000	1,801035077630000	45,292914066199998	0,615285045518000

	Area_Pxl	Border_ind	id cart_field	cart_Class
1	2989,000000000000000	1,647058823530000	294	295 7
2	503,000000000000000	1,963636363640000	870	871 4
3	1726,000000000000000	8,047058823530000	1385	1386 4
4	3080,000000000000000	2,276785714290000	1417	1418 8
5	8695,000000000000000	2,394736842110000	1631	1632 8

>

>

>

> pts<-pts[!(pts\$Name==3),]

> pts<-pts[!(pts\$Name==8),]

> pts<-pts[!(pts\$cart_Class==3),]

> pts<-pts[!(pts\$cart_Class==8),]

>

> asbio::Kappa(pts\$Name,pts\$cart_Class)

\$ttl_agreement

[1] 64.59627

\$user_accuracy

```

1 2 4 5 6 7
91.7 86.7 50.0 77.8 48.5 58.5

```

```
$producer_accuracy
```

```

1 2 4 5 6 7
100.0 50.0 53.6 48.3 59.3 82.8

```

```
$khat
```

```
[1] 57.4
```

```
$table
```

```

reference
class1 1 2 4 5 6 7
1 22 0 0 0 0 0
2 0 13 4 0 3 6
4 1 2 15 1 6 3
5 0 0 6 14 5 4
6 0 0 4 3 16 4
7 1 0 1 0 3 24

```

```
>
```

```
>
```

```
> pts <- read.csv(file="RF_join_pts.csv", header=TRUE, sep=";")
```

```
> pts[1:5,]
```

```

FID FID_1 OID_ Name      FolderPath SymbolID AltMode      Base Snippet

```

1	0	156	0	7	valida_all.kml/valida_centro	0	-1	0,0000000000000000	NA
2	1	157	0	7	valida_all.kml/valida_centro	0	-1	0,0000000000000000	NA
3	2	123	0	5	valida_all.kml/valida_centro	0	-1	0,0000000000000000	NA
4	3	22	0	1	valida_all.kml/valida_centro	0	-1	0,0000000000000000	NA
5	4	21	0	1	valida_all.kml/valida_centro	0	-1	0,0000000000000000	NA

PopupInfo	HasLabel	LabelID	FID_2	Border_len	Width_Pxl	Asymmetry
-----------	----------	---------	-------	------------	-----------	-----------

1	NA	-1	0	294	392,0000000000000000	43,731289017500004	0,750612367640000
2	NA	-1	0	870	216,0000000000000000	19,915180784000000	0,870751683129000
3	NA	-1	0	1385	1368,0000000000000000	142,0000000000000000	0,454829941134000
4	NA	-1	0	1417	510,0000000000000000	76,0000000000000000	0,214839722866000
5	NA	-1	0	1631	910,0000000000000000	108,0000000000000000	0,426687375225000

Rel_Border	Elliptic_F	Density	Number_of_	Radius_of_
------------	------------	---------	------------	------------

1	0,0000000000000000	0,750418200067000	1,876187983310000	2989,0000000000000000 1,501264344950000
2	0,0000000000000000	0,216699801193000	1,229106501290000	503,0000000000000000 1,735128753690000
3	0,0000000000000000	0,0000000000000000	0,700467273870000	1726,0000000000000000 5,274796789590000
4	0,0000000000000000	0,575974025974000	2,116635321180000	3080,0000000000000000 1,618484210690000
5	0,0000000000000000	0,653594019551000	2,191081183250000	8695,0000000000000000 1,293036155030000

Max_diff	Rectangula	Length_Pxl	LengthWidt
----------	------------	------------	------------

1	0,953348419777000	0,893086867756000	98,312630166800005	2,248107302010000
2	0,917067169577000	0,590571475008000	72,304078439500003	3,630601159170000
3	0,908752644115000	0,149172209074000	168,0000000000000000	1,183098591550000
4	0,585209756006000	0,771747325898000	80,0000000000000000	1,052631578950000
5	0,105820810153000	0,798883227402000	145,0000000000000000	1,342592592590000

	Volume_Pxl	Radius_o_1	Standard_d	Standard_1					
1	2989,0000000000000000	0,536419603892000	11,530931011700000	7,737198099660000					
2	503,0000000000000000	0,454903835125000	36,468023393599999	31,521227536600001					
3	1726,0000000000000000	0,024756904449900	22,958507854099999	21,530614205399999					
4	3080,0000000000000000	0,165871122467000	17,307979232499999	21,724827139700000					
5	8695,0000000000000000	0,677751109508000	11,135903877500001	12,089886305100000					
	Standard_2	Mean_mde	Mean_Red	Mean_Green					
1	8,067584280229999	50,126317106899997	159,554031449000010	134,126463699999990					
2	29,676468084400000	47,959383886799998	166,347912525000000	171,948310139000000					
3	19,653221316400000	48,479942361600003	172,459443800999990	179,386442641999990					
4	15,587900584400000	47,234286765299998	70,545129870099998	86,551623376600006					
5	9,622895372630000	47,776486627200001	42,983553766500002	46,825991949399999					
	Mean_Blue	Shape_inde	Class_name	Rel_bord_1	Rel_bord_2				
1	115,323185012000000	1,792516319060000	unclassified	0,000000000000000	0,489795918367000				
2	154,550695824999990	2,407740995170000	unclassified	0,203703703704000	0,000000000000000				
3	175,877172653999990	8,232006607900001	unclassified	0,583333333333000	0,529239766082000				
4	64,409090909100001	2,297390529870000	unclassified	0,215686274510000	0,121568627451000				
5	43,585623921800000	2,439757197170000	unclassified	0,981318681319000	0,992307692308000				
	Rel_bord_3	Compactnes	Brightness	Roundness					
1	0,489795918367000	1,438386766110000	114,782499317000000	0,964844741060000					
2	0,000000000000000	2,862721259530000	135,201575593999990	1,280224918560000					
3	0,529239766082000	13,821552723100000	144,050750364000010	5,250039885140000					
4	0,215686274510000	1,974025974030000	67,185032730299994	1,452613088220000					
5	0,981318681319000	1,801035077630000	45,292914066199998	0,615285045518000					
	Area_Pxl	Border_ind	id randomfore	randomfo_1					

```

1 2989,0000000000000000 1,647058823530000 294 295 7
2 503,0000000000000000 1,963636363640000 870 871 4
3 1726,0000000000000000 8,047058823530000 1385 1386 6
4 3080,0000000000000000 2,276785714290000 1417 1418 1
5 8695,0000000000000000 2,394736842110000 1631 1632 8

```

```
>
```

```
> pts<-pts[!(pts$Name==3),]
```

```
> pts<-pts[!(pts$Name==8),]
```

```
> pts<-pts[!(pts$randomfo_1==3),]
```

```
> pts<-pts[!(pts$randomfo_1==8),]
```

```
>
```

```
> asbio::Kappa(pts$Name,pts$randomfo_1)
```

```
$ttl_agreement
```

```
[1] 82.20859
```

```
$user_accuracy
```

```
1 2 4 5 6 7
```

```
89.7 100.0 66.7 94.4 72.4 83.9
```

```
$producer_accuracy
```

```
1 2 4 5 6 7
```

```
100.0 80.0 85.7 58.6 77.8 92.9
```

```
$khat
```

```
[1] 78.6
```

```

$stable
  reference
class1 1 2 4 5 6 7
      1 26 0 0 0 0 0
      2 1 20 3 0 0 1
      4 0 0 24 0 4 0
      5 0 0 5 17 4 3
      6 1 0 3 1 21 1
      7 1 0 1 0 0 26

```

6.2 SCRIPT *FRAMEWORK* MONITORAMENTO DAS INUNDAÇÕES

```

#Framework espaço-temporal para monitoramento automatizado de inundações de Lajeado
#Marcos Wellausen Dias de Freitas e Sofia Royer Moraes

```

```

library(raster)
library(rgdal)
library(rgeos)
library(rvest)
library(leaflet)

```

```

setwd("/Sofia/paper_2")

```

```

#Specifying the url for desired website to be scrapped
url <- 'http://netsenses.univates.br/station_mon.php?station_sel=20&header=1'

```

```

#Reading the HTML code from the website
webpage <- read_html(url)

```

```

results <- webpage %>% html_nodes("li")
results
fres <- results[5]

```

```

fres <- html_text(fres)

```

```

t <- substr(fres, 83, 87)

cota_enc <- as.numeric(t)
cota_enc

mde <- raster("mde.tif")

#cota_enc = 47.25
cota_laj = (-1371.961/ cota_enc) + 55.3658

mancha = mde

mancha[mde<=cota_laj] = 1
mancha[mde>cota_laj] = 0

mc_pol <- rasterToPolygons(mancha, fun=function(x){ x==1 })

mc <- aggregate(mc_pol)

inunda <- c(1)
mc_df <- data.frame(inunda)

mc <- SpatialPolygonsDataFrame(mc,mc_df)

writeOGR(mc, ".", "mancha_dinamica", driver="ESRI Shapefile", overwrite_layer=TRUE)

uso <- readOGR(dsn = ".", layer = "class_dissolve1")

uso_in <- intersect(uso, mc)

writeOGR(uso_in, ".", "uso_inundado_dinamica", driver="ESRI Shapefile", overwrite_layer=TRUE)

vias <- readOGR(dsn = ".", layer = "nome_ruas")

vias_in <- intersect(vias, mc)

writeOGR(vias_in, ".", "vias_inundadas_dinamica", driver="ESRI Shapefile", overwrite_layer=TRUE)

vias_in <- readOGR(dsn = ".", layer = "vias_inundadas_maxima")

m <- leaflet() %>% setView(lng = -51.9658, lat = -26.4575, zoom = 12)
m %>% addTiles()

m <- leaflet() %>% setView(lng = -51.9658, lat = -26.4575, zoom = 12) %>%
addPolylines(data = vias_in, color = "red", weight = 4)
m %>% addTiles()

m %>% addTiles()
addPolylines(data = vias_in, color = "red", weight = 4)
addPolylines(data = vias_in, color = "red", weight = 4)

mc <- gBuffer(mc, width = 0)

```

```
uso_in <- gIntersection(uso, mc, byid = TRUE, drop_lower_td = TRUE)
uso_in <- gIntersection(mc, uso, byid = TRUE, drop_lower_td = TRUE)
```