

Ricardo Adalberto de Carvalho

**Modelagem Ambiental para o Mapeamento das Áreas
Susceptíveis às Enchentes no Complexo Urbano do
município de Santa Luzia – MG.**

Belo Horizonte

**Centro Universitário Belo Horizonte
Pós-Graduação em Gestão Ambiental e Geoprocessamento**

2012

Modelagem Ambiental para o Mapeamento das Áreas Susceptíveis às Enchentes no Complexo Urbano do município de Santa Luzia – MG.

Ricardo Adalberto de Carvalho¹

Jorge Batista de Souza²

Resumo

Muitas cidades brasileiras têm sofrido constantes transtornos públicos decorrentes dos altos índices pluviométricos, bem como pela insuficiência de critérios quanto ao uso e ocupação do solo. Com os crescentes problemas de degradação e desequilíbrios ambientais ocasionados pelas intervenções humanas, o município de Santa Luzia sofre anualmente com as enchentes que atingem grande parte do seu território. O presente estudo teve como objetivo a elaboração de um modelo matemático através da utilização de Sistemas de Informações Geográficas, com finalidade de se visualizar as áreas mais vulneráveis as enchentes no complexo urbano da cidade. Com os resultados obtidos, foi possível identificar através de imagens de satélite quais são as áreas mais susceptíveis as enchentes e que merecem maiores ações de planejamento por parte da defesa civil e demais órgãos gestores.

Palavras-chave: Índices Pluviométricos, Uso e Ocupação do Solo, Modelo Matemático, Sistemas de Informação Geográficas.

Abstract

Many Brazilian cities have suffered constant public disturbances due to the high rainfall, as well as by insufficient criteria for the soil use and occupation. With the growing problems of environmental degradation and imbalances caused by human intervention, the city of Santa Luzia suffers annually with the floods that hit the territory. The present study aimed at developing a mathematical model through the use of Geographic Information Systems, aiming to visualize the areas most vulnerable to flooding in the urban complex of the city. With these results, could be identified through satellite images which are the areas most susceptible to flooding and deserve further planning actions by civil defense and other governing bodies.

Keywords: rainfall, Soil Use and Occupation, Mathematical Model, Geographic Information Systems.

¹Pós-Graduação em “Gestão Ambiental e Geoprocessamento”, UNIBH, email: eng.ricardocarvalho@gmail.com

²Mestre, orientador do artigo de conclusão de curso, UNIBH, email: jorgebsouza@yahoo.com.br

1. INTRODUÇÃO

Santa Luzia é um município do estado de Minas Gerais e pertencente à Região Metropolitana de Belo Horizonte. Localiza-se a 19°46'11" de latitude sul e 43°51'05" de longitude oeste, a uma altitude de 751 metros em relação ao nível do mar (SANTA LUZIA, 2012).

A população de acordo com o Censo 2010 do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística - IBGE é de 203.184 habitantes, com a maior concentração populacional e atividade comercial no distrito São Benedito, situado a oito quilômetros do centro do município.

Por ser uma cidade colonial, Santa Luzia possui um patrimônio histórico bem interessante. A comunidade também tem mostrado seu esforço na manutenção deste patrimônio, procurando preservá-las em museus instalados em antigos casarões, no centro histórico (FIG.01).



Figura 01 – Centro histórico do município de Santa Luzia-MG.
Fonte: Google imagens, 2012.

Todo início de ano, principalmente nos períodos mais chuvosos, a população luziense sofre com as recorrentes enchentes nas áreas mais baixas, conhecidas

como várzeas. As enchentes ocorrem quando a precipitação é intensa e o volume de água que chega ao rio é superior à sua capacidade de drenagem, resultando em enchentes nas áreas ribeirinhas.

O aumento da densidade populacional do município traz problemas de ordem quantitativa na demanda de água para abastecimento público, aumento na geração de resíduos sólidos, poluição dos rios e lençol freático, deterioração da qualidade dos corpos d'água, o que gera problemas de poluição ambiental.

O aumento da densidade de ocupação por edificações, obras de infraestrutura viária e atividades industriais, por sua vez, traz como consequência direta o aumento das áreas impermeáveis, modificando o sistema de drenagem anteriormente existente, incrementando a velocidade de escoamento superficial e aumentando a probabilidade de enchentes (FIG. 02).



Figura 02 – Fotografia aérea do rio das Velhas, porção sudeste do município. Detalhe para ocupação marginal caracterizada pela presença marcante de atividades industriais.

Fonte: Google imagens, 2012.

No entanto, outros fatores também contribuem para o agravamento deste caótico cenário urbano, entre eles, a falta de consciência ecológica e/ou mesmo de

educação ambiental da população em geral, bem como obras de engenharia em locais inapropriados. É importante mencionar também o uso e ocupação desordenada do solo, por questões históricas e pelo crescimento populacional intenso.

Essas ocupações, geralmente irregulares, foram realizadas ao longo das margens de rios presentes na malha urbana do município, causando, assim, novas modalidades de uso do solo que provocaram intensas alterações nas características naturais, entre elas: impermeabilização do solo, assoreamento, aterramento de nascentes, córregos, rios, entre outros (FIG.03).



Figura 03 – Trecho do rio das Velhas próximo ao portal da avenida Beira Rio. O despejo de resíduos de construção civil, bem como o aterramento dos leitos marginais é comum na região.

Fonte: Google imagens, 2012.

As características físicas e naturais da cidade também favorecem as enchentes. Um exemplo disso diz respeito aos seus aspectos topográficos, pois grande parte do seu território encontra-se em áreas rebaixadas, popularmente conhecidas como “parte baixa” da cidade.

A “parte alta” do município, por sua vez, são os bairros que estão inseridos em regiões topograficamente elevadas, que sofrem menos com problemas de enchentes.

É importante salientar que a cidade possui uma rica rede de drenagem urbana, com diversos cursos d’água que cortam uma quantidade significativa de bairros da cidade. Somado a esses fatores naturais e antrópicos, tem-se, ainda, um considerável índice pluviométrico médio, que se encontra em torno de 1.436,1 mm/ano (CIDADESNET, 2012), potencializado por um sistema de drenagem ineficiente, incapaz de escoar toda a água precipitada.

A presença do homem em áreas de risco de enchentes pode causar muitos prejuízos e também mortes, portanto, é necessário que a população e governantes tenham a percepção deste risco e que estas áreas sejam mapeadas a fim de melhor planejar sua ocupação.

2. OBJETIVO GERAL

Utilização de técnicas de Geoprocessamento - Modelagem ambiental para o *Mapeamento das Áreas Susceptíveis às Enchentes no Complexo Urbano do município de Santa Luzia – MG* através da utilização de dados cartográficos georreferenciados, classificações supervisionadas e imagens de satélite de alta resolução.

2.1 Objetivos específicos

- Mapear o **Uso e Ocupação do Solo** pela técnica de *Classificação Supervisionada* com as imagens do satélite *RapidEye* (resolução espacial de 5m);
- Classificar a vegetação através da técnica do **Índice NDVI (NORMALIZED DIFFERENCE VEGETATION INDEX)**;

- Classificar as Áreas naturalmente propícias às enchentes pelas **curvas de nível metro a metro**;
- **Criar um Modelo Digital de Elevação – MDE** através de curvas de nível metro a metro, obtidas via Perfilamento Laser do município;
- **Identificar e relacionar as classes de declividade** (através do Modelo Digital de Elevação);
- Correlacionar todas as informações supracitadas através de técnicas matemáticas computacionais (modelagem ambiental) para o resultado final deste trabalho;
- Analisar a correspondência geográfica do mapeamento com os dados históricos de enchentes no município de Santa Luzia-MG.

3. JUSTIFICATIVAS

O intenso processo de conurbação atualmente em curso na chamada *Grande Belo Horizonte* também atinge o município de Santa Luzia, trazendo como consequência o uso e ocupação desordenada do solo, bem como o crescimento sem o devido planejamento urbano. Devido a isso e outros diversos fatores, a cidade é alvo de constantes enchentes e transtornos públicos neste tema.

A modelagem ambiental a ser elaborada para o complexo urbano deste município tem como escopo a identificação geográfica das áreas com maior susceptibilidade às enchentes.

A proposta deste trabalho é vista como de grande importância não somente científica, mas também prática, uma vez que problemas futuros certamente ocorrerão nesta área de pesquisa, ou seja, a modelagem de áreas susceptíveis as enchentes no complexo urbano do município de Santa Luzia – MG poderá ser utilizada a caráter consultivo e preventivo para os problemas socioambientais ocasionados nos períodos chuvosos.

O resultado final deste trabalho será divulgado para a prefeitura municipal, bem como aos demais órgãos gestores, podendo ser utilizado como ferramenta de auxílio e planejamento do crescimento urbano, Plano Diretor e também para subsídio na elaboração de trabalhos futuros. A base técnico-científica desta modelagem possivelmente será aplicada em outros projetos, formando um banco de dados mais consistente e confiável.

3.1 Localização da área de estudo

O município de Santa Luzia é um dos 51 municípios integrantes da bacia do Rio das Velhas. Situada a 27 km de Belo Horizonte, a cidade está localizada de forma estratégica na Região Metropolitana de Belo Horizonte, próxima aos aeroportos de Confins e da Pampulha.

Com uma área de 234,52 km², localiza-se na porção sudeste do estado de Minas Gerais, sendo parte integrante da microrregião de Belo Horizonte. A cidade tem como vizinhos limítrofes os municípios de Lagoa Santa, Jaboticatubas, Taquaraçu de Minas, Sabará, Belo Horizonte e Vespasiano.

A delimitação da área de estudo foi baseada na contratação de um aerolevante realizado por uma empresa de engenharia (Esteio Engenharia e Aerolevantes S.A), que elaborou uma nova cartografia urbana da cidade de Santa Luzia, sendo o primeiro passo para implantação do Sistema de SIG pretendido pela prefeitura.

Com a adoção de uma nova base cartográfica associada a um sistema de informações geográficas, além de facilitar o acesso das informações por parte de todas as entidades da prefeitura, tais como secretarias e autarquias, permitiu que a própria prefeitura fizesse alterações no seu banco de dados.

A FIG. 04 apresenta a localização do município de Santa Luzia em relação à área de estudo e ao estado de Minas Gerais.

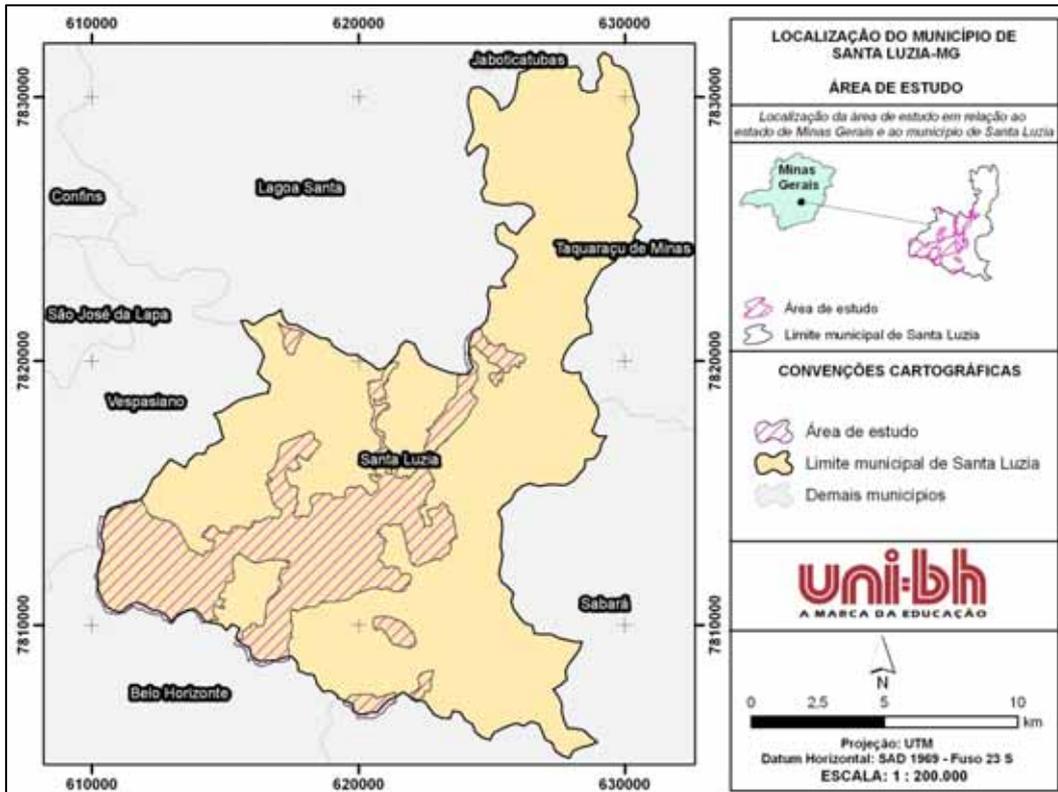


Figura 04 – Localização da área de estudo em relação ao estado de Minas Gerais e ao município de Santa Luzia.

Fonte: O autor, 2012.

4. METODOLOGIA

A metodologia para construção do Mapa das Áreas Susceptíveis as Enchentes no Complexo Urbano do município de Santa Luzia – MG baseou-se nos trabalhos de SANTOS et. al. 2010.

O trabalho desenvolvido por SANTOS et. al, baseou-se na álgebra de dados cartográficos georreferenciados para realização de um mapeamento de risco de enchentes para o distrito de Aracê, município de Domingos Martins, Espírito Santo. Para tal, o autor utilizou dados de altitude, uso do solo, tipos de solo e declividade.

4.1 A modelagem ambiental – O uso da ferramenta *Weighted overlay*

A ferramenta *Weighted overlay* é uma técnica na qual se aplica uma escala de valores comuns a fatores diversificados, de forma a se criar uma análise integrada.

A análise dos problemas geográficos exige muitas vezes a ponderação de muitos fatores e este modelo facilita a sua apreciação e ponderação integrada, pois se utiliza a sobreposição de mapas em formato matricial (*Raster*).

Permite, ainda, uma análise diferenciada da influência de cada feição no resultado final, fator extremamente relevante, uma vez que na realidade nem todas possuem a mesma importância para a compreensão do problema.

Desta forma a ferramenta *Weighted Overlay* permite ter em consideração os diversos fatores analisados, assim como, as diversas relações entre eles.

Para exemplificar a análise multicriterial de influências, abaixo é apresentado a FIG. 05.

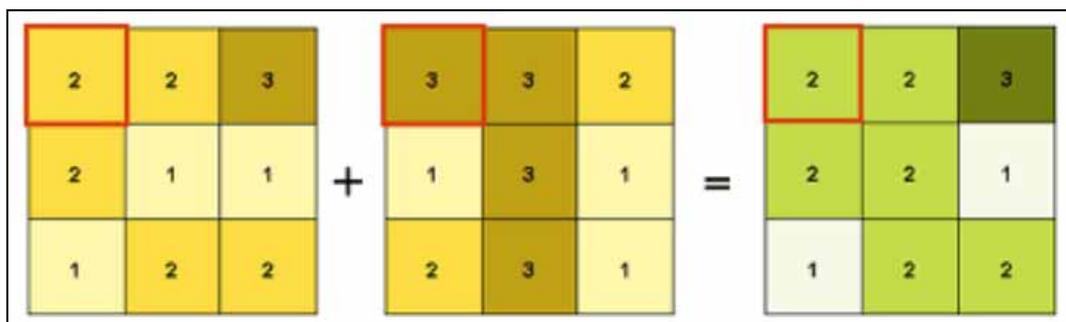


Figura 05 - Exemplo da sobreposição ponderada usado no sistema do ArcGis 9.3.
Fonte: PEDROSA, A. S. et. al. (2010)

Os dois *rasters* de entrada acima foram reclassificados para uma escala de avaliação de 1 a 3. Para cada quadrícula foi atribuída uma influência percentual. A influência da primeira quadrícula é de 75%, enquanto que a segunda é de 25 %.

Os valores das células são multiplicados pelas suas percentagens de influência, depois somados de forma a criar a varredura de saída. Pode-se tomar como exemplo a célula superior esquerda de forma a se perceber melhor a operação que o modelo realiza: Assim $(2 * 0,75) = 1,5$ e $(3 * 0,25) = 0,75$. A soma de 1,5 e 0,75 é 2,25. Como em termos de resultado final o *raster* só aceita valores inteiros, então arredonda-se o resultado final para 2.

O modelo proposto neste trabalho visa agregar outros valores seguindo a mesma linha de raciocínio, porém, com utilização de outras fontes de dados, sendo: topografia via perfilamento laser, uso e ocupação do solo através de imagens de satélite de alta resolução, informações de campo realizadas pela prefeitura local, entre outros. Desta forma, acredita-se que o modelo deste trabalho será mais próximo da realidade, pois os dados georreferenciados foram obtidos por vistorias de campo, sendo então mais confiáveis e precisos.

A FIG. 06 abaixo apresenta o fluxograma metodológico proposto para o mapeamento das áreas susceptíveis às enchentes no município.

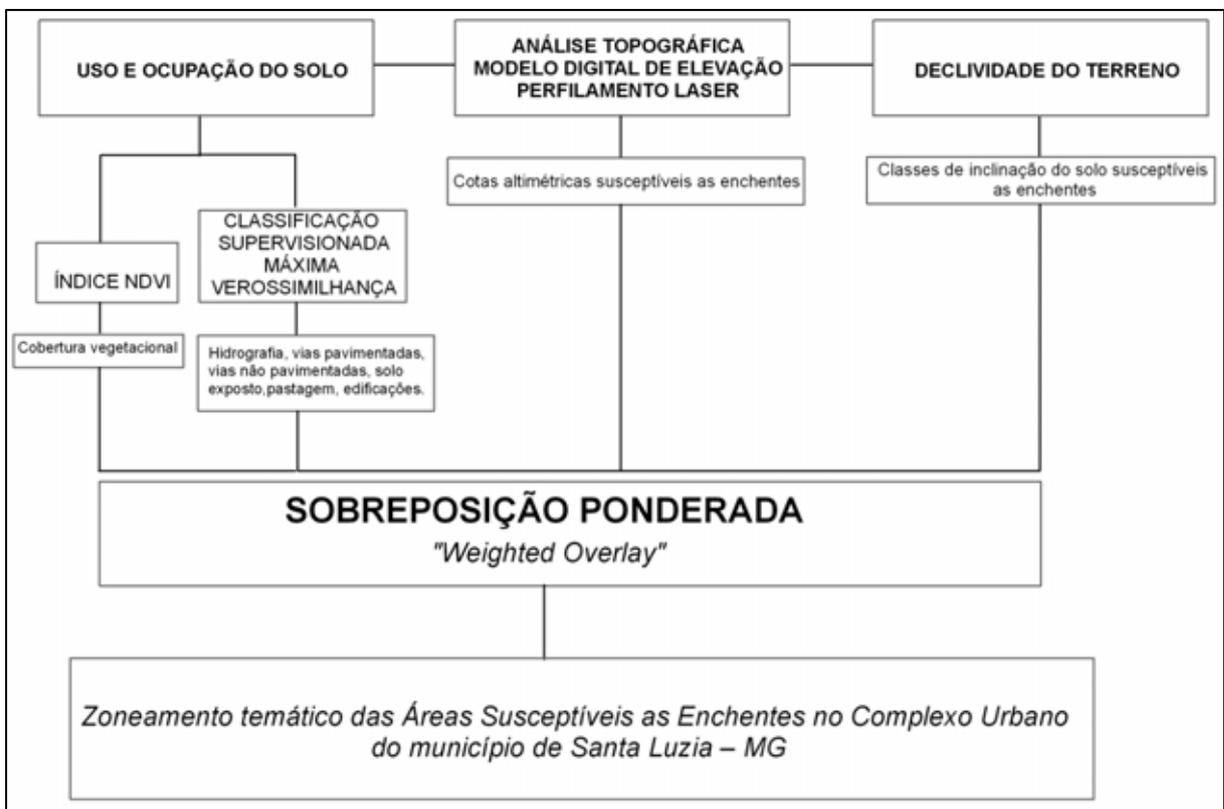


Figura 06 – Fluxograma proposto para o mapeamento das áreas susceptíveis as enchentes.
 Fonte: O autor, 2012.

4.2 Coleta de dados

Para realização dos trabalhos de modelagem ambiental para o complexo urbano do município de Santa Luzia, foi feita uma consulta prévia junto à prefeitura, especificamente ao setor de zoneamento urbano. No local, foi possível obter um **Modelo Digital de Elevação – MDE em formato matricial (RASTER)** através de curvas de nível metro a metro, obtidas via Perfilamento Laser do ano de 2006. Tal

modelo possibilitou a extração de outras informações plausíveis à elaboração do mapeamento de áreas susceptíveis às enchentes, que são apresentadas no decorrer deste trabalho.

Após a coleta das informações qualitativas e quantitativas, realizou-se uma seleção dos dados pertinentes à execução do trabalho, bem como um pré-mapeamento com objetivo de se iniciar as análises estatísticas através do uso de *softwares* específicos de geoprocessamento e sensoriamento remoto.

Buscou-se também, a aquisição gratuita de imagens do satélite *RapidEye* (resolução espacial de 5 metros) junto ao governo do estado de Minas Gerais para elaboração do mapeamento do Uso e Ocupação do Solo do município.

4.3 Preparação da base cartográfica e temática

Para a execução do trabalho foram utilizadas tecnologias de Sistemas de Informações Geográficas, que podem ser definidos como "Sistemas de informações baseadas em computador que permitem a captura, modelagem, manipulação, recuperação, análise e apresentação de dados georreferenciados" (Worbois, 1995).

Para organizar, manipular e correlacionar as informações, foram utilizados três *softwares*: *ArcGIS 9.3*, *Erdas Imagine 9.3* e *Global Mapper 12.0*. Cada *software* tem propriedades distintas que se destacam e influenciam na decisão de utilizá-lo.

O *ArcGIS* é um dos melhores *softwares* do mercado para cruzamento e manipulação de dados espaciais, já o *Erdas Imagine* tem funções específicas para tratamento de imagens, e o *Global Mapper*, por sua vez, é utilizado por apresentar facilidades na conversão dos arquivos vetoriais e matriciais para diversos outros formatos.

4.4 Base cartográfica proposta para o trabalho

As seguintes bases foram utilizadas para elaboração da modelagem ambiental:

•**Uso e Ocupação do Solo:** utilização da técnica de *Classificação Supervisionada* com as imagens do satélite *RapidEye* (resolução espacial de 5m), com as seguintes feições pré-estabelecidas: *Hidrografia, Áreas edificadas, vias pavimentadas, vias não pavimentadas, pastagens e solo exposto;*

•**Utilização do Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (Índice NDVI):** utilização da técnica para extração da cobertura vegetal com as bandas do vermelho e infravermelho próximo das imagens do satélite *RapidEye* (resolução espacial de 5m);

•**Modelo Digital de Terreno:** classificação das áreas naturalmente propícias as enchentes pelas curvas de nível metro a metro – Perfilamento Laser, faixas de cotas altimétricas (SANTOS et. al, 2010);

•**Mapeamento de Declividades:** relacionar as classes de declividade (através do Modelo Digital de Terreno) de acordo com a metodologia utilizada por SANTOS et. al. 2010 para o mapeamento das Áreas Susceptíveis as enchentes;

A escolha das bases cartográficas baseou-se na qualidade dos dados cartográficos. O Uso e Ocupação do Solo extraído através das bandas espectrais do satélite *RapidEye* possibilitou uma boa precisão de mapeamento com menor índice de confusão de classes. Concomitantemente a isso, destaca-se a utilização e tratamento das informações do aerolevanteamento laser, no qual foi possível obter um Modelo Digital de Elevação conciso (metro a metro), bem como um mapeamento de declividades adequado à proposta deste trabalho.

Após a reclassificação das variáveis ambientais e determinação dos pesos estatísticos do modelo, elaborou-se o mapeamento de risco de enchente para o município de Santa Luzia – MG, que teve como resultado um mapa com as seguintes **classes de risco de enchentes** SANTOS et. al. 2010:

- *Baixo-baixíssimo risco;*
- *Médio-baixo risco;*

- *Alto-médio risco;*
- *Altíssimo-alto risco.*

5. REFERENCIAL TEÓRICO

5.1 Geoprocessamento aplicado ao meio ambiente

Geoprocessamento é uma área do conhecimento em que diversos tipos de informações geográficas são processados por meio de técnicas matemáticas e computacionais.

O Sistema de Informação Geográfica (SIG) é uma ferramenta do geoprocessamento, através da qual são geradas informações por meio da análise e integração de dados geográficos. Tais dados permitem a criação de diferentes mapas temáticos, onde vários tipos de informações podem ser sobrepostos e interpretados.

Segundo ALVES et al. 2005, o uso de Sistemas de Informações Geográficas e as técnicas de Análise Espacial compõem a base ferramental de integração e de construção de medidas para auxiliar o desenvolvimento urbano. As ferramentas de geotecnologias podem ajudar no ponto de vista gráfico, mostrando, neste caso, os possíveis locais susceptíveis às enchentes no complexo urbano do município.

O conceito de *Geoprocessamento* é amplo. Entre as diversas significações, SILVA 2009, p.42, conceitua geoprocessamento como:

A geração da informação pela integração racional dos dados ambientais pode ser denominada geoinclusão. No Geoprocessamento são tratados enormes volumes de dados, exigindo técnicas computacionais e disponibilização dos atributos geotopológicos, para fins de análises, sínteses e utilização imediata no planejamento ambiental e na gestão territorial.

Tornam-se reveláveis atributos espaciais dos fenômenos, tais como: localizações sistemáticas ou eventuais; extensões de ocorrência e respectivos níveis diversos de intensidade; formas e padrões de distribuição espacial; níveis de proximidades

geográficas, de tempo e de custo; relacionamentos hierárquicos e funcionais de inúmeras naturezas, a serem usados em classificações ambientais, em simulações sinérgicas e na elaboração de cenários prospectivos.

Assim:

O Geoprocessamento é um conjunto de conceitos, métodos e técnicas que, atuando sobre bases de dados georreferenciados, por computação eletrônica, propicia a geração de análises e sínteses que consideram, conjugadamente, as propriedades intrínsecas e geotopológicas dos eventos e entidades identificados, criando informação relevante para apoio à decisão quanto aos recursos ambientais (SILVA, 2009, p. 43).

O conceito de *modelagem ambiental* é parte integrante de um sistema de informações geográficas.

Chorley e Hagget (1967, p. 11) definem modelo como “a estruturação simplificada da realidade que, supostamente, apresenta características e relações importantes”. Segundo eles, “o modelo pode ser visto como uma teoria, uma lei, uma hipótese, uma ideia estruturada, uma relação, uma função ou equação, uma síntese de dados ou argumentos do mundo real”.

Os modelos são criados a partir da observação de uma pessoa ou de um grupo com objetivos e interesses semelhantes. Assim, pode-se dizer que todos os modelos carregam consigo uma faceta subjetiva. A realidade é representada conforme o ponto de vista e o interesse de estudo desse pesquisador e, por isso, sua estruturação busca aspectos selecionados da “teia de realidade”.

Essa teia, também compreendida como as variáveis que compõem os sistemas, não estão somente agregadas, mas sim correlacionadas. As combinações dessas variáveis buscam respostas sobre o funcionamento do sistema.

Um modelo que apresenta a característica de seletividade é aquele que, entre uma enorme gama de informações, escolhe com quais variáveis irá trabalhar para conseguir chegar a uma resposta sem muita informação desnecessária, como também defende Sayão (2001, p. 85):

Os modelos podem ser considerados como aproximações seletivas que, pela eliminação de detalhes acidentais, permitem o aparecimento de alguns aspectos fundamentais relevantes ou interessantes do mundo real sob alguma forma generalizada.

Os modelos devem ser simples para compreensão, mas não tão generalizados a ponto de perderem informações importantes do âmbito da realidade. O valor de um modelo está relacionado com o seu grau de abstração, uma vez que os exemplares de maiores sucessos possuem alta probabilidade de aplicação. São específicos para uma área, mas se encaixam em diversos contextos:

Por serem os modelos diferentes do mundo real, são então analogias que permitem reformular o conhecimento sobre alguns aspectos do mundo real em uma forma mais familiar, simplificada e acessível, observável e facilmente formulada ou controlável, da qual se podem tirar conclusões que, por sua vez, possam ser aplicadas no mundo real. A reaplicação é um pré-requisito dos modelos nas ciências empíricas. (Souza e Dodebei, 1993, p. 13).

A bacia hidrográfica, como unidade territorial para gestão ambiental, constitui-se num sistema natural regido e subordinado pela força gravitacional que a delimita nos divisores de água por meio dos fluxos de energia e massa. Essa unidade territorial é entendida como um sistema aberto.

Porém, quando se estabelece os limites superficiais para a gestão ambiental, com base em determinados processos naturais, como escoamentos superficiais, deflúvios e transporte de sedimentos, ou antropogênico, como poluição e desmatamento, a bacia hidrográfica não se configura como um sistema fechado e pode não ser o limite de confinamento dos processos e problemas ambientais.

Segundo Tucci, (2004), as principais condições naturais para ocorrência de enchentes são: o relevo, tipo de precipitação, a cobertura vegetal e a capacidade de drenagem. Já as principais condições artificiais são as obras hidráulicas, a urbanização, os desmatamentos, o reflorestamento e o uso agrícola.

Com isso, embora o objetivo do modelo seja criar um sistema sintético de representação do mundo conforme uma perspectiva é necessária utilizar uma linguagem universal, tanto pela compreensão das fontes linguísticas externas como pela fabricação interna de novas palavras para que o sistema se torne compreensível para todos os tipos de usuários e comportamentos.

A relação entre esses dois conjuntos de ocorrências, de criação e concepção de fontes para a geração de uma linguagem universal, constitui as regras semânticas ao serem memorizadas por este sistema.

5.2 Modelagem ambiental – ferramenta *Weighted overlay*

Este sistema de sensoriamento remoto ativo utiliza plataformas aéreas (aeronave, helicópteros) para obter dados a respeito da altura dos objetos e da superfície do terreno utilizando feixes de *LASER* (*LASER–Light Amplification by Stimulated Emission of Radiance*) (WEVER et al., 1999).

O princípio básico de funcionamento deste sistema é a obtenção de registros contínuos de coordenadas espaciais, as quais constituem os elementos primários para modelagem do terreno e geração de um mapa topográfico derivado destas informações. Durante o levantamento, o sistema emite pulsos *LASER* em determinada frequência, que são dirigidos para o solo por meio de um conjunto ótico móvel.

O sistema faz uma varredura da superfície do terreno abaixo da aeronave e registra a distância até o solo para cada um dos pulsos emitidos, sendo registrada também a posição inercial do conjunto, de modo a se conhecer a inclinação de cada feixe em relação à vertical do lugar. Estes sistemas dependem basicamente da detecção de luz refletida em uma superfície natural ou artificial.

Uma das principais características do sistema é a medição do primeiro e do último retorno de cada pulso, além da detecção de reflexões múltiplas oriundas de objetos pequenos como fios e cabos suspensos acima do solo. Um mesmo pulso pode atingir vários objetos em seu trajeto até a superfície levantada. Sendo assim, o ponto mais próximo ocasionará um retorno mais rápido (*first pulse*). Já o ponto mais distante ocasionará um retorno mais demorado (*last pulse*) (FIG. 07).

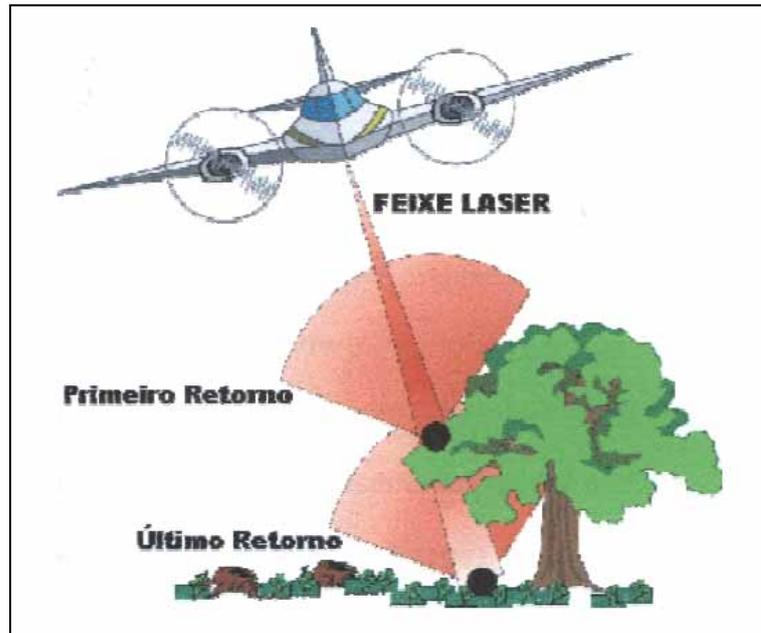


Figura 07 - Reflexão do primeiro e último retorno
 Fonte: Adaptado de IPF/TU, Viena (2003) por BRANDALIZE, M. C (2004)

6. ANÁLISE DOS DADOS E RESULTADOS

Para realização das análises dos dados, primeiramente, adotou-se o um tamanho padrão de cada pixel (5 metros), uma vez que a resolução espacial das bandas multiespectrais é de 5 metros para imagens do satélite *RapidEye*.

6.1 Classificação das variáveis ambientais

Todos os atributos das feições envolvidas na execução deste trabalho foram modelados conforme o QUADRO 01, no qual é possível verificar o grau de susceptibilidade de ocorrência de enchentes para cada item.

Quadro 01 – Grau de susceptibilidade de enchentes

SUSCEPTIBILIDADE AS ENCHENTES	NOTAS	GRAU DE SUSCEPTIBILIDADE
Menos susceptível	0	Menos susceptível ↓ Mais susceptível
Mais susceptível	10	

Fonte: Santos et. al, 2010.

6.2 Índice NDVI

O Índice de Vegetação por Diferença Normalizada, ou NDVI, proposto por Rouse et al. (1974), tem sido amplamente utilizado em estudos globais como um discriminador de vegetação, porque pode ser facilmente correlacionado a determinados parâmetros de vegetação, tais como fitomassa, área foliar, produtividade, atividade fotossintética, porcentagem de cobertura verde, entre outros (Elvidge e Chen, 1995). Dados de satélites obtidos a partir de índices de vegetação tais como o NDVI, podem ser correlacionados com outros dados como, por exemplo, porcentagem de cobertura vegetal (Asrar *ET al.*, 1989; Baret e Guyot, 1991).

Este índice tem sido amplamente utilizado em várias aplicações operacionais, incluindo mapeamentos, classificação do uso da terra, detecção de mudanças e monitoramento ambiental (CIHLAR *et al.*, 1997; TUCKER, TOWNSHEND, e GOFF, 1985). É um importante parâmetro para muitos tipos de análise em diferentes níveis de abrangência como local, regional e global (PETERSON *et al.*, 1988). Trata-se de um índice muito simples, resultante da diferença entre a reflectância do **infravermelho próximo** (p_{nir}) e reflectância do **vermelho** (p_{red}), dividida pela soma das duas reflectâncias respectivamente (TOWNSHEND *et al.*, 1994).

$$NDVI = \frac{(p_{nir} - p_{red})}{(p_{nir} + p_{red})}$$

A equação é usada no cálculo do NDVI e é aplicada diretamente sobre cada par de pixels nas bandas do vermelho e infravermelho próximo, produzindo um valor (razão simples) pertencente ao intervalo de -1 a +1. Quanto mais próximo do +1, maior é a certeza de estar se tratando de um pixel de vegetação. Altos valores do índice indicam maior presença de vegetação.

Embora numericamente os valores do NDVI possam variar no intervalo acima mencionado, a vegetação está associada aos valores positivos. Conforme Ponzoni e Shimabukuro (2007) o limite superior aproxima-se de 0,80, que, de acordo com Silva et al. (2007), está associado a vegetação vigorosa. Materiais que refletem mais intensamente na porção do vermelho em comparação com o infravermelho próximo (nuvens, água, neve) apresentam índice negativo.

A seguir, é apresentado o QUADRO 02 com as bandas e faixas espectrais do satélite *RapidEye*.

Quadro 02 - Faixas espectrais x bandas do satélite *RapidEye*

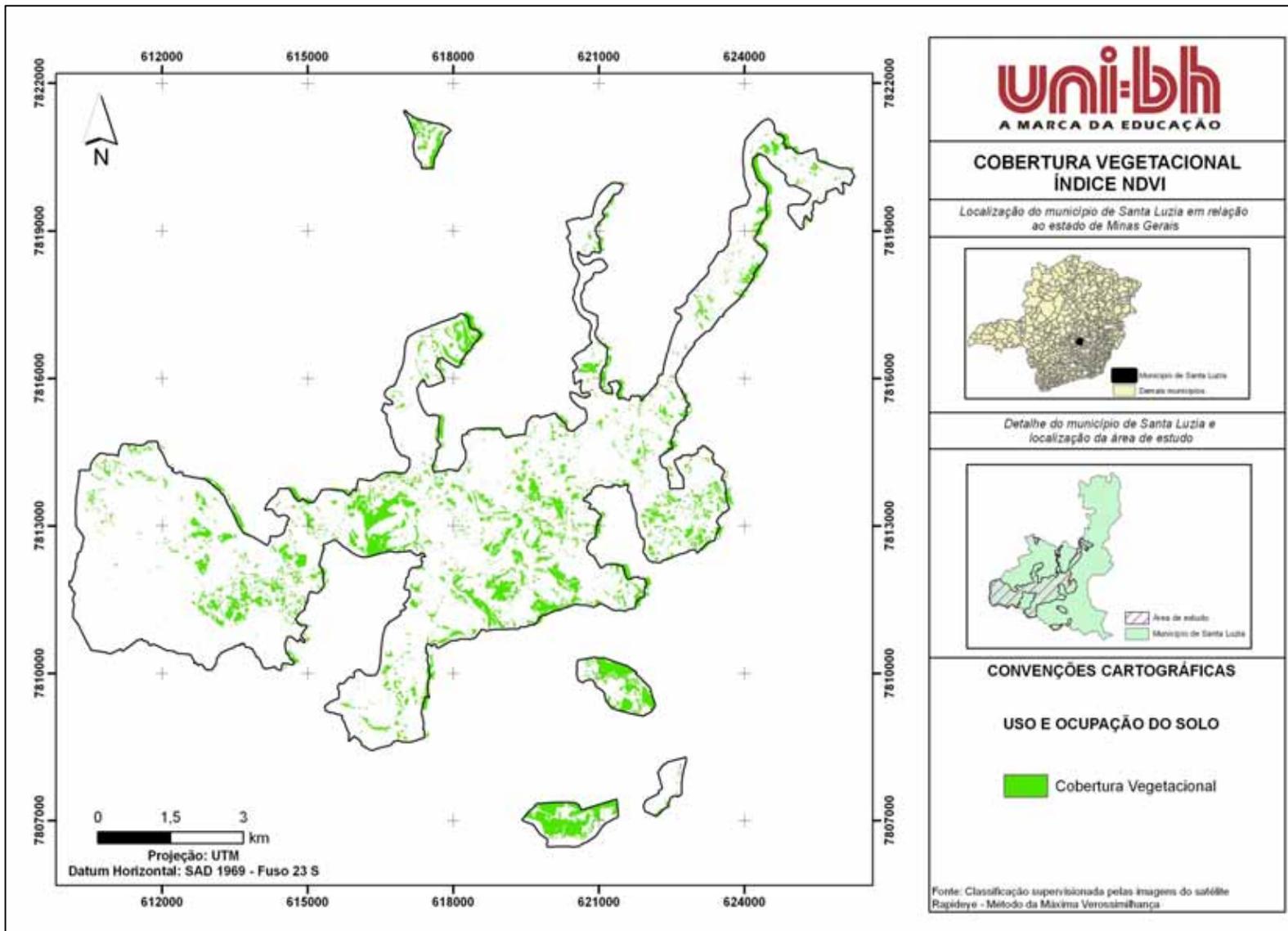
Sistema RapidEye	
Faixa espectral	Banda
440 – 510 μm	<i>Azul</i>
520 – 590 μm	<i>Verde</i>
630 – 685 μm	<i>Vermelho</i>
690 – 730 μm	<i>Red-Edge</i>
760 – 850 μm	<i>Infravermelho próximo</i>

Fonte: RAPIDEYE AG.
Disponível em: <<http://www.rapideye.de/>>.

Para determinação do Índice NDVI, utilizou-se a ferramenta *Raster Calculator*, com a seguinte fórmula:

$$\text{Float}([\text{Band_5}] - [\text{Band_3}]) / \text{Float}([\text{Band_5}] + [\text{Band_3}])$$

Para os fins de mapeamento vegetacional deste trabalho, adotou-se o **valor máximo do Índice NDVI**. Posteriormente, converteu-se para o formato vetorial (*shapefile*). O resultado do mapeamento é apresentado na FIG. 08 abaixo:



6.3 Uso e ocupação do solo

A classificação do Uso e Ocupação do solo consistiu na utilização da técnica de *Classificação Supervisionada* com o método da *Máxima Verossimilhança (Maximum Likelihood Classification)* com a composição natural do satélite *RapidEye*.

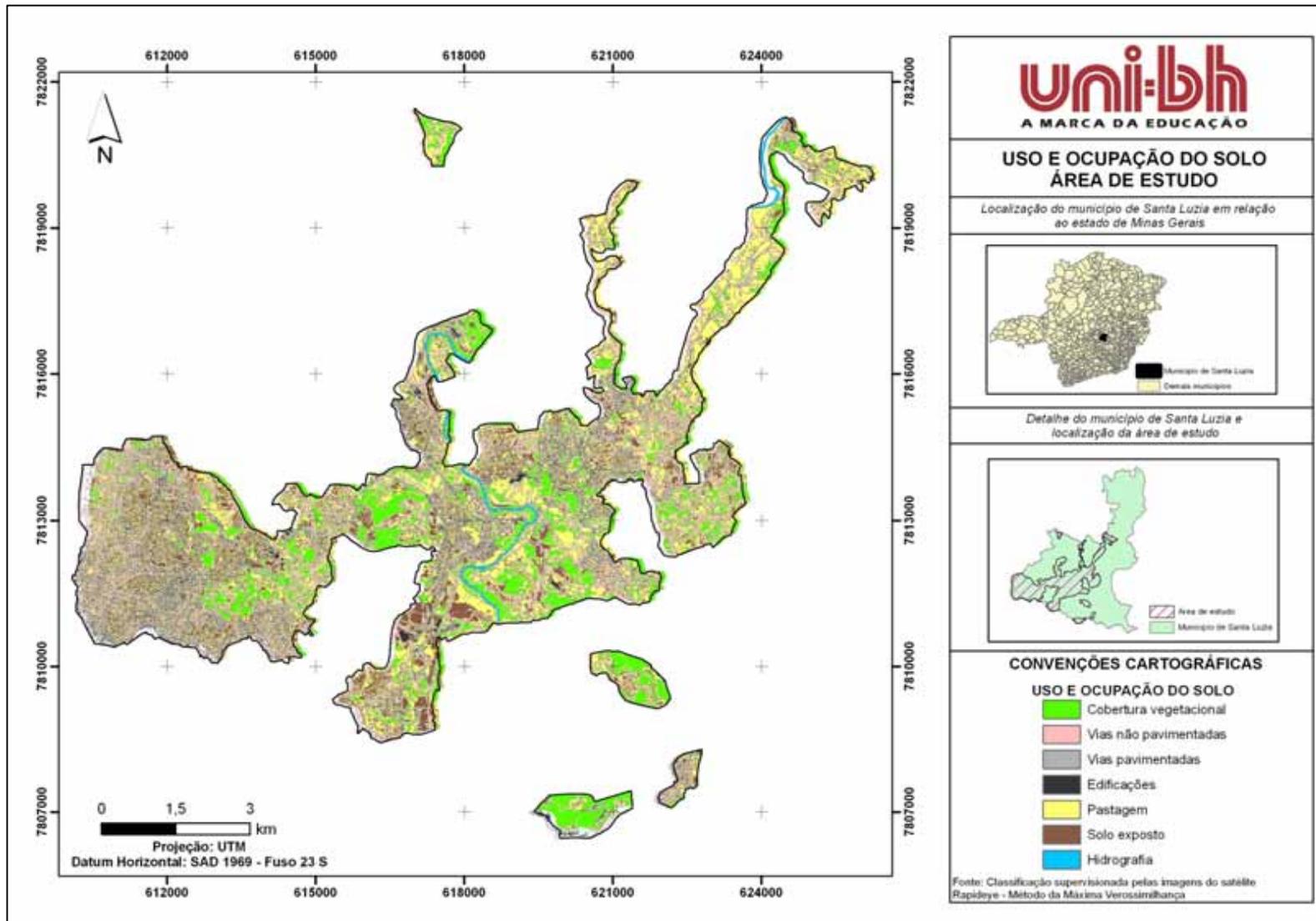
Foram estabelecidas as seguintes feições: *Hidrografia, Áreas edificadas, vias pavimentadas, vias não pavimentadas, pastagens e solo exposto*.

Para cada atributo, utilizou-se o mesmo número de amostras, prioridade de classificação equivalente, tamanho fixo em 10.000 m² (1 hectare) e com índice de confiança de 90% para treinamento do classificador semiautomático (FIG. 09).



Figura 09 – Amostra de 1 hectare para treinamento do classificador.
Fonte: O autor, 2012.

Os resultados do processamento do classificador são identificados na FIG. 10 abaixo:



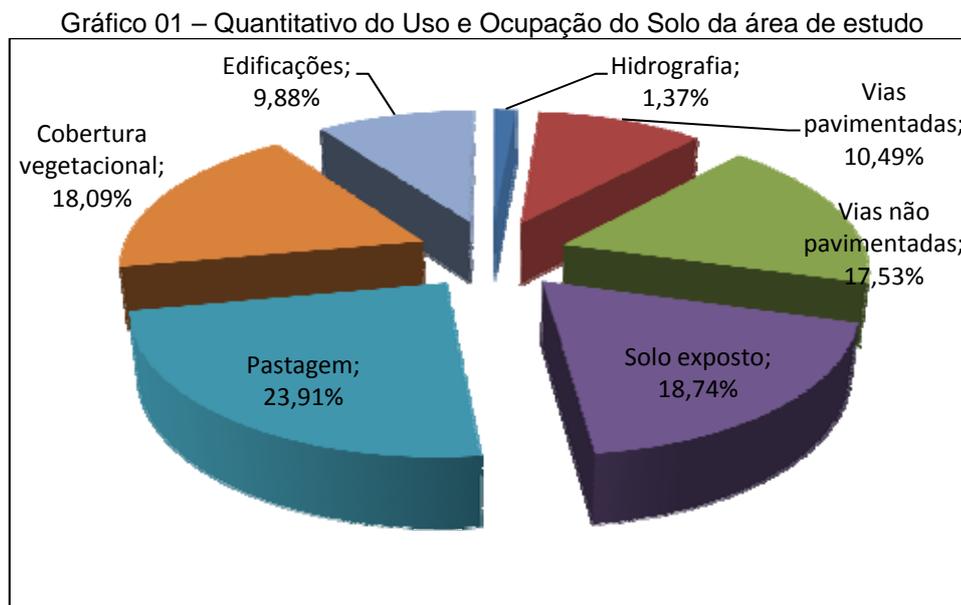
A seguir é apresentado o QUADRO 03 com os pesos estatísticos para reclassificação de cada atributo da feição *Uso e Ocupação do Solo*.

Quadro 03 – Distribuição dos pesos estatísticos para o Uso e Ocupação do Solo.

Uso e Ocupação do Solo	Peso estatístico
Vegetação	3
Vias não-pavimentadas	4
Vias pavimentadas	5
Edificações	6
Pastagem	8
Solo exposto	9
Hidrografia perene	10

Fonte: adaptado de SANTOS et. al, 2010.

Após a classificação supervisionada, foi possível extrair as informações quantitativas quanto ao *Uso e Ocupação do Solo* para área de estudo (GRÁFICO 01).



Fonte: Classificação supervisionada (Máxima Verossimilhança)

Ao analisar o gráfico acima, constata-se que a *Pastagem* e o *Solo exposto* são as coberturas de maior relevância, com 23,91% e 18,74%, respectivamente. A grande quantidade de *Pastagem* é justificada pelas grandes áreas rurais na região nordeste da área de estudo (zonas Barreiro do Amaral, Santa Helena e Casa Branca).

As atividades agropastoris nas imediações do rio das Velhas também são muito comuns. A vegetação ciliar antes existente foi substituída por grandes áreas de pasto para criação de gado.

O *Solo Exposto* é marcante na região sul, uma vez que trata-se de uma localidade de grandes empreendimentos industriais, de beneficiamento de ferro/calcário e empreendimentos ferroviários inseridos nas imediações da Avenida das Indústrias. Os aterros de *Resíduos Sólidos Classe A - Construção Civil* também são muito comuns às margens do rio das Velhas, fato que compromete a qualidade ambiental.

O que em tese seria uma **Área de Preservação Permanente**, atualmente são ocupadas por estes tipos de empreendimentos, que **potencializam o risco de enchentes nas áreas topograficamente mais planas, imediatamente à jusante.**

Os leitos menores, maiores, os diques marginais e terraços, bem como vegetações ciliares, anteriormente existentes, foram substituídos por “pontas de aterro”. Este tipo de atividade traz como consequência a modificação da topografia original, assoreamento dos cursos d’água, aumento do risco de deslizamentos, desastres naturais, entre outros.

6.4 Modelo digital de terreno – perfilamento laser

O Perfilamento a Laser é uma tecnologia que possibilita a obtenção de informações altimétricas de um determinado local, permitindo o reconhecimento de volumes que se projetam acima da superfície, como edificações, vegetação, torres, linhas de transmissão, etc.

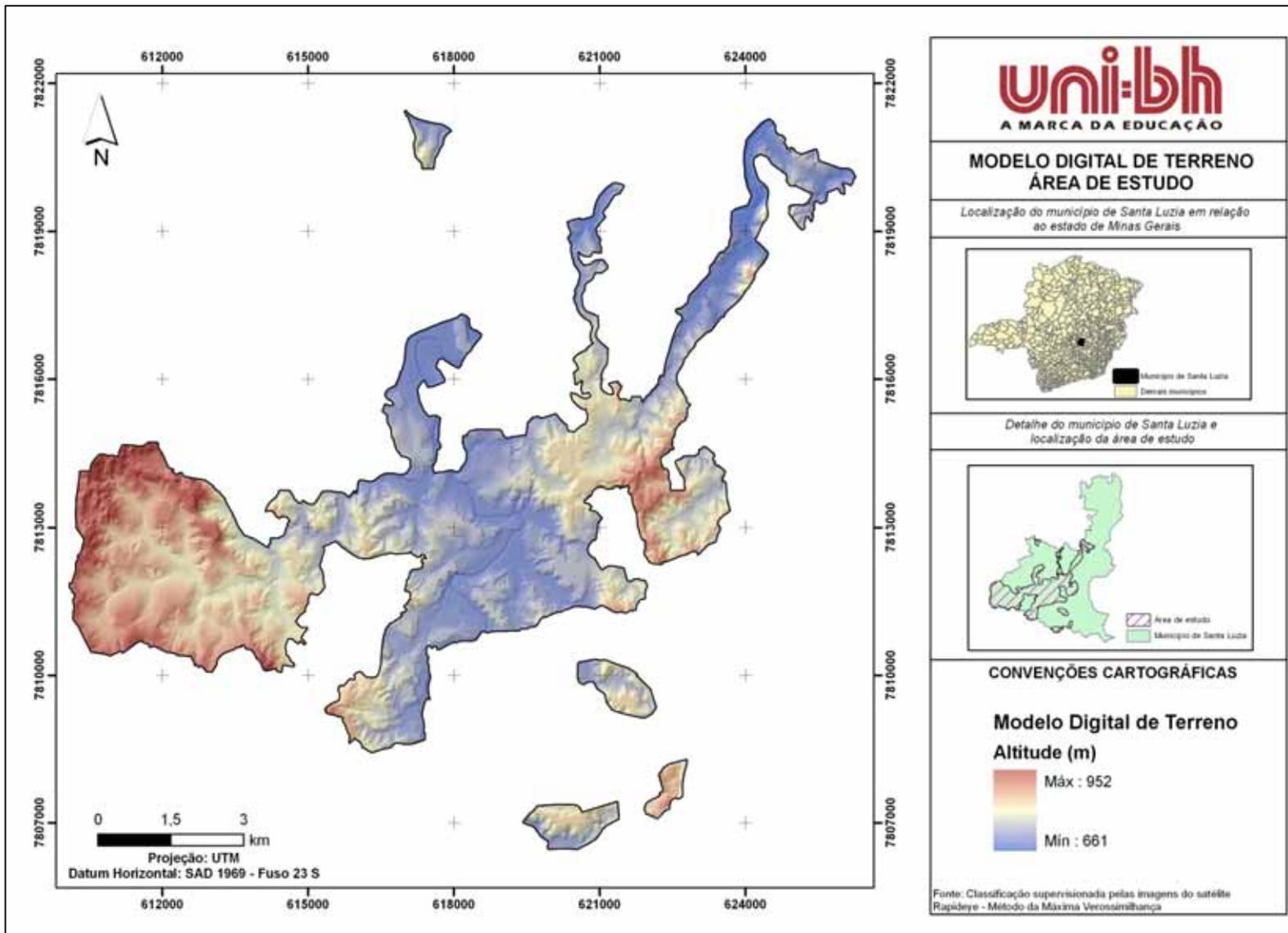
O levantamento da feição altimétrica do terreno, em substituição aos métodos topográficos tradicionais (técnicas de nivelamento geométrico, levantamento de perfis), justifica-se por várias razões, que vão desde a economia de recursos financeiros, técnicos e humanos, passam pela precisão e vão até a diminuição do tempo de obtenção e processamento das informações.

A tecnologia permite gerar Modelos Digitais de Elevação (MDE) e Modelos Digitais de Terreno (MDT), com aplicações em mapeamento planialtimétrico básico; curvas de nível; áreas de enchente; declividade do terreno; drenagem do terreno; mapeamentos temáticos das áreas de desmatamento, matas nativas e reflorestamento; geração de ortoimagens de intensidade e hipsométrica; cálculos volumétricos da vegetação ou do terreno, entre outros (AEROIMAGEM, 2012).

Duas vantagens são marcantes em relação aos processos fotogramétricos convencionais: devido às suas características de operação, o perfilamento a laser é menos influenciado pelas condições atmosféricas adversas como cobertura de nuvens e chuva. Por se tratar de uma luz próxima do espectro visível, interrupções visuais do pulso são os únicos intervenientes no processo. Assim, dias menos ensolarados são até mais propícios para a execução de levantamentos LASER.

Outra vantagem é a rapidez na captação, ou seja, nas operações de campo e pós-levantamento. O processamento dos dados brutos independe de serviços adicionais, uma vez que são exclusivamente numéricos. Nos processos fotogramétricos, o uso de escâner e estações de trabalho são essenciais para a derivação de modelos digitais. No caso do perfilamento a LASER, o processamento dos dados brutos é a única atividade a ser realizada para a obtenção do modelo digital (MUNDOGEO, 2012).

A FIG. 11 apresenta o mapa do Modelo Digital de Terreno proposto para área de estudo.



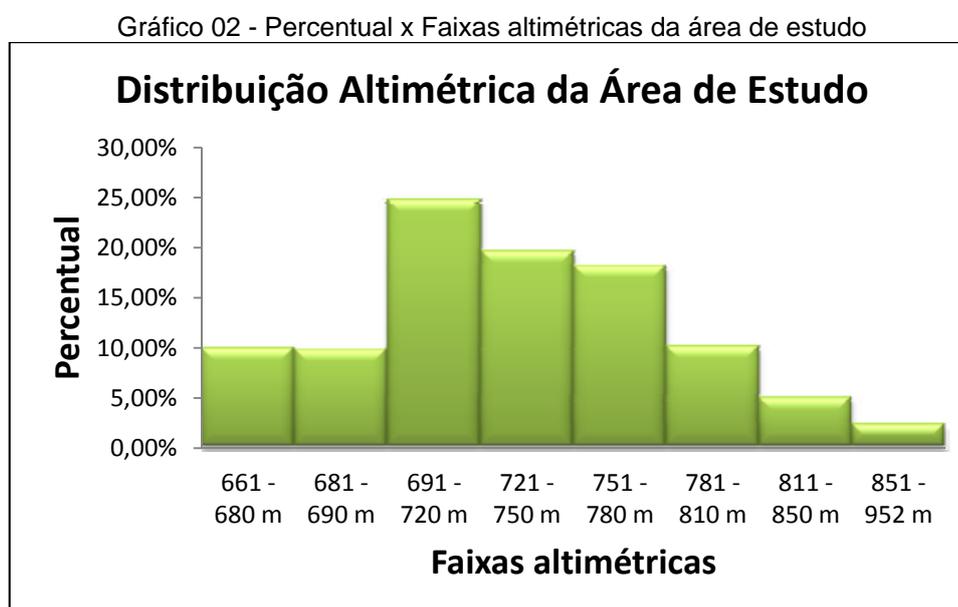
A seguir é apresentado o QUADRO 04 com os pesos estatísticos para reclassificação de cada atributo do Modelo Digital de Terreno:

Quadro 04 – Altitude x pesos estatísticos

Altitude (m)	Peso estatístico
661 - 680	10
681 - 690	9
691 - 720	7
721 - 750	6
751 - 780	5
781 - 810	3
811 - 850	2
851 - 952	1

Fonte: adaptado de SANTOS et. al, 2010.

Após a reclassificação dos pesos estatísticos, foi possível extrair o percentual da distribuição geográfica dos intervalos altimétricos, conforme FIG. 12 apresentada a seguir:



Fonte: O autor, 2012.

Ao analisar o gráfico, as regiões de baixa altitude, mais susceptíveis às enchentes, caracterizadas pelo intervalo de cotas 661 – 690 metros representam 19,80% da área de estudo (bairros Boa Esperança, Ponte Grande, São João Batista, Rio das Velhas, Morada do Rio, Frimisa, Parque Nova Esperança, Barreiro do Amaral e Santa Helena). As regiões de média altitude, entre as cotas 691 – 810 metros,

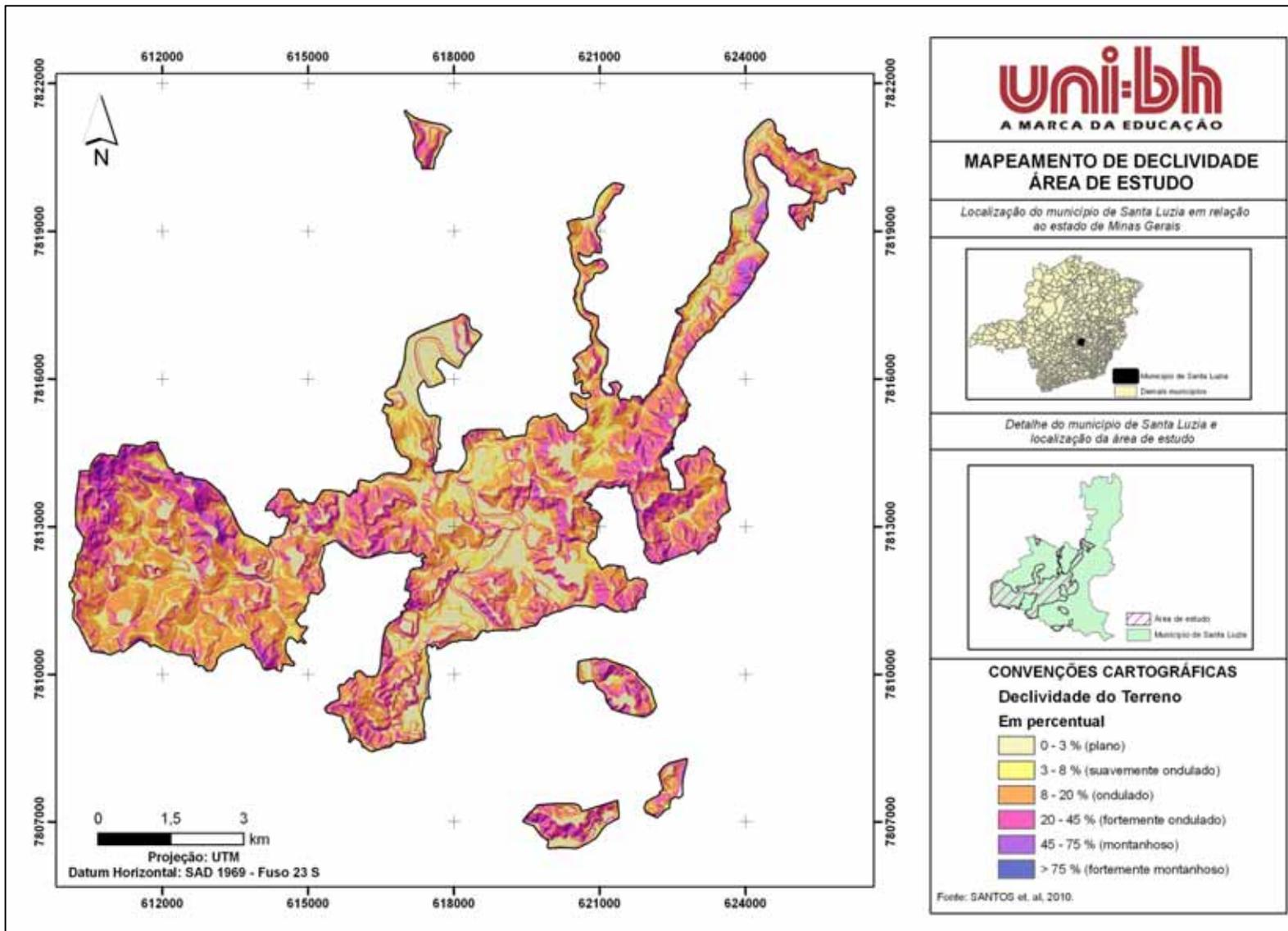
constituem 62,82%, sendo geograficamente concentradas nas zonas central e nordeste.

As regiões de maior altitude, entre as cotas 781 – 952 metros representam 17,38% da área de estudo, concentradas nos bairros integrantes do distrito de São Benedito, bem como nos bairros Vila Capitão Paulo, Vila Palmeiras, Petrópolis e Imperial.

6.5 Mapeamento de declividades

O mapeamento de declividades é outro importante fator para o mapeamento das áreas de risco de enchentes. Quanto maior a declividade de um terreno, maior a velocidade de escoamento, menor o Tempo de Concentração e maior as perspectivas de picos de enchentes.

Para a elaboração do mapa de declividades foi utilizado os dados altimétricos do Modelo Digital de Terreno pelo Perfilamento Laser (FIG. 12).



A seguir é apresentado o QUADRO 05 com os pesos estatísticos para reclassificação de cada atributo do mapeamento de declividades:

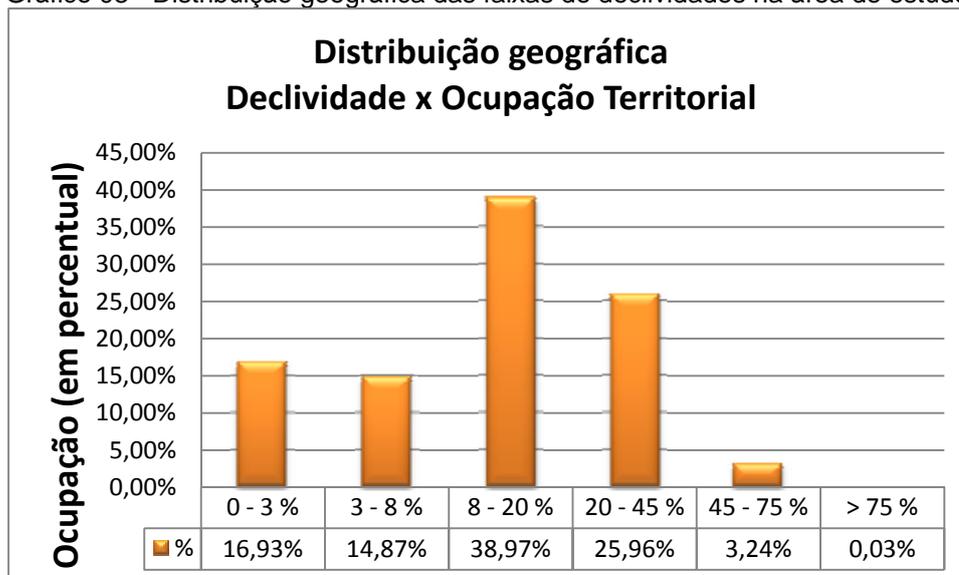
Quadro 05 – Declividades x pesos estatísticos

Declividades	Peso estatístico
0 - 3 %	10
4 - 8 %	9
9 - 20 %	5
21 - 45 %	3
46 - 75 %	1
> 75 %	1

Fonte: adaptado de SANTOS et. al, 2010.

Após a reclassificação dos pesos estatísticos, foi possível extrair o percentual da distribuição geográfica dos intervalos altimétricos, conforme GRÁFICO 03 apresentado a seguir.

Gráfico 03 - Distribuição geográfica das faixas de declividades na área de estudo.



Fonte: O autor, 2012.

Ao analisar o gráfico, as regiões de baixa declividade, mais susceptíveis às enchentes, caracterizadas pelo intervalo de 0 – 8% de inclinação representam 31,80% da área de estudo: bairros Boa Esperança, Ponte Grande, São João Batista, Rio das Velhas, Morada do Rio, Frimisa, Parque Nova Esperança, Barreiro do Amaral e Santa Helena (ver APÊNDICE C). As regiões de média declividade, entre intervalos de inclinação 8 – 45 % abrangem 64,93% da cobertura territorial, sendo

geograficamente concentradas nas zonas oeste, noroeste e nordeste da área de estudo.

As regiões de maior altitude, de declividades maiores que 45% representam 17,38% da área de estudo, concentradas também nos bairros integrantes do distrito de São Benedito, bem como nos bairros Vila Capitão Paulo, Vila Palmeiras, Petrópolis e Imperial.

6.6 *Weighted overlay* (sobreposição ponderada)

A Sobreposição ponderada é uma técnica para aplicar uma escala de medida comum de variadas feições para criar uma análise integrada. Pode-se tomar como exemplo a escolha do local para o desenvolvimento de novas habitações. Para tanto, deve-se avaliar coisas como custo do terreno, proximidade de serviços existentes, na inclinação e frequência das cheias, entre outros.

No âmbito do desenvolvimento de um modelo, foi necessário selecionar os fatores permanentes considerados mais importantes para definir a susceptibilidade do território as enchentes. Assim, levou-se em consideração o Índice NDVI e Uso e Ocupação do Solo, os patamares de cotas altimétricas e a declividade dos terrenos.

O trabalho foi desenvolvido através de técnicas de geoprocessamento, que consistiu basicamente nas etapas de interpolação de dados georreferenciados, reclassificação e sobreposição de *layers*.

6.7 Influência das feições envolvidas no modelo

Após a reclassificação dos pesos estatísticos de cada atributo é preciso definir a influência (em percentual) de cada mapeamento no resultado final. O QUADRO 06 apresenta as definições de influência propostas para a modelagem ambiental.

Quadro 06 - Definições de influência propostas para a modelagem das áreas susceptíveis as enchentes:

Influência (%)	Uso e Ocupação do Solo	Peso estatístico
50%	Hidrografia perene	10
	Solo exposto	9
	Pastagem	8
	Edificações	6
	Vias pavimentadas	5
	Vias não pavimentadas	4
	Vegetação	3
30%	Altitude (m)	-
	661 - 680	10
	681 - 690	9
	691 - 720	7
	721 - 750	6
	751 - 780	5
	781 - 810	3
	811 - 850	2
	851 - 952	1
20%	Declividades	-
	0 - 3 %	10
	4 - 8 %	9
	9 - 20 %	5
	21 - 45 %	3
	46 - 75 %	1
	> 75 %	1

Fonte: do autor, 2012.

O QUADRO 07 apresenta as justificativas das influências e dos seus respectivos atributos :

Influência (%)	Justificativa da Influência	Uso e Ocupação do Solo	Peso estatístico	Justificativa dos atributos
50%	O Uso e Ocupação do Solo para uma região está diretamente relacionada com a probabilidade de ocorrência de desastres naturais. A ocupação mal planejada gera muitas das vezes danos ambientais irreversíveis, com consequências humanas fatais, quando relacionada a susceptibilidade de enchentes em uma determinada área.	Hidrografia perene	10	Regiões de proximidade imediata com os cursos d'água são altamente vulneráveis, pois os leitos menores, leitos maiores, diques marginais e terraços são áreas naturalmente susceptíveis as enchentes.
		Solo exposto	9	O solo exposto favorece a ocorrência de enchentes, pois além de carrear sedimentos e assorear os cursos d'água, confina a água superficial nas suas imediações.
		Pastagem	8	Áreas de pastagem normalmente são destinadas as atividades agropastoris, que aumentam a compactação do solo por pisoteio animal e, por conseguinte, o risco de confinamento hídrico nas áreas de entorno.
		Edificações	6	Áreas edificadas normalmente são locais de baixa permeabilidade do solo, que favorece o aumento da velocidade de escoamento superficial e retenção de água em locais críticos.
		Vias pavimentadas	5	Vias pavimentadas também favorecem a impermeabilização do solo, aumentando a probabilidade de ocorrência de confinamento da água.
		Vias não pavimentadas	4	Vias não pavimentadas também favorecem os processos inundatórios, porém, não aumentam tanto a velocidade de escoamento superficial da água quando comparado com as vias pavimentadas.
		Vegetação	3	A presença de vegetação aumenta a permeabilidade do solo, diminui o assoreamento dos cursos d'água e reduz a velocidade do escoamento superficial, fatores que diminuem as chances de enchentes.
30%	A topografia de uma região é determinante para o conhecimento dos acidentes geográficos e tem grande importância quando da determinação da elevação do terreno, orientações do relevo, dos topos de morro, divisores de água. Quando analisado ao risco de enchentes, é um fator de grande relevância, pois a partir de um bom levantamento topoaltimétrico é possível classificar as áreas topograficamente próximas e afastadas de zonas de recarga hídrica, zonas de cheias, calhas de inundação, entre outros.	Altitude (m)	-	
		661 - 680	10	São classificadas como as áreas topograficamente mais próximas aos cursos d'água perenes, de risco eminente, logo, são as mais vulneráveis as enchentes.
		681 - 690	9	São classificadas como áreas próximas aos cursos d'água, de altíssimo-alto risco, vulneráveis as enchentes.
		691 - 720	7	Também são regiões topograficamente susceptíveis as enchentes, de altíssimo risco, com considerável probabilidade de ocorrências.
		721 - 750	6	São classificadas como regiões bem prováveis a ocorrências de enchentes, de alto risco, com probabilidade de enchentes.
		751 - 780	5	São classificadas com áreas topograficamente afastadas dos cursos d'água, de médio-alto risco, com probabilidade de ocorrência de enchentes.

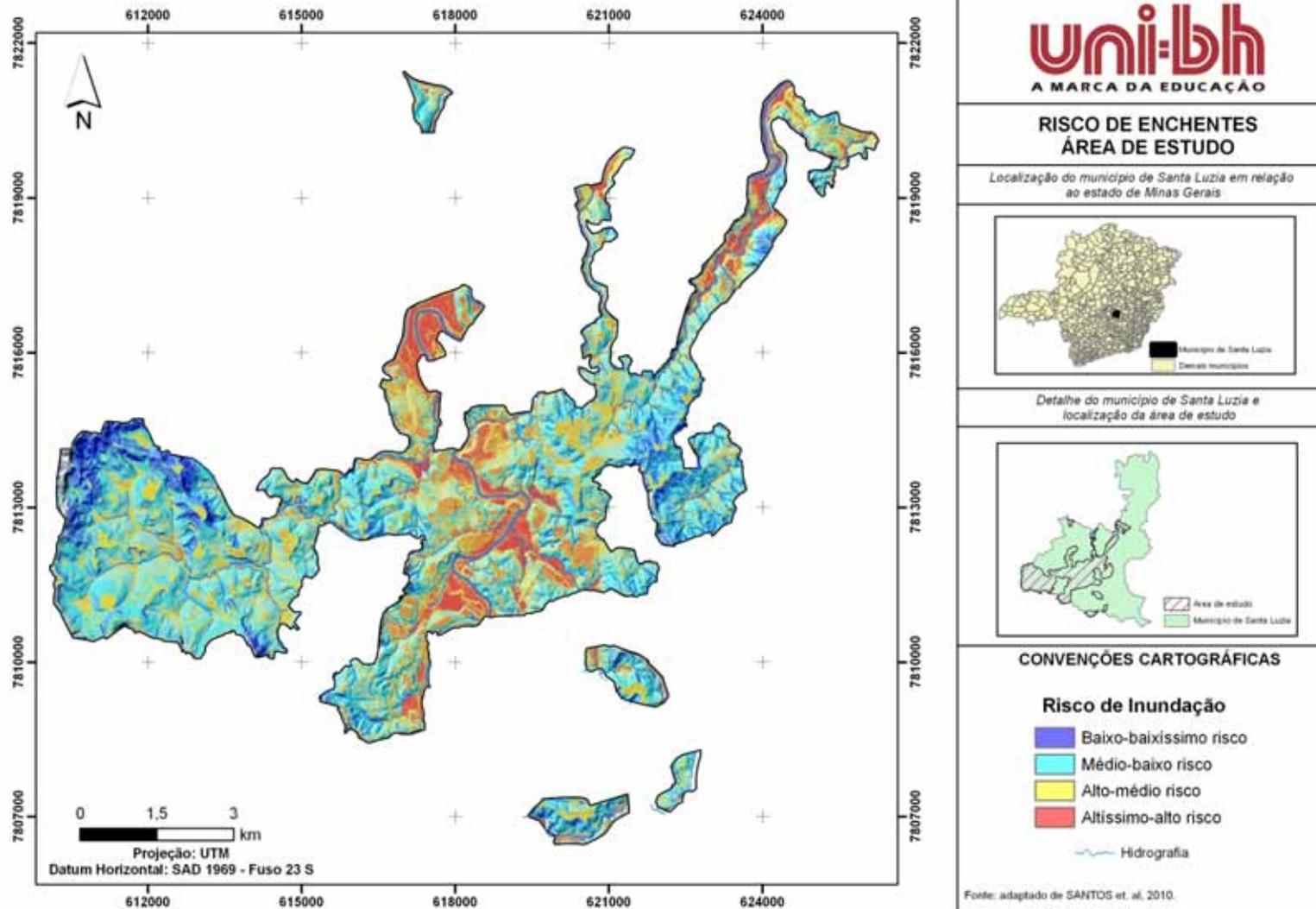
		781 - 810	3	São classificadas com áreas topograficamente afastadas dos cursos d'água, de médio risco, com pouca probabilidade de registro de enchentes.
		811 - 850	2	São classificadas com áreas topograficamente distantes dos cursos d'água, de médio-baixo risco, oferecendo poucos riscos as enchentes.
		851 - 952	1	São classificadas com áreas topograficamente mais distantes dos cursos d'água, de baixíssimo risco, não oferecendo grandes riscos as enchentes.
20%	O mapeamento das declividades é importante para definição dos tipos de relevo, desde os terrenos mais planos, com maior probabilidade de ocorrência de enchentes, quanto aos terrenos mais acidentados, com menor susceptibilidade as enchentes.	Declividades	-	
		0 - 3 %	10	São regiões mais vulneráveis, pois possuem relevo classificado como plano, ou seja, com maior risco de enchentes e retenção hídrica.
		4 - 8 %	9	São áreas de relevo suavemente ondulado, também vulneráveis as enchentes. A probabilidade de retenção de água é eminente.
		9 - 20 %	5	São terrenos de relevo ondulado, com topos de morro definidos. São zonas susceptíveis as enchentes.
		21 - 45 %	3	São classificadas como áreas de relevo fortemente ondulado, com menor probabilidade de acúmulos hídricos, com baixa probabilidade de ocorrência de enchentes.
		46 - 75 %	1	São regiões de relevo montanhoso, com talwegues e divisores de água bem definidos. A probabilidade de ocorrência de enchentes nessas áreas é baixíssima.
		> 75 %	1	São classificadas por terrenos de relevo fortemente montanhoso, com chances mínimas de acúmulos hídricos, com probabilidade remota de registro de enchentes.

Concretizado o processamento das informações, como resultado, obteve-se o mapeamento das zonas de risco de enchentes para o complexo urbano do município de Santa Luzia – MG, com escala de 1 a 10, sendo 1 para menor risco e 10 para maior risco.

As escalas foram reclassificadas para quatro tipos de descrição:

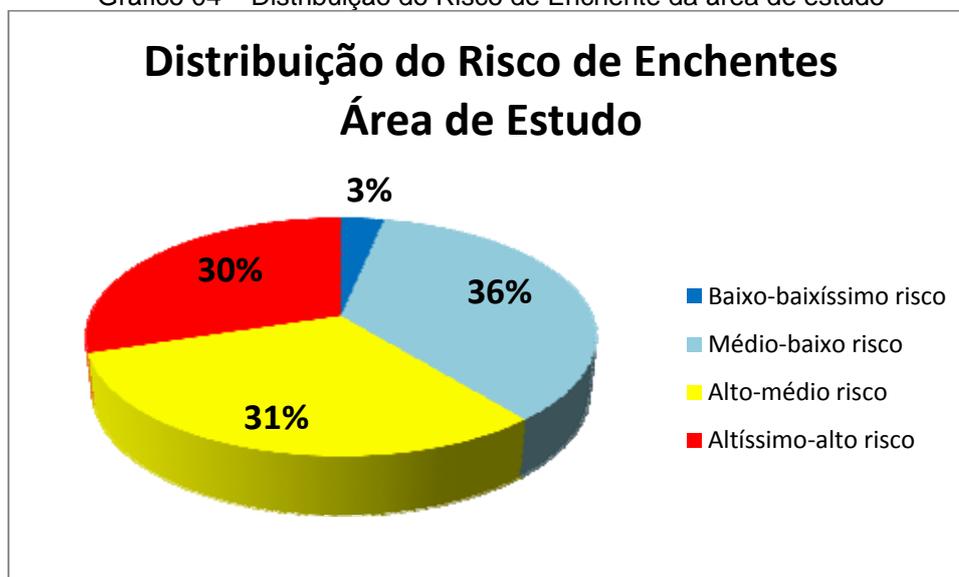
- *Baixo-baixíssimo risco (escalas 1 a 3)*
- *Médio-baixo risco; (escalas 4 a 5)*
- *Alto-médio risco;(escalas 6 a 7)*
- *Altíssimo-alto risco. (escalas 8 a 10)*

A FIG. 13 apresenta o mapeamento de risco de enchentes:



Como resultados, foi elaborado um gráfico com os percentuais de distribuição de riscos que é demonstrado a seguir:

Gráfico 04 – Distribuição do Risco de Enchente da área de estudo



Fonte: do autor, 2010.

Ao analisar o gráfico e comparar a distribuição geográfica das informações através do mapa é possível afirmar que a região central da área de estudo representam as localidades de maior risco de enchentes (alto-médio risco e altíssimo-alto risco). Os bairros que destacam-se como prioritários para ações locais são: Nova Esperança, Frimisa, Boa Esperança, Santa Rita, Ponte Grande, São João Batista, Rio das Velhas, Morada do Rio, Santa Helena e Barreiro do Amaral.

Os bairros de menor risco, mas não menos importantes, estão localizados nos extremos leste e oeste da área de estudo (baixo-baixíssimo risco e médio-baixo risco). São eles: Industrial Americano, Vila Capitão Paulo, Petrópolis, Imperial, Vila Palmeiras, Conjunto Palmital, Nova Esperança, São Cosme, São Benedito, Asteca e Londrina.

7. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A Modelagem Ambiental para o mapeamento das áreas susceptíveis as enchentes no complexo urbano do município de Santa Luzia – MG é de grande importância no planejamento e elaboração das políticas públicas e das ações em meio ambiente, orientando o município quanto ao crescimento urbano e auxiliando nas tomadas de decisões referentes ao Uso e Ocupação do Solo.

Com conclusão deste trabalho, será disponibilizada uma base integrada de informações geográficas oficiais, que apoiará a gestão territorial, fornecendo subsídios técnicos ao município quanto à definição de áreas prioritárias para atuação efetiva da prefeitura local, defesa civil e demais órgãos atuantes.

Pondera-se, portanto, que a aplicação da modelagem está condicionada à existência de boas bases cartográficas e temáticas, em escala compatível e com bom banco de dados associado. É necessário também o conhecimento de softwares e teorias relacionadas ao geoprocessamento para a manipulação dos dados.

Salienta-se que a modelagem constitui ótima ferramenta para orientação e planejamento ambiental da área estudada, além de apresentar, pontualmente, os locais prioritários para ações corretivas e mitigatórias para as áreas de risco.

Conclui-se, por fim, que a integração dos mapas e o levantamento do risco de enchentes sejam comparados com o que ocorre em campo, através de visitas técnicas. Todavia, a comparação com as imagens de satélite e dados históricos (registros fotográficos, chuvas históricas, entre outros) oferece um panorama do comportamento da realidade local, o que diminui o período e conseqüentemente os riscos de desastres socioambientais.

APÊNDICES

Apêndice A (Mapa do Uso e Ocupação do Solo - Área de Estudo – Formato A1)

Apêndice B (Mapa do Modelo Digital de Terreno - Área de Estudo – Formato A1)

Apêndice C (Mapa de Declividades - Área de Estudo – Formato A1)

Apêndice D (Mapeamento do Risco De Enchentes - Composição natural das imagens do satélite Rapideye – Formato A1)

Apêndice E (Mapeamento do Risco de Enchentes da Área de Estudo – Formato A0)

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AEROIMAGEM, **Perfilamento a Laser Aerotransportado**. Disponível em: <<http://www.aeroimagem.com/v2/produtos-e-servicos/perfilamento-laser.html>>
Acesso em: 12 dez. 2012.

ALVES, Marcello; FANTIN, Marcel; MONTEIRO, Antônio Miguel V., **A Integração de Dados Socioterritoriais como Subsídio ao Estudo de Impacto de Vizinhança para Políticas Urbanas: o Caso da Política Habitacional em São José dos Campos**, Anais XII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, Goiânia, Brasil, 16-21 abril 2005, INPE, p. 3707-3714.

CHORLEY, J.; HAGGET, P. Models, Paradigms and the New Geography.
In:____. **Integrated Models in Geography**. London: Methuen, p.9-41, 1967
CIDADESNET, Portal das Cidades. Disponível em:
<<http://cidadesnet.com/municipios/santaluzia.htm>> Acesso em: 12 out. 2012.

Estudo de Processos de Erosão, FLUP, Porto, p. 85-98.

IBGE. **Censo Demográfico 2010** - Resultados do universo. Disponível em:
<<http://www.ibge.gov.br>> Acesso em: 11 out. 2012.

JENSEN, John R. **Sensoriamento Remoto do Ambiente: uma perspectiva em recursos terrestres**.

MUNDOGEO, **Perfilamento a Laser: A revolução de modelos digitais**. Disponível em: <<http://www.aeroimagem.com/v2/produtos-e-servicos/perfilamento-laser.html>>
Acesso em: 12 dez. 2012.

PEDROSA, A. S. et. al. (2010) – **Metodologia para o estudo dos ravinamentos**, POZONI, Fávio Jorge e SHIMABUKO, Yosio Edemir. **Sensoriamento Remoto no Estudo da Vegetação**.

SANTA LUZIA, Prefeitura Municipal de. **Apresentação – cidade**. Disponível em:
<www.santaluzia.mg.gov.br> Acesso em: 12 out. 2012.

SANTOS, Alexandre Rosa dos, 1974 – **ARCGIS 9.3 total: aplicação para dados espaciais** / Alexandre Rosa dos Santos, Francine Lousada Rubini de Oliveira Louzada, Fernando Coelho Eugênio. – Alegre, ES: CAUFES, 2010.

SAYÃO, L.F. **Modelos teóricos em ciência da informação – abstração e método científico**. Ci. Inf. vol.30 no.1 Brasília Jan./Apr. 2001. São José dos Campos, SP: Parêntese, 20097.

SILVA, Jorge Xavier da. **O que é Geoprocessamento?** - Revista do CREA-RJ, Rio de Janeiro, Brasil, Outubro-Novembro de 2009, CREA-RJ, p. 42-44.

SOUZA, M.A.; DODEBEI, V.L. **Modelos e sistemas em ciência da informação**. Rio de Janeiro, 20 p., 1993. (Seminário apresentado à disciplina Linguagem e Ciência da Informação III. Curso de Doutorado em Ciência da Informação). Trad. José Carlos Neves Epiphany. São José dos Campos, SP: Parêntese, 2009.

TUCCI, E.M. 2004. **Hidrologia ciência e aplicação**. In: *Tucci, E.M. Hidrologia ciência e aplicação*. 3ª.Ed. Porto Alegre, Editora da UFRGS, ABRH, v.3, p.25-31. 944pp.

WEVER, Christian & J. Lindemberger, 1999 - **Experience of 10 years of LASER Scanning** - Schriftenreihe des Institute für Photogrammetrie der Universität Stuttgart, pp. 125-132.