

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS
CURSO DE GEOGRAFIA**

Kledson Grabski

Modelagem em SIG como Subsídio à Expansão Urbana

Porto Alegre
2015

Kledson Grabski

Modelagem em SIG como Subsídio à Expansão Urbana

Trabalho de conclusão de curso apresentado no curso de Bacharelado em Geografia da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, como requisito para a obtenção da aprovação.

Orientadora: Flávia Farina

Porto Alegre

2015

AGRADECIMENTOS

À minha orientadora, Flávia Farina por sua paciência, dedicação, amizade e companheirismo. Seus vastos conhecimentos e experiências na área de SIG e sensoriamento remoto foram muito importantes para a realização deste trabalho.

À professora Tatiana Silva da Silva por suas dicas no SIG Idrisi. Suas informações foram fundamentais para a obtenção dos resultados.

Aos professores Cláudio Wilson Mendes Jr. e Katia Kellem da Rosa por serem excelentes professores nas disciplinas ministradas no curso de Geografia e por aceitarem participar da comissão avaliadora deste trabalho.

À prefeitura municipal de Monte Belo do Sul pelos dados fornecidos.

À Universidade Federal do Rio Grande do Sul pela oportunidade do curso.

Aos colegas do curso de geografia, especialmente ao amigo José Celso Griebler Jr. pelas parcerias nos trabalhos realizados ao longo dos semestres.

Aos familiares, especialmente à minha mãe Maria pelo carinho, atenção e motivação que serviram para o enfrentamento dos períodos difíceis.

Aos demais colegas e professores, especialmente aos do Laboratório de Modelagem de Bacias do Instituto de Geociências que sempre foram amigáveis e receptivos.

RESUMO

Nas últimas décadas o crescimento urbano tornou-se um problema por vezes sem controle, ocasionando a expansão desordenada e descontínua, alheia aos padrões de segurança e sustentabilidade. Neste sentido, este trabalho tem por objetivo geral propor um modelo baseado em SIG e Sensoriamento Remoto para subsidiar a indicação de áreas adequadas para expansão urbana. A implementação do modelo teve como área teste o Município de Monte Belo do Sul, localizado na Região Metropolitana da Serra Gaúcha. Para tal, inicialmente foram definidos critérios que representam as características necessárias de uma área para que possa ser ocupada. A espacialização e a modelagem desses critérios são realizadas em ambiente SIG (ArcGIS e IDRISI), onde cada variável pertinente compõem um plano de informação temático. Assim, o banco de dados é composto por Planos de Informação (PIs) primários e derivados como imagens de satélites, hidrografia, curvas de nível, área urbana, sistema viário, cobertura e uso da terra, Áreas de preservação Permanente (APPs), distância às áreas urbanas, adequabilidade com relação à hidrografia, entre outros. Os PIs critérios foram padronizados por meio da lógica *fuzzy* e então analisados com base nos princípios da Avaliação Multi Critério e cruzados pelo Método da Combinação Linear Ponderada. O resultado do modelo proposto é um mapa de adequabilidade à ocupação urbana na escala 1:25.000, composto de quatro classes: muito alta, alta, média e baixa. A razão entre adequabilidade e restrição com relação ao total da área do município é, respectivamente, 34,7% e 65,3% (24,02 km² e 45,24 km²). A classe de muito alta adequabilidade é cerca de 11 vezes maior do que a atual área urbana mapeada, portanto, mesmo o elevado percentual de restrições com relação à vegetação nativa e APPs, não oferece maiores entraves ao desenvolvimento urbano. Pode-se concluir que as funcionalidades disponíveis nos SIGs permitiram executar o modelo adequadamente, evidenciando-se assim, as suas potencialidades para a análise espacial.

Palavras Chave: Planejamento Urbano, Sistemas de Informação Geográfica, Avaliação Multi-Critério, Adequabilidade à Ocupação Urbana.

ABSTRACT

In recent decades, urban growth has become a problem that often is uncontrolled, resulting in disorder and discontinuous expansion of cities, out of safety and sustainability standards. Thus, the objective of this work is to propose a model based on GIS and remote sensing to support the indication of appropriate areas for urban expansion. The model implementation used as a pilot area the municipality of Monte Belo do Sul. In this sense, were defined criterias that represent the conditions that the áreas should be have for the urban use. The spatializing and modeling of these criteria are held in GIS (ArcGIS and IDRISI), where each relevant variable compose a layer. Thus, the database consists of primary and derivatives layers, such as satellite images, hydrography, urban areas, roads, distance to urban áreas, cover and land use, APPs, distance to urban areas, suitability in relation to hydrography, among others. The criteria-layers were normalized and the importance level were analised through Multi-criteria Evaluation. And crossed by Linear Combination Weighted method. The result of the model is a map of suitability for urban occupation (in the scale 1: 25,000), comprising four classes: very high, high, medium and low. The ratio of suitability and restriction regarding the total municipal area is respectively 34.7% and 65.3% (24.02 km² and 45.24 km²). The very high suitability class is about 11 times higher than the current urban area mapped, therefore so even the high percentage of restrictions related to native vegetation and APPs no offers obstacles to urban development. It can be concluded that the functionalities availables in the GIS have made the model properly, demonstrating thus their potential for spatial analysis.

Key-words: Urban Planning, Geographical Information Systems, Multi-Criteria Evaluation, Suitability for Urban Occupation.

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	9
1.1. Objetivos	10
1.2. Justificativa.....	10
2. REFERENCIAL TEÓRICO	12
2.1. Urbanização e Legislação Ambiental	12
2.2. Análise Espacial em Sistemas de Informação Geográfica e Planejamento da Expansão Urbana	16
2.3 Sistemas de Apoio à Decisão em SIG	18
3. CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO.....	23
3.1 Localização	23
3.2 Aspectos Físicos	24
3.3 Aspectos Socioeconômicos.....	28
4. METODOLOGIA.....	30
4.1 Definição de Critérios para Expansão Urbana	31
4.2 Elaboração do Banco de Dados e Geração de Mapas Temáticos.....	32
4.2.1 <i>Entrada e Processamento de Dados Primários</i>	33
4.2.2 <i>Cobertura e Uso da Terra</i>	34
4.2.3 <i>Áreas de Preservação Permanente</i>	38
4.2.4 <i>Mapas de distâncias</i>	40
4.3 Elaboração do Mapa de Restrições à Ocupação Urbana	43
4.4 Padronização dos Critérios Fatores	44
4.5 Combinação Linear Ponderada.....	47
4.6 Elaboração do Mapa de Adequabilidade à Ocupação Urbana	48
5. APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS	50
6. CONSIDERAÇÕES FINAIS	54

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Exemplos de funções em SIG. Fonte: Modificada de Delgado e Cano (2005).....	20
Figura 2: Área de estudo.....	23
Figura 3: Mapa da rede hidrográfica do município de Monte Belo do Sul, RS.	26
Figura 4: Mapa geológico do município de Monte Belo do Sul, RS.....	26
Figura 5: Mapa geomorfológico do município de Monte Belo do Sul, RS.	27
Figura 6: Mapa pedológico do município de Monte Belo do Sul, RS.....	27
Figura 7: Vista do município. Fonte: Prefeitura Municipal de Monte Belo do Sul, 2015.	29
Figura 8: Fluxograma da metodologia geral do trabalho.	30
Figura 9: Carta imagem da área de estudo. RapidEye RGB 321.....	36
Figura 10: Carta imagem da área de estudo. Imagem RapidEye RGB 432 (Infravermelho próximo).	36
Figura 11: Mapa de cobertura e uso do solo do município de Monte Belo do Sul, RS.	38
Figura 12: Mapa das áreas de preservação permanentes (APPs) do município de Monte Belo do Sul, RS.	40
Figura 13: Mapas de distância gerados no Idrisi.	42
Figura 14: Mapa das áreas restritivas conforme a legislação e áreas já consolidada. Monte Belo do Sul, RS.	43
Figura 15: Níveis de adequabilidade à expansão urbana para cada PI.	46
Figura 16: Detalhe da ocorrência das classes de adequabilidade.	51
Figura 17: Mapa de adequabilidade à expansão urbana.	53

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Critérios e variáveis aplicados aos planos de informação.	32
Tabela 2: Fatores, suas funções e os respectivos pontos de inflexão.	45
Tabela 3: Escala de relação de importância para o estabelecimento de pesos no Idrisi (Modificado do software Idrisi).	47
Tabela 4: Matriz de comparação pareada entre os PIs fatores	48
Tabela 5: Pesos calculados para os mapas fatores	48
Tabela 6: Intervalos selecionados para a reclassificação	49
Tabela 7: Classes representativas dos PIs e suas respectivas áreas.....	50
Tabela 8: Áreas das áreas inadequadas para a ocupação urbana para o município de Monte Belo do Sul, RS	52

1. INTRODUÇÃO

Historicamente as zonas urbanas se constituem em áreas de conflitos ambientais, dada a racionalidade da implantação e da expansão das cidades. As alterações ambientais ocasionadas pela urbanização impactam diretamente sobre os ecossistemas e também sobre a própria população. A ocupação de áreas inadequadas em encostas e nas margens dos recursos hídricos, a ineficiência dos sistemas de coleta efluentes domésticos, a disposição inadequada de resíduos sólidos, a alta impermeabilização do solo e o avanço da ocupação sobre ecossistemas sensíveis, são alguns exemplos dos problemas ocasionados. Os atores deste processo estão, de um lado, representados pelos agentes imobiliários que promovem empreendimentos em áreas de alto valor comercial desrespeitando a legislação vigente. Nesta situação, vários são os exemplos do aval do poder público que acata as medidas compensatórias propostas, que não representam um real benefício à sociedade como um todo. De outro lado está uma parcela significativa da população que, para ter acesso a moradia, ocupa irregularmente áreas sensíveis do ponto de vista ambiental.

No Brasil, há diversos dispositivos legais nos níveis federal, estadual e municipal que normatizam a ocupação dos espaços e estabelecem áreas que devem ser preservadas, protegidas ou serem foco de regimes urbanísticos especiais. Porém, por vezes o descaso das administrações municipais, os interesses econômicos e políticos ou mesmo a falta de pessoal capacitado nos quadros públicos resultam na ausência ou ineficácia do planejamento urbano, promovendo situações de conflito entre a aptidão do território e os usos do solo estabelecidos. Estas condições demandam estudos e métodos que viabilizem de uma melhor maneira a ocupação do espaço pelo homem.

Por outro lado, o Sensoriamento Remoto e os Sistemas de Informação Geográfica (SIG), nos estudos da superfície terrestre, têm ganhando destaque e importância nos últimos anos, pois tais ferramentas consistem principalmente em identificar, mapear, monitorar e estudar os fenômenos naturais e antrópicos. Através de análises das imagens de satélites e da modelagem em SIG das variáveis que compõem um problema em específico, é possível prever e minimizar possíveis impactos ambientais ocasionados pela ocupação do território.

Além disso, um dos grandes potenciais dos SIG é a possibilidade de modelagem do ambiente quanto à localização de empreendimentos ou atividades, tais como identificar áreas potenciais e adequadas para determinado uso e/ou ocupação.

1.1. Objetivos

Em razão do exposto, este trabalho tem por objetivo geral propor um modelo baseado em SIG e Sensoriamento Remoto para subsidiar a indicação de áreas adequadas para expansão urbana.

Para a execução do objetivo geral são considerados como objetivos específicos os seguintes:

- a) Definir critérios para indicação de áreas adequadas à expansão urbana.
- b) Elaborar um banco de dados em SIG para mapeamento dos critérios estabelecidos.
- c) Estruturar uma regra de decisão para avaliar de forma integrada os critérios definidos.
- d) Desenvolver um modelo em SIG para indicação de áreas adequadas a expansão urbana
- e) Aplicar o modelo proposto no município de Monte Belo do Sul.
- f) Elaborar um produto cartográfico representativo das áreas adequadas à expansão urbana.
- g) Avaliar a metodologia proposta e a aplicabilidade do modelo.

1.2. Justificativa

O estudo e a definição de áreas de expansão urbana de um município é importante por propiciar o estabelecimento de áreas adequadas à ocupação que respeitem as aptidões do meio ambiente. Isso significa que o trabalho contribuirá para a valorização do espaço natural e das condições urbanas futuras. Para mais, propor as áreas de expansão urbana respeitando as normas ambientais vigentes previne que locais de risco possam ser ocupados, reduzindo a possibilidade de ocorrência de desastres ambientais. Identificar as áreas adequadas à urbanização

garante também a valorização do espaço urbano, pois um planejamento ineficiente ou inexistente pode resultar na ocupação de áreas inadequadas, propensas a problemas de infraestrutura e circulação.

No caso do município de Município de Monte Belo do Sul, apesar do Plano Diretor estabelecer que a urbanização deva ser nos limites da “macrozona de expansão urbana”, até o momento, os limites desta macrozona não foram delimitados (PREFEITURA MUNICIPAL DE MONTE BELO DO SUL, 2006). Além disso, o núcleo urbano principal está localizado sobre o topo de um morro, em uma região composta por algumas zonas de alta declividade, encostas abruptas e fragmentos de mata nativa. Ainda, devido a reduzida área urbanizada e a pequena população, o município pode se valer do benefício de planejar antecipadamente a expansão da zona urbana consolidada, na medida em que se situa no contexto de uma região de forte dinamismo econômico e de vocação turística. Assim, espera-se que o presente trabalho possa fornecer subsídios para que a futura expansão urbana se dê em consonância com as diretrizes atuais contidas na Política Nacional do Meio Ambiente, que tem por objetivo a “preservação, melhoria e recuperação da qualidade ambiental propícia à vida, visando assegurar, no País, condições ao desenvolvimento socioeconômico, aos interesses da segurança nacional e à proteção da dignidade da vida humana” (BRASIL, 1981).

Nesse contexto, o estudo e a identificação antecipada das áreas cabíveis para o uso urbano é fundamentada na produção e análise de grande volume de dados espaciais. Atualmente, estes procedimentos têm subsídio em um amplo instrumental disponibilizado pelo Sensoriamento Remoto e pelos SIG (LONGLEY, 2013). Trabalhar com essas tecnologias no objetivo aqui proposto, significa planejar e buscar soluções para o uso adequado do solo através da análise integrada das condicionantes espaciais.

Vale destacar ainda que o modelo em SIG proposto neste trabalho poderá ser aprimorado e servir de referência a outros estudos semelhantes, na medida em que pode ser aplicado em qualquer área urbana, desde que observadas as especificidades locais.

2. REFERENCIAL TEÓRICO

2.1. Urbanização e Legislação Ambiental

Nas últimas décadas o crescimento urbano tornou-se um problema por vezes sem controle, ocasionando a expansão desordenada e descontínua, alheia aos padrões de segurança e sustentabilidade. Apesar desses fatores estarem presentes em diversas regiões do mundo, no Brasil são inúmeros os municípios e regiões metropolitanas que enfrentam esta realidade. As frequentes inundações e deslizamentos de terra em áreas urbanizadas e seus efeitos sobre a população e a economia têm mostrado a importância de estudos mais aprofundados para subsidiarem o planejamento e o controle urbano. Ademais, a ocupação urbana em zonas inadequadas e o controle ineficaz de atividades econômicas que oferecem riscos a população, têm trazido à tona a grande dimensão dos prejuízos ambientais, que revertem à própria sociedade.

Santoro (2012) aponta que uma das tentativas de reduzir as consequências das incompatibilidades entre a ocupação dos espaços e as aptidões ambientais foi o estabelecimento de uma série de leis que, atualmente, servem como aporte ao avanço da urbanização. Embora por vezes tenham sido elaboradas por motivações econômicas e políticas, ainda se constituem em relevantes instrumentos para a solução dos problemas socioambientais das áreas urbanas. O autor ressalta ainda que a legislação vigente deve ser aplicada, sem contradições ou benefícios para setores específicos da sociedade.

O conjunto de instrumentos legais voltados à proteção do meio ambiente é resultado de uma ampla discussão iniciada pelo movimento ambientalista na década de 60. O questionamento sobre as formas de relação entre sociedade, economia e natureza, a mobilização de comunidades locais e o surgimento de organizações não-governamentais de defesa do meio ambiente conduziram a elaboração de políticas e estruturas públicas específicas para o tratamento da questão ambiental (CASTELLS, 1999). Em nível federal, destaca-se a criação do Ministério do Meio Ambiente e, em nível estadual, as fundações de proteção ambiental. Em nível local, os municípios passaram a implantar órgãos encarregados de políticas ambientais.

No contexto da legislação brasileira, uma das primeiras leis que inseriu tópicos de proteção ambiental é a Lei nº 6.766 de 19 de dezembro de 1979, conhecida como Lei do Parcelamento do Uso do Solo Urbano. Entre os tópicos abordados, é definida a infraestrutura básica necessária para o uso urbano e as restrições do parcelamento do solo em zonas de expansão urbana. Algumas das restrições incluem terrenos alagadiços (antes das providências para o escoamento da água); terrenos aterrados com material nocivo e sem saneamento; terrenos com declividade igual ou superior a 45°, salvo se atendidas exigências específicas das autoridades competentes; terrenos com condições geológicas não compatíveis com edificações e; áreas de preservação ecológica ou de alta poluição; entre outras (BRASIL, 1979).

Todavia, somente a partir 1988 a questão urbana em nível municipal começou a tomar forma definida a partir da Constituição Federal que garantiu maior autonomia por parte dos municípios para a gestão local. Segundo o artigo 30, compete aos municípios, entre outras atribuições, “promover, no que couber, adequado ordenamento territorial, mediante planejamento e controle do uso, do parcelamento e da ocupação do solo urbano” (BRASIL, 1988). A partir deste dispositivo, os municípios passaram gradativamente a legislar a partir do Plano Diretor.

O Estatuto da Cidade (BRASIL, 2001) também se constitui em um instrumento para estabelecer diretrizes da política urbana. Em geral, determina “normas de ordem pública e interesse social que regulam o uso da propriedade urbana em prol do bem coletivo, da segurança e do bem-estar dos cidadãos, bem como do equilíbrio ambiental”. Tais diretrizes estabeleceram também mais autonomia aos municípios com instrumentos de intervenção e ordenamento territorial e delegaram a função de mobilização e de aplicação destes instrumentos a partir de processos democráticos.

Mais recentemente, o atual Código Florestal (BRASIL, 2012), dentre outras diretrizes, disciplina o parcelamento, o uso e ocupação do solo e define as áreas de preservação permanente (APPs). De acordo com o referido documento, as APPs se caracterizam por uma “área protegida, coberta ou não por vegetação nativa, com a função ambiental de preservar os recursos hídricos, a paisagem, a

estabilidade geológica e a biodiversidade, facilitar o fluxo gênico de fauna e flora, proteger o solo e assegurar o bem-estar das populações humanas”.

Assim, algumas das APPs referidas se caracterizam da seguinte maneira: faixas marginais de qualquer curso d'água natural perene e intermitente, excluídos os efêmeros, desde a borda da calha do leito regular, em larguras que variam de 30 a 500 metros dependendo da largura do curso d'água; áreas com raio de 50 metros no entorno de nascentes; áreas com declividade superior a 45° [...]; “topo de morros, montes, montanhas e serras, com altura mínima de 100 metros e inclinação média maior que 25° [...]”; entre outras áreas. Portanto, as APPs se constituem em uma variável relevante na elaboração de planos, na medida em que representam importantes restrições de uso.

Ainda, a resolução nº 302 de 20 de março de 2002 do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA, 2002) também estabelece parâmetros, definições e limites para as Áreas de Preservação Permanente, de modo bastante semelhante ao Código Florestal. Cabe destacar que parte destas definições já haviam sido apresentadas na Lei do Parcelamento do Solo Urbano.

Considerando-se a gestão urbana em nível local, para Hoffmann et al (2011) o planejamento urbano atrelado ao respeito ambiental é fator preponderante para o crescimento ordenado de uma cidade e deve estar garantido legislativamente, por meio do Plano Diretor. O autor acrescenta que o Plano Diretor é o instrumento que permite implementar o planejamento urbano relacionado com a idealização do futuro de um município. Em sua elaboração devem ser considerados alguns aspectos como a delimitação de zonas específicas para que seja possível projetar quais as ações devem ser exercidas dentro de determinadas zonas e como deve ser o planejamento de sua infraestrutura, evitando-se problemas futuros de gestão.

Motta (1999) afirma que a concepção de um Plano Diretor necessita contemplar as dimensões ambientais, sociais e econômicas em três etapas principais por ele definidas: levantamento de dados, diagnóstico e prognóstico. A primeira etapa contempla o levantamento detalhado das características dos meios físico, biótico e antrópico. A etapa do diagnóstico se fundamenta na etapa anterior e deve reunir um amplo conjunto de dados e mapeamentos tais como o das áreas adequadas e inadequadas a ocupação urbana; a

identificação de áreas suscetíveis a processos erosivos; a caracterização dos recursos hídricos e de áreas destinadas a preservação e uso controlado; identificação de usos de maior impacto ambiental e recursos naturais sujeitos a degradação, mapeamento das necessidades básicas de infraestrutura, de áreas possíveis a expansão urbana, entre outros. Já o prognóstico deve estar embasado na definição de usos do solo por meio de cartas de zoneamento e de áreas a serem ocupadas e preservadas, no estabelecimento de diretrizes para parcelamento do solo, da infraestrutura a ser implantada, dos níveis de qualidade a serem alcançados e do desenvolvimento socioeconômico.

Porém, Rodrigues (2013) aponta que esta sistemática é parcialmente adotada. O que se observa na prática é a ausência de informações físicas na etapa de diagnóstico e os levantamentos necessários normalmente se restringem a dados sociais, culturais e econômicos. O zoneamento é definido em duas escalas: a primeira, denominada macrozoneamento, consiste na delimitação das zonas urbana, de expansão urbana, rural e macrozonas espaciais. A segunda escala refere-se ao zoneamento, que irá estabelecer as normas de uso e ocupação para cada macrozona, mais detalhadamente para zonas da área urbana. Geralmente o zoneamento apenas divide a cidade em zonas homogêneas e define os usos específicos ou mistos e especifica densidades de ocupação. Neste conjunto, a cidade é tratada como ideal, não levando em conta os conflitos de apropriação do solo e como eles afetarão diretamente o regramento do zoneamento.

Ademais, o planejamento de assentamentos é mais eficaz quando se considera uma perspectiva integrada das características do ambiente natural e as necessidades físicas de expansão. Ou seja, a cidade é um conjunto de cidadãos, empresas e instituições que demandam uma série de recursos, serviços e infraestrutura. Um planejamento eficaz necessariamente precisa considerar esta perspectiva de conjunto e as peculiaridades de cada região. Giacomoni (1998) aponta que as dificuldades a serem superadas no planejamento urbano estão centradas no controle das forças externas ao processo de crescimento urbano, na lenta assimilação das novas tecnologias, nos insuficientes conhecimentos da evolução dos processos sociais e na dificuldade para integrar eficientemente as

equipes multidisciplinares. Soma-se a isso a descontinuidade de programas estabelecidos, a desarticulação dos setores e a falta de capacitação adequada dos técnicos permanentes em tecnologias voltadas a automatização de processos e de gestão espacial de dados.

Apesar das normas e estruturas públicas existentes, é necessária uma abordagem mais integrada das questões urbanas e ambientais, já que as soluções para problemas urbanos dependem de ações harmônicas de vários setores da administração pública, de instituições privadas e da própria sociedade. Se por um lado as novas responsabilidades legislativas favorecem os municípios com uma certa agilidade quanto a resolução de problemas em nível local, como a tomada de decisões próprias, muitas vezes elas se contrapõem com as normas federais. Muitos dos conflitos entre as leis das esferas municipais, estaduais e federais se dão em decorrência da falta da atualização conjunta, mesmo que exista determinada conciliação de interesses além dos registros legais.

Como exemplo, podemos citar os planos diretores que estão ainda fundamentos em normas federais desatualizadas, por terem sido concebidos com base na legislação federal de sua época. Com o surgimento de novas leis (tais como o Novo Código Florestal), muitas leis municipais passaram a ter diferenciações consideráveis das legislações federais. Desta maneira, aplicar as leis ambientais como critério requer certo enfoque, considerando a legislação mais atual, sem deixar de notar sua relevância, predominância territorial e envolvimento com os interesses sociais do município.

Fica claro, portanto, que existem normas suficientes voltadas ao planejamento e preservação no meio urbano, porém, a correta aplicação e fiscalização, o controle dos processos urbanos e perspectiva de conjunto ainda são entraves a serem superados.

2.2. Análise Espacial em Sistemas de Informação Geográfica e Planejamento da Expansão Urbana

O desenvolvimento tecnológico tornou disponível novos recursos para a modernização dos processos de planejamento urbano e ambiental. O sensoriamento remoto e os SIG propiciam técnicas adequadas para a

detecção e o mapeamento de informações atualizadas e precisas da evolução urbana e das alterações ambientais decorrentes. Por outro lado, os benefícios do Sensoriamento Remoto para o estudo dos fenômenos da superfície terrestre estão centrados na visão sinóptica, que permite a observação de grandes regiões e a resolução temporal que torna possível identificar e acompanhar as alterações ocorridas nos ambientes. Além disso, a geração de imagens em diversas faixas do espectro eletromagnético permite a aplicação de técnicas que tornam altamente eficaz o processo de mapeamento dos elementos que compõem a superfície terrestre (JENSEN, 2009).

Longley et al (2013) definem o SIG como um *software* elaborado para armazenar e processar informações geográficas, portanto são sistemas capazes de gerenciar e representar por meio de mapas os problemas ou informações do espaço terrestre que podem ser obtidas através de produtos de sensoriamento remoto ou por meio de processamento de dados espaciais. Em outras palavras, o SIG pode ser entendido como um sistema capaz de representar um conjunto de mapas referenciados, de modo que é possível realizar análises das características espaciais e temáticas. Esta característica é um importante subsídio para aprimorar o conhecimento da realidade urbana, de forma objetiva e pragmática.

O SIG é um eficiente instrumento para todas as áreas do conhecimento que fazem uso de informações espaciais. Os sistemas disponíveis possibilitam a entrada de dados de formas diversas, a integração de informações em uma única base de dados, representando vários aspectos do estudo de uma região; a combinação de dados de diferentes fontes. Os resultados envolvem a geração de novos tipos de informações, sob a forma de relatórios e documentos gráficos com variados tipos de representação (BURROUGH, 1989).

Porém, conforme apontado por Rodrigues (2013), o SIG não pode ser confundido com a manipulação complexa de dados cartográficos, mas a sua principal potencialidade é a análise espacial que, aliada a um banco de dados robusto, permite estudos preditivos e a simulação de cenários. Este potencial é notadamente importante para a geração de subsídios para a execução de intervenções mais seguras em uma cidade real (MOURA, 2003; RODRIGUES, 2013). A elaboração locação de usos do solo tornou-se mais eficiente na medida

em que um SIG permite a geração e análise conjunta de dados estatísticos, mapeamentos, zoneamentos, levantamentos cadastrais, entre outros. Os métodos convencionais representam um alto custo a curto prazo e, por vezes, a integração dos dados é inviabilizada em função do tempo necessário para realizá-la.

2.3 Sistemas de Apoio à Decisão em SIG

As informações armazenadas ambiente SIG viabilizam uma gama de consultas e de análises integradas, tais como cruzamentos de planos de informação, avaliação multicritério, estabelecimentos de graus de importância para cada variável analisada e simulação de diferentes cenários para um objetivo proposto. Essas funções integram o sistema de apoio a decisão de um SIG e, conforme apresentado por autores como Delgado e Cano (2005), são utilizadas sistematicamente nos países europeus para a identificação das áreas adequadas à expansão urbana. O sistema de suporte a decisão de um SIG é programado computacionalmente com o objetivo de aumentar a efetividade dos tomadores de decisões. Este sistema permite a simulação de várias ações, permitindo ao usuário avaliar e comparar os vários cenários possíveis, selecionando aquele que representa a melhor solução para o problema em questão (STOLLE, 2008; MEIRELLES et al, 2005)

A avaliação de áreas adequadas para determinada finalidade pressupõe a consideração de diversos critérios cuja integração e cruzamento consiste em um processo complexo. Tais critérios podem ser avaliados por um sistema de suporte à decisão, destacando-se o método da Avaliação Multicritério (AMC). A operacionalidade deste método se dá pela elaboração de PIs que representam as variáveis consideradas e a sua modelagem por meio de uma regra de decisão construída pelo analista (EASTMAN 1999; BARREDO, 1996).

Uma regra de decisão é entendida como a possibilidade de eleição ou seleção das alternativas, permitindo a avaliação de todas as variáveis envolvidas no objetivo a ser alcançado. A implementação da regra de decisão se dá pela construção de uma matriz de avaliação, que consiste em pontuar os critérios

através de uma série de alternativas. Desta maneira um método multicritério pode servir para “registrar, classificar e ordenar uma série de alternativas a partir dos critérios que consideramos pertinentes em uma avaliação”. Assim sendo, as alternativas e seus valores são definidos por uma série de referências prévias, e geram resultados a partir do processo de avaliação (DELAGADO & CANO, 2005).

A análise espacial para a tomada de decisão a partir da AMC pode ser resumida da seguinte maneira: definição do objetivo, estruturação do modelo, definição dos critérios pertinentes a solução do problema proposto, normalização ou padronização dos critérios, atribuição de pesos e combinação dos critérios (HELFER, 2014).

Cada critério representa uma base que pode ser medida e avaliada conforme um objetivo. Os critérios são representados em um SIG sob a forma de PIs e se caracterizam como fatores ou restrições. Os fatores são aqueles que representam algum grau de adequação de zonas para o objetivo proposto. No caso da expansão urbana, os fatores definem algum grau de adequabilidade para o uso em questão. Por outro lado, as restrições se constituem em critérios que limitam regiões geográficas específicas. Geralmente são representados por PIs booleanos, com classes do tipo adequado e não adequado. A padronização deste tipo de critério se dá pelos valores booleanos (0,1), onde o valor 0 indica que uma dada área está totalmente inadequada a uma finalidade (inapta a ocupação urbana) e o valor 1 é atribuído para as áreas consideradas adequadas (perfeitamente apta à expansão urbana).

Esta lógica apresenta uma desvantagem na medida em que não permite a classificação em aptidões intermediárias e, por tal razão, geralmente é utilizada apenas para a constituição de um PI de restrições a ser integrado ao final das análises. Ademais, no mundo real os problemas propostos envolvem diversos critérios e variáveis a serem consideradas que raramente poderiam ter níveis de importância iguais.

Neste sentido, Delgado & Cano (2005) e Eastman (2009) demonstram que existem diversas maneiras para padronizar e cruzar planos de informação (critérios). Os conceitos da lógica *fuzzy* são empregados no método da Combinação Linear Ponderada, onde um critério é classificado de forma relativa, o que melhor se ajusta com as questões de locação de usos do solo. Os PIs são

classificados de forma contínua no intervalo 0-255. Assim, os pixels mais próximos do 0 indicam um menor grau de adequabilidade ao objetivo proposto e, quanto mais próximo do valor 255, maior é o grau de adequabilidade (Raines *et al*, 2010). Como resultado, é estabelecido um grau de pertinência para cada critério de adequabilidade, ou seja, um grau de pertencimento a determinada classe dentro de um plano de informação. Esta técnica é mais condizente com a realidade, dada a maior flexibilidade de avaliação em relação ao método booleano pois além dos extremos de apto e inapto, situações intermediárias podem ser representadas.

De acordo com Delgado e Cano (2005), os graus de pertinência (graus de pertencimento à determinada informação) dentro da lógica *fuzzy* são separados em grupos para que seja possível a classificação. Os PIs fatores são normalizados por meio da escolha de uma função de pertinência, cujo resultado será a atribuição de um grau de adequabilidade para cada pixel do PI, conforme pode ser visualizado na Figura 1. De maneira geral, os SIGs oferecem a escolha de três tipos de funções: sigmoidal, J e linear. Para estas funções será especificada a posição dos pontos de inflexão (indicação dos valores limites das classes) no eixo x, que governa a forma da curva do gráfico representativo do PI de determinada variável.

Portanto, os graus de pertinência serão representados conforme a função escolhida, considerando os valores na escala de 0 e 1 (ou 0 a 255). Na Figura 1, cada letra significa um ponto de inflexão, ou seja, a divisão entre os graus de adequabilidade para cada variável expressa. A função sigmoidal, por exemplo, terá diferenças na representação espacial dos graus de pertinência se comparado com a função linear, em razão das diferenças de distribuição dos valores representativos das variáveis expostas nos gráficos.

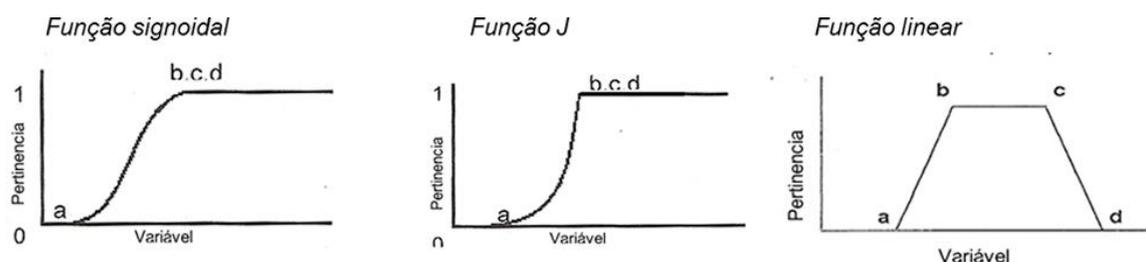


Figura 1: Exemplos de funções em SIG. Fonte: Modificada de Delgado e Cano (2005).

Quando atribuídos os graus de pertinência de cada variável, é necessário escolher o método de cruzamento dos PIs. Uma forma de integração de layers é a partir da soma ponderada, considerando pesos para cada um deles. A atribuição de pesos define a regra de decisão para atingir o objetivo proposto e consiste na etapa mais importante de um trabalho desta natureza. A atribuição de pesos possibilita a definição do grau de importância entre todas as variáveis consideradas, por meio da construção de uma matriz de comparação pareada. (DELGADO & CANO, 2005). É nesta matriz que se estrutura o Processo Analítico Hierárquico (PAH), ou seja, todos os critérios que influenciam o objetivo são comparados para a par, por importância relativa, preferência ou probabilidade.

A matriz de comparação permite a ponderação de todos os critérios, onde cada célula da matriz define, numericamente, a importância relativa da variável/critério situada a longo das linhas da matriz com relação a variável/critério na correspondente coluna. A comparação entre critérios depende em grande medida da postura do analista e impactará diretamente no resultado final. Ao priorizar a economicidade do processo de implantação de um empreendimento urbano, por exemplo, haverá maior valoração de critérios dessa ordem, como a proximidade da infraestrutura já estabelecida. Uma vez calculados os coeficientes de importância (pesos) de cada critério pela matriz, pode-se executar a combinação de todos os critérios. Este procedimento consiste na multiplicação de todos os PIs com os fatores pelo seu peso correspondente e a soma dos resultados.

Na literatura, diversos autores estudaram a aplicabilidade de técnicas de Sensoriamento Remoto e SIG no planejamento da expansão urbana (HIRYE, 2014; KESKAR & KUMAR, 2013; MORAES et al, 2013; ALVES et al, 2010; AKSOYLU, 2005; FARINA, 2002; OLIVEIRA & COSTA, 2001).

Dias *et al* (2014) demonstraram um estudo de caso específico, no qual utilizaram os módulos de Combinação Linear Ponderada e Avaliação Multicritério para propor áreas adequadas à expansão urbana. Para tal, os autores analisaram a adequabilidade do terreno em função das características físicas, da influência da ação antrópica e das características naturais/bióticas da paisagem. Cada um dos critérios considerados pelos autores foi avaliado em relação aos

demais, de maneira que receberam diferentes pesos conforme o grau de relevância para o problema estudado. Por conseguinte, através da implementação do cruzamento dos dados gerados, obtiveram um mapa final que representou espacialmente os graus de adequabilidade para o uso urbano da área estudada.

Aniceto et al (2012) elaboraram um estudo com o objetivo de delimitar áreas de aptidão à expansão urbana para município de Loures, em Portugal, tendo em conta as estimativas de seu crescimento. Para tal, consideraram como critérios fatores aqueles relacionados a economicidade do processo, como a proximidade às vias de circulação e à rede de saneamento básico. As restrições se referem as diretrizes específicas impostas pelo Plano Diretor Municipal, `como limitações em termos de declividade, de condições geológicas e distâncias variadas à rede hidrográficas, à elementos do patrimônio histórico, entre outros. A padronização dos PIs se deu por meio da seleção de diferentes funções de pertinência para cada critério que, posteriormente tiveram sua importância relativa avaliada pelo método hierárquico. O cruzamento dos planos de informação resultou em um mapa das áreas adequadas a expansão urbana, classificado em níveis de aptidão. De acordo com a postura adotada pelos autores, as áreas classificadas como as mais aptas à expansão urbana são aquelas contíguas aos núcleos urbanos já existentes até uma distância de 1km.

Há uma grande variação de metodologias e técnicas empregadas, porém, em todos os trabalhos nessa linha, é consenso de que o SIG é uma ferramenta indispensável para projetar adequadamente a locação de usos do solo no meio urbano. Nesse contexto, a principal variante nos estudos concebidos está nos critérios utilizados e nas especificidades dos métodos de avaliação e cruzamento dos critérios selecionados. Ora se determina uma postura mais preservacionista, priorizando as variáveis ambientais, ora se tem posturas mais voltadas à economicidade do processo, com atribuição de maior grau de importância para as variáveis relacionadas a implantação de infraestrutura.

3. CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

3.1 Localização

A área de aplicação do modelo proposto corresponde ao município de Monte Belo do Sul (Figura 2), localizado na Região Metropolitana da Serra Gaúcha (RMSG) e na Microrregião de Caxias do Sul. Possui uma área aproximada de 69 km² e tem seus limites estabelecidos com os municípios de Bento Gonçalves, Santa Tereza e Cotiporã.

A seleção da área de estudo levou em consideração fatores ambientais que oferecessem um certo grau de dificuldade para a elaboração do modelo. As condições geográficas locais são compostas por morros e colinas, com algumas zonas de alta declividade, e cercados pelo Rio das Antas e seus afluentes. Ainda, o município tem uma parcela significativa de áreas cobertas por mata nativa e por usos voltados a vitivinicultura.

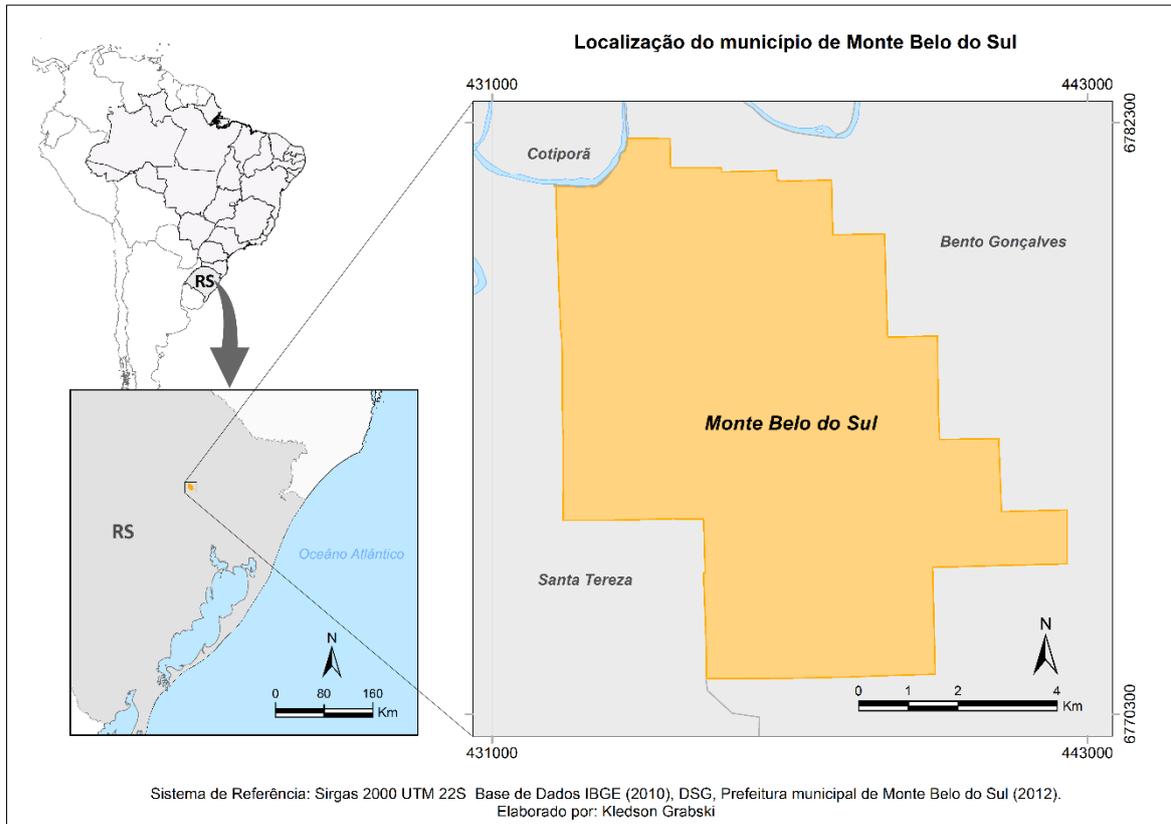


Figura 2: Área de estudo.

3.2 Aspectos Físicos

O município de Monte Belo do Sul situa-se na Bacia Hidrográfica do Rio Taquari-Antas. O Rio das Antas margeia o município no setor norte, tendo suas nascentes no extremo leste do Planalto dos Campos Gerais e, quando chega à confluência do Rio Carreiro, passa a se denominar rio Taquari (SEMA, 2015). Outros cursos de água permanentes localizados no município são os Arroios Santa Bárbara, Claudino e Vinte e Dois. A rede de drenagem se caracteriza pelo padrão dentrítico, com média densidade, onde os arroios se ramificam de forma irregular. A rede hidrográfica pode ser melhor compreendida na Figura 3.

Quanto à geologia, o município está inserido nos Domínios Formação Serra Geral e a Formação Fácies Caxias (Figura 4). A Formação Serra Geral data do período Cretáceo, pertence a Bacia do Paraná e foi constituída a partir de sucessivos derrames de lavas de composição predominantemente básica. Considerada ainda como um agrupamento formada por uma espessa sequência de vulcanitos (ácidas) e, inentemente basálticos, podendo conter termos ácidos intercalados (BRASIL, 1986).

A formação Serra Geral Fácies Caxias está dentro da mesma formação anterior, porém possui algumas características diferenciadas. As espessuras dos derrames variam de 80 a 450 metros. Tem formação de fluxo laminar a turbulento, apresentando muitas estruturas de fluxo, compostas por riolitos e riodacitos. Além disso, são ausentes os sedimentos intertrápicos. Existem também dobras de fluxo, autobrechas nos topos e derrames intercalados com sedimentos vulcanogênicos (IBGE, 2006; EMBRAPA, 2011)

Quanto às unidades geomorfológicas, Monte Belo do Sul está situado sobre o Planalto dos Campos Gerais e a Serra Geral (IBGE, 2006), conforme pode-se observar na Figura 5. O Planalto dos Campos Gerais representa ampla área elevada e apresenta-se como uma superfície inclinada, com caimento natural para oeste. Há ocorrência de linhas estruturais frequentes e com diversas orientações. À oeste desta unidade, na área menos elevada, o relevo é relativamente plano e conservado. À leste, onde situa-se a área de estudo, as formas do relevo se caracterizam pela dissecação diferencial, traduzidas por

profundos entalhamentos fluviais embutidos em linhas estruturais, como se pode observar nos arredores do município de Bento Gonçalves, no Interflúvio Taquari e Caí.

A unidade Serra Geral constitui a borda do Planalto Meridional (Planalto Basáltico), limitando perfeitamente os derrames basálticos frequentemente cobertos por formações sedimentares. Em geral, é originada pela erosão diferencial e, em parte, pela ação tectônica.

Os solos de Monte Belo do Sul pertencem às classes Neossolos e Nitossolos (1ª. ordem), estando fortemente relacionados com a rocha matriz e os processos erosivos atuantes na região (IBGE, 2006; EMBRAPA, 2011). De acordo com o novo sistema de classificação de solos proposto pela EMBRAPA (2011), nas regiões de maior declive e nas encostas mais íngremes do município, predomina o Neossolo Litólico Eutrófico. Trata-se de um solo raso, cuja soma dos horizontes não ultrapassam 50 cm de profundidade, porém, apresenta alta fertilidade. De maneira geral, este tipo de solo ocorre em relevos montanhosos e associado a afloramentos rochosos. Suas características limitam o crescimento de raízes profundas e aumentam as chances de erosão, exigindo práticas conservacionistas severas. No contexto do Rio Grande do Sul, esse tipo de solo é utilizado principalmente para a viticultura e pastagem.

Nas demais áreas do município há predominância do Nitossolo Háplico Distrófico, que apresenta diferenciação pouco notável dos horizontes devido sua constituição argilosa ou muito argilosa. Comumente ocorrem em zonas de clima subtropical ou de clima frio de altitude e pode apresentar baixa fertilidade em função da presença de alumínio na camada superior. Quando associados à relevos ondulados ou fortemente ondulados, há dificuldades quanto à mecanização da agricultura e restrições quanto a permeabilidade, portanto são restritos a alguns usos específicos. No sul do Brasil, os principais usos estão relacionados às culturas permanentes, como a fruticultura (maçã, caqui, pera e uva). A distribuição espacial das classes de solos pode ser visualizada na Figura 6.

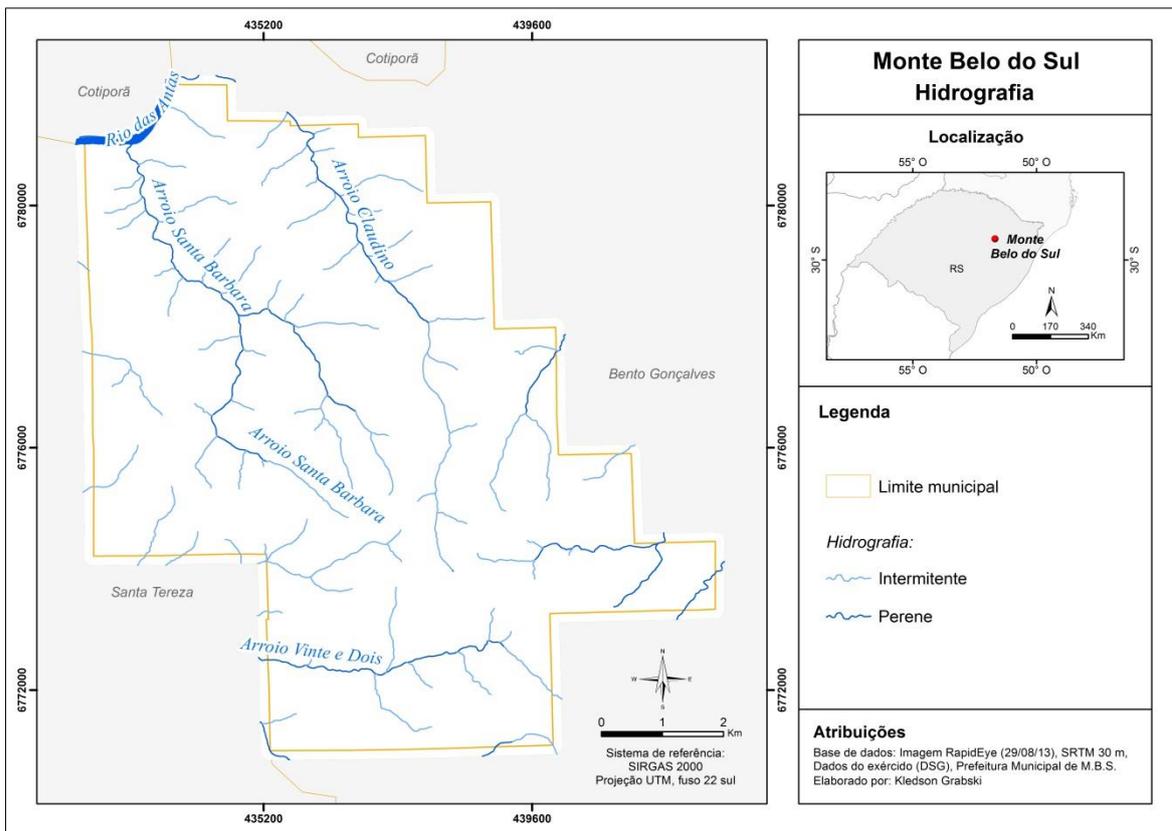


Figura 3: Mapa da rede hidrográfica do município de Monte Belo do Sul, RS.

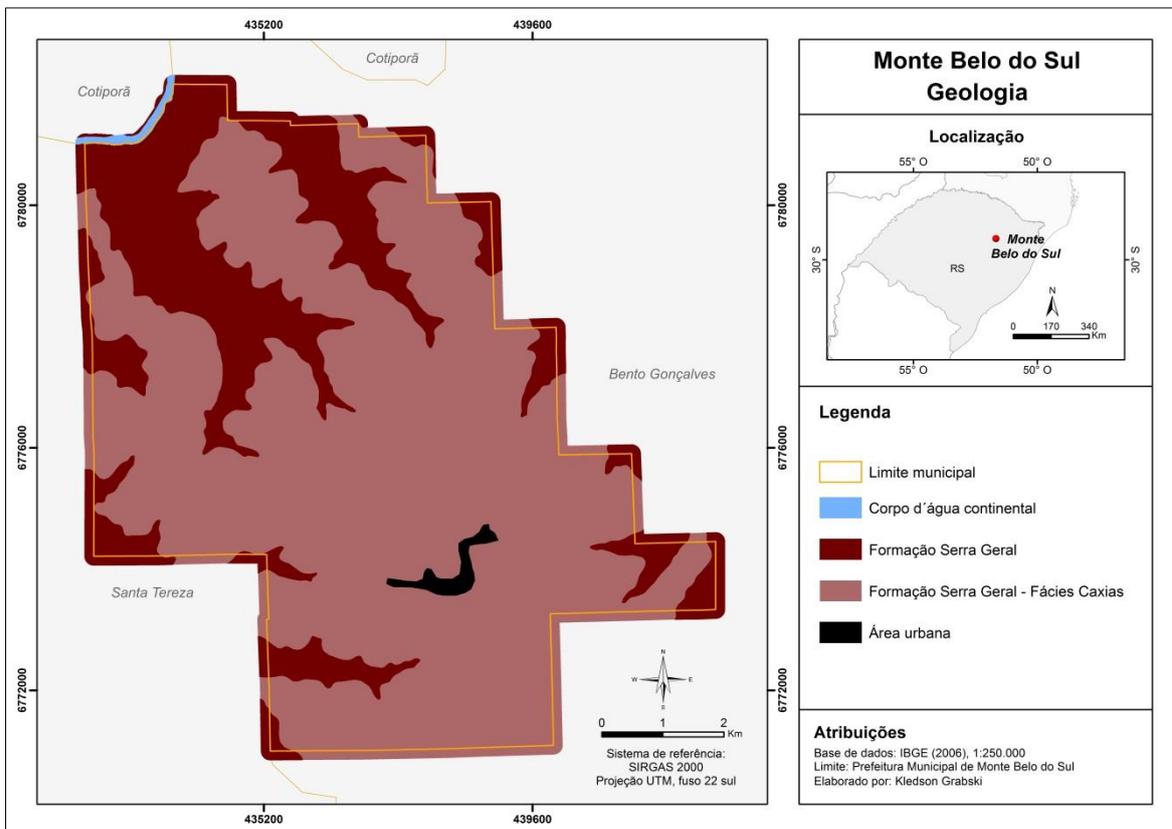


Figura 4: Mapa geológico do município de Monte Belo do Sul, RS.

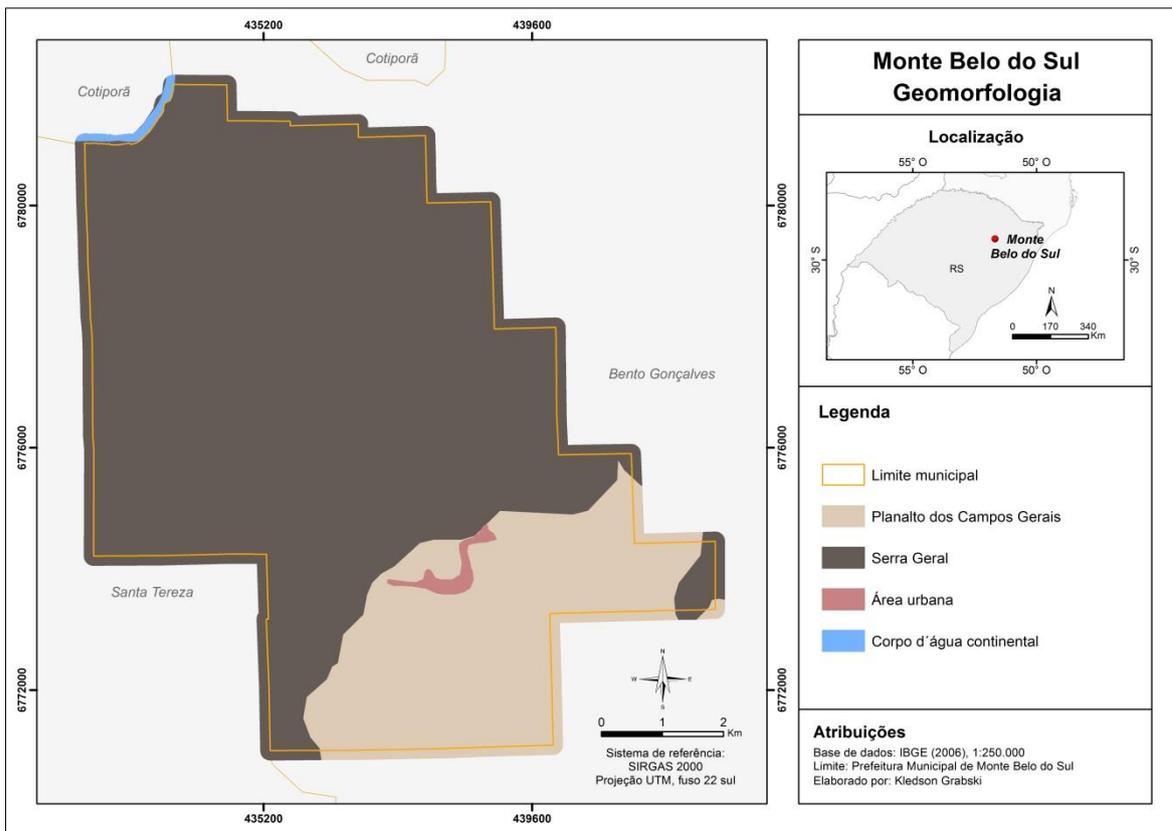


Figura 5: Mapa geomorfológico do município de Monte Belo do Sul, RS.

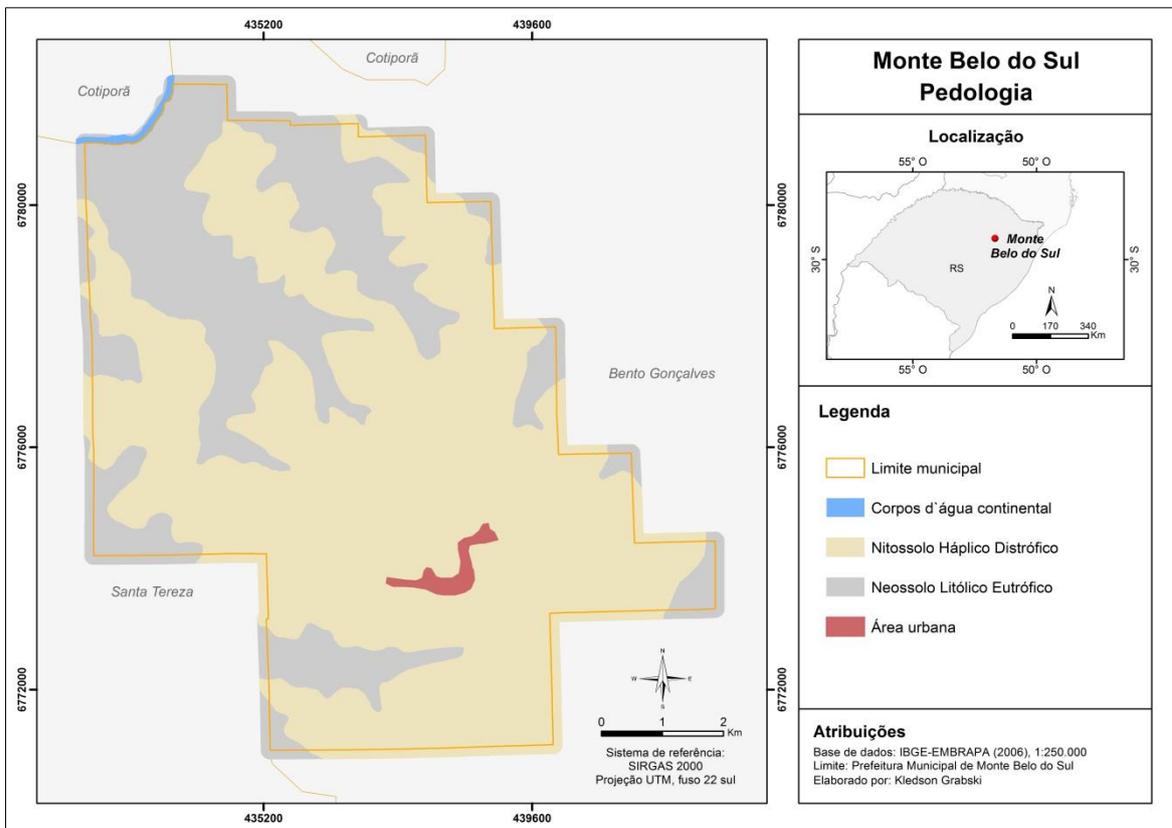


Figura 6: Mapa pedológico do município de Monte Belo do Sul, RS.

3.3 Aspectos Socioeconômicos

Monte Belo do Sul tem uma pequena população, com 2.748 habitantes (IBGE, 2010). Destes, 28,83% residem na área urbana e 71,17% na área rural, sendo considerado, portanto, um município com baixa taxa de urbanização. A população encontra-se representada, em relação às faixas etárias, conforme segue: 27,08 % jovem (0 a 24 anos), 49,55 % em idade adulta (25 a 59 anos) e 23,37 % idosa (60 anos ou mais).

A taxa de mortalidade infantil em 2012 atingiu o valor zero e a expectativa de vida ao nascer 76,13 anos (FEE, 2012). O valor do rendimento nominal médio mensal per capita dos domicílios particulares permanentes na área urbana era de R\$ 870,00, e na área rural era de R\$ 666,67, no ano de 2010. Ainda neste período, a ocupação cuja atividade de trabalho principal se encontra na agricultura, pecuária ou produção florestal era de 669 para homens e 231 para mulheres. O Índice de Desenvolvimento Humano (IDH) elevou-se entre os anos 2000 e 2010, passando de 0,629 para 0,752 (considerado alto), respectivamente. O PIB per capita equivale a R\$ 31.691 (IBGE, 2012).

A RMSG, onde o município está inserido, é o segundo conjunto urbano do Estado com mais de 700 mil habitantes e uma das mais dinâmicas aglomerações industriais do Brasil. Trata-se de um polo da indústria metalomecânica, concentrando quase 10% do PIB total do Estado e cerca de 15% do PIB industrial (IBGE, 2010). Apesar de Monte Belo do Sul ter sua base econômica assentada em atividades rurais, o crescimento urbano também está sujeito às atividades econômicas regionais, podendo trazer impactos futuros nos ambientes naturais que compõem o município.

Embora as atividades agrícolas ocuparem a maior parte da população, o município tem o Produto Interno Bruto (PIB) ordenado degressivamente em serviços, indústria e agropecuária. Contudo, a diferença entre estes setores é menor se comparado com o Brasil e o Rio Grande do Sul, por exemplo. Isso indica que as atividades agrícolas em Monte Belo do Sul são comparativamente maiores.

Conforme os dados do IBGE (2014), no município 2.624 hectares são destinados a lavouras permanentes e 405 hectares são destinadas a lavouras

temporárias. Ademais, grande parte de produção permanente se refere a plantação de uva, pois totaliza uma área de 2.480 hectares, representando 94,5% do total de lavouras permanentes. Logo, o restante de lavoura permanente é dedicada principalmente para a produção de laranja, tangerina e figo. A maior parte da produção temporária se refere ao cultivo de milho, vindo a seguir, por ordenamento de maior área cultivada, feijão, mandioca e cebola.

É importante ressaltar a atuação da EMBRAPA Uva e Vinho com suporte técnico no desenvolvimento de um projeto de elaboração de vinhos e espumantes de qualidade com origem controlada, visando a Certificação de Indicação de Procedência para as pequenas vinícolas familiares. Todo o processo é desenvolvido pelos próprios familiares, responsáveis pelo cultivo, colheita e elaboração dos vinhos e espumantes com uvas 100% cultivadas no município. Além disso, Monte Belos do Sul é responsável por 10% das uvas para produção de espumante do Estado. Este cenário traz novas perspectivas de desenvolvimento do município, por meio do incremento gradual do número de turistas (PREFEITURA MUNICIPAL DE MONTE BELO DO SUL, 2015). A Figura 7 ilustra uma vista tradicional do município, onde no primeiro plano se observam as videiras e, ao fundo, a Igreja Matriz no núcleo urbano municipal, cercado pela vegetação nativa.



Figura 7: Vista do município. Fonte: Prefeitura Municipal de Monte Belo do Sul, 2015.

4. METODOLOGIA

Este capítulo apresenta os procedimentos realizados para a elaboração do modelo de expansão urbana para o município de Monte Belo do Sul, utilizando Sistemas de Informação Geográfica. São descritos os procedimentos e atividades executadas na entrada, tratamento e derivação dos dados, no desenvolvimento do modelo e na interpretação das informações geradas. Optou-se pela utilização dos SIGs ArcGIS e IDRISI TerrSet, de modo que fossem aproveitadas as potencialidades de cada um dos softwares. Assim, a entrada e ajuste dos dados e a edição dos produtos finais foram realizados no ArcGIS e a implementação do modelo foi executada no sistema de suporte à decisão do IDRISI (módulo *Decision Wizard*).

A Figura 8 abaixo apresenta a metodologia geral do trabalho.

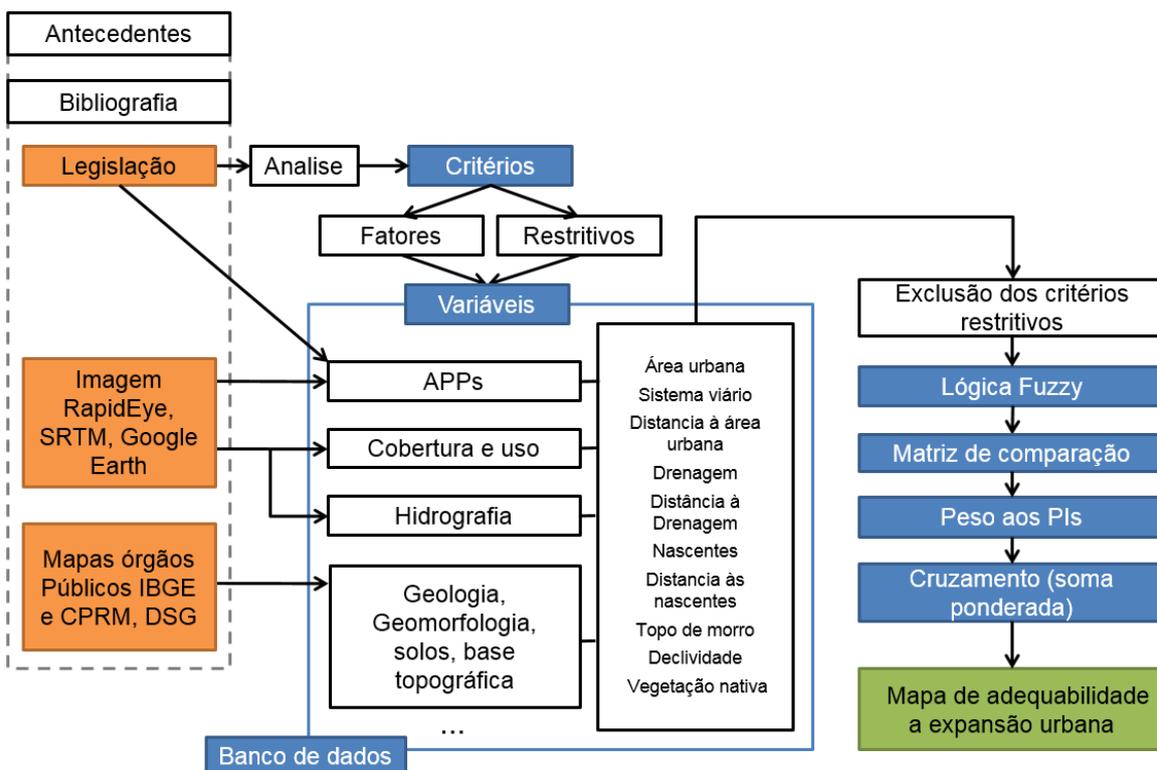


Figura 8: Fluxograma da metodologia geral do trabalho.

4.1 Definição de Critérios para Expansão Urbana

A seleção de áreas adequadas para ocupação urbana envolve a escolha entre várias alternativas, de acordo com critérios bem definidos. Assim, primeiramente a seleção dos critérios gerais foi fundamentada em uma revisão bibliográfica sobre o tema e na legislação pertinente (Capítulo 2). Os critérios restritivos se relacionam principalmente à legislação vigente e, os critérios fatores, se fundamentam nos princípios do planejamento urbano e nos custos decorrentes da expansão urbana. Cabe salientar que a seleção de critérios deve considerar as condições físicas e o processo histórico de desenvolvimento do município (FARINA, 2002).

Como resultado dessa análise, foram definidos os seguintes critérios para a implantação de atividades urbanas:

- Critérios de restrição: espaços com limitações ao uso urbano impostas pela legislação vigente; áreas ocupadas pela hidrografia, pois não é possível ocupar estas áreas; áreas urbanas já consolidadas e pelas vias e; limite do município.
- Critérios fatores: proximidade à área urbana consolidada e às vias, visando a economicidade da implantação de equipamentos urbanos; terrenos adequados do ponto de vista geológico/geomorfológico e; ambientes que não se enquadram nas normas legais, ou seja, não apresentam restrições ao uso urbano.

Estabelecidos os critérios, para que possam ser avaliados e mensurados no SIG, foram definidas as variáveis pertinentes e o seus respectivos PIs, descritos na Tabela 1. Esta sistemática facilita a organização de quais informações temáticas são necessárias para a execução do modelo proposto.

Crêterios	Tipo	Variáveis	Planos de informação
Região de interesse	Restritivo	Limite município	área de estudo
Obedecer a legislação vigente	Restritivo	Legislação	Cobertura da vegetação Distância aos recursos hídricos áreas com declividade superior a 45� Topo de morros
Proximidade das áreas urbanas	Fator	�rea urbana	área urbana consolidada Distância da área urbana consolidada
Proximidade das redes viária	Fator	Rede viária	Vias Distâncias às vias

Tabela 1: Critérios e variáveis aplicados aos planos de informação.

4.2 Elab ra  o do Banco de Dados e Geração de Mapas Temáticos

A partir da definição dos PIs, realizou-se uma pesquisa em fontes públicas para a coleta e seleção dos dados necessários. Embora muitas informações não serem utilizadas no modelo proposto, optou-se pela inserção no banco de dados de todas aquelas encontradas para o município. Os dados iniciais obtidos tiveram armazenamento, estruturação e edição em um banco de dados criado no ArcGis 10.2 em formato *geodatabase*. O armazenamento, criação e manipulação dos mapas (e/ou dados espaciais) neste formato é indicado, porque mant m a integridade e facilita os procedimentos de consulta e edição.

No banco de dados, além dos dados primários, foram armazenados os PIs derivados. Como PIs primários constam dados em formato raster e vetorial. Os PIs derivados são aqueles dados gerados no processamento do SIG, tais como os mapas de APPs, mapas de distância e mapa de cobertura e uso da terra.

Para que os todos esses dados armazenados tivessem uma representação espacial padronizada e compatível, teve-se como base o Sistema de Referência Geocêntrico para as Américas (SIRGAS 2000). Este é o sistema geodésico de

referência estabelecido pelo IBGE como padrão a partir de 2015 para todo o território brasileiro. Também, no sistema de referência, foi selecionada a projeção Universal Transversa de Mercator (UTM), fuso 22 Sul.

4.2.1 Entrada e Processamento de Dados Primários

O conjunto de dados primários nos formatos vetorial ou raster é composto pelas seguintes informações:

- Delimitação do município, perímetro urbano e sistema viário, fornecidos pela Prefeitura Municipal de Monte Belo do Sul, em escala 1:50.000 (formatos *dwg* e *kmz*).
- Curvas de nível, pontos cotados, rede viária e hidrografia da base cartográfica da Divisão do Serviço Geográfico do Exército Brasileiro (DSG), em escala 1:50.000 e formato *shapefile*, fornecidos pela 1ª. Divisão de Levantamento (Porto Alegre).
- Mapas de geologia, geomorfologia e pedologia com escala 1:250.000 provenientes do site do IBGE (2006-2014).
- Imagem do satélite SRTM de 30 metros de resolução espacial, obtida a partir do sistema *EarthExplorer*;
- Imagem do satélite *RapidEye*, com 5 metros de resolução espacial, nas bandas do visível e do infravermelho próximo, datada de 29 de agosto de 2013, obtida a partir do Geocatálogo do Ministério do Meio Ambiente
- Imagens com alta resolução espacial, obtidas no software Google Earth Pro.

Após a inserção, padronização e estruturação das informações no banco de dados, procedeu-se o recorte para a área de estudo, considerando um buffer de 150 m além do limite do município, de modo a garantir eventuais correções espaciais. Por vezes o processamento ou corte destes dados gera um erro de borda em função de que a delimitação “serrilhada” entre os pixels de um dado raster não acompanha a linha de delimitação vetorial mais “suavizada”.

Em razão da indisponibilidade de materiais de maior escala, os dados oriundos do IBGE e da DSG empregados foram retificados objetivando uma melhor representação espacial na escala de análise da área de estudo.

A hidrografia foi ajustada e atualizada por meio de imagens *RapidEye*, imagens obtidas no *Google Earth PRO* e *SRTM*. Esta última serviu como base para a execução dos procedimentos no ArcGIS, onde a drenagem é identificada conforme a topografia do terreno (na ferramenta *Hidrology*). Assim, a hidrografia da base cartográfica e aquela obtida pela modelagem da imagem SRTM foram sobrepostas e ajustadas à imagem RapidEye. Além do ajuste, as nascentes foram identificadas por meio da atribuição de feições de pontos nas coordenadas iniciais de cada drenagem, com auxílio da imagem oriunda do Google Earth.

O ajuste do mapa de geologia teve como base as curvas de nível, sendo definidas as cotas entre 380 e 420 metros a referência de limite entre os domínios geológicos. Esta retificação foi fundamentada nas descrições do projeto RADAM Brasil.

O mapa de pedologia teve os limites das classes ajustados a partir das declividades identificadas no modelo digital de elevação oriundo das curvas de nível e a partir de um mapa de declividade elaborado (descrito adiante). Este método é fundamentado nas descrições das classes de solos disponibilizadas pela EMBRAPA, as quais referem a ocorrência de cada tipologia em razão da declividade do terreno. Como exemplo, pode-se citar que a declividade é um fator que afeta diretamente o processo de erosão, lixiviação, decomposição e presença de matéria orgânica. Solos menos profundos e com menores teores de matéria orgânica ocorrem geralmente em locais mais declivosos.

Os PIs resultantes destes ajustes foram apresentados no Capítulo 3.

Um último layer a ser ajustado se refere à rede viária. Para tal, os dados da base cartográfica e da Prefeitura Municipal foram sobrepostos a imagem do satélite RapidEye, procedendo-se a edição das vias já existentes e a vetorização daquelas ainda não representadas.

4.2.2 Cobertura e Uso da Terra

O mapa de cobertura e uso do da terra envolve a representação biofísica (cobertura) da superfície terrestre, e os tipos de atividades antrópicas (uso) sobre determinada área da superfície terrestre. Dada as características das imagens de satélite disponíveis e a reduzida dimensão do município, decidiu-se pela obtenção

deste mapa a partir do método da interpretação visual, com a vetorização das classes sobre a imagem *RapidEye*, em escala de visualização 1:10.000. A definição prévia das classes a serem mapeadas seguiu o Sistema de Classificação proposto pelo IBGE (2013) e as características da imagem.

Na identificação dos alvos as bandas utilizadas incluem as composições coloridas nas bandas RGB321 (Figura 9) e RBG432 (Figura 10), sendo esta última de grande utilidade para a distinção entre a vegetação e os corpos d'água. A banda 4 da *RapidEye* registra a radiação eletromagnética em um intervalo de 0,69 a 0,73 μm . Neste intervalo a vegetação apresenta uma alta refletância (em torno de 50%), enquanto a água tem uma alta absorção. Esse contraste facilita a diferenciação entre ambos os alvos. Ademais, a composição em infravermelho facilitou a distinção entre a silvicultura e a vegetação nativa, uma vez que na composição das faixas do visível houveram diversas situações em que estas duas classes se confundiram na composição das faixas do visível. Ainda, utilizou-se para apoio neste processo, os dados do IBGE referentes ao censo agropecuário (lavouras temporárias, permanentes e extração vegetal) e a imagem obtida do *Google EarthPro*.

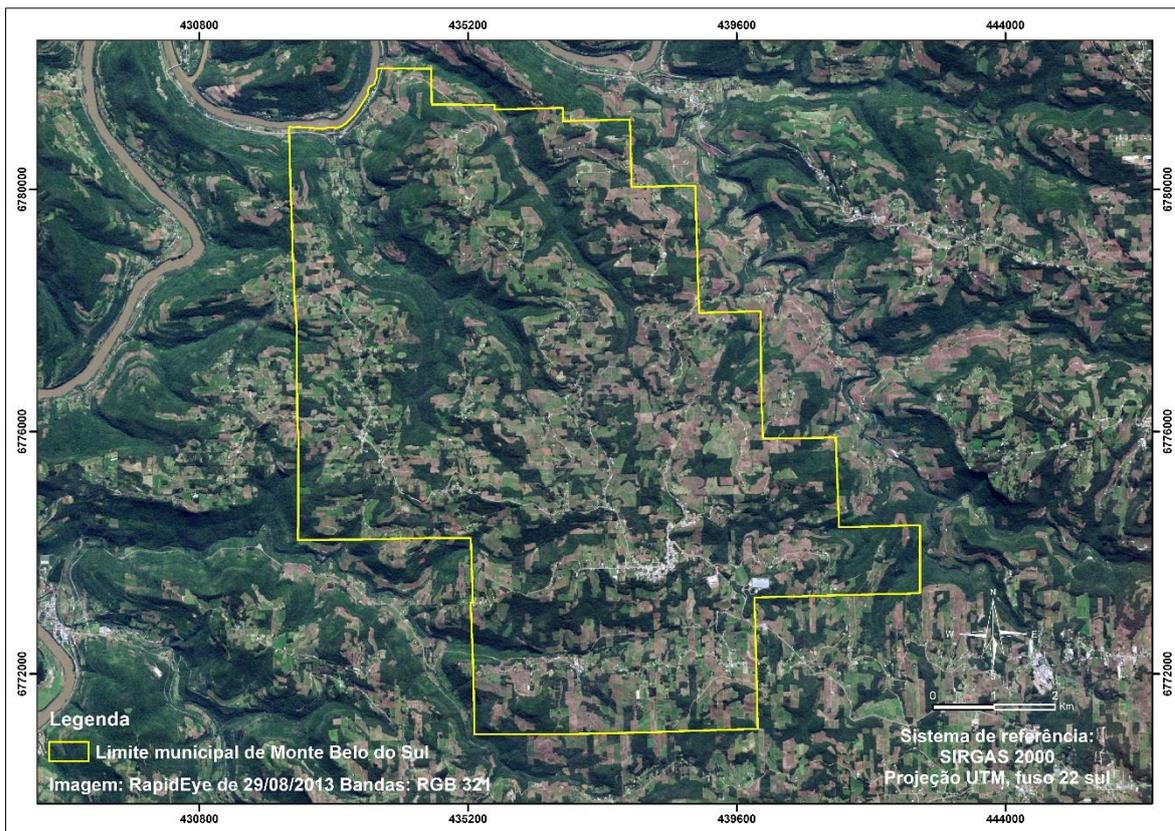


Figura 9: Carta imagem da área de estudo. RapidEye RGB 321.

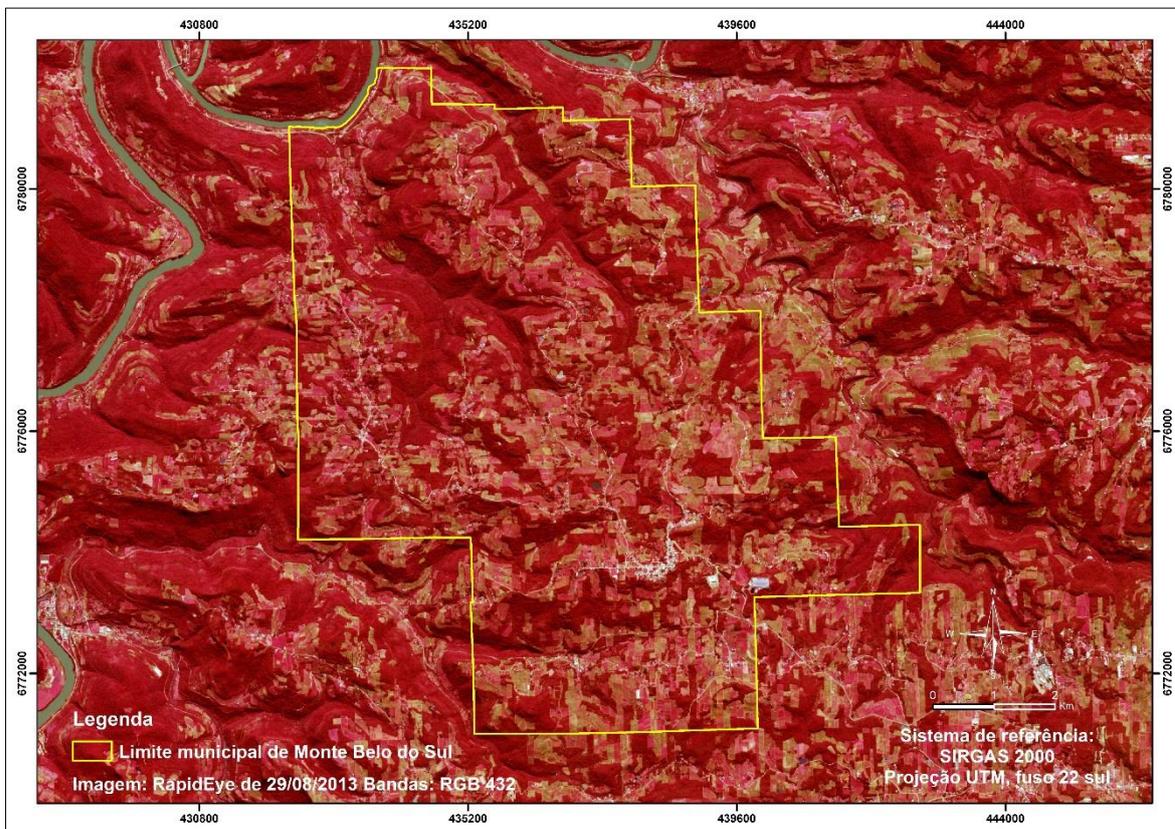


Figura 10: Carta imagem da área de estudo. Imagem RapidEye RGB 432

A rede de drenagem e o sistema viário obtidos na etapa anterior, foram sobrepostos às classes vetorizadas.

Como resultado, obteve-se o mapa de cobertura e uso da terra (Figura 11), composto por oito classes: mata nativa, campo, silvicultura, cultivo agrícola, cursos d'água, corpos d'água, área urbana, vias. A seguir, é apresentada uma descrição das classes mapeadas.

Mata nativa. Esta categoria se refere a vegetação de formação arbórea, onde não houve desmatamento ou, ainda, aquelas áreas onde ocorreram algum tipo de exploração (mata secundária). Predominam nos vales dos arroios nos vales dos arroios ou em áreas de forte declividade e, por vezes, encontram-se sob a forma de capões com pinheiro brasileiro.

Campo. Abrangem, em geral, também as áreas de vegetação natural, caracterizada por gramíneas com capões esparsos de arbustivas.

Silvicultura. Áreas de povoamento florestal exótico, para fornecimento de matéria prima para indústria ou uso familiar. Encontram-se sob a forma de núcleos concentrados em todo o município, com predomínio de eucalipto e, em raros setores, *pinnus* e acácia negra.

Cultivo agrícola. São áreas que envolvem cultivos de natureza diversa, como produção de subsistência, viticultura e pastagem. A maior parte desta classe é representada pelo cultivo de diversas espécies de uva, incluídas cepas nobres.

Áreas urbanas. Corresponde à sede municipal e a pequenos aglomerados situados às margens das vias principais.

Vias. As vias se referem ao sistema de circulação urbano e rural.

Cursos d'água. Estão inclusos nesta classe os cursos d'água permanentes, como o rio das Antas e os arroios principais, e aqueles intermitentes.

Corpos d'água. Representam pequenos açudes de acumulação de água, sem represamento.

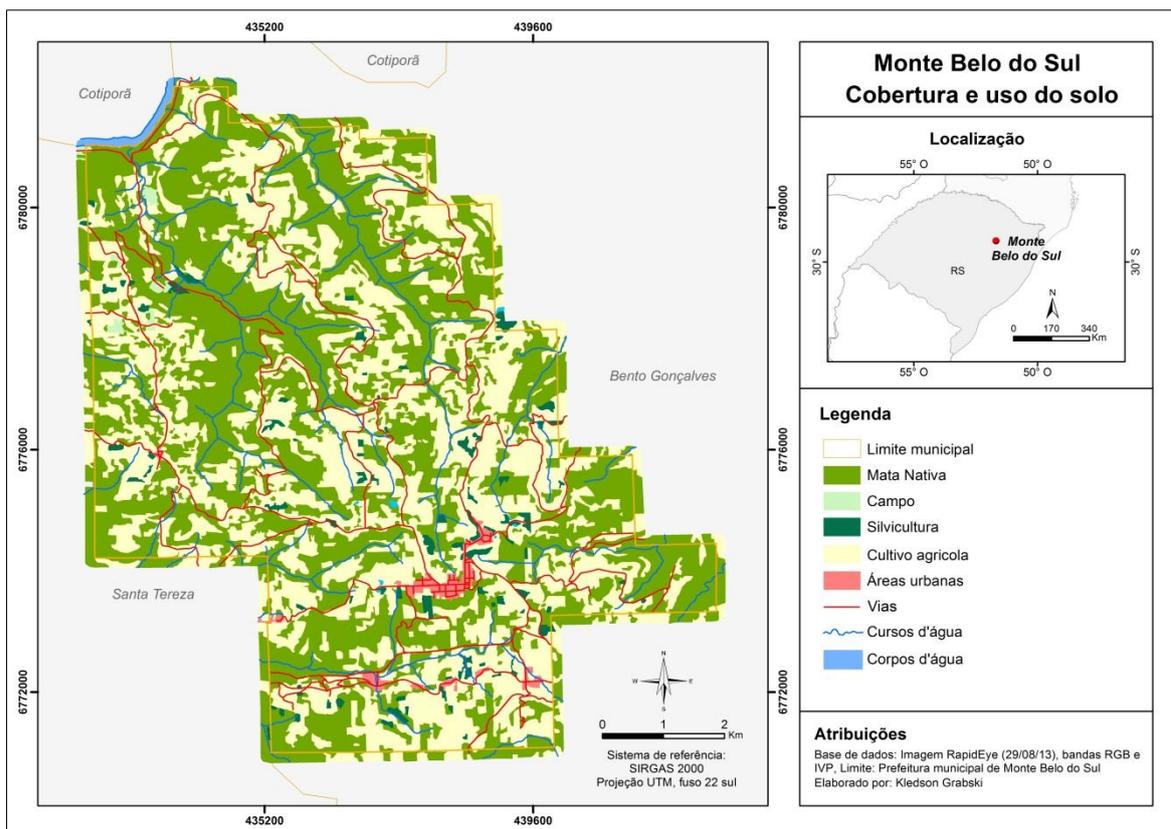


Figura 11: Mapa de cobertura e uso do solo do município de Monte Belo do Sul, RS.

4.2.3 Áreas de Preservação Permanente

Na área de estudo, as APPs definidas a partir do Novo Código Florestal e são representadas, primordialmente por áreas adjacentes à hidrografia, áreas de topo de morro, nascentes e as encostas com declividade maior do que 45°. A obtenção deste mapa, descrita a seguir, se deu de forma individualizada em razão da origem dos dados ser diferenciada.

A delimitação das APPs para a hidrografia e para as nascentes tiveram como base a legislação e o *layer* de hidrografia. Conforme o Novo Código Florestal, estas categorias de APPs são delimitadas a partir de equidistâncias. Portanto, a partir da rede de drenagem gerada, foram aplicados operadores de distância, por meio de um *buffer* no ArcGis. Os parâmetros definidos são 50 metros para o rio das Antas e para todas as nascentes e; 30 metros para as demais classes de hidrografia.

A obtenção das APPs de declividade foi embasada no Novo Código Florestal, onde as áreas com declividade superior a 45° são consideradas restritas e não podem ser ocupadas. O Plano Diretor do município rege que as restrições se dão a partir da declividade de 30%, porém, optou-se por desconsiderá-lo já que sua promulgação é anterior ao Novo Código Florestal e deve-se obedecer a legislação mais atual e hierarquicamente superior.

Neste sentido, o mapa de declividade foi obtido por meio de uma série de procedimentos no ArcGIS, tendo como dados de entrada as curvas de nível e os pontos cotados da base cartográfica da DSG. Em razão do interesse somente nas áreas de APP, este PI de declividade foi reclassificado de modo que representasse apenas as áreas com declividade superior a 45°.

Já para a obtenção das áreas de preservação permanente quanto ao topo de morro, etapas de processamento foram fundamentadas na metodologia proposta por Oliveira e Fernandes Filho (2013). Trata-se de um processamento complexo que envolve a execução de 37 etapas.

Cabe lembrar que antes da elaboração da APP topo de morro, é necessário ter conhecimento de alguns conceitos básicos. Estes fazem parte das áreas de morros e são fundamentais para que a metodologia seja aplicada em concordância com a legislação. Em geral, é preciso conhecer a contextualização do nível de base, ponto de sela, declividade média e a localização do ponto de topo de cada morro.

Nesse contexto, em terrenos ondulados, o ponto de sela é determinado pelo ponto mais próximo da elevação e também define o nível de base. Conforme a lei nº 12.651/2012, para determinada área ser enquadrada como APP topo de morro, a altura da elevação (topo do morro, identificado em relação à base) deve ser igual ou superior a 100 metros e ter declividade média superior a 25°, sendo a terça parte superior do morro.

O processamento para a obtenção desta categoria de APP teve como dado de entrada a imagem SRTM e diversas ferramentas do módulo *Hidrology*, disponível no ArcGIS. Resumidamente, o primeiro processo consta da elaboração de um modelo digital do terreno (MDT) e sua inversão. Com este dado é possível estabelecer o ponto de sela, que, neste caso, é representado pelo ponto máximo de cada limite da bacia invertida (representada pela hidrografia como cumeadas).

As próximas etapas constam a identificação da diferença de altura entre o ponto de sela e o topo do morro (identificado no MDT original sem inversão), e a identificação da declividade média acima de 25°.

Por fim se procede a extração das áreas onde as exigências são satisfeitas e também é determinado o terço superior de cada morro, por meio da diferenciação das altitudes do MDT e a altitude da base do morro. Obtido o resultado final, este é convertido para dado vetorial, servindo como base para os demais processamentos do trabalho.

O resultado dos procedimentos adotados é apresentado na Figura 12.

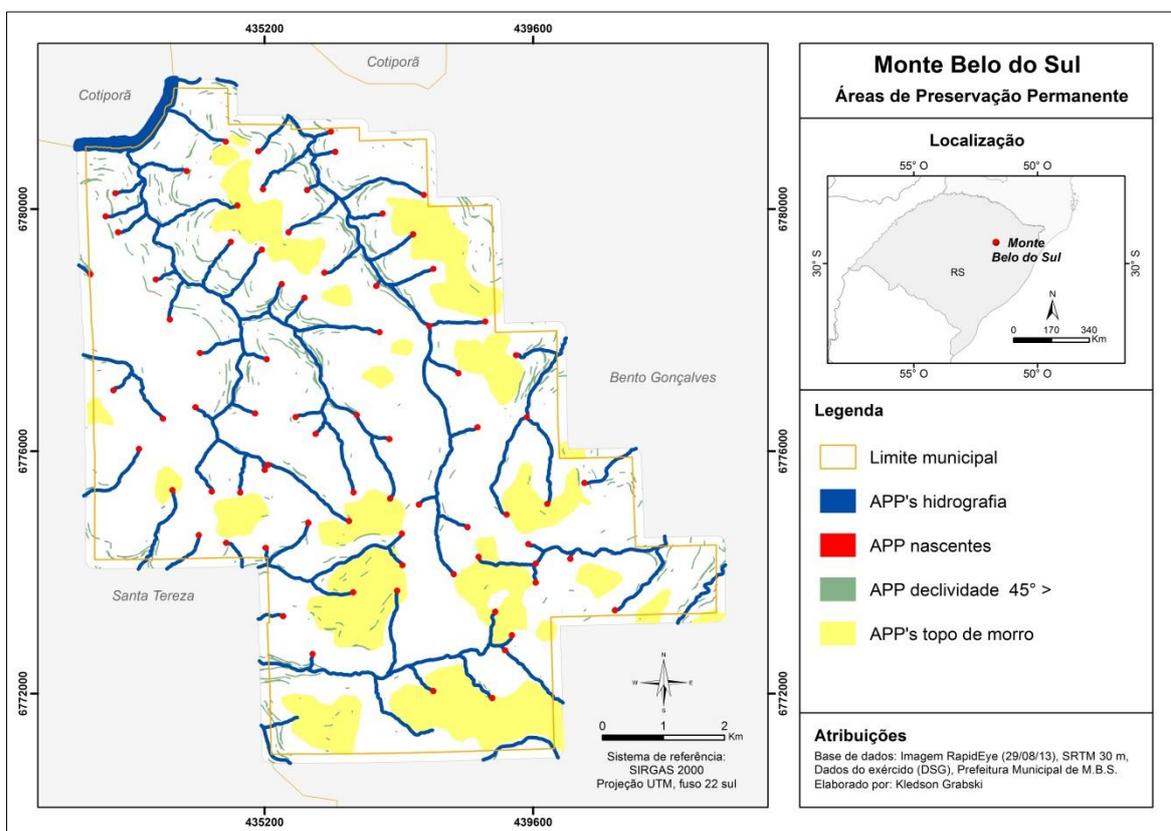


Figura 12: Mapa das áreas de preservação permanentes (APPs) do município de Monte Belo do Sul, RS.

4.2.4 Mapas de distâncias

Em razão de alguns critérios considerarem a variável distância como fator para a ocupação urbana, é necessário a aplicação de operadores de distâncias sobre os Pls de áreas urbanas, vias, nascentes, arroios e rio das Antas. Os

fatores se referem à maior proximidade de infraestrutura instalada e maior distância com relação à hidrografia.

A execução prática se deu no software IDRISI, onde a primeira etapa consiste na conversão dos layers em formato vetorial para, posteriormente, gerar os mapas de distância (Figura 13). O resultado é um arquivo de formato raster, onde cada píxel representa um valor de distância com relação à variável considerada.

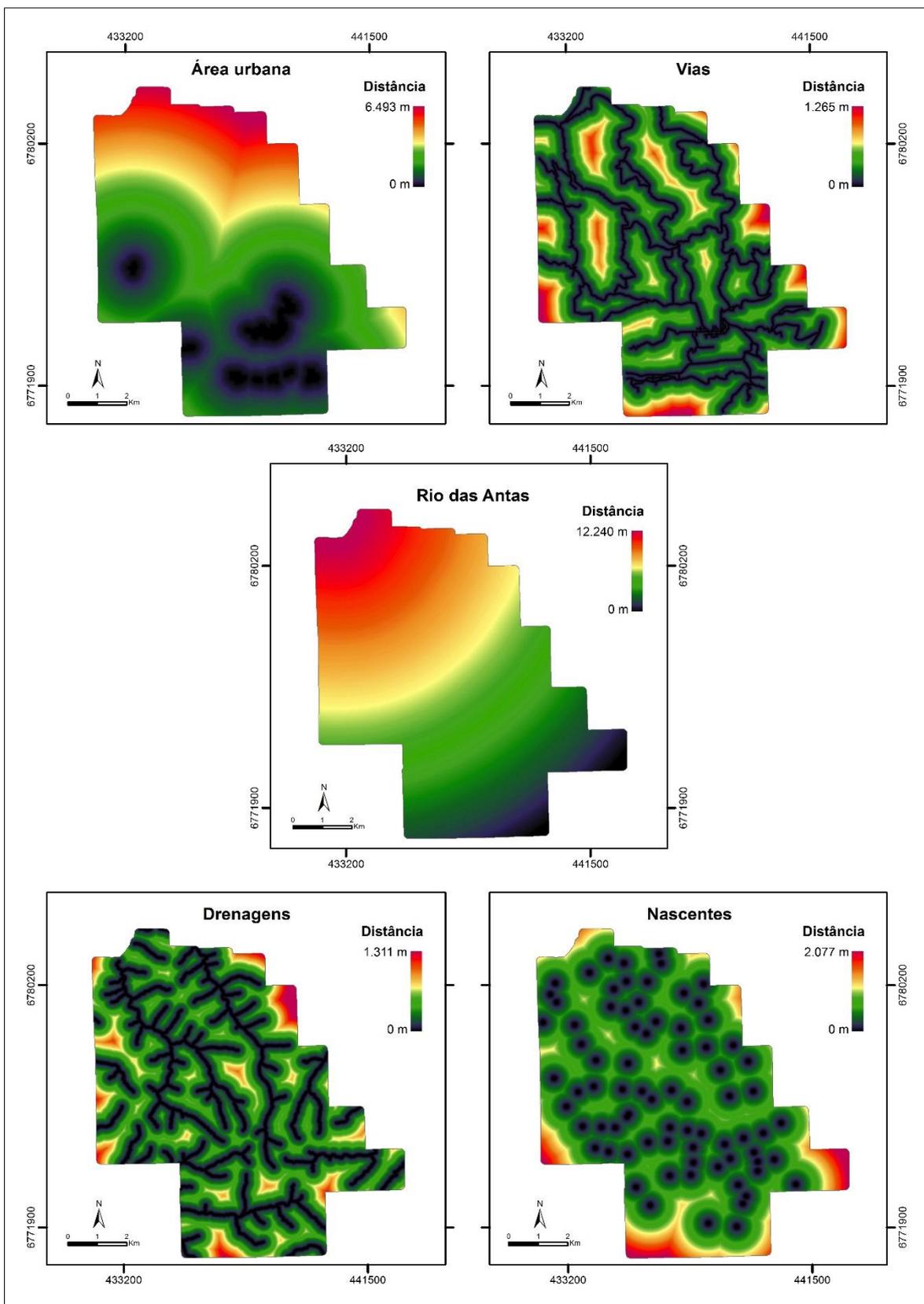


Figura 13: Mapas de distância gerados no Idrisi.

4.3 Elaboração do Mapa de Restrições à Ocupação Urbana

Com o objetivo de identificar todas as áreas que não podem ser ocupadas, elaborou-se um mapa de restrições, onde foram adicionadas todas as classes restritivas oriundas de outros PIs. Constam no mapa de restrições as APPs (declividade, hidrografia, nascentes, topos de morro), as áreas onde não é possível expandir o uso urbano (áreas urbanas consolidadas, sistema viário, hidrografia). Embora nenhuma legislação restringir totalmente o uso em áreas de mata nativa, optou-se por incluir a vegetação nativa como uma categoria de restrição, dada a postura adotada na execução deste trabalho. O resultado é um PI booleano, onde 0 representa as áreas adequadas e 1, as zonas de restrição, cujo resultado é representado na Figura 14.

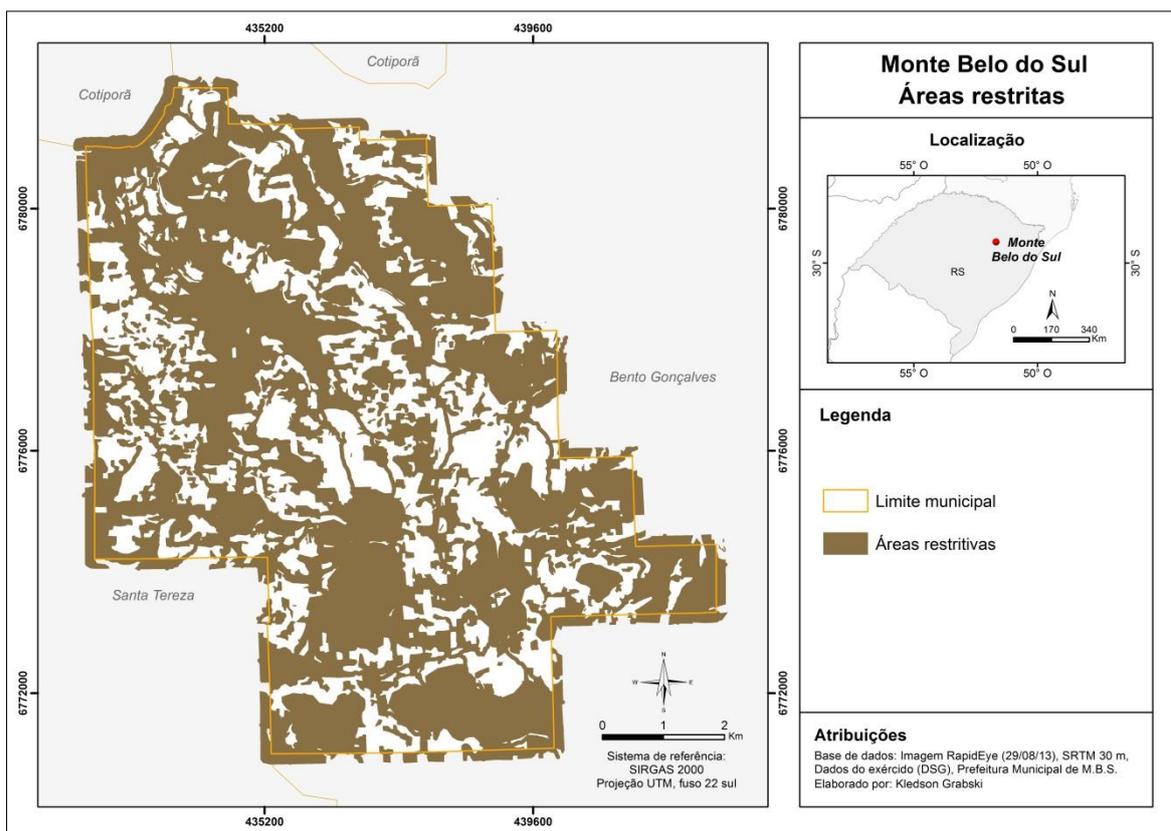


Figura 14: Mapa das áreas restritivas conforme a legislação e áreas já consolidada. Monte Belo do Sul, RS.

4.4 Padronização dos Critérios Fatores

A partir deste ponto, optou-se por utilizar o *software* IDRISI já que o seu sistema de suporte a decisão é muito mais prático e intuitivo em relação ao ArcGIS. Dessa forma, os PIs fatores, o limite do município e o mapa de restrições gerados inicialmente no ArcGIS precisaram ser preparados em formato *shapefile* (extraídos do *geodatabase*) e importados no IDRISI.

Com o objetivo de definir os graus de adequabilidade, os dados vetoriais foram convertidos para o formato raster, por meio do módulo *Gis Analysis*. Nesta etapa constaram sete PIs: limite municipal, áreas urbanas, distância as áreas urbanas, sistema viário, distância ao sistema viário, rio das Antas, distância ao rios das Antas, nascentes, distância às nascentes, drenagens (cursos permanentes e intermitentes), distância à drenagem e mapa de restrições. Cabe salientar que os PIs referentes à hidrografia correspondem à variável em si, somada a área de restrição imposta pela legislação.

A padronização de variáveis por meio da lógica *fuzzy* é implementada pela normalização dos PIs em valores inteiros entre 0 a 255 e a conseguinte escolha da função decisão e dos seus respectivos pontos de inflexão. Esta tarefa exige uma postura coerente do analista em relação às características naturais e antrópicas da área em estudo. Neste trabalho optou-se em aplicar funções que valorizassem a distância aos recursos hídricos e a proximidade da infraestrutura já instalada sem, no entanto, desconsiderar o elevado percentual de áreas com algum tipo de restrição.

Nesse contexto, para a drenagem e as nascentes, a função sigmoideal crescente representou melhor a classificação gradual de adequabilidades desejada entre as distâncias de inflexão. Considerou-se para tal que a proximidade a hidrografia apresenta maior vulnerabilidade, representada no município pela pressão dos usos agrícolas e, ainda, não há claramente definida uma postura de conservação no Plano Diretor. Assim, diferentes valores foram atribuídos para cada classe, onde o ponto de controle inicial representa uma padronização com variação suave e o ponto de controle “b” representa uma variação de adequabilidade intermediária. À este último ponto foi atribuído um valor igual a faixa de preservação regida pela legislação.

Por outro lado, a proximidade das áreas urbanas e do sistema viário diminui os custos de expansão dos equipamentos urbanos. Portanto, a função de pertinência linear se mostra a mais adequada, de forma que até um determinado limite a variação espacial da adequabilidade é igual (“c”) e, a partir deste ponto até um valor final estabelecido (“d”), ela decai abruptamente até atingir o valor zero. Em razão das características do município, estabeleceu-se este limite em 3.500 metros, ou seja, a partir desta distância, sob o ponto de vista da economicidade, nenhuma área é adequada. A Tabela 2 ilustra a maneira pela qual os PI fatores foram padronizados e a Figura 15 os PIs resultantes.

Classe	Função	Pontos de inflexão (metros)			
		a	b	c	d
Áreas urbanas	Linear	-	-	1.500	3.500
Vias	Linear	-	-	500	1.000
Rio das Antas	Sigmoidal	25	50	-	-
Drenagens	Sigmoidal	15	30	-	-
Nascentes	Sigmoidal	25	50	-	-

Tabela 2: Fatores, suas funções e os respectivos pontos de inflexão.

É interessante mencionar que Delgado & Cano (2005) relataram, a partir de um estudo, que o número máximo de critérios a serem considerados em uma matriz corresponde a sete, pois a partir deste valor o cérebro humano tem dificuldades em comparar adequadamente as alternativas.

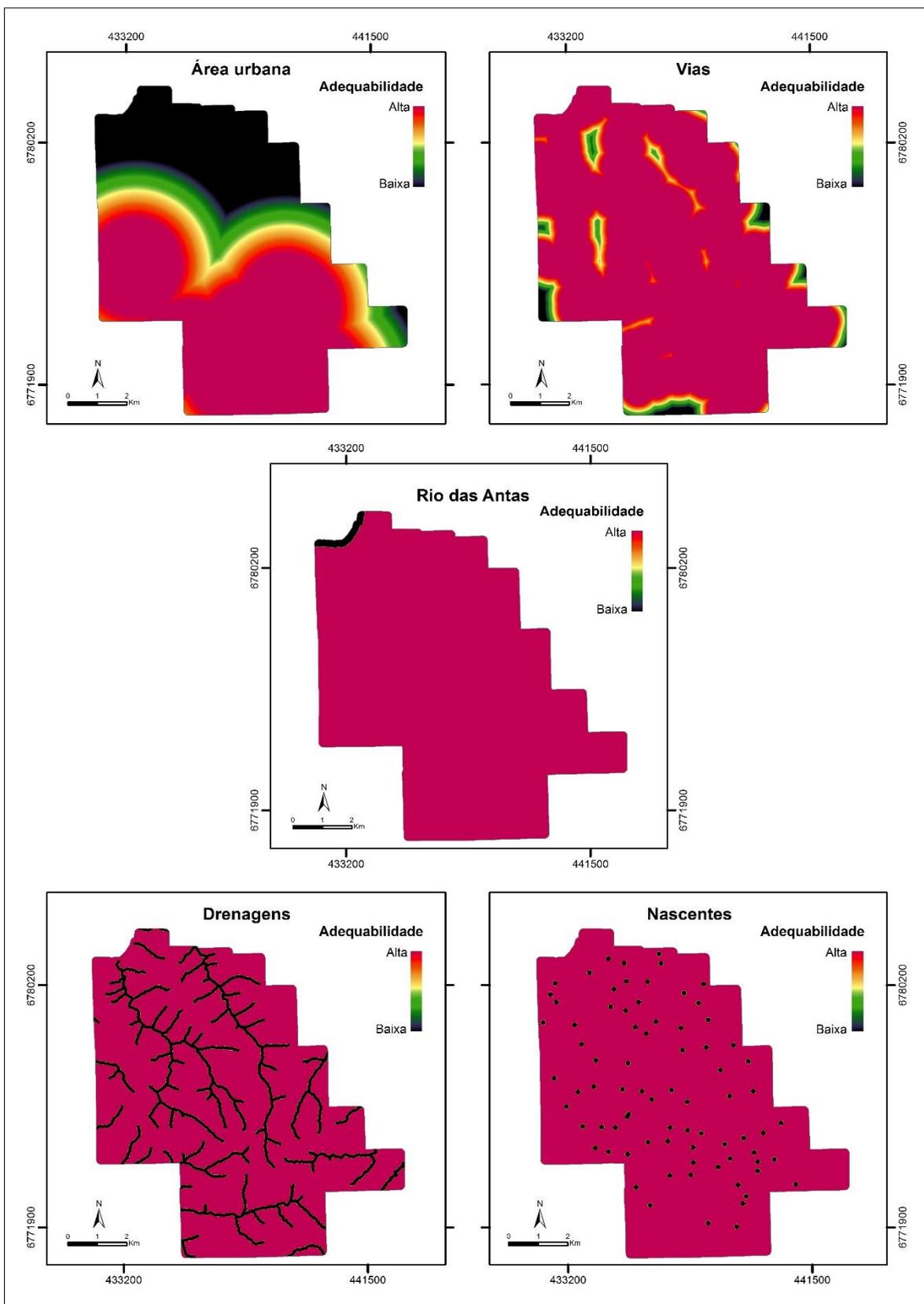


Figura 15: Níveis de adequabilidade à expansão urbana para cada PI.

Fatores	Proximidade urbano	Proximidade vias	Distância Antas	Distância drenagem	Distância nascentes
Proximidade urbano	1				
Proximidade vias	1/3	1			
Distancia Antas	1/3	1/3	1		
Distância drenagem	1/3	1/3	1	1	
Distância nascentes	3	3	3	3	1

Tabela 4: Matriz de comparação pareada entre os PIs fatores

A implementação da matriz resultou nos pesos calculados (ou coeficientes de importância) para cada PI (Tabela 5). O índice de consistência aos valores atribuídos na matriz é calculado automaticamente e varia entre 0 e 1, com 0 indicando completa consistência. Obteve-se a razão 0,08; portanto, plenamente aceitável.

Fatores	Pesos
Área urbana	0,2600
Sistema Viário	0,1657
Rio das Antas	0,0830
Demais drenagens	0,0830
Nascentes	0,4082

Tabela 5: Pesos calculados para os mapas fatores

4.6 Elaboração do Mapa de Adequabilidade à Ocupação Urbana

Para a obtenção do mapa de adequabilidade é preciso realizar a soma ponderada dos PIs gerados e apresentados anteriormente. Este método é fundamentado na multiplicação de cada PI de fator padronizado por seus respectivos pesos e, a soma dos resultados. No SIG Idrisi esta função está disponível no módulo MCE (*Multi Critéria Evaluation*).

Os dados de entrada se referem às restrições (limite do município e mapa de restrições) e todos os PIs fatores padronizados. Como resultado, o PI obtido pelo cruzamento é um mapa de adequabilidade representada pelos valores que variam de 0 (menor adequabilidade) a 255 (maior adequabilidade). Entretanto, estes valores podem ser reclassificados para um melhor entendimento e apresentação dos dados. Assim, este PI foi reclassificado para quatro classes temáticas de adequabilidade visando sua utilização prática, de acordo com a

Tabela 6. A análise considerou as especificidades do município e foi realizada a partir da ferramenta *Reclass*. A classe muito alta foi limitada a um intervalo curto visando priorizar ainda mais a urbanização em áreas próximas dos núcleos já consolidados. O resultado final é apresentado no próximo capítulo.

Adequabilidade	Intervalo
Baixa	0 - 140
Média	140 - 220
Alta	220 - 245
Muito Alta	245 - 255

Tabela 6: Intervalos selecionados para a reclassificação do mapa de adequabilidade à expansão urbana.

5. APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS

O resultado de todos os procedimentos adotados é apresentado Figura 17, onde encontram-se espacializadas as áreas adequadas à ocupação urbana para o município de Monte Belo do Sul, de acordo com quatro níveis de adequabilidade (muito alta, alta, média e baixa). A razão entre adequabilidade e restrição com relação ao total da área do município é, respectivamente, 34,7% e 65,3%. A Tabela 7 relaciona as classes e suas respectivas áreas.

Pode-se observar que as áreas de muito alta adequabilidade se referem às localizadas mais próximas aos núcleos urbanos e mais distantes da hidrografia, compondo 11,08 km². As demais classes tiveram uma representação menor em termos de área devido aos pontos de corte no PI de adequabilidade *fuzzy*, relatados anteriormente. Os pontos de corte foram estabelecidos visando o decréscimo da adequabilidade conforme aumentam as distâncias das infraestruturas e diminuem a proximidade dos recursos hídricos.

Adequabilidade à ocupação urbana	Área (km²)	Relação com a área total (%)
Muito Alta	11,08	16,0
Alta	4,99	7,2
Média	7,69	11,1
Baixa	0,26	0,4
Inadequada	45,24	65,3
Total	69,26	100

Tabela 7: Classes representativas dos PIs e suas respectivas áreas.

Ainda, quanto à classe de muito alta adequabilidade, esta representa quase a metade das áreas adequadas e é cerca de 11 vezes maior do que a atual área urbana mapeada. Outro dado que merece ser mencionada se refere ao total de áreas adequadas para expansão urbana, que corresponde a 24,02 km², mais de 20 vezes a atual área urbanizada, ou seja, o alto valor de áreas inadequadas obtido (45,24 km²) não oferece entraves maiores para o desenvolvimento urbano. Portanto, pode-se sugerir que as áreas de Muito Alta Adequabilidade sejam priorizadas para a ocupação urbana.

Analisando-se as classes de média e baixa adequabilidade percebe-se que elas se ocorrem em duas situações: distantes dos núcleos urbanos e/ou

muito próximas das nascentes e dos cursos de água localizadas dentro de áreas de muito alta adequabilidade (Figura 16). Nesta última situação, é interessante avaliar a sua futura utilização por regimes urbanísticos de menor impacto ambiental, como a locação de praças ou parques públicos. A definição da média adequabilidade sofreu forte influência devido a função de pertinência linear aplicada ao PI de distância às áreas urbanas, onde o ponto de corte foi situado em 3.500 metros. Dessa forma, os valores além desta distância tiveram atribuídos um grau de adequabilidade 0 dentro da escala *fuzzy* (0-255).

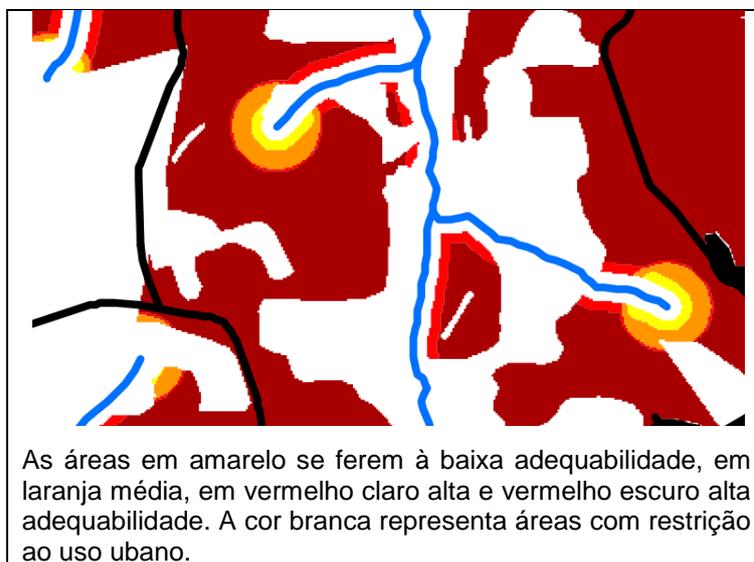


Figura 16: Detalhe da ocorrência das classes de adequabilidade.

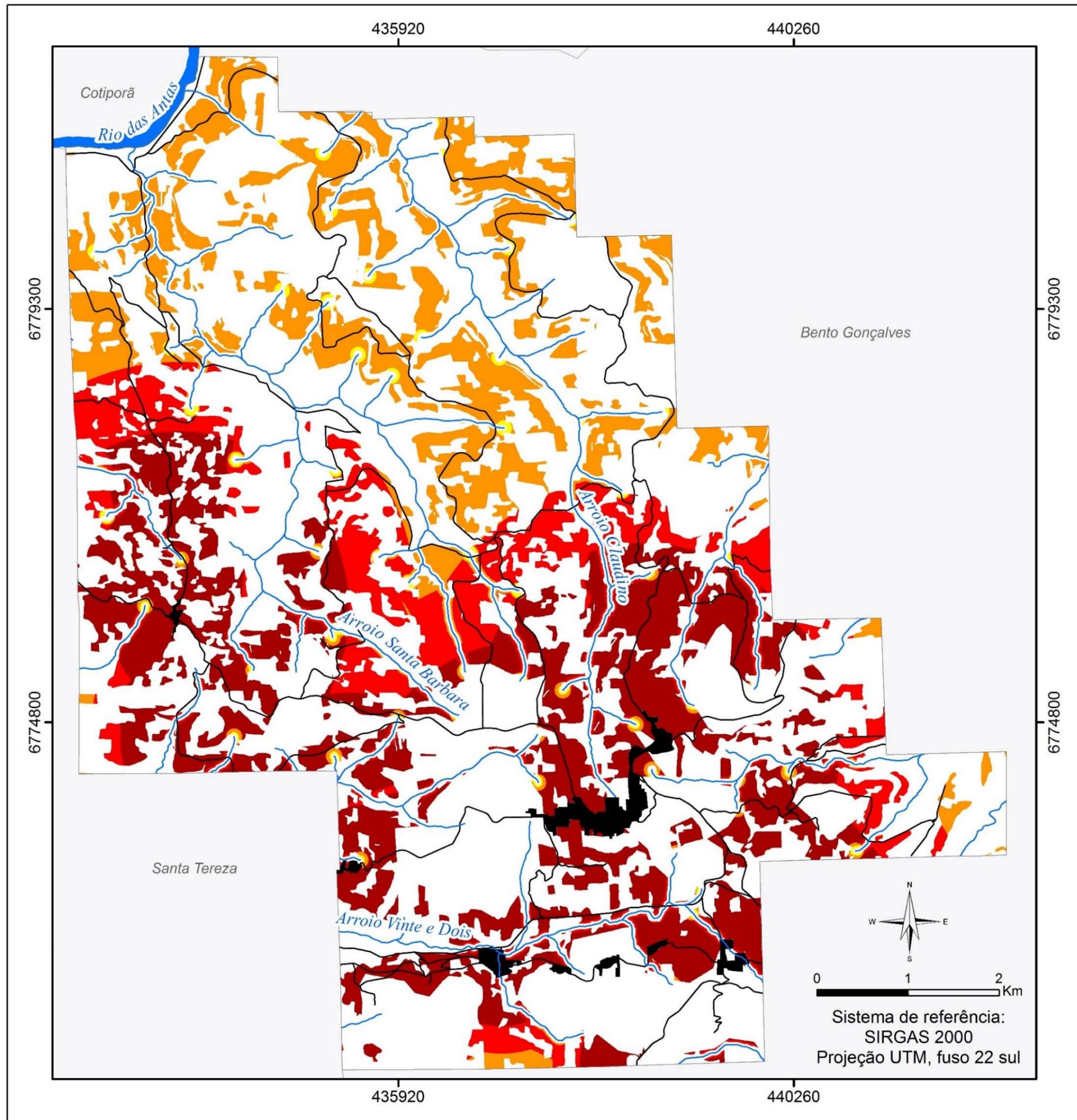
Quanto às áreas inadequadas para o uso urbano, estas representam todas as restrições impostas pela legislação e perfazem um total de 45,24km² (aproximadamente 65% da área municipal). A variável que mais contribuiu para esta situação é o elevado percentual de mata nativa existente no município. A legislação não restringe totalmente o seu uso, porém, pelas razões já expostas, optou-se em incluí-la nesta categoria.

A APP topo de morro é a segunda variável que mais contribuiu para as restrições ao uso e sua ocorrência está diretamente relacionada ao relevo predominante da região. Contudo, certamente o atual Código Florestal reduziu a sua extensão se comparado aos possíveis limites obtidos pela legislação anterior (Código Florestal de 1965 e Resoluções do CONAMA). As demais APPs representaram menores áreas, mas igualmente têm importância para a

preservação ambiental. A Tabela 8 apresenta a área ocupada por cada classe de restrição. Cabe ressaltar que os valores desta tabela estão sobre-estimados em razão da sobreposição de algumas classes de APP, como nascentes e topos de morro. Por meio da exclusão das áreas de sobreposição, o valor total das áreas com restrições perfaz 45,24km².

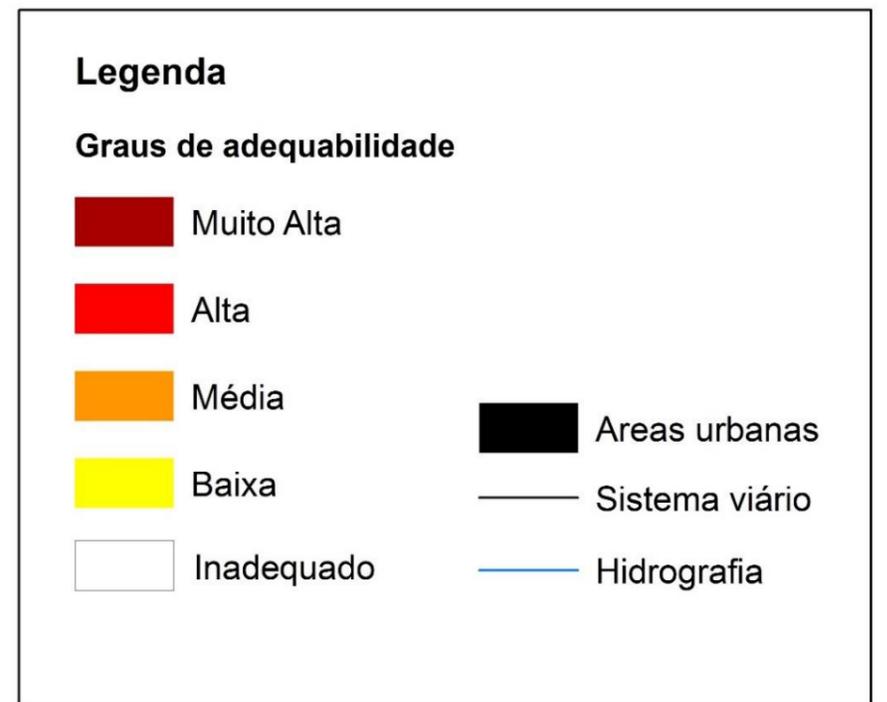
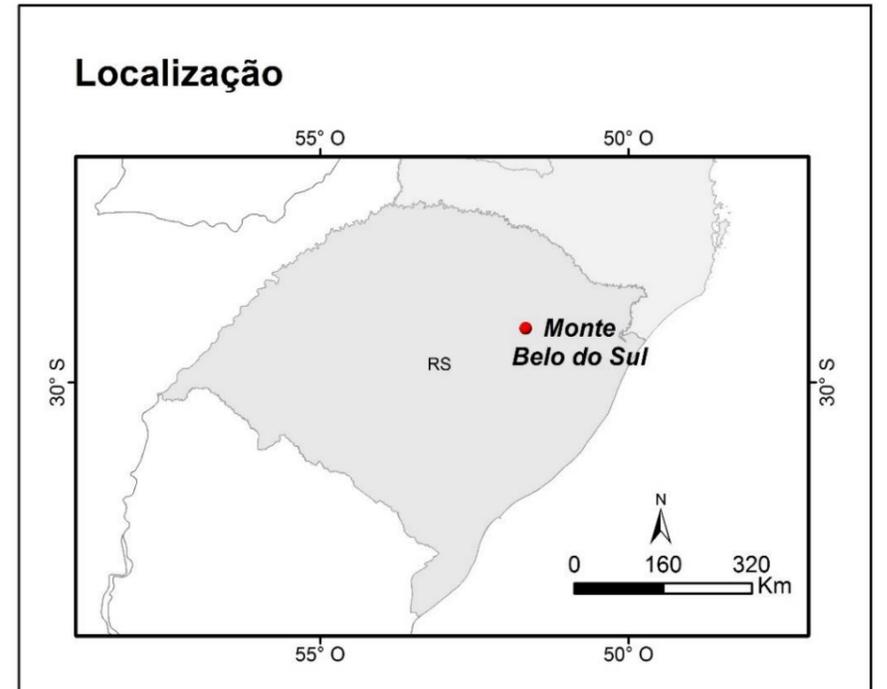
Áreas inadequadas para ocupação urbana	Áreas (km²)
APP nascentes	0,36
APP hidrografia	5,46
APP declividade	1,01
Áreas urbanas consolidadas	0,73
Vegetação nativa	34,94
APP topo de morro	13,01
Total	55,51

Tabela 8: Áreas das áreas inadequadas para a ocupação urbana para o município de Monte Belo do Sul, RS



MONTE BELO DO SUL

Mapa de adequabilidade à expansão urbana



Atribuições

Dados utilizados: Base cartográfica da DSG, imagem do satélite RapidEye 29/08/13.
Limite: Prefeitura municipal de Monte Belo do Sul
Elaborado por: Kledson Grabski.

Figura 17: Mapa de adequabilidade à expansão urbana

6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os Sistemas de Informação Geográfica mostraram-se apropriados para o estudo e proposição de áreas adequadas para a ocupação urbana no município de Monte Belo do Sul. As ferramentas disponíveis supriram plenamente as necessidades da construção do banco de dados bem como do processo de modelagem e geração do resultado final.

Apesar de se constituírem em sistemas semelhantes, a operacionalidade dos SIGs ArcGIS e IDRISI se dá de maneira diversa, uma vez que o primeiro é voltado para análise de dados em formato vetorial e o segundo para o formato raster. O ArcGIS mostrou-se eficaz na entrada e organização do banco de dados, modelagem hidrológica, edição e vetorização dos mapas e na representação dos resultados. Por outro lado, o IDRISI possui um sistema de suporte à decisão mais robusto e mais prático, exigindo um menor conjunto de procedimentos para a modelagem final. Ademais, a sua maior variedade de funções de pertinência e de métodos de padronização de variáveis permitem ao usuário testar diferentes cenários antes da escolha daquele que julgar o mais adequado.

O método de Avaliação Multi Critério permitiu a análise e a implementação dos vários critérios empregados. Durante o processo de avaliação, houve certa simplicidade na alteração da matriz de comparação pareada ao serem testadas diversas formas de avaliar a importância relativa de cada critério. A lógica *fuzzy*, apresentou a mesma praticidade e flexibilidade na modelagem das adequabilidades. A operacionalidade do método tornou possível simular diversas situações até se atingir um resultado considerado o mais apropriado para a realidade do município.

O modelo eleito resultou em um mapa com quatro classes de adequabilidade à ocupação urbana, no qual a classe “muito alta” perfaz 16% da área do município. Este valor é elevado ao se considerar que representa cerca de 11 vezes a atual área urbana mapeada e a grande quantidade de restrições impostas pelas condicionantes físicas do município. Portanto, após um estudo mais aprofundado junto aos técnicos da Prefeitura Municipal, estas áreas podem vir a se constituir como prioridade para a futura expansão urbana.

Quanto à metodologia empregada, alguns pontos devem ser considerados. Apesar da agilidade e facilidade propiciados pelos SIGs no tratamento da

informação espacial, pode-se dizer que a etapa de construção da base de dados consistente é a mais custosa em termos de tempo. Uma das maiores dificuldades encontradas é disponibilidade de informações nos mais diversos formatos e escalas. Variáveis importantes para o modelo proposto foram encontradas somente em escalas pequenas ou médias com relação à que deveria ser utilizada no tratamento de questões urbanas, como é o caso dos mapas de geomorfologia, solos e da base cartográfica da DSG. O ajuste dos limites de classes realizado em alguns dos mapas não é totalmente condizente com a escala final, carecendo de verificação em campo.

Nesta mesma linha, embora as imagens de alta resolução oriundas do *Google EarthPRO* terem contribuído significativamente para a identificação das classes do mapa de cobertura e uso da terra sobre a imagem RapidEye, o ideal é realizar a validação dos resultados por meio de estudos de campo. A verificação de campo, neste caso, traria maior precisão quanto a delimitação das classes de vegetação e das áreas urbanas consolidadas e, de maneira geral, quanto ao ajuste dos dados de menor escala.

Também é importante mencionar que a delimitação das APPs de topo de morro sofre influência direta do dado de entrada e do método de interpolação utilizado. Os limites desta categoria de APP podem ser superestimados ou subestimados, portanto, este item merece um estudo mais aprofundado, já que é uma variável de alta relevância no modelo proposto.

Assim, constatou-se que apesar da agilidade e praticidade propiciada pelos SIGs em estudos que envolvem análise espacial, estes devem ter um forte embasamento conceitual para a correta seleção dos processos. O emprego desta tecnologia sem o conhecimento teórico de Cartografia e de modelagem do ambiente pode incorrer em resultados inadequados ou mesmo equivocados.

Estudos semelhantes podem ser conduzidos ou aprofundados utilizando critérios diversos dos adotados neste trabalho, tais como a inclusão de variáveis que representem algum risco à ocupação urbana (vulnerabilidade à deslizamentos e/ou inundações). Sugere-se ainda uma avaliação cuidadosa da legislação pertinente, utilizando-se aquelas mais recentes e que envolvam hierarquicamente as diversas esferas do poder público. Ademais, os critérios restritivos baseados na legislação variam de acordo com o tipo de ambiente no qual a área de interesse está inserida. Fica evidente, portanto, a necessidade de se observar as especificidades locais em termos de ambientes naturais e de necessidades de expansão urbana.

Por fim, e não menos importante, ressalta-se a alta receptividade e disponibilidade dos técnicos da Prefeitura Municipal para a execução deste estudo. Pôde-se repensar a questão de que os grandes centros urbanos têm as maiores dificuldades de gestão e maior carência de informações sobre a sua realidade. As administrações de municípios de menor porte também enfrentam problemas dessa ordem, principalmente quanto à modernização dos processos de planejamento, à assimilação de novas tecnologias e à manutenção de uma base de dados espaciais organizada e consistente.

Deste modo, espera-se que este trabalho contribua com subsídios técnicos para a administração municipal e que a universidade cumpra o seu importante papel de produzir e aplicar novos conhecimentos.

REFERÊNCIAS

ALVES, Humberto Prates da Fonseca, et al. Dinâmicas de urbanização na hiperperiferia da metrópole de São Paulo: análise dos processos de expansão urbana e das situações de vulnerabilidade socioambiental em escala intraurbana. **Revista Brasileira de Estudos de População**, São Paulo, SP, v. 27, n.1, p. 141-159, ISSN 0102-3098, 2010. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?pid=S0102-30982010000100009&script=sci_arttext>. Acessado em: 14 jul. 2015.

AKSOYLU, Sevin. Benefits of GIS in Urban Planning. In: **GIM Internacional**, Turquia, 2005. Disponível em: <<http://www.gim-international.com/content/article/benefits-of-gis-in-urban-planning>>. Acessado em: 26 jun. 2015.

ANICETO, A.; FIGUEIRA, C.; PARREIRA, P.; PEREIRA, M. **A importância da análise espacial na gestão urbana**. Um caso de estudo. In: X COLÓQUIO IBÉRICO DE GEOGRAFIA, 2005, Évora. Anais... Disponível em: <http://www.apgeo.pt/files/docs/CD_X_Coloquio_Iberico_Geografia/pdfs/096.pdf>. Acesso em: 11 nov. 2015.

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

_____. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Levantamento de Recursos Naturais. Vol.33, Folha SH 22, Porto Alegre e parte das folhas SH 21 e SI 22 Lagoa Mirim**. Rio de Janeiro, 1986, 796p.

_____. Lei nº 12.651, de 25 de Maio de 2012. **Novo Código Florestal**. Brasília, DF: Senado, 2012.

_____. Lei nº 6.766 de 19 de Dezembro de 1979. **Parcelamento do Solo Urbano e outras Providências**. Brasília, DF: Senado, 1979.

_____. Lei Nº 6.938, de 31 de Agosto de 1981. **Política Nacional do meio Ambiente**. Brasília, DF: Senado, 1981.

_____. Lei nº 745/2006 de 05 de Outubro de 2006.. **Plano Diretor do Município de Monte Belo do Sul - RS**. Disponível em: <<http://leismunicipa.is/prcjh>>. Acesso em: 6 de abril de 2015.

CONAMA, Conselho Nacional do Meio Ambiente. **Resolução nº 302, de 20 de Março de 2002** Publicada no DOU nº 90, de 13 de maio de 2002, Seção 1, páginas 67-68.

DELGADO, Montserrat Gomes. CANO, José I. Barreto. **Sistemas de Informacion Geográfica y evaluación multicritério em la ordenación del território**. 2ª ed. RA-MA editorial, Madrid, 2005.

DIAS, J. E. GOMES, O. V. de O. GOES, M. H. de B. **O uso do Geoprocessamento na determinação de áreas favoráveis a expansão urbana no município de Volta Redonda, Estado do Rio de Janeiro, Brasil.** In: Revista do Programa Pós Graduação em Geografia da Universidade Estadual de Londrina v. 23, n. 1, 2014.

EASTAM, Ronald, J. **Tutorial do IDRISI Taiga.** 2009. University Clark, Graduate School of Geography, Worcester – MA. 333 p. Editores da versão em português: Heinrich Hasenack e Eliseu Weber. Porto Alegre: UFRGS, Centro de Ecologia, 2010. Disponível em: <http://www.ecologia.ufrgs.br/labgeo/arquivos/downloads/Tutorial_Idrisi_Taiga_1_1_a_2_8.pdf>. Acessado em: 05 mar. 2015.

_____, Ronald J. **Guide to GIS and image processing.** Volumes 1 e 2. Clark Labs, Clark University.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. **Sistema Brasileiro de Classificação dos Solos.** Rio de Janeiro: EMBRAPA, 2011.

FARINA, Flávia Cristiane. **Utilização de técnicas de geoprocessamento para seleção de áreas adequadas à expansão urbana: caso do município de Rio Grande - RS.** Dissertação (Mestrado). Porto Alegre: Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2003.

HELFER, Ana Luiza. **Modelo baseado em SIG para avaliação da suscetibilidade a movimento de massa na região metropolitana de Porto Alegre.** 2014. 99 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Ambiental) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2014.

HIRYE, Mayumi Cursino de Moura. **Análise da expansão urbana com utilização do modelo linear de mistura espectral: Estudo de caso em Altamira (PA) entre 2000 e 2010.** 2014. 183 f. Dissertação (Mestrado em Sensoriamento Remoto). - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, 2014. Disponível em: <<http://mtc-m21b.sid.inpe.br/col/sid.inpe.br/mtc-m21b/2014/08.15.16.59/doc/publicacao.pdf>> . Acessado em: 12 abr. 2015.

HOFFMANN, Rosa Cristina. MIGUEL, Renato Abib Dutra. PEDROSO, Daiane Cristina. **A importância do planejamento urbano e da gestão ambiental para o crescimento ordenado das cidades.** Revista de Engenharia e Tecnologia V. 3, Nº3, Dez/2011.

IBGE, Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Censo Agropecuário.** 2014. Disponível em: < <http://www.cidades.ibge.gov.br/xtras/home.php>>. Acessado em: 18 out. 2015.

_____. **Censo Demográfico.** 2010. Disponível em: < <http://www.cidades.ibge.gov.br/xtras/home.php>>. Acessado em: 20 out. 2015.

_____. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Monte Belo do Sul: Dados Gerais do Município.** Disponível em: <<http://cod.ibge.gov.br/512E>>. Acesso em: 15 jun. 2015.

JIMÉNEZ, António Moreno. BUZAI, Gustavo D.,. DÍAZ, Manuel Fuenzalida,. (Organizadores). **Sistemas de Información Geográfica: Aplicaciones en diagnósticos territoriales y decisiones geoambientales**. RA-MA Editorial, Madrid 2012.

KESKAR, Yogesh M.; KUMAR, Sanjeev. Need of Remote Sensing and Geographical Information System in Urban Planning, a Case of Housing Colony in Bhopal City, Madhya Pradesh, India. In: **International Journal of Engineering Research & Technology**, Canadá, v.2, Issue 10, p. 1752-1757, ISSN 2278-0181, 2013. Disponível em: <<http://www.ijert.org/view-pdf/5748/need-of-remote-sensing-and-geographical-information-system-in-urban-planning-a-case-of-housing-colony-in-bhopal-city-madhya-pradesh-india>>. Acessado em: 17 mai. 2015.

KERSTEN, Gregory E.; MIKOLAJUK, Zbigniew; GAR-ON YEH, Anthony. **Decision Support Systems for Sustainable Development: A Resource Book of Methods and Applications**. International Development Research Centre (IDRC) and Kluwer Academic Publishers. 2002. ISBN 0-306-47542-1. Disponível em: <<https://books.google.com.br/books?id=7AwGCAAAQBAJ&pg=PA69&lpg=PA69&dq=urban+planning+gis+itc+journal&source=bl&ots=5OCHo1j0IN&sig=QVn8OnzlhjSID2WsLPQCa6HWsyY&hl=pt-BR&sa=X&ved=0ahUKEwib6fyV8rPJAhXLP5AKHRBVDnUQ6AEIbjAJ#v=onepage&q=urban%20planning%20gis%20itc%20journal&f=false>>. Acessado em: 12 ago. 2015.

LONGLEY, P. A. ... [et al]; **Sistemas e Ciência da informação Geográfica**. [tradução: André Shineider ... et al.]; revisão técnica: Heinrich Hasenack, Eliseu José Weber. 3 ed. Porto Alegre: Bookman, 2013.

MEIRELLES, M. S. P.; BUENO, M. C. D. ; COUTINHO, H.L. C. DIAS, T. C. S. Sistema de suporte a decisão para avaliação do risco de impactos ambientais em bacias hidrográficas por redes de dependência e lógica fuzzy In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 12., 2005, Goiânia, Brasil. **Anais eletrônicos...** Disponível em: <<http://marte.dpi.inpe.br/col/ltid.inpe.br/sbsr/2005/02.12.16.31/doc/capa.htm>> Acesso em: 21 mar. 2015.

MORAES, Cristina Isabel; CONCEIÇÃO, Fabiano Tomazinin da; CORRÊA, Edvania Aparecida. Geotecnologias para caracterização da expansão urbana em área de nascente do Córrego Wenzel – Rio Claro/SP-Brasil. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 2013, Foz do Iguaçu. **Anais eletrônicos...** São José dos Campos: INPE, 2013. p.4480-4487. Disponível em: <<http://www.dsr.inpe.br/sbsr2013/files/p0173.pdf>>. Acessado em: 10 mai. 2015.

MOURA, A.C.M. **Geoprocessamento na gestão e planejamento urbano**. Editora Difusora, Belo Horizonte, 2003. 294p

NOVO, Evlyn M. L. de Moraes. **Sensoriamento Remoto: Princípios e Aplicações**. 4. Ed. São Paulo: Blucher, 2010.

OLIVEIRA, Isabella Moretti de; COSTA, Sandra M. Fonseca da. Monitoramento da expansão urbana, utilizando dados de sensoriamento remoto – Estudo de caso. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 2001, Foz do Iguaçu. **Anais...** São José dos Campos: INPE, 2001. p.1131-1138. Disponível em: <<http://marte.sid.inpe.br/col/dpi.inpe.br/lise/2001/09.20.17.19/doc/1131.1138.224.pdf>>. Acessado em: 25 abr. 2015.

PREFEITURA MUNICIPAL DE MONTE BELO DO SUL. **Monte Belo do Sul - RS**. Disponível em: <<http://www.montebelodosul.rs.gov.br/>>. Acesso em: 5 de junho de 2015.

PREFEITURA MUNICIPAL DE MONTE BELO DO SUL. LEI Nº 745/2006 de 05 de Outubro de 2006. Disponível em: <<http://leismunicipa.is/prcjh>>. Acessado em: 4 de maio de 2015.

RAINES G. L. SAWATZKY D. L. CARTER. F. B. **New Fuzzy Logic Tools in ArcGis 10**. ESRI, 2010. Disponível em: <<http://www.esri.com/news/arcuser/0410/files/fuzzylogic.pdf>>. Acesso em: 4 de maio de 2015.

RODRIGUES, Valeria Lopes. **Sistema de apoio à gestão urbana estruturado em SIG: Aplicação em Jaú – SP**. 2013. 143 f. Tese (Doutorado em Ciências). Programa de Pós-graduação em Geotecnia, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2013. Disponível em: <<http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/18/18132/tde-28112013-162846/pt-br.php>>. Acessado em: 19 set. 2015.

SANTORO, P. F. **Marcos legais para a política urbana e ambiental**. In: Planejar a expansão urbana: Dilemas e Perspectivas. Tese. Universidade de São Paulo. São Paulo Jan. 2012.

STOLLE, Lorena. **Simulação e especialização da fragilidade ambiental em relação às atividades florestais**. 2008. 91 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal). Programa de Pós-graduação em Engenharia Florestal, Universidade Federal do Pará, Curitiba, 2008. Disponível em: <http://dspace.c3sl.ufpr.br:8080/dspace/bitstream/handle/1884/15816/Dissertacao_Lorena.pdf?sequence=1&isAllowed=y>. Acessado em: 16 jul. 2015.