



LUIZ OTÁVIO MORAS FILHO

**MÉTODO DE INFERÊNCIA ESPACIAL PARA O
ORDENAMENTO TERRITORIAL DE
MUNICÍPIOS DE PEQUENO PORTE: O CASO
DE IJACI, MG**

LAVRAS - MG

2015

LUIZ OTÁVIO MORAS FILHO

**MÉTODO DE INFERÊNCIA ESPACIAL PARA O ORDENAMENTO
TERRITORIAL DE MUNICÍPIOS DE PEQUENO PORTE: O CASO DE
IJACI, MG**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Florestal, área de concentração em Conservação da Natureza, para a obtenção do título de Mestre.

Orientador

Dr. Luís Antônio Coimbra Borges

LAVRAS - MG

2015

**Ficha catalográfica elaborada pelo Sistema de Geração de Ficha Catalográfica da Biblioteca
Universitária da UFLA, com dados informados pelo(a) próprio(a) autor(a).**

Filho, Luiz Otávio Moras.

Método de inferência espacial para o ordenamento territorial
de municípios de pequeno porte: o caso de Ijaci, MG / Luiz Otávio
Moras Filho. – Lavras : UFLA, 2015.

95 p. : il.

Dissertação (mestrado acadêmico) – Universidade Federal de
Lavras, 2015.

Orientador(a): Luís Antônio Coimbra Borges.

Bibliografia.

1. Zoneamento ambiental. 2. Expansão urbana. 3. Sobre
posição ponderada. 4. Multicritério aditivo. I. Universidade
Federal de Lavras. II. Título.

LUIZ OTÁVIO MORAS FILHO

**MÉTODO DE INFERÊNCIA ESPACIAL PARA O ORDENAMENTO
TERRITORIAL DE MUNICÍPIOS DE PEQUENO PORTE: O CASO DE
IJACI, MG**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Florestal, área de concentração em Conservação da Natureza, para a obtenção do título de Mestre.

APROVADA em 26 de fevereiro de 2015.

Dr. José Luiz Pereira de Rezende UFLA

Dra. Margarete Marin Lordelo Volpato EPAMIG

Dra. Cláudia Maria de Almeida INPE

Dr. Luís Antônio Coimbra Borges

Orientador

LAVRAS - MG

2015

Aos meus avós, Octávio Moras e Manoel Domingos Dias, por terem transmitido a mim, desde a infância, o amor ao saber, ao meio ambiente e ao trabalho e que, indiretamente, contribuíram para a escolha do meu curso.

Às minhas avós, Yolanda Delbem Moras e Dorvalina de Alcântara Dias, pelo cuidado, carinho e aprendizado de vida.

Ao meu pai, por ser meu exemplo de pessoa e profissional, minha fortaleza, por tudo que me ensinou e por tudo que proporcionou ao meu desenvolvimento.

À minha mãe, por cada conselho, conversa, carinho, cuidado e dedicação. Ela que é uma grande amiga e um dos meus maiores sustentáculos.

Dedico também a minha irmã, essa grande amiga, aos primos, tios, padrinhos e todos os membros da minha família.

E a todos os amigos que compartilharam inúmeros momentos, sucessos e fracassos, sem perder o bom humor.

DEDICO

AGRADECIMENTOS

A Deus primeiramente, por sua presença em cada momento da minha vida e por todas as graças recebidas.

Agradeço também à Universidade Federal de Lavras, ao Departamento de Ciências Florestais e ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Florestal por todas as oportunidades concedidas no decorrer desse curso e por todo aprendizado acumulado nessa jornada.

Ao professor Luís Antônio Coimbra Borges que, além de orientar diversos trabalhos realizados, contribuiu para a escolha da minha área de atuação, bem como para o meu amadurecimento profissional.

Aos amigos Marcos Cicarini Hott e Tássia Borges Arantes e ao professor Luis Marcelo Tavares de Carvalho pelo significativo apoio a este trabalho.

A todos os professores, técnicos e funcionários da UFLA que me apoiaram e contribuíram de alguma forma para minha formação acadêmica.

Aos amigos do Núcleo de Estudos em Pesquisa e Planejamento Ambiental (NEPPA) e do curso de Capacitação para o Cadastro Ambiental Rural (CapCAR) pela boa convivência e troca de experiências.

Enfim, agradeço a todos que contribuíram com minha vida acadêmica.

A árvore nascente aguarda-te a bondade e a tolerância
para que te possa ofertar os próprios frutos em tempo
certo.

Chico Xavier

RESUMO

O ordenamento territorial é considerado um instrumento essencial para o desenvolvimento municipal sustentável, pois auxilia a criação de políticas públicas direcionadas à infraestrutura urbana, rural e industrial, conciliadas à preservação do meio ambiente. Diante disso, o presente trabalho avaliou a aptidão e as restrições ao desenvolvimento urbano do município de Ijaci - MG, por meio do método Multicritério Aditivo por sobreposição ponderada, com o auxílio de um SIG. Na avaliação das áreas favoráveis foram utilizados os seguintes critérios, modelados pela lógica *fuzzy*: declividade, uso e cobertura da terra, distância às áreas adensáveis e às vias principais. Simultaneamente, as restrições foram modeladas por meio da lógica *booleana* representando as Áreas de Preservação Permanente, Zonas de Proteção Ambiental, Zonas Industriais e áreas não edificáveis ao redor de ferrovias e rodovias. Como resultados, foram gerados mapas descritivos da área com graus de aptidão ao desenvolvimento urbano variando de 0 (inapto) a 9 (apto), mostrando que nesse município 56,55% da área de 105,246km² foi considerada inapta, e 3,49% de baixa aptidão.

Palavras-chave: Zoneamento ambiental. Expansão urbana. Sobre posição ponderada. Multicritério aditivo.

ABSTRACT

Territorial planning is considered an essential instrument for sustainable municipal development, because it supports the creation of public policies aimed at urban, rural and industrial infrastructure, conciliated to environment preservation. In view of this, the present study evaluated the suitability and restrictions for urban development in the city of Ijaci - MG, through the Additive Multicriteria Method by Weighted Overlay, with the assistance of GIS. In the evaluation of favorable areas were used the following criteria, modeled by fuzzy logic: slope, land use and land cover, distance to the populous areas and to the main roads. Simultaneously, restrictions were modeled by Boolean logic representing the Permanent Preservation Areas, Environmental Protection Zones, Industrial Zones and right-of-way areas along railroads and highways. As a result, descriptive maps of the area with degrees of suitability for urban development ranging from 0 (unable) to 9 (able) were generated, showing that in this city 56.55% of 105,246 km² surface were considered unsuitable, and 3.49% low suitability.

Keywords: Environmental zoning. Urban expansion. Weighted overlay. Additive Multicriteria.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1	Mapa de localização do município de Ijaci, MG.....	40
Figura 2	Mapa representativo do zoneamento do município de Ijaci, MG...	41
Figura 3	Sistema viário do município de Ijaci, MG.....	45
Figura 4	Mapa hipsométrico do município de Ijaci, MG.....	46
Figura 5	Mapa clinográfico do município de Ijaci, MG.....	47
Figura 6	Mapa de solos do município de Ijaci, MG.....	49
Figura 7	Mapa de uso e cobertura da terra do município de Ijaci, MG.....	50
Figura 8	APP: cursos d'água naturais perenes e intermitentes.....	54
Figura 9	Lagos e lagoas naturais.....	55
Figura 10	APP: entorno de Reservatórios Artificiais.....	57
Figura 11	APP: nascentes e olhos d'água perenes.....	58
Figura 12	Mapa clinográfico do município de Ijaci, MG.....	59
Figura 13	Topo de morros, montes, montanhas e serras com altura mínima de 100 m e inclinação média maior que 25°	60
Figura 14	Mapa hipsométrico do município de Ijaci, MG.....	61
Figura 15	Zonas de Proteção Ambiental do município de Ijaci, MG.....	62
Figura 16	Fluxograma de síntese metodológica.....	73
Figura 17	Mapa de fatores do modelo multicritério aditivo.....	76
Figura 18	Mapa de restrições do modelo multicritério de sobreposição ponderada.....	77
Figura 19	Mapa de aptidão ao desenvolvimento urbano no município de Ijaci, MG.....	78
Figura 20	Áreas classificadas como “aptas” em relação ao desenvolvimento urbano do município de Ijaci, MG.....	80
Figura 21	Áreas classificadas como “média aptidão” em relação ao desenvolvimento urbano do município de Ijaci, MG.....	81
Figura 22	Áreas classificadas como “baixa aptidão” em relação ao desenvolvimento urbano do município de Ijaci, MG.....	82
Figura 23	Áreas classificadas como “inaptas” em relação ao desenvolvimento urbano do município de Ijaci, MG.....	84

Figura 24 Áreas de Preservação Permanente e Zonas de Proteção Ambiental
de Ijaci, MG..... 85

LISTA DE TABELAS

Tabela 1	Tipos de cobertura da terra do município de Ijaci, MG.....	50
Tabela 2	Classificação do fator “Declividade”.....	65
Tabela 3	Classificação do fator “Uso e Cobertura da Terra”.....	65
Tabela 4	Classificação do fator “Distância às Áreas Adensáveis”.....	66
Tabela 5	Classificação do fator “Distância ao Sistema Viário”.....	67
Tabela 6	Escala numérica de Saaty.....	71
Tabela 7	Matriz de comparação pareada entre fatores.....	75
Tabela 8	Aptidão ao desenvolvimento urbano no município de Ijaci, MG.....	79

LISTA DE SIGLAS

AHP	Analytic Hierarchy Process
AIS	Área(s) de Interesse Social
AIU	Área(s) de Interesse Urbanístico
APP	Área(s) de Preservação Permanente
FAEPE	Fazenda da Fundação de Apoio ao Ensino Pesquisa e Extensão
SIG	Sistemas de Informações Geográficas
SRTM	Shuttle Radar Topography Mission (Missão Topográfica por Radar do Ônibus Espacial)
UHE	Usina Hidrelétrica
ZCH	Zona(s) de Chacreamento
ZID	Zona(s) Industrial(is) Diversificada(s)
ZIM	Zona(s) Industrial(is) Minerária(s)
ZPA	Zona(s) de Proteção Ambiental
ZR	Zona(s) Residencial(ais)
ZUE	Zona(s) de Usos Econômicos
ZUM	Zona(s) de Usos Mistos

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	15
2	OBJETIVOS	17
2.1	Objetivo Geral	17
2.2	Objetivos Específicos	17
3	HIPÓTESES	18
3.1	Justificativas	18
4	FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	20
4.1	Direito Ambiental	20
4.1.1	A Necessidade de Proteção do Meio Ambiente	20
4.1.2	O Código Florestal Brasileiro: Implicações no Meio Urbano e Rural	22
4.1.3	Zoneamento Ecológico-Econômico	25
4.2	Direito Urbanístico	26
4.2.1	O Direito Urbanístico na Constituição Federal	26
4.2.2	Lei de Parcelamento do Solo	27
4.2.3	Estatuto da Cidade	28
4.2.4	Plano Diretor de Ijaci	31
4.3	Geoprocessamento em Estudos Ambientais	31
4.3.1	Modelos Espaciais	33
4.3.2	Análise Espacial de Dados Geográficos	33
4.3.3	Classificação Temática	35
4.3.4	Métodos de Sobreposição Ponderada	37
4.3.5	Análise Multicritério	38
5	MATERIAL E MÉTODOS	40
5.1	Banco de Dados e Caracterização da Área de Estudo	40
5.1.1	Zoneamento do Município	41

5.1.2	Sistema Viário	44
5.1.3	Topografia	45
5.1.4	Tipos de Solo	48
5.1.5	Áreas Protegidas	51
5.2	Análise Espacial de Dados Geográficos	63
5.2.1	Definição e Padronização de Critérios	63
5.2.2	Cruzamento dos Critérios	69
5.2.3	Geração do Mapa de Aptidão ao Desenvolvimento Urbano	72
5.3	Fluxograma de Síntese Metodológica	72
6	RESULTADOS E DISCUSSÕES	74
6.1	Modelagem dos Dados de Limitação Relativa (Fatores)	74
6.2	Modelagem dos Dados Restritivos	77
6.3	Mapa de Aptidão ao Desenvolvimento Urbano	78
7	CONCLUSÕES	86
	REFERÊNCIAS	87

1 INTRODUÇÃO

As cidades, de acordo com Brito e Souza (2006), concentram uma parcela crescente da população do país, por converterem-se em um *locus* privilegiado das atividades econômicas mais relevantes e transformarem-se em difusoras dos novos padrões de relações sociais – incluindo as de produção – e de estilos de vida. Diante disso, nota-se que a urbanização não é um processo apenas demográfico, mas com amplas dimensões, onde a própria sociedade brasileira torna-se cada vez mais urbana.

Apesar de já existirem no Brasil estados com elevado grau de urbanização, como Minas Gerais que apresenta um índice de 85,3% (IBGE, 2010), acredita-se que o país ainda manifeste um razoável potencial de transferência de população do campo para as cidades (BRITO et al., 2001).

Contudo, devido à ausência ou ineficiência de planejamento urbano, muitas cidades sofrem sérios impactos ambientais com o aumento dos processos erosivos, poluição das águas, solo e ar, assoreamento de rios e córregos, entre outros fatores que afetam a qualidade de vida e o equilíbrio ecológico.

Diante dos impactos da urbanização, o estudo da expansão urbana baseado em mecanismos que possam antecipar suas consequências torna-se uma parte constituinte para o planejamento do crescimento sustentável das cidades (NASCIMENTO, 2009). Essas informações são de extrema relevância às políticas públicas ambientais, inclusive na elaboração de um Plano Diretor municipal.

Embora não sofram dos mesmos problemas urbanos dos grandes centros, percebe-se que a maioria dos pequenos municípios apresenta dificuldades operacionais para a prática do planejamento e da gestão urbana, dada a falta de estrutura institucional e administrativa, como profissionais

qualificados, instrumentos e condições operacionais apropriadas para o desenvolvimento do processo (BRASIL, 2005).

O município de Ijaci - MG, objeto do presente estudo, possui uma população média de 5.859 habitantes, de acordo com o Censo Demográfico do IBGE (2010), sendo classificado como um município de pequeno porte I¹. Cerca de 95% de sua população reside em área urbana, evidenciando um forte processo de adensamento populacional.

Sendo assim, o presente trabalho consiste na análise do processo de urbanização por meio da aplicação do modelo Multicritério Aditivo e na avaliação de áreas aptas ao desenvolvimento urbano de Ijaci – MG, gerando dados que sirvam de apoio ao Plano Diretor do Município e que contribuam para o ordenamento territorial de municípios de pequeno porte.

¹ Pequeno porte I: até 20.000 habitantes (IBGE, 2014).

2 OBJETIVOS

2.1 Objetivo Geral

Identificar áreas propícias ao processo de urbanização em um município de pequeno porte (Ijaci, MG) por meio da aplicação do modelo Multicritério Aditivo.

2.2 Objetivos Específicos

Caracterizar ambientalmente o município de Ijaci – MG, a partir da confecção de modelos e mapas que representem a área de estudo em relação ao zoneamento descrito no Plano Diretor municipal, sistema viário, hipsometria, declividade, hidrografia, características edáficas, o uso e cobertura da terra e áreas protegidas.

Aplicar o modelo Multicritério Aditivo a partir de dados relevantes à caracterização do município, com o intuito de zoneá-lo quanto às áreas de maior aptidão à expansão urbana, propondo assim estratégias para o desenvolvimento sustentável e mitigação de impactos ambientais.

Avaliar os mecanismos legais referentes à proteção dos recursos naturais, desenvolvimento urbano e parcelamento do solo, sugerindo alternativas locais que auxiliem o poder público no ordenamento territorial e na gestão de recursos naturais.

3 HIPÓTESES

Existem áreas no município que podem ser consideradas inaptas ao desenvolvimento urbano.

A modelagem espacial e a análise multicriterial podem fornecer dados relevantes ao ordenamento territorial de municípios de pequeno porte, garantindo a sustentabilidade do processo de desenvolvimento urbano.

As respostas a estas indagações serão apresentadas ao final do Capítulo 4, quando o pré-processamento dos dados espaciais, seleção e ponderação de variáveis, parametrização e calibração do modelo Multicritério Aditivo e a execução dos experimentos terão sido concluídos e devidamente avaliados.

3.1 Justificativas

O zoneamento das áreas de maior aptidão ao desenvolvimento urbano, gerado a partir do modelo Multicritério Aditivo, contribuirá para o planejamento e gestão municipal, por considerar as áreas com maior potencial e maior fragilidade a essa expansão.

Além disso, o modelo poderá ser útil para o zoneamento de municípios de pequeno porte, estabelecendo estratégias sustentáveis para o desenvolvimento dos mesmos.

3.2 Sumário comentado

Após uma contextualização introdutória e dos objetivos gerais e específicos, das hipóteses e das justificativas no item 1, trata-se no item 2 acerca da fundamentação teórica a respeito do direito ambiental e urbanístico, apresentando os principais mecanismos legislativos a respeito do tema, como o

Código Florestal, Lei de Parcelamento e Uso do Solo, Estatuto da Cidade e o Plano Diretor do município em estudo.

Além disso, será abordado no final do item 2 o uso do geoprocessamento em estudos ambientais, onde serão introduzidos modelos espaciais, a análise espacial e o modelo Multicritério Aditivo.

O item 3 corresponde ao material e métodos de estudo adotados no presente trabalho, onde na primeira parte é caracterizado o município de Ijaci – MG quanto ao zoneamento descrito no Plano Diretor municipal, sistema viário, hipsometria, declividade, hidrografia, características edáficas, cobertura da terra e áreas protegidas.

Na segunda parte do item 3 serão expostos os dados espaciais relevantes à modelagem e as operações necessárias à análise espacial dos dados, além das técnicas utilizadas. Já no final desse item, será tratado o modelo Multicritério Aditivo, incluindo a ponderação de suas variáveis e sua aplicação prática.

O item 4 reporta os resultados obtidos por meio da aplicação do modelo descrito no item anterior, apresentando quais áreas foram consideradas aptas ao processo de urbanização, além da discussão a respeito do ordenamento territorial em municípios de pequeno porte.

Finalmente, no item 5 procura-se concluir de forma sintética os tópicos e discussões levantados nos capítulos anteriores.

4 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

4.1 Direito Ambiental

4.1.1 A Necessidade de Proteção do Meio Ambiente

Em razão da constante degradação ambiental, principalmente derivada do processo de urbanização, tornou-se amplamente discutido um assunto que na maioria dos países desenvolvidos já é algo intrínseco à população: a proteção e conservação dos recursos naturais.

A interação do homem com o meio ambiente é algo natural e imprescindível ao desenvolvimento das cidades e ao bem-estar da população. Um grande exemplo disso é a transposição de cursos d'água para o abastecimento público, atividade de caráter essencial para a sociedade. Contudo, esse tipo de alteração gera uma série de impactos ao meio ambiente que, se não forem evitados ou atenuados, podem resultar em danos socioambientais irreversíveis.

O meio ambiente, segundo Trennepohl (2009), está ligado à história de progresso e fracasso das civilizações. Um exemplo, citado por esse autor, é a história da China, que tem uma geografia muito parecida com a dos Estados Unidos, porém, ao longo dos séculos sofreu intensos desmatamentos e degradações de outras ordens, culminando em grandes catástrofes ambientais.

Preocupada com o futuro do planeta, a Organização das Nações Unidas (ONU), juntamente com os Estados e a comunidade científica, realizou a Primeira Conferência Mundial sobre o Homem e o Meio Ambiente, visando amenizar a problemática: homem versus natureza. Esse evento ocorreu em 1972, na capital sueca, Estocolmo (MACHADO, 2006).

Porém, naquela época, preservar o meio ambiente era algo contrário à produção e ao desenvolvimento das cidades, o que fez com que diversos países se mantivessem atônitos à situação. Contudo, foram dados grandes passos a partir desse evento, segundo Machado (2006, pag.17):

O estabelecimento da Comissão sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento, na década de 1980, serviria para sanar os problemas que surgiam com o estreitamento dos laços cooperativos e a intensificação da troca de informações entre os países. As discussões, dentro do Sistema da ONU, sobre as atribuições da Comissão iniciaram-se em 1982. No ano seguinte, o secretário-geral das Nações Unidas encarregou Gro Harlem Brundtland, primeira-ministra da Noruega, de criar e presidir esse órgão especial e independente. A Comissão trataria da proposição de estratégias ambientais de longo prazo, de maneiras de se estabelecer a cooperação entre os países em estágios de desenvolvimento diferentes, bem como de noções comuns sobre a proteção ambiental que ajudassem as nações a tratar, com êxito, de problemas igualmente comuns. A Comissão reuniu-se pela primeira vez em outubro de 1984 e o resultado mais marcante da Comissão, desde então, foi o lançamento de uma agenda para o setor e a confecção do Relatório Brundtland, em 1987, intitulado Nosso Futuro Comum, que lançou as bases do conceito de desenvolvimento sustentável.

Em conformidade a esses eventos, o Brasil procurava sempre se adequar às políticas globais de proteção ao meio ambiente. Deve-se destacar a edição em 1965 do que era chamado na época “Novo Código Florestal Brasileiro” (data anterior à conferência de Estocolmo), que aperfeiçoou o Código Florestal de 1934, depois de apresentados vários anteprojetos (RESENDE, 2006).

Não obstante, em 1981, motivada pelos primeiros encontros da Comissão sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento, foi instituída a Política

Nacional do Meio Ambiente² (PNMA), tornando-se uma das mais importantes leis de proteção ambiental.

Já em 1988, a Carta Magna brasileira inovou trazendo, após o Relatório Brundtland, um capítulo específico sobre o meio ambiente. Ela conferiu-lhe a natureza de bem de uso comum do povo e essencial à qualidade de vida, incumbindo ao poder público e à coletividade o dever de zelo e preservação, garantindo que as próximas gerações façam bom uso e usufruam livremente de um meio ambiente equilibrado.

Desde então, são discutidas propostas para que o progresso ocorra em harmonia com a natureza. Em meio a essas discussões, a evolução mais recente foi a “reedição” do Código Florestal em 2012, trazendo dispositivos legais mais restritivos para a conservação dos recursos naturais, seja em área rural ou urbana. No entanto, essa lei ainda apresenta diversos pontos controversos que constantemente são discutidos pela comunidade científica, legisladores e sociedade em geral.

4.1.2 O Código Florestal Brasileiro: Implicações no Meio Urbano e Rural

Após inúmeras modificações, datadas desde 1934, a Presidência da República sancionou a Lei nº 12.651, de 25 de maio de 2012, referente ao Código Florestal. De forma complementar, foi também sancionada a Lei nº 12.727, de 17 de outubro de 2012, que regulamentou e alterou alguns de seus dispositivos em função dos vetos da presidenta.

Por meio deste instrumento legal, inúmeros compromissos ambientais foram garantidos, conforme demonstrado no artigo primeiro do Código Florestal:

²Lei nº 6.938, de 31 de agosto de 1981: Dispõe sobre a Política Nacional do Meio Ambiente, seus fins e mecanismos de formulação e aplicação, e dá outras providências.

I – afirmação do compromisso soberano do Brasil com a preservação das suas florestas e demais formas de vegetação nativa, bem como da biodiversidade, do solo, dos recursos hídricos e da integridade do sistema climático, para o bem estar das gerações presentes e futuras;

II - reafirmação da importância da função estratégica da atividade agropecuária e do papel das florestas e demais formas de vegetação nativa na sustentabilidade, no crescimento econômico, na melhoria da qualidade de vida da população brasileira e na presença do País nos mercados nacional e internacional de alimentos e bioenergia;

III - ação governamental de proteção e uso sustentável de florestas, consagrando o compromisso do País com a compatibilização e harmonização entre o uso produtivo da terra e a preservação da água, do solo e da vegetação;

IV - responsabilidade comum da União, Estados, Distrito Federal e Municípios, em colaboração com a sociedade civil, na criação de políticas para a preservação e restauração da vegetação nativa e de suas funções ecológicas e sociais nas áreas urbanas e rurais;

V - fomento à pesquisa científica e tecnológica na busca da inovação para o uso sustentável do solo e da água, a recuperação e a preservação das florestas e demais formas de vegetação nativa;

VI - criação e mobilização de incentivos econômicos para fomentar a preservação e a recuperação da vegetação nativa e para promover o desenvolvimento de atividades produtivas sustentáveis (BRASIL, 2012).

A partir da interpretação desse artigo, principalmente no inciso segundo, fica nítida a tentativa do poder público em conciliar produção e preservação. Isso também pode ser observado pela opinião da maioria dos senadores, como no caso do Senador Jorge Viana e da Senadora Ana Amélia Lemos:

O novo Código Florestal, com as mudanças feitas no Senado, será um instrumento de consolidação do país como grande produtor de alimentos e de proteção ao meio ambiente, pondo fim aos desmatamentos ilegais. Ninguém produz bem sem ter o meio ambiente como aliado. O setor produtivo sabe disso. Esse impasse de tratar o produtor como adversário não traz uma árvore de volta (VIANA, 2001).

O texto é fundamental para dar segurança jurídica ao produtor de alimento e àquele que trata da preservação ambiental. Uma negociação que agradasse a todos seria impossível em matéria tão complexa. Os relatores chegaram ao melhor equilíbrio. A sociedade brasileira tem bons motivos para se orgulhar do Senado Federal (LEMOS, 2001).

Outro grande avanço dessa legislação foi tratar das Áreas de Preservação Permanente (APP) de forma semelhante entre propriedades rurais e urbanas, de forma a estabelecer áreas de cobertura vegetal em ambos os espaços, respeitando suas particularidades.

Essas APP podem ser categorizadas em relação à função ambiental de proteção dos recursos hídricos, da vegetação nativa, do solo ou aquelas declaradas de interesse social por ato do chefe do Poder Público, respeitando os limites explícitos pelo próprio Código Florestal.

Em relação ao meio urbano, também foi incluído o conceito de Área Verde Urbana, por meio do inciso XX, artigo terceiro, categorizando-a da seguinte forma:

XX - área verde urbana: espaços, públicos ou privados, com predomínio de vegetação, preferencialmente nativa, natural ou recuperada, previstos no Plano Diretor, nas Leis de Zoneamento Urbano e Uso do Solo do Município, indisponíveis para construção de moradias, destinados aos propósitos de recreação, lazer, melhoria da qualidade ambiental urbana, proteção dos recursos hídricos, manutenção ou melhoria paisagística, proteção de bens e manifestações culturais (BRASIL, 2012).

Através desse inciso a lei permite aos municípios, de forma concorrente, definir e propor critérios para estabelecer essas áreas, contribuindo para a qualidade de vida da população.

Já no meio rural, cabe ao detentor do imóvel estabelecer, de acordo com os limites previstos no Código Florestal, área com cobertura vegetal nativa a título de Reserva Legal (RL), sem prejuízo da aplicação das normas sobre APP. Ela é definida pelo inciso III do artigo terceiro como:

III - Reserva Legal: área localizada no interior de uma propriedade ou posse rural, delimitada nos termos do art. 12, com a função de assegurar o uso econômico de modo sustentável dos recursos naturais do imóvel rural, auxiliar a conservação e a reabilitação dos processos ecológicos e promover a conservação da biodiversidade, bem como o abrigo e a proteção de fauna silvestre e da flora nativa (BRASIL, 2012).

É importante ressaltar que nos processos de urbanização, onde há conversão da área rural para urbana, as APP permaneceram intactas e as RL poderão ser convertidas para a categoria de Áreas Verdes Urbanas, segundo Souto (2009), e só serão extintas concomitantemente ao registro do parcelamento do solo para fins urbanos, aprovado segundo a legislação específica e consoante às diretrizes do plano diretor.

4.1.3 Zoneamento Ecológico-Econômico

Regulamentado pelo Decreto nº 4.297, de 10 de julho de 2002, o Zoneamento Ecológico-Econômico (ZEE)³ é um dos instrumentos da PNMA, que tem como objetivo, em linhas gerais, viabilizar o desenvolvimento sustentável a partir da compatibilização do desenvolvimento socioeconômico com a conservação ambiental (MMA, 2015).

³ Entende-se de forma geral que “Zoneamento Ecológico Econômico” e o Zoneamento Ambiental proposto pela Política Nacional do Meio Ambiente são termos sinônimos.

O ZEE pode ser considerado uma ferramenta de planejamento e de gestão sustentável do território, que leva em consideração a interação dos principais elementos do meio físico e biótico com as dimensões socioeconômica e político-institucional (FAO, 1996).

Esse instrumento tem enorme importância e aplicabilidade não só em âmbito nacional, mas também nas esferas locais e regionais, tanto que também foi previsto como instrumento de política urbana no Estatuto da Cidade. Ressalta-se que, se elaborado em esferas municipais, estaduais ou regionais, prevalecem as normas de proteção ambiental mais restritivas (adaptado de CAMARGOS, 2006).

Dessa forma, se bem elaborado e executado, o ZEE contribuirá substancialmente na preservação e conservação do meio ambiente, na recuperação dos recursos naturais e no desenvolvimento sustentável.

4.2 Direito Urbanístico

4.2.1 O Direito Urbanístico na Constituição Federal

De acordo com a Constituição Federal, cabe à União fixar diretrizes para legislar sobre direito urbanístico de forma concorrente entre ela, os Estados e o Distrito Federal. Já ao Município, é permitido suplementar a legislação federal e estadual no que couber, devendo absorvê-la e complementá-la de acordo com suas peculiaridades (TRENNEPOHL, 2009).

O texto constitucional traz um capítulo específico sobre a política urbana, dizendo que ela é de responsabilidade do Município e deve garantir as funções sociais da cidade e o desenvolvimento dos cidadãos. Estabelece, ainda, que o Plano Diretor municipal é o instrumento básico do ordenamento territorial urbano, devendo definir qual deve ser o uso e as características de ocupação de

cada porção do território municipal, fazendo com que todos os imóveis cumpram sua função social (BARROS et al., 2010).

Esse mesmo artigo dispõe ainda sobre importantes instrumentos para concretização da função social da propriedade, como o parcelamento e edificação compulsórios, a desapropriação, entre outros. Além disso, ele trata da aquisição da propriedade pelo ocupante de imóvel urbano que o utiliza para sua moradia ou de sua família. Com este dispositivo se garante o direito de propriedade àquele que, de fato, dá a ela uma destinação compatível com sua vocação legal (BARROS et al., 2010).

4.2.2 Lei de Parcelamento do Solo

A regulamentação técnica e jurídica do parcelamento do solo se faz por meio da Lei Federal 6.766 de 19 de dezembro de 1979, que se destaca por ser o grande parâmetro urbanístico do país, no que tange à expansão urbana regular após 1980, haja vista que determinou uma série de adequações de leis estaduais e municipais (adaptado de BARREIROS e ABIKO, 1998).

De modo geral, essa lei permite o parcelamento do solo urbano mediante loteamento ou desmembramento, em observância ao disposto na legislação estadual e municipal, de forma complementar à lei federal.

Os solos urbanos são classificados, de acordo com publicação do Ministério Público da Bahia (2014), em:

I - Solo urbano propriamente dito: é a porção territorial onde existem erigidas, continuamente, as moradias de seus habitantes, as vias de circulação entre as unidades residenciais da população, bem como os serviços próprios, direção política-administrativa, os cinturões verdes ou de produção agrícola indispensáveis ao atendimento das necessidades de alimentação da população que vive naquele aglomerado urbano.

II - Solo de expansão urbana: é toda porção territorial indefinida ao redor das cidades, fora dos limites previstos na legislação municipal como zona urbana, para onde possa seu crescimento se dirigir, pela agregação de novos componentes urbanísticos constantes da zona urbana propriamente dita.

III - Solo urbanizável: entende-se como aquele onde as condições ecológicas, sanitárias e geológicas, dentre outras, impedem sua ocupação atual pela população, sem riscos diversos para ela, ou prejuízos para o poder público, na hipótese de ser forçado a criar condições mínimas favoráveis à ocupação urbana

IV - Solo urbano de interesse especial: é aquele que o Poder Público, por questões estratégicas, militares, protecionistas ou outras, assim considera, com a finalidade de restringir seu uso, ou vedá-lo, mediante a utilização de instrumentos legislativos próprios que estejam a seu alcance (MPBA, 2014).

É importante salientar que deverão ser destinados espaços livres para uso público no processo de parcelamento, sendo proporcionais à densidade de ocupação prevista pelo Plano Diretor ou aprovada por lei municipal para a zona em que se situem. Esses espaços podem ser utilizados como praças, centros esportivos, entre outros usos, inclusive no estabelecimento de áreas verdes urbanas.

4.2.3 Estatuto da Cidade

O Estatuto da Cidade, Lei 10.257, de 10 de julho de 2001, é a lei federal brasileira que regulamenta a Constituição Federal no que se diz respeito à política urbana de cada município, onde ele legisla de forma concorrente à União e os outros entes federativos.

Esse estatuto define as diretrizes que devem ser seguidas pelos municípios ao elaborar sua política urbana, garantindo a distribuição igualitária

em prol do bem-estar da população. Entre as diretrizes mais relevantes ao trabalho (presentes no Art. 2º dessa lei), cabem citar:

I. garantia do direito a cidades sustentáveis, entendido como o direito à terra urbana, à moradia, ao saneamento ambiental, à infraestrutura urbana, ao transporte e aos serviços públicos, ao trabalho e ao lazer, para as presentes e futuras gerações; (...)

IV. planejamento do desenvolvimento das cidades, da distribuição espacial da população e das atividades econômicas do Município e do território sob sua área de influência, de modo a evitar e corrigir as distorções do crescimento urbano e seus efeitos negativos sobre o meio ambiente; (...)

VI. ordenação e controle do uso do solo (...)

VIII. adoção de padrões de produção e consumo de bens e serviços e de expansão urbana compatíveis com os limites da sustentabilidade ambiental, social e econômica do Município e do território sob sua área de influência; (...)

XII. proteção, preservação e recuperação do meio ambiente natural e construído, do patrimônio cultural, histórico, artístico, paisagístico e arqueológico; (...)

XIV. regularização fundiária e urbanização de áreas ocupadas por população de baixa renda mediante o estabelecimento de normas especiais de urbanização, uso e ocupação do solo e edificação, consideradas a situação socioeconômica da população e as normas ambientais (BRASIL, 2001).

Essa lei também estabelece que a política urbana deva ser objeto de um planejamento extensivo, envolvendo planos de ordenamento do território integrados entre si, nas escalas nacional, estaduais, regionais, metropolitanas, municipais e intermunicipais. Especificamente no âmbito municipal, detalha que se deve envolver o planejamento urbano, ambiental, orçamentário, setorial e o planejamento do desenvolvimento econômico e social, especificando também que a gestão orçamentária deve ser feita de forma participativa, ou seja, aberta a todos os cidadãos (BARROS et al., 2010).

Dentre as figuras jurídicas mais importantes no Estatuto da Cidade, podem-se ressaltar:

- I - o Plano Diretor: instrumento básico da política de desenvolvimento e expansão urbana, devendo ser aprovado por lei municipal e obrigatório para todas as cidades com mais de vinte mil habitantes;
- II - o Parcelamento e Uso do Solo: conforme mencionado anteriormente;
- III - o Zoneamento Ambiental, ou ZEE, também já mencionado;
- IV - o Estudo Prévio de Impacto Ambiental (EIA) e Estudo Prévio de Impacto de Vizinhança (EIV): trata-se de um estudo relativo aos empreendimentos e atividades privados ou públicos, para obtenção de licenças ou autorizações de construção, ampliação ou funcionamento a cargo do Poder Público (TRENNEPOHL, 2009); e
- V - as Zonas Especiais de Interesse Social (ZEIS): este instrumento pode ser utilizado tanto para a regularização de áreas ocupadas, onde o processo de ocupação ocorreu sem observância das normas urbanísticas, quanto em áreas vazias, para destiná-las para habitação de interesse social, ou outras finalidades.

Cabe destacar que o Estatuto da Cidade não estabelece uma correlação direta entre transformações urbanas e instrumentos. Cada município escolhe, regulamenta e aplica os instrumentos conforme a estratégia de desenvolvimento urbano desejada. Diversos instrumentos do Estatuto da Cidade não apresentam por si só a solução para um determinado problema urbano, ou de modo contrário, uma determinada transformação urbana pretendida depende da aplicação de um conjunto de instrumentos de maneira coordenada e integrada no

território. Assim sendo, a regulamentação dos instrumentos deve ser feita dentro de uma estratégia de desenvolvimento urbano para sua efetiva aplicação e deve estar expressa no Plano Diretor (BARROS et al., 2010).

4.2.4 Plano Diretor de Ijaci

Após o desenvolvimento da proposta inicial elaborada pela Fundação João Pinheiro, com acréscimos e alterações no texto original, o Plano Diretor de Ijaci foi instituído por Lei Municipal Complementar nº 758, de 8 de janeiro de 2003, com texto atualizado pela Lei nº 759, de 25 de março de 2003.

O Plano Diretor, segundo Meurer e Vieira (2010), é “um conjunto de diretrizes e propostas, descritas na forma de lei municipal, com o objetivo de garantir o desenvolvimento socioeconômico, a organização espacial dos diferentes usos e das redes de infraestrutura, para curto, médio e longo prazo, sendo sua implementação de responsabilidade de cada município”.

Esse instrumento legal fundamenta as diretrizes da política urbana, do ordenamento territorial e dos parâmetros urbanísticos, como o parcelamento do solo, as edificações e o sistema viário. Além disso, trata da política de meio ambiente e saneamento básico, de infraestrutura e serviços urbanos, de habitação, de desenvolvimento econômico, agrícola e industrial e das políticas sociais. Essas políticas de desenvolvimento municipal baseiam-se em aspectos físicos, sociais e econômicos, visando à sustentabilidade, atendo às aspirações da comunidade e orientando as ações do Poder Público e da iniciativa privada.

4.3 Geoprocessamento em Estudos Ambientais

O geoprocessamento, segundo Meirelles et al. (2007), pode ser considerado um ramo da tecnologia de computação eletrônica de dados, na

medida em que se apoia diretamente no processamento de dados georreferenciados. Sendo assim, tem por finalidade transformar registros de ocorrência (dados) em ganhos de conhecimento (informação).

Entre os diferentes tipos de sistemas de informação, existem os Sistemas de Informações Geográficas (SIG), que mostram e analisam a territorialidade dos fenômenos nele representados. Esses sistemas são amplamente empregados na pesquisa ambiental, considerando o ambiente como uma entidade que tem expressão espacial a ser modelada segundo sua viabilidade taxonômica e julgando como relevante a distribuição territorial das classes de fenômenos nele identificadas (MOURA, 2003; MEIRELLES et al., 2007).

Para caracterizar um ambiente, urbano ou rural, é necessário aplicar uma série de técnicas com o intuito de representá-lo digitalmente de forma mais próxima areal. Para isso, são necessários softwares para o processamento e análise de imagens (p. ex. ENVI, ArcGIS), uma base de dados (p. ex. dados em escala real, ordinal ou nominal), modelos representativos do objeto de estudo (p. ex. modelos de simulação dinâmica espacial), métodos adequados de inferência geográfica (p. ex. Classificação *fuzzy*, redes neurais), entre outros.

É importante ressaltar que em estudos ambientais nem todos os modelos utilizam dados contidos em estruturas de processamento automático, ou seja, possibilitando a utilização de métodos de geovisualização, de forma complementar ao estudo.

A geovisualização pode ser entendida como a integração da visualização científica com os sistemas de informação geográfica, ou seja, é uma metodologia que fornece ferramentas, técnicas e sistemas especificamente desenvolvidos para gerar profundo conhecimento através da análise visual dos dados (SCHMIDT et al., 2007).

4.3.1 Modelos Espaciais

Modelos espaciais, segundo Meirelles et al. (2007), são “formas simplificadas de se representar a realidade. Por meio deles, tenta-se imitar ou reproduzir as ocorrências do mundo real”. Sendo assim, a modelagem espacial em um SIG pode ser considerada como um processo de produção de novas informações a partir de dados existentes, por meio de um modelo pré-definido. Geralmente, esses modelos são baseados em dados (*data-driven*) ou conhecimento (*knowledge-driven*) (BONHAM-CARTER, 1994).

Nos modelos baseados em dados, os parâmetros utilizados são calculados a partir de dados amostrais e os mapas de entrada são combinados utilizando modelos como regressão e redes neurais. Já os baseados em conhecimento, os parâmetros são estimados por especialistas e incluem o uso de lógica *booleana*, *fuzzy*, redes semânticas ou outras técnicas (MEIRELLES et al., 2007).

Diante do foco do presente trabalho, será abordada com maior ênfase a análise espacial de dados geográficos a partir da lógica *booleana* e *fuzzy*.

4.3.2 Análise Espacial de Dados Geográficos

A análise espacial é definida por Bailey (1994) como uma ferramenta que possibilita manipular dados espaciais de diferentes formas e extrair conhecimento adicional como resposta. Ela faz a ligação entre o domínio essencialmente cartográfico e as áreas de análise aplicada, estatística e a modelagem, o que permite a combinação de diversas variáveis georreferenciadas e, a partir delas, a criação e análise de novas variáveis (ROSA, 2011).

Entre os diversos métodos de análise espacial no contexto da produção de novos mapas a partir de dados já existentes, cabem destacar os métodos

booleano e *fuzzy*. Segundo Câmara et al. (2001), o método *booleano* gera dados no formato temático, sendo a potencialidade expressa espacialmente em forma de polígonos que representam classes (favorável e não favorável), enquanto o método *fuzzy* gera dados em formato numérico, sendo a potencialidade expressa de forma numérica.

4.3.2.1 Método Booleano

A modelagem *booleana*, de acordo com Meirelles et al. (2007), envolve a “combinação lógica de mapas binários resultantes da aplicação de operadores indicando condições”.

Os modelos *booleanos* são considerados bivalentes, isto é, reconhecem somente dois valores: verdadeiro ou falso, expressos numericamente por 1 e 0 respectivamente, não havendo uma condição intermediária.

A simplicidade operacional desse método faz com que ele seja bastante empregado em diversos estudos ambientais utilizando os SIG. Contudo, segundo Ruhoff (2004), os principais problemas relacionados às operações booleanas são os limiares nítidos e rígidos que nem sempre representam os fenômenos naturais corretamente. Em estudos ambientais dinâmicos, esse modelo pode não ser o mais eficiente, podendo ser utilizado em modelagens mistas.

4.3.2.2 Método *Fuzzy*

A lógica da modelagem *fuzzy*, também conhecida como lógica nebulosa ou lógica difusa, é caracterizada como:

[...]um sistema matemático para manipulação de descrições imprecisas. Contra as relações binárias, do sim ou não, propõe a interpretação da realidade como um conjunto em

que os membros têm graus de pertinência. Esses graus são dados por valores arbitrários que dependem de diferentes pontos de vista do contexto, sendo interessante contar com as opiniões de diferentes especialistas. É como se entre o “sim” e o “não” fosse inserido um “pode ser” que depende de uma série de outras condições e que, por sua vez, levaria a outras conclusões. Usando um exemplo, seria como avaliar a pertinência de um uso “x” em um certo espaço urbano, segundo a ótica de diferentes especialistas. Cada especialista não construiria sua avaliação dentro do sim ou do não, mas daria graus de pertinência à proposição, segundo a sua visão. O resultado seria a avaliação dos pesos vista de forma conjunta (Moura, 1993).

Sendo assim, na modelagem *fuzzy* os dados originais são reescalados em uma escala de gradação contínua através da atribuição de valores contínuos de pertinência, podendo ser atribuídos a grupos de atributos ou a atributos individuais (MEIRELLES et al., 2007).

De acordo com Ruhoff (2004), um benefício dessa modelagem é a habilidade de codificação de conhecimentos inexatos, em uma forma que se aproxima muito do processo de decisão. Isso faz com que o modelo seja mais próximo da realidade, principalmente em estudos ambientais.

4.3.3 Classificação Temática

No intuito de caracterizar uma área de estudo, podem ser aplicadas técnicas de classificação digital, que consistem na implementação de uma regra de decisão para que o computador possa atribuir uma determinada classe a certo conjunto de pontos da imagem (pixels). O objetivo dessas técnicas é tornar o processo de mapeamento ou reconhecimento de características da superfície terrestre menos subjetivo e com maior potencial de repetição em situações subsequentes (NOVO, 1992).

Em estudos ambientais, o método mais frequentemente utilizado para analisar dados e extrair informações refere-se à classificação digital fundamentada em dados multiespectrais (JENSEN, 2005). Essa classificação, quando baseada no reconhecimento de padrões, pode ser realizada de forma supervisionada e não-supervisionada. Também podem ser usados métodos que envolvam inteligência artificial, como os sistemas especialistas e as redes neurais.

A classificação supervisionada pode ser definida como o processo de usar amostras de identidade conhecida para classificar pixels de identidade desconhecida. Neste tipo de classificação, a identidade e a localização de algumas feições são conhecidas *a priori* através de análise de campo, fotografias aéreas, mapas e experiência pessoal. O analista tenta identificar áreas específicas, comumente denominadas amostras de treinamento, que representem exemplos homogêneos dessas feições específicas (RIBEIRO, 2004).

Já na classificação não-supervisionada, as identidades das feições que são especificadas como classes dentro da imagem não são conhecidas *a priori*. Nesse processo, o computador (algoritmo de classificação) agrupa os pixels em diferentes classes espectrais (agrupamento de pixels com características espectrais similares), de acordo com alguns critérios estatísticos predeterminados. Após a classificação, tentam-se identificar as classes geradas pelo computador, as quais, depois de rotuladas, são denominadas classes informacionais – classes de interesse (CAMPBELL, 1987).

Os sistemas especialistas são construídos, principalmente, com regras que reproduzem o conhecimento e são utilizados para solucionar determinados problemas em domínios específicos. Já o método das redes neurais oferece uma abordagem vantajosa, pois representam um sistema computacional adaptativo que pode aprender, ou adquirir conhecimento, a partir dos dados, mediante

técnicas de inteligência artificial (MENDES, 1997; NÓBREGA e SOUZA FILHO, 2003).

A maioria dos modelos de classificação baseia-se em uma lógica rígida (*hard*), que são de difícil uso, devido à necessidade de conhecimento *a priori* de todas as variáveis. Porém, eles continuam a ser amplamente empregados, por serem de base científica e permitirem que os diferentes indivíduos que usam o mesmo sistema de classificação possam comparar os resultados (JENSEN, 2005).

Já a lógica *fuzzy* utiliza a ideia de que todas as coisas admitem graus de pertinência, como temperatura, altura ou velocidade. Com isso, ela tenta modelar o senso de palavras, tomada de decisão ou senso comum do ser humano, diferentemente da lógica rígida (MARRO et al., 2014).

4.3.4 Métodos de Sobreposição Ponderada

Modelos empíricos são aqueles baseados em relacionamentos estatísticos ou relacionamentos heurísticos. Nestes modelos, os relacionamentos espaciais entre as variáveis de estudo, são estimados por critérios estatísticos, a partir de amostras de uma região experimental, ou a partir de um conjunto de classes, onde seus limiares são definidos por especialistas. Eles podem ser implementados a partir do conhecimento prévio de especialistas ou a partir de um conjunto de dados observados (CÂMARA et al., 2001).

No caso de modelos baseados em conhecimento, foco do presente estudo, dispõe-se de um conjunto de informação de entrada e uma metodologia que permite a descoberta de localizações ou zonas que satisfaçam um conjunto de critérios, possibilitando, por exemplo, gerar um mapa final com áreas aptas ou inaptas à ocorrência de determinado fenômeno.

Harris (1989) descreve esse modelo como técnica de “co-ocorrência aditiva” na qual os mapas binários são simplesmente sobrepostos e as áreas de maior potencialidade à ocorrência do fenômeno pesquisado são aquelas que apresentam o maior número de interseção de evidências favoráveis definidas pelo modelo.

De um modo alternativo, cada localização pode ser avaliada de acordo com critérios ponderados, que resultam em um patamar (grau) em uma escala de potencialidade (BONHAM-CARTER, 1994). Essa técnica também é definida como sobreposição ponderada, que avalia graus de potencialidade ao invés de apenas presença ou ausência da potencialidade.

A potencialidade é calculada pela ponderação e combinação de evidências de fontes múltiplas. A avaliação do peso a ser atribuído a um mapa depende da análise da importância da evidência em relação a uma ocorrência conhecida ou do julgamento subjetivo de especialistas (CÂMARA et al., 2001).

4.3.5 Análise Multicritério

A análise espacial multicritério, de acordo com Ascough et al. (2002, citado por ANTUNES, 2012), requer informações sobre valores dos critérios e os locais geográficos das alternativas, além do julgamento dos valores envolvidos no processo de decisão.

Sendo assim, os procedimentos de avaliação multicritério baseados em SIG, segundo Mokarram e Aminzadeh (2010 citado por ANTUNES, 2012) envolvem um conjunto de alternativas e de critérios de avaliação bem definidos, representados como camadas de mapas (*layers*). A partir desses dados, os critérios serão combinados com os valores de atributos e preferências utilizando um modelo matemático.

Esse tipo de análise não busca ou apresenta uma solução ótima para um dado problema, mas a mais coerente com a escala de valores e com o método utilizado. Trata-se de uma tentativa de racionalização de atributos muitas vezes subjetivos, ou seja, ela reconhece uma abordagem holística e mais próxima de um ambiente real (adaptado de FREITAS et al., 2006).

5 MATERIAL E MÉTODOS

5.1 Banco de Dados e Caracterização da Área de Estudo

A área escolhida para este estudo foi o município de Ijaci–MG, por se tratar de um município de pequeno porte I (população de até 20.000 habitantes), de acordo com a classificação do IBGE (2010), além de apresentar potencial industrial minerário, representado por um grupo empresarial de grande porte de produção de cimento.

O município de Ijaci está situado entre as coordenadas UTM 500 km, 516 km E e 7650 km, 7970 km N, fuso 23 K, SAD 69, limitando-se com quatro municípios: sul e oeste – Lavras; norte – Bom Sucesso e Perdões; leste – Ibituruna e Itumirim (COELHO, 2008), conforme pode ser demonstrado na Figura1, situado a uma altitude média de 805m.

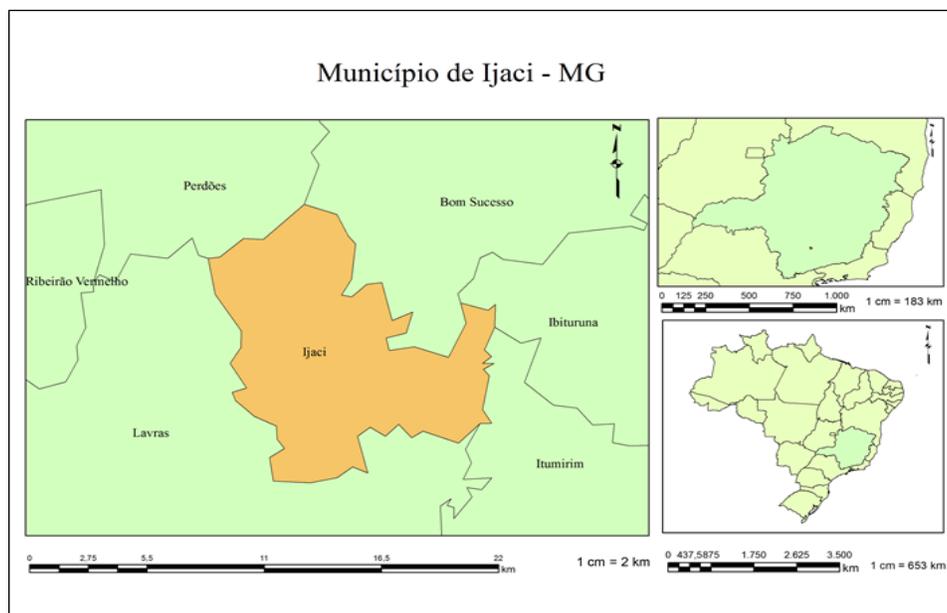


Figura1 Mapa de localização do município de Ijaci, MG.

Com 6.288 habitantes, área de 105,246 km² e densidade demográfica de 55,67 habitantes/km² (IBGE, 2015), o município está inserido na bacia hidrográfica do Rio Grande, limitado ao norte e a leste pelo reservatório artificial formado pela Usina Hidrelétrica do Funil – UHE Funil, que desempenha importante papel na configuração urbanística do município, conforme apresentado no item 3.1.1.

Para a determinação dos limites municipais, utilizou-se o limite importado da carta topográfica denominada Lavras do IBGE de 1975, a partir do qual foi extraído o limite de Ijaci através do comando do ArcGIS 10.1 *Selection by Attributes*.

5.1.1 Zoneamento do Município

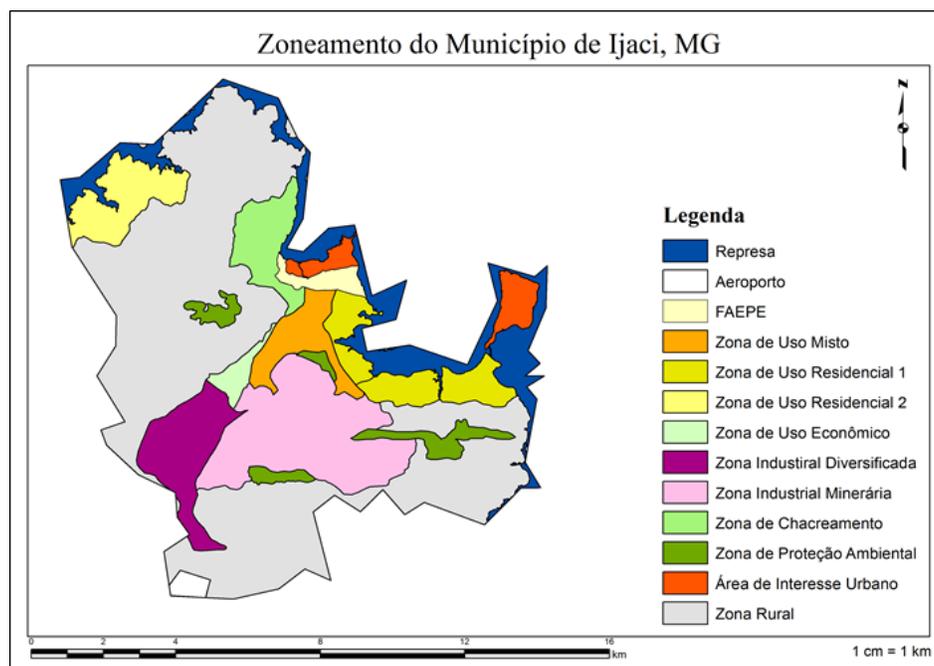


Figura2 Mapa representativo do zoneamento do município de Ijaci, MG.

Fonte: (adaptado de IJACI, 2003).

O ordenamento territorial do município é composto pelas seguintes zonas, descritas no art. 11 do Plano Diretor:

I. ZUM – Zona de Usos Mistos: corresponde à área urbana hoje ocupada, complementada por regiões contíguas que apresentam tendência de expansão e cuja ocupação se caracteriza por usos múltiplos como residências, comércio, serviços, uso institucional e indústrias, compatíveis como o uso residencial predominante pelo seu porte, sendo a região que apresenta melhores condições de adensamento e verticalização, pelo relevo, pela infraestrutura disponível e/ou pela possibilidade de sua expansão, pela articulação e pela acessibilidade.

II. ZR – Zona Residencial: corresponde às regiões lindeiras à Represa do Funil, adequadas ao predomínio do uso residencial de baixa densidade, sendo que deverá ser preservada a paisagem que se descortinará da represa e impedida a sua contaminação por qualquer tipo de resíduos e/ou efluentes e controlados a ocupação e o uso do solo por parâmetros mais restritivos.

III. ZIM – Zona Industrial Minerária: corresponde às áreas já ocupadas e/ou em processo de ocupação pela atividade extrativa mineral, sempre obedecendo às restrições ambientais, devendo estar isolada das demais zonas por cortinas arbóreas.

IV. ZUE – Zona de Usos Econômicos: corresponde às áreas lindeiras à MG-335, adequadas ao predomínio dos usos econômicos diversificados, como comércio, serviços, indústrias de pequeno e médio porte não poluentes, sempre obedecendo às restrições ambientais.

V. ZID – Zona Industrial Diversificada: corresponde às áreas adequadas à implantação de empreendimentos, conflitantes com os demais usos urbanos, pela localização e acessibilidade, sempre obedecendo às restrições ambientais.

VI. ZPA – Zona de Proteção Ambiental: corresponde às áreas não passíveis de ocupação, e/ou que deverão obedecer a critérios específicos para isso.

VII. ZCH – Zona de Chacreamento – corresponde às regiões que margeiam a Represa do Funil, ao norte da sede municipal, onde é possível instalarem-se loteamentos e condomínios de uso predominantemente residencial, além de atividades ligadas ao turismo (IJACI, 2003).

Integram também esse zoneamento as Áreas de Interesse Especial, áreas de caráter social ou urbanístico, com diretrizes específicas em função das suas características, podendo incidir sobre as demais zonas, prevalecendo os parâmetros mais restritivos. Essas áreas são descritas nos artigos 13 e 14 do Plano Diretor do município.

Art. 13. As Áreas de Interesse Social – AIS – correspondem às áreas destinadas à manutenção e à instalação de moradias de interesse social, compreendendo duas categorias:

- I. Áreas de Interesse Social I – AIS I – áreas destinadas à instalação de parcelamentos ou ocupação de interesse social;
- II. Áreas de Interesse Social II – AIS II – áreas onde venha a se fazer necessária a regularização e/ou recuperação de assentamentos humanos de interesse social.

Art. 14. As Áreas de Interesse Urbanístico – AIU – correspondem às áreas destinadas a intervenções específicas, visando à preservação do meio ambiente urbano, à implantação de empreendimentos turísticos e de lazer e à articulação das diversas regiões da cidade e do Município, compreendendo as seguintes categorias:

- I. Área de Interesse Urbanístico I – AIU I – áreas destinadas à implantação de empreendimentos turísticos e de lazer, através de parcerias entre proprietários, Poder Público e iniciativa privada, na orla da Represa do Funil e na ilha resultante da sua inundação;
- II. Área de Interesse Urbanístico II – AIU II – áreas destinadas à implantação do Anel de Contorno de Ijaci, que se encontra lançado como diretriz e que deverá ser objeto de projeto específico (IJACI, 2003).

Apesar de definidas no Plano Diretor, ainda não foram integradas ao zoneamento do município Áreas de Interesse Social, apenas Áreas de Interesse Urbanístico.

Para delimitar as zonas descritas anteriormente, foram utilizadas as informações contidas no anexo IV do Plano Diretor do município de Ijaci, representadas por meio de arquivos *shapefile* criados como base e uma imagem RapidEye da região, que possui resolução espacial de 5m e resolução

radiométrica de 12 bits por pixel, obtida em 2011 e fornecida à UFLA pelo Ministério do Meio Ambiente.

Além dessas zonas, foram também delimitadas parte do aeroporto de Lavras, que se encontra inserido em Ijaci, e a Fazenda da Fundação de Apoio ao Ensino Pesquisa e Extensão (FAEPE) da Universidade Federal de Lavras (UFLA), por meio de informações contidas no Plano Diretor.

Já a informação georreferenciada relacionada ao reservatório artificial da UHE Funil foi extraída da feição “Corpos d’Água” contida na Classificação de Uso e Cobertura da Terra, descrita no item 3.1.5.

Depois de delimitadas todas essas feições, pode-se extrair a Zona Rural do município, subtraindo-se as feições descritas anteriormente do limite municipal descrito no item 3.1.

5.1.2 Sistema Viário

Com base nas cartas topográficas disponibilizadas pelo IBGE advindas do Mapeamento Sistemático Topográfico (escala 1:50.000), foram extraídas informações a respeito das rodovias, ferrovias e estradas principais no município de Ijaci. Esses dados foram adaptados com o auxílio dos *softwares* Google Earth 7.0 e ArcGIS 10.1, gerando o mapa apresentado na Figura 3.

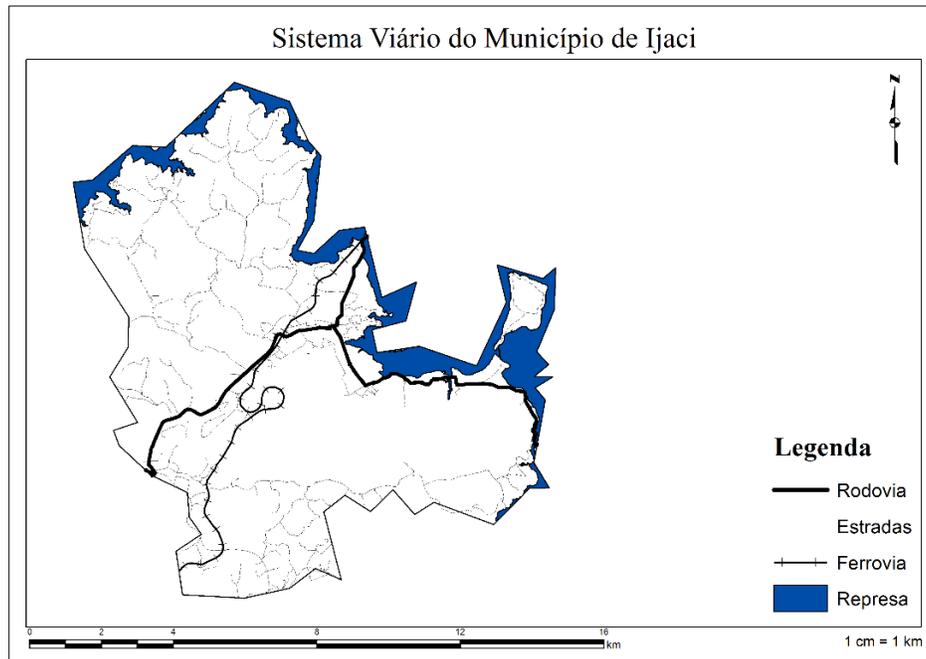


Figura 3 Sistema Viário do município de Ijaci, MG.

Para melhor se adaptar aos objetivos do presente trabalho, foram removidas as estradas que cortam a Zona Industrial Minerária e as Zonas de Proteção Ambiental, por se tratarem de áreas restritas à ocupação urbana. Além disso, nas Zonas de Uso Misto e de Uso Residencial 1 e 2 foram delimitadas apenas as estradas que as contornam, por se tratarem de “áreas adensáveis”. Isso se justifica, pois, na aplicação do modelo multicritério de sobreposição ponderada, será gerado um *buffer* em seu entorno, no intuito de calcular a proximidade a vias públicas como um fator de aptidão ao desenvolvimento urbano.

5.1.3 Topografia

No intuito de representar o relevo do município e de compor o banco de dados do modelo multicritério de sobreposição ponderada, foram elaborados mapas hipsométrico (Figura4) e clinográfico (Figura5).

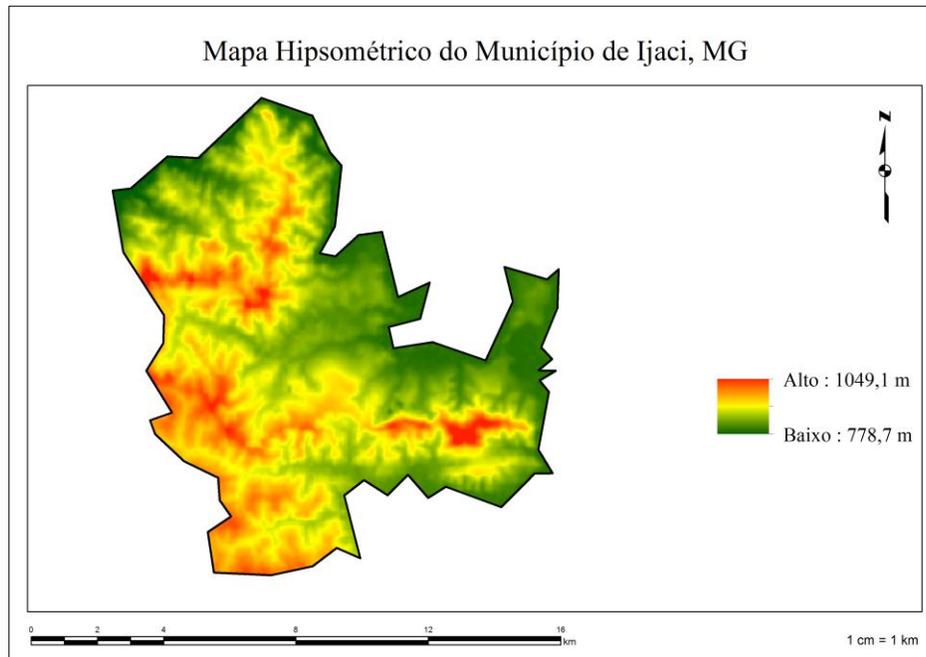


Figura 4 Mapa hipsométrico do município de Ijaci, MG.

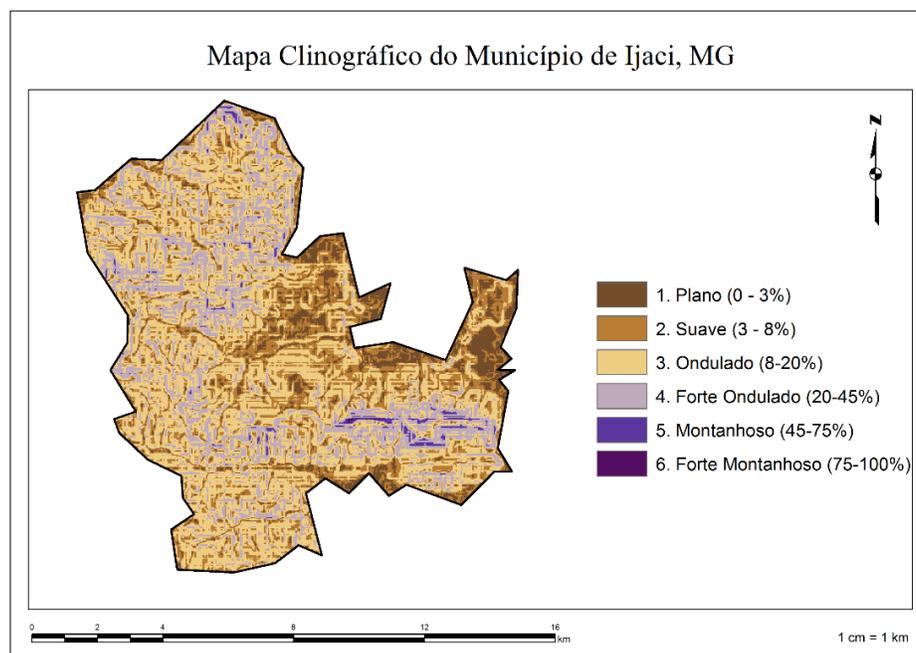


Figura 5 Mapa clinográfico do município de Ijaci, MG.

Esses mapas foram obtidos por meio do acervo digital do projeto Topodata (VALERIANO, 2008) do INPE (Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais), elaborado a partir dos produtos SRTM (*Shuttle Radar Topography Mission*- Missão Topográfica por Radar do Ônibus Espacial). O uso das imagens SRTM tem se tornado cada vez mais frequente em estudos ambientais, em particular para análises tanto quantitativas como qualitativas do relevo e seus agentes modificadores (CARVALHO e LATRUBESSE, 2004), em especial na elaboração de mapas hipsométricos e clinográficos, entre outros produtos elaborados a partir de variáveis relacionadas à topografia.

Verificou-se que o município possui altitude variando entre 778,7 e 1049,1 m e declividade entre 0° e 43,1°, dados de extrema relevância na determinação das áreas restritas à expansão urbana e delimitação de áreas de preservação permanente (APP).

5.1.4 Tipos de Solo

Foi recortado do banco de dados geográficos do projeto “Mapa de Solos do Estado de Minas Gerais”, da Fundação Estadual do Meio Ambiente (2010), um mapa de solos representativo do município de Ijaci (Figura6), cujas classes detectadas foram:

LVA_{d1} – Latossolo Vermelho-Amarelo distrófico típico A moderado textura argilosa; fase cerrado, relevo plano e suave ondulado;

LVA_{d23} – Latossolo Vermelho-Amarelo distrófico típico A moderado textura argilosa + Argissolo Vermelho-Amarelo distrófico típico A moderado textura média/argilosa + Neossolo Litólico distrófico típico A fraco/moderado; todos fase floresta subcaducifólia, relevo ondulado e forte ondulado;

PVA_{e12} – Argissolo Vermelho-Amarelo eutrófico típico A moderado textura média/argilosa + Cambissolo Háplico distrófico típico A moderado textura siltosa/argilosa, cascalhento/não-cascalhento; ambos fase caatinga hipoxerófila, relevo forte ondulado;

PVA_{e20} – Argissolo Vermelho-Amarelo eutrófico típico A moderado textura média/argilosa + Latossolo Vermelho distrófico típico A moderado textura argilosa + Cambissolo Háplico distrófico típico A moderado textura siltosa/ argilosa; todos fase floresta subperenifólia, relevo forte ondulado e montanhoso; e

PV_{d1} – Argissolo Vermelho distrófico típico A moderado/fraco textura média/argilosa; fase floresta subperenifólia, relevo forte ondulado.

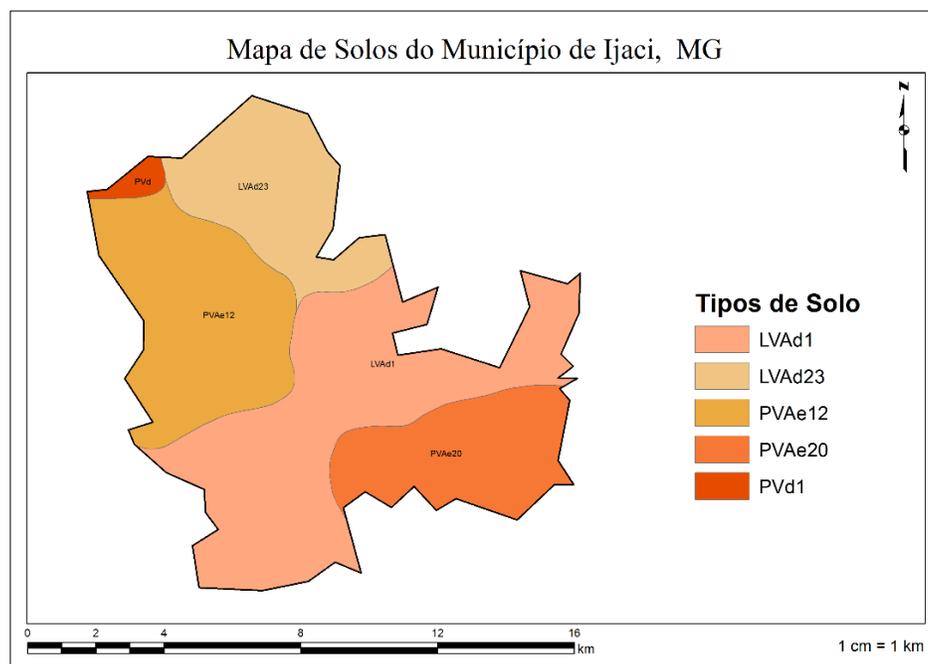


Figura 6 Mapa de solos do município de Ijaci, MG.

Fonte: (adaptado de FEAM, 2010).

Apesar da importância na caracterização dos solos do município, esse levantamento foi realizado na escala 1:650.000, não permitindo a detecção de características que impossibilitassem o desenvolvimento urbano, como a granulometria ou densidade.

5.1.5 Uso e Cobertura da Terra

As informações relacionadas ao uso e cobertura da terra foram extraídas de um arquivo *raster* gerado por meio de classificação supervisionada orientada a objeto GEOBIA (*Geographic Object-Based Image Analysis*- Análise de Imagem Baseada em Objetos Geográficos) e pelo algoritmo de classificação

SVM (*Support Vector Machine*– Máquinas de Vetores de Suporte), realizada pelo Laboratório de Estudos e Projetos em Manejo Florestal (LEMAF) da UFLA.

Por meio dessa metodologia, foram identificados remanescentes de vegetação nativa, áreas cultivadas ou manejadas, área urbana e os corpos d'água presentes no município, representados por meio da Figura 7 e quantificados na Tabela 1.

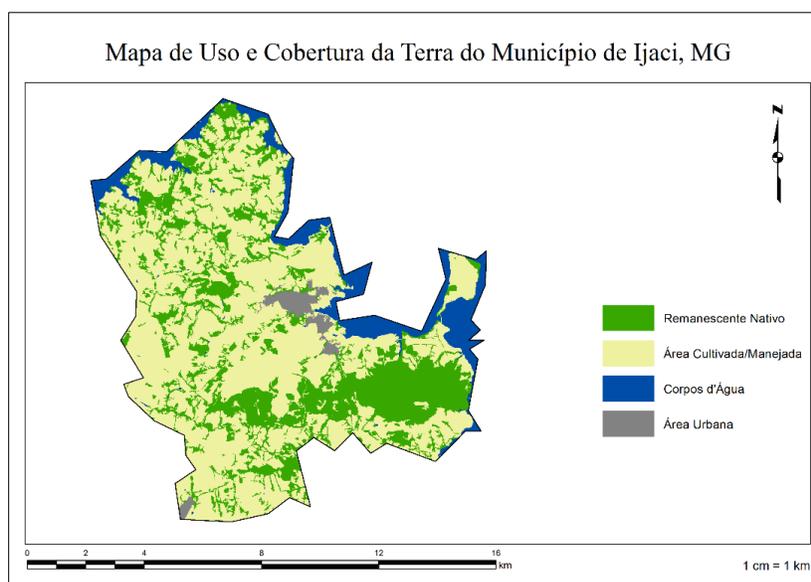


Figura 7 Mapa de uso e cobertura da terra do município de Ijaci, MG.

Tabela 1 Tipos de uso e cobertura da terra do município de Ijaci, MG.

Uso e cobertura da terra	Área (ha)	Área (%)
Remanescente Nativo	2.938,4	27,92
Área Cultivada ou Manejada	6.469,0	61,47
Corpos d'Água	915,9	8,70
Área Urbana	201,3	1,91
Total	10.524,6	100,00

Vale ressaltar que a classificação “Área Urbana” refere-se a um padrão de urbanização classificado na imagem, devido a adensamento populacional e presença de infraestrutura urbana. Já o termo “Zona Urbana” corresponde às zonas destinadas ao uso residencial e uso misto, previsto no Plano Diretor do município.

5.1.5 Áreas Protegidas

Segundo a União Mundial para a Conservação da Natureza (*International Union for Conservation of Nature - IUCN*), “área protegida” pode ser definida como “uma área terrestre e/ou marinha especialmente dedicada à proteção e manutenção da diversidade biológica e dos recursos naturais e culturais associados, manejados através de instrumentos legais ou outros instrumentos efetivos” (IUCN, 1994).

Diante da importância dessas áreas, foram delimitadas as Áreas de Preservação Permanente (APP), previstas na Lei nº 12.651/2012, e as Zonas de Proteção Ambiental, previstas no Plano Diretor municipal. Esses dados são indispensáveis ao presente trabalho por representarem restrições legais à expansão urbana.

5.1.5.1 APP

De acordo com o art. 3º da Lei nº 12.651/2012, as APP são definidas como “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”.

A delimitação dessas áreas é tratada no art. 4º dessa mesma lei e conferem proteção aos recursos hídricos, edáficos e às formações vegetais nativas. Sendo assim, as seguintes APP foram detectadas e delimitadas utilizando as metodologias descritas nos subitens seguintes.⁴

5.1.5.1.1 Curso d'água natural perene e intermitente

São consideradas APP, de acordo com o inciso I, art. 4º do Código Florestal:

I - as faixas marginais de qualquer curso d'água natural perene e intermitente, excluídos os efêmeros, desde a borda da calha do leito regular, em largura mínima de: (Incluído pela Lei nº 12.727, de 2012).

- a) 30 (trinta) metros, para os cursos d'água de menos de 10 (dez) metros de largura;
- b) 50 (cinquenta) metros, para os cursos d'água que tenham de 10 (dez) a 50 (cinquenta) metros de largura;
- c) 100 (cem) metros, para os cursos d'água que tenham de 50 (cinquenta) a 200 (duzentos) metros de largura;
- d) 200 (duzentos) metros, para os cursos d'água que tenham de 200 (duzentos) a 600 (seiscentos) metros de largura;
- e) 500 (quinhentos) metros, para os cursos d'água que tenham largura superior a 600 (seiscentos) metros (BRASIL, 2012).

Sendo assim, no intuito de delimitar essas APP, foi necessário primeiramente obter a rede de drenagem a partir do Modelo de Elevação Digital obtido do projeto Topodata (VALERIANO, 2008), elaborado a partir dos produtos SRTM. Foram utilizados os algoritmos da caixa de ferramentas *Hidrology* (Hidrologia), com o auxílio do tutorial publicado na página Processamento Digital (2013).

⁴ As APP relacionadas às restingas, manguezais e veredas não foram observadas no município, devido à inexistência desses ambientes.

O primeiro algoritmo utilizado foi o *Flow Direction* (Direção de Fluxo), que gera um *raster* contendo a direção do fluxo de cada célula. A partir desse *raster* foram utilizadas as ferramentas *Sink* (Depressão) e *Fill* (Preencher), que criam um *raster* identificando possíveis erros e imperfeições nos dados SRTM.

Após essas correções foi gerada a acumulação do fluxo por meio da ferramenta *Flow Accumulation* (Fluxo Acumulado) e, com base nesse dado, foi aplicada uma expressão condicional por meio da ferramenta *Raster Calculator* (Calculadora *Raster*), no intuito de filtrar apenas os pixels significativos, ou seja, aqueles definidos pelo limiar proposto ($value < 50$), definindo assim a rede de drenagem da área de estudo.

Foi utilizado então o algoritmo de *Strahler* por meio da ferramenta *Stream Order* (Ordenamento de Linhas de Drenagem), onde se pode verificar cursos d'água de quatro diferentes ordens. Por fim, para extrair a rede de drenagem classificada em formato *shapefile*, foi utilizada a ferramenta *Stream to Feature* (Converter Linhas de Drenagem para Rede de Drenagem).

Para minimizar os erros advindos da diferença de escala entre o SRTM (resolução espacial = 90m) e a imagem Rapideye utilizada como base de estudo (resolução espacial = 5m), foi comparada a rede de drenagem obtida por meio da metodologia supracitada com a rede disponível no Mapeamento Sistemático Topográfico do IBGE (resolução espacial = 50m), que possui resolução superior ao SRTM. A partir dessa comparação, os dados foram corrigidos e exportados para o Google Earth no intuito de estimar a largura média de cada ordem dos cursos d'água, obedecendo aos limites previstos no Código Florestal.

Aos tributários de 1ª e 2ª ordem, foi atribuída largura menor que 10m, e aos de 3ª e 4ª, menor que 50m. Foram então criados *buffers* no entorno desses cursos d'água de (a) 50 e (b) 30m, respectivamente. O resultado pode ser verificado na Figura 8.

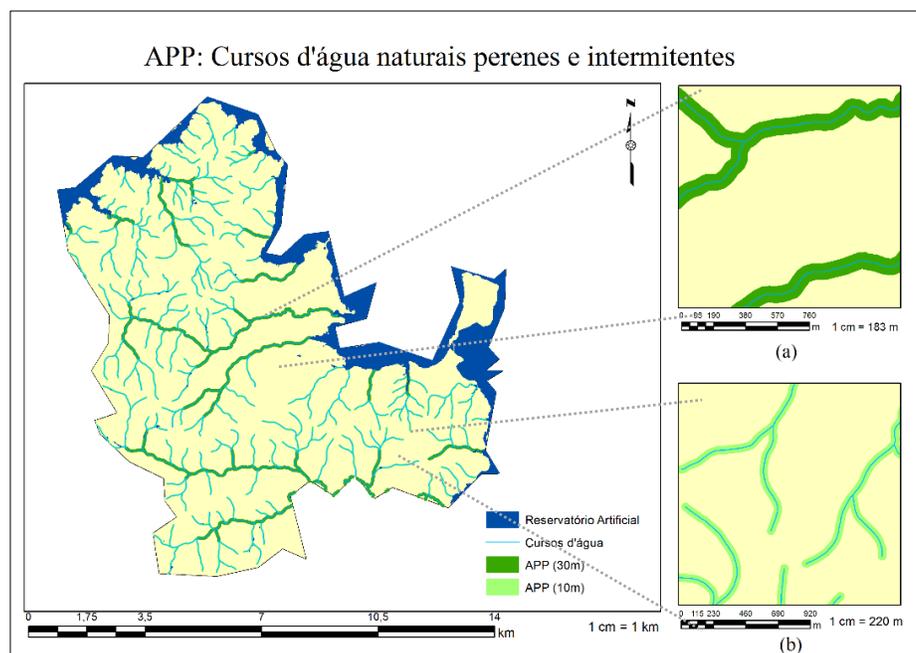


Figura 8 APP Cursos d'água naturais perenes e intermitentes. Destaque para: (a) APP50 m e (b) 30 m.

5.1.5.1.2 Lagoas e lagos naturais

De acordo com o inciso II, art. 4º do Código Florestal, devem ser respeitadas como APP:

II - as áreas no entorno dos lagos e lagoas naturais, em faixa com largura mínima de:

- a) 100 (cem) metros, em zonas rurais, exceto para o corpo d'água com até 20 (vinte) hectares de superfície, cuja faixa marginal será de 50 (cinquenta) metros;
- b) 30 (trinta) metros, em zonas urbanas (BRASIL, 2012).

Diante dessas definições, os lagos e lagoas foram identificados e delimitados com base nas informações extraídas da feição “Corpos d'Água”,

presente na classificação uso e cobertura da terra descrita no item 3.1.5, onde foram observadas acumulações de água variando entre 0,001 e 0,851 ha.

No entanto, o parágrafo 4º do art. 4º determina que é dispensada APP no entorno de acumulações naturais ou artificiais de água com superfície inferior a 1 (um) ha, desde que vedada nova supressão de áreas de vegetação nativa, ao menos que autorizada pelo órgão ambiental competente (BRASIL, 2012). Sendo assim, nenhuma área no município foi delimitada com base no dispositivo supracitado, como pode ser observado na Figura9.

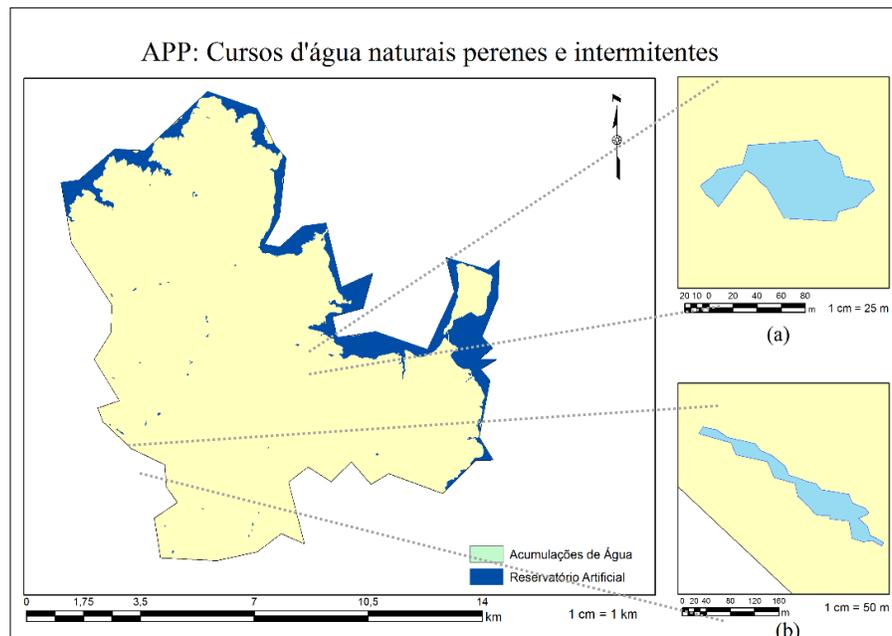


Figura 9 Lagos e lagoas naturais. Destaque para acumulações de água menores que 1 ha, onde é dispensada APP em (a) e (b).

5.1.5.1.3 Reservatórios d'água artificiais, decorrentes de barramento ou represamento de cursos d'água naturais

Também são consideradas APP as “áreas no entorno dos reservatórios d’água artificiais, decorrentes de barramento ou represamento de cursos d’água naturais, na faixa definida na licença ambiental do empreendimento”, de acordo com o inciso III, art. 4º do Código Florestal.

Em relação a essas áreas, o art. 5º dessa mesma lei ressalta que:

Art. 5 Na implantação de reservatório d’água artificial destinado a geração de energia ou abastecimento público, é obrigatória a aquisição, desapropriação ou instituição de servidão administrativa pelo empreendedor das Áreas de Preservação Permanente criadas em seu entorno, conforme estabelecido no licenciamento ambiental, observando-se a faixa mínima de 30 (trinta) metros e máxima de 100 (cem) metros em área rural, e a faixa mínima de 15 (quinze) metros e máxima de 30 (trinta) metros em área urbana (BRASIL, 2012).

A partir da classificação de uso e cobertura da terra descrita no item 3.1.5, de onde foi extraída a informação que representa o reservatório artificial formado pela UHE Funil, gerou-se um *buffer* no entorno do reservatório, considerando o limite de 100 m em área rural e 30 m em área urbana. Esses limites foram definidos mediante ao que determina o inciso VI, art. 11 do Plano Diretor do município, que firma esses valores como Zona de Proteção Ambiental. Essa delimitação pode ser observada na Figura 10. É importante também destacar que as Zonas Rurais e Urbanas foram separadas de acordo com o zoneamento previsto no Plano Diretor do município.

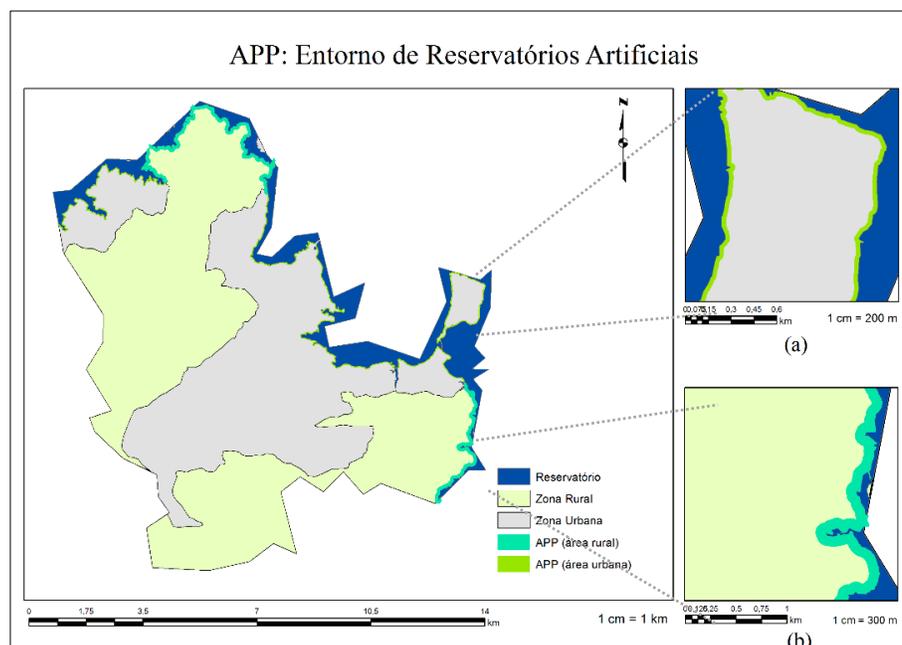


Figura 10 APP Entorno de Reservatórios Artificiais. Destaque para:(a) APP em área urbana e (b) em área rural.

5.1.5.1.4 Nascentes e olhos d'água perenes

As áreas no entorno das nascentes e dos olhos d'água perenes, qualquer que seja sua situação topográfica, de acordo com o inciso IV, art. 4º do Código florestal, também são consideradas APP, onde é estabelecido um raio mínimo de 50 (cinquenta) m de área protegida (BRASIL, 2012).

Tendo como base o vetor que representa a rede de drenagem obtido no item, 3.1.6.1.1, foi utilizada a ferramenta *Feature Vertice To Point*(Converter a Rede de Drenagem para Pontos), criando-se assim pontos para representar essas nascentes no início de cada linha (curso d'água). Em seguida foi realizado um *buffer* de 50m ao redor de cada ponto, conforme representação da Figura 11.

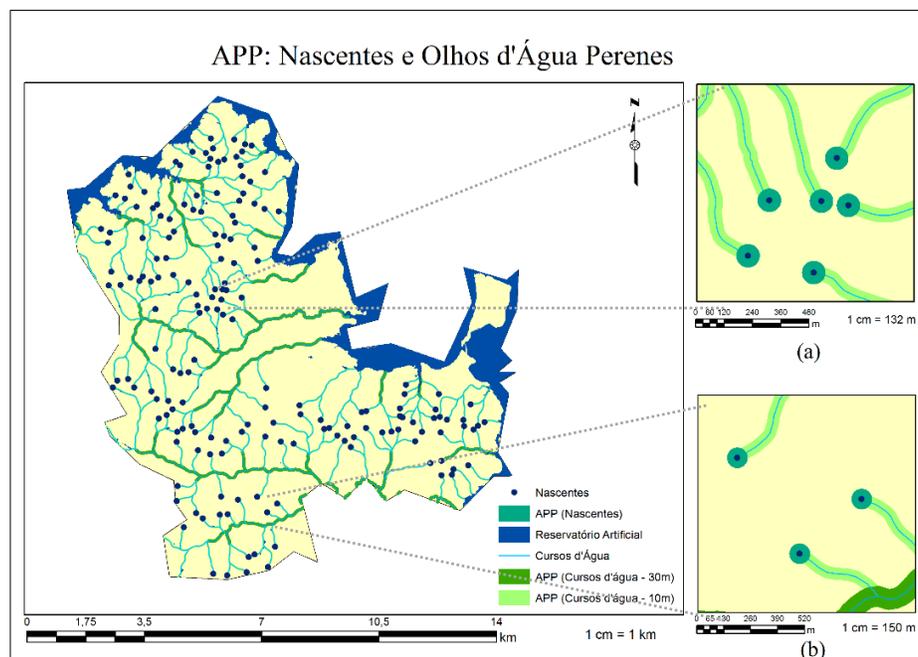


Figura11 APP Nascentes e olhos d'água perenes.

5.1.5.1.5 Encostas ou partes destas com declividade superior a 45° , equivalente a 100% na linha de maior declive.

No intuito de determinar essas APP previstas no inciso V, art. 4º do Código Florestal, foi utilizada a ferramenta *Slope* (Declividade), que utiliza como base o Modelo de Elevação Digital disponibilizado pelo projeto Topodata (VALERIANO, 2008), elaborado a partir dos produtos SRTM.

Analisando o produto da ferramenta *Slope*, nota-se que existe uma variação entre 0° e 43.1° em todo o município. Diante disso, verificou-se que não existem APP relacionadas às encostas ou partes destas com declividade superior a 45° , conforme apresentado na Figura 12.

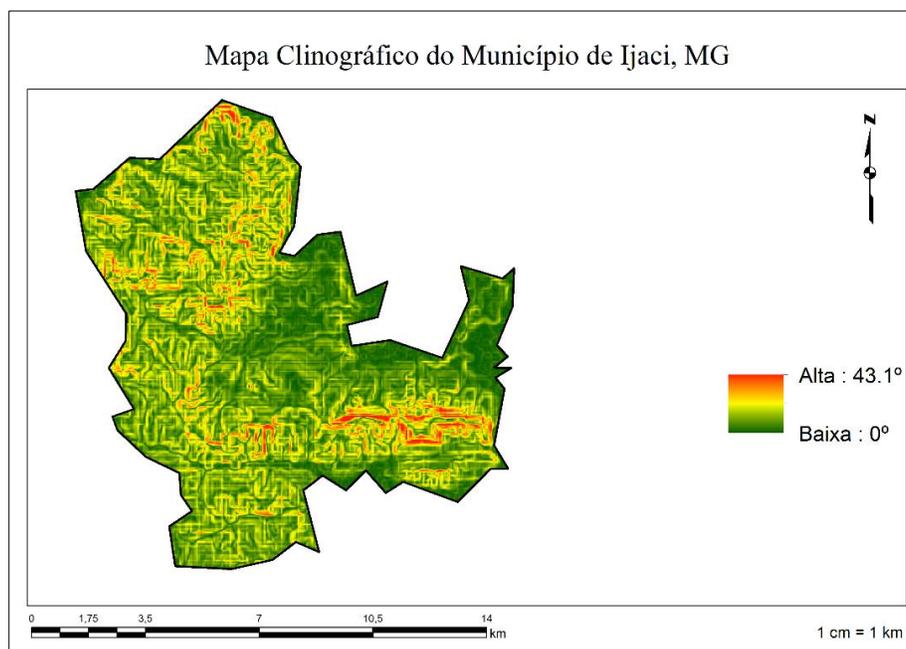


Figura12 Mapa Clinográfico do Município de Ijaci, MG. Destaque para a ausência de APP em áreas com declividade acima de 45°.

5.1.5.1.6 Topo de Morros, Montes, Montanhas e Serras com Altura Mínima de 100 m e Inclinação Média Maior que 25°

De acordo com o inciso IX, art. 4° do Código Florestal, são determinadas como de proteção permanente as áreas:

IX - no topo de morros, montes, montanhas e serras, com altura mínima de 100 (cem) metros e inclinação média maior que 25°, as áreas delimitadas a partir da curva de nível correspondente a 2/3 (dois terços) da altura mínima da elevação sempre em relação à base, sendo esta definida pelo plano horizontal determinado por planície ou espelho d'água adjacente ou, nos relevos ondulados, pela cota do ponto de sela mais próximo da elevação (BRASIL, 2012).

Para delimitar essas áreas, foi utilizada a metodologia proposta por Hottet al. (2004), utilizando como base o mesmo Modelo de Elevação Digital citado no item 3.1.6.1.5.

Porém, ao cruzar as informações hipsométricas com as clinográficas que atendem aos requisitos legais desse tipo de APP, observou-se que não existem áreas no município que possuem restrições de altura e inclinação média concomitantemente, ou seja, não existem APP dessa categoria no município, conforme ilustrado na Figura13.

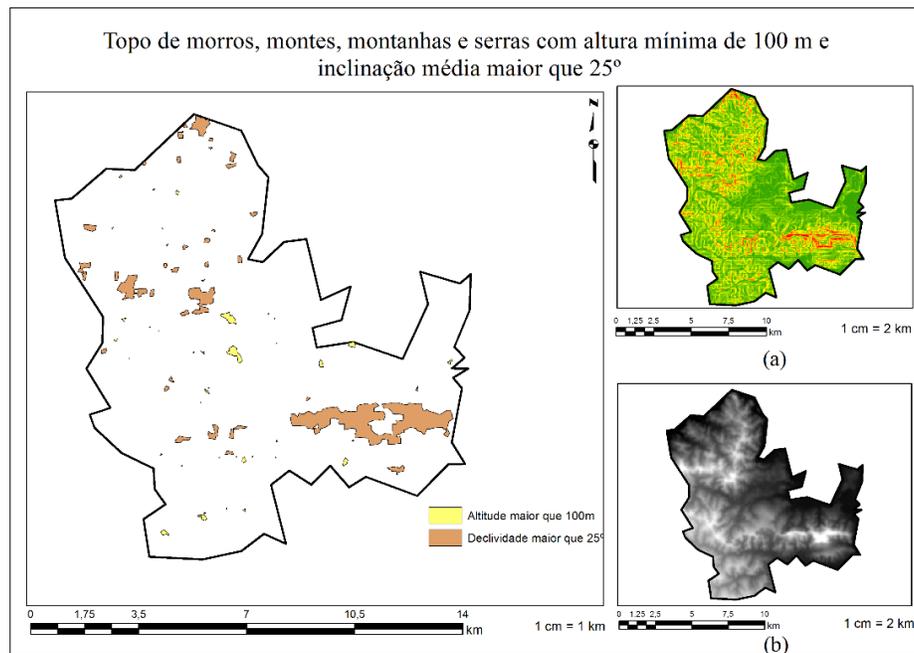


Figura13 Topo de morros, montes, montanhas e serras com altura mínima de 100 m e inclinação média maior que 25°. Destaque para: (a) Mapa Clinográfico e (b) Mapa Hipsométrico do município de Ijaci, MG.

5.1.5.1.7 Áreas em Altitude Superior a 1.800 m

Com base no Modelo de Elevação Digital citado no item 3.1.6.1.5, também foi possível verificar que não existem no município as APP previstas no inciso X, art. 4º do Código Florestal, visto que o maior valor hipsométrico detectado foi de 1.049,12 m, o que pode ser observado na Figura 14.

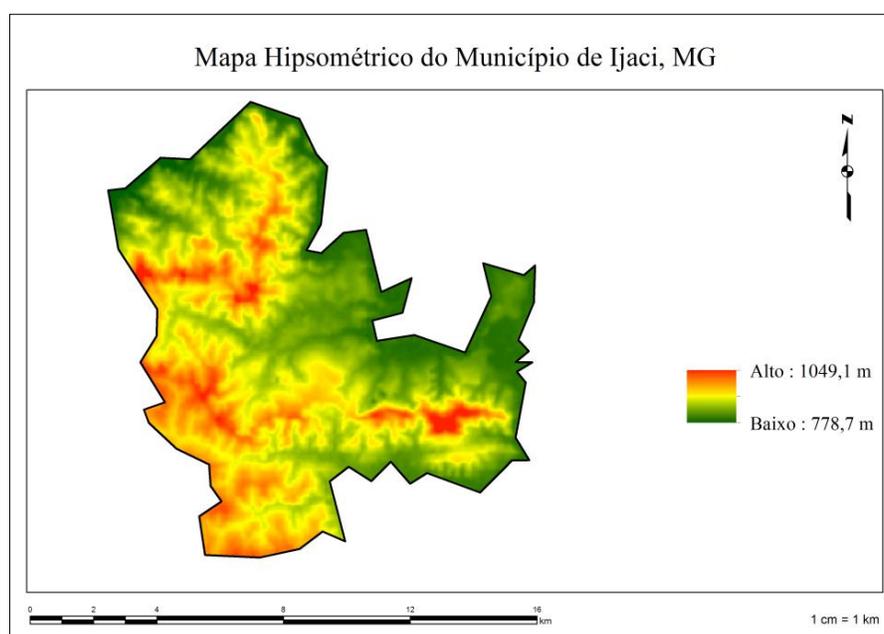


Figura 14 Mapa hipsométrico do município de Ijaci, MG. Destaque para a ausência de APP em áreas com altitude superior a 1.800m.

5.1.5.2 Zona de Proteção Ambiental

As Zonas de Proteção Ambiental (ZPA) correspondem “às áreas não passíveis de ocupação, e/ou que deverão obedecer a critérios específicos”, de acordo com o inciso VI, art. 11 do Plano Diretor do município de Ijaci.

Sendo assim, foram delimitadas tendo como base a imagem Rapideye e as descrições presentes no anexo IV do Plano Diretor as seguintes zonas (Figura15):

- a) ZPA 1 – Zona de Proteção Ambiental da Serra do Jaci;
- b) ZPA 2 – Zona de Proteção Ambiental da Mata da Samambaia;
- c) ZPA 3 – Zona de Proteção Ambiental correspondente às cortinas arbóreas, reflorestamentos compensatórios de isolamento da Zona Industrial Minerária (ZIM), aquelas resultantes da recuperação de áreas mineradas e depósitos de estéril e toda a cobertura vegetal expressiva no município, constituída por vegetação de médio e grande porte, inclusive as que vierem a ser criadas em função da recuperação das áreas inundadas (IJACI, 2003).

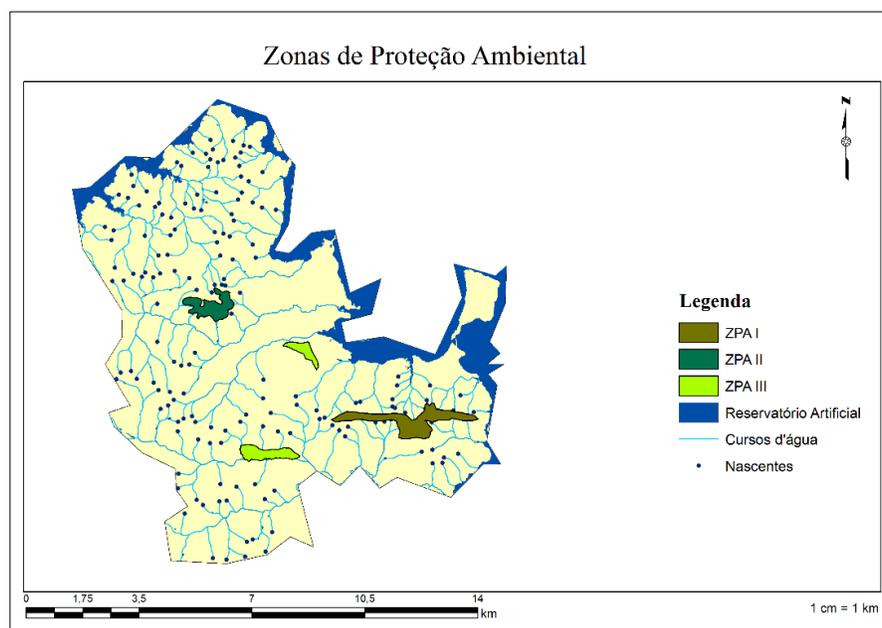


Figura 15 Zonas de Proteção Ambiental do município de Ijaci, MG.

Salienta-se que ainda são previstas duas outras ZPA no Plano Diretor Municipal, porém elas não foram delimitadas por se sobreporem às APP previstas no Código Florestal, onde, nesse caso, a legislação federal foi considerada mais restritiva.

5.2 Análise Espacial de Dados Geográficos

A metodologia aplicada neste trabalho utilizou a lógica *fuzzy* e a lógica *booleana* como suporte na realização dos procedimentos de análise espacial, de acordo com a proposta de Nascimento et al. (2009), visando a geração de um cenário com as áreas aptas ao desenvolvimento urbano do município de Ijaci, MG. Essa metodologia foi subdividida em duas etapas: definição e padronização dos critérios, e cruzamento dos critérios.

5.2.1 Definição e Padronização de Critérios

Toda modelagem envolve um processo de decisões que, por sua vez, são baseadas pela consideração de critérios. Os critérios servem como normas para encontrar melhores alternativas e representam condições possíveis de quantificar ou avaliar, contribuindo assim para a tomada de decisões (CALIJURI et al., 2002).

Segundo Weber e Hasenack (2003), um critério pode constituir-se de um fator ou de uma restrição. Restrições são aqueles critérios que cerceiam ou limitam a análise a regiões geográficas específicas, ou seja, as restrições são áreas com limitações legais e/ou ambientais que não são aptas sob condição alguma para determinado uso, constituindo-se normalmente de mapas *booleanos* com classes do tipo apto/não apto. Fatores, por outro lado, são critérios que definem alguns graus de aptidão para a área considerada.

Os fatores e restrições do presente trabalho foram baseados no banco de dados e caracterização da área de estudo descritos no item 3.1. No entanto, foi necessário que cada critério fosse reescalado para o intervalo numérico entre 1 e 9, no intuito de padronizar os dados de entrada do modelo, por meio da ferramenta *Reclassify* (Reclassificar).

A necessidade da padronização dos critérios deve-se ao fato de cada mapa possuir uma unidade temática diferente. Assim, a padronização permite que as unidades dos mapas tenham uniformidade (DE PAULA e SOUZA, 2007). Cada unidade foi ponderada de acordo com sua importância quanto à aptidão à expansão urbana, onde os valores mais próximos de 1 representam áreas aptas e, próximo a 0, áreas inaptas.

5.2.1.1 Fatores

5.2.1.1.1 Declividade

As feições relacionadas à declividade foram subdivididas em cinco classes de acordo com modelo proposto por Valente (1996).

Classe 1 (0 a 3%): áreas impróprias ao uso urbano tendo em vista a baixa capacidade de carga admissível dos solos existentes, indicados, no entanto, para atividades agrícolas e de lazer.

Classe 2 (3 a 15%): ótima para ocupação urbana e edificações de habitação convencionais.

Classe 3 (15 a 30%): embora não sejam áreas totalmente desfavoráveis à ocupação urbana, poderá exigir a adoção de soluções técnicas.

Classe 4 (30% a 45%): aptidão insatisfatória ao uso residencial, sendo proibido o parcelamento do solo de acordo com a Lei de Parcelamento do Solo, salvo se atendidas exigências especiais quanto à preservação do meio físico.

Classe 5 (superior a 45%): inapta à ocupação urbana.

Tabela 2 Classificação do fator “Declividade”.

Classe	Peso	Aptidão quanto à expansão urbana
Classe 1	5	Baixa Aptidão
Classe 2	9	Apta
Classe 3	7	Alta Aptidão
Classe 4	3	Baixíssima Aptidão
Classe 5	1	Inapta

5.2.1.1.2 Uso e Cobertura da Terra

Essa feição foi subdividida em três classes.

Classe 1 (Área Urbana): caracterizada pela edificação contínua e pela existência de infraestrutura urbana.

Classe 2 (Área Cultivada ou Manejada): caracterizada por plantios, pastagens ou quaisquer atividades antrópicas com finalidade agrária.

Classe 3 (Remanescente Nativo): área com vegetação nativa em estágio primário ou secundário avançado de regeneração, de acordo com o inciso IV, art. 2º do Decreto Federal nº 7.830/2012.

Classe 4 (Corpos d’água): área com acumulação significativa de água, naturais ou artificiais.

Tabela 3 Classificação do fator “Uso e Cobertura da Terra”.

Classe	Peso	Aptidão quanto a expansão urbana
Classe 1	9	Apta
Classe 2	7	Alta Aptidão
Classe 3	5	Baixa Aptidão
Classe 4	1	Inapta

5.2.1.1.3 Distância às Áreas Adensáveis

Áreas adensáveis e em processo de adensamento são aquelas onde existe uma boa infraestrutura, como rede de esgoto, rede de abastecimento de água, rede elétrica, rede de drenagem pluvial, vias pavimentadas, equipamentos etc., que são fatores fundamentais à ocupação urbana (NASCIMENTO, 2009).

Como base no zoneamento previsto no Plano Diretor do município, compõem essa feição as AIU, ZUE, ZCH, ZR1 e ZR2 e ZUM, além da área da fazenda da FAEPE. Sendo assim, foram criados *buffers* representando a distância em quilômetros em relação às áreas adensáveis ou em processo de adensamento, sendo que a aptidão ao desenvolvimento urbano é inversamente relacionada à distância.

As classes de distância foram estabelecidas da seguinte forma.

Classe 1: Áreas adensáveis ou em processo de adensamento.

Classe 2: Distância de 1km às Áreas adensáveis.

Classe 3: Distância de 2km às Áreas adensáveis.

Classe 4: Distância de 3km às Áreas adensáveis.

Classe 5: Distância maior a 3km às Áreas adensáveis.

Tabela 4 Classificação do fator “Distância às Áreas Adensáveis”.

Classe	Nota	Aptidão quanto a expansão urbana
Classe 1	9	Apta
Classe 2	7	
Classe 3	5	
Classe 4	3	
Classe 5	1	

5.2.1.1.4 Distância às Vias Principais

Primeiramente, o sistema viário foi individualizado em relação a cada tipo de via.

- a) Rodovias: representada pela rodovia estadual MG-335.
- b) Vias principais: composta pela estrada que liga os municípios de Ijaci e Ibituruna, além das demais vias rurais e urbanas principais.
- c) Ferrovias: referente ao trecho ferroviário presente no município.

Devido à necessidade de se manter “faixa não-edificável” no entorno de rodovias e ferrovias, foram utilizadas apenas as informações relacionadas às vias principais como fator, enquanto as outras vias foram consideradas como restrição.

Esse fator foi escolhido por facilitar a expansão urbana e o parcelamento do solo. Ele foi dividido em nove classes que representam a distância de 200 em 200 m em relação às vias principais até o limite municipal, e elas foram ponderadas de acordo com a Tabela 5.

Tabela 5 Classificação do fator “Distância às Vias Principais”.

Classe	Peso	Aptidão quanto à expansão urbana	
Classe 1	9	Apta	
Classe 2	8		
Classe 3	7		
Classe 4	6		
Classe 5	5		
Classe 6	4		
Classe 7	3		
Classe 8	2		
Classe 9	1		Inapta

5.2.1.2 Restrições

5.2.1.2.1 Áreas de Preservação Permanente

As APP detectadas no município foram classificadas em três diferentes grupos, de acordo com suas categorias.

Classe 1 (Curso d'água natural perene e intermitente).

Classe 2 (Reservatórios d'água artificiais, decorrentes de barramento ou represamento de cursos d'água naturais).

Classe 3 (Nascentes e olhos d'água perenes).

5.2.1.2.2 Zonas de Proteção Ambiental

Definidas de acordo com o Plano Diretor do município, as ZPA também foram divididas em três classes, de acordo com a área protegida.

Classe 1 (ZPA 1): Zona de Proteção Ambiental da Serra do Jaci.

Classe 2 (ZPA 2): Zona de Proteção Ambiental da Mata da Samambaia.

Classe 3 (ZPA 3): Zona de Proteção Ambiental correspondente às cortinas arbóreas, reflorestamentos compensatórios de isolamento da Zona Industrial Minerária (ZIM), aquelas resultantes da recuperação de áreas mineradas e depósitos de estéril e toda a cobertura vegetal expressiva no município, constituída por vegetação de médio e grande porte, inclusive as que vierem a ser criadas em função da recuperação das áreas inundadas.

5.2.1.2.3 Áreas não edificáveis ao redor de rodovias e ferrovias

Essa feição é prevista com base no Inciso III, art. 4º, da Lei de Parcelamento do Solo, e torna obrigatória a reserva de uma faixa não-edificável de 15 m de cada lado no entorno de rodovias e ferrovias, salvo maiores exigências da legislação específica.

5.2.1.2.4 Zonas Industriais e Aeroporto

Essa feição foi subdividida em duas outras classes, estabelecidas como restrições ao desenvolvimento urbano por se tratarem de áreas isoladas da área urbana com intuito de reduzir o impacto ambiental e social dos usos industriais, além da área do Aeroporto de Lavras.

Classe 1 (ZIM): Zona Industrial Minerária.

Classe 2 (ZID): Zona Industrial Diversificada.

Classe 3 (AER): Aeroporto.

Entretanto, antes de se utilizar os critérios para a análise pretendida, eles devem ser reescalados para um intervalo numérico comum, conhecido como padronização.

5.2.2 Cruzamento dos Critérios

O processo de cruzamento das informações constituiu-se de três etapas:

- (a) cruzamento das informações referentes aos fatores;
- (b) cruzamento das informações restritivas; e

- (c) geração do mapa de aptidão ao desenvolvimento urbano por meio do cruzamento das informações resultantes dos fatores ponderados mais as informações restritivas.

5.2.2.1 Cruzamento de Fatores

Para a realização do cruzamento de fatores, utilizou-se o método do Multicritério Aditivo proposto por Silva e Zaidan (2004), integrando SIG, dados de sensoriamento remoto e critérios de decisão, com uso de *raster*, pesos e notas às variáveis de interesse colocados em um algoritmo de decisão (Equação 1) por meio da ferramenta *Raster Calculator* (Calculadora *Raster*) do ArcGIS 10.1.

$$A_{ij} = \sum_{k=1}^n (P_k \times N_k) \quad (1)$$

Em que:

A_{ij} é uma célula do *raster*;

n é o número de camadas ou mapas;

P é o peso atribuído ao parâmetro (valor de 0 a 1); e

N é a nota atribuída à gradação obtida para o mapa.

Para a aplicação dessa metodologia, foram adotadas notas (N) aos fatores variando entre 1 e 9, sendo considerada com a maior aptidão à urbanização as notas mais próximas a 9, conforme padronização de fatores apresentada no item 3.2.1.1.

Após a modelagem de cada mapa temático (fatores) no formato numérico foi feita a atribuição dos pesos (P) usando a técnica de análise multicriterial AHP (Analytic Hierarchy Process - Processo Analítico Hierárquico), desenvolvida por Saaty (1980).

Essa técnica baseia-se na elaboração de uma matriz de comparação entre os dados, de acordo com a importância relativa entre pares de fatores. O decisor, então, estabelece “juízos de valores” através de uma escala numérica de Saaty, que varia de 1 a 9 (EASTMAN, 1998; RODRIGUEZ, 2004).

Tabela 6 Escala Numérica de Saaty.

Escala numérica	Escala Verbal	Explicação
1	Ambos elementos são de igual importância.	Ambos elementos contribuem com a propriedade de igual forma.
3	Moderada importância de um elemento sobre o outro.	A experiência e a opinião favorecem um elemento sobre o outro.
5	Forte importância de um elemento sobre o outro.	Um elemento é fortemente favorecido.
7	Importância muito forte de um elemento sobre o outro.	Um elemento é muito fortemente favorecido sobre o outro.
9	Extrema importância de um elemento sobre o outro.	Um elemento é favorecido pelo menos com uma ordem de magnitude de diferença.
2, 4, 6 e 8	Valores intermediários entre as opiniões adjacentes.	Usados como valores de consenso entre as opiniões.
Incremento 0,1	Valores intermediários na graduação mais fina de 0,1.	Usados para graduações mais finas das opiniões.

Fonte: Roche (2004) citado por Freitas et al.(2006).

Essa matriz de comparação pareada foi realizada por meio do *plug-in* Easy AHP, disponível para interação com o Quantum Gis 2.4.0. Os fatores foram comparados, dois a dois, utilizando-se como referência a escala de ponderação definida por Saaty (1980), que permite a graduação dos pesos em nove níveis que foram criteriosamente julgados segundo a importância relativa entre eles diante da ocupação urbana.

5.2.2.2 Cruzamento de Informações Restritivas

O cruzamento dessas informações foi feito por meio da sobreposição dos mapas usando operações *booleanas*, onde as áreas restritivas foram consideradas 1 e as demais áreas como “*no data*”, por meio da ferramenta *Reclassify* (Reclassificar) do ArcGIS 10.1.

5.2.3 Geração do Mapa de Aptidão ao Desenvolvimento Urbano

Nesse processo, as informações das restrições ambientais funcionaram como uma máscara, mantendo seu critério de restrição, ou seja, as áreas em que o valor restritivo era igual a 1 continuaram 1, e as demais áreas em que o valor variava entre 2 e 9, ficaram os valores da grade do mapa ponderado, realçando ou diminuindo a aptidão da área de forma contínua.

5.3 Fluxograma de Síntese Metodológica

No intuito de sintetizar os procedimentos metodológicos, necessários para a criação do mapa de aptidão ao desenvolvimento urbano, foi elaborado um fluxograma conforme a Figura 16.

O primeiro bloco consiste nos dados levantados para a caracterização da área de estudo, por meio de informações obtidas por técnicas de sensoriamento remoto, interpretação do Plano Diretor do município de Ijaci ou extração de dados espaciais de acesso público (IBGE e Topodata).

Os passos seguintes explicitam a definição e padronização de critérios, onde primeiramente foram definidos os fatores e restrições ao desenvolvimento urbano. Logo após, foram padronizados os fatores (por meio da lógica *fuzzy*) e as restrições (por meio da lógica *booleana*). Em sequência, os fatores foram cruzados por meio do modelo de Multicritério Aditivo, e o mapa de aptidão ao

desenvolvimento urbano foi gerado cruzando essas informações com as restrições.

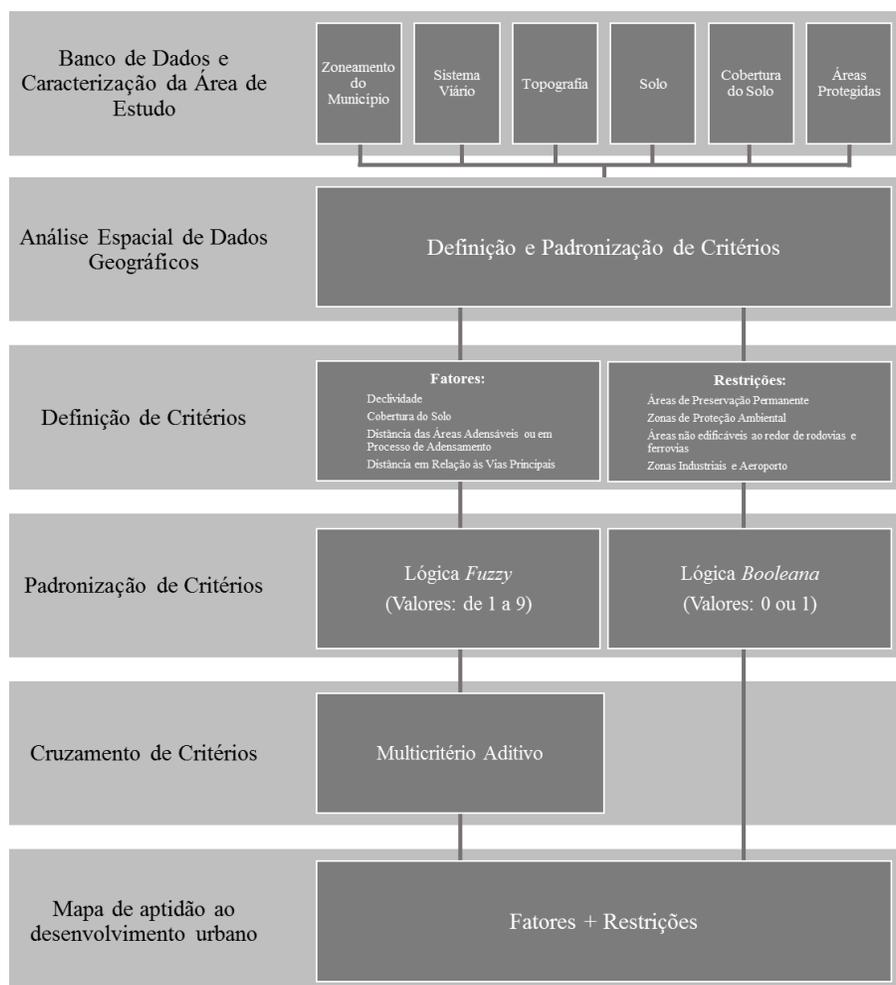


Figura 16 Fluxograma de síntese metodológica.

6 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Os dados básicos que caracterizam a área de estudo compuseram a base de informações necessárias para a obtenção das potencialidades e restrições ao desenvolvimento do município de Ijaci, MG. Os dados foram selecionados de acordo com sua relevância ao estudo e modelados, originando arquivos no formato *raster* para cada feição. Esses arquivos foram reclassificados no intuito de gerar valores numéricos que pudessem ser cruzados, sendo os fatores reclassificados entre 1 e 9, e as restrições entre 0 e 1.

As etapas para a obtenção dos resultados foram as seguintes:

- (a) modelagem dos dados de limitação relativa (fatores) no formato numérico e aplicação do modelo Multicritério Aditivo, resultando no mapa ponderado dos fatores;
- (b) modelagem dos dados restritivos no formato booleano, resultando no mapa das restrições; e
- (c) geração do mapa de aptidão ao desenvolvimento urbano de Ijaci por meio do cruzamento das informações resultantes dos fatores ponderados e das restrições.

6.1 Modelagem dos Dados de Limitação Relativa (Fatores)

A padronização dos dados em formato numérico teve como base as informações contidas no mapa de declividade, uso e cobertura da terra, distância às áreas adensáveis e em processo de adensamento e distância às vias principais.

Todos os mapas foram reclassificados para o intervalo numérico de 1 a 9 relativo às notas (N) atribuídas a cada feição, sendo que, quanto mais próximo de 9, maior a aptidão ao desenvolvimento urbano.

Após a reclassificação de cada mapa temático (fatores), no formato numérico, foi feita a atribuição dos pesos (P) dos fatores usando a técnica de análise multicriterial AHP. Os fatores foram comparados, dois a dois, utilizando-se como referência a escala de ponderação definida por Saaty (1980), apresentada no item 3.2.2.2, sendo julgados segundo a importância relativa entre eles diante da expansão urbana. A Tabela 7 apresenta a matriz de comparação pareada entre os fatores.

Tabela 7 Matriz de comparação pareada entre fatores.

	Declividade	Uso e Cobertura da Terra	Dist. às Áreas Adensáveis	Dist. às Vias Principais
Declividade	1	2,0	3,0	3,0
Uso e Cobertura da Terra	0,5	1	2,0	2,0
Dist. às Áreas Adensáveis	0,333	0,5	1	1,0
Dist. às Vias Principais	0,333	0,5	1,0	1

Os pesos calculados para cada fator foram:

I. Declividade = 0,333;

II. Uso e Cobertura da Terra= 0,333;

III. Distância às Áreas Adensáveis = 0.167; e

IV. Distância às Vias Principais = 0.167.

Verificou-se que os fatores declividade e uso e cobertura da terra tiveram os valores mais altos, totalizando um pouco mais da metade do valor da soma dos pesos. Isso se deve à importância do fator declividade em relação aos processos erosivos e do uso e cobertura da terra, relacionado às dificuldades de conversão de tais usos e coberturas.

De posse dos pesos e notas de cada feição, foi elaborada a seguinte expressão (Equação 2), com o auxílio da ferramenta *Raster Calculator*(Calculadora Raster):

$$\text{Aptidão} = (\text{Declividade} \times 0,333) + (\text{Uso e Cobertura da Terra} \times 0,333) + (\text{Distância às Áreas Adensáveis} \times 0,167) + (\text{Distância às Vias Principais} \times 0,167) \quad (2)$$

Como resultado dessa operação, foram obtidas as informações na forma de superfície contínua das áreas com os graus de aptidão ao desenvolvimento urbano, levando-se em consideração os fatores escolhidos, conforme representado na Figura 17.

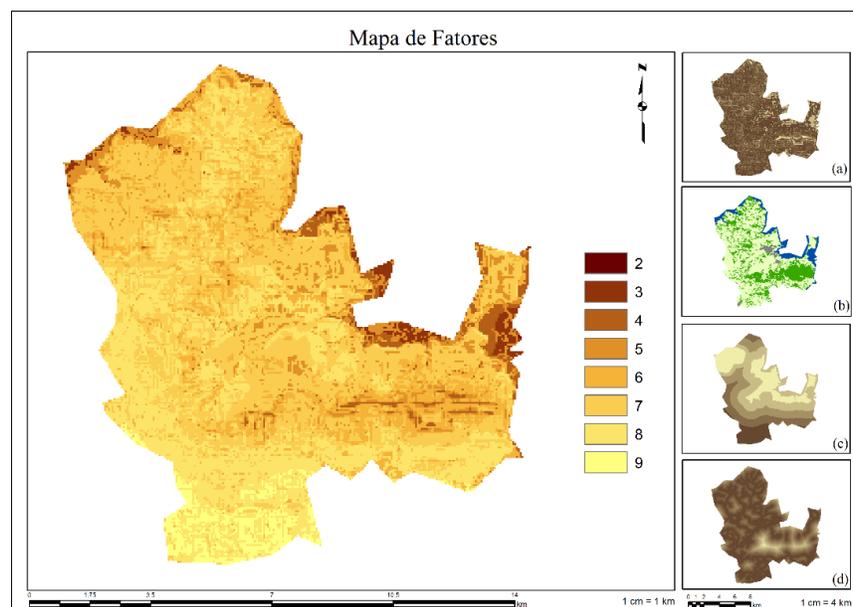


Figura 17 Mapa de fatores do modelo Multicritério Aditivo, onde valores mais próximos a 9 representam aptidão ao desenvolvimento urbano. Destaque para: (a) mapa clinográfico; (b) mapa de uso e cobertura da terra; (c) mapa de distância às áreas adensáveis; e (d) mapa de distância às vias principais.

6.2 Modelagem dos Dados Restritivos

As áreas consideradas restritivas foram definidas de acordo com os espaços protegidos previstos no art. 4º do Código Florestal (APP) e presentes na área de estudo, no art. 11 do Plano Diretor de Ijaci (ZPA, Zonas Industriais e Aeroporto) e no art. 4º, da Lei de Parcelamento do Solo Urbano (áreas não-edificáveis no entorno de rodovias e ferrovias).

O cruzamento dessas informações foi feito por meio da sobreposição dos mapas usando operações *booleanas*, onde as áreas restritivas foram consideradas 1, e as demais áreas, 0, resultando no mapa das restrições ao desenvolvimento urbano (Figura 18).

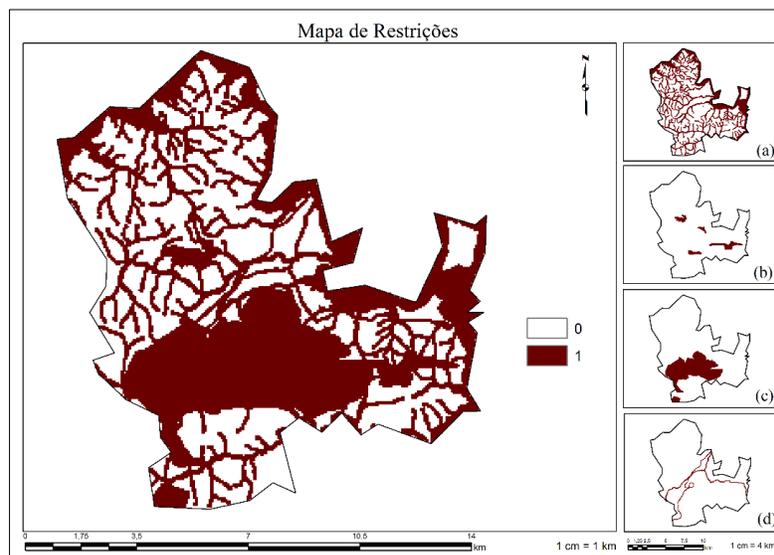


Figura 18 Mapa de restrições do modelo multicritério de sobreposição ponderada, onde 0 e 1 representam ausência e presença de restrições, respectivamente. Destaque para: (a) mapa de APP; (b) mapa de ZPA; (c) mapa de zonas industriais e aeroporto; e (d) mapa áreas não-edificáveis ao redor de ferrovias e rodovias.

6.3 Mapa de Aptidão ao Desenvolvimento Urbano

O mapa da aptidão ao desenvolvimento urbano foi obtido por meio do cruzamento do mapa ponderado dos fatores juntamente com o mapa das restrições, segundo metodologia proposta por Nascimento et al. (2009).

Nesse processo, as restrições funcionaram como uma máscara, mantendo seu critério de restrição, ou seja, as áreas em que o valor das restrições era igual a 1 continuaram 1, e as demais áreas em que o valor era igual a 0, ficaram os valores da grade do mapa ponderado, conforme apresentado na Figura 19. Para uma melhor apresentação e quantificação dos resultados foram calculadas as áreas e respectivos percentuais das cinco diferentes categorias de aptidão ao desenvolvimento urbano (Tabela 8).

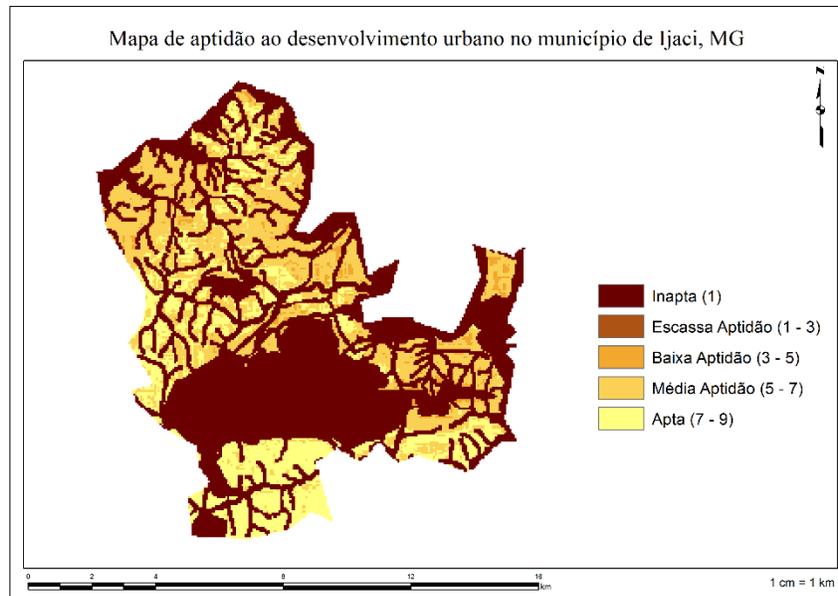


Figura 19 Mapa de aptidão ao desenvolvimento urbano no município de Ijaci, MG.

Tabela 8 Áreas das classes de aptidão ao desenvolvimento urbano e respectivos percentuais no município de Ijaci, MG.

Classes	Área (ha)	Área (%)
Inapta	5.944,72	56,55
Escassa Aptidão	0,00	0,00
Baixa Aptidão	366,48	3,49
Média Aptidão	3.195,80	30,40
Apta	1.004,40	9,56
Total	10.511,40	100,00

As áreas classificadas como “Apta” foram as que apresentaram, em geral, melhores condições ao desenvolvimento urbano. São as áreas que possuem boa estrutura urbana ou estão bem próximas a elas. O uso e cobertura da terra são compostos basicamente de fragmentos onde existe uso antrópico consolidado e vias principais de acesso, que também são fatores importantes por propiciarem a expansão territorial. Em sua maior parte, essas áreas estão em regiões onde a declividade varia entre 3e 15%, consideradas aptas à ocupação urbana.

Essas áreas foram destacadas para melhor visualização na Figura 20, onde ao norte do município (a) destaca-se uma área com declividade variando entre 3 e 15% próxima à Zona de Chacreamento do município e ao sul (b) uma área com mesma declividade próxima à estrada “Boca da Mata”, que corta grande parte da zona rural de Ijaci.

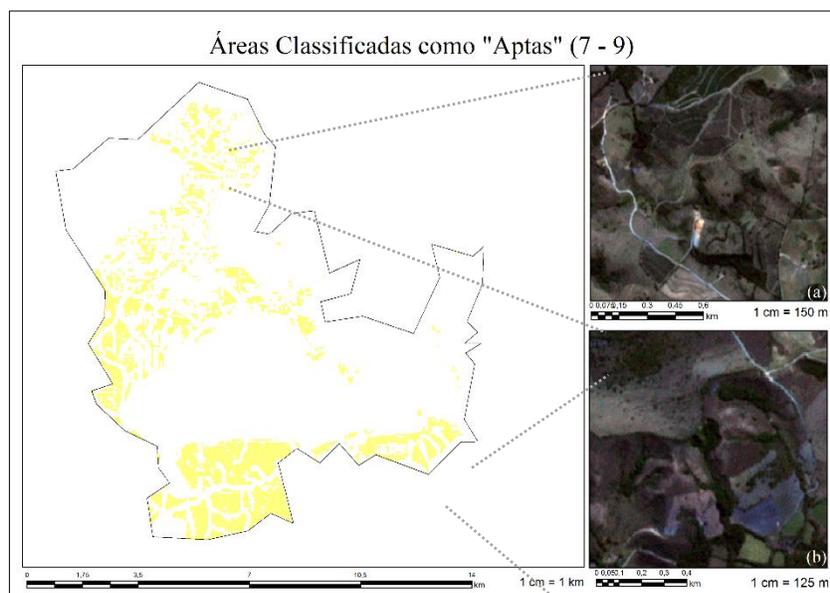


Figura 20 Áreas classificadas como “Aptas” em relação ao desenvolvimento urbano do município de Ijaci, MG. Destaque para as áreas (a) e (b) consideradas aptas ao desenvolvimento urbano. Fonte: Rapid Eye (2012).

As áreas classificadas como “Média Aptidão” foram as áreas em que pelo menos um critério não foi satisfeito ou em que mais de um critério foi parcialmente satisfeito. Grande parte desses espaços estão localizados próximos às áreas adensáveis do município e em regiões com declividade variando entre 3 e 30%, o que pode ser considerado uma situação ótima ao desenvolvimento urbano.

No entanto, para valores de declividade acima de 15%, podem ser exigidas soluções técnicas para garantir a segurança das construções e empreendimentos. Também se pode afirmar que existem alguns remanescentes de vegetação nativa entre essas áreas, o que dificultaria a conversão de uso e cobertura da terra.

Na Figura 21, foram destacadas duas áreas de “Média Aptidão”, a primeira (a) bem próxima à Zona de Uso Misto, e a segunda (b) próxima à Zona Residencial 1. Ambas estão próximas às vias principais e apresentando declividade entre 15 e 30%, sendo que na segunda área é possível notar a presença de vegetação nativa.

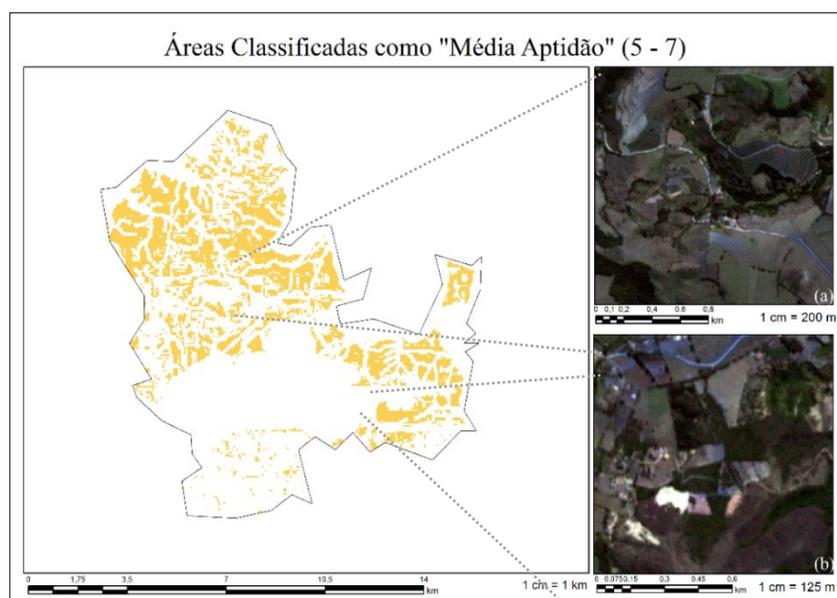


Figura 21 Áreas classificadas como “Média Aptidão” em relação ao desenvolvimento urbano do município de Ijaci, MG. Destaque para as áreas (a) e (b) consideradas como “média aptidão” ao desenvolvimento urbano. Fonte: Rapid Eye (2012).

As áreas classificadas como de “Baixa Aptidão” obtiveram dois ou mais critérios parcialmente satisfeitos e um ou mais não satisfeitos. Essas áreas, em relação à declividade, são consideradas insatisfatórias ao uso residencial devido à baixa capacidade de carga admissível dos solos existentes, com possibilidade de inundações (declividade entre 0 e 3%), ou por apresentarem declividade onde

só pode ser permitido o parcelamento do solo mediante exigências especiais quanto à preservação do meio físico, segundo Lei de Parcelamento do Solo (declividade entre 30 e 45%). Algumas dessas áreas apresentaram condições parcialmente satisfatórias em relação ao uso e cobertura da terra, distância às áreas adensáveis e às vias principais.

Na Figura 22, foram destacadas: (a) a Área de Interesse Urbanístico, formada pelo condomínio “Ilha Brasil”, que apesar de possuir grande parte do terreno considerado como “Baixa Aptidão”, possui algumas porções com declividade entre 30 e 45%; e (b) uma área próxima à Zona de Proteção Ambiental da Serra do Jaci, que apresenta declividade entre 0 e 30% e apresenta remanescentes florestais.

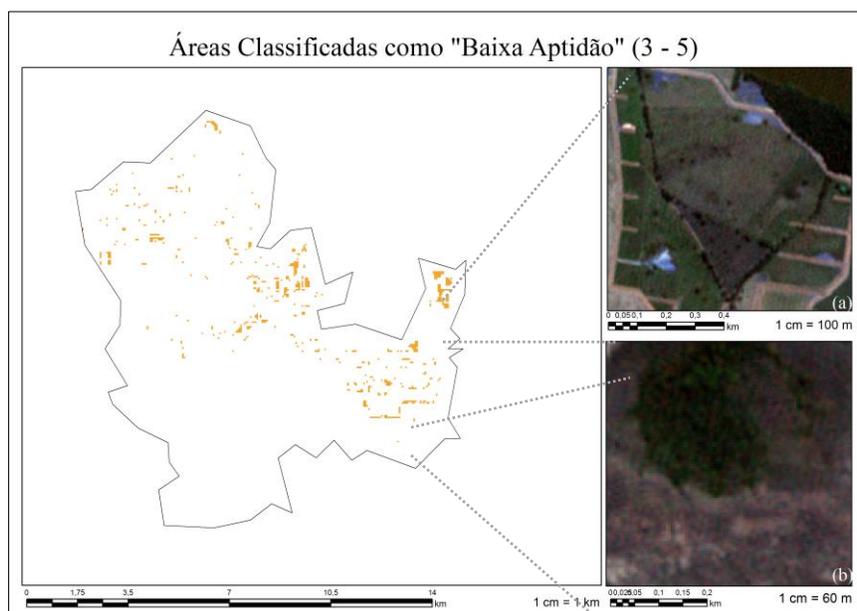


Figura 22 Áreas classificadas como “Baixa Aptidão” em relação ao desenvolvimento urbano do município de Ijaci, MG. Destaque para as áreas (a) e (b) consideradas como “baixa aptidão” ao desenvolvimento urbano. Fonte: Rapid Eye (2012).

As áreas consideradas como de “Escassa Aptidão” seriam aquelas que apresentassem pelo menos dois critérios não satisfeitos. Ao avaliar os mapas de fatores separadamente, as únicas áreas que atenderiam esses requisitos seriam aquelas encontradas nas três Zonas de Proteção Ambiental do município. No entanto, devido à proteção ambiental conferida por meio do Plano Diretor de Ijaci, essas áreas foram consideradas como um impedimento à ocupação urbana, delimitadas no mapa de restrições. Sendo assim, não foi detectada nenhuma área que se enquadraria nessa classe de aptidão.

A classe “Inapta” representa áreas inadequadas à ocupação urbana pelas limitações legais relacionadas ao meio ambiente (APP e ZPA), à segurança pública (áreas não-edificáveis no entorno de rodovias e ferrovias) e à qualidade de vida e ao bem-estar da população (Zonas Industriais).

Na Figura 23, foram destacadas: (a) área no entorno do reservatório artificial formado pela UHE-Funil, na divisa entre Ijaci e Macaia, onde também podem ser observados os trechos de ferrovia e rodovia; e (b) a Zona Industrial Minerária do município, onde atua o grupo Camargo Córrea S.A.

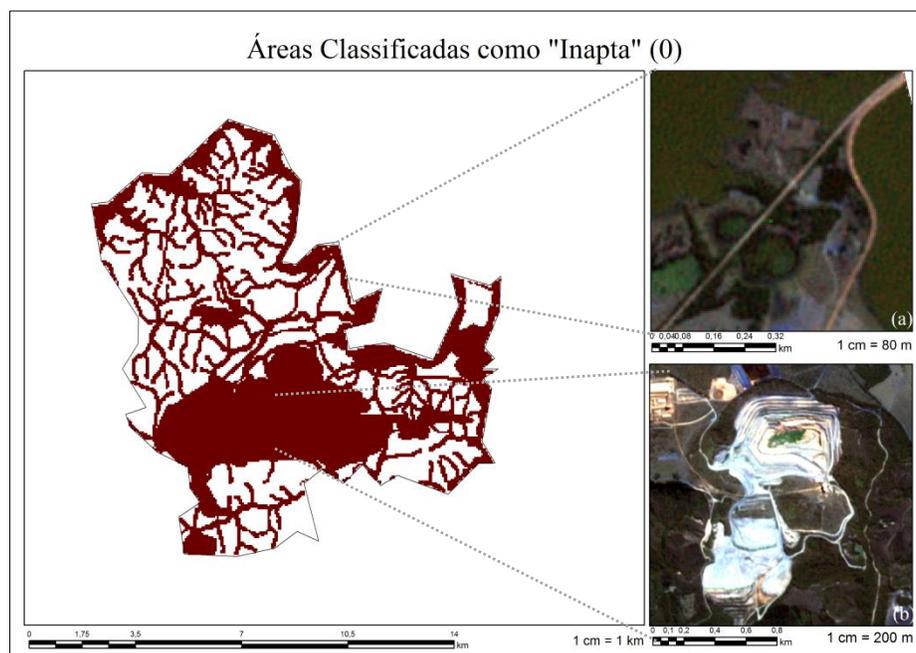


Figura 23 Áreas classificadas como “Inaptas” em relação ao desenvolvimento urbano do município de Ijaci, MG. Destaque para as áreas (a) e (b) consideradas inaptas ao desenvolvimento urbano. Fonte: Rapid Eye (2012).

Cerca de 56,55% da área foi considerada como inapta à expansão urbana, onde 15,97% corresponde as APP e 3,11% as ZPA. As APP e as ZPA são áreas protegidas mediante legislação ambiental específica, onde deve ser mantida a cobertura vegetal. No entanto, foi detectado apenas 46,52% de remanescentes nativos nas APP e 87,86% nas ZPA.

Também foram detectados 8,45 ha (0,50%) de áreas consideradas urbanas em APP e 1,50 ha (0,46%) em ZPA. Apesar de ser um percentual baixo, esses dados demonstram uma tendência de expansão da área urbana, principalmente no (a) entorno do reservatório artificial e nas (b) ZPA de isolamento da Zona Industrial Minerária, conforme demonstrado na Figura 24, onde se faz necessária a intervenção do Poder Público.

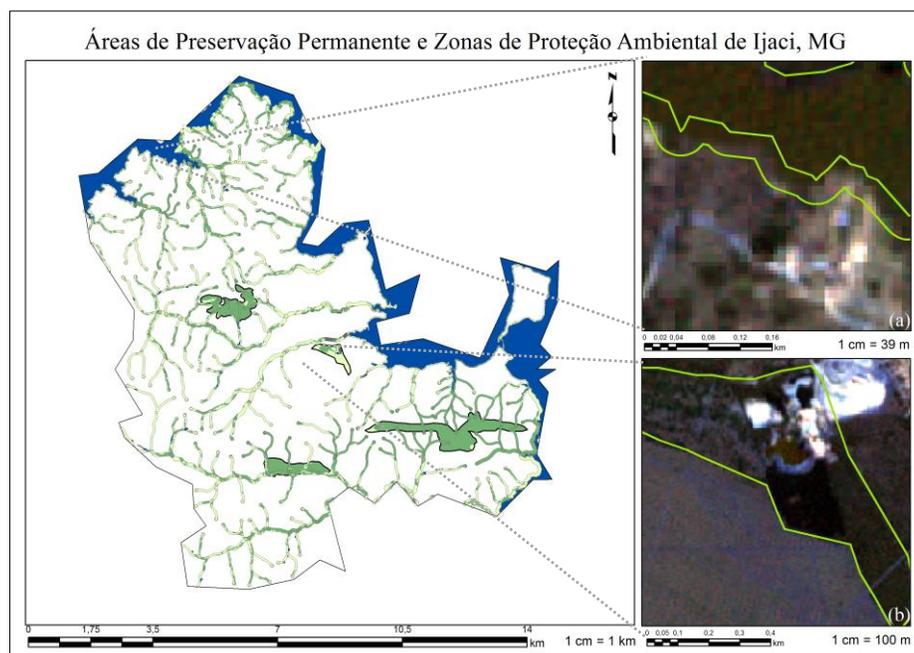


Figura 24 Áreas de preservação Permanente e Zonas de Proteção Ambiental de Ijaci, MG. Destaque para: (a) APP no entorno de reservatório artificial; e (b) ZPA. Fonte: Rapid Eye (2012).

Contudo, notou-se que o município de Ijaci, de modo geral, desenvolveu-se de forma sustentável, respeitando as diretrizes do Plano Diretor e a legislação ambiental. Diante disso, o modelo proposto no presente trabalho apresenta-se como uma importante ferramenta para direcionar o crescimento urbano, minimizando assim os impactos gerados por uma ocupação desordenada do município.

7 CONCLUSÕES

A declividade e o uso e cobertura da terra foram as variáveis de limitação relativa (fatores) mais relevantes na aptidão ao desenvolvimento urbano, com influência média de 33,3% cada. Quanto à declividade, esse valor foi compatível com estudos realizados por Nascimento et al. (2009), Antunes (2012), Sartori et al.(2011), Calijuri et al. (2012). No entanto, houve uma diferença de até 15% em relação ao uso e cobertura da terra, justificada devido à inviabilidade de variáveis edáficas no presente estudo.

Cerca de 56,55% da área total de 105,246 km² do município de Ijaci foi considerada inapta ao desenvolvimento urbano, devido às restrições impostas pela legislação ambiental e urbanística, e que 3,49% da área foi considerada de baixa aptidão.

Entre as restrições ambientais, verificou-se que as ZPA correspondem a 3,11%; APP de cursos d'água 11,99%; entorno de reservatórios 2,67%; nascentes 1,31% da área total. As demais categorias de APP não foram detectadas no município.

Apesar de o município possuir zoneamento previsto no Plano Diretor, observou-se que diversas áreas foram ocupadas irregularmente, devido ao interesse social e urbanístico, desconsiderando limitações previstas na Lei de Parcelamento do Solo e no Código Florestal.

Os planos diretores de municípios de pequeno porte carecem de informações técnicas que norteiem o ordenamento territorial. O modelo Multicritério Aditivo apresentou-se eficiente e de baixo custo, sendo uma ótima ferramenta de apoio à gestão pública, podendo ser adaptado e utilizado por outros municípios.

REFERÊNCIAS

ANTUNES, O.E.D. **Análise multicritério em SIG para determinação de um índice especializado de pressão antrópica litoral. Casos de Espinho, Caparica e Faro.** Dissertação de Mestrado em Gestão do Território, Área de Especialização em Detecção Remota e Sistemas de Informação Geográfica, Centro de Estudos de Sociologia da Universidade Nova de Lisboa, da Faculdade de Ciências Sociais e Humanas 2012. Disponível em: <<http://run.unl.pt/handle/10362/9427> >. Acesso em: 22 jan. 2015. Lisboa, p.121.

BAILEY, T.C. **Spatial Analysis and GIS.** London: Taylor and Francis. 1994. p. 13-44

BARREIROS, M. ; ABIKO, A. K. . **Reflexões sobre o parcelamento do solo urbano.** (Boletim Técnico do PCC).São Paulo: Escola Politécnica, 1998. p. 12.

BARROS, A.M.F.B.; CARVALHO, C.S.; MONTANDON, D. T. **O Estatuto da Cidade Comentado.** Ministério das Cidades e aliança das Cidades, v. 1, p. 91-118. São Paulo, 2010.

BONHAM-CARTER, G. F. **Geographic Information Systems for Geoscientists: Modelling with GIS.** Pergamon. Oxford. 1994. p.213

BRASIL. **Constituição da República Federativa do Brasil de 1988.** Disponível em: <[http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/constituicao/Constituicaocompilado,htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/constituicao/Constituicaocompilado.htm) >. Acesso em: 25 jan. 2014. Brasília - DF, 05/10/1988, p. 136.

BRASIL. **Decreto nº 4.297, de 10 de julho de 2002.** Regulamenta o art. 9º, inciso II, da Lei nº 6.938, de 31 de agosto de 1981, estabelecendo critérios para o Zoneamento Ecológico-Econômico do Brasil - ZEE, e dá outras providências. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/decreto/2002/D4297.htm>. Acesso em: 27 jan. 2014.31/08/1981

BRASIL. **Lei nº 12.651, de 25 de maio de 2012.** Dispõe sobre a proteção da vegetação nativa; altera as leis nºs 6.938, de 31 de agosto de 1981, 9.393, de 19 de dezembro de 1996, e 11.428, de 22 de dezembro de 2006; revoga as leis nºs 4.771, de 15 de setembro de 1965, e 7.754, de 14 de abril de 1989, e a medida provisória nº 2.166-67, de 24 de agosto de 2001; e dá outras providências. 25.05.2012. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2011-2014/2012/lei/L12651compilado.htm>. Acesso em: 25 jan. 2014.

BRASIL. **Lei nº 12.727, de 17 de outubro de 2012.** Altera a Lei no 12.651, de 25 de maio de 2012, que dispõe sobre a proteção da vegetação nativa; altera as Leis nos 6.938, de 31 de agosto de 1981, 9.393, de 19 de dezembro de 1996, e 11.428, de 22 de dezembro de 2006; e revoga as Leis nos 4.771, de 15 de setembro de 1965, e 7.754, de 14 de abril de 1989, a Medida Provisória no 2.166-67, de 24 de agosto de 2001, o item 22 do inciso II do art. 167 da Lei no 6.015, de 31 de dezembro de 1973, e o § 2º do art. 4º da Lei no 12.651, de 25 de maio de 2012. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2011-2014/2012/lei/L12727.htm>. Acesso em: 25 jan. 2014.

BRASIL. **Lei nº 10.257, de 10 de julho de 2001.** Regulamenta os arts. 182 e 183 da Constituição Federal, estabelece diretrizes gerais da política urbana e dá outras providências. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/leis_2001/l10257.htm>. Acesso em: 27 jan. 2014.

BRASIL. **Lei nº 6.938, de 31 de agosto de 1981.** Dispõe sobre a política nacional do meio ambiente, seus fins e mecanismos de formulação e aplicação, e dá outras providências. Disponível em: <<http://www2.camara.gov.br/legin/fed/lei/1980-1987/lei-6939-9-setembro-1981-366137-publicacaooriginal-1-pl.html>>. Acesso em: 25 jan. 2014.

BRASIL. **Lei Federal 6.766 de 19 de dezembro de 1979.** Dispõe sobre o Parcelamento do Solo Urbano e dá outras Providências. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/l6766.htm>. Acesso em: 10 jan. 2015.

BRASIL. **Resolução nº 25, de 18 de março de 2005.** Disponível em: <http://www.cmc.pr.gov.br/down/pd_resolucao_federal_25-2005.pdf>. Acesso em: 10 jan. 2015.

BRITO, F.; HORTA, C. J. G.; AMARAL, E. F. de L. **A Urbanização Recente no Brasil e as Aglomerações Metropolitanas**. In: ABEP – GT MIGRAÇÃO. Associação Brasileira de Estudos Populacionais. Anais... 2001. Disponível em: <http://www.abep.nepo.unicamp.br/iussp2001/cd/GT_Migr_Brito_Horta_Amaral_Text.pdf>. Acesso em: 10 jan. 2015.

BRITO, F.; SOUZA, J. **Expansão urbana nas grandes metrópoles: o significado das migrações intrametropolitanas e da mobilidade pendular na reprodução da pobreza**. Revista Perspectiva, Fundação Seade, jan. 2006. São Paulo, vol. 19, nº 4. pp. 48-63.

CALIJURI, M.L.; MELO, A.L. de O.; LORENTZ, J.F. **Identificação de áreas para implantação de aterros sanitários com uso de análise estratégica de decisão**. Informática Pública, v. 4, n. 2, p. 231-250, 2002. Foz do Iguaçu, PR, 13 a 18 de abril de 2013.

CAMARA, Gilberto; DAVIS, C.; MONTEIRO, A. M. V. **Introdução a ciência da geoinformação**. São José dos Campos, INPE, 2001. 15 p.

CAMARGOS, M. N. **Desafios da implementação do zoneamento ambiental: preservação dos manguezais e exploração de seus recursos naturais por população tradicional**. In: 10º Congresso Brasileiro de Advocacia Pública, Paraty, 2006.

CAMPBELL, J. B. **Introduction to remote sensing**. New York: The Guilford Press, 1987. 551 p.

CARVALHO, T. M.; LATRUBESSE, E. **O uso de modelos digitais do terreno (MDT) em análises macrogeomorfológicas: o caso da bacia hidrográfica do Araguaia**. Revista Brasileira de Geomorfologia, 5(1):85-93p.2004.

COELHO, S. J. **Transformações na paisagem decorrentes da construção da Usina Hidrelétrica do Funil–UHE-Funil e o impacto no município de Ijaci, MG**. 2008. 192 p. Tese (Doutorado em Engenharia Florestal) – Universidade Federal de Lavras.

DE PAULA, E. M. S.; SOUZA, M. J. N. **Lógica Fuzzy como Técnica de Apoio ao Zoneamento Ambiental**. In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 13., 2007, Florianópolis. Anais... Florianópolis: IMPE, 2007.p. 2979-2984. Disponível em: <<http://mart.dpi.inpe.br/col/dpi.inpe.br/sbsr@80/2006/11.06.11.57/doc/2979-2984.pdf>>. Acesso em:20 jun. 2008.

EASTMAN, J. R. **IDRISI for Windows. User Guide Version 2.0.Introduction.** Worcester, MA: Clark University, 1998.

FAO - FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS. **Agroecological Zoning: Guidelines.** Fao Soils Bulletin nº 73. Roma: 1996. 6 p.

FUNDAÇÃO ESTADUAL DO MEIO AMBIENTE. **Mapa de solos do Estado de Minas Gerais: legenda expandida.** Belo Horizonte, 2010. pp. 49.

FREITAS, A.L.P; MARINS, C.S; SOUZA, D.O. **A metodologia de multicritério como ferramenta para a tomada de decisões gerenciais: um estudo de caso.** Revista GEPROS, n. 2, p. 51.

HARRIS, J. **Data integration for gold exploration in eastern Nova Scotia using a GIS.** Seventh Thematic Conference on Remote Sensing for Exploration Geology, Calgary, Canada, October 2-6. 1989. 233-248 p. Alberta.

HOTT, M. C.; GUIMARÃES, M.; MIRANDA, EE DE. **Método para a Determinação Automática de Áreas de Preservação Permanente em Topos de Morros para o Estado de São Paulo, com base em geoprocessamento.** Campinas: Embrapa Monitoramento por Satélites, 2004. 32 p.

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Cidades: Ijaci, MG.** Disponível em: <<http://www.cidades.ibge.gov.br/xtras/perfil.php?lang=&codmun=313040&search=||infogr%E1ficos:-informa%E7%F5es-completas>>. Acesso em: 05 jan. 2015.

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Censo Demográfico 2010.** Disponível em: <<http://censo2010.ibge.gov.br/>>. Acesso em 10 jan. 2015.

IJACI. **Lei Municipal Complementar nº 758, de 8 de janeiro de 2003.** Altera a redação do § 2º do art. 34 e acrescenta o inciso vi ao art. 35, altera redação do §2º do art. 59, do parágrafo único do art. 61, do parágrafo único do art. 63 e anexo VIII da Lei Complementar 758/2003 – Plano Diretor de Desenvolvimento do município de Ijaci e dá outras providências. Disponível em: <<http://ijaci.mg.gov.br/lei-complementar-no-11892013-altera-redacao-da-lei-complementar-7582003>>. Acesso em: 20 jan. 2015.

IUCN – INTERNATIONAL UNION FOR THE CONSERVATION OF NATURE. **Red list categories.** Switzerland: Gland, 1994. 28 p.

JENSEN, J. R. **Introductory Digital Image Processing: A Remote Sensing Perspective**, 3rd Edition, Upper Saddle River: Prentice-Hall, 2005. 526 p.

LEMOS, A.A. **Código Florestal: Proposta busca conciliar os interesses do país**. In: Em Discussão! Revista de audiência pública do Senado Federal. Ano 2. N 9. 2011. 06-84 p.

MACHADO, A.A. **O Local e o Global na Estrutura da Política Ambiental Internacional: A Construção Social do Acidente Químico Ampliado de Bhopal e da Convenção 174 da OIT**. Contexto Internacional. v. 28, no. 1, 2006. 7-51p.

MARRO, A. A.; et al. **Lógica Fuzzy: Conceitos e aplicações**. Disponível em: <http://aquilesburlamaqui.wdfiles.com/local--files/logica-aplicada-acomputacao/texto_fuzzy.pdf>. Acesso em: 02 de fev. 2014. Natal - RN.

MEIRELLES, M. S. P. ; CAMARA NETTO, G. ALMEIDA, C. M. **Geomática - Modelos e Aplicações Ambientais**. 1. ed. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica, 2007. v. 1. 593 p .

MENDES, R. D. **Inteligência Artificial: Sistemas Especialistas no Gerenciamento da Informação**. Ciência da Informação, 26(1). 1997. Brasília - DF. 10 p.

MEURER, F.; VIEIRA, G. F. **Plano Diretor para Municípios de Pequeno Porte: a experiência do plano diretor regional participativo da AMAVI**. In: PPLA 2010: Seminário Política e Planejamento, 2. Curitiba, 2010.

MMA - MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE. **Gestão Territorial: Zoneamento Ecológico-Econômico**. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/gestao-territorial/zoneamento-territorial>>. Acesso em 12 jan. 2015.

MOURA, A. C. M. **Geoprocessamento na gestão e planejamento urbano**. Belo Horizonte. Ed. Da Autora, 2003. 294 p.

MOURA, A.C.M. **Estudo metodológico da aplicação da Cartografia temática as análises urbanas**. 1993. Tese de Doutorado. Instituto de Geociências da Universidade Federal de Minas Gerais

MPBA - MINISTÉRIO PÚBLICO DO ESTADO DA BAHIA – MPBA. **A Ocupação e o Parcelamento do Solo**. Disponível em: <http://www.mpba.mp.br/atuacao/ceama/material/doutrinas/arborizacao/a_ocupacao_parcelamento_do_solo.pdf>. Acesso em 30 de jan. 2014.

NASCIMENTO, V. L.; DE LIMA, E. R.V.; SANTOS, C.A. G.. **SIG na avaliação de áreas para ocupação urbana de João Pessoa-PB**. Ambiente Construído, v. 9, n. 1, p. 107-123, 2009.

NÓBREGA, R.P., SOUZA FILHO, C.R. **Análise Espacial Guiada Pelos Dados (Data-Driven): O Uso De Redes Neurais para Avaliação do Potencial Poli-Mineralico na Região Centro-Leste da Bahia**. Revista Brasileira de Geociências. 33(2-Suplemento.):111-120, junho de 2003.Campinas, SP.

NOVO, E. M. L. M. **Sensoriamento remoto: princípios e aplicações**, Ed. Edgard Blucher Ltda., 1992. 307 p.

PROCESSAMENTO DIGITAL. **ArcGIS 10.1: Super Análise Hidrológica com SpatialAnalyst**. 2013. Disponível em: <<http://www.processamentodigital.com.br/2013/05/07/arcgis-10-1-super-analise-hidrologica-com-spatial-analyst/>>. Acesso em: 20 dez. 2014.

RESENDE, K.M. **Legislação Florestal Brasileira: uma reconstituição histórica**. Dissertação apresentada à Universidade Federal de Lavras como parte das exigências do Programa de Pós-graduação em Engenharia Florestal, área de concentração em Manejo Ambiental, para obtenção do título de Mestre. Lavras, 2006. p. 150.

RIBEIRO, R. M.P. **Avaliação de métodos de classificação de imagens IKONOS II para o mapeamento da cobertura terrestre**. Tese apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Ciência Florestal, para obtenção do título de Magister Scientiae. Viçosa : UFV, 2004.

RODRIGUEZ, C.C. **Métodos multicritério discretos**. Licenciatura em ciências ambientais. Unidade Docente de Estatística y Econometría. Universidade de Huelva, 2004.

ROSA, R. **Análise Espacial em Geografia (Spatial Analysis in Geography)**. Revista da ANPEGE, v. 7, n. 1, p. 275 a 289, 2011.

RUHOFF, A. R. **Gerenciamento de Recursos Hídricos em Bacias Hidrográficas: modelagem ambiental com a simulação de cenários preservacionistas**. Santa Maria, 2004. 93 f. Dissertação (Mestrado em Geomática) – Escola de Engenharia, Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2004.

SAATY, T. L. **The Analytic Hierachy Process**. New York: McGraw-Hill, 1980. p. 176.

SCHMIDT, M.A.R.; DELAZARI, L.S.; NADAL, M.A.D. **Geovisualização e Sistemas de Informação Geográfica**. II Simpósio Brasileiro de Geomática. Presidente Prudente - SP, 24-27 de julho de 2007.

SILVA, J. X. e ZAIDAN, R. T. **Geoprocessamento e Análise Ambiental: aplicações**. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2004, 368 p.

SOUTO, L.E.C.O. **A Perpetuidade da Reserva Legal em Zona Urbana e seu Aproveitamento como Área Verde**. Revista Jurídica, n. 15 (2009).

TRENNEPOHL, T. **Direito Ambiental**. 4ed. Salvador: Jus Podivm, 2009. p. 280.

VALENTE, A. L. S. **Uso de SIG na determinação de áreas com restrições à ocupação urbana na sub-bacia do Arroio Feijó, RS**. In: Congresso e Feira para usuários de geoprocessamento, Curitiba: SAGRES, p.849-856, 1996.

VALERIANO, M. de M. **Topodata: Guia para Utilização de Dados Geomorfométricos Locais**. São José dos Campos: INPE, 2008. Disponível em: <http://www.dsr.inpe.br/topodata/>. Acesso em: 12 jan. 2015. p.75.

VIANA, J. **Código Florestal: Proposta busca conciliar os interesses do país**. In: Em Discussão! Revista de audiência pública do Senado Federal. Ano 2. n9. 2001.

WEBER, E. J.; HASENACK, H. **O Uso do Geoprocessamento no Suporte a Projetos de Assentamentos Rurais: uma proposta metodológica.** In: Congresso Brasileiro de Engenharia de Avaliações e Perícias, 10., Porto Alegre, 2003. Anais... Porto Alegre: Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2003. Disponível em: <<http://www.ecologia.ufrgs.br/labgeo/artigos/parcela.pdf>>. Acesso em: 12 jan. 2015.