

Universidade Federal de Minas Gerais
Instituto de Geociências
Departamento de Geografia

Bráulio Magalhães Fonseca

**CONCEITOS E PRÁTICAS DE GEODESIGN APLICADOS AO
ORDENAMENTO TERRITORIAL DO MUNICÍPIO DE SÃO
GONÇALO DO RIO ABAIXO**

Belo Horizonte
2015

Bráulio Magalhães Fonseca

**CONCEITOS E PRÁTICAS DE GEODESIGN APLICADOS AO
ORDENAMENTO TERRITORIAL DO MUNICÍPIO DE SÃO
GONÇALO DO RIO ABAIXO**

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação do Departamento de Geografia da Universidade Federal de Minas Gerais, como requisito parcial à obtenção ao título de Doutor em Geografia.

Área de concentração: Análise Ambiental

Orientadora: Prof^ª. Dra. Ana Clara Mourão Moura.

Belo Horizonte

2015

Tese intitulada "Conceitos e práticas de Geodesign aplicados ao Ordenamento Territorial do município de São Gonçalo do Rio Abaixo", de autoria do doutorando Bráulio Magalhães Fonseca, apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Geografia do Instituto de Geociências da UFMG como requisito parcial à obtenção do título de Doutor em Geografia/Análise Ambiental.

Aprovada pela banca examinadora constituída pelos seguintes professores:

Prof^a. Dra. Ana Clara Mourão Moura - IGC/UFMG
Orientadora

Prof^a. Dra. Mônica Haddad - College of Design/Iowa State University-USA

Prof. Dr. Bernardo Machado Gontijo - IGC/UFMG

Prof. Dr. Leonardo Cristian Rocha - DEGEO/UFSJ

Prof. Dr. Rogério Palhares Zschaber de Araujo - EA/UFMG

Belo Horizonte, 15 de Maio de 2015

DEDICATÓRIA

Dedico esta pesquisa a Deus e à minha Família.

AGRADECIMENTOS

A DEUS

Agradeço aos meus pais, Vera e Carmito, à minha irmã Camila e ao Meu Amor e minha companheira Dayane, a paciência e o apoio de vocês foi fundamental. À minha querida avó Bequinha, agradeço pelo amor e pelas orações, obrigado por tudo!

Aos meus tios Maria (tia Preta) e tio João. À minha Família.

À minha orientadora Prof^a Dra. Ana Clara Mourão Moura, pela paciência, pela ciência, pelos ensinamentos e por extrair o melhor de mim a cada orientação, pela convivência fraterna.

Aos meus colegas de doutorado e amigos, Grazielle Carvalho, Camila Zyngier, Junia Borges e Rodrigo Ribas. Agradeço e agradecerei sempre ao amigo Charles Rezende Freitas, inteligência e humildade, um exemplo a ser seguido.

Agradeço ao Professor Dr. Michele Campagna, da Università di Cagliari/Italia, pela participação na minha qualificação e pelos ensinamentos na área de Planning Support Systems. Agradeço ao Professor Dr. Piotr Jankowski, da San Diego State University, CA/USA, por participar da minha qualificação, pelos ensinamentos e pelo valioso auxílio nas análises de incerteza e sensibilidade.

À Prof^a Dra. Cristina Augustin meus fraternos e sinceros agradecimentos pelo apoio, ensinamentos e orientações ao longo dos anos de estudo na UFMG.

Ao amigo Prof. Dr. Leonardo Rocha da UFSJ pelos incentivos e ensinamentos valiosos.

À Prof^a Dra. Mônica Haddad da Iowa State University/USA pelos ensinamentos na área de geoestatística e modelagem espacial.

Aos meus ex-alunos do curso de Pós-graduação em Geoprocessamento do IGC-UFMG, especialmente à Sandra Deodoro e ao Guilherme Brandani.

Agradecemos ao CNPq, pelo apoio através do projeto “Modelagem Paramétrica da Ocupação Territorial: proposição de novos recursos das geotecnologias para representar e planejar o território urbano”, Processo 405664/2013-3, Chamada MCTI/CNPq/MEC/CAPES Nº 43/2013. Agradeço também ao Sistema de bolsas CAPES/REUNI.

Aos colegas, professores e funcionários do Programa de Pós-graduação em Geografia do Instituto de Geociências da UFMG.

*"O verdadeiro conhecimento, como qualquer outra coisa de valor, não é para ser obtido facilmente. Deve-se **trabalhar** por ele, **estudar** por ele, e mais que tudo, **orar** por ele."*

Thomas Arnold

RESUMO

Esta tese está estruturada em quatro capítulos (cada capítulo correspondendo a um artigo) precedidos por um capítulo introdutório e sucedido por um capítulo de conclusão e um capítulo de considerações finais. A pesquisa tem um caráter metodológico e foi estruturada na lógica do Geodesign. Como conceito, o termo Geodesign pressupõe a integração sustentável das atividades antrópicas com o ambiente, respeitando as peculiaridades culturais e possibilitando um processo de tomada de decisão de forma participativa e democrática. Enquanto prática observa-se uma estrutura metodológica sistemática de planejamento territorial apoiada em ferramentas de modelagem de sistemas ambientais e em novas ferramentas a serem desenvolvidas. O município de São Gonçalo do Rio Abaixo foi selecionado como área piloto devido às grandes transformações econômicas e, conseqüentemente, ambientais, em decorrência da atividade de mineração. No Capítulo 2 (Artigo 1), foram aplicados conceitos e técnicas de Ecologia da Paisagem em ambiente de Sistema de Informação Geográfica para avaliar fragmentos de vegetação em meio urbano. No Capítulo 3 (Artigo 2), avaliou-se o potencial de ocupação e uso do solo sob a ótica dos fatores geomorfológicos. Para tanto, considerou-se a síntese de variáveis relacionadas aos processos de vertente expressos na rugosidade do relevo, os padrões morfológicos agrupados por unidades geomorfológicas, as características geotécnicas do substrato rochoso e os processos hidrodinâmicos sintetizados pelo vigor energético das microbacias hidrográficas calculado com o índice de Hack. No Capítulo 4 (Artigo 3), foram avaliados processos que potencializam o fenômeno da expansão urbana e processos ambientais relacionados à necessidade de preservação ambiental. Para tanto, empregou-se a análise multicriterial participativa, adaptando o método Delphi de consulta a especialistas, que neste caso foi direcionado para profissionais que, além de conhecerem os processos avaliados, são também atores sociais na área de estudo. Aplicou-se a análise de incerteza (Simulação de Monte Carlo) e a análise de sensibilidade (Decomposição da Variância) para verificar o quanto as respostas obtidas nas avaliações de potencial de expansão urbana e de necessidade de preservação ambiental são defensáveis e consistentes. No Capítulo 5 (Artigo 4), foi estruturado um modelo de mudança baseado em dados históricos e em novos projetos aprovados na área de estudo. Para analisar as mudanças, foram utilizadas imagens do sensor LandSat e o modelo *Land Change Modeler (LCM-IDRISI)*. Neste artigo também foi apresentado um modelo de avaliação de impactos,

combinando a matriz de potencial de expansão urbana com a matriz de necessidade de preservação ambiental, resultando na matriz de conflitos de interesses e na avaliação do potencial de impactos ambientais. Os resultados permitiram sustentar a hipótese de que a área de estudo está em relativo equilíbrio, ou em condição de geodesign Natural ("*implicit geodesign*"), não apresentando grandes extensões de área em conflito de interesses, o que resulta em um baixo potencial geral de impactos em relação às atividades urbanas.

Palavras-chave: Geodesign, Ordenamento Territorial, Modelagem de Sistemas Ambientais

ABSTRACT

This thesis is divided into four chapters (each one corresponding to one paper) preceded by an introductory chapter and succeeded by two conclusion chapters. The research has a methodological nature, and was based on the Geodesign framework. As a concept, the term Geodesign presupposes the sustainable integration of human activities with the environment, respecting the cultural peculiarities and providing a decision-making process in a democratic way. As a practice, Geodesign is a systematic methodological framework of territorial planning supported by tools for modeling of environmental systems and new tools to be developed. The municipality of São Gonçalo do Rio Abaixo was selected as a pilot area due to the significant economic and environmental changes as a consequence of mining activity. In Chapter 2 (Paper 1), there have been applied concepts and techniques of Landscape Ecology with Geographic Information System (GIS) tools to evaluate vegetation fragments in urban areas. In Chapter 3 (Paper 2), there was evaluated the land use suitability from the perspective of geomorphologic factors. To this end, it was considered the synthesis of variables related to the slope processes expressed in the relief roughness, the morphological patterns grouped in geomorphologic units, geotechnical properties of rocks, grouped in geotechnical units, and hydrodynamic processes synthesized by the energy present in the drainage systems, calculated with Hack index (SL index). In Chapter 4 (Paper 3), there were evaluated processes that increase the urban expansion and environmental processes related to the need of environmental preservation. With this purpose, it was employed participatory multi-criteria analysis, adapting the Delphi method, which in this case was directed to expert professionals who are also social actors in the area of study. It was applied the uncertainty analysis (Monte Carlo Simulation) and sensitivity analysis (Variance Decomposition) to evaluate the consistency and robustness of the results. In Chapter 5 (Paper 4), it was structured a change model based on historical data and new approved urban projects in the study area. In order to analyze the changes, there have been used Landsat images and Land Change Modeler model (LCM-IDRISI). In this paper it was also presented an impact assessment model, combining the urban expansion modeling with the environmental suitability map (need of environmental preservation). The results have shown areas presenting conflict of interest, areas in balance and areas suitable for projects based on Geodesign. In general the results allowed the support of the hypothesis that the area of study is in relative

balance, or on implicit geodesign condition, not presenting large areas with conflict of interest, resulting in a low overall potential of impacts related to the urban activities.

Keywords: Geodesign, Territorial Planning, Modeling of Environmental Systems

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1.1 - Localização do município de São Gonçalo do Rio Abaixo/MG	7
FIGURA 1.2 - Diagrama ilustrativo que evidencia o diferencial da proposta colaborativa e integradora do Geodesign. Fonte: Steinitz (2012).....	15
FIGURA 1.3 - Estrutura metodológica geral que suporta o Geodesign segundo Carl Steinitz. Fonte: Steinitz (2012).....	21
FIGURA 1.4 - Caso a decisão final for <i>maybe</i> poderá haver alterações nos modelos ou na escala de trabalho, sendo necessário percorrer novamente as seis questões (modelos). Fonte: Steinitz (2012)...	24
FIGURA 1.5 - O diagrama mostra a não linearidade da estrutura metodológica do Geodesign, a possibilidade e ou necessidade de alterações e retroalimentações. Fonte: Steinitz (2012)	25
FIGURA 1.6 - Arcabouço metodológico geral da pesquisa relacionando os quatro artigos com o <i>framework</i> do Geodesign	35
FIGURA 2. 1 - (a) Cidades iniciais em Minas Gerais. (b) Adensamento urbano, cidades atuais.....	46
FIGURA 2. 2 - Localização do município de São Gonçalo do Rio Abaixo - MG.....	52
FIGURA 2. 3 - Estrutura metodológica do Geodesign, com destaque para o processo de uso e cobertura do solo e processos ecológicos. Fonte: adaptado de Steinitz (2012).....	54
FIGURA 2. 4 - Cenas da imagem RapidEye antes do processo de correção radiométrica e realce de contraste	55
FIGURA 2. 5 - Cenas da imagem RapidEye após o processo de correção radiométrica e realce de contraste	56
FIGURA 2. 6 - Uso e cobertura do solo na área urbana de São Gonçalo do Rio Abaixo.....	61
FIGURA 2. 7 - Métricas de paisagem calculadas em fragmentos de vegetação na área urbana de São Gonçalo do Rio Abaixo. Da esquerda para direita: área núcleo, distância do vizinho mais próximo e índice de forma.....	62
FIGURA 2. 8 - Índice Normalizado de Remanescente de Vegetação (NRVI)	63
FIGURA 2. 9 - Resultado da análise de multicritérios para avaliar a qualidade dos fragmentos de vegetação.....	64
FIGURA 2. 10 - Resultado da análise combinatória entre a avaliação multicriterial do potencial de preservação ambiental das manchas de vegetação e o NRVI, apresentado por zona urbana.....	65
FIGURA 2. 11 - Concentração de Novos Projetos na área urbana de São Gonçalo do Rio Abaixo	66
FIGURA 2. 12 - Mapa de potencial de impactos por zona urbana	67
FIGURA 3. 1 - Mapa geológico simplificado.....	80

FIGURA 3. 2 - Fluxo de processo da modelagem do ICR na plataforma Model Builder/ArcGIS 10.2.	85
FIGURA 3. 3 - Fluxo de processo da modelagem do IH na plataforma Model Builder/ArcGIS 10.2 .	86
FIGURA 3. 4 - Fluxo de processo da modelagem do IGPU na plataforma Model Builder/ArcGIS 10.2.	87
FIGURA 3. 5 - Variáveis normalizadas consideradas no processo de modelagem do IGPU, classificadas conforme o potencial de uso do solo. Ressalta-se que as variáveis unidades geomorfológicas e unidades geotécnicas foram reclassificadas com notas, sendo transformadas em variáveis quantitativas.	90
FIGURA 3. 6 - Espacialização do Índice Geomorfológico de Potencial de Uso e Ocupação do Solo (IGPU) para o município de São Gonçalo do Rio Abaixo- MG	91
FIGURA 3. 7- Índice Normalizado de Remanescentes Florestais (NRVI) por unidade geomorfológica	92
FIGURA 3. 8- Diagramas de espalhamento de Moran para análise univariada do IGPU, à esquerda e do NRVI, à direita, bem como o resultado do LISA para cada uma das variáveis analisadas.....	93
FIGURA 3. 9 - Relação IGPU/NRVI com a classificação temática pelos valores de IGPU	94
FIGURA 3. 10 - Diagrama de espalhamento de Moran para a análise bivariada entre IGPU/NRVI. Os círculos em vermelho representam as unidades geomorfológicas que mais se ajustaram à reta.....	95
FIGURA 3. 11 - (A) - Análise de Cluster baseada no índice de Moran local. (B) - Índice de significância dos agrupamentos formados	95
FIGURA 4. 1 - Fluxograma geral dos procedimentos metodológicos executados para cada uma as avaliações realizadas	111
FIGURA 4. 2 - Registro fotográfico das reuniões pré-Delphi realizadas em São Gonçalo do Rio Abaixo.....	116
FIGURA 4. 3 - Fluxo de processo da modelagem integrando a avaliação da necessidade de preservação ambiental às análises de incerteza e sensibilidade na plataforma Model Builder/ArcGIS 10.2.....	122
FIGURA 4. 4 - Fluxo de processo da modelagem integrando a avaliação do potencial expansão urbana às análises de incerteza e sensibilidade na plataforma Model Builder/ArcGIS 10.2	123
FIGURA 4. 5 - Critérios analisados na avaliação multicriterial da necessidade de preservação ambiental.....	124
FIGURA 4. 6 - Critérios analisados na avaliação multicriterial do potencial expansão urbana	125
FIGURA 4. 7 - Resultado da análise de multicritérios para avaliação do potencial de preservação ambiental.....	126

FIGURA 4. 8 - Resultado da análise de multicritérios para avaliação do potencial de expansão urbana	127
FIGURA 4. 9 - À esquerda o resultado a análise de multicritérios, à direita o resultado da análise de incerteza	128
FIGURA 4. 10 - À esquerda o resultado a análise de multicritérios, à direita o resultado da análise de incerteza	128
FIGURA 4. 11 - Análise de incerteza associada à avaliação do potencial de preservação ambiental	130
FIGURA 4. 12 - Análise de incerteza associada à avaliação do potencial de expansão urbana	134
FIGURA 5. 1 - Representação do conceito de impacto ambiental conforme Sánchez (2008). Fonte: Adaptado de Sánchez (2008).....	148
FIGURA 5. 2 - Localização do município de São Gonçalo do Rio Abaixo	150
FIGURA 5. 3 - Roteiro metodológico contemplando as etapas executadas	153
FIGURA 5. 4 - Fluxograma do processo de modelagem de mudanças e simulação para o ano de 2020	159
FIGURA 5. 5 - Pontos de controle verificados em campo para validação do mapeamento de 2013..	164
FIGURA 5. 6 - Mapeamento do uso e cobertura do solo para os anos de 2000, 2007 e 2013, resultado da classificação automática com calibração de campo e por dados históricos.....	165
FIGURA 5. 7 - Contribuição para mudança na classe Urbano (áreas urbanizadas) entre os anos de 2000 e 2007(A), e entre 2007 e 2013 (B).....	166
FIGURA 5. 8 - Variáveis explicativas utilizadas no sub-modelo de potencial de transição para a tipologia urbano de uso do solo.....	168
FIGURA 5. 9 - Potencial de transição para a tipologia urbano de uso do solo.....	169
FIGURA 5. 10 - Uso e cobertura do solo do município de São Gonçalo do Rio Abaixo mapeado sobre imagem Landsat-8 de 2013 e simulado pelo modelo Land Change Modeler (LCM).....	170
FIGURA 5. 11 - Uso e cobertura do solo do município de São Gonçalo do Rio Abaixo simulado para 2020 pelo modelo Land Change Modeler (LCM).....	172
FIGURA 5. 12 - Contribuição para mudança na classe Urbano (áreas urbanizadas) entre os anos de 2000 e 2007(C), entre 2007 e 2013 (B) e entre 2013 e 2020 projetado	173
FIGURA 5. 13 - Potencial de Expansão Urbana (A) e Necessidade de Preservação Ambiental (B) .	175
FIGURA 5. 14 - Matriz resultante de potencial de impactos, com valores agrupados e classificados	175

LISTA DE GRÁFICOS E TABELAS

GRÁFICO 4. 1 - Análise de Incerteza no potencial de necessidade de Preservação Ambiental em termos quantitativos para a totalidade da área de estudo	131
GRÁFICO 4. 2 - Análise de Incerteza no Potencial de Expansão Urbana em termos quantitativos para a totalidade da área de estudo.....	135
TABELA 2. 1 - Modelos de representação utilizados.....	57
TABELA 2. 2 - TABELA 2. 2 - Análise Combinatória entre o potencial de preservação (AMC) e a quantidade (NRVI) de vegetação por zona urbana (Análise de Importância Ambiental).....	60
TABELA 2. 3 - Análise combinatória entre a importância ambiental e a concentração de novos projetos.....	60
TABELA 2. 4 - Quantitativo das classes de uso e cobertura do solo em São Gonçalo do Rio Abaixo em 2013 (Zona Urbana e Município).....	61
TABELA 3. 1 - Agrupamento e notas das unidades geotécnicas segundo Parizzi et. al., (2010).....	83
TABELA 3. 2 - Agrupamento e notas das unidades geomorfológicas	84
TABELA 3. 3 - Bases Cartográficas utilizadas.....	84
TABELA 4. 1 - Critérios ambientais avaliados	112
TABELA 4. 2 - Critérios relacionados ao potencial de expansão urbana.....	112
TABELA 4. 3 - Notas atribuídas ao ZEE da APA municipal	114
TABELA 4. 4 - Novos Projetos aprovados executados e em execução.....	115
TABELA 4. 5 - Origem do especialista entrevistado.....	117
TABELA 4. 6 - Formação acadêmica do especialista entrevistado	117
TABELA 4. 7 - Pesos atribuídos durante a aplicação do questionário Delphi para avaliação do potencial de preservação ambiental.....	120
TABELA 4. 8 - Pesos atribuídos durante a aplicação do questionário Delphi para avaliação do potencial de expansão urbana.....	121
TABELA 4. 9 - Análise quantitativa da Necessidade de Preservação Ambiental na área de estudo..	125
TABELA 4. 10 - Análise quantitativa do Potencial de Expansão Urbana na área de estudo	126
TABELA 4. 11 - Associação dos valores das Análises de Multicritérios com as Análises de Incerteza realizada para as duas temáticas avaliadas (Potencial de Expansão Urbana e Necessidade de Preservação Ambiental)	129
TABELA 4. 12 - Análise de Sensibilidade para a Avaliação do Potencial de Preservação Ambiental	131

TABELA 4. 13 - Análise de Sensibilidade para a Avaliação do Potencial de Expansão Urbana.....	135
TABELA 5. 1 - Pesos oriundos de questionário Delphi para avaliação da necessidade de Preservação Ambiental.....	154
TABELA 5. 2 - Pesos oriundos de questionário Delphi para avaliação do Potencial de Expansão Urbana.....	154
TABELA 5. 3 - Notas atribuídas ao ZEE da APA municipal.....	155
TABELA 5. 4 - Notas atribuídas às classes de declividade	156
TABELA 5. 5 - Variáveis testadas para o sub-modelo de potencial de transição.....	161
TABELA 5. 6 - Matriz Resultante de Potencial de Impactos	162
TABELA 5. 7 - Quantitativo de tipologias de uso e cobertura do solo nos anos 2000, 2007 e 2013 .	165
TABELA 5. 8 - Variáveis testadas e selecionadas para o modelo de potencial de transição.....	168
TABELA 5. 9 - Matriz de transição entre 2007 e 2013 (projetado) com os percentuais de mudança e persistência.....	170
TABELA 5. 10 - Matriz de transição entre 2013 e 2020 (projetado) com os percentuais de mudança e persistência.....	171
TABELA 5. 11 - Quantitativo de tipologias de uso e cobertura do solo nos anos 2000, 2007, 2013 e projetado para 2020.....	173
TABELA 5. 12 - Análise quantitativa da Matriz de Potencial de Impactos para o município de São Gonçalo do Rio Abaixo.....	176

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

AI -	Análise de Incerteza
AIA -	Área de Interesse Ambiental
AIA -	Avaliação de Impactos Ambientais
AMC -	Análise de Multicritérios
ANN -	Artificial Neural Networks
APA -	Área de Proteção Ambiental
APP -	Área de Preservação Permanente
AS -	Análise de Sensibilidade
CAR -	Cadastro Ambiental Rural
CFEM -	Compensação Financeira pela Exploração de Recursos Minerais
EFVM -	Estrada de Ferro Vitória-Minas
EIA -	Estudo de Impacto Ambiental
EIV -	Estudo de Impacto de Vizinhança
GIS -	Geographic Information Systems
GPS -	Global Positioning System
IBAMA -	Instituto Brasileiro de Meio Ambiente
IBGE -	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
INCRA -	INCRA (Instituto Nacional de Colonização e Reforma Agrária)
ICR -	Índice de Concentração da Rugosidade
IGPU -	Índice Geomorfológico de Potencial de Uso e Ocupação do Solo
IH -	Índice de Hack
KIA -	Kappa Index of Agreement
LCM -	<i>Land Change Modeler</i>
LISA -	Local Indicators of Spatial Association
MAB -	Man and Biosphere
MAXVER -	Máxima Verossimilhança
MCS -	Monte Carlo Simulation
MLPNN -	Multi-Layer Perceptron Neural Network
NRVI -	Normalized Remaining Vegetation Index
PM-SGRA -	Prefeitura Municipal de São Gonçalo do Rio Abaixo

RMBH -	Região Metropolitana de Belo Horizonte
RMVA -	Região Metropolitana do Vale do Aço
RNA -	Redes Neurais Artificiais
SA -	Sensitivity Analysis
SAGA -	Sistema de Análise Geo-Ambiental
SEMMA-	SGRA - Secretaria de Meio Ambiente de São Gonçalo do Rio Abaixo
SIG -	Sistema de Informação Geográfica
SL -	Stream Length-Gradient Index
SMC -	Simulação de Monte Carlo
SPRING -	Sistema de Processamento de Informações Georreferenciadas
SYMAP -	Synagraphic Mapping System
TDR -	Transferable Development Rights
TGS -	Teoria Geral dos Sistemas
UA -	Uncertainty Analysis
UC -	Unidade de Conservação
VGI -	Volunteered Geographic Information
V-LATE -	Vector-based Landscape Analysis Tools
ZIU -	Zonas de Interesse Urbano
ZPAMU -	Zona de Proteção Ambiental Urbana

SUMÁRIO

DEDICATÓRIA	iv
AGRADECIMENTOS	v
LISTA DE FIGURAS	xi
LISTA DE GRÁFICOS E TABELAS	xiv
LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS	xvi
1 INTRODUÇÃO	1
O Contexto Regional	2
O Município de São Gonçalo do Rio Abaixo.....	5
1.1 Problemas e Hipóteses	8
1.2 Objetivo Geral.....	9
1.2.1 Objetivos Específicos.....	9
1.3 O Geodesign.....	10
1.3.1 O Geodesign: uma metodologia de análise do território	18
1.3.2 Análise Sistêmica em Geodesign	25
1.3.3 A Teoria Geral dos Sistemas, Ecologia da Paisagem e Geodesign.....	27
1.3.4 Colaboração em Geodesign.....	32
1.5 Referências Bibliográficas	36
2. ARTIGO 1 - APLICANDO CONCEITOS E MÉTODOS DE ECOLOGIA DA PAISAGEM NA GESTÃO DA PAISAGEM URBANA.....	42
RESUMO	42
ABSTRACT.....	44
2.1 Introdução	46
2.2 Geodesign e Ecologia da Paisagem no Planejamento Urbano.....	49
2.3 Materiais e Métodos	50
2.3.1 Caracterização do Área de Estudo.....	51
2.3.2 Métodos.....	53
2.3.3 Modelo de Representação - Classificação automática de imagem de satélite e mapeamento do uso e cobertura do solo.....	54
2.3.4 Modelo de Processos - Cálculo de Métricas de Paisagem	57
2.3.5 Modelo de Avaliação - Análise de Multicritérios (AMC).....	59
2.4 Resultados e Discussões.....	60
2.4.1 Representação e Processos	60
2.4.2 Avaliação dos fragmentos florestais urbanos.....	64

2.4.3 Mudanças projetadas, Impactos e Decisões	66
2.5 Conclusões	67
2.6 Referências Bibliográficas	69
3. ARTIGO 2 - ÍNDICE GEOMORFOLÓGICO PARA AVALIAÇÃO DO POTENCIAL DE OCUPAÇÃO E USO DO SOLO (IGPU): UMA PROPOSTA METODOLÓGICA	73
RESUMO	73
ABSTRACT	75
3.1 Introdução	76
3.2 Materiais e Métodos	79
3.2.1 Caracterização do Área de Estudo.....	79
3.2.2 Procedimentos Metodológicos	82
3.3 Resultados e Discussões.....	89
3.4 Conclusões e Observações	96
3.5 Referências Bibliográficas	98
4. ARTIGO 3 - ANÁLISE DE INCERTEZA E SENSIBILIDADE NA AVALIAÇÃO DO POTENCIAL DE EXPANSÃO URBANA E DA NECESSIDADE DE PRESERVAÇÃO AMBIENTAL NO MUNICÍPIO DE SÃO GONÇALO DO RIO ABAIXO - MG.....	104
RESUMO	104
4.1 Introdução	107
4.2 Materiais e Métodos	110
4.2.1 Processos analisados: definição dos critérios.....	111
4.2.2 Aplicação do questionário Delphi: avaliação participativa no contexto do Geodesign ...	116
4.2.3 Análise de Incerteza (AI) e Análise de Sensibilidade (AS) na Avaliação Multicriterial .	118
4.3 Resultados e Discussões.....	124
4.3.1 Avaliação das incertezas e da sensibilidade, associados às análises de multicritérios.....	128
4.3.2 Análise de Incerteza e Sensibilidade na Avaliação do Potencial de Preservação Ambiental	130
4.3.3 Análise de Incerteza e de Sensibilidade na Avaliação do Potencial de Expansão Urbana	134
4.4 Conclusões e Observações	137
4.5 Referências Bibliográficas	138
5. ARTIGO 4 - ANÁLISE DE MUDANÇA E POTENCIAL DE IMPACTOS AMBIENTAIS NO USO E COBERTURA DO SOLO EM SÃO GONÇALO DO RIO ABAIXO - MG.....	143
RESUMO	143
ABSTRACT.....	145
5.1 Introdução	146
5.2 Materiais e Métodos	149

5.2.1 Área de Estudo	150
5.2.2 Procedimentos Metodológicos	152
5.2.3 Potencial de Expansão Urbana e Potencial de Preservação Ambiental	153
5.2.4 Modelo de Mudança.....	157
5.2.4.1 Mapeamento do uso e cobertura do solo.....	157
5.2.4.2 Detecção de Mudanças e Simulação para o ano de 2020.....	158
5.2.5 Modelo de Impacto.....	162
5.3 Resultados e Discussões.....	163
5.3.1 Análise das Mudanças.....	163
5.3.2 Simulação de Mudanças para 2020.....	167
5.3.3 Potencial de impactos.....	174
5.4 Conclusões e Observações	177
5.5 Referências Bibliográficas	179
6 CONCLUSÕES.....	184
7 COSIDERAÇÕES FINAIS.....	188
7.1 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	189
ANEXO 1 - QUESTIONÁRIO DELPHI.....	190
ANEXO 2 - MATRIZES DE CONFUSÃO DAS CLASSIFICAÇÕES AUTOMÁTICAS.....	191
ANEXO 3 - ESTATÍSTICAS DO PROCESSO DE MODELAGEM.....	198

1 INTRODUÇÃO

No contexto desta pesquisa entende-se por Ordenamento Territorial o processo de planejamento, envolvendo metodologias e estratégias para avaliar, diagnosticar e propor soluções para conflitos entre os atributos ambientais naturais e os aspectos antrópicos/socioeconômicos, tendo por objetivo a sustentabilidade (STEINITZ *et al.*, 2005; SANCHEZ; SILVA, 1995).

Entende-se por território o espaço apropriado socialmente, onde observa-se uma trama de interesses conflitantes, sobretudo entre as forças de produção e expansão das atividades antrópicas e a necessidade de preservação dos ambientes naturais (BOHRER; DUTRA, 2009; SANTOS, 1996).

De acordo com Bohrer e Dutra (2009) o processo de ordenamento territorial busca integrar avaliações das características do ambiente natural e as relações entre seus atributos com os distintos tipos e intensidades de intervenções antrópicas, visando o estabelecimento de um "uso ótimo", com a manutenção da capacidade do ambiente de abrigar os processos ambientais e cológicos.

Nesse sentido, Carl Steinitz¹ propôs uma estrutura metodológica e conceitual para o ordenamento territorial, com base em colaboração, multidisciplinaridade e ferramentas de tecnologia da geoinformação. A proposta de Steinitz resume-se no termo Geodesign, que foi consolidado com o lançamento do livro *A Framework for Geodesign* no ano de 2012. A essência deste termo está relacionada ao surgimento do Sistema de Informação Geográfica (SIG), que de acordo com Batty (2013) tem suas origens nos estudos de Arquitetura da Paisagem e na Geografia.

O SIG surgiu como uma resposta sistemática para solucionar conflitos entre as variadas e diferentes interpretações da dinâmica da paisagem. A forma tradicional de solucionar tais conflitos era a confecção manual de mapas de aptidão de uso do solo e posteriormente sua sobreposição manual (*overlay method*) (BATTY, 2013). Segundo Batty (2013) tais práticas, em certa medida, nos remetem aos métodos usados pelo arquiteto paisagista Frederick Law Olmsted (1882 – 1903) no projeto do *Central Park* em Nova York. A essência do termo Geodesign não é nova, e também está presente de maneira implícita no

¹ Carl Steinitz é Professor Emérito de Arquitetura e Planejamento da Paisagem na Escola Superior de Design da Universidade de Harvard.

conceito de arquitetura orgânica de Frank Lloyd Wright (1867-1959) e explícita na obra *Design With Nature* de Ian McHarg (MILLER, 2012; STEINITZ, 2012).

Enquanto conceito, o objetivo do Geodesign é a integração das atividades antrópicas com o ambiente natural, respeitando as peculiaridades culturais e possibilitando um processo de tomada de decisão de forma democrática (GOODCHILD, 2010; MILLER, 2012; STEINITZ, 2012; BATTY, 2013). O conceito de Geodesign será abordado em detalhes no capítulo 1.3.

O Contexto Regional

No âmbito regional o município de São Gonçalo Rio Abaixo (SGRA) possui uma localização geográfica estratégica e de fundamental importância para seu desenvolvimento. SGRA está inserido na interface da Região Metropolitana de Belo Horizonte (RMBH) com a Região Metropolitana do Vale do Aço (RMVA). Neste contexto regional observam-se três grandes vetores de indução da ocupação, o rio Piracicaba, a Estrada de Ferro Vitória-Minas (EFVM) e a BR-381.

No que se refere à bacia hidrográfica do rio Piracicaba, alguns municípios localizados em seu médio curso merecem destaque, tais como Itabira, João Monlevade, Barão de Cocais, Santa Bárbara e Rio Piracicaba, municípios que fazem fronteira com SGRA. A microrregião do Médio Piracicaba é representada por uma associação organizada com sede em João Monlevade, possui dezesseis municípios associados, segundo IBGE (2013) possui uma população total de 370 mil habitantes, com a presença de municípios associados e localizados no colar metropolitano da RMVA e da RMBH.

Já no baixo curso do rio Piracicaba, no âmbito da RMVA, observa-se um aglomerado urbano com uma população total de 451 mil habitantes (IBGE, 2013). A RMVA é formada pela conurbação entre municípios de Timóteo, Coronel Fabriciano, Ipatinga e Santana do Paraíso.

O histórico de ocupação da microrregião do Médio Piracicaba e da RMVA apresentam características semelhantes. São duas regiões que foram ocupadas inicialmente a partir do vale do rio Doce, neste caso com destaque para o vale do rio Piracicaba, inserido no contexto da Região do Médio Rio Doce. O histórico de ocupação inicia-se no ciclo do ouro, no Brasil Colônia, período no qual a exploração dos recursos naturais era realizado de maneira manual,

nos aluviões dos rios Santa Bárbara, Piracicaba e Doce (MONTE-MÓR et al, 1997). Deste modo, o vale do rio Piracicaba configura-se como o primeiro vetor de ocupação e integração da Região do Médio Rio Doce, interligando a Microrregião do Médio Piracicaba à RMVA.

O segundo vetor de ocupação e integração das regiões em questão é representado pela construção da EFVM no início do século XX, conforme descrevem Monte-Mór et al (1997, p. 93):

"a implantação da ferrovia Vitória-Minas no início do século XX, ao longo dos rios Doce e Piracicaba que deu o contorno básico futuro da Bacia do Rio Piracicaba. Deslocada do seu traçado original em direção a Diamantina, a Vitória-Minas estendeu-se serra acima até atingir as imensas reservas de ferro descobertas em Itabira, iniciando o império mineral da Cia. Vale do Rio Doce. Em 1930 a ferrovia chegou a Nova Era; depois, a Itabira; hoje, até Congonhas, estendendo-se para além da bacia em busca do minério."

De acordo com Monte-Mór et al (1997), em 1920 inicia-se o processo de instalação de indústrias de siderurgia, metalurgia e mineração, que foi consolidado ao longo do século XX na região do Médio Rio Doce. Na década de 1920 foi instalada no município de Rio Piracicaba a Companhia Siderúrgica Belgo-Mineira (atualmente Arcelor-Mittal), localizada estrategicamente em uma região com vastas florestas e minério de ferro (matéria prima para a produção de aço), neste caso em particular com destaque para a Mina do Andrade. Em 1925 o grupo inglês Hime & Cia cria em Barão de Cocais a Companhia Siderúrgica Mineira.

Em 1942 a Companhia Vale do Rio Doce inicia suas atividades em Itabira, na época uma cidade já quase centenária, com posição socioeconômica de destaque na microrregião do Médio Piracicaba e em toda a região do Médio Rio Doce (SOUZA, 2007). Neste contexto, a EFVM fazendo a ligação da região do Médio Rio Doce ao porto de Vitória-ES, as florestas em abundância e a riqueza mineral, no mesmo contexto espacial, proporcionaram o surgimento de duas grandes siderúrgicas, a Aços Especiais Itabira (Acesita) em Timóteo e posteriormente, na década de 1950, a Usiminas em Ipatinga, ambas foram de fundamental importância para a atual configuração urbana e territorial da Região Metropolitana do Vale do Aço (MONTE-MÓR et al, 1997; COSTA, 1995)

Considerando os fatos mencionados até aqui, observa-se que a vocação regional foi consolidada com base na monoindústria, sobretudo do setor minero-metalúrgico e siderúrgico. Segundo Monte-Mór et al (1997) os grandes investimentos industriais na região do Médio Rio

Doce, consolidados ao longo do século XX, e a consequente construção de vilas e cidades provocaram grande reorganização espacial da população. Estes autores ressaltam a intensa urbanização concentrada em cidades a montante da bacia hidrográfica do Médio Rio Doce (Microrregião do Médio Piracicaba), tais como João Monlevade, Itabira, Barão de Cocais. Já na região a jusante, no baixo rio Piracicaba, iniciou-se em Coronel Fabriciano a formação do aglomerado urbano do Vale do Aço, atualmente a Região Metropolitana do Vale do Aço.

Na década de 1950 começa a ser construída a BR-381 (trecho de Belo Horizonte a Governador Valadares), a rodovia foi um dos vetores de ocupação urbana entre a Região Metropolitana de Belo Horizonte e a Região Metropolitana do Vale do Aço, integrando a região do Médio Rio Doce (ÁVILA e MONTE-MÓR, 2007; MONTE-MÓR et al, 1997; COSTA, 1995).

Na década de 1970 foi criada no município de Belo Oriente a Companhia de Celulose Nipo-Brasileira (Cenibra), aumentando o poder de concentração populacional do Vale do Aço (COSTA, 1995). A grande demanda por carvão vegetal por parte da Companhia Belgo-Mineira (atualmente Arcelor-Mittal), da ACESITA e da CENIBRA provocou a concentração de terras e a consequente plantação de espécies de eucalipto em grandes extensões de terras, fato que ocorreu em vários municípios da região do Médio Rio Doce (MONTE-MÓR et al, 1997; COSTA, 1995).

Observa-se que os três vetores de ocupação do território rio/ferrovia/rodovia proporcionaram localização privilegiada, principalmente pelas facilidades de comunicação e transporte, interligando toda a bacia do rio Piracicaba, inserida na região do Médio Rio Doce (MONTE-MÓR et al, 1997; COSTA, 1995). Mas toda essa condição criada para fomentar o desenvolvimento acarretou em um conjunto de atividades econômicas (siderurgia, celulose e mineração de ferro) com alto grau de impactos ambientais, expressiva concentração urbana e extensos reflorestamentos por monocultura de eucaliptos (visando a produção de carvão vegetal e celulose).

Recentemente, na primeira década do século XXI, foram implantadas duas universidades na microrregião do Médio Piracicaba, a Universidade Federal de Engenharia de Itajubá (UNIFEI) em Itabira e a Universidade do Estado de Minas Gerais (UEMG) em João Monlevade. As universidades representam uma possibilidade de transformar a região em um polo educacional e também uma alternativa de fomentar e diversificar a economia perante o cenário monoindustrial da região.

Destaca-se que a microrregião do Médio Piracicaba encontra-se no contexto do Quadrilátero Ferrífero, província mineral onde estão localizadas várias minas de minério de ferro, onde ocorre a exploração a céu aberto. Do ponto de vista do desenvolvimento econômico, observa-se uma posição geográfica privilegiada, mas também é evidente e notório na paisagem a expressiva transformação devido à mineração e a siderurgia. Neste contexto ressalta-se o caso de São Gonçalo do Rio Abaixo, município onde está localizado o último grande empreendimento de mineração instalado no Médio Piracicaba.

A instalação da Mina de Brucutu ocorreu na primeira década do século XXI, com novas concepções em relação à questão ambiental, com normativas legais específicas e com novos valores em relação ao meio ambiente. Surge então a motivação para investigar possíveis futuros alternativos para São Gonçalo do Rio Abaixo, sobretudo no sentido de avaliar as transformações relacionadas às atividades urbanas, que sofrem as consequências da mineração. Neste caso é importante ressaltar a relação conflituosa entre mineração e expansão urbana, observada principalmente no município de Itabira (SOUZA, 2007). Por outro lado, ressalta-se a situação privilegiada de São Gonçalo do Rio Abaixo, componente de uma rede de cidades já estruturadas em relação ao setor de serviços e estrutura urbana, a exemplo de Itabira, João Monlevade e Barão de Cocais.

O Município de São Gonçalo do Rio Abaixo

Considerando o contexto regional descrito anteriormente, o município de São Gonçalo do Rio Abaixo foi selecionado como área piloto devido às grandes transformações econômicas e conseqüentemente ambientais referentes à atividade de mineração e seus desdobramentos, sobretudo no processo de expansão urbana (LUME, 2013; COSTA e GARCIA, 2013). Outros fatores que motivaram a escolha da área de estudo foram: 1 - a possibilidade de estudar o caso de um município pequeno, no qual a atividade de mineração não era a principal atividade econômica, passando a ser desde a inauguração da Mina de Brucutu pela Vale S/A no ano de 2006 (FUNDAÇÃO VALE, 2006); 2 - O desafio de produzir informações e conhecimento sobre um município pouco estudado e com grande potencial de crescimento.

3 - investigar a possibilidade de ocorrer em São Gonçalo do Rio Abaixo a mesma relação conflituosa entre mineração e urbanização observada no município vizinho de Itaira, conforme descrito por SOUZA (2007).

De acordo com o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE, 2013), o município minerador de São Gonçalo do Rio Abaixo está localizado na borda nordeste do Quadrilátero Ferrífero, na microrregião do Médio Piracicaba e também pertence à região do Médio Rio Doce, de acordo com Ávila e Monte-Mór (2007) (FIGURA 1.1).

Um dos vetores de ocupação do território de São Gonçalo do Rio Abaixo foi a procura por terras férteis para a prática da agricultura às margens do Rio Una, em decorrência da grande carência edáfica na região das minas de Ouro Preto e Mariana, bem como a procura de ouro no Rio Santa Bárbara. Com a fixação dos bandeirantes no início do século XVIII, surge o povoado do Rio Abaixo, às margens do Rio Santa Bárbara (SÃO GONÇALO DO RIO ABAIXO, 2013; IBGE, 2013, BLOSKI, 2010).

No século XIX, com a redução da extração do ouro, outras atividades econômicas foram sendo praticadas, a exemplo da produção de alimentos diversificados através da atividade agropecuária. Essa produção não era destinada para exportação, mas para suprir as necessidades do núcleo urbano central, em atividades comerciais entre as fazendas e a sede municipal (FUNDAÇÃO VALE, 2006).

Alguns fatores externos ao município exerceram influência sobre sua dinâmica econômica local e regional no início do século XX. A transferência da capital do Estado de Minas Gerais para Belo Horizonte, a construção da Estrada de Ferro Vitória-Minas (EFVM), a construção da MG 129, ligando Itabira a Mariana, e da BR – 381/262 em 1956 provocaram alterações na infraestrutura, na dinâmica socioeconômica e na paisagem do município (ÁVILA e MONTE-MÓR, 2007; FUNDAÇÃO VALE, 2006). Diversos serviços urbanos passam a ser prestados, com destaque para o fornecimento de energia elétrica e de iluminação pública, possibilitados pela construção da Central Hidroelétrica de Peti, e os serviços postais. Tais fatores atribuíram importância estratégica ao território de São Gonçalo do Rio Abaixo, sobretudo em relação às atividades comerciais regionais, uma vez que grande parte do fluxo de pessoas e mercadorias entre a Região Metropolitana de Belo Horizonte (RMBH) e a Região Metropolitana do Vale do Aço (RMVA), passa a menos de 10 km do núcleo urbano do município (MONTE-MÓR *et al*, 1997; ÁVILA e MONTE-MÓR, 2007).

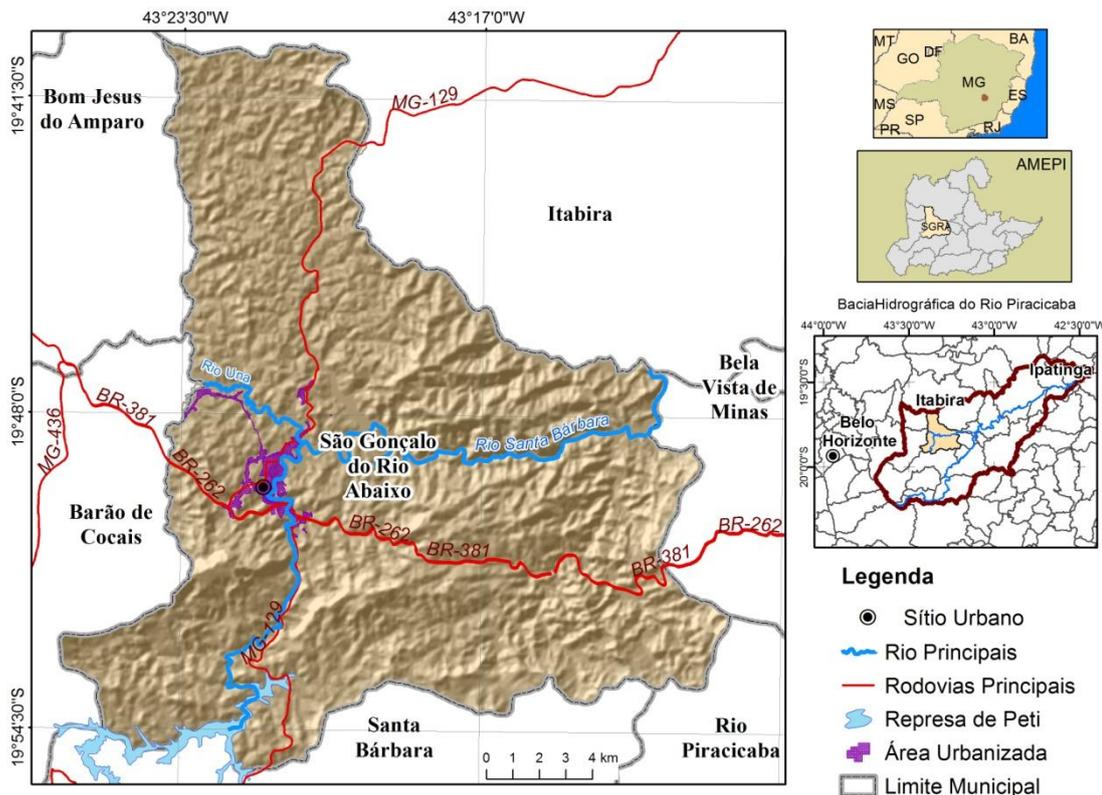


FIGURA 1.1 - Localização do município de São Gonçalo do Rio Abaixo/MG

A partir da primeira metade do século XX, quando a produção industrial de minério de ferro se desenvolve efetivamente, o município passa a sofrer influências dessa atividade. Atualmente, a exploração mineral constitui a atividade econômica mais importante no município. A mina Brucutu, inaugurada em 2006, pertencente à Vale S/A, está localizada no extremo sudoeste do município, próximo aos municípios de Barão de Cocais e Santa Bárbara. Essa mina apresenta-se como uma das maiores e mais produtivas minas de minério de ferro a céu aberto em operação no mundo (COSTA e GARCIA, 2013; ÁVILA e MONTE-MÓR, 2007; FUNDAÇÃO VALE, 2006).

De acordo com o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE, 2013), até o ano de 2006 a agropecuária, em decadência, era a principal atividade econômica de São Gonçalo do Rio Abaixo, após aquele ano sua arrecadação financeira anual cresceu cinco vezes, impulsionada pela exploração mineral, subindo de R\$33,85 milhões para R\$173,5 milhões em 2012. Desse total, R\$75,56 milhões (43,5%) vêm da Compensação Financeira pela Exploração de Recursos Minerais (CFEM). O PIB per capita também foi quintuplicado,

passando de R\$26,92 mil em 2006, para R\$144,75 mil em 2012. Atualmente São Gonçalo do Rio Abaixo possui aproximadamente 10.400 habitantes (IBGE, 2013).

Diante dos fatos mencionados, observa-se que a vultosa ascensão econômica pela qual vem passando o município de São Gonçalo do Rio Abaixo implica e implicará em importantes transformações, exercendo pressão sobre seus recursos naturais e implicando em consequências socioambientais.

A presente pesquisa constitui um estudo de caso que criará subsídios para outras situações semelhantes às condições aqui pesquisadas, a exemplo dos municípios da região do Médio Espinhaço, que emerge como a nova fronteira da exploração mineral no Estado de Minas Gerais (BARBIERI, 2013).

1.1 Problemas e Hipóteses

Diante das transformações em curso na área de estudo, considerando os fatos mencionados anteriormente, seria possível identificar as áreas com aptidão para expansão das atividades antrópicas urbanas e as áreas que necessitam ser ambientalmente preservadas? Seria possível identificar as prováveis áreas de conflito de interesses entre as atividades urbanas e as áreas que necessitam ser preservadas? Cabe investigar como essa possível relação conflituosa ocorre no perímetro urbano municipal e no município como um todo. Interessa saber onde estão localizadas as áreas com maior potencial de impactos ambientais em relação ao interesse conflituoso entre áreas aptas à expansão urbana e com necessidade de preservação ambiental. Interessa saber em qual direção e o quanto a área urbana de São Gonçalo do Rio Abaixo irá expandir entre 2013 e 2020.

As questões levantadas estimularam a formulação das seguintes hipóteses, a saber:

1 - É possível ocorrer a expansão das atividades urbanas sem implicar em relação conflituosa com as áreas de interesse para preservação ambiental. Em outros termos, à luz do conceito de Geodesign, defende-se que a área de estudo apresenta uma condição de "*implicit Geodesign*" ou condição de Geodesign natural (COCCO, FONSECA; CAMPAGNA, 2015).

2 - Partindo de um modelo de mudança, é possível afirmar que a área urbanizada do município de São Gonçalo do Rio Abaixo extrapolará, até o ano de 2020, os limites do seu perímetro urbano estabelecido em lei².

1.2 Objetivo Geral

Estruturar e executar uma proposta metodológica baseada no conceito e nas práticas de Geodesign.

1.2.1 Objetivos Específicos

1 - aplicar métricas de paisagem na caracterização e avaliação dos fragmentos de vegetação em meio urbano no município de São Gonçalo do Rio Abaixo, visando identificar aptidões relacionadas ao uso: atividades sociais (parques e recreação); proteção da paisagem (qualidade bioclimática e beleza cênica); manutenção da biodiversidade e controle de riscos geotécnicos;

2 - Comparar as análises de aptidão dos fragmentos florestais com a funcionalidade das zonas urbanas estabelecidas pela Lei Municipal Nº 1.022/2013;

3 - Avaliar o potencial de uso e ocupação do solo sob a ótica dos fatores geomorfológicos;

4 - Identificar e avaliar as áreas com potencial de expansão urbana;

5 - Identificar e avaliar as áreas com necessidade de preservação ambiental;

6 - Empregar Análise de Incerteza e Análise de Sensibilidade na avaliação do potencial de expansão urbana e na avaliação da necessidade de preservação ambiental;

7 - Construir um modelo de mudança visando: detectar as mudanças no uso e cobertura do solo entre os anos de 2000, 2007 e 2013 e simular cenário para o ano de 2020;

8 - Construir um modelo de potencial de impactos visando identificar as áreas com conflitos de interesse e as áreas aptas à passar por processo de intervenção baseado em Geodesign.

² Lei 1.022 de 26 de Dezembro de 2013, dispõe sobre a ocupação, uso do solo e zoneamento do município de São Gonçalo do Rio Abaixo/MG

1.3 O Geodesign

O termo Geodesign é composto de duas estruturas vocabulares muito conhecidas nas ciências sociais aplicadas e nas ciências exatas e da Terra (Geo+Design). O termo **Geo** refere-se ao território estudado, aos processos que ocorrem na superfície terrestre, diz respeito a todos os elementos que podem ser referenciados no espaço geográfico, àquilo que é passível de ser localizado na superfície da Terra.

Não existe um consenso sobre o conceito de espaço geográfico, nem mesmo no âmbito da ciência geográfica, ou das ciências geográficas. Para Santos (1996, p.51) o espaço geográfico é "*formado por um conjunto indissociável, solidário e também contraditório de sistemas de objetos e sistemas de ações, não considerados isoladamente, mas como o quadro único no qual a história se dá.*". Para Câmara *et al.* (2001), a definição de Santos (1996) evidencia o caráter dinâmico do espaço geográfico ao considerar os objetos geográficos e as "forças" que os movem e condicionam, tais como ações antrópicas, processos físicos, químicos e bióticos ao longo do tempo. Os referidos autores argumentam que Milton Santos alerta para a necessidade de "libertar-nos" das visões estáticas do espaço geográfico, sobretudo, "*tais como nos vem condicionando séculos de mapas*" (analógicos).

O conceito de espaço geográfico para Milton Santos parece estar em consonância com o conceito de espaço social de Henri Lefebvre (1976, p.34):

"Do espaço não se pode dizer que seja um produto como qualquer outro, um objeto ou uma soma de objetos, uma coisa ou uma coleção de coisas, uma mercadoria ou um conjunto de mercadorias. Não se pode dizer que seja simplesmente um instrumento, o mais importante de todos os instrumentos, o pressuposto de toda produção e de todo o intercâmbio. Estaria essencialmente vinculado com a produção das relações (sociais) de produção."

Segundo Santos (1985) "*o espaço é organizado pelas relações de forma, função, estrutura e processo*". A forma ou a morfologia é o aspecto visível do objeto, relacionando-se ao seu arranjo, sua disposição no espaço, formando um padrão espacial. A função ou funcionalidade é a atividade a ser desempenhada pelo objeto, e a estrutura refere-se à inter-relação existente entre os objetos. O processo é uma ação que ocorre continuamente, visando um resultado qualquer, está em constante transformação, observável sob uma determinada morfologia ao longo do tempo, implicando em possíveis e prováveis mudanças.

No contexto da definição do termo Geodesign, Miller (2012) defende que Geo pode ser definido como o espaço geográfico, considerando quatro dimensões, abrangendo a superfície e a subsuperfície da Terra e as alterações dependentes do tempo, tais como o crescimento populacional e a dinâmica da paisagem. De acordo com Miller (2012, p.12):

“These extended views of geographic space (moving from 2D to 3D to 4D), coupled with the idea that most data, at some level, is spatial and that all types of spatial data (physical, biological, social, cultural, economic, urban, etc.) can be geo-referenced, lead to an expanded view of what is typically envisioned, or imagined, when referring to the geo portion of Geodesign. This expanded view is embodied in a new concept that is beginning to emerge within the geospatial community ... that of geo-scape.”

Miller (2012) define “*geo-scape*” como a zona viva do planeta, as relações sociais ecológicas e culturais, considerando tudo o que está abaixo e acima da superfície terrestre e que dá condição às formas de vida.

O termo *geo-scape* proposto por William R. Miller é abrangente e distinto do conceito de paisagem para Milton Santos. Segundo Milton Santos paisagem e espaço não são sinônimos, sendo que *"a paisagem é um conjunto de formas que, num dado momento, exprime as heranças que representam as sucessivas relações localizadas entre homem e natureza. O espaço são as formas mais a vida que as anima"* (SANTOS, 1996, p.103). Por outro lado, observa-se uma aproximação do conceito de espaço geográfico para Santos (1996) com o conceito de *geo-scape* de Miller (2012), isso na medida em que as relações de forma, função, estrutura e processo estão intimamente ligadas aos eventos naturais e antrópicos que ocorrem sobre a superfície da Terra, e sofrem interferência direta e indireta dos fenômenos que ocorrem na subsuperfície terrestre.

O termo **Design** (palavra da língua inglesa, traduzida para o português como projeto), de certa maneira, parece já ter sido incorporado ao vocabulário da língua portuguesa, haja vista a frequência com a qual depara-se com o vocábulo em artigos, reportagens e demais publicações direcionadas aos projetistas e arquitetos. Este termo possui semelhanças embrionárias com a palavra designar, que segundo o Dicionário Etimológico da Língua Portuguesa³, vem do latim *designare* e significa marcar, traçar, representar, desenhar.

Para Steinitz (2012) Geodesign é uma palavra inventada e não é um termo exclusivo dos profissionais do design, tão pouco é exclusivo dos geógrafos, arquitetos ou dos

³ CUNHA, A. G. Dicionário Etimológico da Língua Portuguesa, 2010, p. 210

profissionais de Tecnologia da Geoinformação. Este autor argumenta que Geodesign é um verbo e um substantivo relacionado com a concepção mais geral da palavra design.

Segundo Cardoso (2008) o termo design possui diversos significados:

“A origem imediata da palavra está na língua inglesa, na qual o substantivo se refere tanto à ideia de plano, desígnio, intenção, quanto à de configuração, arranjo, estrutura (e não apenas de objetos de fabricação humana, pois é perfeitamente aceitável, em inglês, falar do design do universo ou de uma molécula). A origem mais remota da palavra está no latim designare, verbo que abrange ambos os sentidos, o de designar e o de desenhar. Percebe-se que, do ponto de vista etimológico, o termo já contém nas suas origens uma ambiguidade, uma tensão dinâmica, entre um aspecto abstrato de conceber/projetar/atribuir e outro concreto de registrar/configurar/formar. A maioria das definições concorda que o design opera a junção desses dois níveis, atribuindo forma material a conceitos intelectuais. Trata-se portanto de uma atividade que gera projetos, no sentido objetivo de planos, esboços ou modelos.” (CARDOSO, 2008, p. 20).

É possível observar em documentos oficiais, a exemplo de uma publicação do Ministério da Educação, definições para o termo design sem necessariamente considerar a sua tradução para o português:

O vocábulo Design identifica, entre os povos da língua inglesa, o projeto como transformação, configurando a disposição de transformar os objetos e os ambientes. Dessa forma, o Design tem nítidas interfaces com outras áreas, como as de Artes, Comunicação, Construção Civil, Agropecuária, Indústria e Informática. (MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO, 2000)

A versão em português do livro *How Designer's Think* (LAWSON, 2011), traduzida por Maria Beatriz Medina para “Como Arquitetos e Designers pensam”, mostra que o termo em questão possui significados que vão além daqueles que já pertencem ao no senso comum, sobretudo na sociedade brasileira.

De acordo com Lawson (2011), a palavra design, traduzida como o verbo “projetar” é usada cotidianamente, mas possui um significado específico para cada grupo de profissionais, pesquisadores e ou atores sociais que a utilizam. De acordo com o referido autor é importante ressaltar que existe o verbo projetar e o substantivo projeto, podendo se referir tanto ao produto final quanto a um processo de criação. Para Miller (2012) o substantivo design refere-se a um objeto ou entidade, enquanto o verbo refere-se à lógica de pensamento ou uma sequência de atividades e processos. Tal argumentação pode ser comparada às relações

estruturadoras do espaço para Santos (1985), as relações de "forma, função, estrutura e processo".

O design é considerado também o primeiro pensamento (*insight*), é a constatação de uma oportunidade, é a capacidade de ordem em meio ao caos (MILLER, 2012, p13).

É possível perceber que a concepção de design aproxima-se da concepção de empreendedorismo, mais precisamente da pedagogia empreendedora, da criatividade com racionalidade, da capacidade de formular hipóteses e buscar a resolução de problemas. Um empreendedorismo que transcende a concepção empresarial do termo, um empreendedorismo relacionado à forma de pensar, ao pensamento inovador e propositivo.

No ambiente corporativo das empresas fica evidente que há uma terceira utilização e significado para a palavra design, que é a sua utilização como o adjetivo "designer", ou projetista. Na estrutura organizacional das empresas é possível observar o cargo de projetista, ou designer de produtos (designer industrial). É ocupado geralmente por profissionais de nível médio que, na maioria das empresas, estão alienados do processo de produção, da sua concepção, do seu planejamento, sendo simples executores de tarefas preestabelecidas. Tal fato teria proporcionado a banalização do termo design e da atividade de projetar (LAWSON, 2011).

Para Flusser (2007, p. 181):

“Em inglês a palavra design funciona como substantivo e verbo (circunstância que caracteriza muito bem o espírito da língua inglesa). Como substantivo significa entre outras coisas: ‘propósito’, ‘plano’, ‘intenção’, ‘meta’, ‘esquema maligno’, ‘conspiração’, ‘forma’, ‘estrutura básica’, e todos esses significados estão relacionados a ‘astúcia’ e a ‘fraude’. Na situação de verbo – to design – significa, entre outras coisas ‘tramar algo’, ‘simular’, ‘projetar’, ‘esquematizar’, ‘configurar’, ‘proceder de modo estratégico’. A palavra é de origem latina e contém em si o termo signum, que significa o mesmo que a palavra alemã Zeichen (‘signo’, ‘desenho’). (...)”

Na concepção de Schneider (2010):

“Design é a visualização criativa e sistemática dos processos de interação e das mensagens de diferentes atores sociais; é a visualização criativa e sistemática das diferentes funções de objetos de uso e sua adequação às necessidades dos usuários ou aos efeitos sobre os receptores.”

Na concepção de Moura (2009, p. 118):

“Design significa ter e desenvolver um plano, um projeto, significa designar. É trabalhar com a intenção, com o cenário futuro, executando a concepção e o planejamento daquilo que virá a existir. Criar, desenvolver, implantar um projeto – o design – significa pesquisar e trabalhar com referências culturais e estéticas, com o conceito da proposta. É lidar com a forma, com o feitiço, com a configuração, a elaboração, o desenvolvimento e o acompanhamento do projeto”.

Os conceitos elaborados por Schneider (2010), Moura (2009) e Flusser(2007) podem ser considerados complementares. São também convergentes na direção do termo Geodesign defendido por Steinitz (2012) e resumidos pela definição de Tomlin (2011, p.1) como: *“...a peculiar form of decision making...”*.

As distintas definições de design, mesmo que de maneira implícita, nos revela a possibilidade do seu uso em um sentido mais amplo, muito além de uma simples sequência de ações, uma vez que pressupõe transformações e possibilidades de transformar os objetos e os ambientes.

A peculiaridade do termo Geodesign, (re) inventado por Carl Steinitz, encontra-se na possibilidade da sobreposição de conhecimentos dos profissionais do design (engenheiros, arquitetos e urbanistas), das ciências geográficas (ciências sociais aplicadas e as geociências), das tecnologias da informação e das pessoas diretamente envolvidas com a área de estudo, os *stakeholders* ou *“people of the place”*, conforme podemos perceber no diagrama abaixo (FIGURA 1.2).

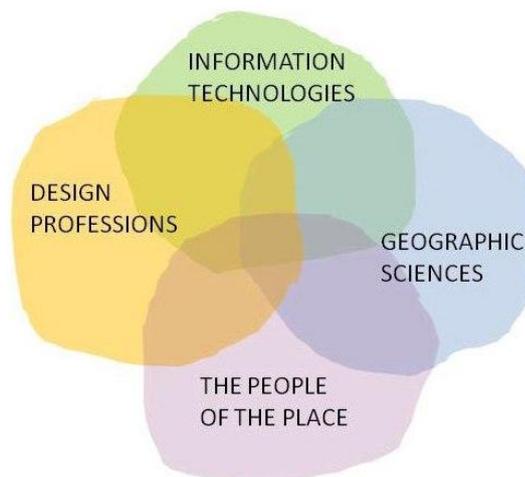


FIGURA 1.2 - Diagrama ilustrativo que evidencia o diferencial da proposta colaborativa e integradora do Geodesign. Fonte: Steinitz (2012)

De acordo com Steinitz (2012), o Geodesign possui grande potencial de possibilitar a colaboração efetiva e simbiótica entre as ciências geograficamente orientadas e os diversos profissionais da área de projeto, sobretudo quando estes vislumbram grandes mudanças ambientais e sociais.

Segundo Tomlin (2011), um dos maiores entusiastas do Geodesign na atualidade, principalmente no tocante ao seu *modus operandi*, é o arquiteto paisagista Jack Dangermond, fundador do *Environmental Systems Research Institute (ESRI)*, responsável pelo desenvolvimento de um dos mais importantes Sistemas de Informações Geográficas (SIG) da atualidade, o ArcGIS.

Para Steinitz (2012), as origens do termo Geodesign não são claras, mas pode ser atribuída a Kunzmann (1993), que em seu artigo “*Geodesign: Chance oder Gefahr?*” usou o termo para se referir à cenários espaciais e discutir oportunidades e ameaças, visando a proposição de um padrão de urbanização para as megalópoles europeias (região da “European Banana” ou “*Blue Banana*”).

A origem intelectual do conceito e das práticas do Geodesign pode ser atribuída ao arquiteto Frank Lloyd Wright (1867-1959), que mesmo sem ter mencionado o termo, trouxe a ideia de arquitetura orgânica (MILLER, 2012). Tanto a ideia de Geodesign quanto a ideia de arquitetura orgânica estão relacionadas ao modo de projetar e transformar a paisagem, considerando as peculiaridades e o funcionamento do ambiente a ser alterado. Segundo Miller (2012) o sucesso de um projeto que tem como objetivo, por exemplo, a construção de um

edifício, o planejamento urbano, o planejamento da paisagem regional, e que envolva múltiplas variáveis, depende do conhecimento adequado das condições ambientais, geográficas, e do aproveitamento das oportunidades sugeridas por essas condições. Miller (2012, p.4) afirma que *“In fact, any design-related activity that depends on or in some way changes the context of our surroundings can be considered Geodesign.”*

Em 1912, Warren H. Manning (1860-1938) realizou um estudo do território norte americano, publicado em 1923, utilizando a sobreposições de mapas (STEINITZ, 2012). Manning teve como objetivo encontrar áreas com potencial para a urbanização e para a criação de parques nacionais.

Mais tarde, o também arquiteto Ian McHarg (1920-2001) publicou em 1969 a obra *Design With Nature*, que pode ser considerada precursora do Geodesign, uma vez que não só expressa o valor de projetar com a natureza (abordando temas da arquitetura da paisagem e do planejamento regional), mas também apresenta uma técnica baseada em referência espacial (que foi provavelmente baseada no trabalho de Manning), observando e sobrepondo camadas temáticas de informações geográfica, para avaliar a aptidão do uso do solo (STEINITZ, 2012; MILLER, 2012; MCHARG, 1969;).

De acordo com Miller (2012), Ian McHarg foi um dos primeiros a defender uma abordagem multidisciplinar para o planejamento ambiental, que até então era dominado por uma visão unilateral e com valores singulares.

O método de sobreposição (*overlay method*), seja de maneira analógica, ou em seu modo digital mais sofisticado, passou a ser o principal instrumento de análise. A obra de McHarg pode ser considerada uma das obras mais importantes e influentes no campo do planejamento da paisagem, do ordenamento territorial e sobretudo das análises de aptidão do território.

Em 1965 foi criado o laboratório de computação gráfica da Escola de Design da Universidade de Harvard, posteriormente foi desenvolvido por Howard Fisher (1903-1979) o Synagraphic Mapping System (SYMAP), primeiro programa computacional que possibilitou a realização de análises espaciais, que segundo Steinitz (2012) foi uma das maiores contribuições para a metodologia Geodesign (BATTY, 2013).

O geógrafo Michael Goodchild fundou em 1988 o *National Center for Geographic Information and Analysis* (NCGIA), onde desenvolveu uma estrutura de pesquisa e ensino que contribuiu muito para a consolidação do SIG enquanto ciência (MILLER, 2012).

Goodchild escreveu em 1991, em coautoria com David Maguire e David Rind, o livro *Geographical Information Systems: Principles and Applications*, considerado na época a bíblia da ciência da informação geográfica.

No início dos anos 1980 o professor Dr. Jorge Xavier da Silva (UFRJ) foi considerado o pioneiro do SIG no Brasil, sendo responsável pela formação dos primeiros profissionais da área de geoprocessamento. Sob a coordenação do Dr. Xavier da Silva foi desenvolvido no laboratório de Geoprocessamento do Departamento de Geografia da UFRJ o Sistema de Análise Geo-Ambiental (SAGA), um SIG com grande capacidade de análise que vem sendo amplamente utilizado (CÂMARA e DAVIS, 2001). Para Xavier-da-Silva (2001) o SIG pode ser considerado um modelo digital do ambiente e sua estrutura permite a avaliação de situações (cenários) ambientais prospectivas e retrospectivas:

“Se o geoprocessamento é um conjunto de técnicas computacionais que opera sobre bases de dados (que são registros de ocorrências) georreferenciados, para os transformar em informação (que é um acréscimo de conhecimento) relevante, deve necessariamente apoiar-se em estruturas de percepção ambiental que proporcionem o máximo de eficiência nesta transformação. Uma destas estruturas é a visão sistêmica, na qual a realidade é percebida como composta por entidades físicas ou virtuais, os sistemas identificáveis, que se organizam segundo diversos tipos de relacionamentos, entre os quais ressaltam, para as investigações ambientais, as relações de inserção (hierarquias), justaposição (proximidade/contigüidade) e funcionalidade (causalidade). Segundo esta perspectiva, a realidade ambiental pode ser, portanto, percebida como um agregado de sistemas relacionados entre si.” (XAVIER-DA-SILVA, 2001, p. 12).

Para Moura (2005, p.49) :

“Uma das principais contribuições metodológicas do geoprocessamento à pesquisa geográfica é, certamente, a possibilidade de se implantar processos de análise que, quando trabalhados em termos conceituais, pareciam por demais complexos para serem adotados. Trata-se da possibilidade de adoção da abordagem e análise sistêmicas, conceitos que trouxeram para o estudo científico que lida com complexa gama de variáveis, em especial para as ciências espaciais, grande ganho na aproximação entre o modelo de estudo e a realidade.”

Percebe-se até aqui que as práticas de Geodesign não são novidade, e fazem parte dos procedimentos analíticos da Geografia e das demais ciências ambientais há muito tempo.

Embora o termo seja novo, a sua base de sustentação não o é, sendo representada pelo SIG, pela abordagem sistêmica e pelas análises de aptidão do território.

De acordo com Batty (2013), o Geodesign não é um retorno às velhas técnicas de mapeamento, com o uso de sobreposição de mapas em papel, mas sim um campo emergente, uma maneira de combinar, e adaptar as ferramentas de SIG para as plataformas de projeto.

Não é pretensão deste trabalho estabelecer uma definição fechada para o termo Geodesign. Entende-se o Geodesign como um processo de transformação, planejamento e gestão do ambiente, da paisagem, do território ou do *geo-escape*, avaliando os elementos e mecanismos de funcionamento da área de estudo, para então propor, de forma estratégica e racional, as possibilidades de intervenção.

A base de apoio desse processo encontra-se na abordagem multidisciplinar, colaborativa e intergrada, com a utilização de ferramentas de SIG (e futuramente com o desenvolvimento de ferramentas próprias), bem como com a participação dos atores sociais envolvidos (“*people of the place*”) (BATTY, 2013; STEINITZ, 2012; MILLER, 2012).

1.3.1 O Geodesign: uma metodologia de análise do território

O Geodesign é baseado e formado por um conjunto de questões e métodos necessários para resolver problemas amplos, complexos e significativos, relacionados à projetos em diferentes escalas geográficas, de um bairro a uma cidade, uma região ou uma bacia hidrográfica (STEINITZ, 2012).

Enquanto conceito, o objetivo do Geodesign é a integração sustentável das atividades antrópicas com o ambiente natural, respeitando as peculiaridades culturais e possibilitando um processo de tomada de decisão de forma democrática (GOODCHILD, 2010; MILLER, 2012; STEINITZ, 2012; BATTY, 2013). Enquanto prática observa-se uma estrutura metodológica sistemática de planejamento territorial baseada em ferramentas de SIG e em novas ferramentas específicas, que estão sendo desenvolvidas pelos pesquisadores do assunto (ERVIN, 2011).

De acordo com Goodchild (2010, p.57), o Geodesign tem um caráter prático, sendo enquadrado no domínio das ciências aplicadas:

“If geography is the set of processes that operate on or near the Earth’s surface, together with the forms that result from such processes, then

Geodesign is concerned with manipulating those forms and intervening in these processes to achieve specific objectives. Thus, it is normative in the sense that decisions are made about aspects of the geographic domain in order to achieve specified objectives, or norms. Normative efforts stand in contrast to the traditional aim of science, to discover general truths about the world; Geodesign is interventionist in contrast to the more detached and dispassionate nature of pure science. Geodesign seeks to improve the world, whereas traditional science seeks only to provide the basis of knowledge on which the world might eventually be improved. Pure science is often carefully partitioned from application, and often sees its responsibilities as discharged when results have appeared in the pages of refereed journals. In that sense, Geodesign lies within the domain of applied science and engineering, seeking ways of addressing practical problems using the scientific method.”

A estrutura metodológica que oferece suporte ao Geodesign vem sendo desenvolvida por mais de trinta anos por Carl Steinitz, pode ser observada em Steinitz (1995) e Steinitz (2012) (FIGURA 1.3). Steinitz formulou seis grandes questões para estruturar o processo de análise territorial, a saber:

1 - Como deveria ser descrita a área de estudo em relação aos seus elementos, no espaço e no tempo? Para tal, é necessário identificar as características relevantes da área estudada, conforme os processos dinâmicos e estáticos. Nesse caso o uso do SIG serve para organizar e coletar informações dados espaciais tais como elevação, tipos de solo, precipitações anuais, vegetação, hidrografia, sistema viário, uso e cobertura do solo, zoneamentos, áreas institucionais e outros parâmetros legais. Este questionamento pode ser esclarecido com o auxílio de **Modelos de Representação**;

2 - Como funciona a área de estudo? É preciso entender quais são as relações funcionais e estruturais entre os elementos da área estudada. Nesta etapa são identificados os processos antrópicos e naturais que explicam o funcionamento da área investigada. Para tal é necessário estabelecer **Modelos de Processos**;

3 - A área de estudo está funcionando bem atualmente? Para responder a esta pergunta é necessário estabelecer **Modelos de Avaliação**, para avaliar e identificar as relações entre os processos que explicam o funcionamento da área de estudo. De acordo com Steinitz (2012), nesta etapa é necessário considerar o conhecimento cultural dos atores sociais locais, os *stakeholders*. Os modelos de avaliação influenciam diretamente os modelos de mudança, focando nas áreas com potencial para serem alteradas e nas que necessitam ser conservadas ou preservadas ambientalmente;

4 - Como poderia ser modificada a área de estudo? Esta questão passa por políticas públicas, ações e legislações que poderão ter efeito direto na transformação do território, mas também por tendências naturais de planejamento. Para responder a este questionamento é necessário construir um **Modelo de Mudança**, considerando as condições pretéritas e atuais. As respostas a esta pergunta fornecem dados e informações para a representação das condições futuras (STEINITZ, 2012);

5 - Que diferenças podem causar as mudanças? Nesta etapa é feita a análise integrada dos resultados dos modelos anteriores. São avaliados os possíveis conflitos e impactos ambientais, tais como desmatamento, novas plantações, atividades antrópicas em geral, degradação social, modificação do ciclo hidrológico, mudança ou uso abusivo do solo e redução de biodiversidade. Esta questão é respondida com a formulação de um **Modelo de Impacto**;

6 - Como deveria ser modificada a área de estudo? Para resolver esta questão é necessário saber qual é a melhor decisão a ser tomada, uma vez que diferentes alternativas podem ter distintas consequências no tempo e no espaço. Cada modelo é avaliado com base nas condições atuais e em projeções futuras. As respostas para a presente questão dependem do conhecimento dos tomadores de decisão, mas também depende das avaliações, das possíveis mudanças e seus possíveis impactos. Esta questão é solucionada com um **Modelo de Decisão**;

Observa-se que as questões norteadoras elaboradas por Carl Steinitz podem ser solucionadas com o desenvolvimento de seis modelos. Tais modelos não são definidos por procedimentos metodológicos fechados e preestabelecidos, uma vez que cada área estudada guarda sua peculiaridade. Deste modo, Steinitz (2012) propõe que estas questões sejam percorridas (analisadas e respondidas) três vezes, sendo a primeira para definir e planejar as dimensões da pesquisa ou do estudo, visando também o reconhecimento da área de estudo. Na segunda rodada os questionamentos devem orientar a definição dos métodos a serem utilizados, e na terceira rodada o objetivo é a execução dos procedimentos metodológicos.

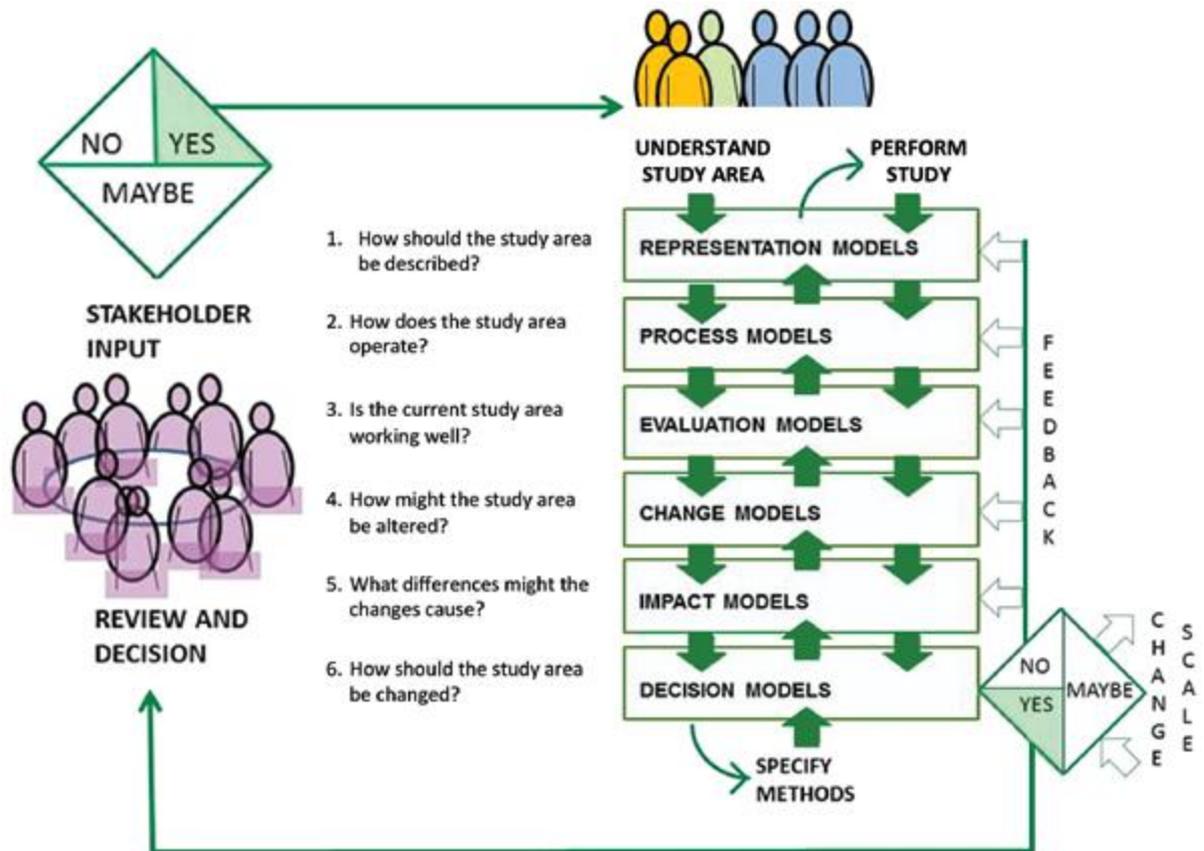


FIGURA 1.3 - Estrutura metodológica geral que suporta o Geodesign segundo Carl Steinitz. Fonte: Steinitz (2012)

No diagrama apresentado na figura 1.3 as três sequências de setas verdes (de cima para baixo, de baixo para cima e novamente de cima para baixo) significam que o conjunto de seis questões (modelos) devem ser percorridos por três vezes (três iterações), começando da esquerda para a direita (STEINITZ, 2012).

É importante ressaltar que os três primeiros modelos compreendem o processo de avaliação, tendo como base as condições ambientais existentes na área de estudo. Já os três últimos modelos compreendem o processo de intervenção ou proposição, para entender como a área de estudo pode ser mudada, as possíveis consequências dessas mudanças e se tais mudanças são realmente necessárias.

Na **primeira iteração** o objetivo é definir o contexto, a extensão da pesquisa e entender a área de estudo. Segundo Steinitz (2012), a primeira iteração é destinada a responder o motivo da pesquisa, são as “*Why questions*”.

Na primeira iteração, dentro da grande questão do modelo de representação, é importante responder a outras questões, tais como: onde está localizada a área de estudo? qual é o seu limite territorial? Quais são suas características físicas, ecológicas, econômicas e sociais? No modelo de processos é preciso entender quais são os principais processos físicos, ecológicos, econômicos e sociais da área de estudo, e como eles estão relacionados?

Em relação ao modelo de avaliação, é preciso verificar se a área de estudo possui atrativos, se sim, por quê? Por que não? Para quem? A área está em desenvolvimento ou em declínio? De que maneira? Há algum tipo de conflito ambiental na área? Qual? Onde? (STEINITZ, 2012).

O modelo de mudança deve responder quais as principais mudanças estão previstas, elas estão relacionadas ao crescimento ou declínio? As pressões, os vetores de mudança, estão dentro ou de fora da área de estudo? O modelo de impacto deve avaliar se as mudanças previstas são encaradas como benéficas ou prejudiciais, a quem elas podem prejudicar? ou ajudar? São vistas como mudanças drásticas? São irreversíveis?

E finalizando esta primeira sequência, o modelo de decisão deve responder qual é o principal objetivo do estudo, ou da pesquisa. É um objetivo público? Possui fins lucrativos? Visa avanços científicos? Quem são os principais interessados? Eles são públicos ou privados? Eles estão em conflito? Quais são as limitações para a realização deste estudo? (STEINITZ, 2012)

A **segunda iteração** inicia-se da sexta para a primeira pergunta, visa à identificação e definição dos métodos de pesquisa, como explica Steinitz (2012):

“This reversal of the regular sequence of conducting a study is crucial to designing a set of potentially useful methods. In this way, Geodesign becomes decision-driven rather than data-driven.” (STEINITZ, 2012, p.28)

Esta é a sequência do como, são as “*How questions*”. Inicia-se pelo modelo de decisão, tentando responder como serão tomadas as decisões, por quem? Quais conhecimentos os tomadores de decisão precisam ter? Quais são as suas bases de avaliação? Serão feitas avaliações científicas? Quais são as normas culturais? As normas legais? Existem problemas de implementação, tais como custo e escolha de tecnologia? (STEINITZ, 2012).

No caso do modelo de impactos, é preciso verificar quais impactos das possíveis mudanças são os mais importantes, quais impactos devem ser aferidos por dispositivos legais,

quão complexa deve ser a avaliação dos impactos, e por fim, é preciso saber o quanto, onde, quando e para quem os impactos serão encarados como bons ou ruins.

No caso do modelo de mudança, é importante começar definindo quem estabelece os requisitos de alteração da área de estudo, como eles serão definidos, quais cenários serão escolhidos, em qual escala e tempo, quais questões transcendem a capacidade de modelagem, qual modelo de mudança será empregado na análise (STEINITZ, 2012).

No modelo de avaliação devem ser consideradas as medidas de avaliação, nas relações ecológicas, nas relações econômicas, nas relações políticas e na preferência da população envolvida.

Em relação aos modelos de processos, na necessidade do entendimento do funcionamento da paisagem, é preciso estabelecer quais modelos serão incluídos, sua complexidade, e em qual escala temporal irão trabalhar. E

Finalizando a segunda sequência de perguntas, define-se os modelos de representação, estabelecendo quais dados serão necessários para representar a área de estudo, em qual ou quais escalas, em qual quais tempos, de quais fontes e qual será o custo.

Na **terceira iteração** as seis perguntas são feitas com o objetivo de executar os procedimentos metodológicos definidos na segunda iteração. É a etapa do "o que", "onde" e "quando". Partindo de um banco de dados consistente, são realizadas análises, avaliações, projeções e/ou simulações de possíveis futuros alternativos da área de estudo, bem como a avaliação dos impactos de possíveis cenários (STEINITZ, 2012).

Observando novamente o diagrama da figura 1.3 percebe-se que foi considerada a possibilidade do resultado não ser satisfatório (*No*), ser satisfatório (*Yes*) ou com ressalvas (*Maybe*). Caso o resultado não atenda aos objetivos do estudo e não satisfaça às necessidades dos tomadores de decisão, todas as seis etapas (modelos) estão sujeitas a *feedbacks* e alterações. Pode ser necessário buscar dados, rever modelos de processos e repensar as mudanças propostas, e possivelmente rever as decisões a serem tomadas (STEINITZ, 2012).

De acordo com Steinitz (2012), as possibilidades de alteração na estrutura metodológica do Geodesign evidenciam que sua aplicação não ocorre de forma linear.

Se o resultado atende parcialmente (*Maybe*) (FIGURA 1.4), pode ser necessário alterações na escala de trabalho e/ou no período de tempo considerado. Se a escala do projeto for alterada será necessário alterar a qualidade espacial dos dados e/ou o conteúdo de vários modelos. Todo o processo será refeito até que seja viável, chegando à decisão positiva (*Yes*).

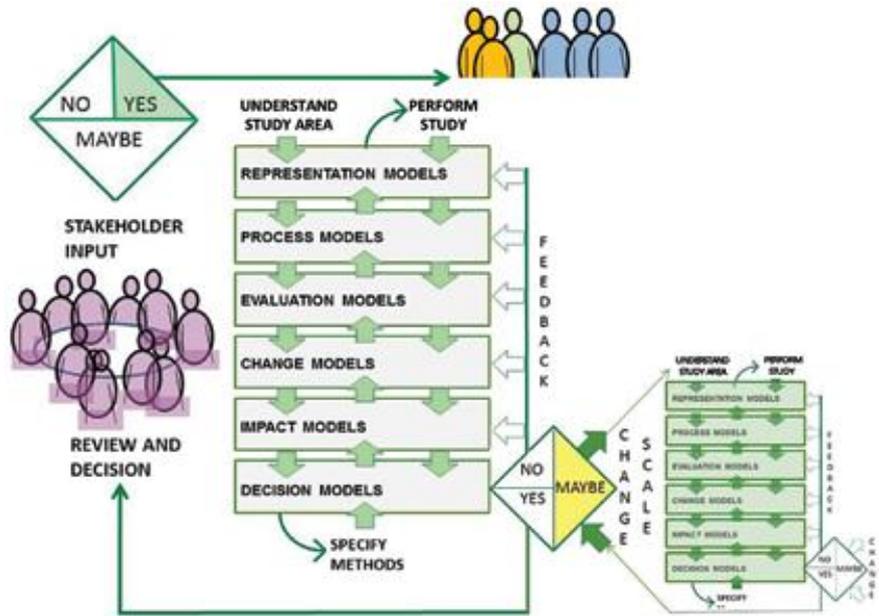


FIGURA 1.4 - Caso a decisão final for *maybe* poderá haver alterações nos modelos ou na escala de trabalho, sendo necessário percorrer novamente as seis questões (modelos). Fonte: Steinitz (2012)

Quando o resultado dos seis modelos atende (*Yes*) aos objetivos do estudo, o próximo passo é levar as respostas ao conhecimento dos atores sociais, para ser revisto e colocado em prática. Cabe ressaltar que a tomada de decisão é de responsabilidade dos atores sociais locais, desde o cidadão comum ao mais alto nível hierárquico de governo (STEINITZ, 2012).

A estrutura metodológica proposta por Carl Steinitz pode ser aplicada em qualquer ambiente, em qualquer escala de trabalho. A estrutura do processo de Geodesign induz a formular perguntas e a buscar respostas, com o objetivo de obter uma melhor compreensão do objeto de estudo e do procedimento metodológico a ser empregado, é uma maneira de planejar a criação de um instrumento de gestão territorial (*metaplanning*) (CAMPAGNA, 2013).

Segundo Carl Steinitz (2012), a concepção do processo de Geodesign leva a uma relação simbiótica entre as ciências geográficas, os profissionais de projeto, tecnólogos da informação, e a comunidade local. Neste caso, cada classe de profissionais pode ter a capacidade de influenciar mais ou menos o estudo, o que vai depender da ênfase dada a cada um das seis questões ou modelos.

As questões 1, 2 e 3 fazem referência às condições atuais e pretéritas da área estudada, com o domínio por parte das ciências geográficas nos modelos de representação e de processos (STEINITZ, 2012). Já os modelos de mudança, impacto e decisão relacionam-se

com as condições futuras da área de estudo, mas considerando as condições do presente e do passado.

De acordo com Steinitz (2012), os modelos de mudança necessitam de uma maior participação dos profissionais de projeto (arquitetos e engenheiros). As ciências geográficas tem um papel importante no desenvolvimento dos modelos de impacto, enquanto os modelos de decisão são de responsabilidade dos tomadores de decisão, mas na prática todos podem participar (STEINITZ, 2012).

1.3.2 Análise Sistêmica em Geodesign

À primeira vista, a estrutura metodológica do Geodesign pode parecer demasiadamente linear, haja vista sua estrutura ordenada e sequencial. Mas o funcionamento da metodologia proposta por Carl Steinitz, ao possibilitar a iteração entre modelos de análise, proporciona uma relação não linear, remetendo ao funcionamento de um sistema aberto, passível de inputs e outputs de energia (informações, dados) (FIGURA 1.5). O processo metodológico permite, por exemplo, o rearranjo dos dados, alterações no tamanho da área de estudo, bem como a entrada de novos dados através de *feedbacks*.

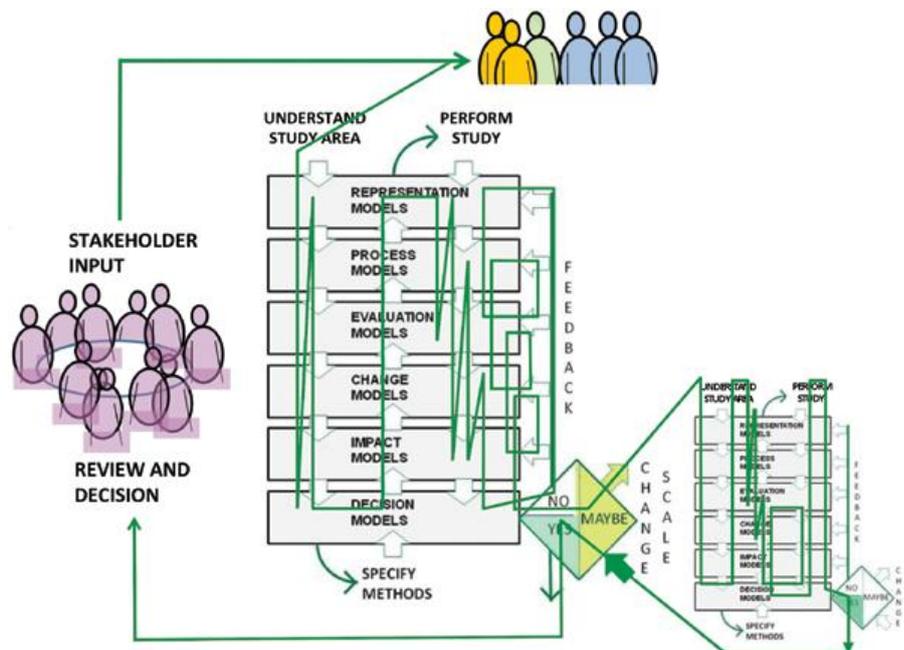


FIGURA 1.5 - O diagrama mostra a não linearidade da estrutura metodológica do Geodesign, a possibilidade e ou necessidade de alterações e retroalimentações. Fonte: Steinitz (2012)

O Geodesign pode ser considerado um método que consolida a associação de propostas de alteração na paisagem com análises geográficas, envolvendo o pensamento sistêmico, com o suporte tecnologia da geoinformação (ERVIN, 2011).

A delimitação de um sistema, sobretudo do ponto de vista cartográfico, é amparada pela análise do grau de correlação entre seus elementos, o que não implica na aceitação de que estes não possuam relações com outros elementos externos, mas sim na constatação de que as relações externas possuem grau de intensidade menor do que às internas (HUGGETT, 1980).

A estabilidade de um sistema é basicamente representada por inputs e outputs de energia, e o conseqüente desencadeamento do fluxo de matéria + energia, o que podemos chamar de *feedback*. De acordo com Christofolletti (1999), muitos modelos ressaltam a relação entre fluxos de energia e matéria e os circuitos de retroalimentação, com o objetivo de compreender o comportamento no estado estável do sistema.

Quanto mais rápido o sistema voltar a sua condição de equilíbrio, isso após ter sofrido alguma alteração em suas condições normais, maior é a sua estabilidade. A previsibilidade dos resultados dos processos dinâmicos do sistema tende a diminuir exponencialmente com a distancia da condição de equilíbrio, a não ser que o sistema se auto organize em estruturas capazes de produzir ordem através do caos (CHRISTOFOLETTI, 1999; HUGGETT, 1980).

Dentro do conceito de estabilidade e equilíbrio dinâmico de um sistema complexo ressaltam-se os conceitos de resistência e resiliência, os quais possuem relação direta com os materiais componentes de um determinado sistema.

A resistência é a capacidade do sistema em se manter sem ser afetado pelos distúrbios externos e a resiliência é a capacidade do sistema em voltar às suas condições de equilíbrio após ter sido afetado por fatores externos, é também a capacidade do sistema de absorver mudanças. Segundo Christofolletti (1999), os conceitos apresentados acima são de fundamental importância para o manejo e planejamento de sistemas ambientais, com o propósito de avaliar a estabilidade do sistema, sua manutenção e recuperação.

Outro conceito importante é a noção de sensibilidade, a qual representa a relação entre a magnitude das forças atuantes no sistema, que está diretamente ligada à capacidade de reagir e à velocidade dos processos atuantes no sistema. Ainda de acordo Christofolletti (1999), a sensibilidade refere-se ao estudo das respostas internas e dos produtos dos modelos, na medida em que são atingidos por mudanças nas condições de inputs ao modelo.

Como um sistema pressupõe diversidade de processos e elementos, faz-se necessário avaliar a influência e a importância de seus vários componentes (variáveis ou critérios), as suas inter-relações e manifestações espacialmente explícitas. A avaliação da consistência dos processos que ocorrem num determinado sistema pode ser feita através das análises de sensibilidade e incerteza (STORE e KANGAS, 2001).

As análises de incerteza e sensibilidade são aplicadas para examinar se o modelo é resiliente às alterações nos seus parâmetros (Goodwin e Wright, 1991). Através dessas análises é possível verificar se uma pequena alteração de algum parâmetro do sistema é capaz de causar grandes variações nas suas saídas (respostas). No das avaliações multicriteriais, permite verificar se uma alteração no peso de um critério pode causar uma grande variação na avaliação das ações potenciais.

Segundo Ligmann-Zielinska e Jankowski (2008) as análises de incerteza e sensibilidade são de grande valia para as avaliações multicriteriais, sobretudo como abordagem sistemática de representação da incerteza inerente ao processo de análise espacial de multicritérios. *“The uncertainty arises from the character of data, ignorance of system drivers, and diversity of human values to name just a few”* (LIGMANN-ZIELINSKA, JANKOWSKI e WATKINS, 2012, p.1).

1.3.3 A Teoria Geral dos Sistemas, Ecologia da Paisagem e Geodesign

A Teoria Geral dos Sistemas (TGS) foi uma revolução analítica, implementada no século XX. O biólogo húngaro Karl Ludwig Von Bertalanffy foi considerado o idealizador da Teoria Geral dos Sistemas, ao buscar em sua obra, definir as propriedades fundamentais que caracterizavam “os sistemas”.

A biologia e a cibernética, foram os campos disciplinares que primeiramente definiram e trabalharam com os conceitos que estruturaram a TGS. Conceitos como mecanismos de regulação e feedback foram desenvolvidos, por exemplo, a partir da evolução da Engenharia de Controle e Automação, durante o período do pós Segunda Guerra Mundial. Alguns cientistas da cibernética passaram aplicar conceitos que eram eminentemente tecnológicos para a descrição de fenômenos psicológicos, sociais e biológicos.

A teoria sistêmica nasce da observação sobre as grandes semelhanças estruturais existentes entre os modelos gerados por diferentes disciplinas. Desta forma, o objetivo de

Bertalanffy é propor uma metodologia transdisciplinar, que transcendesse os métodos tradicionais das ciências físicas. Na concepção de Bertalanffy (1975), sistema é “um conjunto de unidades em inter-relações mútuas”. Ou seja, um todo integrado, cujas propriedades essenciais surgem das relações entre suas partes, uma complexidade organizada.

A TGS propõe que, no caso de sistemas abertos, a troca contínua com o meio sempre em busca do equilíbrio e proporcionará ao sistema um desdobramento em direção à ordem e a complexidade crescente. De acordo com Capra, (1996, p.44):

“O organismo não é um sistema estático fechado ao mundo exterior e contendo sempre os componentes idênticos; é um sistema aberto num estado (quase) estacionário... onde materiais ingressam continuamente vindos do ambiente exterior, e neste são deixados materiais provenientes do organismo.”

O conceito de ecossistema relaciona a Ecologia à TGS, em uma estrutura que permite a integração conceitual e metodológica de análise da paisagem (TANSLEY, 1935).

A TGS deu subsídios à Teoria dos Geossistemas, que por sua vez trouxe novos parâmetros para o entendimento da paisagem, proporcionando, de certa forma, a conexão entre a natureza e a sociedade. Segundo Sotchava (1977), havia uma grande necessidade de integrar os estudos sobre a superfície da Terra. E de acordo com o referido autor, embora os Geossistemas sejam considerados "fenômenos naturais", devem ser analisados sob a ótica de fatores socioeconômicos, que influenciam os processos e conexões em seu interior.

O objetivo de Victor Sotchava era estabelecer uma estrutura metodológica que relacionasse os estudos da paisagem com as análises geográficas, haja vista a grande influência dos estudos de processos biológicos, em detrimento dos processos antrópicos .

Capra (1996) posiciona-se contra a ecologia antropocêntrica, na qual o homem é separado da natureza, na qual o homem encontra-se em um estágio superior ao dos outros organismos vivos. Para Capra (1996, p.17) *“a ecologia profunda reconhece o valor intrínseco de todos os seres vivos e concebe os seres humanos apenas como um fio particular na teia da vida.”*

Quando o homem passa a se perceber como mais um elemento no ecossistema terrestre começa a ter consciência da sua insignificância, e consegue aguçar sua capacidade de percepção dos processos que ocorrem ao seu redor. Nesse sentido, Steinitz (2012) salienta que um estudo, ou uma pesquisa, baseada em Geodesign pode experimentar muitas formas e fontes de informação, inclusive as mais idiossincráticas. O referido autor argumenta que é

possível receber inspiração do território pesquisado (*genius loci*), é possível enxergar a solução com o auxílio da experiência individual e coletiva, e sobretudo com a vivência na área de estudo (STEINITZ, 2012).

O conceito de *genius loci*, ou a essência do lugar, foi definido por Norbert-Schulz (1980), de acordo com Moura (2005, p. 21):

“entende-se por genius loci o caracter especial de um espaço, baseado em elementos naturais, expressões culturais e interação cultura e meio ambiente. São as características que dão unicidade a um espaço definidas por Garnham (1985) como “spirit of place””

E Capra (1996, p.17) complementa:

“Em última análise, a percepção da ecologia profunda é percepção espiritual ou religiosa. Quando a concepção de espírito humano é entendida como o modo de consciência no qual o indivíduo tem uma sensação de pertinência, de conexão, com o cosmos como um todo, torna-se claro que a percepção ecológica é espiritual na sua essência mais profunda. Não é, pois, de se surpreender o fato de que a nova visão emergente da realidade baseada na percepção ecológica profunda é consistente com a chamada filosofia perene das tradições espirituais, quer falémos a respeito da espiritualidade dos místicos cristãos, da dos budistas, ou da filosofia e cosmologia subjacentes às tradições nativas norte-americanas.”

Considerando o exposto até aqui, observa-se uma tentativa discreta de aproximar o conceito de Geodesign à conceitos que consideram o homem como parte integrante e inseparável do ambiente em que vive, a exemplo do conceito de Ecologia Profunda⁴. Observa-se também que conceitos já estabelecidos na TGS, na Ecologia, na teoria dos Geossistemas e na Ecologia da Paisagem, também fazem parte do arcabouço conceitual do o Geodesign.

No contexto da Geografia, Chorley e Kennedy (1971) introduziram o paradigma sistêmico na análise da paisagem. Estes autores, considerando o funcionamento de um sistema dinâmico aberto, estabeleceram que para uma diagnose ambiental da paisagem se faz necessário entendê-la através de quatro níveis espaciais de análise, a saber:

⁴ Conceito criado durante a década de 1970 pelo filósofo norueguês Arne Naess, em oposição à visão antropocêntrica e dominante em relação ao uso de recursos naturais.

“O Nível Morfológico (fase analítica) se preocupa em individualizar, hierarquizar e caracterizar os sistemas da paisagem e suas respectivas partes componentes. Assim, devem ser consideradas as formas, a natureza bem como seus componentes. O Nível em Sequência, também denominado como Nível Encadeante ou em Cascata, destina-se a levantar os fluxos de matéria (massa) e energia que circulam entre as partes componentes do sistema observado na paisagem. O Nível de Processo-Resposta fornece a compreensão integrada do sistema (a Síntese), a qual é obtida a partir da integração das análises nos níveis morfológicos e encadeantes, resultando em uma primeira imagem síntese da paisagem. E o Nível Controle que se refere à fase prognóstica da paisagem. Assim, destina-se a favorecer simulações, previsões e prognósticos analisados dentro de cada subsistema da paisagem ou das respectivas partes componentes.” (ZACHARIAS, 2010 p. 59).

Estabelecendo uma comparação entre os níveis analíticos citados acima e os seis modelos de análise propostos por Steinitz (2012) (apresentados no capítulo 1.3.1), é possível perceber semelhanças claras, a começar pela base sistêmica.

Não são observadas sobreposições integrais entre as estruturas metodológicas em questão, mas é perceptível uma relação funcional entre os níveis “Morfológico” e “em Sequência” de Chorley e Kennedy (1971) e a ideia dos modelos “de Representação” e “de Processos” propostos por Steinitz (2012). Não é difícil verificar que os dois primeiros níveis de análise de Chorley e Kennedy (1971) também responderiam a perguntas tais como: “como poderia ser descrita a área de estudo?” e “como funciona a área de estudo?”

O “Nível de Processo-Resposta” possui funcionalidade semelhante à lógica do “Modelo de Avaliação” e do “Modelo de Impactos” propostos por Steinitz (2012), uma vez que a compreensão integrada do sistema, resultando em uma "síntese da paisagem", constitui uma forma de avaliação da área de estudo, ou do sistema analisado.

E finalmente, o “Nível de Controle” de Chorley e Kennedy (1971), que por sua vez é muito semelhante à lógica do “Modelo de Mudança” de Steinitz (2012), principalmente por pressupor simulações e ter caráter propositivo.

As semelhanças entre as estruturas analíticas em questão são evidentes e mostram que, provavelmente, Carl Steinitz tenha sofrido influência da obra *Physical Geography: a Systems approach*, assim como foi influenciado pelo trabalho de Ian McHarg (MILLER, 2012).

O método de McHarg (1969), conhecido pela análise da aptidão do uso do solo (suitability analysis), baseia-se na formulação de um inventário ecológico de uma determinada região, para posteriormente estabelecer relações entre distintas tipologias de uso do solo e demais variáveis ambientais dos meios físico, biótico e socioeconômico, com vistas ao planejamento da paisagem (PIPPI, 2004).

O reconhecimento das relações entre os padrões espaciais das tipologias de uso e cobertura do solo e processos ecológicos, em uma determinada unidade de paisagem, constitui o ponto central da análise em ecologia de paisagens (METZGER, 2001).

De acordo com Metzger (2001), a Ecologia da Paisagem é uma área do conhecimento que sofre influência da Geografia e da Ecologia, sendo que a abordagem geográfica prioriza o estudo das relações humanas e a gestão territorial. A abordagem geográfica da ecologia de paisagens trata a diversidade de paisagens pela ótica do homem, de suas necessidades, anseios e planos de ocupação territorial (METZGER, 2001). Como a atuação humana é abrangente, em amplas extensões territoriais, a ecologia da paisagem lida obrigatoriamente com escalas espaciais e temporais.

Já a abordagem ecológica enfatiza os processos ecológicos, não necessariamente humanos, e as relações em termos de conservação da biodiversidade.

Segundo Metzger (2001, p. 2):

“A primeira referência à palavra “paisagem” na literatura aparece no “Livro dos Salmos”, poemas líricos do antigo testamento, escritos por volta de 1000 A.C. em hebraico por diversos autores, mas atribuídos na maioria ao rei Davi. Esses poemas eram cantados nos ofícios divinos do Templo de Jerusalém, e depois foram aceitos pela Igreja cristã como parte de sua liturgia. No “Livro dos Salmos”, a paisagem refere-se à bela vista que se tem do conjunto de Jerusalém, com os templos, castelos e palacetes do Rei Salomão. Essa noção inicial, visual e estética, foi adotada em seguida pela literatura e pelas artes em geral, principalmente pela pintura na segunda metade do século XVIII. Além do retrato real da beleza da natureza, os pintores e escritores pré-românticos e românticos, assim como os simbolistas e os impressionistas, retratavam também a paisagem como um reflexo da “paisagem interior”, dos sentimentos de melancolia e solidão. Atualmente, na linguagem comum, a paisagem é definida como “um espaço de terreno que se abrange num lance de vista” (dicionário Aurélio). A palavra “paisagem” possui, assim, conotações diversas em função do contexto e da pessoa que a usa. Pintores, geógrafos, geólogos, arquitetos, ecólogos, todos têm uma interpretação própria do que é uma paisagem.”

De acordo com Oliveira *et al.*, (2007, p.89):

“Considerando a etimologia das palavras paisagem (origem latina) e landscape (origem germânica) observam-se sentidos similares para os seus núcleos pais e land (‘região’, ‘terra’, ‘território’) e diferenciação em relação aos sufixos –agem (‘conjunto, coleção, classes’ ou ‘ação, resultado de ação’) e –cape (‘cobertura, o que cobre’ ou ‘descrição, o que descreve’).”

A etimologia das palavras paisagem e *landscape* abrange a descrição dos elementos estáticos e dinâmicos em seus aspectos naturais e culturais. De acordo com Lang e Blaschke (2009) a paisagem constitui a expressão e manifestação do “jogo de forças”, o conteúdo total das substâncias com todas as forças a elas associadas e irradiadas por ela, e efeitos fisionômicos característicos. É perceptível certa semelhança na conceituação de paisagem feita por Lang e Blaschke (2009) com o conceito de “*geo-scape*” mencionado por Miller (2012), que define “*geo-scape*” como a zona viva do planeta, considerando tudo o que está abaixo e acima da superfície terrestre e que dá condição às formas de vida.

Nesse sentido, a paisagem é considerada não somente a fisionomia, mas também a “manifestação do ” jogo de forças””, ou seja, uma concepção ampla e integrada da paisagem envolve a compreensão dos seus processos de formação e transformação.

1.3.4 Colaboração em Geodesign

A colaboração pode ser entendida como o trabalho em conjunto entre profissionais e/ou pesquisadores de diferentes áreas do conhecimento, compartilhando distintos pontos de vista, contribuindo para uma análise integrada, e conseqüentemente a proposição de cenários possíveis para uma determinada área de estudo.

Entretanto, a colaboração no âmbito do Geodesign transcende ao simples compartilhamento de informações entre profissionais em um ambiente de trabalho trans e multidisciplinar. A colaboração no contexto da análise baseada em Geodesign pressupõe a participação da comunidade direta e indiretamente envolvida em um determinado projeto, interagindo de diferentes maneiras (STEINITZ, 2012). Segundo Batty (2013) um projeto deve ser considerado cada vez mais uma atividade de baixo para cima, Santana e Moura (2013) argumentam que “*não somos mais planejadores autorais, mas sim decodificadores da vontade coletiva*”. Neste sentido Batty (2013, p.2) ressalta que:

“Last but not least, design is increasingly regarded as a bottom-up activity, and the fact that the world is built from the bottom up and GIS is increasingly being used in this way reinforces the notion that any human behaviour must embrace both science and design.”

Nos dias atuais, experimenta-se a possibilidade de uma ação colaborativa entre os cidadãos em geral, profissionais/pesquisadores, poder público e empresas envolvidos em um

determinado projeto (BATTY, 2013; STEINITZ, 2012; GOODCHILD, 2007b). A interação voluntária entre os atores sociais e profissionais especialistas é uma prática recorrente nos Estudos de Impacto Ambiental (EIA), e em diversos instrumentos de gestão ambiental feitos no Brasil e no mundo (COLETTI, 2012; SÁNCHEZ, 2008; AB'SABER, 1998).

A participação popular nos Estudos de Impacto Ambiental ocorre após a sua etapa técnica, ou seja, os cidadãos opinam no momento da tomada de decisão, com a possibilidade de solicitar alterações no projeto até que esteja pronto para ser executado.

A colaboração voluntária pode ser estabelecida durante a etapa dos estudos temáticos, a exemplo de alguns trabalhos de avaliação participativa, nos quais o conhecimento cultural das comunidades é a principal fonte de dados. A organização não governamental *Conservation International* realiza mapeamentos temáticos na região amazônica com a participação direta da comunidade local, visando a criação de unidades de conservação de uso sustentável (BERNARD *et al.*, 2012).

Diniz (2013) utilizou o termo “pesquisa etnogeográfica” para se referir ao arcabouço metodológico de sua pesquisa sobre o tema "agroecossistemas e sociobiodiversidade". O referido autor teve o apoio de uma comunidade quilombola na análise da paisagem, resultando na construção de mapas mentais do município de Minas Novas/MG.

A intensificação da difusão das mídias digitais, a exemplo das redes sociais, fomentou um maior interesse da sociedade em geral em participar e opinar sobre projetos importantes e polêmicos. Podemos citar o exemplo do Projeto Apolo da mineradora Vale S/A, o qual propõe a abertura de uma mina na Serra do Gandarela – MG, importante sítio de biodiversidade da região do Quadrilátero Ferrífero. A pressão de ambientalistas e da comunidade envolvida tem adiado a tomada de decisão em relação à execução do projeto, sobretudo devido aos conflitos ambientais.

Segundo Jankowski (2009) o SIG tem se tornado um agente da democracia participativa e um fomentador de necessárias mudanças nos tradicionais modelos de participação dos cidadãos na tomada de decisão sobre o uso dos recursos naturais. Neste contexto, é perceptível que o arcaico *layout* das audiências públicas, mediadas pelo empreendedor e por uma empresa de consultoria, já não atende aos anseios dos atores sociais locais, principalmente no âmbito dos instrumentos de comunicação e interação entre as partes envolvidas (JANKOWSKI, 2009).

O surgimento das ferramentas de visualização de dados espaciais, tais como o Google Maps e Google Earth, e ferramentas que possibilitam a aplicação e o compartilhamento de questionários e documentos *on line*, tais como Google Drive e Google Docs, além dos aplicativos para dispositivos móveis de comunicação, provocaram uma verdadeira revolução na forma como as pessoas interagem com a informação e com a informação geográfica (BATTY, 2013; GOODCHILD, 2007 a,b).

A aquisição de dados de fontes oriundas de cidadãos comuns, através de ferramentas computacionais na web 2.0, foi denominada por Goodchild (2007a) de *Volunteered Geographic Information* (VGI). Dados oriundos de VGI correspondem a dados espaciais digitais produzidos por cidadãos que divulgam as suas observações e conhecimento geográfico de modo voluntário (CAMPAGNA *et al*, 2013; GOODCHILD, 2007 a,b; SUI, 2008).

No âmbito da integração da informação voluntária em ambiente SIG, observa-se na literatura o uso dos termos Sistema de Informação Geográfica Participativo (SIGP), *Public Participation GIS* (PPGIS) e *Participatory Mapping* (BERNARD *et al.*, 2012; JANKOWSKI, 2009; MCCALL, 2003; SCHLOSSBERG; SHUFORD, 2005). Cabe ressaltar que existem diferenças na forma de participação dos cidadãos de acordo com o meio de colaboração voluntária utilizado.

Tapscott e Williams (2006) argumentam que, no meio empresarial, a aquisição de algumas informações vem sendo terceirizada para as massas (*Crowdsourcing*). Essa reengenharia de processos em relação à aquisição de informação vem causando profundas e positivas mudanças no mundo corporativo (DAVENPORT, 1994).

Através de um aparelho de comunicação móvel, que não é mais um simples telefone celular, com aplicativos que possibilitam a geolocalização, é possível fornecer informação espacial em tempo real. As redes sociais possuem dispositivos que permitem informar a localização do usuário, que por sua vez, manifesta ali seus desejos e costumes. Tudo isso proporciona às empresas um robusto banco de dados geográficos que pode ser usado para análises de geomarketing e conseqüentemente para a manutenção de uma determinada atividade econômica (TAPSCOTT; WILLIAMS, 2006).

As tecnologias associadas ao processo da VGI tem recebido cada vez mais atenção por parte da comunidade científica, que analisa a sua importância social e as suas possíveis aplicações. Concomitantemente às aplicações, as principais preocupações estão relacionadas

ao processo de interoperabilidade, como testes de hardware, software e infraestruturas de dados espaciais que suportem os serviços de VGI (MUMMIDI; KRUMM, 2008; DAVIS Jr. *et al.*, 2008).

Entretanto, o produto dessas novas tecnologias deve ser utilizado com cautela e requer dos profissionais que trabalham com dados espaciais um cuidado maior quando a origem da informação é voluntária e confeccionada por leigos fora das plataformas de mapeamento, como as ferramentas da Google (SUI, 2008).

A livre interatividade que pode fascinar os entusiastas das novas ferramentas disponíveis com o suporte da Web 2.0 é também vista com cautela por Keen (2007). Andrew Keen é um escritor norte americano, empreendedor do Vale do Silício, e fez duras críticas às consequências da Web 2.0. no livro “*The Cult of the Amateur*”. Andrew Keen foi muito criticado por defender que a wikificação⁵ da internet e a consequente transformação de “amadores em especialistas” estão acabando com nossa cultura e valores.

De acordo com Sui (2008), a wikificação chegou ao SIG através da Web 2.0 e tem sido impulsionada principalmente pela massiva colaboração voluntária entre amadores e especialistas:

“Following the conventional definition of GIS (S for systems), a GIS usually consists of four major components – hardware, software, data, and people. The wikification of GIS has clearly been manifested in all these four aspects. The four major functions of GIS – data acquisition, storage, analysis/modeling, and mapping/visualization have been increasingly performed in the wiki spirit.” (SUI, 2008, p.1).

Neste contexto, é possível citar o caso da recente estratégia do governo brasileiro em relação ao Cadastro Ambiental Rural (CAR), um importante sistema de gestão ambiental. Atualmente o CAR pode ser feito em uma plataforma via internet, na qual é possível carregar planos de informação ou mesmo fazer delimitação de áreas diretamente na rede. O sistema desenvolvido pode ser utilizado por qualquer proprietário de imóvel rural, ou por um profissional contratado. No entanto, o sistema pode ser facilmente mal utilizado, haja vista que é possível delimitar uma área sem qualquer critério de precisão cartográfica, gerando um banco de dados que não poderá ser integrado ao banco de dados espaciais do órgão que

⁵ Neologismo usado por Daniel Sui no título do artigo “*The wikification of GIS and its consequences: Or Angelina Jolie’s new tattoo and the future of GIS*” para tratar da participação popular na produção de informação geográfica.

regulamenta a delimitação de imóveis rurais, o INCRA (Instituto Nacional de Colonização e Reforma Agrária).

Todo processo inovador causa reações favoráveis e contrárias. No mundo corporativo novos processos causam tensão e medo de demissões, no meio científico/acadêmico podem causar desconfiança e indiferença (DAVENPORT, 1994).

Doravante, é de fundamental importância a utilização responsável e racional das bases tecnológicas que permitam a otimização da participação popular em processos de tomada de decisão e também na confecção de informação geográfica. A participação dos cidadãos em projetos de planejamento e gestão ambiental/territorial, tais como zoneamentos e planos diretores é condição *sine qua non* para a transparência do processo e manutenção de um eficiente instrumento de gestão.

1.4 Estruturação e apresentação da tese em formato de artigos

Os resultados desta tese serão apresentados em quatro artigos independentes, mas correlacionados entre si (FIGURA 1.6). Os artigos trazem propostas metodológicas baseadas na estrutura metodológica do Geodesign, de modo que em cada artigo observa-se uma proposta para trabalhar a lógica dos modelos de análise apresentados por Steinitz (2012).

Antes de mais nada deve-se ressaltar que o arcabouço metodológico sequencial proposto por Carl Steinitz não constitui uma estrutura fechada, pode ser aplicada em diferentes contextos e escalas de análise, o que implica em distintos e específicos procedimentos metodológicos, haja vista que cada uma das seis questões possuirão respostas singulares para diferentes áreas pesquisada.

Neste sentido, o primeiro artigo (apresentado no Capítulo 2) aborda a aplicação de conceitos e práticas de Ecologia da Paisagem na gestão da paisagem urbana. Para tanto, consideraram-se processos ecológicos, sintetizados no padrão espacial atual das manchas de vegetação, na zona urbana do município de São Gonçalo do Rio Abaixo. Foram analisados também os processos socioeconômicos, sintetizados no padrão espacial do uso e cobertura do solo na zona urbana e em todo o município.

No contexto geral da tese, o referido artigo 1 (Capítulo 2) aborda modelos de representação, modelos de processos e a avaliação desses processos. As análises realizadas foram cotejadas com o zoneamento urbano em vigência na área de estudo, o que permitiu avaliar adequabilidades e propor novas funcionalidades para as zonas urbanas.

O segundo artigo (Capítulo 3) aborda a análise e a síntese de processos geomorfológicos como critério de avaliação do potencial de uso e ocupação do solo. Para tanto, considerou-se a síntese de variáveis relacionadas aos processos de vertente, expressos na rugosidade do relevo, os padrões morfológicos, agrupados por unidades geomorfológicas, as características geotécnicas do substrato rochoso e os processos hidrodinâmicos, sintetizados pelo vigor energético das microbacias hidrográficas. O resultado da avaliação do potencial de ocupação do solo, sob a ótica de processos geomorfológicos, foi comparado e correlacionado estatisticamente com a atual configuração espacial do uso e cobertura do solo, permitindo avaliar a relação entre o padrão de formas de relevo e o tipo de uso e cobertura do solo.

No terceiro artigo (Capítulo 4) são apresentados modelos de avaliação, sendo um desenvolvido para avaliar processos que potencializam o fenômeno da expansão urbana, e outro para avaliar processos ambientais relacionados à necessidade de preservação ambiental. Neste artigo, empregou-se uma avaliação multicriterial participativa, adaptando o método Delphi de consulta a especialistas, que neste caso foi direcionado para profissionais que, além de conhecerem os processos avaliados, são também atores sociais na área de estudo. Foram empregadas ainda análises de incerteza e sensibilidade, para avaliar o quanto as respostas obtidas nas avaliações de potencial de expansão urbana e de necessidade de preservação ambiental são defensáveis e consistentes. Isto significa avaliar a robustez dos modelos de avaliação empregados.

No quarto artigo (Capítulo 5) foi estruturado um modelo de mudança, baseado em dados históricos e em novos projetos aprovados e na área de estudo. Para analisar as mudanças utilizou-se imagens do sensor Landsat e como plataforma de modelagem o modelo *Land Change Modeler (LCM-IDRISI)*, no qual a estimativa da quantidade de mudança baseia-se em Cadeias de Markov, e o cálculo da influência dos determinantes espaciais na alocação espacial das mudanças é feito por Redes Neurais Artificiais. Neste artigo também foi desenvolvido um modelo de avaliação de impactos, sob a ótica da análise de conflitos de interesses e conseqüentemente do potencial de impactos ambientais.

Cada artigo trouxe uma proposta prática para responder a cada uma das questões norteadoras do processo de análise baseado em Geodesign. A questão número seis, referente aos modelos de decisão, não foi abordada em termos práticos, ou seja, os resultados não foram levados à comunidade local para uma avaliação pública.

Não foi objetivo desta pesquisa a aplicação ou o desenvolvimento de metodologias de tomada de decisão, a exemplo do processo de decisão apoiado por consulta pública, visando a participação direta dos atores sociais na alocação de mudanças e na decisão sobre aplicação de políticas públicas (ver Capítulo 1.3.4). Entretanto ressalta-se a participação dos atores sociais locais no âmbito dos modelos de avaliação (capítulo 4).

Ressalta-se ainda que os resultados alcançados, além de atenderem aos objetivos da pesquisa e possibilitarem a manutenção das hipóteses aqui levantadas, constituem elementos para alimentar futuras pesquisas com foco no desenvolvimento de modelos de decisão, o que possibilitaria a remodelação das análises aqui realizadas, dando origem a outros estudos.

O fluxograma que apresenta a estrutura metodológica da tese, apresentado na figura 1.6, foi detalhado em cada um dos quatro artigos apresentados na sequência.

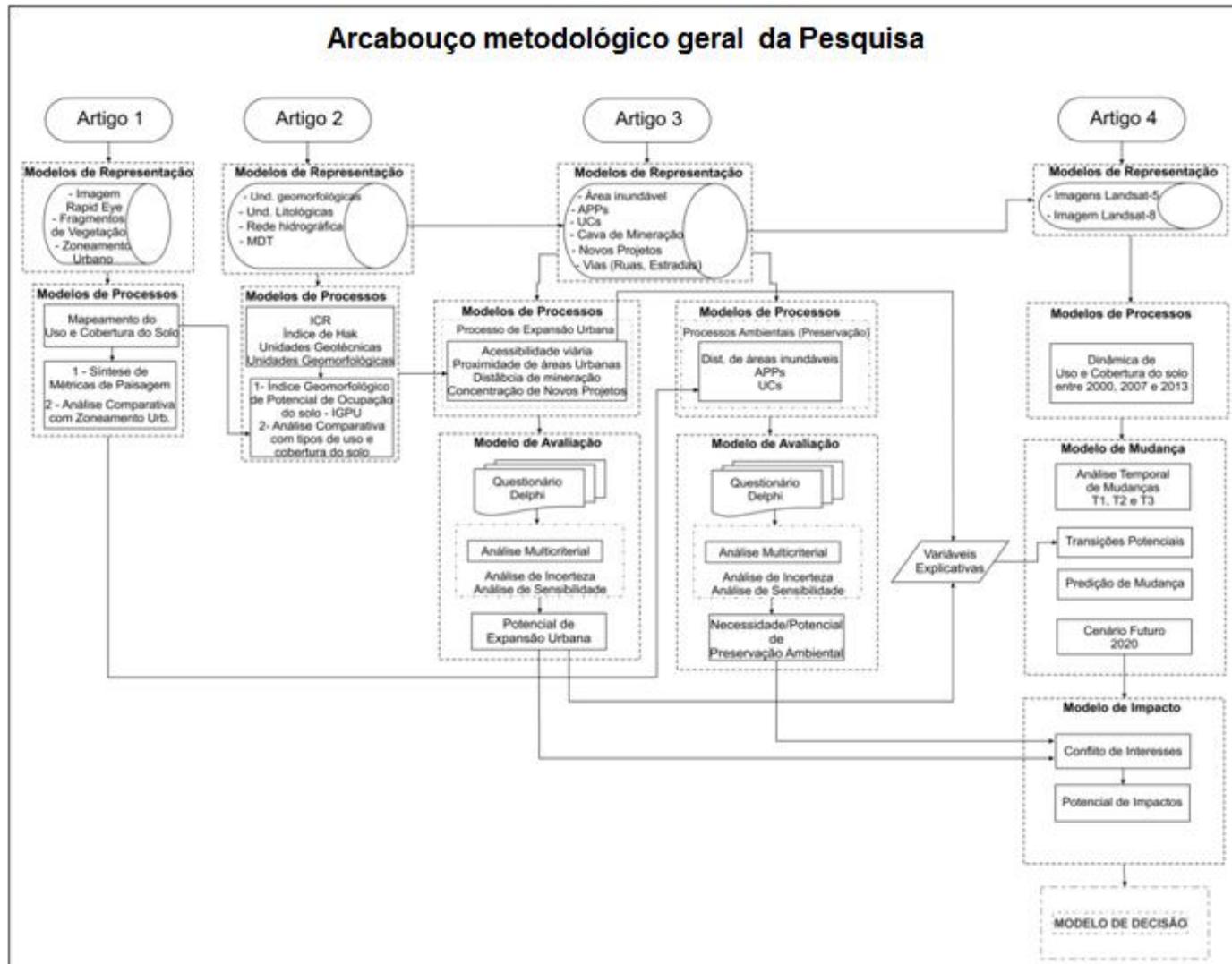


FIGURA 1.6 - Arcabouço metodológico geral da pesquisa relacionando os quatro artigos com o *framework* do Geodesign

1.5 Referências Bibliográficas

AB' SABER, A. N. **Bases Conceituais e papel do conhecimento na Previsão de Impactos**. In: MULLER PLANTENBERG, C. e AB' SABER, A. N. (Orgs). Previsão de Impactos. Sao Paulo, Edusp, 1998.

ÁVILA, J.; MONTE-MÓR, R. DE M. Urbanização e Impactos Ambientais: uma análise da relação entre as características dos espaços urbanos ea poluição hídrica na região do médio Rio Doce. **Anais do VII Encontro da Sociedade...** v. 1, p. 21, 2007. Disponível em:<http://www.ecoeco.org.br/conteudo/publicacoes/encontros/vii_en/mesa3/trabalhos/urbanizacao_e_impactos_ambientais.pdf>. Acesso em: 30 ago. 2013.

BARBIERI, A. F. **Plano Regional Estratégico em Torno de Grandes Projetos Minerários no Médio Espinhaço**. Belo Horizonte: CEDEPLAR - UFMG. Disponível em: <<http://www.urbano.mg.gov.br/municipios/desenvolvimento-regional/950>>. , 2013

BATTY, Michael. Defining geodesign (= GIS + design ?). **Environment and Planning B: Planning and Design** v. 40, n. 1, p. 1–2 , 2013. Disponível em: <<http://www.envplan.com/abstract.cgi?id=b4001ed>>. Acesso em: 21 urr. 2014.

BERTALANFFY, L.V. **Teoria geral dos sistemas**. 2 ed. Rio de Janeiro: Ed. Vozes Ltda. 1975. 378 p.

BERNARD, E.; BARBOSA,L. CARVALHO, R. **Unidades de Conservação na Amazônia Brasileira: Exemplos de Adoção de Sistemas de Informações Geográficas Participativos (SIGPs)**. In: PAESE, A.; UEZU, A.; LORINI, M.L.; CUNHA, A., A.; STRAUSS, R. (Orgs). Conservação da Biodiversidade com SIG. São Paulo: Oficina de Textos, 2012. p. 91-106.

BOHRER, C. B. A & DUTRA, L. E. D. **A Diversidade Biológica e o Ordenamento Territorial Brasileiro**. In: Almeida, F.G. & Soares, L.A. (orgs.). Ordenamento Territorial: coletânea de textos com diferentes abordagens no contexto brasileiro. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil. 288p. 2009. p.115-155

CÂMARA, G.; DAVIS, C. **Introdução: por que geoprocessamento?** In: Instituto Nacional de Pesquisas Especiais – INPE. Fundamentos de Geoprocessamento. São José dos Campos ,2001 .p.1-5 .Disponívelem:<<http://mtecm12.sid.inpe.br/col/sid.inpe.br/sergio/2004/04.19.13.48/doc/cap1-introducao.pdf>>. Acesso em: jul 2013.

CÂMARA, Gilberto; MEDEIROS, J.S.; MONTEIRO, A.M.V. **Fundamentos Epistemológicos da Ciência da Geoinformação**. In: CÂMARA, G.; DAVIS, C.; MONTEIRO, A.M.V. (Ed.). Introdução à Ciência da Geoinformação. São José dos Campos: INPE, 2001. Disponível em: <http://www.dpi.inpe.br/gilberto/livro/introd/cap5-epistemologia.pdf> . Acesso em: 29 mar.2015.

CAPRA, F. **A teia da vida: uma nova compreensão científica dos sistemas vivos**. São Paulo, SP: Cultrix, 1996

CAPRA, Fritjof. **O Ponto de Mutação: A Ciência, a Sociedade e a Cultura Emergente**. 25ª ed. São Paulo: Cultrix, 1982, 447 p.

CAMPAGNA, M. Geodesign, sistemi di supporto al piano e metapianificazione. **DISEGNARECON**, v. 6, n. 11, p. 133–140, 2013. Disponível em: <<http://disegnarecon.unibo.it/article/view/3407/3059>>.

CARDOSO, R. **Uma introdução à história do design**. São Paulo: Edgard Blücher, 2008.

CERVO, A. L.; BERVIAN, P. A. **Metodologia científica: para uso dos estudantes universitários**. 2. ed. São Paulo: McGraw-Hill do Brasil, 1978. 144 p.

CHORLEY, R. J.; KENNEDY, B. A. **Physical geography: a systems approach**. Englewood Cliffs: Prentice Hall, 1971.

CHRISTOFOLETTI, A. **Modelagem de sistemas ambientais**. São Paulo: Edgard Blücher, 1999, 186p.

COLETTI, R. N. The Civil Society Participation in Instruments of the Brazilian Environmental Policy. **Desenvolvimento e Meio Ambiente**, v. 25, p. 39–51, 2012.

COSTA, M. S. H. **Da produção da cidade moderna sob a grande indústria à diversificação do meio-ambiente urbano**. 324f. Tese de Doutorado. Centro de Desenvolvimento e Planejamento Regional, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 1995.

DAVIS JR, C.; FONSECA, F.T.; CÂMARA, G. Infraestruturas de Dados Espaciais na Integração entre Ciência e Comunidades para Promover a Sustentabilidade Ambiental. 2008, Rio de Janeiro: [s.n.], 2008. p. 1–11.

CUNHA, A. G. da. **Dicionário Etimológico da Língua Portuguesa**. 3ª edição, 2ª impressão. Rio de Janeiro: Lexikon Editora Digital, 2010.

DAVENPORT, Thomas H. **Reengenharia de Processos: Como Inovar na Empresa Através da Tecnologia da Informação**. 5. ed, Rio de Janeiro, Campus, 1994.

ERVIN, S. A System for Geodesign. In Digital Landscape Architecture Conference. **Anais...** Dessau: Anhalt University, 2011. p.1–14. Disponível em: <<http://www.gsd.harvard.edu/images/content/5/3/536223/A-System-forGeodesign.pdf>>.

FEAM. **Mapa de solos do Estado de Minas Gerais**. Belo Horizonte, Fundação Estadual do Meio Ambiente, 2010. 49p. Disponível em: <<http://www.feam.br/noticias/1/949-mapas-de-solo-do-estado-de-minas-gerais>> Acesso em: 22 de Maio. de 2013.

FLUSSER, V. **O mundo codificado: por uma filosofia do design e da comunicação**. In: Rafael Cardoso (org). In Tradução: Raquel Abi-Sâmara. São Paulo: Cosac Naify, 2007.

FONSECA, G. A. B. The vanishing Brazilian Atlantic Forest. **Biological Conservation**. v.34, n.1, p.17-340. 1985

FONSECA, M. T. **A estrutura da comunidade de pequenos mamíferos em um fragmento de Mata Atlântica e monocultura de eucalipto: a importância da matriz de hábitat.** 1997. 123f. Dissertação de Mestrado (Mestrado em Ecologia) UFMG/ICB, Belo Horizonte, 1997.

FUNDAÇÃO VALE. **Programa Vale Mais – São Gonçalo do Rio Abaixo: Plano de Desenvolvimento Sustentável - 2006-2026**, Rio de Janeiro: Agência 21, 2006. 144p.

GOODCHILD, M. F. Citizens as sensors: The world of volunteered geography. **GeoJournal**, n. 69, p. 211–21, 2007.

GOODCHILD, M. F. Editorial : Citizens as Voluntary Sensors : Spatial Data Infrastructure in the World of Web 2 . 0. **International Journal of Spatial Data Infrastructures Research**, v. 2, p. 24–32, 2007.

GOODCHILD, MICHAEL F; PH, D. Towards Geodesign : Repurposing Cartography and GIS? **Cartographic Perspectives**, n. 66, p. 55–69, 2010. Disponível em: <<http://cartographicperspectives.org/carto/index.php/journal/article/view/cp66-goodchild>>.

GOODWIN, P.; WRIGHT, G. **Decision analysis for management judgement**. New York: Wiley, 1991.

HUGGETT, R. **Systems analysis in Geography**. New York: Oxford University, 1980.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Cidades@. 2013. Disponível em: <<http://www.ibge.gov.br/cidadesat/topwindow.htm?1>>. Acesso 23. Jul. 2013.

JANKOWSKI, P. Towards participatory geographic information systems for community-based environmental decision making. **Journal of Environmental Management**, v. 90, n. 6, p. 1966–1971, 2009. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.jenvman.2007.08.028>>.

LAWSON, Bryan. 2011. **Como Arquitetos e Designers Pensam**. São Paulo: Editora: Oficina de Textos.

KEEN, A. **The cult of the amateur: How today's Internet is killing our culture**. 1st ed. New York: Doubleday/Currency, 2007.

LIGMANN-ZIELINSKA, A.; JANKOWSKI, P.; WATKINS, J. Spatial Uncertainty and Sensitivity Analysis for Multiple Criteria Land Suitability Evaluation. p. 2–5, 2012. Disponível em: <http://www.giscience.org/past/2012/proceedings/abstracts/giscience2012_paper_134.pdf>

LIGMANN-ZIELINSKA, A., JANKOWSKI, P. A Framework for Sensitivity Analysis in Spatial Multiple Criteria Evaluation. Lecture Notes in Computer Science No. 5266, Eds. T.J., COVA, H.J. MILLER, K. BEARD, A.U. Frank. **Anais...Proceedings of 5th International Conference GIScience**. Park City, Utah, USA, September 2008, Springer Verlag, Berlin-Heidelberg, 2008. p.217-233.

LANG, S.; BLASCHKE, T. **Análise da paisagem com SIG**. Tradução: Hermann Kux, São Paulo: Oficina de Textos, 2009, 424p.

LUME. **Relatório de Impacto Ambiental: Projeto de Expansão Oeste da Cava da Mina de Brucutu**. Belo Horizonte: Lume Estratégia Ambiental, 2013. 144p.

MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO. **Educação Profissional: Referências Curriculares Nacionais da Educação Profissional de Nível Técnico**. Brasília: ed MEC, 2000. 32p

MCCALL, M. K. Seeking good governance in participatory-GIS : a review of processes and governance dimensions in applying GIS to participatory spatial planning. **Habitat International**, v. 27, n. 4, p. 549–573, 2003. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0197397503000055>>.

MILLER, William R. **Introducing Geodesign : The Concept Director of Geodesign Services**. Redlands: ESRI PRESS, 2012. 36p.

MITTERMEIER, R. A., Coimbra-Filho, A. F., Constable, I. D., Rylands, A. B. & Valle, C. Conservation of primates in the Atlantic Forest region of Eastern Brazil. **International Zoo Yearbook**, 22: 2-17. 1982.

MCHARG, I. **Design with Nature**. New York: Natural History Press, 1969: 197p.

MONTE-MÓR, Roberto Luís de Melo *et al.* **Ocupação do Território e Estrutura Urbana**. In: PAULA, João Antônio de. (Coord.) Biodiversidade, População e Economia: uma região de Mata Atlântica. Belo Horizonte: UFMG/Cedeplar, 1997. p.91-154

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

MOURA, M. (Org.). **Faces do Design 2: ensaios sobre a arte, cultura visual, design gráfico e novas mídias**. São Paulo: Rosari, 2009.

MUMMIDI, L.; KRUMM, J. Discovering points of interest from users' map annotations. **GeoJournal**, v. 72, n. 3-4, p. 215–227, 7 ago. 2008. Disponível em: <<http://link.springer.com/10.1007/s10708-008-9181-5>>.

NORBERT-SCHULZ, Christian. **Genius Loci: Towards a Phenomenology of Architecture**. New York: Rizzoli, 1980.

NUCCI, J. C. Origem e Desenvolvimento da Ecologia e da ecologia da Paisagem. **Revista Eletrônica Geografar**, v. 2, p. 77–99, 2007. Disponível em: <<http://ojs.c3sl.ufpr.br/ojs2/index.php/geografar/article/view/7722/5896>>.

OLIVEIRA, S. N. DE *et al.* Implicação para o Ecoturismo no Parque Nacional da Serra dos Órgãos , Rio de Janeiro. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, v. 1, n. 8, p. 87–107, 2007. Disponível em: <http://www.ugb.org.br/home/artigos/RBG_8_1/7_RBG_F.pdf>.

PAULA, João Antônio de *et al.* **Fundamentos Históricos e Metodológicos da Questão Ambiental.** In: PAULA, João Antônio de. (Coord.) Biodiversidade, População e Economia: uma região de Mata Atlântica. Belo Horizonte: UFMG/Cedeplar, 1997. p.201-256.

PIPPI, L. G. A., AFONSO, S. Os Parques Ecológicos e a Aplicação De Metodologias Paisagísticas e Ambientais na Gestão Urbana das Regiões Litorâneas: O Caso do Campeche, SC, Brasil. In: CLACS'04 ENTAC 04 - *I Conferência Latinoamericana de Construção Sustentável e 10º Encontro Brasileiro de Tecnologia do Ambiente Construído*, São Paulo - FAUUSP, 2004.

SANTANA, S.A.; MOURA, A. C. M. From Authorial Drawings To The Parametric Modeling of Territorial Occupation: Representation And Modeling Influences in The Process of Designing the Urban Space. **Revista Brasileira de Cartografia** v. 66 v. p. 1451-1463, 2013.

SANTOS, Milton. **A natureza do espaço:técnica e tempo/razão e emoção.** São Paulo: HUCITEC, 1996. 308 p.

SÁNCHEZ. L.E. **Avaliação de Impacto Ambiental: Conceitos e Métodos.** Oficina de Textos. São Paulo, 2008.

SANCHEZ, Roberto O.; SILVA, Teresa Cardoso da. Zoneamento ambiental: uma estratégia de ordenamento da paisagem. **Cadernos de Geociências** nº 14, Abril/Junho, 1995. p. 47-53.

SÃO GONÇALO DO RIO ABAIXO. Perfil. São Gonçalo do Rio Abaixo: Prefeitura Municipal. *Portal oficial na internet.* 2013. Disponível em: <<http://www.saogoncalo.mg.gov.br/>>. Acesso em 23 jul. 2013.

SCHLOSSBERG, M.; SHUFORD, E. Delineating “ Public ” and “ Participation ” in PPGIS. **URISA Journal**, v. 16, n. 2, p. 15–26, 2005. Disponível em: <<https://scholarsbank.uoregon.edu/xmlui/bitstream/handle/1794/1343/2Schlossberg.pdf?sequence=1>>.

SCHNEIDER, B. **Design – Uma Introdução: O Design no contexto social, cultural e econômico.** São Paulo: Blücher, 2010.

SOTCHAVA, V. B. **O Estudo de Geossistemas: Métodos em Questão**, São Paulo, n. 16, 1977, 51p.

SOUZA, Maria do Rosário Guimarães. **Da Paciência à Resistência: Conflitos entre Atores Sociais, Espaço Urbano e Espaço de Mineração.** São Paulo: HUCITEC, 2007. 174 p.

STEINITZ C. **A Framework for Geodesign: Changing Geography by Design.** 1. ed. Redlands, CA: ESRI Press, 2012. 360p.

STEINITZ, Carl *et al.* A Sustainable Path? Deciding the Future of La Paz. **Environment: Science and Policy for Sustainable Development** v. 47, p. 24–38 , 2005.

STORE, R.; KANGAS, J. Spatial multi-criteria evaluation and expert knowledge for GIS-based habitat suitability modelling. **Landscape and Urban Planning**, n. 55, p. 79–93, 2001.

SUI, D. Z. The wikification of GIS and its consequences: Or Angelina Jolie's new tattoo and the future of GIS. **Computers, Environment and Urban Systems**, v. 32, n. 1, p. 81–93, 2008.

TANSLEY, A. G. The Use and Abuse of Vegetation Concepts and Terms. **Ecology**, v. 16, n. 3, p. 284–307, 1935. Disponível em: <http://isites.harvard.edu/fs/docs/icb.topic97823.files/III/October_30/tansley_-_use_and_abuse.pdf>.

TAPSCOTT, D.; WILLIAMS, A. **Wikinomics: how mass collaboration changes everything**, Portfolio, New York, NY, 2006.

TOMLIN, C. D. Speaking of Geodesign. 2011, Bernburg: [s.n.], 2011. p. 180-188. Disponível em: <http://www.kolleg.loel.hsanhalt.de/landschaftsinformatik/fileadmin/user_upload/_temp_/2011/Proceedings/304_TOMLIN_2011May10.pdf>.

XAVIER-DA-SILVA, J. **Geoprocessamento para a análise ambiental**. Rio de Janeiro: D5 Produção Gráfica, 2001. Disponível em: <<http://www.lageop.ufrj.br/>>. Acesso: 02 jul. 2013.

2. ARTIGO 1 - APLICANDO CONCEITOS E MÉTODOS DE ECOLOGIA DA PAISAGEM NA GESTÃO DA PAISAGEM URBANA

RESUMO

Os Estudos recentes de Ecologia da Paisagem têm se tornado muito úteis para a identificação de áreas de interesse de preservação da cobertura vegetal, assim como para a caracterização da qualidade dos fragmentos de vegetação. Contudo, ainda se aplica pouco essa lógica de análise em estudos urbanos. A Ecologia da paisagem se propõe a analisar a estrutura, mudança e função dos fragmentos de vegetação que compõem o ambiente estudado. Para realizar essas análises a cobertura vegetal é decodificada espacialmente em matriz (tipologia de uso que predomina na paisagem), manchas (fragmentos de vegetação dispersos na matriz) e os corredores (eixos que promovem a ligação da biodiversidade). O emprego desta lógica em planejamento urbano pode favorecer a hierarquização dos fragmentos de cobertura vegetal de modo a identificar os de maior importância na promoção de corredores ecológicos urbanos. Essa hierarquização é base para a definição de zoneamentos, planos diretores e diretrizes que estabelecem os níveis e o modo de ocupação dos setores da cidade. Para comprovação do potencial dessa lógica e desse processo metodológico de emprego de métricas de paisagem apresentamos o estudo de São Gonçalo do Rio Abaixo, município em profunda transformação estimulada pelo desenvolvimento da exploração mineral de minério de ferro no quadrilátero ferrífero, Minas Gerais, Brasil. O processo metodológico foi dividido em três etapas: 1 - classificação de imagens de satélite (RapidEye, ano 2013) para o mapeamento de uso e cobertura do solo; 2 - aplicação de métricas de paisagem (área, perímetro, distância ao vizinho mais próximo, área central, índice de forma e NRVI); 3 - A integração de métricas usando análise multicritério (AMC). A caracterização e classificação dos fragmentos de vegetação permitiram identificar suas vocações relacionados com o uso: atividades urbanas (parques e recreação); proteção da paisagem (qualidade bioclimática e beleza cênica); e proteção ambiental, visando a manutenção da biodiversidade. As áreas selecionadas podem compor propostas de políticas públicas de regulação urbanas que promovam a manutenção e conexão da cobertura vegetal, considerando não apenas as áreas verdes institucionais (parques, áreas protegidas e unidades de conservação), mas também propor normas e políticas

especiais para incluir propriedades particulares, entendendo a cobertura vegetal como uma rede sistêmica.

Palavras Chave: Ecologia da Paisagem; Métricas de Paisagem; Análise Espacial; Planejamento Urbano

ABSTRACT

Recent studies about Landscape Ecology have become very useful to identify areas with potential for preservation, as well to characterize the quality of fragments of vegetation. However, this analysis logic is rarely used in the management of the urban landscape. The Landscape Ecology aims to analyze the structure, changes and functions of vegetation fragments that characterize the studied environment. To perform these analyzes the land cover is spatially decoded as matrix (which prevails in the landscape), patches (fragments dispersed in the matrix, the smaller individual elements observable in the landscape) and corridors (axes that promote the flow of species and consequently the maintenance of biodiversity). The use of this logic in urban planning allows the hierarchical classification of vegetation fragments, in order to identify the most important in the promotion of urban ecological corridors. This ranking is the basis for definition of zoning in master plans, establishing levels of occupation and protection in city zones. To prove the potential of this approach of landscape metrics, the city of São Gonçalo do Rio Abaixo was chosen as case study, because it is in profound transformation, stimulated by the development of iron mining exploration, in the Quadrilátero Ferrífero Region (QF), Minas Gerais State, Brazil. The methodological process employed was divided into three stages: 1 - satellite image classification (RapidEye, year 2013) for the mapping of land use and land cover; 2 - application of landscape metrics in land cover mapping in vector format (area, perimeter, distance to nearest neighbor, core area and e shape index); 3 - integration of metrics using multi-criteria analysis (MCA) in order to classify the vegetation fragments by the level of environmental importance. The classification of each fragment is presented as a results, indicating those that must be defined as full-preservation, those that must be considered for sustainable use, and the fragments that should be target of restoration strategies, like plant recovery, as they have strategic role and position in the system. The fragments with larger core area, with rounded morphology, and near to other fragments to form an interconnected network were selected as the most import in the system, but others were identified as important components in the system. The characterization and ranking of fragments allowed to identify their vocations related with the use: urban activities (parks and recreation); landscape protection (bio-climatic quality and scenic beauty); and environmental protection, because of interests in maintaining biodiversity. The selected areas can compose proposals for public and urban regulatory policies that promote the maintenance

and connection of the vegetation cover, considering not only those official areas for vegetation cover (parks, protected areas and conservation units), but also propose special rules and policies to include private properties in the studies, to stimulated the protection of backyards with forest fragments, as vegetation cover must be understand as a systemic network.

Keywords: Landscape Ecology; Landscape Metrics; Spatial Analysis; Urban landscape

2.1 Introdução

A paisagem urbana sempre foi uma forma de retratar valores coletivos do modo de coabitação em um território, produzindo identidade e vínculo com o “espaço”, que se hierarquiza no sentido de “lugar” (TUAN, 1983). Com o vertiginoso crescimento da ocupação urbana e de uma sociedade que tem no urbano a sua principal forma de habitar, deixando o território não-urbano apenas como o local da produção, cabe avaliar a rapidez de transformação e a falta de expressão da construção da cidade, sobretudo da redução dos valores associados à presença da cobertura vegetal.

No que diz respeito ao papel da cobertura vegetal nas cidades, observa-se no Brasil uma significativa perda deste valor cultural e ambiental. Há perda ambiental, que reflete nas mudanças de temperatura, umidade e na biodiversidade nos conjuntos urbanos; mas é necessário entender que há perda, também, de valores culturais. A perda de valores culturais está relacionada à mudança da essência do lugar, do “*genius loci*” das cidades, segundo o conceito definido por Norbert-Schulz (1980), e mais especificamente das cidades no território de Minas Gerais, área de investigação do presente estudo. Isto porque a paisagem das cidades da região sempre foi caracterizada pela equilibrada justaposição de cobertura vegetal com a ocupação antrópica. Para apresentar uma imagem do que seria a essência da morfologia de ocupação das cidades iniciais da região, deve-se apresentar um retrato de edificações justapostas à vegetação, presente em longos quintais. (FIGURA 2.1a).



FIGURA 2. 1 - (a) Cidades iniciais em Minas Gerais. (b) Adensamento urbano, cidades atuais

O que se observa, hoje, no crescimento, adensamento e gestão da paisagem urbana brasileira, é o interesse em definir apenas a volumetria das ocupações por lotes, a partir de parâmetros de afastamentos, taxa de ocupação, coeficiente de aproveitamento, e, em algumas

cidades, a taxa de permeabilidade por lote. O foco é na ocupação permitida, e não da proteção a ser realizada. O resultado são cidades adensadas e muito verticalizadas. (FIGURA 2.1b). A taxa de permeabilidade, um dos parâmetros aplicados, não significa exatamente cobertura vegetal, pois a área pode como cobertura do solo pavimentações intertravadas vazadas ou vegetação rasteira. Não existe uma política de incentivo à cobertura vegetal arbórea na escala de lotes.

Os espaços verdes podem ter diferentes funções no espaço urbano. Eles cumprem a função de manutenção da qualidade estética e atenuam o sentimento de opressão em relação às grandes edificações. Eles criam possibilidades de socialização e lazer por parte da população. Há também aqueles espaços que não necessariamente devem ter uso direto pela população, mas cumprem funções de proteção da biodiversidade, proteção contra problemas geotécnicos, áreas para recarga de aquíferos e para proteção de mananciais. E há aqueles que têm como função o equilíbrio ambiental relacionado ao clima, umidade do ambiente, qualidade do ar e controle acústico (LOBODA e ANGELIS, 2005; SIRKIS, 2008).

De acordo com Falcón (2007) os conceitos relacionados ao planejamento de espaços verdes foram oficialmente incorporados ao planejamento urbano a partir da conferência “*Man and Biosphere*” (MAB) da UNESCO, realizada em 1988 em Barcelona. Neste congresso foram definidos princípios básicos para o planejamento do “verde urbano” para uma cidade sustentável.

Magalhães (2013) defende que a caracterização dos fragmentos de cobertura vegetal segundo forma, qualidade e posição em relação aos demais fragmentos é um importante passo para o adequado planejamento do papel da cobertura vegetal urbana. O autor defende que sejam estudados, para cada fragmento, as condições de qualidade ambiental, funcional e estética. A partir desta caracterização podem ser destinados os usos de proteção da biodiversidade, áreas de lazer e socialização, efeito estético, qualidade ambiental (ruído, temperatura, qualidade do ar, umidade) e segurança (proteção de áreas de risco geotécnico ou proteção de recursos hídricos).

O reconhecimento da distribuição da cobertura vegetal, da qualidade e das características da morfologia dessa vegetação, e as mensurações de forma, dimensões e distância entre ocorrências de cobertura vegetal são favorecidos pelo emprego das geotecnologias. As geotecnologias são compostas por coleta e tratamento da informação, armazenamento da informação, e produção de análise espacial. É um conjunto de métodos e

técnicas que promovem um significativo progresso na representação e análise geográfica (MOURA, 2005). No estudo de caso da cobertura vegetal destacam-se os processos de classificação de imagens de satélite; a estruturação de sistemas de informações geográficas (SIG) de fragmentos florestais, aos quais são associados atributos em tabelas alfanuméricas; e a aplicação de modelos de análise espacial.

O conjunto de geotecnologias configura um complexo potencial de emprego de softwares, métodos e modelos. Diante das muitas possibilidades que são apresentadas a um pesquisador, o ponto chave é uma adequada escolha metodológica, em virtude dos objetivos a serem alcançados, considerando as peculiaridades da área de estudo. O planejamento de processos a serem empregados é fundamental, posto que um labirinto de possibilidades se abrem para o pesquisador. É importante tornar claras as etapas para os agentes envolvidos, dar ampla visualização aos diferentes usuários e, com isto, cooptar o interesse em participação.

Steinitz (2012) propôs a estruturação de um processo para potencializar o construção de gestão territorial: um *framework*, termo que em português poderia ser traduzido como um arcabouço ou estrutura metodológica, para colocar em prática o conceito de Geodesign, publicado em “*A Framework for Geodesign: Changing Geography by Design*”. O *framework* do Geodesign é composta por seis etapas que podem ser traduzidas por modelos destinados à caracterização, análise, simulação e proposição de intervenção na paisagem, em interações e iterações de decisões que visam permitir a compreensão e participação de diferentes atores da questão urbana. O processo do Geodesign visa fazer do planejador um decodificador da vontade coletiva, uma vez que os estudos ambientais devem resultar em análises que tenham a pregnância com o lugar. Geo+Design = "Projetar" “para” e “com” o território.

Neste contexto, o presente trabalho tem como objetivo a aplicação de métricas de paisagem na caracterização e avaliação dos fragmentos florestais urbanos e periurbanos do município de São Gonçalo do Rio Abaixo, visando identificar aptidões relacionadas ao uso: atividades sociais (parques e recreação); proteção da paisagem (qualidade bioclimática e beleza cênica); proteção ambiental (manutenção da biodiversidade); e segurança (controle de riscos geotécnicos e proteção de mananciais). Objetiva-se também a comparação das análises de aptidão dos fragmentos florestais com a funcionalidade das zonas urbanas estabelecidas pelo plano diretor municipal.

2.2 Geodesign e Ecologia da Paisagem no Planejamento Urbano

O Geodesign visa à ocupação contextualizada do ambiente, respeitando condicionantes naturais e culturais. Em síntese, é projetar com o território e para o território (STEINITZ, 2012).

Enquanto conceito, o objetivo do Geodesign é a integração sustentável das atividades antrópicas com o ambiente natural, respeitando as peculiaridades culturais e possibilitando um processo de tomada de decisão de forma democrática (GOODCHILD, 2010; MILLER, 2012; STEINITZ, 2012; BATTY, 2013). Enquanto prática observa-se uma estrutura metodológica sistemática de planejamento territorial baseada em ferramentas de SIG e em novas ferramentas específicas, que estão sendo desenvolvidas pelos pesquisadores do assunto (ERVIN, 2011).

Em 1938, o geógrafo Carl Troll introduziu o conceito de Ecologia da Paisagem na terminologia científica, por meio do artigo *Landschaftökologie*, sendo o termo oriundo de seus estudos acerca da interpretação de fotografias aéreas na investigação do espaço geográfico (TROLL, 1939). Segundo Troll (1968) a imagem aérea por si só é capaz de permitir a observação de diversas condições de um lugar, fornecendo uma ampla imagem da associação entre as plantas, as unidades geomorfológicas, a rede hídrica, a localização de centros urbanos, entre outros, com a qual podemos inferir sobre determinadas relações entre os fatores paisagísticos, que deverão posteriormente, ser mais bem esclarecidas mediante o reconhecimento terrestre. A Ecologia da Paisagem é uma disciplina que vem gerando conhecimento para ações mais efetivas de planejamento ambiental e urbano, visto que seu principal enfoque é o estudo das inter-relações entre os aspectos bióticos e abióticos em paisagens heterogêneas, observando a interferência antrópica.

Segundo definição de Forman e Godron (1986) o desenvolvimento ou formação da paisagem é resultado da interação entre a estrutura, função e mudança nos ecossistemas heterogêneos. A Estrutura da paisagem se traduz em sua formatação no espaço, ou seja, são os padrões espaciais formados na superfície terrestre. Desta forma entende-se que a estrutura espacial caracteriza a distribuição, forma e quantidade de habitats numa paisagem. A Função da paisagem é vista como as interações ou fluxos entre os habitats e as espécies presentes nos ecossistemas e a Mudança é entendida como a alteração na função e na estrutura do conjunto de habitats distribuídos no espaço ao longo do tempo.

De acordo com os conceitos de Forman e Godron (1986) a paisagem possui uma estrutura formada por três elementos, sendo eles a matriz, a mancha e o corredor, sendo que o estudo da relação espacial entre estes elementos constitui um tema central de pesquisa na Ecologia da Paisagem.

A matriz é a cobertura com maior extensão na paisagem e é a que possui a mais alta conectividade, desempenhando um papel de dominância no funcionamento da paisagem (FORMAN e GODRON, 1986). A mancha consiste em uma área (polígono) não linear, que difere do tipo de cobertura circunvizinha em natureza ou aparência, estando incrustadas na matriz, ou seja, a mancha seria uma área com tipologia diferente da cobertura mais extensa, como por exemplo, um fragmento florestal (mancha) em meio a uma área predominantemente urbana ou de pastagem (matriz). As manchas podem variar em forma, tipo, tamanho, heterogeneidade e características de borda (FORMAN e GODRON, 1986). Os corredores são faixas que ligam duas ou mais manchas de habitat. Possuem o formato de estruturas lineares, homogêneas, diferindo do seu entorno.

Segundo Lang e Blaschke (2009) para a avaliação analítica da estrutura da paisagem, desenvolveu-se um conjunto de métodos designado de medidas da estrutura da paisagem, que orientam os seus procedimentos metodológicos em direção à tendência científica prospectiva e com grande orientação quantitativa. De acordo com Metzger (2001) os mapas de categorias de uso e cobertura do solo representam fonte de dados para a quantificação da estrutura da paisagem a partir de métricas de paisagem, possibilitando assim, a investigação ecológica por meio de padrões espaciais. A aplicação de análises por meio de métricas de paisagem podem ser realizadas em pelo menos três níveis escalares, a saber: a escala de uma mancha individual (um único fragmento florestal, por exemplo); a escala de uma classe inteira de manchas de mesma categoria (todas as manchas de campo rupestre, por exemplo) e a escala da paisagem como um todo (análises direcionadas para as interações entre as diferentes categorias de manchas mapeadas).

2.3 Materiais e Métodos

O crescimento acelerado das atividades humanas, principalmente ao longo dos dois últimos séculos, tem afetado áreas anteriormente ocupadas por florestas e descaracterizado as paisagens naturais. Atualmente observa-se um intenso processo de substituição de paisagens

naturais em paisagens culturais, em um processo nem sempre harmonioso entre a ação humana e a natureza (SAUER, 1925).

Neste contexto encontra-se o município de São Gonçalo do Rio Abaixo, localizado na província mineral do Quadrilátero Ferrífero, região central do Estado de Minas Gerais, sudeste do Brasil, que possui grandes reservas de *commodities* minerais, sobretudo de minério de ferro e ouro, de grande importância para a economia brasileira. Portanto, o grande desafio é gerenciar o desenvolvimento econômico, seus reflexos no processo de expansão urbana e a necessidade de preservação ambiental.

2.3.1 Caracterização do Área de Estudo

O território de São Gonçalo do Rio Abaixo (FIGURA 2.2) teve como vetor de ocupação a procura por terras férteis para a prática da agricultura às margens do Rio Una, em decorrência da grande carência edáfica na região das minas de Ouro Preto e Mariana, bem como a procura de ouro no Rio Santa Bárbara. Com a fixação dos bandeirantes no início do século XVIII, surge o povoado do Rio Abaixo, às margens do Rio Santa Bárbara (SÃO GONÇALO DO RIO ABAIXO, 2013; IBGE, 2013).

Alguns fatores externos ao município exerceram influência sobre sua dinâmica econômica local e regional no início do século XX. A transferência da capital para Belo Horizonte, a construção da Estrada de Ferro Vitória-Minas (EFVM), a construção da MG 129, ligando Itabira a Mariana, e da BR – 381/262 em 1956 provocaram alterações na infraestrutura, na dinâmica socioeconômica e na paisagem do município (MONTE-MÓR *et al*, 1997; ÁVILA e MONTE-MÓR, 2007). Diversos serviços urbanos passam a ser prestados, destaque para a eletricidade, com a construção da Central Hidroelétrica de Peti, e os serviços postais. Tais fatores atribuíram importância estratégica ao território de São Gonçalo do Rio Abaixo, sobretudo em relação às atividades comerciais regionais, uma vez que grande parte do fluxo de pessoas e mercadorias entre a Região Metropolitana de Belo Horizonte (RMBH) e a Região Metropolitana do Vale do Aço (RMVA), passa a menos de 10 km do núcleo urbano do município, através da BR-381 (MONTE-MÓR *et al*, 1997; ÁVILA e MONTE-MÓR, 2007).

A partir da primeira metade do século XX, quando a produção industrial de minério de ferro se desenvolve efetivamente, o município passa a sofrer influências dessa atividade.

Atualmente, a exploração mineral constitui a atividade econômica mais importante do município. A mina Brucutu, inaugurada em 2006, pertencente à Vale S/A, está localizada no extremo sudoeste do município, a cerca de 10 km da sede municipal, próximo aos municípios de Barão de Cocais e Santa Bárbara. Essa mina apresenta-se como uma das maiores e mais produtivas minas de minério de ferro a céu aberto em operação no mundo (FUNDAÇÃO VALE, 2006; ÁVILA e MONTE-MÓR, 2007).

De acordo com o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE, 2013), até o ano de 2006 a agropecuária, em decadência, era a principal atividade econômica de São Gonçalo do Rio Abaixo, após aquele ano sua arrecadação anual cresceu cinco vezes, devido à exploração mineral, de R\$33,85 milhões para R\$173,5 milhões em 2012. Desse total, R\$75,56 milhões (43,5%) vêm da Compensação Financeira pela Exploração de Recursos Minerais (CFEM). O PIB per capita também foi quintuplicado, passando de R\$26,92 mil, em 2006, para R\$144,75 mil em 2012. Atualmente São Gonçalo do Rio Abaixo possui aproximadamente 10.000 habitantes (IBGE, 2013).

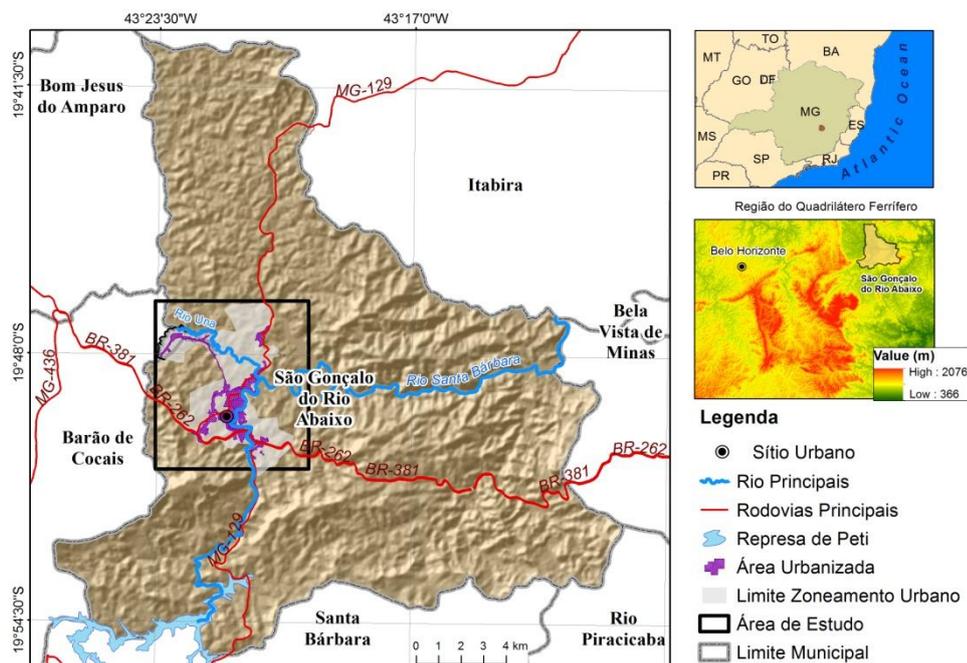


FIGURA 2. 2 - Localização do município de São Gonçalo do Rio Abaixo - MG

O relevo é bastante acidentado na região centro-sul do município e possui morfologias mais suaves na região norte. Segundo Fonseca *et. al.*, 2012, São Gonçalo do Rio Abaixo apresenta uma elevada variabilidade de formas de relevo e, de modo geral, sua geomorfologia

é caracterizada por colinas, vales encaixados, vertentes alongadas, cristas de serras e patamares escalonados. Ainda de acordo com os autores citados, essas formas de relevo condicionam o padrão espacial de uso e ocupação do solo.

O uso e cobertura do solo é caracterizado predominantemente por pastagens improdutivas e degradadas e fragmentos florestais com o predomínio de fitofisionomias típicas de uma área de transição entre a Mata Atlântica e o Cerrado, bem como ocorrências locais de Campos Rupestres. Ressalta-se uma condição de quase "equilíbrio" entre a cobertura vegetal natural e as áreas antrópicas, sendo 41% de vegetação natural e 50,08% de áreas antropizadas (pastagem degradada e áreas urbanizadas).

A área estudada corresponde ao perímetro urbano legalmente definido pelo zoneamento urbano municipal, em cinza na figura 2.2, e seu entorno imediato. A área urbanizada do município possui morfologia estelar, encontra-se cercada por fragmentos florestais com área média de 210 mil metros quadrados.

As condições ambientais mencionadas acima, sobretudo a relação entre a cobertura vegetal natural e as áreas antropizadas, somadas às características econômicas do município e da região do Quadrilátero Ferrífero, constituem elementos importantes que justificam o estudo de áreas com aptidão à conservação ambiental.

A coexistência de áreas antropizadas (projetadas) e áreas preservadas em um mesmo território, sem implicar em relação conflituosa entre elas, pode ser considerada a essência do conceito Geodesign observada na prática.

2.3.2 Métodos

A estrutura metodológica deste artigo foi desenvolvida como um estudo de Geodesign independente (FIGURA 2.3), na qual consideramos os fragmentos de vegetação remanescente como o objeto de estudo. Nesse sentido, buscamos entender como esses fragmentos podem ser descritos no espaço (representação), quais são suas dimensões e aptidões (avaliação e processos), como e onde a fragmentação florestal pode ocorrer?, quais os potenciais impactos? e as principais medidas mitigadoras? (mudança, impacto e decisão).

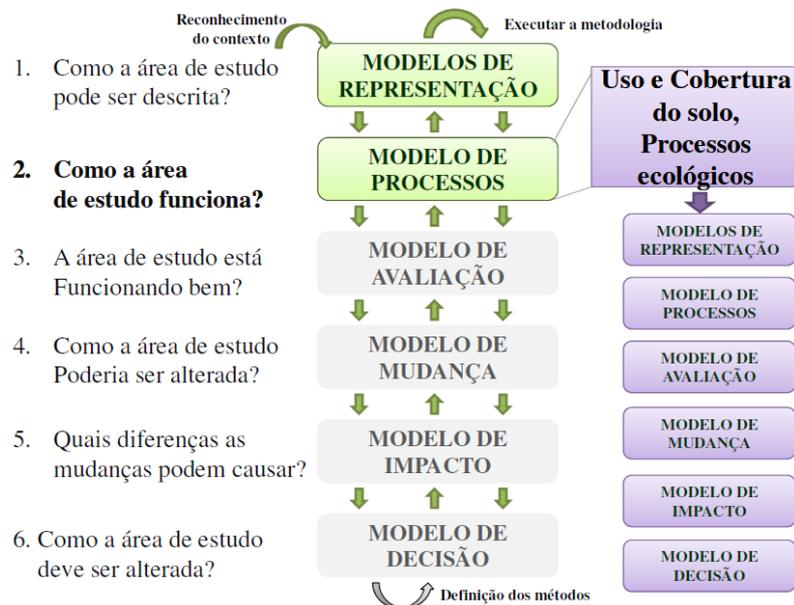


FIGURA 2. 3 - Estrutura metodológica do Geodesign, com destaque para o processo de uso e cobertura do solo e processos ecológicos. Fonte: adaptado de Steinitz (2012).

Os procedimentos metodológicos foram organizados em quatro etapas: 1 - classificação de imagens de satélite (RapidEye, ano 2013) para o mapeamento de uso e cobertura da terra; 2 - aplicação de métricas de paisagem no mapeamento da cobertura da terra em formato vetorial (área, perímetro, distância ao vizinho mais próximo, área central e índice de forma, *normalized remaining vegetation index, NRVI*); 3 - A integração de métricas usando análise multicritério, visando a classificação dos fragmentos de vegetação com o nível de importância ambiental; 4 - Comparação com o Zoneamento Urbano.

2.3.3 Modelo de Representação - Classificação automática de imagem de satélite e mapeamento do uso e cobertura do solo

Foram utilizadas três cenas ortorretificadas com resolução espacial de 5 metros do sensor RapiEye do ano de 2013, adquiridas juntamente à Secretaria de Meio Ambiente do município de São Gonçalo do Rio Abaixo. O processamento digital foi realizado no programa SPRING versão 5.2.1, iniciando com a correção radiométrica entre as três cenas utilizadas e posteriormente a aplicação de relace de contraste. De acordo com Milgram (1975), um problema frequentemente encontrado no processo de mosaico de imagens é o surgimento de áreas de transição na junção das imagens, conforme ilustrado na figura 2.4. Tais áreas podem

ser identificadas quando há diferenças geométricas e radiométricas perceptíveis na área de sobreposição das imagens devido às degradações sofridas no momento da aquisição.

Uma vez que a região de sobreposição tenha sido identificada nas imagens a serem mosaicadas, um histograma relacionado a cada região de sobreposição pode ser calculado. Idealmente, os histogramas deveriam ser idênticos, visto que, representam distribuições dos níveis de cinza de regiões idênticas, porém, fatores sazonais, meteorológicos, tendem a afetar os histogramas, tornando-os diferentes.

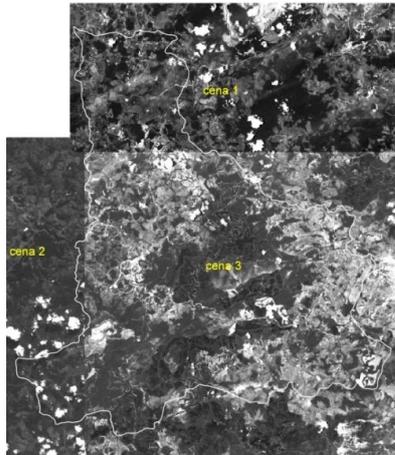


FIGURA 2. 4 - Cenas da imagem RapidEye antes do processo de correção radiométrica e realce de contraste

O processamento digital das imagens foi realizado para atenuar os efeitos atmosféricos e sazonais, equiparando os níveis de cinza do mosaico final e consequentemente obter maior e melhor aproveitamento no processo de interpretação visual e na classificação automática. Na figura 2.5 é possível observar o resultado da correção radiométrica e do realce de contraste.

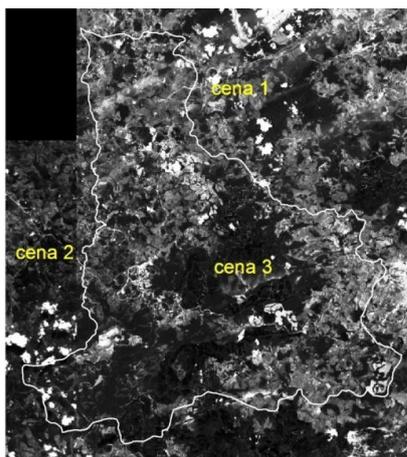


FIGURA 2. 5 - Cenas da imagem RapidEye após o processo de correção radiométrica e realce de contraste

Após o processamento das cenas e a realização do mosaico de imagens é iniciado o processo de interpretação visual e estruturação da chave de interpretação que auxiliará a classificação automática. Para o presente trabalho os elementos que compõe a chave de interpretação para o mapeamento do uso e cobertura do solo são:

- Corpos hídricos: lagoas, represas, rios e ribeirões.
- Floresta: florestas primárias e secundárias, matas ciliares, capões de mata da zona de transição entre os biomas Cerrado e Mata Atlântica;
- Reflorestamento: Eucalipto e Pinus;
- Área Urbana: áreas urbanas, distritos e construções;
- Mineração: área de mineração e barragens de rejeito;
- Solo Exposto: solo desnudo, áreas de extração mineral irregular;
- Pastagem: pasto para o gado, lavouras temporárias e permanentes;
- Campo Rupestre: campo, campo sujo, campo limpo, campestres, campina. Geralmente associado a afloramentos areníticos e quartzíticos e formações ferruginosas;

A identificação dos elementos da chave de interpretação foi realizada com o mosaico de imagens na composição 543-RGB. Cabe ressaltar a importância da banda 4 do sensor RapidEye, sensível às alterações do teor de clorofila das plantas, foi desenvolvida para o monitoramento de atividade fotossintética da vegetação, que reflete na faixa do infravermelho próximo (TAPSALL *et. al.*, 2010). Empregou-se o algoritmo de classificação supervisionada Máxima Verossimilhança (MAXVER), o qual é utilizado para análises pixel a pixel. Este algoritmo utiliza apenas a informação espectral de cada pixel para identificar as regiões

homogêneas e considera a ponderação das distâncias entre médias dos níveis digitais das classes, utilizando parâmetros estatísticos (HORNING *et al.*, 2010; MILGRAM, 1975). O valor mínimo definido para a aceitação do desempenho geral das amostras de pixels coletados no processo de classificação foi de 95%.

Após o processo de classificação automática foi realizado, entre Maio e Junho de 2013, três campanhas de campo para aferição visual e validação do mapeamento, bem como para fazer registro fotográfico e coleta de pontos de controle com aparelho GPS.

Na etapa de pós-classificação, processo no qual são eliminados alguns erros na imagem classificada, ou seja, áreas classificadas erroneamente são corrigidas utilizando-se a o módulo de edição matricial do SPRING 5.2.1, considerando os dados e informações de campo. A matriz classificada em formato raster é exportada para o formato vetorial (*shapefile*).

Utilizou-se ainda como modelo de representação bases cartográficas em formato vetorial e matricial, conforme listado na tabela 2.1. O arquivo *shapefile* do zoneamento urbano, além do limite territorial das zonas urbanas, contém tabela associada com informações referentes aos seguintes parâmetros urbanísticos que vigoram em cada uma das zonas urbanas, a saber: taxa de ocupação, taxa de permeabilidade e coeficiente de aproveitamento.

TABELA 2. 1 - Modelos de representação utilizados

Modelos de Representação (bases cartográficas)	Dimensão e origem do dado
Zoneamento urbano (polígonos em formato .shp)	1:10.000, PMSGRA
Novos projetos aprovados (projeto em formato .dwg)	1:10.000, PMSGRA
Pontos de GPS marcados em campo	GPS Garmin Montana, do autor
Limites municipal (polígono em formato .shp)	1:100.000, IGA 2010
Imagens RapidEye	Resolução 5 metros, ano 2013

Fonte: dados da pesquisa

2.3.4 Modelo de Processos - Cálculo de Métricas de Paisagem

Para o cálculo das métricas empregou-se a extensão gratuita V-LATE (*Vector-based Landscape Analysis Tools Extension*) do software ArcGIS 10.2. Para tanto, a imagem classificada em formato raster foi convertida para o formato vetorial (*shapefile*), e em seguida foram selecionados os polígonos referentes à cobertura vegetal densa, fitofisionomia de

Floresta Estacional Semidecidual. Sobre os fragmentos selecionados foram calculados os índices de ecologia da paisagem referentes à área, perímetro, área núcleo, índice de forma e distância do vizinho mais próximo.

As áreas núcleo de cada fragmento de vegetação representam suas respectivas áreas internas, as quais são menos afetadas por fatores externos (*edge effects*). No interior dos fragmentos de vegetação são observadas condições de estabilidade, principalmente para espécies sensíveis aos efeitos perturbadores de borda, o que é válido para processos bióticos e abióticos, sobretudo em função das relações laterais e funcionais de cada fragmento, ou unidade espacial, (*patches*) (LANG e BLASCHKE, 2009). De acordo com estes autores o conceito de área núcleo está fortemente ligado ao conceito de ecótono, o que faz a aplicação dessa métrica ser muito importante neste estudo de caso, uma vez que se trata de uma zona de transição entre floresta e área urbana e, em escala regional, entre os biomas da Mata Atlântica e do Cerrado.

A métrica de área núcleo foi estabelecida pelo cálculo de uma zona de amortecimento (*buffer*) negativo no valor de 100 metros direcionado para dentro do fragmento de vegetação, o tamanho dessa área de amortecimento é proporcional à largura admitida para o efeito de borda.

O índice de forma proposto por Forman e Godron (1986) e avalia a complexidade da forma de fragmento de vegetação em relação à uma feição padrão, qual seja uma forma circular. Quanto mais a mancha se desvia da morfologia redonda maior será o valor deste índice adimensional, segundo a fórmula:

$$SI = \frac{p}{2\sqrt{\pi \times a}} \quad (1)$$

onde p é o perímetro do fragmento e a é a sua área.

Para uma análise quantitativa dos remanescentes florestais em relação às zonas urbanas aplicou-se o índice normalizado de remanescentes florestais (*normalized remaining vegetation index, NRVI*) proposto por Bonnet et. al. (2006):

$$NRVI = \frac{rv - aa}{rv + aa} \quad (2)$$

onde *rv* corresponde á vegetação natural remanescente por zona urbana e *aa* representa as áreas antropizadas por zona urbana, que correspondem aos usos antrópicos do solo. Os resultados variam entre -1 (áreas totalmente antrópicas) e +1 (áreas e totalmente preservadas) e permite associar o uso da terra a variáveis numéricas, como indicadores de desenvolvimento social. O NRVI foi proposto como alternativa para a avaliação quantitativa entre áreas com interesse para conservação da biodiversidade e áreas que podem ser utilizadas economicamente, visando a criação de um instrumento de gestão para transferência de direitos de desenvolvimento (*transferable development rights, TDR*) (BONNET *et al.*, 2006)

2.3.5 Modelo de Avaliação - Análise de Multicritérios (AMC)

O procedimento de Análise de Multicritérios (AMC) é amplamente utilizado para a criação de síntese de valores baseado na ponderação de critérios ou variáveis. O procedimento empregado neste artigo é baseado na média ponderada amparada por knowledge-driven evaluation (MOURA, 2005). Nesse caso, a atribuição de pesos é feita por conhecedores dos fenômenos da área de estudo, bem como das variáveis analisadas (MALCZEWSKI, 1999; MALCZEWSKI, 2006).

Para avaliar potencial de preservação dos fragmentos de vegetação foi realizada AMC considerando as métricas de área núcleo, índice de forma e distância do vizinho mais próximo. Considerou-se que os fragmentos com maior potencial de preservação são os que apresentam maior área núcleo, morfologia arredondada e menor distância ao próximo fragmento de vegetação. Os valores foram normalizados e a cada uma dessas métricas foi atribuído pesos iguais de 33%, conforme a formula abaixo:

$$AMC = \sum_{k=1}^n (Pk \times Nk) \quad (3)$$

sendo que *n* é o número de critérios (métricas analisadas), *Pk* é o peso atribuído a cada critério e *Nk* é o valor normalizado de cada métrica de paisagem considerada na análise.

Posteriormente foi feita uma análise combinatória entre o resultado da AMC e o resultado do NRVI, combinando os valores da AMC (menor que 0.5 - valores baixos, e acima de 0.5 - valores altos) e do NRVI (de -1 a 0, valores baixos e de 0 a 1, valores altos), conforme exemplificado na tabela 2.2. Como resultado foi possível identificar a zonas

urbanas de alta importância ambiental, quais sejam as zonas que possuem fragmentos de vegetação com elevado potencial de conservação e em grande quantidade.

TABELA 2. 2 - TABELA 2. 2 - Análise Combinatória entre o potencial de preservação (AMC) e a quantidade (NRVI) de vegetação por zona urbana (Análise de Importância Ambiental)

		NRVI (Quantidade)	
		Valores baixos	Valores altos
AMC (Qualidade)	Valores combinatórios	0 (-1 a 0)	1 (0 a 1)
Valores baixos	0 (< 0.5)	0	1
Valores altos	2 (> 0.5)	2	3

Fonte: dados da pesquisa

2.3.6 Modelos de mudança, impacto e decisão

Foi realizada uma análise de potencial de impactos, considerando a concentração espacial de novos projetos aprovados pela gestão municipal, que estão em fase de execução e com o prazo para conclusão até o ano de 2020. Para tal foi gerado um mapa de concentração de novos projetos, aplicando-se o estimador de densidade de Kernel sobre pontos localizados nas áreas onde ocorrem ou ocorrerão obras referentes a esses projetos em andamento. Em seguida foi feita uma análise combinatória, apresentada na tabela 2.3, relacionando o mapa de concentração de novos projetos com o mapa de importância ambiental. "

TABELA 2. 3 - Análise combinatória entre a importância ambiental e a concentração de novos projetos

		Concentração de Novos Projetos	
		Valores baixos	Valores altos
Importância Ambiental	Valores combinatórios	0 (< 0.02)	1(>0.02)
Valores baixos	0 (0)*	0	1
Valores altos	2 (2 e 3)*	2	3

* valores resultantes da análise combinatória de Importância Ambiental (TABELA. 2.2)

Fonte: dados da pesquisa

2.4 Resultados e Discussões

2.4.1 Representação e Processos

A classificação automática da imagem RapidEye obteve um bom desempenho geral de 97.86%, associado ao Índice de Kappa (estatística KHAT) de 97.27%.

A área de estudo, assim como na totalidade do município de São Gonçalo do Rio Abaixo, é caracterizada pela fragmentação florestal, e pelo relativo equilíbrio entre áreas com cobertura de vegetação densa de porte arbóreo e área de pastagem (matriz), conforme apresentado na tabela 2.4 e figura 2.6.

TABELA 2. 4 - Quantitativo das classes de uso e cobertura do solo em São Gonçalo do Rio Abaixo em 2013 (Zona Urbana e Município)

Uso e Cobertura do Solo	Área (ha)		Área (ha) (Zona Urbana)	
	(Município)	%		%
Corpos hídricos	290,00	0,80	30,39	0,59
Área Urbanizada	421,00	1,16	193,47	3,77
Campo Rupestre	1.575,04	4,32	12,08	0,24
Floresta Estacional Semidecidual (vegetação densa, porte arbóreo)	13.620,00	37,37	2.137,74	41,62
Pastagem	14.802,00	40,61	2.317,36	45,2
Reflorestamento	3.507,26	9,62	351,74	6,85
Solo Exposto	1.595,38	4,38	93,04	1,81
Mineração	638,25	1,75	0,00	0,00
Total	36.448,93	100	5.135,82	100,00

Fonte: dados da pesquisa

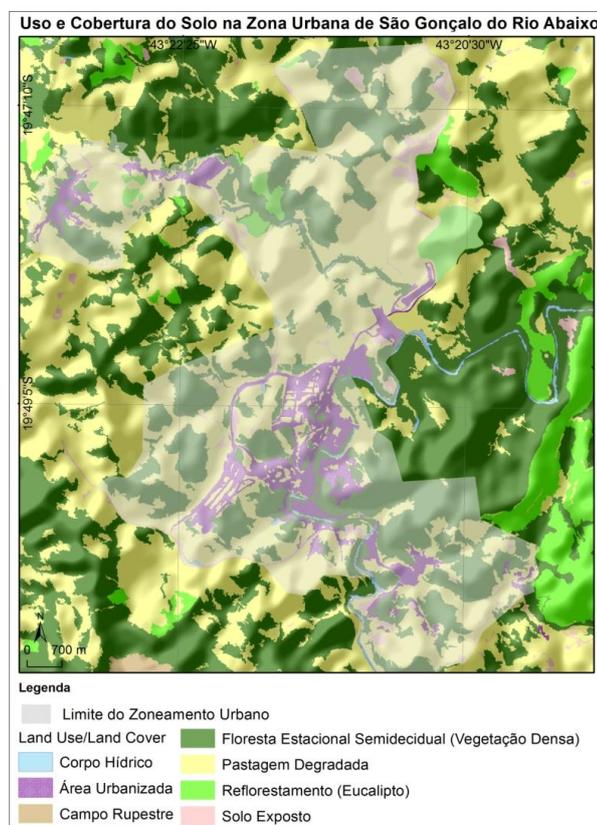


FIGURA 2. 6 - Uso e cobertura do solo na área urbana de São Gonçalo do Rio Abaixo

A relação de quase equilíbrio entre as classes de pastagem (40,61% na área urbana e 45,2% em todo o município) e floresta estacional semidecidual (37,37% na área urbana e 41,62% em todo o município) ocorre no município como um todo e na área urbana. Essa relação constitui um fato raro e ambientalmente importante, sobretudo considerando a realidade dos demais municípios da bacia hidrográfica do rio Doce, na qual está inserida a área de estudo (BARUQUI, 1982; MITTERMEIER *et al.*, 1982; FONSECA, 1985; FONSECA, 1997; COELHO, 2009).

As métricas de paisagem foram aplicadas na classe de floresta estacional semidecidual (vegetação densa e de porte arbóreo), que apresenta distância média do vizinho mais próximo de 39 metros, indicando uma relativa conectividade entre os fragmentos; o índice de forma médio de 2, indicando fragmentos com morfologias fora do padrão morfológico circular, sendo mais suscetíveis aos efeitos de borda; a área núcleo média é de 10 mil m². As três métricas analisadas foram calculadas por fragmento de vegetação, conforme apresentado na figura 2.7.

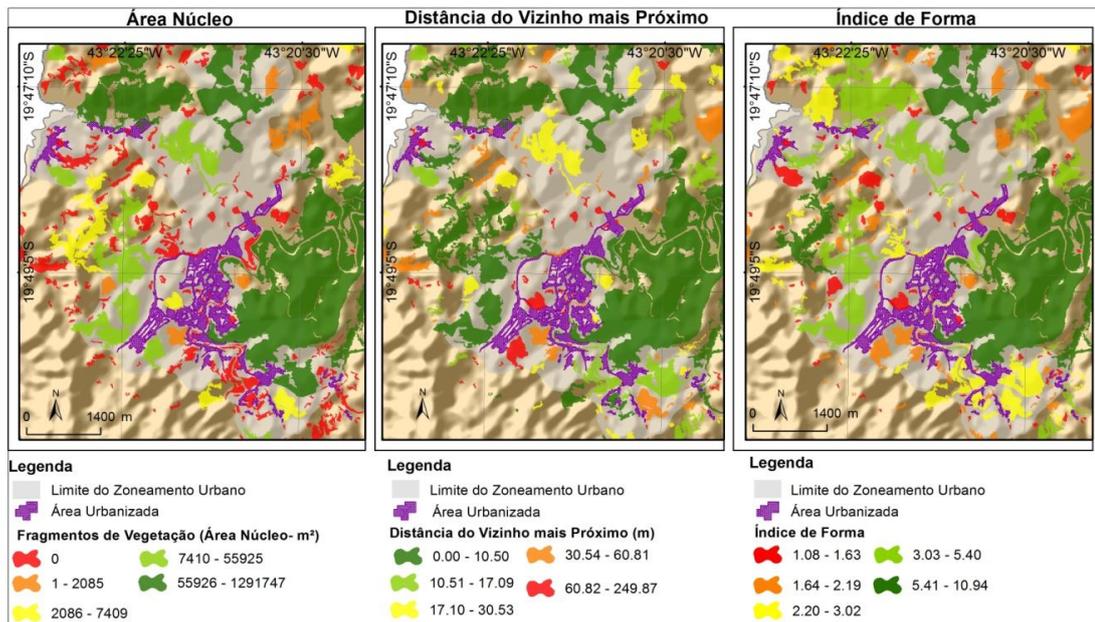


FIGURA 2. 7 - Métricas de paisagem calculadas em fragmentos de vegetação na área urbana de São Gonçalo do Rio Abaixo. Da esquerda para direita: área núcleo, distância do vizinho mais próximo e índice de forma

As zonas urbanas com as menores quantidades de remanescentes florestais, (valores de NRVF entre -1 e -0.8), em laranja e vermelho, correspondem à áreas destinadas ao uso misto (residencial e comercial) e ao uso industrial, respectivamente (FIGURA 2.8).

É importante ressaltar que mais de 50% das zonas urbanas, que já são urbanizadas, apresentam um equilíbrio entre a quantidade de áreas antropizadas e a quantidade de remanescentes florestais, valores de NRVI próximos de 0.

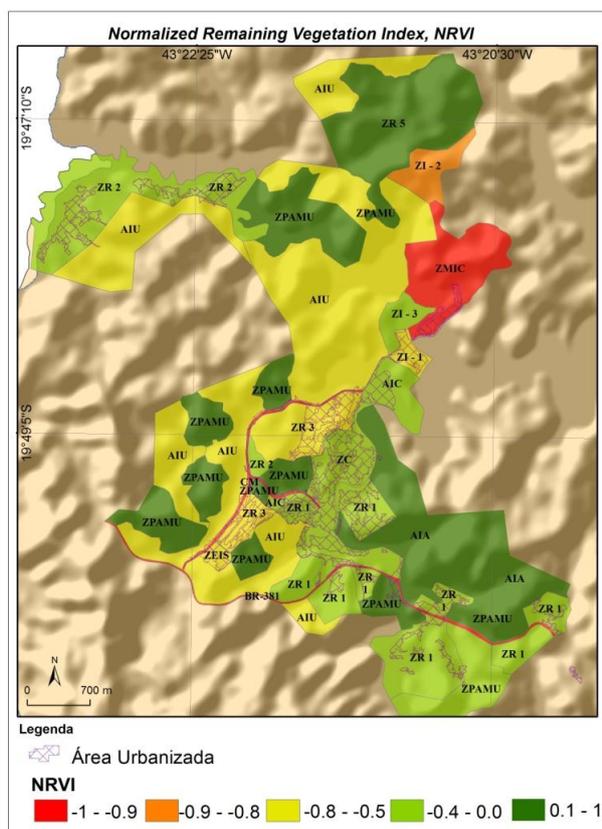


FIGURA 2. 8 - Índice Normalizado de Remanescente de Vegetação (NRVI)

As áreas em amarelo correspondem às zonas urbanas que possuem poucos remanescentes florestais, são classificadas pelo zoneamento urbano como Zonas de Interesse Urbano (ZIU), ou seja, área destinadas à expansão urbana imediata. As áreas em verde escuro, com maior quantidade de remanescentes florestais, correspondem às Zonas de Proteção Ambiental Urbana (ZPAMU) e AIA (Área de Interesse Ambiental).

A zona urbana com a maior quantidade de vegetação remanescente, à direita na figura 2.8, é uma AIA onde ocorrem pesquisas na área de farmacologia, bem como está sendo estudada para a criação de um parque municipal. Ressalta-se que a segunda maior zona em quantidade de vegetação remanescente é uma Zona Residencial, com lotes mínimos de 1000 m², coeficiente de aproveitamento de 0.1, taxa de permeabilidade de 40% e taxa de ocupação de 40% .

2.4.2 Avaliação dos fragmentos florestais urbanos

Os fragmentos classificados com baixo potencial de preservação apresentam área núcleo pequena ou inexistente, são distantes de outros fragmentos e sem possibilidade de formar corredores com outras manchas de vegetação (FIGURA 2.9), sendo mais susceptíveis às pressões antrópicas. No entanto, esses fragmentos são importantes pois significam uma resistência natural em meio às áreas de urbanização mais adensada.

De um modo geral, tanto na área urbanizada quanto na área legalmente urbana (os limites do zoneamento urbano), os fragmentos de vegetação apresentam potencial de preservação médio/alto a alto (entre 0,49 e 1), funcionando como agentes de manutenção da qualidade bioclimática, haja vista a possibilidade de redução de temperatura de 3°C a 4°C sob manchas de vegetação em áreas urbanas (ROBINETTE, 1972).

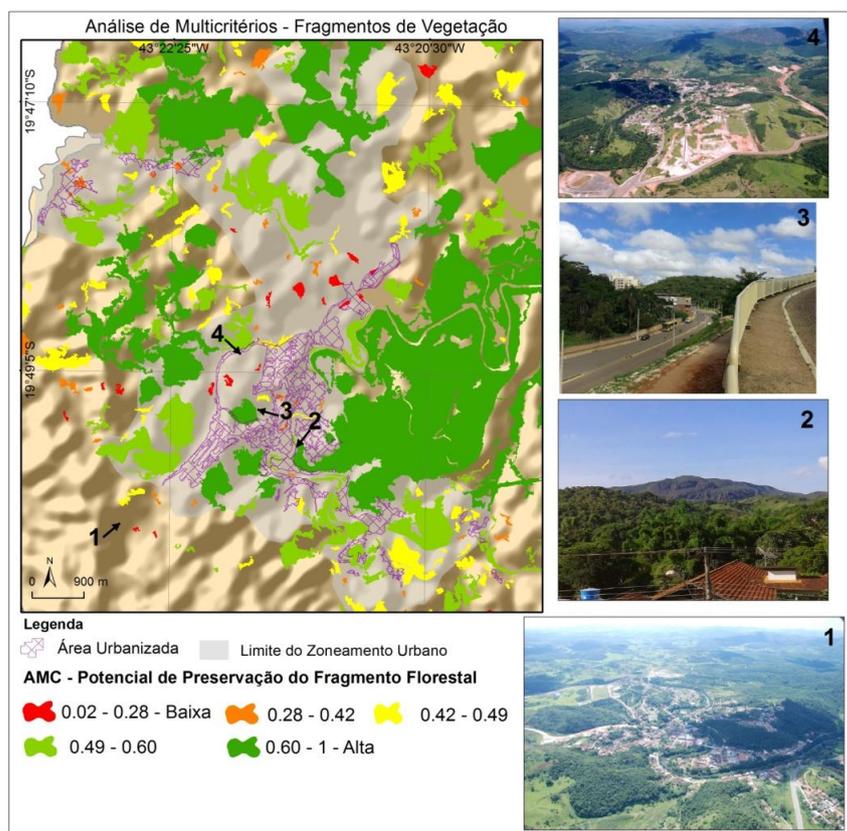


FIGURA 2. 9 - Resultado da análise de multicritérios para avaliar a qualidade dos fragmentos de vegetação

A combinação entre a avaliação do potencial de preservação dos fragmentos florestais e o índice normalizado de remanescentes florestais resultou no mapa de importância

ambiental das zonas urbanas, observado na figura 2.10. Essa relação mostrou que as zonas de proteção ambiental urbanas (ZPAMU) (áreas com borda amarela) apresentaram alta importância ambiental, com exceção de uma única zona de proteção ambiental, ao sul da área urbana municipal. Esta área deve ser alvo de recomposição florestal, ou deve ter sua funcionalidade alterada.

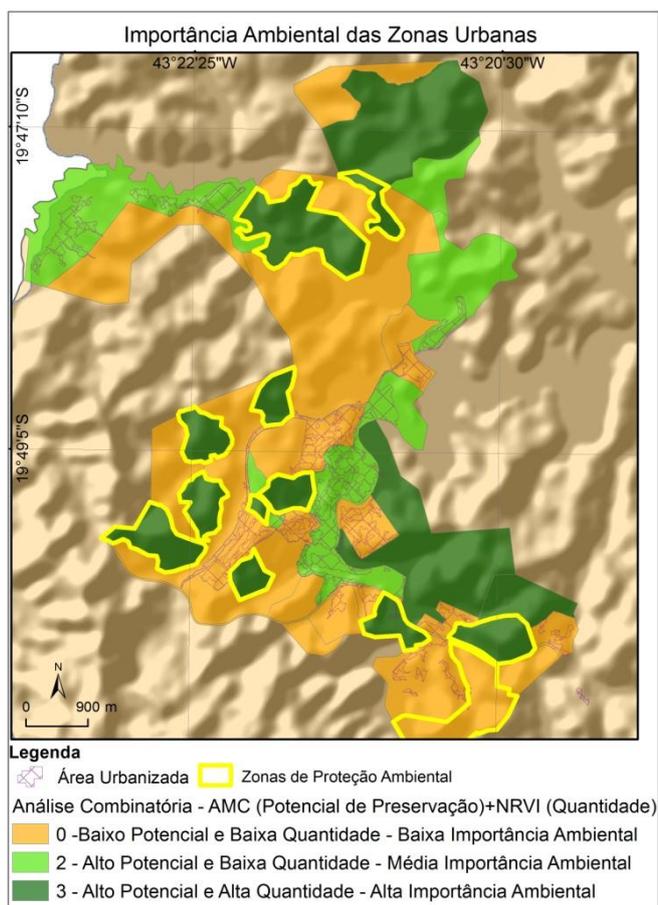


FIGURA 2. 10 - Resultado da análise combinatória entre a avaliação multicriterial do potencial de preservação ambiental das manchas de vegetação e o NRVI, apresentado por zona urbana

As zonas que possuem fragmentos de vegetação com alto potencial de preservação e baixa quantidade de vegetação, e que coincidem com áreas já urbanizadas, devem ser alvos de normativas específicas, visando a manutenção da vegetação existente. Nessas zonas estão os menores fragmentos de vegetação, e portanto os mais suscetíveis às ações antrópicas. No entanto são manchas de vegetação importantes para a manutenção da qualidade bioclimática urbana, conforme argumentado anteriormente.

2.4.3 Mudanças projetadas, Impactos e Decisões

As mudanças previstas para ocorrer até o ano de 2020 correspondem a novos projetos que foram aprovados pela administração municipal, muitos desses projetos já estão em execução, a exemplo loteamentos, de hospitais, postos de saúde, prédios comerciais e residenciais, asfaltamento de estradas vicinais, pontes, e o novo centro administrativo municipal. Observa-se uma tendência espacial de concentração desses projetos no entorno das áreas já urbanizadas, como pode ser observado na figura 2.11. As zonas com maior concentração de novos projetos desempenham função de catalisadoras da transformação da paisagem urbana, constituindo vetores de pressão sobre as manchas de vegetação.

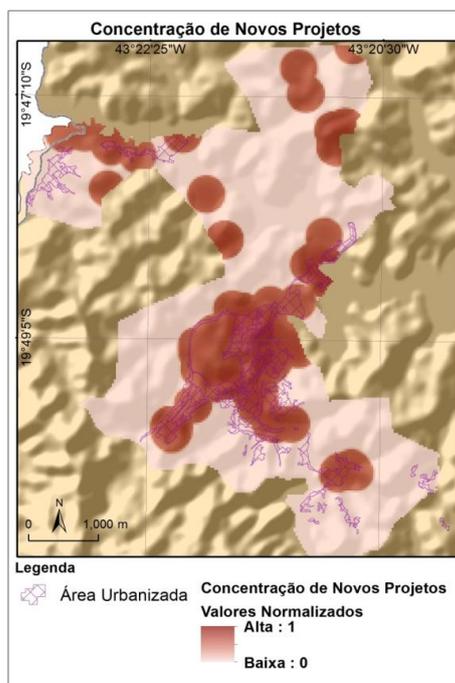


FIGURA 2. 11 - Concentração de Novos Projetos na área urbana de São Gonçalo do Rio Abaixo

A análise combinatória entre o mapa de importância ambiental e o mapa de concentração de novos projetos resultou no mapa de potencial de impactos, observado na figura 2.12. As zonas urbanas com potencial de impacto, em vermelho, possuem alta importância ambiental e alta concentração de novos projetos. Recomenda-se que essas zonas tenham seus parâmetros urbanísticos e normativas legais ajustados, visando a redução dos possíveis impactos sobre os fragmentos de vegetação.

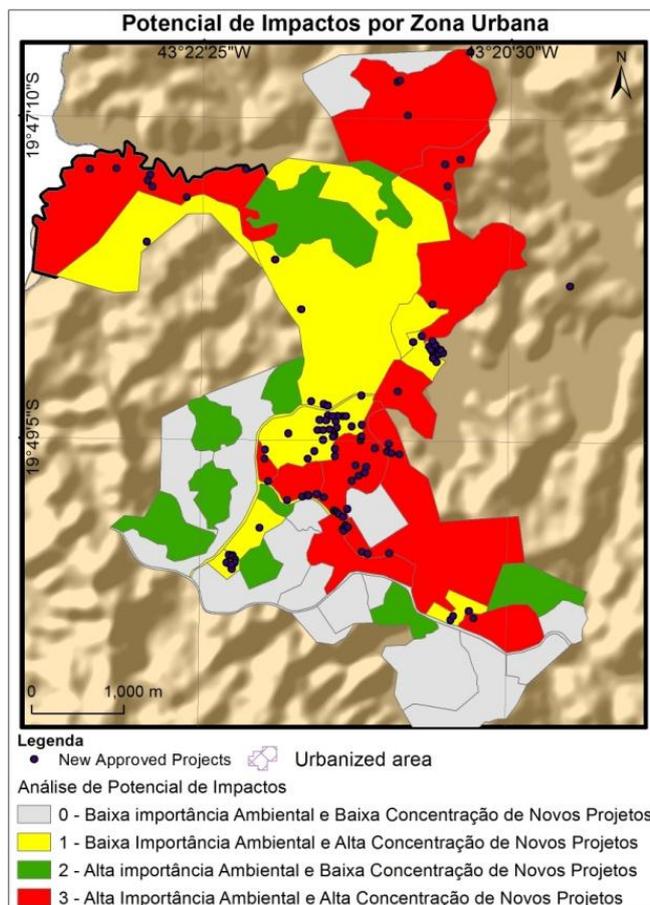


FIGURA 2. 12 - Mapa de potencial de impactos por zona urbana

As zonas em amarelo na figura 2.12 possuem baixa importância ambiental e alta concentração de novos projetos, correspondem às áreas com baixo potencial de impactos. Nessas áreas recomenda-se a criação de normativas específicas para o Estudo de Impacto de Vizinhança (EIV), visando medidas de compensação ambiental e recuperação das áreas degradadas. Uma proposta interessante seria a alteração do plano diretor no sentido de ampliar a área mínima necessária para áreas verdes institucionais nas glebas em processo de parcelamento do solo.

2.5 Conclusões

De um modo geral os resultados apresentados neste artigo ratificam a hipótese de que existe uma condição de "Geodesign Natural" na área de estudo, uma vez que, não seria necessário a supressão de vegetação em detrimento do processo de expansão urbana. Ressalta-se o potencial para a coexistência espacial entre áreas antropizadas (novos projetos) e áreas

preservadas, sem implicar em conflito de interesses, materializando a essência do conceito de Geodesign.

O conceito de "*implicit Geodesign*" ou condição de Geodesign Natural, termo adotado nesta pesquisa, foi utilizado por Cocco, Fonseca e Campagna (2015, no prelo) em estudo de caso da região da Pampulha, Belo Horizonte. Neste caso os autores ressaltam a ocupação territorial equilibrada, com áreas claramente antropizadas, mas mantendo o caráter ambiental e cultural muito forte. Tal condição é também observada na área urbana do município de São Gonçalo do Rio Abaixo.

As análises baseadas nos conceitos e métricas de ecologia da paisagem associadas às análises de multicritérios em Sistemas de Informações Geográficas proporcionaram a caracterização e a classificação dos fragmentos de vegetação no contexto das zonas urbanas. Com a associação de análises qualitativas e quantitativas dos fragmentos de vegetação foi possível tecer comparações com o zoneamento urbano em vigência, bem como avaliar a funcionalidade das zonas em relação às possibilidades de preservação da cobertura vegetal arbórea.

A utilização do arcabouço metodológico do Geodesign estimulou a formulação de respostas às seis questões apresentadas na figura 2.3. Os modelos de representação e processos utilizados permitiram descrever a área de estudo como uma área urbana com 41,62% de floresta estacional semidecidual, caracterizada por fragmentos de vegetação com área núcleo média de 10.573 m², distância média do vizinho mais próximo de 39 metros e índices de forma que indicam o predomínio de manchas irregulares de vegetação (valores acima de 1).

A síntese dessas métricas foi feita como modelo de avaliação, permitindo verificar que os fragmentos de vegetação apresentam características que indicam alto potencial de preservação (0,6 a 1), desempenhando um papel importante na manutenção da ambiência urbana. Verificou-se que as zonas urbanas destinadas à proteção ambiental apresentam grande quantidade de fragmentos de vegetação e com valores de métricas que indicam alto potencial de preservação, atestando a consistência da funcionalidade dessas zonas.

A concentração ou densidade de novos projetos foi calculada para avaliar a incidência espacial das principais mudanças (modelo de mudanças) projetadas para a área de estudo. O cotejamento da concentração dos novos projetos com o mapa de importância ambiental das zonas urbanas permitiu a análise do potencial de impactos (modelo de impacto). Observou-se

que as mudanças projetadas não exercerão pressão direta sobre os fragmentos de vegetação das zonas urbanas de proteção ambiental (ZPAMUs), mas representam potencial de impacto para os fragmentos de vegetação não amparados por lei, ou seja, fora das zonas de proteção ambiental.

Observou-se que o zoneamento urbano do município, de um modo geral, é coerente em relação às áreas destinadas à proteção ambiental (ZPAMU) e áreas de interesse ambiental (ZIAU), haja vista que tais áreas apresentam fragmentos de vegetação com grande potencial de preservação e em grande quantidade (NRVI acima de 0).

Portanto, o grande desafio para a administração pública local é gerenciar o processo de expansão urbana, as possíveis pressões sobre áreas preservadas e a necessidade de manutenção das áreas verdes urbanas. Neste contexto, chama-se a atenção para os fragmentos de vegetação que não possuem proteção legal, ou seja, àquelas manchas que estão fora das ZPAMUs e das áreas de interesse ambiental (AIA), mas que mesmo assim apresentam grande relevância ambiental em qualidade e quantidade. Por outro lado, ressalta-se o grande potencial da área estudada em abrigar novos projetos de expansão das áreas urbanas, por exemplo sobre as áreas de pastagem degradada, sem a necessidade de suprimir os fragmentos de vegetação existentes.

2.6 Referências Bibliográficas

ÁVILA, J.L.T.; MONTE-MÓR, R.L. M. **Urbanização e Impactos Ambientais: uma análise da relação entre as características dos espaços urbanos ea poluição hídrica na região do médio Rio Doce**. 2007. p.21. Projeto de Extensão, CEDEPLAR-UFMG, Belo Horizonte, 2007. Disponível em: <http://www.ecoeco.org.br/conteudo/publicacoes/encontros/vii_en/mesa3/trabalhos/urbanizacao_e_impactos_ambientais.pdf>. Acesso em: 30 ago. 2013.

BARUQUI, F. M. **Inter-relações solo-pastagem nas regiões Mata e Rio Doce do estado de Minas Gerais**. Universidade Federal de Viçosa - UFV, 1982.

BATTY, Michael. Defining geodesign (= GIS + design?). **Environment and Planning B: Planning and Design** v. 40, n. 1, p. 1–2, 2013. Disponível em: <<http://www.envplan.com/abstract.cgi?id=b4001ed>>. Acesso em: 21 urr. 2014.

BONNET, Barbara Rocha Pinto *et al.* Sistema de Reserva Legal Extra-Propriedade no Bioma Cerrado: Uma Análise Preliminar no Contexto da Bacia Hidrográfica. **Revista Brasileira de Cartografia** v. 58, p. 129–137, 2006.

COELHO, A.L.N. BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO DOCE (MG / ES): UMA ANÁLISE SOCIOAMBIEN-. **Geografares** v. 7, p. 131–146 , 2009.

COCCO, Chiara.; FONSECA, Bráulio M.; CAMPAGNA, Michele. Applying Geodesign in Urban Planning Case Study of Pampulha, Belo Horizonte, Brazil. In. 27th International Cartographic Conference. **Anais...** Rio de Janeiro: ICA/SBC, 2015 (No Prelo). p. 1-16.

ERVIN, S. A System for Geodesign. In Digital Landscape Architecture Conference. **Anais...** Dessau: Anhalt University, 2011. p.1–14. Disponível em: <<http://www.gsd.harvard.edu/images/content/5/3/536223/A-System-forGeodesign.pdf>>.

FALCÓN, Antoni. **Espacios verdes para una ciudad sostenible. Planificación, proyecto, mantenimiento y gestión.** Barcelona: GG, 2007. p. 176.

FONSECA, B. M.; BEZERRA, D. P.; AUGUSTIN, C. H. R. R. Mapeamento de Unidades Geomorfológicas na borda nordeste do Quadrilátero Ferrífero. In: 9º Simpósio Nacional de Geomorfologia. **Anais...** Rio de Janeiro: UGB, 2012. p.1–12.

FONSECA, G. A. B. The vanishing Brazilian Atlantic Forest. **Biological Conservation** v. 34, n. 1, p. 17–340 , 1985.

FONSECA, M. T. **A estrutura da comunidade de pequenos mamíferos em um fragmento de Mata Atlântica e monocultura de eucalipto: a importância da matriz de hábitat.** ICB-UFMG, Belo Horizonte, 1997.

FORMAN, R.T.T. ; GODRON, M. **Landscape ecology.** 1st. arg. New York: Wiley and Sons, 1986. p. 619.

FUNDAÇÃO VALE. **Programa Vale Mais – São Gonçalo do Rio Abaixo: Plano de Desenvolvimento Sustentável - 2006-2026.** Rio de Janeiro: Agência 21, 2006. 144p.

GOODCHILD, Michael F; PH, D. Towards Geodesign : Repurposing Cartography and GIS ? **Cartographic Perspectives** n. 66, p. 55–69 , 2010. Disponível em: <<http://cartographicperspectives.org/carto/index.php/journal/article/view/cp66-goodchild>>.

HORNING, N. *et al.* **Remote sensing for ecology and conservation.** New York: Oxford, 2010. p. 451.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Cidades@. 2013. Disponível em: <<http://www.ibge.gov.br/cidadesat/topwindow.htm?1>>. Acesso 23. Jul. 2013.

LANG, S; BLASCHKE, T. **Análise da paisagem com SIG.** p. 424 , 2009.

LOBODA, Carlos R.; ANGELIS, Bruno L. D. Áreas verdes públicas urbanas: conceitos, usos e funções. **Ambiência Guarapuava** v. 1, n. 1, p. 125–139 , 2005.

MAGALHÃES, Danilo Marques. **Análise dos espaços verdes remanescentes na mancha urbana conurbada de Belo Horizonte-MG apoiada por métricas de paisagem.** 2013.

163f. Dissertação de Mestrado (Mestrado em Geografia) Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2013.

MALCZEWSKI, J. **GIS and multicriteria decision analysis**. New York: Wiley & Sons, 1999.

MALCZEWSKI, J. GIS-based multicriteria decision analysis: a survey of the literature. **International Journal of Geographical Information Science** v. 20, n. 7, p. 703–726 , 2006.

METZGER, Jean. O QUE É ECOLOGIA DE PAISAGENS ? **Biota Neotropica** v. 1, n. 1, p. 1–9 , 2001.

MILGRAM, D. Computer Methods for Creating Photomosaics. **IEEE Transaction on Computers** v. C-24, p. 1113–1119 , 1975.

MILLER, William R. **Introducing Geodesign: The Concept Director of GeoDesign Services**. Redlands: ESRI Press, 2012. 1-36 p.

MITTERMEIER, R. A *et al.* Conservation of primates in the Atlantic Forest region of Eastern Brazil. **International Zoo Yearbook** v. 22, p. 2–17 , 1982.

MONTE-MÓR, Roberto Luís de Melo *et al.* **Ocupação do Território e Estrutura Urbana**. In. PAULA, João Antônio de. (Coord.) Biodiversidade, População e Economia: uma região de Mata Atlântica. Belo Horizonte: UFMG/Cedeplar, 1997. p.91-154.

MOURA, Ana Clara Mourão. **Geoprocessamento na gestão e planejamento urbano**. Belo Horizonte: ACMM, 2005. p. 294.

NORBERT-SCHULZ, Christian. **Genius Loci: Towards a Phenomenology of Architecture**. New York: Rizzoli, 1980.

ROBINETTE, G.O. **Plants, people and environmental quality: a study of plants and their environmental functions**. Washington DC: National Park Service, U.S. Department of the Interior, 1972. p. 139.

SÃO GONÇALO DO RIO ABAIXO. Perfil. São Gonçalo do Rio Abaixo: Prefeitura Municipal. *Portal oficial na internet*. 2013. Disponível em: < <http://www.saogoncalo.mg.gov.br/>>. Acesso em 23 jul. 2013.

SAUER, C. The Morphology of Landscape. **Geography** v. 2, n. 2, p. 19–54 , 1925.

SIRKIS, Alfredo. O Desafio Ecológico das Cidades. In: MENDES, A.T (Arg.). . **Meio Ambiente no Século XXI**. Campinas: Armazém do Ipê, 2008.

STEINITZ, Carl. **A Framework for Geodesign**. Redlands: ESRI Press, 2012. p. 360.

TAPSALL, B; MILENOV, P; TASDEMIR, K. Analysis of rapideye imagery for annual landcover mapping as an aid to European Union (EU) common agricultural policy. 2010,

Vienna: IAPRS, 2010. p.568–573. Disponível em:
<http://www.isprs.org/proceedings/xxxviii/part7/b/pdf/568_XXXVIII-part7B.pdf>.

TROLL, C. Geocology of the mountainous regions of the tropical Americas. 1968, Ciudad De Mexico: [s.n.], 1968. p.1–6.

TROLL, C. Luftbildplan und ökologische Bodenforschung. **Zeitschrift der Gesellschaft für Erdkunde zu Berlin** v. 7, n. 8, p. 241–298 , 1939.

TUAN, Yi-Fu. **Espaço e Lugar: a perspectiva da experiência**. São Paulo: Difel, 1983. p. 250. .

3. ARTIGO 2 - ÍNDICE GEOMORFOLÓGICO PARA AVALIAÇÃO DO POTENCIAL DE OCUPAÇÃO E USO DO SOLO (IGPU): UMA PROPOSTA METODOLÓGICA

RESUMO

Este artigo tem como objetivo apresentar um índice geomorfológico para avaliar o potencial de uso e ocupação do solo por atividades antrópicas, sobretudo aquelas relacionadas às áreas urbanas. Para tal consideraram-se quatro fatores relacionados à geomorfologia, a saber: as unidades geológicas, o Índice de Concentração da Rugosidade (ICR), o Índice de Hack (IH) e as unidades geomorfológicas mapeadas na área de estudo. As unidades geológicas foram classificadas e agrupadas conforme os princípios geotécnicos, considerando características mecânicas e suscetibilidades em relação aos processos erosivos. O ICR foi utilizado como um indicador indireto da inclinação e do tamanho das vertentes, dimensões que guardam relação com os processos envolvidos na modelagem do relevo e que, conseqüentemente, interferem na ocupação das encostas. O IH foi calculado, por microbacias, para relacionar os processos hidrodinâmicos influenciados pela energia dos canais de drenagem e que conseqüentemente influenciam no processo de dissecação do relevo. As unidades geomorfológicas foram classificadas conforme o potencial de ocupação, considerando os padrões e formas de relevo. Para relacionar as quatro variáveis analisadas e formular o IGPU foi feita a normalização dos valores numéricos na escala de 0 a 1, sendo que os valores próximos de 0 representam baixo potencial de ocupação do solo e os valores próximos de 1 correspondem ao alto potencial. Posteriormente, para realizar a síntese dos fatores em um índice, foi aplicada a média ponderada (análise de multicritérios) considerando pesos iguais (25%) para cada variável. Para avaliar a relação do uso e ocupação do solo com o relevo aplicou-se o Índice Normalizado de Remanescentes Florestais (*Normalized Remaining Vegetation Index, NRVI*), associado ao IGPU, por unidade geomorfológica, nos limites do município de São Gonçalo do Rio Abaixo, Região do Quadrilátero Ferrífero - MG. Como resultado, foi possível identificar dois grandes compartimentos com potenciais distintos de ocupação, bem como verificar uma autocorrelção espacial negativa entre as unidades geomorfológicas com maior quantidade de remanescentes florestais e as unidades geomorfológicas com maior potencial de ocupação do solo.

Palavras-chave: Índice Geomorfológico, Geomorfologia Aplicada, Análise de Multicritérios, Planejamento Urbano e Regional

ABSTRACT

This paper aims to present a geomorphologic index to evaluate the potential of land occupation and land use by human activities, mainly related to urban areas. For this purpose there were considered four factors related to geomorphology, namely: geological units, Roughness Concentration Index (RCI), Hack Index (Stream Length-Gradient Index, SL) and geomorphologic units mapped in the area of study. Geological units were classified and grouped according to geotechnical properties, considering mechanical characteristics of rocks and their susceptibility to erosion and related processes. The RCI was used to indirectly quantify slope dimensions, spatial distribution patterns and their morphological characteristics which have influence on the human occupation process. The SL was calculated, per watershed, to relate the hydrodynamic processes influenced by the energy of the drainage channel and that consequently is related with the relief dissection process. Geomorphologic units were classified according to the occupation potential, considering the patterns and landforms. In order to relate the four variables and formulate the IGPU there was made the standardizing of the numerical values within the range 0-1, being the values close to 0 representing low potential for land use and values close to 1 corresponding to high potential. Subsequently, to perform the synthesis of factors into one index, it was applied the Multi-criteria Analysis, considering equal weights of 25% for each variable. In order to evaluate the relation of land cover and land use with landforms it was applied the Normalized Remaining Vegetation Index (NRVI), associated with the IGPU, per geomorphologic unit, within the limits of São Gonçalo do Rio Abaixo, in the Iron Quadrangle Region, Minas Gerais State. As a result, it was possible to identify two large portions with different occupation potential, and verify a negative (inverse) spatial autocorrelation between geomorphologic units presenting higher forest remnants and geomorphologic units with higher potential of land occupation.

Keywords: Geomorphologic Index, Applied Geomorphology, Multi-criteria Analysis, Urban and Regional Planning

3.1 Introdução

A formulação de índices e abstrações matemáticas em Geomorfologia faz parte dos procedimentos metodológicos desta ciência desde Horton (1945), o caráter prático e a aplicabilidade dos índices podem ser atestados até mesmo pela formação acadêmica dos seus propositores, em sua maioria oriundos da Engenharia (RODRIGUES, 1997).

As análises morfométricas e geomorfométricas tornaram-se de grande valia na quantificação e caracterização do relevo, sobretudo com a bacia hidrográfica como unidade espacial de análise (HORTON, 1945; STRAHLER, 1957; STRAHLER, 1952; CHORLEY, 1962; CHORLEY; KENNEDY, 1971; CHRISTOFOLETTI, 1980; HACK, 1973; SCHUMM, 1956). Neste contexto, observa-se que a aplicação dos índices morfométricos, propostos com o objetivo inicial de aplicação prática na análise do comportamento hidrológico de bacias hidrográficas, é também amplamente utilizado para a avaliação da distribuição espacial de padrões de formas de relevo e na análise da evolução geomorfológica de bacias de drenagem.

As informações geomorfológicas quantitativas e qualitativas vem sendo empregadas com êxito nos estudos voltados ao planejamento territorial e urbano através de estudos de potencial de expansão urbana e por diversos instrumentos de gestão ambiental, a exemplo dos planos diretores, zoneamentos e estudos ambientais para avaliação de impactos (AUGUSTIN; SAADI, 1985; SAADI, 1989; SAADI et. al., 1992; GOUDIE, 1994; SAADI, 1997; GOUDIE, 1997; XAVIER DA SILVA, 2009; GARCIA; SOBREIRA; MOURA, 2012).

A morfologia da superfície terrestre, resultado de uma diversidade de processos morfogenéticos, pode ser considerada obstáculo para a ocupação. Mas, na prática, observa-se também a ação antrópica, modificando e construindo direta e indiretamente as formas de relevo (GOUDIE, 1994; PELOGGIA, 2005). Neste contexto, um dos desafios dos planejadores é conciliar a evolução das atividades antrópicas e a manutenção das condições mínimas necessárias para a ocupação dos terrenos. Portanto, a compreensão, identificação e controle dos processos geomorfológicos, sobretudo os processos potencializados pelo homem, fazem-se necessários em qualquer estudo que tem como objetivo o planejamento territorial.

De acordo com Marques (2009), a interface homem – relevo, sobretudo no tocante ao uso e ocupação, é uma relação que ocorre em função dos processos atuantes e características específicas de cada forma ou conjunto de formas (padrão) de relevo. Uma maior ou menor estabilidade do relevo estaria ligada à resistência das rochas, suas tendências evolutivas e

interferências que pode sofrer de outros componentes dos sistemas ambientais e do próprio homem.

Augustin & Saadi (1985) chamam a atenção para as consequências da ingerência e mau uso do solo em áreas urbanas, Saadi (1997, p. 1) ressalta a importância do conhecimento das formas e entendimento dos processos relacionados à dinâmica do relevo:

“Ora, o relevo constitui a expressão física das condições de equilíbrio reinantes na litosfera, ou seja no substrato de todos os equipamentos implantados pelo homem. O preço pago pela inobservância das mínimas regras impostas pela natureza, tem sido muito caro para as populações e administrações dos centros urbanos. Além dos desastres ecológicos de vários tipos, as consequências estenderam-se muitas vezes a perdas de vidas humanas e patrimônios privados e/ou coletivos.”

As formas de relevo devem ser consideradas como o resultado da interação entre meio biótico e físico, envolvendo no processo o transporte de matéria e fluxo energético, incidindo e interferindo diretamente no meio socioeconômico. O papel do homem nesse processo não possui mais um caráter passivo, ou seja, o homem também passou a ser considerado um agente transformador do modelado do relevo. O relevo é resultado de uma evolução que não acabou e que ocorre condicionada por fatores lito-estruturais associados a processos exógenos, incluindo os fatores climáticos.

Considerando que as formas de relevo são resultantes dos processos endógenos e exógenos, com reflexos sobre o padrão e a dinâmica de ocupação da superfície terrestre, mas também sofrendo influência das ações antrópicas (GOUDIE, 1994; PELOGGIA, 2005; PRICE, 2011), é possível relacionar o conceito de Geo-scape, proposto por Miller (2012), com os processos geológicos-geomorfológicos característicos do Quaternário ao Tecnógeno.

De acordo com Miller (2012) “Geo-scape” compreende a zona viva do planeta, considerando tudo o que está abaixo e acima da superfície terrestre e que dá condição à vida. O termo Geo-scape foi utilizado por Miller (op. cit.) no âmbito da definição do conceito de Geodesign. Neste contexto, Geo-scape pode ser compreendido como a porção da Terra que pode sofrer intervenções antrópicas e que também influencia as atividades humanas. Esse conceito nos remete à Teoria dos Geossistemas e à maneira integrada de estudar o espaço geográfico que vem sendo praticada desde Alexander von Humboldt (1769-1859)

(BERTRAND, 1978; SOTCHAVA, 1977; BERTRAND, 2004; TROPPEMAIR e GALINA, 2006; STEINITZ, 2012).

O Geodesign é um conceito que emergiu recentemente, sobretudo amparado por pesquisadores da Harvard University, Massachusetts Institute of Technology (MIT), Anhalt University e Università di Cagliari. A aplicação do conceito visa a ocupação do solo de maneira contextualizada, respeitando condicionantes naturais e culturais do ambiente. Em síntese, é projetar com o território e para o território (STEINITZ, 2012). O termo foi consolidado com o lançamento do livro *A Framework for Geodesign*, no ano de 2012, pelo Professor Carl Steinitz. A essência do conceito de Geodesign não é nova, e também está presente de maneira implícita no conceito de arquitetura orgânica de Frank Lloyd Wright (1867-1959) e explícita na obra *Design With Nature* de Ian McHarg (MCHARG, 1969; MILLER, 2012; STEINITZ, 2012).

Diante das questões abordadas até aqui, percebe-se a importância da análise e do entendimento dos processos geomorfológicos no âmbito dos estudos que têm como finalidade o planejamento do uso e ocupação do solo. De acordo com Xavier-da-Silva (2009), uma das mais importantes funcionalidades das pesquisas em geomorfologia é subsidiar as ações de planejamento territorial com informações relevantes. Este autor ressalta a necessidade de uma taxonomia que consiga atender às necessidades dos estudos visando o planejamento territorial.

De fato, as classificações taxonômicas do relevo nem sempre são inteligíveis aos profissionais que atuam nos estudos ambientais e temáticos, com a exceção dos geomorfólogos. O emaranhado de toponímias e taxonomias geomorfológicas variam com a escala de análise (KOHLENER, 2001), e nem sempre conseguem comunicar ao planejador, ou à equipe multidisciplinar, ou mesmo aos stakeholders envolvidos no processo de planejamento, seu significado em termos de formas, processos e consequências práticas. Muitas vezes a terminologia geomorfológica pode parecer aos não geomorfólogos uma "coleção de enigmas" (XAVIER-DA-SILVA, 2009, p. 395).

A subjetividade inerente ao processo de classificação e mapeamento geomorfológico foi abordada por Sampaio e Augustin (2014), segundo estes autores são observadas dificuldades nos trabalhos de mapeamento geomorfológicos "destinados à avaliação do terreno com vistas a zoneamentos urbanísticos, ou mesmo em trabalhos de cartografia geotécnica."

No esforço de diminuir a subjetividade e a complexidade das nomenclaturas geomorfológicas no âmbito das práticas da geomorfologia aplicada, bem como na intenção de abstrair de forma sintética o significado dos processos e formas correlatas, o presente artigo propõe a elaboração de um índice geomorfológico para avaliar o potencial de ocupação dos terrenos.

3.2 Materiais e Métodos

A aplicação do índice geomorfológico para avaliar o potencial de ocupação e uso do solo (IGPU) será realizada no município de São Gonçalo do Rio Abaixo (SGRA), localizado na borda nordeste do Quadrilátero Ferrífero (QF), no Estado de Minas Gerais.

3.2.1 Caracterização do Área de Estudo

O território de SGRA apresenta um vasto registro geológico com rochas de idade desde o Arqueano até sedimentos datados do terciário-quaternário. No tocante ao arcabouço estrutural, SGRA está totalmente inserido no contexto da Província Geotectônica São Francisco. A principal macro estrutura do QF presente na área de estudo é o extremo norte do Sinclinal Gandarela (SG), localmente conhecido como Serra do Machado, uma estrutura dobrada com vergência para noroeste, onde encontram-se rochas do Super Grupo Minas em eixo SW-NE (DORR, 1969; CHEMALE JR et. al., 1994; MARSHAK *et al.*, 1997).

As unidades geológicas presentes em SGRA são o Complexo Granito-Gnáissico-Migmatítico (Complexo Belo Horizonte e Complexo Santa Bárbara), o Super Grupo Rio das Velhas, o Supergrupo Minas, a Suíte Borrachudos e unidades sedimentares recentes ao longo da planície fluvial do rio Santa Bárbara e no topo da Serra do Machado (FIGURA 3.1).

Os terrenos granito-gnáissicos são constituídos por gnaisses bandados e migmatitos do tipo TTG (rochas tonalíticas, trondhjemíticas, granodioríticas), com idade entre 3,4 e 2,8 bilhões de anos, frequentemente injetados por rochas graníticas bandadas e por rochas graníticas foliadas. Ocorrem em contato tectônico em uma zona de cisalhamento dúctil com rochas ultramáficas do Grupo Quebra Osso (Supergrupo Rio das Velhas), ao norte do município, entre a margem esquerda da BR-381 (sentido leste), e a margem esquerda da MG-129 (sentido norte) até o limite com os municípios de Bom Jesus do Amparo e Itabira

(FIGURA 3.1). As rochas do Complexo Santa Bárbara ocorrem no extremo sudoeste de SGRA, ao sul da represa de Peti (BALTAZAR e RAPOSO, 1993; FERREIRA e BERNI, 2007). O Supergrupo Rio das Velhas (SGRV) ocorre em uma faixa com direção SW-NE, na porção sudoeste da área de estudo, e na bacia do córrego Brucutu e adjacências da represa de Peti (FIGURA 3.1).

O SGRV foi caracterizado por Dorr *et al.*, (1957) como uma sequência filitos e quartzitos com intercalações de formações ferríferas e rochas metaultramáficas. O Supergrupo Minas aflora nas serras do Tamanduá e do Machado, extremo sudoeste de SGRA. São observados metassedimentos variados e rochas estruturadas em sinclinais e anticlinais, seccionados por zonas de cisalhamento.

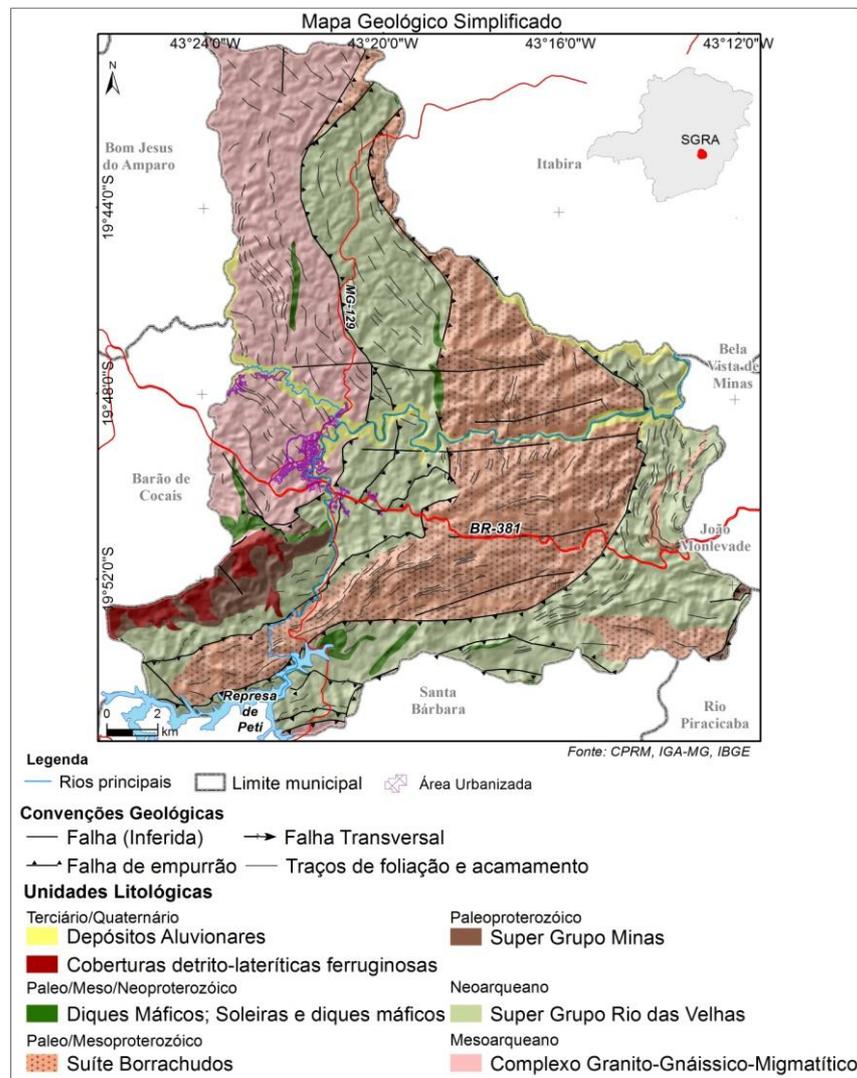


FIGURA 3. 1 - Mapa geológico simplificado

No Grupo Itabira Indiviso ocorrem itabiritos, itabiritos dolomíticos e dolomitos. A Formação Cauê é composta de itabiritos bandados, com intercalações silicosas, hematíticas e argilosas (ROSIERE e CHEMALE JR., 2000; FERREIRA e BERNI, 2007)

As rochas da Suíte Borrachudos são localmente conhecidas como Granito Peti, os afloramentos possuem a morfologia de pães de açúcar alongados, predominantemente nas direções E-W e SW-NE (GROSSI-SAD *et al.*, 1990; FERREIRA e BERNI, 2007).

Os dique máficos possuem pouca representatividade espacial na área de estudo, ocorrem corpos variados de metagabros, metadiabásios, metabasaltos e anfibolitos, de conformação intrusiva nas demais rochas do município de SGRA. Ocorrem sob a forma de diques e stocks, apresentando também ocorrências menores como sills de tamanhos e extensões variáveis (FERREIRA e BERNI, 2007).

As unidades geológicas que correspondem a depósitos sedimentares recentes diferenciam-se entre depósitos sedimentares que hoje encontram-se em topos, cristas e encostas de serras e depósitos aluvionares, presentes ao longo dos cursos d'água de maior hierarquia fluvial. Os depósitos sedimentares argilosos e arenosos, com lentes de cascalho de espessuras variáveis ocorrem, predominantemente, ao longo do rio Santa Bárbara e rio Una. Cangas e lateritas possuem características eluvio-coluvionares, são formados por fragmentos de tamanhos e angulosidade variadas, de itabirito e hematita cimentados por óxidos e hidróxidos de ferro, tais como limonita e goethita (FERREIRA e BERNI, 2007).

As principais estruturas regionais são representadas pelo sistema de cavalgamento Fundão-Cambotas e a faixa tectônica que se prolonga do Quadrilátero Ferrífero na direção SW-NE, passando pela região centro-sul de SGRA. A rede de drenagem também sofre influência dos condicionantes litoestruturais, a exemplo do rio Conceição/Santa Bárbara que corre em direção NE.

Os rios Conceição e Santa Bárbara fazem parte do mesmo canal de drenagem, sendo que a denominação Conceição é válida a montante da represa de Peti e a denominação Santa Bárbara a jusante da mesma represa. No trecho entre a mina de Brucutu e o perímetro urbano de SGRA o rio Santa Bárbara sofre inflexão, fluindo preferencialmente na direção W-E.

A estruturação do relevo na bacia do rio Piracicaba permite organizá-lo em três compartimentos regionais. Esses compartimentos são representados pelo Domínio do Quadrilátero Ferrífero, pelos Planaltos Dissecados do Leste de Minas, e pela Depressão Interplanática do rio Doce (SOUZA, 1995).

O Domínio do Quadrilátero Ferrífero é representado na área de estudo pelas serras do Tamanduá e do Machado. Os Planaltos Dissecados do Leste de Minas correspondem localmente a formas de dissecção fluvial do tipo colinas, cristas, pontões e vales encaixados (VASCONCELOS, 2002).

De acordo com a classificação de Köppen, o clima da região enquadra-se no tipo Cwa, ou seja, clima mesotérmico de verões quentes com invernos secos (JESUS, 2010). A temperatura média anual é de 20,1°C, tendo média máxima e mínima de 26,5°C e 15,9°C respectivamente. A pluviometria apresenta média anual de 1.372 mm (ALMG, 2012). A distribuição espacial da pluviosidade acumulada para a região demonstra que os fatores topográficos, principalmente a forte influência do orógeno Espinhaço e das serras do Quadrilátero Ferrífero, desempenham um papel importante no regime de chuvas.

No que se refere à biogeografia, o município de São Gonçalo do Rio Abaixo está inserido no bioma da Mata Atlântica, as principais formações vegetacionais são: a floresta estacional semidecidual e o campos rupestres, concentrado nas cristas de serras (OLIVEIRA FILHO e SCOLFORO, 2008; OLIVEIRA FILHO *et al.*, 2006).

3.2.2 Procedimentos Metodológicos

Segundo Saadi (1997), a abordagem da geomorfologia em estudos voltados para o planejamento territorial deve considerar as características de suporte e risco geomorfológico como integradoras dos fatores geológico, geotécnico e hidrodinâmico. Neste intuito, a construção do índice geomorfológico de potencial de uso do solo (IGPU) foi realizado em quatro grandes etapas, a saber:

1 - classificação e análise do mapeamento das unidades geomorfológicas em escala de 1:100.000, elaborado por Fonseca *et. al.* (2012).

2 - interpretação e classificação das unidades litológicas em termos geotécnicos, visando a adequabilidade à ocupação, considerando potencialidades e susceptibilidades dos terrenos, conforme proposta de Parizzi *et al.*, 2010.

3 - cálculo de parâmetros morfométricos relacionados à dinâmica das vertentes e à dinâmica fluvial. Neste caso foram considerados o índice de concentração de rugosidade (ICR) (SAMPAIO, 2008; SAMPAIO e AUGUSTIN, 2014); e o índice de Hack (IH),

interpretado pela perspectiva dos processos hidrodinâmicos e o potencial de dissecação do relevo (HACK, 1973; FONSECA, 2010; FONSECA e AUGUSTIN, 2011).

4 - Na quarta etapa foi realizada a classificação dos componentes de legenda das unidades litológicas/geotécnicas e geomorfológicas em termos do potencial de ocupação do solo. Foram atribuídas notas entre 0 e 10 (TABELAS 3.1 e 3.2), sendo que nenhum componente de legenda recebeu notas 0 e 10, uma vez que "*não existe terreno que seja completamente inválido assim como não há terreno, que por melhor que seja, não exija medidas criteriosas de ocupação.*" (PARIZI et. al., 2010, p.2; Moura et. al., 2011, p. 693). A sequência numéricas dos grupos na tabela 3.1 está fora da sequência numérica, uma vez que os grupos faltantes não ocorrem na área de estudo.

TABELA 3. 1 - Agrupamento e notas das unidades geotécnicas segundo Parizzi et. al., (2010)

Grupo	Litologia Principal	Litologia Secundária	Nota
1	Gnaisse, Granito	Granodiorito, Migmatito	8
3	Itabirito, Dolomito	Filito, Xisto	7
4	Xisto, Metagrauvaca, Metamáfica	Formação Ferrífera Bandada, Quartzito, Metaultramáfica, Calcissilito, Metachert	5
6	Quartzito, Metaconglomerado, Quartzo-mica xisto	Filito, Xisto, Conglomerado	7
7	Metagabro, Serpentinito	Xisto	7
8	Areia, Cascalho	Argila, Silte	2
9	Metarenito, Metapelito	Rocha Calcissilicítica, Metagrauvaca	6

Fonte: Parizzi et al. 2010

TABELA 3. 2 - Agrupamento e notas das unidades geomorfológicas

Unidades Geomorfológicas	Potencial de Uso
Colinas alongadas com vales encaixados	6
Colinas alongadas em patamares	7
Colinas convexas e poli-convexas	9
Colinas rebaixadas com topos alongados	7
Crista do sinclinal Gandarela (Serra do Machado)	4
Cristas e vertentes estruturais	4
Depressão de Pacas	7
Escarpas da Serra do Gandarela (Serra do Machado)	4
Escarpa ocidental da Serra do Seara	3
Morrotes residuais	5
Patamares externos do sinclinal Gandarela (Serra do Machado)	4
Relevo antropogênico (Mina de Brucutu)	1
Sistema de vales do córrego Brucutu e alto rio Santa Bárbara	3
Sistema de vales encaixados e vertentes ravinadas	6
Sistema integrado de planícies e terraços fluviais	6
Vale encaixado estruturalmente condicionado	2
Vertentes alongadas estruturalmente condicionadas	5
Vertentes retilíneas em patamares	8

Fonte: dados da pesquisa

As unidades geomorfológicas foram analisadas e classificadas de 0 a 10 em relação ao potencial de uso, considerando os processos morfodinâmicos existentes, as coberturas superficiais, e a gênese (degradação ou agradação) (TABELA 3.2). Desta maneira a variável categórica foi transformada em variável quantitativa.

Todas as bases cartográficas utilizadas neste trabalho estão listadas na tabela 3.3.

TABELA 3. 3 - Bases Cartográficas

Bases cartográficas	Dimensão e origem do dado
Hidrografia hierarquizada	1:100.000, IGA-MG
Unidades Geomorfológicas	1:100.000, Fonseca <i>et. al.</i> (2012)
Unidades Geológicas	1:100.000, CPRM (2000)
Uso e Cobertura do Solo	1:100.000, Fonseca <i>et. al.</i> , (2015)
MDE TOPODATA	Resolução 30 metros, INPE (2008)

Fonte: dados da pesquisa

O ICR foi calculado a partir do modelo digital de elevação (MDE) do Projeto TOPODATA (INPE, 2008). O primeiro passo foi calcular os valores de declividade por pixel,

em porcentagem, resultando em uma matriz que posteriormente foi convertida em uma nuvem de pontos (SAMPAIO, 2008; FONSECA, 2010; SAMPAIO e AUGUSTIN, 2014). Sobre a nuvem de pontos aplicou-se o estimador de densidade de Kernel, conforme processo de modelagem ilustrado na figura 3.2. Sampaio e Augustin (2014) argumentam que o ICR é uma ferramenta metodológica complementar ao mapeamento geomorfológico tradicional, e possibilita a identificação de unidades com distintos padrões de dissecação, podendo ser relacionado aos processos de vertentes (AUGUSTIN e ARANHA, 2006a; AUGUSTIN e ARANHA, 2006b).

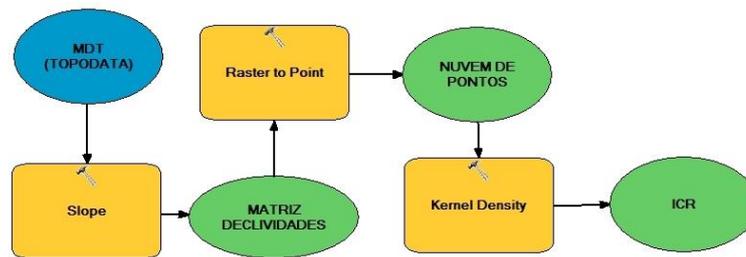


FIGURA 3. 2 - Fluxo de processo da modelagem do ICR na plataforma Model Builder/ArcGIS 10.2.

O IH (Stream Length-Gradient Index) foi calculado a partir do modelo digital de elevação (MDE) do Projeto TOPODA e da rede de drenagem hierarquizada pelo método de Strahler (1952). o IH é calculado pela equação simplificada:

$$IH = \frac{\Delta H}{\log_e \Delta L} \quad (1)$$

onde ΔH representa a variação altimétrica do segmento, ΔL representa o comprimento do segmento de drenagem hierarquizado e \log_e é o logaritmo natural.

A partir de evidências empíricas (HACK e YOUNG, 1959; HACK, 1957), Hack observou que um aumento no tamanho das partículas depositadas no leito do rio está diretamente relacionado ao valor de SL, ou à sua competência. Assumindo que a competência de um rio seja diretamente relacionada com a energia do mesmo, é compreensível que o Índice de Hack seja tomado como uma medida ou um indicativo da energia dos rios e, portanto, como uma base comparativa entre esses (ETCHEBEHERE et. al., 2004; ETCHEBEHERE et al., 2006; KELLER e PINTER, 1996).

Fonseca (2010) e Fonseca e Augustin (2011) relacionaram valores do IH com os processos hidrodinâmicos e suas consequências em termos de processos erosivos em bacias hidrográficas no Espinhaço Meridional. Por essa perspectiva, o IH foi calculado por segmento de drenagem hierarquizado e por sub-bacias de primeira, segunda, terceira e quarta ordem fluvial. O processo de modelagem do IH pode ser observado na figura 3.3.

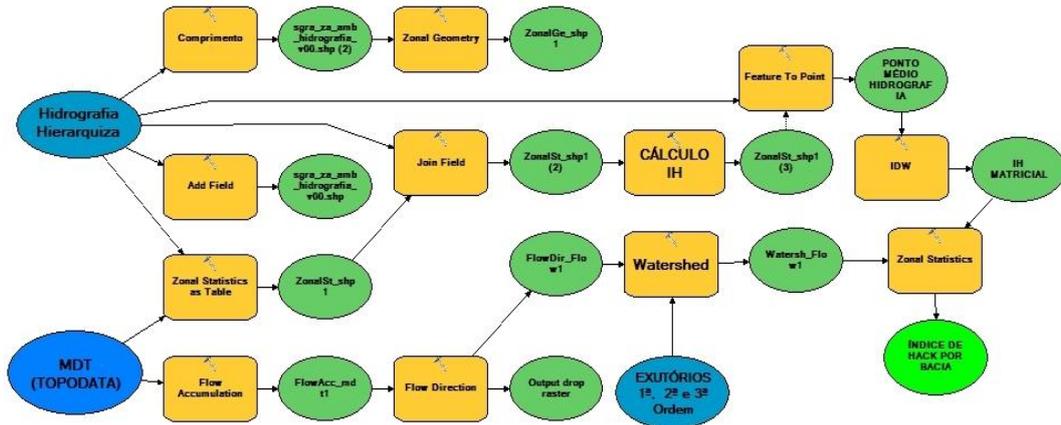


FIGURA 3.3 - Fluxo de processo da modelagem do IH na plataforma Model Builder/ArcGIS 10.2

Para a formulação final do IGPU os valores resultantes das quatro variáveis geomorfológicas utilizadas foram normalizados entre 0 e 1, sendo que valores mais próximos de 1 representam um maior potencial de uso do solo. Para tal, os valores do IH e do ICR foram invertidos, uma vez que valores elevados desses índices caracterizam terrenos desfavoráveis à ocupação, que são, respectivamente, as microbacias com alta energia fluvial (processos erosivos mais intensos), e vertentes dissecadas em zonas de degradação.

A integração das quatro variáveis analisadas (unidades geomorfológicas, unidades geotécnicas, ICR e IH) foi feita por meio da Análise de Multicritérios (AMC), procedimento utilizado para a criação de síntese de valores baseado na ponderação de critérios ou variáveis. O procedimento empregado neste trabalho é baseado na média ponderada amparada por knowledge-driven evaluation (MOURA, 2005). Nesse caso, a atribuição de pesos é feita por conhecedores dos fenômenos da área de estudo, bem como das variáveis analisadas (MALCZEWSKI, 1999; MALCZEWSKI, 2000; MALCZEWSKI, 2006;), conforme a equação:

$$IGPU = \sum_{k=1}^n (Pk \times Nk) \quad (2)$$

onde n é o número de critérios analisados, P_k é o peso atribuído a cada critério e N_k é o valor normalizado de cada variável considerada na análise. Foi atribuído pesos iguais de 25% para cada uma das quatro variáveis geomorfológicas, uma vez que não foi realizado um estudo específico para avaliar a intensidade de cada fator, bem como não foi feita uma consulta a um grupo de especialistas. Todo o processo de modelagem do IGPU é observado na figura 3.4.

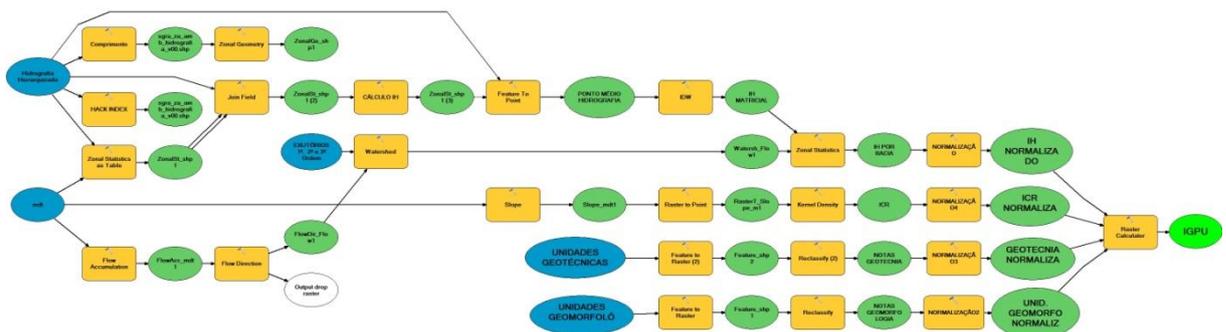


FIGURA 3. 4 - Fluxo de processo da modelagem do IGPU na plataforma Model Builder/ArcGIS 10.2.

Para avaliar a relação entre a cobertura de vegetação remanescente e áreas antropizadas, por unidade geomorfológica, aplicou-se o Índice Normalizado de Remanescentes Florestais (Normalized Remaining Vegetation Index, NRVI) em cada unidade geomorfológica mapeada por Fonseca *et. al.*, (2012). O NRVI foi proposto por Bonnet *et al.*, (2006) para a avaliação quantitativa entre as áreas de remanescentes florestais e as áreas antrópicas dentro de uma determinada unidade espacial de análise, neste artigo estamos considerando as unidades geomorfológicas. As informações referentes ao uso e cobertura do solo foram extraídas do mapeamento realizado por Fonseca *et. al.*, (2015). O NRVI é definido pela equação abaixo:

$$NRVI = \frac{rv - aa}{rv + aa} \quad (3)$$

onde rv corresponde á vegetação natural remanescente por unidade geomorfológica e aa representa as áreas antropizadas por unidade geomorfológica, que correspondem aos usos antrópicos do solo. Os resultados variam entre -1 (áreas totalmente antrópicas) e +1 (áreas totalmente preservadas).

O valor médio do IGPU foi espacializado para cada unidade geomorfológica com o objetivo de fazer uma análise estatística comparativa com o NRVI, também espacializado por unidade geomorfológica. Ambos os índices foram analisados estatisticamente aplicando os índices de Moran Global (*Global Spatial Autocorrelation Index* - I-Moran Global) e Local (*Local Indicators of Spatial Association* - LISA) (ANSELIN et. al., 2006; ANSELIN, 1995; MORAN, 1948), com o auxílio do software GeoDa versão 1.4.6. O I-Moran Global indica a média da associação espacial de uma determinada variável para todo o conjunto de dados, o que é útil na caracterização da totalidade da área de estudo. Segundo Carvalho *et al.* (2004), no índice global valores positivos (entre 0 e 1) indicam correlação direta e valores negativos (0 e -1) correlação inversa, funcionando como um teste estatístico no qual a hipótese nula é a independência espacial.

A estatística I-Moran Global indica a "força" da similaridade ou dissimilaridade espacial das regiões vizinhas, sendo que uma estatística I-Moran Global significamente positiva indica regiões vizinhas similares enquanto que uma estatística I-Moran Global significamente negativa indica dissimilaridade entre as regiões contíguas. Se x_1, x_2, \dots, x_n forem as observações de N locais, o I-Moran Global para estas N observações é dado por:

$$I = \frac{N}{w_0} \frac{\sum_{i=1}^N \sum_{j=1, i \neq j}^N w_{ij} (x_i - \bar{x})(x_j - \bar{x})}{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2} \quad (4)$$

$$\text{onde } w_0 = \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^N w(i, j).$$

O LISA permite analisar a associação espacial para diferentes localizações de uma variável distribuída no espaço, a exemplo dos valores do NRVI e IGPU (ANSELIN, 1995; CARVALHO et. al., 2004; ROGERSON, 2010). A estatística I-Moran Local mensura a autocorrelação espacial de uma localização específica com os seus vizinhos. Da mesma forma que o I-Moran Global, o I-Moran Local significamente positivo indica que os valores do local em questão e seus vizinhos são similares, ou seja, há autocorrelação positiva (há padrões de similaridade espacial). Já o I-Moran Local significamente negativo indica que o valor da localização em análise é desigual em relação a seus vizinhos, ou seja, há padrões de dissimilaridade espacial. O I-Moran Local pode ser calculado para uma localização i , e

quando os valores de I_i são diferentes de zero isso indica que a unidade i está espacialmente associada aos seus vizinhos, de acordo com equação 5.

$$I_i = \frac{x_i - \bar{x}}{S_i^2} \sum_{j=1}^N w_{ij} (x_j - \bar{x}) \quad \text{onde} \quad S_i^2 = \frac{\sum_{j=1, j \neq i}^N x_j^2}{N-1} - \bar{x}^2 \quad (5)$$

3.3 Resultados e Discussões

As quatro variáveis relacionadas na formulação do IGPU são complementares e expressam fatores endógenos e exógenos relacionados ao modelado das formas de relevo. A integração dessas variáveis pelo IGPU permitiu a reunião de fatores geológicos/geotécnicos, hidrodinâmicos e relacionados à dinâmica de vertentes (SAADI, 1997). Por exemplo, a unidade geotécnica dos granitos e gnaisses (TABELA 3.1, grupo1) é favorável para ocupação, mas na região central da área de estudo ocorre associada a uma zona de cisalhamento e falhas de empurrão (FIGURA 3.1), rios com alto vigor energético (alto valor do índice de Hack), em uma zona de elevada rugosidade (alto valor do ICR), o que reflete na morfologia do relevo por meio de vales encaixados, cristas alongadas e vertentes estruturais, criando condições desfavoráveis à ocupação (FIGURA 3.6).

A análise visual das quatro variáveis consideradas para a construção do IGPU permite a identificação de dois grandes domínios com distintos potenciais de uso e ocupação do solo, um ao norte e outro ao sul (FIGURA 3.5). Na região norte as formas de relevo são esculpidas sobre o substrato geológico constituído por complexos metamórficos, predominantemente gnaisses e migmatitos, onde ocorrem latossolos vermelho-amarelos distróficos. As colinas convexas e policonvexas, presentes nessa região, encontram-se entre as cotas altimétricas de 600 a 800 metros, com declividades variando entre 5% e 30% (FIGURA 3.6, foto 6).

As características geomorfológicas da região norte da área de estudo, sintetizadas pelo IGPU, proporcionaram o avanço das atividades antrópicas. Tal condição pode ser observada e ratificada pelos valores do NRVI (próximos de -1), significando uma maior quantidade de áreas antropizadas. No entanto, é importante ressaltar a não observação em campo de processos de erosão acelerada, mesmo nas áreas onde não há uma cobertura expressiva de vegetação. Chama-se atenção para valores elevados de IGPU, o que significa alto potencial de uso e ocupação do solo (FIGURA 3.6).

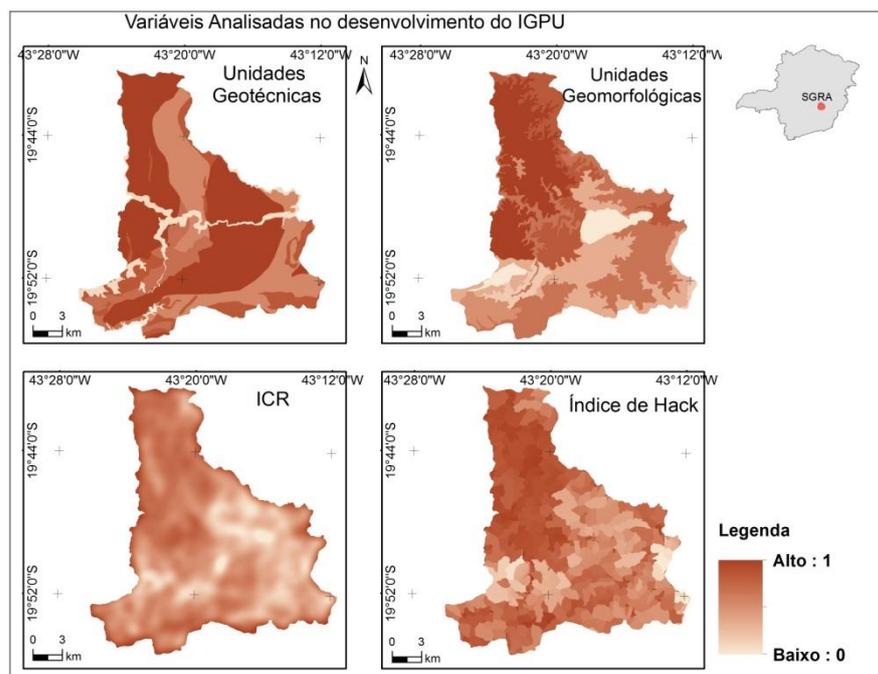


FIGURA 3. 5 - Variáveis normalizadas consideradas no processo de modelagem do IGPU, classificadas conforme o potencial de uso do solo. Ressalta-se que as variáveis unidades geomorfológicas e unidades geotécnicas foram reclassificadas com notas, sendo transformadas em variáveis quantitativas.

A região centro-sul da área de estudo apresenta características desfavoráveis à ocupação, onde podemos observar vales encaixados, cristas e vertentes estruturais, muitas vezes associados à cambissolos rasos e neossolos litólicos. Nessa região fica evidente a influência estrutural dos eventos tectônicos característicos do Quadrilátero Ferrífero, resultando em elementos notáveis na paisagem, a exemplo de cristas quartzíticas e itabiríticas, ocorrendo na Serra do Machado e na Serra do Seara, nos limites com os municípios de Barão de Cocais e João Monlevade respectivamente.

O sítio urbano de São Gonçalo do Rio Abaixo iniciou-se com a ocupação da unidade geomorfológica das planícies e terraços fluviais, sobretudo esculpidos pela ação dos rios Una e Santa Bárbara. Essa unidade geomorfológica apresenta médio potencial de ocupação e baixa quantidade de remanescentes florestais, haja vista o valor -0.65 de NRVI. Embora a escala trabalhada não permita uma análise direta da área urbana, é possível observar que as adjacências do sítio urbano central do município está inserido em uma zona de alto a muito alto potencial de ocupação (FIGURA 3.6), com valores de NRVI próximos de 0, o que representa um equilíbrio entre áreas de remanescentes florestais e áreas antropizadas (FONSECA et. al., 2015) (FIGURAS 3.6 e 3.7, foto 2).

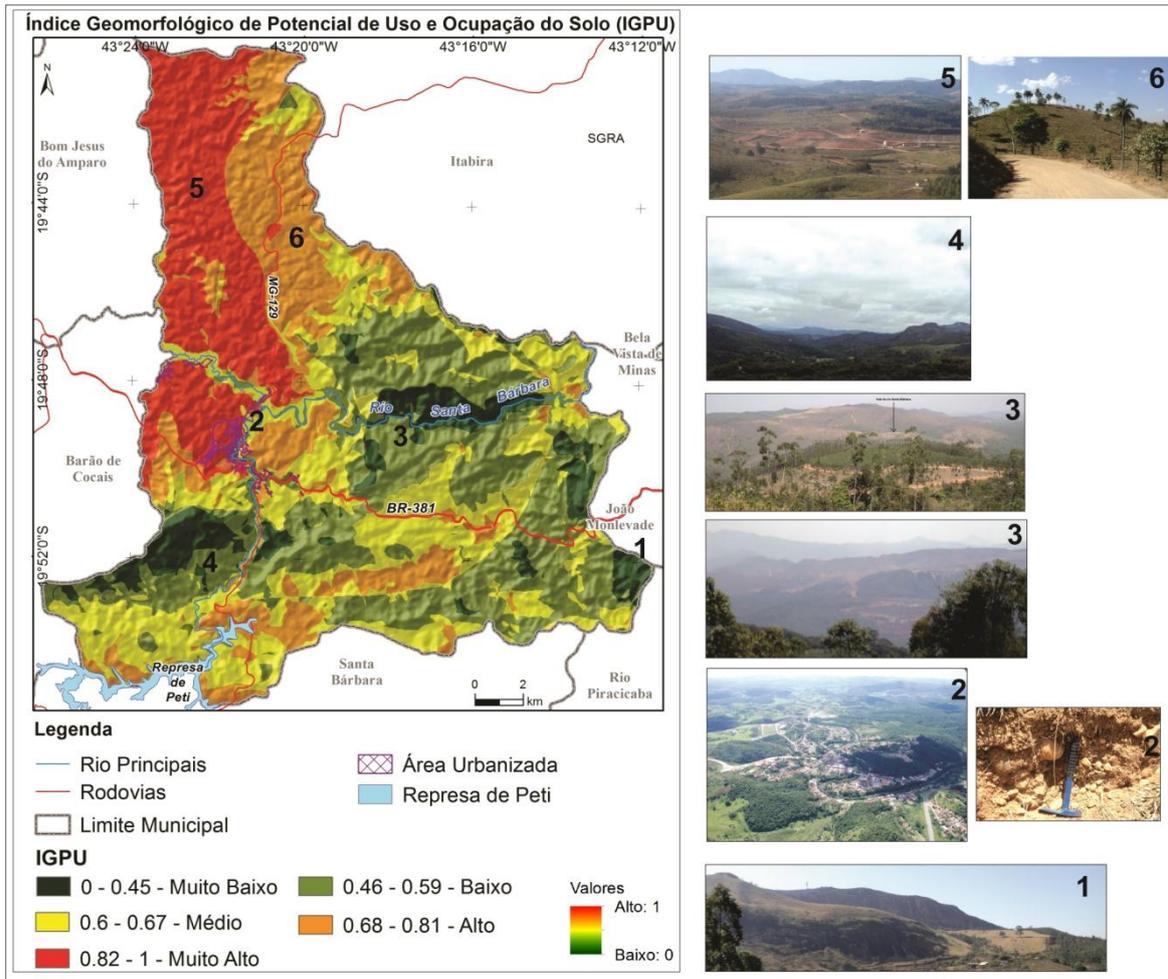


FIGURA 3. 6 - Espacialização do Índice Geomorfológico de Potencial de Uso e Ocupação do Solo (IGPU) para o município de São Gonçalo do Rio Abaixo- MG

Valores elevados do NRVI (próximos de 1) indicam as unidades geomorfológicas onde a quantidade de vegetação natural remanescente é maior que a quantidade de áreas antropizadas. Essas unidades geomorfológicas estão associadas ao sistema de falhas de empurrão que atravessa toda a área de estudo com sentido SE-NE (FIGURA 3.1). São unidades geomorfológicas com alta rugosidade do relevo e canais de drenagem com alto vigor energético, ocorrem na região central de São Gonçalo do Rio Abaixo (em verde escuro na figura 3.7, fotos 3 e 4).

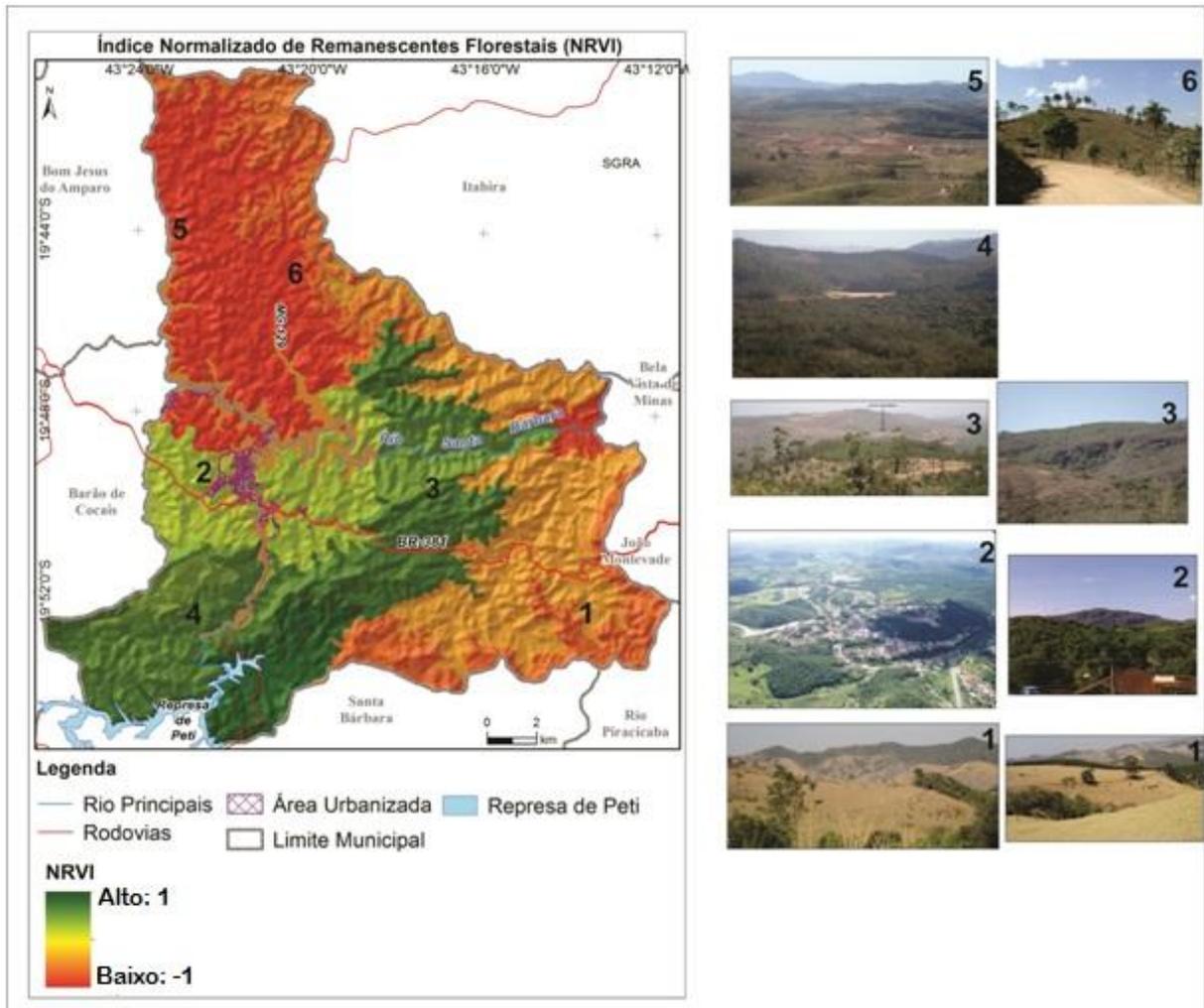


FIGURA 3. 7- Índice Normalizado de Remanescentes Florestais (NRVI) por unidade geomorfológica

De um modo geral observa-se, em uma primeira análise visual, que as áreas ao norte classificadas como de alto a muito alto potencial de ocupação correlacionam-se às unidades geomorfológicas com o menor valor de NRVI (próximos de -1), ou seja, áreas com baixa quantidade de vegetação natural remanescente. Essas unidades correspondem a colinas convexas e poli-convexas e colinas rebaixadas com topos alongados, conforme o mapeamento de Fonseca et. al. (2012). Por outro lado, as áreas com baixo potencial de ocupação coincidem com as unidades geomorfológicas com grande quantidade de remanescentes florestais, localizadas a sudoeste da área de estudo, são predominantemente cristas de serras, vales encaixados e relevos escarpados.

O resultado do I-Moran Global e do LISA, considerando o IGPU e o NRVI separadamente, mostrou a discrepância entre o norte e o sul tanto para o potencial de ocupação do solo em termos geomorfológicos, quando em relação à quantidade de vegetação

remanescente, evidenciando a dependência espacial dessas variáveis (FIGURA 3.8). Em ambos os casos a autocorrelação positiva, com significância acima de 95%, evidencia uma similaridade entre os valores da variável estudada e sua localização espacial (FIGURA 3.8). É importante ressaltar que o grau de aglomeração tanto para o IGPU quanto para o NRVI não foi elevado, haja vista o valor I de Moran igual a 0,47 e 0,53, respectivamente. Isso significa que não houve uma grande quantidade de clusters entre as 27 unidades geomorfológicas.

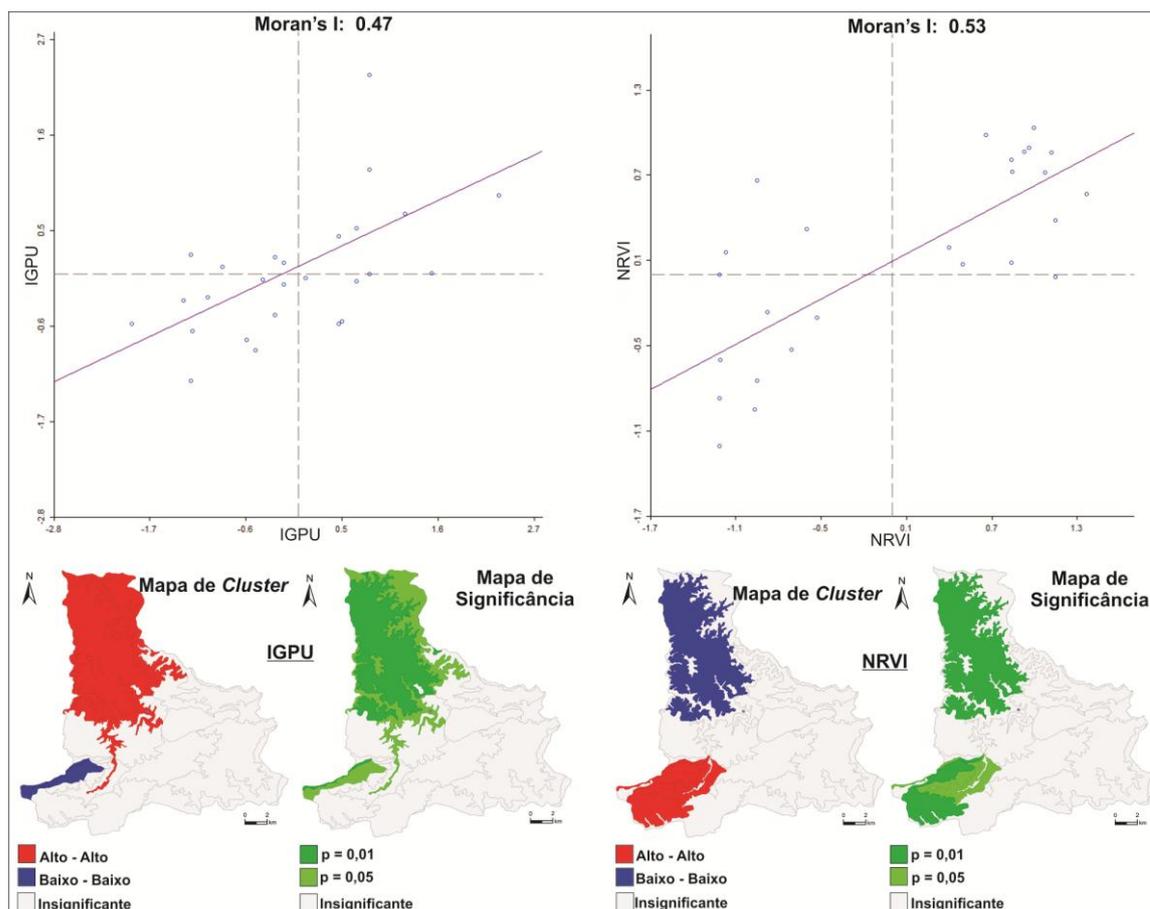


FIGURA 3. 8- Diagramas de espalhamento de Moran para análise univariada do IGPU, à esquerda e do NRVI, à direita, bem como o resultado do LISA para cada uma das variáveis analisadas

No entanto, os agrupamentos formados apresentaram significância acima de 95% (p valor maior ou igual a 0,05), com destaque para a representatividade espacial dos agrupamentos formados na região norte da área de estudo, onde observa-se um elevado potencial de ocupação e poucos remanescentes florestais, na região das colinas convexas e policonvexas, esculpidas sobre rochas do embasamento cristalino, a maior unidade geomorfológica mapeada.

As unidades geomorfológicas que não formaram agrupamentos também representam uma resposta interessante, uma vez que possuem uma relação IGPU/NRVI equilibrada (FIGURA 3.9, quadrado verde). Nessas áreas observa-se um potencial de ocupação (IGPU) com grau médio (0,5 a 0,7) e um equilíbrio entre áreas antropizadas e remanescentes de vegetação (NRVI próximo de 0). Algumas unidades geomorfológicas devem ser foco de estudos voltados para a conservação da biodiversidade, pois ainda possuem uma quantidade expressiva de vegetação (NRVI entre 0,01 e 1) e médio potencial de ocupação (IGPU entre 0,5 e 0,7).

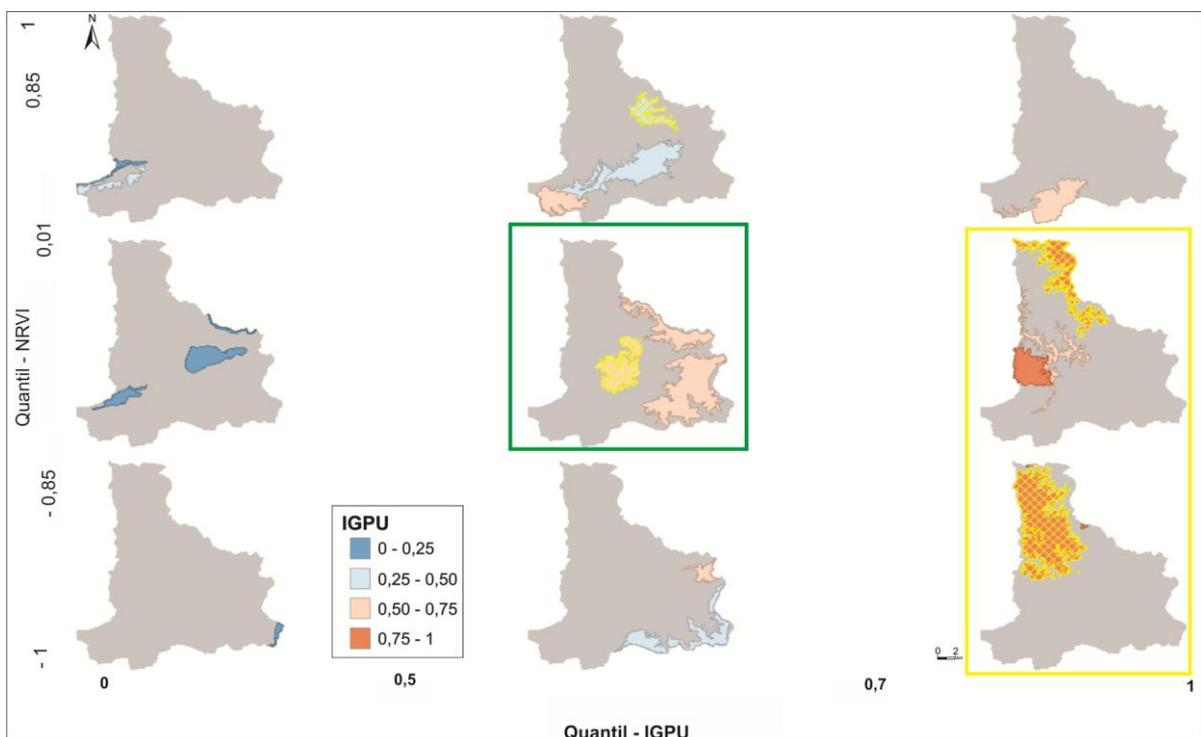


FIGURA 3. 9 - Relação IGPU/NRVI com a classificação temática pelos valores de IGPU

A associação do IGPU com o NRVI resultou em uma correlação espacial inversa, ou negativa, com valor I-Moran de -0,30. Na figura 3.9, o retângulo em amarelo evidencia as duas unidades geomorfológicas (hachuras em amarelo) que mais se ajustaram à reta que descreve o autocorrelação espacial negativa (FIGURA 3.10). Neste caso, essas unidades geomorfológicas apresentam alto IGPU e baixo NRVI, são áreas predominantemente antropizadas e com elevado potencial de ocupação em relação aos condicionantes geomorfológicos (FIGURA 3.11).

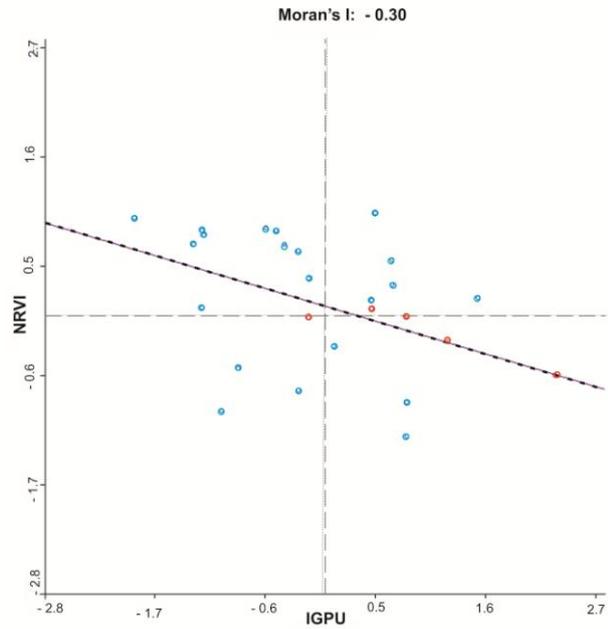


FIGURA 3. 10 - Diagrama de espalhamento de Moran para a análise bivariada entre IGPU/NRVI. Os círculos em vermelho representam as unidades geomorfológicas que mais se ajustaram à reta

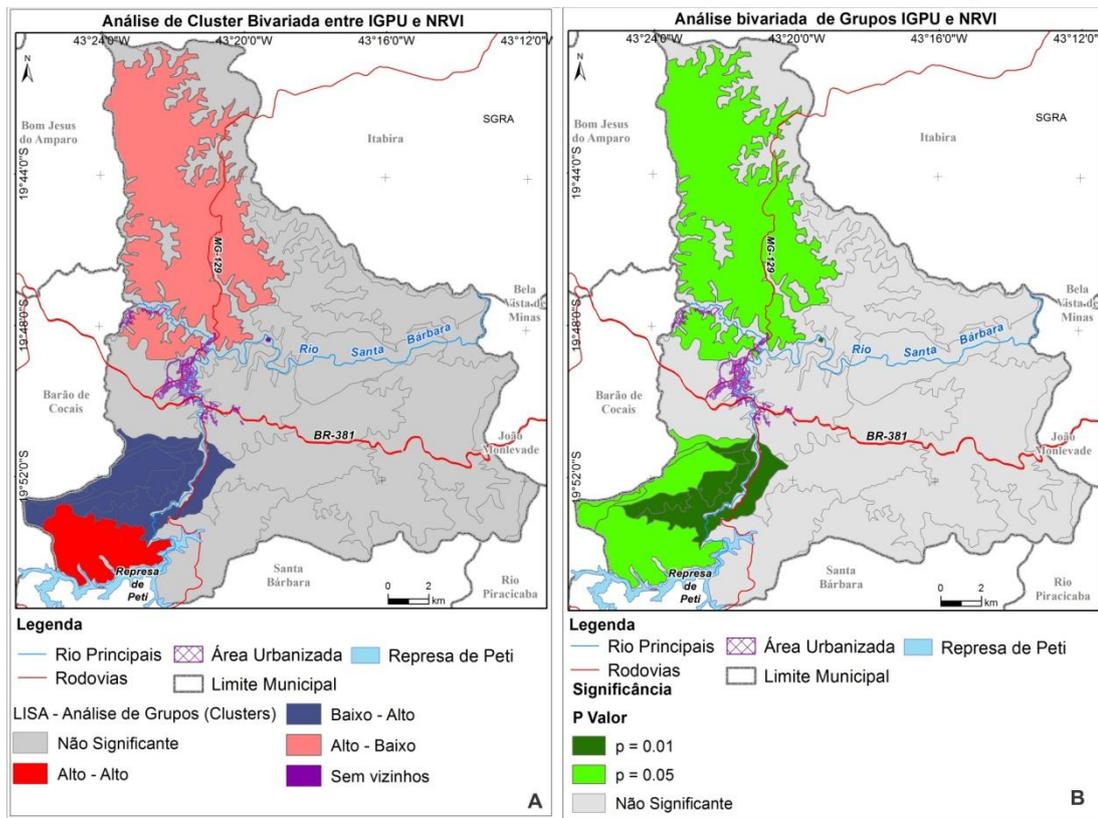


FIGURA 3. 11 - (A) - Análise de Cluster baseada no índice de Moran local. (B) - Índice de significância dos agrupamentos formados

3.4 Conclusões e Observações

A elaboração do IGPU possibilitou a síntese dos fatores geomorfológicos relacionados com o potencial e o padrão de ocupação e uso do solo, integrando condicionantes geotécnicos, hidrodinâmicos, relacionados à dinâmica das vertentes e às características morfológicas do relevo. É importante ressaltar que a classificação das variáveis qualitativas, a exemplo das unidades geotécnicas e das unidades geomorfológicas, deve ser feita por profissionais especialistas em cada temática.

As análises relacionadas ao potencial de ocupação do solo realizadas neste artigo avaliaram somente os condicionantes geomorfológicos, doravante os valores numéricos e normalizados do IGPU podem ser integrados à outras variáveis para compor uma análise mais detalhada do potencial de uso e ocupação do solo.

A síntese dos condicionantes geomorfológicos em valores numéricos normalizados é uma contribuição no sentido de facilitar o entendimento, sobretudo por parte dos profissionais não familiarizados com os termos e conceitos da geomorfologia e que, muitas vezes, não consideram a variável como fator importante para o planejamento urbano e territorial. Esse índice não substitui as análises geotécnicas na escala do sítio urbano, mas pode ser um instrumento de análise em escala de município, que poderá compor estudos técnicos voltados para planos diretores municipais, zoneamentos, planos de manejo, e estudos de impacto ambiental.

A aplicação do IGPU em estudos ambientais pode ser um instrumento de síntese das variáveis do meio físico, muitas vezes sub analisadas e não compreendidas pela equipe multidisciplinar e pelas comunidades envolvidas no processo de licenciamento ambiental.

A análise comparativa do IGPU com o NRVI, realizada por unidade geomorfológica, pode ser um elemento de avaliação da paisagem que transcende os domínios da unidade básica de análise para a Ecologia da Paisagem, que são os fragmentos florestais. A relação IGPU/NRVI aproxima-se do conceito de Geossistema (SOTCHAVA, 1977; TROPMAIR e GALINA, 2006), que pressupõe a integração da dinâmica socioeconômica, neste caso expressa no uso e ocupação do solo, com os fatores geomorfológicos.

Neste sentido, a relação IGPU/ NRVI pode compor também estudos técnicos para apoiar os Planos de Gestão da Paisagem, visando instituir a chancela da paisagem cultural brasileira (WEISSHEIMER, 2009).

A chancela da paisagem tem o efeito de um "selo de qualidade da paisagem", que atesta o valor cultural de uma porção do território brasileiro, que possui características especiais na interação das atividades antrópicas e o meio ambiente. De acordo com Moura *et al.*, (2015) ainda não foi estabelecida uma metodologia para identificar, classificar e propor o uso antrópico sustentável do território no sentido de proteger as paisagens culturais brasileiras.

A aplicação do IGPU associado ao NRVI nos limites territoriais do município de São Gonçalo do Rio Abaixo mostrou que as áreas com o maior potencial geomorfológico de ocupação do solo são também as mais antropizadas. Foi possível observar duas grandes unidades de paisagem, uma a norte da área de estudo, mais antropizada, e outra a sul, mais preservada, sendo que o compartimento sul pode ser considerado uma área que necessita de atenção especial, uma vez que abriga duas atividades antrópicas com forte poder de transformação da paisagem, a mineração e o reflorestamento com eucalipto.

3.5 Referências Bibliográficas

- ALMG. *Municípios Mineiros*. Disponível em: <<http://www.almg.gov.br/index.asp?grupo=estado&diretorio=munmg&arquivo=municipios&municipio=61908>>. Acesso em: 8 jun. 2012.
- ANSELIN, L. Local Indicators of Spatial Association – LISA. **Geographical Analysis** v. 27, n. 2, p. 93–115, 1995.
- ANSELIN, L.; SYABRI, I; KHO, Y. GeoDa: An Introduction to Spatial Data Analysis. **Geographical Analysis** v. 38, n. 1, p. 5–22, 2006.
- AUGUSTIN, C. H. R. R.; ARANHA, P. R. A. a Ocorrência De Voçorocas Em Gouveia, MG : Características E Processos Associados. **Geonomos** v. 14, n. 1,2, p. 75–86 , 2006a.
- AUGUSTIN, C. H. R. R.; ARANHA, P. R. A. Piping em área de voçorocamento, noroeste de Minas Gerais. **Revista Brasileira de Geomorfologia** v. 7, n. 1, p. 9–18, 2006b.
- AUGUSTIN, C.H.R.R.; SAADI, A. Avaliação preliminar, qualitativa, dos impactos antrópicos na bacia do córrego do Mergulhão, Pampulha, Belo Horizonte-MG. 1985, Belo Horizonte: ABGE-MG, 1985. p.261–287.
- BALTAZAR, O.F.; RAPOSO, F.O. *Folha Mariana SF.23-X-B-I: Estado de Minas Gerais. Escala 1:100.000 .Programa levantamentos geológicos básicos do Brasil*. Rio de Janeiro: CPRM, 1993
- BERTRAND, Georges. Le paysage entre la nature et la société. **Revue Géographique des Pyrénées et du Sud-Ouest** v. 49, p. 16–26, 1978.
- BERTRAND, Georges. Paisagem e geografia física global. esboço metodológico 1. **Ra'e Ga** n. 8, p. 141–152, 2004.
- BONNET, Barbara Rocha Pinto *et al.* Sistema de Reserva Legal Extra-Propriedade no Bioma Cerrado: Uma Análise Preliminar no Contexto da Bacia Hidrográfica. **Revista Brasileira de Cartografia** v. 58, p. 129–137, 2006.
- CARVALHO, M. S. *et al.* Análise de Dados de Área. In: DRUCK, S. *et al.* (Orgs.). . **Análise Espacial de Dados Geográficos**. 1. ed. Brasília: EMBRAPA, 2004. p. 209. Disponível em: <<http://www.dpi.inpe.br/gilberto/livro/analise/>>.85-7383-260-6.
- CHEMALE JR, F.; ROSIERE, C.A.; ENDO, I. The tectonic evolution of the Quadrilátero Ferrífero, Minas Gerais, Brazil. **Precambrian Research** v. 65, n. 1-4, p. 25–54 , 1994. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/0301926894900981>>.
- CHORLEY, R J. Geomorphology and general systems theory. **US Geological survey professional paper 500-B** v. 500-B, p. 1–14 , 1962.

CHORLEY, R. J.; KENNEDY, B. A. **Physical geography: a systems approach**. Englewood Cliffs: Prentice Hall, 1971.

CHRISTOFOLETTI, A. **Geomorfologia**. 1. ed. São Paulo: Edgard Blücher, 1980. 186 p. .
DORR, J. v. N. *et al.* **Revisão estratigráfica precambriana do Quadrilátero Ferrífero**. Avulso 81 ed. Rio de Janeiro: DNPM/DFPM, 1957. 31 p.

DORR, JOHN VAN N. Physiographic, stratigraphic and structural development of the Quadrilátero Ferrífero, Minas Gerais, Brazil. **GEOLOGICAL SURVEY PROFESSIONAL PAPER** v. 641-A, p. 1–110 , 1969.

ETCHEBEHERE, M. L. *et al.* Detecção de prováveis deformações neotectônicas no vale do rio do peixe, região ocidental paulista, mediante aplicação de índices RDE (Relação Declividade-Extensão) em seguimentos de drenagem. **Revista de Geociências** v. 5, n. 3, p. 271–287, 2006.

ETCHEBEHERE, M. L. C.; SAAD, A. R.; PERINOTTO, J.A.J. FULFARO, V.J. Aplicação do Índice “Relação Declividade-Extensão - RDE” na Bacia do Rio do Peixe (SP) para detecção de deformações neotectônicas. **Revista do Instituto de Geociências da USP - Série Científica** v. 4, n. 2, p. 43–56 , 2004.

FERREIRA, Albano Silva; BERNI, Gabriel Valentim. *Mapeamento geológico (escala 1:25000) da região entre os municípios de Barão de Cocais e São Gonçalo do Rio Abaixo, Quadrilátero Ferrífero, Minas Gerais* . 2007. 43 f. TG (Graduação em Geologia). IGC-UFMG, Belo Horizonte, 2007.

FONSECA, B. M. *O uso do sistema de informações geográficas na análise morfométrica e morfológica de bacias de drenagem na Serra do Espinhaço Meridional-MG*. 2010. 93 f. Dissertação (Mestrado em Geografia). IGC-UFMG, Belo Horizonte, 2010.

FONSECA, B. M.; AUGUSTIN, C. H. R. R. *Use of GIS to calculate Hack Index as a basis for comparative geomorphologic analysis between two drainage basins: a case study from SE-Brazil* .**International Geographic Union Regional Geographic Conference - UGI 2011**. Santiago: Military Geographic Institute of Chile (IGM), 2011

FONSECA, B. M.; AUGUSTIN, C. H. R. R.; BEZERRA, D. P. Análise de perfis longitudinais na bacia hidrográfica do Alto Jequitinhonha – Serra do Espinhaço Meridional/MG. **Territorium Terram** v. 1, n. 2, p. 1–8 , 2013. Disponível em: <http://www.seer.ufsj.edu.br/index.php/territorium_terram/article/viewFile/432/419>.

FONSECA, B. M.; BEZERRA, D. P.; AUGUSTIN, C. H. R. R. Mapeamento de Unidades Geomorfológicas na borda nordeste do Quadrilátero Ferrífero. In: 9º Simpósio Nacional de Geomorfologia. **Anais...** Rio de Janeiro: UGB, 2012. p.1–12.

FONSECA, B. M.; MOURA, A.C.M.; RIBAS, Rodrigo Pinheiro. Applying Ecological Landscape Concepts and Metrics in Urban Landscape Management. In: 2nd International Conference on “Changing Cities. **Anais...** Porto Heli, Peloponnese: University of Thessaly, 2015. p.1–10.

GARCIA, Paula Márcia Brasil; SOBREIRA, Frederico Garcia; MOURA, Ana Clara Mourão. Potencial de expansão e ocupação urbana no município de Timóteo - MG. **Revista Brasileira de Geociências** v. 42, n. 1, p. 27–38 , 2012.

GOUDIE, Andrew S. **The Earth Transformed: An introduction to human impacts on the environment**. Oxford: Oxford University Press, 1997. 276 p.

GOUDIE, Andrew S. **The human impact on the natural environment**. 4th. ed. Cambridge: BLACKWELL PUBLISHING, 1994. 454 p.

GROSSI-SAD, J.H. *et al.* Duas suítes graníticas do bordo sudeste do cráton Sanfranciscano, em Minas Gerais: petroquímica e potencial metalogenético. 1990, Natal: SBG 4, 1990. p.1836–1848.

HACK, J. T. Stream-profile analysis and stream-gradient index. **Journal of Research of the United States Geological Survey** v. 1, n. 4, p. 421–429 , 1973.

HACK, J. T. Studies of longitudinal stream profiles in Virginia and Maryland. **US Geological survey professional paper** v. 294-B, p. 45–97 , 1957.

HACK, J. T; YOUNG, R. S. Intrenched meanders of the North Fork of the Shenandoah River, Virginia. **US Geological survey professional paper** v. 354-A, p. 1–10 , 1959. Disponível em: <<http://pubs.er.usgs.gov/publication/pp354A>>.

HORTON, R.E. Erosional development of streams and their drainage basins: hydrophysical approach to quantitative morphology. **Bulletin of the Geological Society of America** n. 56, p. 1–97 , 1945.

INPE. *TOPODATA - Dados Geomorfométricos do Brasil*. Disponível em: <<http://www.dsr.inpe.br/topodata/index.php>>. Acesso em: 10 jun. 2012.

JESUS, J.R.P. *Análise da Dinâmica do Uso e Ocupação do Solo no Município de São Gonçalo do Rio Abaixo/MG – 1988 a 2009* . Monografia (Especilização em Geoprocessamento). IGC-UFMG, Belo Horizonte, 2010.

KELLER, E.A.; PINTER, N. **Active tectonics: Earthquakes, Uplift and Landscapes**. New Jersey: Prentice Hall, 1996. 501 p.

KOHLER, Heinz Charles. A Escala na Análise Geomorfológica. **Revista Brasileira de Geomorfologia** v. 2, n. 1, p. 21–31 , 2001.

MALCZEWSKI, J. **GIS and multicriteria decision analysis**. New York: Wiley & Sons, 1999.

MALCZEWSKI, J. GIS-based multicriteria decision analysis: a survey of the literature. **International Journal of Geographical Information Science** v. 20, n. 7, p. 703–726 , 2006.

MALCZEWSKI, Jacek. Review Article On the Use of Weighted Linear Combination Method in GIS : Common and Best Practice Approaches. **transactions in GIS** v. 4, n. 1 , 2000.

MARQUES, J. S. Ciência Geomorfológica. In: GUERRA, A. J. T; CUNHA, S. B. (Orgs.). . **Geomorfologia: Uma Atualização de Bases e Conceitos**. 9^a. ed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2009. p. 23–45.

MARSHAK, S. *et al.* Dome-and-keel provinces formed during Paleoproterozoic orogenic collapse — Diapir clusters, core complexes, or neither? Examples from the Quadrilátero Ferrífero (Brazil) and the Penokean Orogen (USA). **Geology** v. 25, p. 415–418 , 1997.

MCHARG, I. **Design with Nature**. New York: Natural History Pres, 1969. 197 p.

MILLER, William R. **Introducing Geodesign : The Concept Director of GeoDesign Services**. Redlands: ESRI Press, 2012. 1-36 p.

MORAN, P. A. P. The interpretation of Statistical Maps. **Journal of the Royal Statistical Society** v. B-10, n. 2, p. 243–251 , 1948.

MOURA, A C M; MAGALHÃES, Danilo Marques; PARIZZI, Maria Giovana. Vocações e Conflitos de Interesse na Ocupação do Território da Região Metropolitana de Belo Horizonte – Apoio ao Plano Diretor de Desenvolvimento Integrado - PDDI. In. XV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto - SBSR. **Anais...** Curitiba: INPE, 2011. p.690–687. Disponível em: <<http://www.dsr.inpe.br/sbsr2011/files/p0293.pdf>>.

MOURA, A.C.M.; CARSALADE, F.; NORONHA, A.C.S.; ACCIOLY, S. Geotechnologies in management of conflicts of interests in urban areas in remarkable landscape of Quadrilátero Ferrífero, Minas Gerais, Brazil. In. 2nd International Conference on “Changing Cities. **Anais...** Porto Heli: University of Thessaly, 2015. p.1–10.

MOURA, Ana Clara Mourão. **Geoprocessamento na gestão e planejamento urbano**. Belo Horizonte: ACMM, 2005. 294 p.

OLIVEIRA FILHO, A. T. *et al.* Definição e delimitação de domínios e subdomínios das paisagens naturais do estado de Minas Gerais. In: SCOLFORO, J. R.; CARVALHO, L. M. T (Orgs.). **Mapeamento e inventário da flora e dos reflorestamentos de Minas Gerais**. 1^a. ed. Lavras: Editora UFLA, 2006. p. 21–35.

OLIVEIRA FILHO, A. T.; SCOLFORO, J. R. **Inventário florestal de Minas Gerais**. Lavras: Editora UFLA, 2008. 575 p.

PARIZZI, Maria Giovana *et al.* **Mapa de Unidades Geotécnicas da Região Metropolitana de Belo Horizonte** . Belo Horizonte: RMBH. Disponível em: <http://www.rmbh.org.br/sites/default/files/Relat%C3%B3rio_Geologia_Potencial_de_Uso.pdf>, 2010.

PELOGGIA, A. U. G. A cidade, as vertentes e as várzeas: a transformação do relevo pela ação do homem no município de São Paulo. **Revista do Departamento de Geografia** v. 16, p. 24–31, 2005.

RODRIGUES, C. **Geomorfologia aplicada: avaliação de experiências e de instrumentos de planejamento territorial e ambiental brasileiros**. Universidade de São Paulo, 1997. 279 p.

ROGERSON, P. A. **Methods for Geography: A Student's Guide**. 3rd. ed. New Delhi: SAGE, 2010. 348 p.

ROSIERE, C.A.; CHEMALE JR., F. Itabiritos e minérios de ferro de alto teor do Quadrilátero Ferrífero - Uma visão geral e discussão. **Geonomos** v. 8, n. 2, p. 27–43, 2000.

SAADI, A. Avaliação de impactos no Brasil: problemas e perspectivas. In. 3º Simpósio de Geografia Física e Aplicada. **Anais...** Nova Friburgo: IG/UFRJ, 1989. p.14–28.

SAADI, A.; COSTA, N.B.O.R.; CAMPOS, J.C.F. Geomorfologia aplicada ao controle ambiental da expansão urbana do Vale do Aço. In. 2º SIMP. SITUAÇ. AMB. E QUAL. DE VIDA NA RMBH E MG. 1992, Belo Horizonte. **Anais...** ABGE/MG, 1992. p.1–15.

SAADI, Allaoua. A Geomorfologia como Ciência de Apoio ao Planejamento Urbano em Minas Gerais. **Geonomos** v. 5, n. 2, p. 1–4, 1997.

SAMPAIO, T.V.; AUGUSTIN, C. H. R. R. Índice de concentração da rugosidade: uma nova proposta metodológica para o mapeamento e quantificação da dissecação do relevo como subsídio a cartografia geomorfológica. **Revista Brasileira de Geomorfologia** v. 15, n. 1, p. 1–14, 2014.

SAMPAIO, T.V.M. **Parâmetros morfométricos para melhoria da acurácia do mapeamento da rede de drenagem – uma proposta baseada na análise da Bacia Hidrográfica do Rio Benevente – ES**. 2008. 147 f. Tese (Doutorado em Geografia). IGC-UFMG. Belo Horizonte, 2008.

SCHUMM, S.A. The role of creep and rainwash on retreat of badland slopes. **American Journal Science** v. 254, p. 693–706, 1956.

SOTCHAVA, V. B. **O Estudo de Geossistemas: Métodos em Questão**. São Paulo: IG/USP, 1977. 51 p. .

SOUZA, C. J. O. *Interpretação Morfotectônica da Bacia do Rio Doce*. 1995. 144 f. Dissertação (Mestrado em Geografia). IGC-UFMG. Belo Horizonte, 1995.

STEINITZ, Carl. **A Framework for Geodesign**. Redlands: ESRI Press, 2012. 360 p.

STRAHLER, A. N. Quantitative Analysis of Watershed Geomorphology. **Transactions of the American Geophysical Union** v. 8, n. 6, p. 913–920, 1957.

STRAHLER, A.N. Dynamic basis of geomorphology. **Geological Society of America Bulletin** v. 63, p. 1–188 , 1952.

TROPPEMAIR, Helmut; GALINA, Marcia Helena. Geossistemas. **Mercator** v. 10, n. 1957, p. 79–89 , 2006.

VASCONCELOS, Sueli Gentil. **Geomorfologia e urbanização no Vale do Aço: as planícies e a cidade de Ipatinga - Minas Gerais**. 2002. 122 f. Dissertação (Mestrado em Geografia). IGC-UFMG. Belo Horizonte, 2002.

WEISSHEIMER, Maria Regina. **Paisagem Cultural**. 1. ed. Brasília: IPHAN, 2009. 1-44 p.

XAVIER DA SILVA, J. Geomorfologia e Geoprocessamento. In: GUERRA, Antonio José Teixeira; CUNHA, Sandra Baptista Da (Orgs.). **Geomorfologia: uma atualização de bases e conceitos**. 9^a. ed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2009. p. 393–413.

4. ARTIGO 3 - ANÁLISE DE INCERTEZA E SENSIBILIDADE NA AVALIAÇÃO DO POTENCIAL DE EXPANSÃO URBANA E DA NECESSIDADE DE PRESERVAÇÃO AMBIENTAL NO MUNICÍPIO DE SÃO GONÇALO DO RIO ABAIXO - MG

RESUMO

Este artigo tem como objetivo aplicar Análise de Incerteza (AI) e Análise de Sensibilidade (AS) na avaliação multicriterial do potencial de expansão urbana e da necessidade de preservação ambiental no município de São Gonçalo do Rio Abaixo, região do Quadrilátero Ferrífero - MG. As análises de incerteza e de sensibilidade visam avaliar a robustez dos resultados obtidos nas avaliações multicriteriais, possibilitam identificar o quanto cada critério analisado interferiu na incerteza dos resultados. Os estudos de potencial de expansão urbana e de necessidade de preservação ambiental foram realizados por meio de análises de multicritérios, uma visando a síntese das variáveis que potencializam a expansão urbana e outra visando a síntese das variáveis que potencializam a preservação ambiental. A indicação de algumas variáveis e os pesos atribuídos a cada variável foram obtidos por consultas a colaboradores, utilizando o método Delphi direcionado para 15 especialistas conhecedores dos fenômenos investigados e envolvidos com a área de estudo. A incerteza inerente ao processo de atribuição de pesos pelos especialistas foi avaliada pela Simulação de Monte Carlo (SMC) e a sensibilidade de cada variável, segundo o seu papel na análise, foi avaliada pela decomposição da variância desses pesos, após a aplicação da SMC. Como resultado foi possível identificar as áreas com maior potencial para as condições avaliadas (expansão urbana e preservação ambiental) e menor incerteza das respostas, foi possível identificar áreas com alto potencial de expansão urbana e baixa incerteza dos resultados, e de alta necessidade de preservação ambiental e baixa incerteza dos resultados. Foram identificadas áreas de alto potencial de expansão urbana e de alta necessidade de preservação ambiental (em estudos separados), mas com alta incerteza dos resultados, o que significa que devem ser promovidas novas investigações. Foram identificadas áreas com baixo potencial de expansão urbana e com alta necessidade de preservação ambiental associadas à alta certeza do resultado, isto significa que, de fato, a área não é de interesse para ocupação urbana, mas sim para preservação ambiental. E finalmente foram identificadas áreas com alto potencial de expansão urbana e de alta necessidade de preservação ambiental associadas à alta incerteza,

significando dúvida no interesse, nestes casos cabem investigações adicionais, com a possível escolha de novas variáveis nas análises.

Palavras-chave: Análise de Incerteza, Análise de Sensibilidade, Simulação de Monte Carlo, Análise de Multicritérios, Planejamento Urbano e Regional

ABSTRACT

This paper aims to apply spatially-explicit uncertainty (UA) and sensitivity analysis (SA) in multi-criteria land suitability evaluation for urban expansion and environmental preservation in the municipality of São Gonçalo do Rio Abaixo (MG), Iron Quadrangle Region, Minas Gerais State, Brazil. The uncertainty and sensitivity analysis aim to evaluate the robustness of results obtained in multi-criteria analysis, enabling identify how much each analyzed criteria interfered in uncertainty of results. Two multi-criteria analyzes have been carried out, one aiming at the synthesis of the variables that potentialize urban expansion and another aiming at the synthesis of the variables that potentialize environmental preservation. For this purpose we used the Delphi method directed to 15 experts knowledgeable of the phenomena under investigation and which are stakeholders in the area of study. The uncertainty inherent in weight assignment process by experts was evaluated using Monte Carlo simulation (MCS), and the sensitivity of each criterion has been evaluated applying the variance decomposition in these weights, after running MCS. As a result it was possible to identify the areas with high suitability and low uncertainty for each investigated theme, enabling the optimization of decision-making process, wherein areas of high average suitability and low uncertainty mean robust suitability sites, whereas high average suitability and high uncertainty characterize candidate areas. At the same time, there have been identified the areas presenting high potential of urban expansion and highest potential of environmental preservation (in separate studies) associated with high uncertainty of results, meaning that further assessment shall be undertaken. There have been identified the areas presenting low potential of urban expansion and presenting highest potential of environmental preservation related to high certainty of results, meaning the area is really not of interest in terms of human occupation, but to environmental preservation. And finally, there have been identified the areas of high potential of urban expansion and significant potential of environmental preservation related to high uncertainty of results, meaning doubt in the interests, in this cases require further evaluation, for example, adding others criteria in the analysis.

Keywords: Uncertainty Analysis, Sensitivity Analysis, Monte Carlo Simulation, Multi-criteria Analysis, Urban and Regional Planning

4.1 Introdução

A análise da propagação de incertezas associadas aos modelos ambientais são usualmente aplicadas para avaliar a qualidade dos dados espaciais, bem como para avaliar erros inerentes ao resultado de interpoladores geoestatísticos utilizados para estimar a ocorrência espacial de determinada variável, como demonstrados nos trabalhos de Burrough (1992); Felgueiras (2001); Goodchild e Guoging (1992); Goodchild (1993); Heuvelink, Burrough e Stein (1989); Heuvelink (1998).

Este artigo, no entanto, tem como objetivo principal aplicar as análises de incerteza (AI) e sensibilidade (AS) para avaliar as incertezas inerentes ao processo de atribuição de pesos em análises de multicritérios (AMC). Como objetivo secundário, mas não menos importante, pretende-se avaliar o potencial da área de estudo em relação ao uso e ocupação do solo por atividades antrópicas urbanas, bem como avaliar o potencial de preservação de áreas ambientalmente relevantes. Para isso relacionou-se um conjunto de processos sob forma de critérios espaciais quantificáveis, em modelos de representação normalizados e classificados de acordo com os valores absolutos ou notas de adequação para cada temática analisada (MALCZEWSKI, 1999, 2006; MOURA, 2005)

A avaliação do potencial de uso e ocupação do solo de uma determinada área de estudo constitui uma atividade central para a compreensão do seu funcionamento (STEINITZ, 2012). Segundo Steinitz (2012), o conteúdo dos modelos de avaliação derivam de modelos de decisão, ou seja, há uma necessidade de compreender o funcionamento dos processos que descrevem uma determinada área e como eles se relacionam, para então avaliar os possíveis impactos de alterações projetadas que serão executadas. Deste modo, os modelos de avaliação influenciam diretamente os modelos de mudança, uma vez que as alterações propostas poderão ser revistas, caso as análises indiquem falta de aptidão em relação à temática analisada (STEINITZ, 2012).

De acordo com Steinitz (2012), as práticas de Geodesign utilizam critérios de avaliação baseados em três categorias, a saber: o lugar, a localização e a administração. Os critérios derivados do lugar relacionam-se aos processos físicos, ecológicos e socioeconômicos, transcendendo os limites da área de investigação, a exemplo dos estudos hidrológicos que envolvem bacias hidrográficas. Por outro lado, os critérios da administração

envolvem as leis de zoneamento, planos diretores e demais diretrizes voltadas para a gestão territorial.

Steinitz (2012) ressalta que a avaliação dos critérios analisados em um estudo pode ser oriunda de várias fontes, tal como um cliente, um comitê, um consultor, ou um grupo de especialistas, com a aplicação do método Delphi, por exemplo. No entanto, o referido autor chama a atenção para a necessidade de utilizar parâmetros estatísticos no processo de avaliação e análise de múltiplos critérios em estudos baseados em Geodesign, o que confere maior confiabilidade e robustez aos resultados.

As análises voltadas para a avaliação da aptidão do uso e ocupação do solo envolvem uma gama de fatores que podem descrever e explicar o funcionamento de um determinado sistema ambiental. Nesse sentido, a Análise de Multicritérios é empregada para relacionar múltiplas variáveis e compor síntese de valor, relacionando processos físicos, ecológicos e socioeconômicos (MALCZEWSKI, 1999, 2006, 2000; MOURA, 2007; STEINITZ, 2012).

No processo de definição de pesos em análise de multicritérios as respostas do modelo são, inevitavelmente, associadas a um espectro de incertezas e subjetividades oriundas de seus componentes, a saber: critérios, pesos e multiplicidade de especialistas. Essas incertezas podem ser avaliadas através da Análise de Incerteza e da Análise de Sensibilidade (BUTLER; JIA; DYER, 1997; LIGMANN-ZIELINSKA; JANKOWSKI, 2008, 2014; MOURA; JANKOWSKI; COCCO, 2014; SALTELLI *et al.*, 2010; STORE; KANGAS, 2001; VOOGD, 1983).

Segundo Crosetto *et al* (2000) as análises de incerteza (AI) e sensibilidade (AS) são, ou deveriam ser, pré-requisitos para a prática eficiente da modelagem de dados espaciais. O uso da AI e da AS têm como objetivo a quantificação e avaliação da incerteza associada às respostas dos modelos, que são susceptíveis às subjetividades dos dados e parâmetros de entrada (LIGMANN-ZIELINSKA e JANKOWSKI, 2008).

No âmbito das análises multicriteriais, as incertezas e subjetividades correspondem ao processo de atribuição de pesos. Neste caso, o uso da AS é motivada pela possibilidade de avaliação da influência e da pertinência dos diferentes critérios e pesos no padrão de distribuição espacial das áreas consideradas aptas, conforme o fenômeno em avaliação (STORE; KANGAS, 2001).

Um dos métodos mais utilizados para avaliar as incertezas e sensibilidades dos modelos baseados em SIG é o Método de Monte Carlo (FONSECA; MOURA; HADDAD,

2014; MOURA; JANKOWSKI; COCCO, 2014; LIGMANN-ZIELINSKA; JANKOWSKI, 2014; FELGUEIRAS, 2001; HEUVELINK, 1998). O referido método é também conhecido como Simulação de Monte Carlo (SMC), sendo utilizado para avaliar fenômenos que se comportam como probabilísticos. O método de Monte Carlo pressupõe a extração de números aleatórios de um universo amostral, que neste caso constitui-se em uma abordagem paramétrica, haja vista que as amostras aleatórias são extraídas de uma população com distribuição conhecida, a exemplo do conjunto de pesos atribuídos por um grupo de especialistas (COX *et al.*, 2001).

Segundo Donatelli e Konrath (2005), o método tradicional baseado na propagação das incertezas pelo desvio padrão é consenso na comunidade internacional de metrologia científica, mas vem sendo substituído pela Simulação de Monte Carlo (SMC), sobretudo pela dificuldade daquele em trabalhar com modelos não lineares.

Felgueiras (2001) chama a atenção para as vantagens de aplicação da SMC como medida da incerteza, uma vez que constitui um método de aplicação geral, podendo ser aplicado em modelos empíricos, lógicos e conceituais. Por outro lado, o referido autor aponta o elevado custo de processamento da SMC:

"...como os resultados não são obtidos numa forma analítica, análises de sensibilidade do modelo são mais difíceis, uma vez que a simulação deve ser executada várias vezes. Isto requer recursos computacionais com processamento rápido e possibilidade de armazenamento de grandes volumes de dados. O número de vezes que o algoritmo é repetido é, usualmente, maior que uma centena mas pode chegar a centenas de milhões." (FELGUEIRAS, 2001, p. 54)

A aplicação de métodos de avaliação de incertezas pode contribuir para os estudos de base voltados ao planejamento urbano e regional, uma vez que são temáticas complexas, que envolvem múltiplos fatores, distintos atores sociais e conseqüentemente a sobreposição de interesses.

A tomada de decisão no âmbito da gestão territorial requer a avaliação dos processos que caracterizam e descrevem o funcionamento de um determinado município ou região (STEINITZ, 2012; MOURA, 2005). As práticas de planejamento e gestão do território, além de constituírem atividades recentes no Brasil, são muitas vezes pensadas e executadas em função de distintos interesses, a exemplo dos interesses relacionados aos meios de reprodução do sistema urbano e os interesses voltados às necessidades de preservação ambiental.

Assim sendo, o presente artigo tem como objetivo avaliar as incertezas espacialmente explícitas associadas às avaliações multicriteriais relacionadas ao potencial de expansão urbana e o potencial/necessidade de preservação ambiental, no município de São Gonçalo do Rio Abaixo, região do Quadrilátero Ferrífero/MG.

4.2 Materiais e Métodos

Os procedimentos metodológicos foram divididos em 3 etapas, as quais foram executadas separadamente para cada temática avaliada (potencial de expansão urbana e necessidade de preservação ambiental, a saber (FIGURA 4.1):

1 - definição dos critérios a serem analisados considerando as características da área de estudo e os dados disponíveis, e elaboração do questionário Delphi;

2 - aplicação do questionário Delphi e consequentes alterações dos critérios e seus pesos após as entrevistas;

3 - análise de multicritérios, análise de incerteza e análise de sensibilidade.

Os critérios analisados foram definidos, levando-se em consideração os processos que descrevem e explicam o potencial de expansão das atividades antrópicas urbanas e a necessidade de preservação ambiental na área de estudo. A primeira etapa dos procedimentos metodológicos foi realizada em consonância com a segunda etapa, uma vez que o processo de construção do questionário Delphi, bem como a escolha das variáveis, contou com a participação dos especialistas entrevistados.

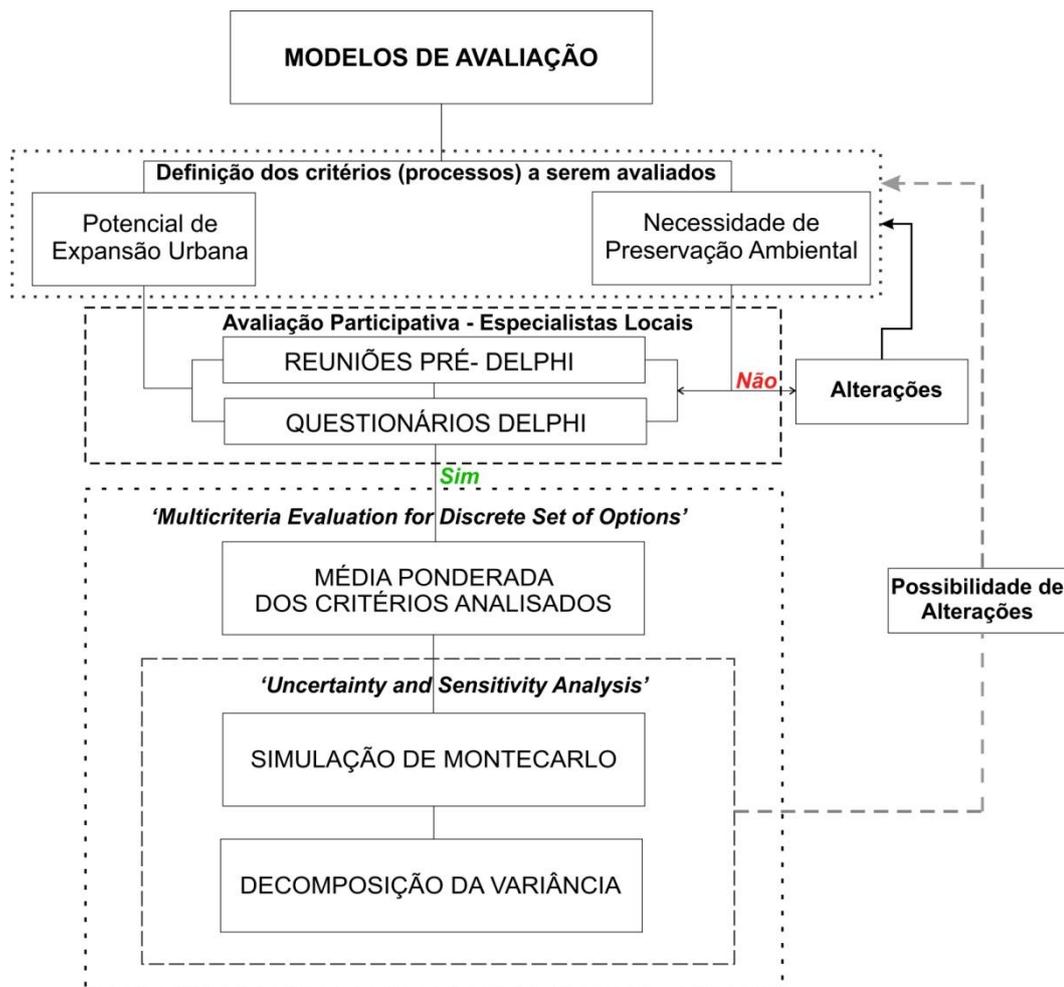


FIGURA 4. 1 - Fluxograma geral dos procedimentos metodológicos executados para cada uma as avaliações realizadas

4.2.1 Processos analisados: definição dos critérios

A princípio foram definidos e analisados quatro processos que descrevem e explicam a área de estudo em relação à necessidade e interesse de preservação ambiental (TABELA 4.1) e cinco processos que explicam o funcionamento da área de estudo em relação ao potencial de expansão urbana (TABELA 4.2). Os critérios foram alterados, ou selecionados, de acordo com a opinião dos especialistas consultados.

Considerou-se previamente os seguintes critérios relacionados à necessidade de preservação ambiental: fragmentos de vegetação nativa, uso e ocupação do solo, áreas de preservação permanente e as unidades de conservação. Os critérios relacionados à avaliação do potencial de expansão urbana foram, a saber: acessibilidade e capilaridade (densidade de vias), proximidade de áreas urbanizadas, distância da cava da Mina de Brucutu, concentração

de novos projetos e classes de declividade conforme a Lei Federal 6766/79, que regulamenta o parcelamento do solo em meio urbano.

TABELA 4. 1 - Critérios ambientais avaliados

PROCESSOS AMBIENTAIS AVALIADOS	
Modelos de Representação	Critérios
Mapeamento da Cobertura Vegetal Nativa (FONSECA; MOURA; RIBAS, 2015)	Combinação de Métricas de Paisagem em Fragmentos Florestais
Mapeamento do uso e cobertura do solo (FONSECA; MOURA; HADDAD, 2014; FONSECA; MOURA; RIBAS, 2015)	Uso e Ocupação do Solo
Rede Hidrográfica, Nascentes, Modelo Digital de Terreno, Novo Código Florestal	Área de Preservação Permanente (APPs)
Legislação Ambiental, limites territoriais e Zoneamentos (IBAMA, SEMMA-SGRA**)	Unidades de Conservação
Mancha de inundação - Estudo Hidrológico, Balbi (2008); CEM (2002)	Distância das Manchas de Inundação*

* Critério acrescentado por sugestão dos especialistas entrevistados.**Secretaria Municipal de Meio Ambiente de São Gonçalo do Rio Abaixo

TABELA 4. 2 - Critérios relacionados ao potencial de expansão urbana

PROCESSOS RELACIONADOS AO POTENCIAL DE EXPANSÃO URBANA AVALIADOS	
Modelos de Representação	Critérios
Eixos viários: ruas, estradas pavimentadas e vicinais	Acessibilidade e Capilaridade viária
Áreas Urbanizadas	Proximidade de áreas urbanizadas
Cava da Mina de Brucutu (imagem do sensor Pleiades, resolução de 0,70 cm)	Distância da cava da Mina de Brucutu
Área de incidência de Novos Projetos aprovados desde 2010 e em execução ate o ano de 2020	Concentração de Novos Projetos
Modelo Digital de Elevação (TOPODATA, INPE (2009)), Lei Federal 6766/79	Classes de Declividade Lei 6766/79 (Lei de Parcelamento Urbano).
Geologia, Geotecnia, Geomorfologia e parâmetros morfométricos do relevo	Índice Geomorfológico de Potencial de ocupação e uso do solo - IGPU*

* Critério acrescentado por sugestão dos especialistas entrevistados

Durante a aplicação do questionário Delphi, dos 15 especialistas entrevistados, 12 (80%) questionaram a ausência de uma variável que sintetizasse os processos hidrológicos e

seus efeitos na área urbana de São Gonçalo do Rio Abaixo, haja vista o histórico de inundações. Neste caso recorreu-se aos estudos hidrológicos realizados por CEM (2002) e Balbi (2008), nos quais os autores avaliaram a probabilidade de cheias através de modelos hidrológicos, chegando a cota de 634 metros, abaixo da qual verificou-se possibilidade de inundação, sobretudo nas adjacências da confluência dos rios Una e Santa Bárbara, num tempo de recorrência de 50 anos (BALBI, 2008; CEM, 2002). A área da cota de inundação foi espacializada e posteriormente aplicou-se o algoritmo de distância euclidiana. Considerou-se que a área da mancha inundação e as áreas a menos de 100 metros da mancha de inundação devem ser consideradas como impedância na avaliação ambiental.

De maneira semelhante ao ocorrido com o critério da mancha de inundação, os especialistas entrevistados questionaram a ausência de um critério que sintetizasse os processos do meio físico, relacionados à avaliação do potencial de expansão urbana. Durante as entrevistas individuais ocorreram questionamentos sobre a ausência de variáveis tais como "áreas de risco", "geotecnia" e "geomorfologia", haja vista a "influência marcante" das formas de relevo na dinâmica do uso e ocupação do na área de estudo (FONSECA; BEZERRA; AUGUSTIN, 2012; FONSECA; MOURA; HADDAD, 2014) . A princípio optou-se por usar o mapeamento geomorfológico realizado por Fonseca et. al., (2012), mas as classes temáticas do mapeamento, as unidades geomorfológicas, precisariam ser transcritas em termos quantitativos de adequação à ocupação para serem inteligíveis aos profissionais entrevistados, que não possuíam conhecimentos sobre o tema abordado, com exceção dos geógrafos e geólogos. Neste sentido utilizou-se o índice geomorfológico de potencial de uso e ocupação do solo (IGPU), proposto por Fonseca e Moura (2015). O IGPU⁶ é um índice normalizado na escala de 0 a 1, sendo que valores próximos de 1 correspondem a terrenos com elevado potencial de ocupação. O IGPU é o resultado da síntese de variáveis do meio físico, relacionadas à fatores geológicos/geotécnicos, morfológicos, hidrodinâmicos e relacionados aos processos de vertente.

As demais variáveis analisadas, tanto para a avaliação do potencial de expansão urbana quanto para a necessidade de preservação ambiental, foram propostas do autor desta tese, com o consentimento dos especialistas consultados.

As outras variáveis relacionadas aos processos ambientais também foram classificadas conforme o potencial de preservação. Aos fragmentos de vegetação foram aplicadas métricas

⁶ A construção do IGPU é o tema central do Capítulo 3 (Artigo 2) desta tese.

de paisagem, que posteriormente foram sintetizadas por análise de multicritérios em um único valor normalizado entre 0 a 1, conforme procedimento metodológico proposto por Fonseca, Moura e Ribas (2015). Neste caso, os referidos autores consideraram as métricas de área núcleo, índice de forma e distância do vizinho mais próximo. Considerou-se que os fragmentos com maior potencial de preservação (valores próximos de 1) são os que apresentam maior área núcleo, morfologia arredondada e menor distância ao fragmento de vegetação mais próximo.

As tipologias de uso e ocupação do solo foram classificadas conforme o potencial de preservação, sendo que as tipologias de vegetação nativa, tais como a vegetação densa (floresta estacional semidecidual) e campo rupestre receberam nota máxima (10), tipologias de mineração e solo exposto (3), reflorestamento (3), pastagem e área urbanizada (1).

As áreas de preservação permanente (APPs) foram calculadas conforme metodologia de Peluzio, Santos e Fildler (2010). As APPs de nascente receberam nota máxima (10) e as demais foram classificadas com nota 9. As unidades de conservação de proteção integral (Zonas de Proteção Ambiental Urbana - ZPAMU) e a Estação Ecológica de Peti receberam nota 10. A Área de Proteção Ambiental em fase de implantação na área de estudo foi classificada de acordo com seu zoneamento ecológico econômico, de acordo com a tabela 4.3.

TABELA 4. 3 - Notas atribuídas ao ZEE da APA municipal

Zoneamento Ecológico Econômico (ZEE) da APA (Projeto em implantação)	Nota
Zona de Conservação do Equilíbrio Ambiental e Agropecuário	8
Zona de Conservação do Equilíbrio Ambiental Urbano	9
Zona de Conservação do Corredor de Biodiversidade	10
Zona de Desenvolvimento da Silvicultura	6

Fonte: dados da pesquisa e Secretaria Municipal de Meio Ambiente de São Gonçalo do Rio Abaixo

Em relação à análise do potencial de expansão urbana, o critério acessibilidade e capilaridade viária representa processos de fluxos de pessoas e mercadorias através das vias de circulação. Essa variável foi construída aplicando o estimador de densidade de Kernel ponderando pela classificação das vias, sendo que vias pavimentadas e de grande circulação, a exemplo de avenidas e rodovias, obtiveram maior peso e as demais vias obtiveram pesos menores (MOURA; MAGALHÃES; PARIZZI, 2011; SILVA, 2012).

Os critérios de proximidade de áreas urbanizadas e de distância da cava da Mina de Brucutu foram construídos aplicando-se o algoritmo de distância euclidiana sobre as respectivas poligonais da área urbana e da cava da Mina de Brucutu. A classificação destes

critérios em relação ao potencial de expansão urbana se deu de maneira diferente. No caso das áreas urbanas, quanto mais próximo de áreas urbanizadas, maior o potencial de expansão urbana, ao passo que, no caso da área de mineração, quanto mais distante da cava da mina, maior o potencial.

O critério concentração de novos projetos representa processos socioeconômicos ao considerar projetos aprovados pela gestão municipal, oriundos da iniciativa privada e do setor público. Retrata a dinamicidade da economia da área de estudo e indica novos vetores de expansão urbana, evidenciando para onde de fato a expansão está ocorrendo. Este critério foi elaborado aplicando-se o estimador de densidade de Kernel nos pontos de centroide de cada polígono representando a área de incidência de cada novo projeto. Nos projetos lineares (obras lineares), tais como avenidas e estradas, foi considerado o ponto de início, o ponto médio e o ponto final de cada linha. Nos casos de loteamentos considerou-se o centroide de cada quadra ponderado pelo número de lotes (TABELA 4.4).

TABELA 4. 4 - Novos Projetos aprovados executados e em execução

Novos Projetos (2010-2020)	Quantidade
Aterro Sanitário	1
Banco	2
Edificação Particular	32
Escola Municipal	6
Estádio Futebol	2
Galpão (Multi-uso)	6
Hospital	1
Hotel	1
Indústria	7
Loteamento	4
Parque de Exposições	1
Ponte	1
Posto de Combustível	1
Prédios (Privado e Público)	39
Infraestrutura (Estradas, Ruas)	10
Escola Profissionalizante	1
Unidade Básica de Saúde e PSF	7
Total	122

Fonte: Sec. Mun. de Serviços Urbanos e dados da pesquisa

4.2.2 Aplicação do questionário Delphi: avaliação participativa no contexto do Geodesign

Segundo Steinitz (2012) o marco metodológico de um estudo baseado em Geodesign é definido na interação do pesquisador com a área de estudo, e sobretudo com as pessoas envolvidas com o lugar. Considerando tal premissa, no início da pesquisa, antes do período de formulação do questionário Delphi, foram realizadas três reuniões *in loco* com os atores sociais locais para a apresentação do projeto de pesquisa (FIGURA 4.2). As reuniões ocorreram entre Outubro e Novembro de 2013, sempre após as reuniões semanais do Conselho Municipal de Meio Ambiente (CODEMA-SGRA).



FIGURA 4. 2 - Registro fotográfico das reuniões pré-Delphi realizadas em São Gonçalo do Rio Abaixo

O objetivo dessas reuniões foi um primeiro contato com a comunidade, apresentar o projeto de pesquisa, verificar o grau de entendimento das pessoas sobre as questões abordadas e avaliar a relação de cada um com a área de estudo.

Ao contrário do que é praticado na metodologia clássica do método Delphi em relação à seleção dos especialistas (DALKEY; HELMER, 1963; ROWE; WRIGHT, 1999), a presente pesquisa teve como objetivo direcionar o questionário para profissionais que, em primeiro lugar, possuíssem relação direta com a área de estudo, de modo que o especialista fosse também um *stakeholder*. Moura (2007, p. 2902) argumenta que:

"O método Delphi na obtenção dos pesos e notas baseia-se na escolha de um grupo multidisciplinar de especialistas, que conheçam bem o fenômeno e melhor ainda se conhecerem bem a realidade espacial onde ele se localiza."

Foram selecionados profissionais envolvidos na administração pública municipal (secretarias municipais de obras, meio ambiente e serviços urbanos), no poder legislativo (vereadores), no setor privado (mineração e construção civil) e nas outras esferas da sociedade, conforme demonstrado nas tabelas 4.5 e 4.6.

TABELA 4. 5 - Origem do especialista entrevistado

Origem	Quantidade
Cidadão Comum (Estudante)	1
Cidadão Comum (Autônomo)	1
Construtora	1
Mineradora	4
Secretaria de Meio Ambiente	4
Secretaria de Obras	1
Secretaria de Serviços Urbanos	1
Vereador	2
Total geral	15

Fonte: dados da pesquisa

Na medida do possível, almejou-se compor um grupo multidisciplinar que fizesse uma avaliação ajustada para área de estudo diante dos critérios envolvidos no potencial de expansão urbana e no potencial de preservação ambiental (TABELA 4.6).

TABELA 4. 6 - Formação acadêmica do especialista entrevistado

Formação Acadêmica	Quantidade
Arquiteto	1
Biólogo	2
Engenheiro Agrimensor	1
Engenheiro Ambiental	2
Engenheiro e Geógrafo	1
Geógrafo	3
Geógrafo (Mestrado)	2
Geólogo	1
Técnico em Edificações	1
Engenheiro Civil	1
Total geral	15

Fonte: dados da pesquisa

Elaborou-se um questionário objetivo e sucinto (ANEXO 1), no qual foi solicitado a atribuição de pesos na escala de 0 a 10 para cada critério. Posteriormente os entrevistados estabeleceram um *ranking* em relação à importância de cada critério no contexto de cada temática avaliada. No final das questões relacionadas a cada tema abordado no questionário (potencial de expansão urbana e de necessidade de preservação ambiental) foi perguntado ao especialista se ele consideraria outro critério nas avaliações em curso e, no caso de resposta positiva, qual seria esse critério e o peso a ele atribuído. Deste modo, ao final da primeira rodada, foi possível considerar na análise os critérios de distância da mancha de inundação e a síntese dos fatores de meio físico pelo IGPU, no contexto do potencial de preservação ambiental e expansão urbana, respectivamente.

O questionário foi aplicado em duas rodadas entre Novembro de 2014 e Janeiro de 2015, ao final da primeira rodada foi calculado a média, a moda e a variância entre os pesos atribuídos para cada critério.

Posteriormente, na segunda rodada, o resultado estatístico foi apresentado para cada especialista separadamente, que teve acesso à média e à moda das opiniões do grupo. Foi dado a cada entrevistado a possibilidade de manter ou alterar o peso atribuído na primeira rodada. Ao final da segunda rodada os valores médios finais foram transformados para a escala de 0 a 100, na qual o somatório dos pesos de cada critério, para cada temática avaliada, não ultrapassou o total de 100. Todo o processo foi desenvolvido em conformidade com os pré-requisitos para a aplicação do método Delphi, conforme descrito em Moura (2007) e Silveira (2013).

Ressalta-se que o grau de pertinência (notas) dos componentes de legenda foi atribuído pelo autor da pesquisa e não pelos especialistas. A atribuição de notas aos componentes de legenda foi realizado para três critérios representados por dados qualitativos, a saber: uso e cobertura do solo, áreas de preservação permanente (APPs) e zoneamento ecológico econômico (ZEE) da APA municipal.

4.2.3 Análise de Incerteza (AI) e Análise de Sensibilidade (AS) na Avaliação Multicriterial

O primeiro passo do processo de AI e AS em análise de multicritérios (AMC) é a normalização na escala de 0 a 1 de todos os critérios a serem avaliados. Isto significa que cada

variável é apresentada na forma de camada temática, na qual os valores dos componentes da legenda variam na escala de 0 a 1. Esse processo tem como objetivo transformar as variáveis para facilitar a comparação estatística e visual entre elas, uma vez que possibilita a equalização da escala de valores (MOURA; JANKOWSKI; COCCO, 2014). É importante ressaltar que valores próximos de 0 são desfavoráveis à avaliação, enquanto os valores próximos de 1 potencializam o fenômeno investigado, o que é válido para as duas avaliações em curso.

Após a normalização os critérios, que se encontravam em formato matricial, foram convertidos para o formato vetorial de pontos, visando atender os requisitos dos algoritmos de "*Uncertainty and Sensitivity Analysis to Land Suitability Evaluation*" desenvolvidos e customizados no conjunto de ferramentas denominado "*Multicriteria Evaluation for Discrete Set of Options*". Essas ferramentas de análise espacial foram desenvolvidas pelo Professor Piotr Jankowski do Departamento de Geografia da San Diego State University.

De acordo com Ligmann-Zielinska e Jankowski (2014) o procedimento consiste em três etapas, a saber: 1 - Simulação de Monte Carlo; 2 - Execução de múltiplas análises de multicritérios; 3 - Análise de Sensibilidade.

Inicia-se com a Simulação de Monte Carlo (SMC), aplicada para simular pesos possíveis para os critérios de entrada dentro de um limite estabelecido. A definição desta faixa, dentro da qual a simulação acontece, segue lógicas da função de densidade de probabilidade (*probability density function*, PDF), baseada no desvio padrão entre as opiniões dos especialistas. Isto significa que para o critério com maior discrepância de opiniões sobre sua importância, o intervalo dentro do qual são simulados possíveis pesos é mais amplo. A SMC é um procedimento estatístico utilizado para realizar simulações estocásticas (CROSETTO; TARANTOLA; SALTELLI, 2000; FELGUEIRAS, 2001; HEUVELINK, 1998; HROMKOVIC, 2003).

Especificamente, na presente pesquisa, aplicou-se o desvio padrão no universo de pesos atribuídos pelos especialistas entrevistados para definir um intervalo de pesos possíveis para a SMC, considerando-se o peso médio, o peso máximo (média mais desvio padrão) e o peso mínimo (média menos o desvio padrão). Deste modo, a simulação de Monte Carlo trabalha para realizar a seleção aleatória de pesos entre pesos máximos e mínimos estabelecidos a partir do desvio padrão dos pesos atribuídos no âmbito do questionário Delphi.

Em ambas avaliações, preservação ambiental e expansão urbana, o método de Monte Carlo foi executado para realizar 1000 simulações possíveis entre os pesos máximos e mínimos, apresentados das tabelas 4.7 e 4.8. Cada simulação processou uma análise de multicritérios de acordo com a equação a seguir:

$$AMC = \sum_{k=1}^n (Pk \times Nk) \quad (1)$$

onde AMC corresponde ao resultado da análise de multicritérios em cada célula ou ponto da matriz, n é o número de critérios, Pk é o peso atribuído a cada critério e Nk é o valor normalizado de cada componente de legenda.

A SMC produz vários resultados, ou seja, múltiplas saídas (*suitability maps*), correspondendo às análises de necessidade de preservação ambiental e de potencial de expansão urbana. Esses resultados simulados são sumarizados e transformados em uma única superfície de valores médios (*average suitability maps*), sendo que a incerteza corresponde ao desvio padrão desses múltiplos resultados de multicritérios oriundos da SMC (LIGMANN-ZIELINSKA; JANKOWSKI, 2014). Os resultados das análises de incerteza (AI) são associados aos valores das avaliações de multicritérios, possibilitando a identificação, por exemplo, de áreas com alto potencial e baixa incerteza, que correspondem às áreas ótimas, o resultado mais robusto.

TABELA 4. 7 - Pesos atribuídos durante a aplicação do questionário Delphi para avaliação do potencial de preservação ambiental

Avaliação da Necessidade de Preservação Ambiental					
Critério	Peso Médio (M)	DP*	Min (M-DP)	Max (M+DP)	Moda
Fragmentos Florestais	22,91	2,48	20,43	25,39	25,08
Distância da Mancha de Inundação	19,90	3,61	16,29	23,51	25,08
Áreas de Preservação Permanente (APPs)	22,07	2,70	19,37	24,77	25,08
Unidades de Conservação (Ucs)	17,22	4,00	13,22	21,22	17,56
Uso e Cobertura do Solo	17,89	1,86	16,03	19,76	17,56

* Desvio Padrão (DP). Fonte: dados da pesquisa

TABELA 4. 8 - Pesos atribuídos durante a aplicação do questionário Delphi para avaliação do potencial de expansão urbana

Avaliação do Potencial de Expansão Urbana					
Critério	Peso Médio	DP*	Min (M-DP)	Max (M+DP)	Moda
Acessibilidade e Capilaridade	18,89	1.47	17,42	21,31	19,82
Proximidade de Áreas Urbanas	17,43	1.93	15,24	21,77	17,83
Distância de Mineração	15,85	2.96	12,89	22,81	19,82
Concentração de Novos Projetos	16,48	2.95	13,44	22,79	17,83
Declividade	16,42	2,10	14,02	21,94	15,85
Índice Geomorfológico (IGPU)	14,93	1,27	13,66	19,13	13,87

* Desvio Padrão (DP). Fonte: dados da pesquisa

Na terceira etapa é realizada a Análise de Sensibilidade (AS), a qual é baseada em um método independente da SMC, mas que consiste na Decomposição da Variância dos seus resultados. Neste caso, os múltiplos resultados gerados no processo da SMC têm sua variabilidade distribuída para cada peso médio final atribuído a cada critério, gerando um índice de sensibilidade de primeira ordem (S) e um índice de sensibilidade global (ST). Os resultados de S e ST podem indicar qual ou quais critérios influenciam a incerteza associada ao processo de avaliação multicriterial. Isto pode estimular a alteração de um critério, a revisão de um processo ou mesmo a substituição de uma variável.

As descrições matemáticas dos algoritmos do método de Monte Carlo e do método de Decomposição da Variância no âmbito das análises de incerteza e sensibilidade em avaliação multicriterial podem ser observados em Crosetto *et al.* (2000), Saltelli *et al.* (2010) e Ligmann-Zielinska e Jankowski (2014). Todo o processo de modelagem, desde a preparação dos dados, passando pela classificação e construção dos critérios, chegando até o resultado final da análise de sensibilidade foi modelado no ambiente *Model Builder/ArcGIS 10.2*, conforme modelo conceitual ilustrado nas figuras 4.3 e 4.4.

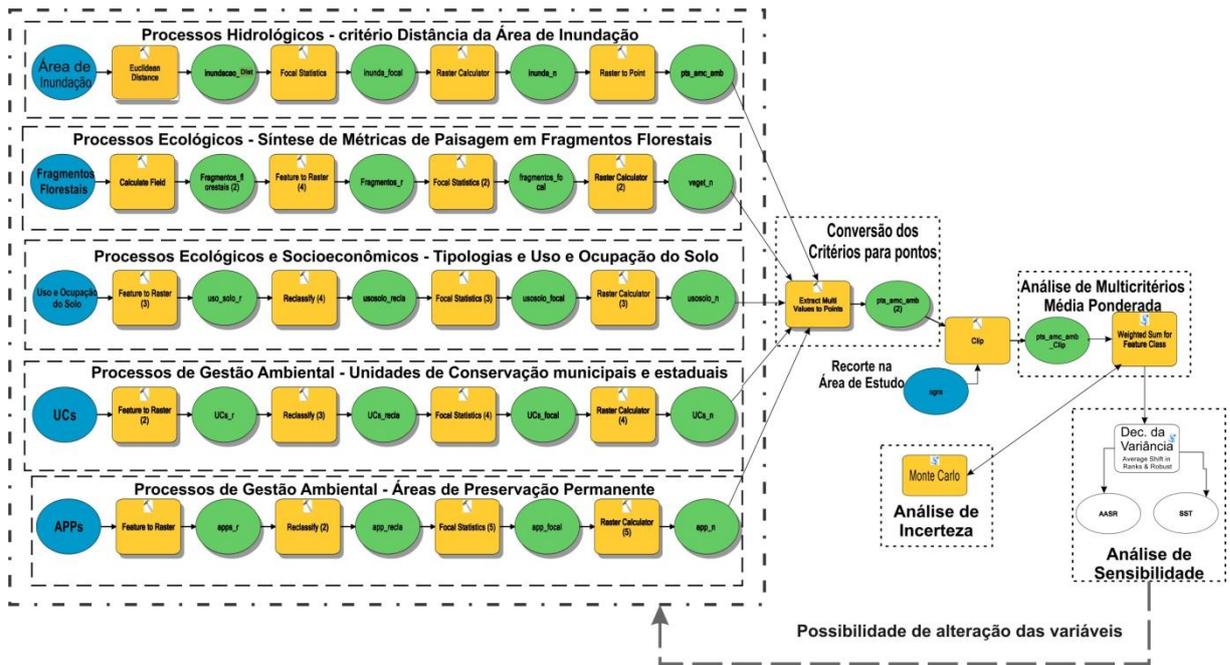


FIGURA 4. 3 - Fluxo de processo da modelagem integrando a avaliação da necessidade de preservação ambiental às análises de incerteza e sensibilidade na plataforma Model Builder/ArcGIS 10.2

Para representar os processos hidrológicos, ilustrado na figura 4.3, aplicou-se o algoritmo de distância euclidiana à área da mancha de inundação definida nos estudos de Balbi (2008) e CEM (2002), posteriormente o mapa de distâncias passou por um atenuador do efeito de borda com relação às faixas de distância da mancha de inundação. O raster resultante foi normalizado e posteriormente convertido para uma nuvem de pontos com os valores das distâncias da mancha de inundação.

O fluxo de atividades que modelam os processos ecológicos, ilustrado na figura 4.3, foram representados pela síntese de três métricas de paisagem aplicadas à fragmentos de vegetação. As métricas calculadas foram área núcleo, índice de forma e distância do vizinho mais próximo, conforme descrito em detalhe por Fonseca, Moura e Ribas (2015). A síntese foi feita por média ponderada, considerando pesos iguais para cada métrica. O resultado foi convertido para raster, passou por um filtro atenuador de efeito de borda, sendo normalizado e posteriormente convertido em uma nuvem de pontos.

Os polígonos representando as tipologias de uso e cobertura de solo foram convertidos para raster, foi feita a reclassificação e atribuição de notas para cada tipologia, posteriormente foi aplicado um filtro de atenuação de efeito de borda e a normalização do raster, que posteriormente foi convertido em uma nuvem de pontos (FIGURA 4.3).

Representando os processos de gestão ambiental, ilustrado na figura 4.3, os polígonos de limite das unidades de conservação (UCs) foram convertidos para um único raster, posteriormente foi reclassificado com atribuição de notas, e passou por um filtro de atenuação de efeito de borda, foi normalizado e finalmente convertido em uma nuvem de pontos. As áreas de preservação permanente (APPs) passaram pelo mesmo procedimento das UCs.

Os critérios foram todos reunidos em uma única nuvem de pontos para posteriormente passarem pelo procedimento de análise de multicritérios, análise de incerteza e análise de sensibilidade (FIGURA 4.3). Todos os procedimentos descritos acima, e ilustrados na figura 4.3, podem ser observados em detalhe em Moura, Jankowski e Cocco (2014).

Para representar os processos socioeconômicos relacionados à infraestrutura viária, na avaliação do potencial de expansão urbana, aplicou-se o estimador de densidade de Kernel sobre polilinhas de rodovias e arruamentos, obtendo a matriz de densidade e capilaridade (FIGURA 4.4). Posteriormente esta matriz foi normalizada e convertida para uma nuvem de pontos, conforme o procedimento ilustrado na figura 4.4. O mesmo procedimento foi realizado com os pontos representando o centroide dos polígonos dos limites físicos dos novos projetos aprovados e em execução na área de estudo.

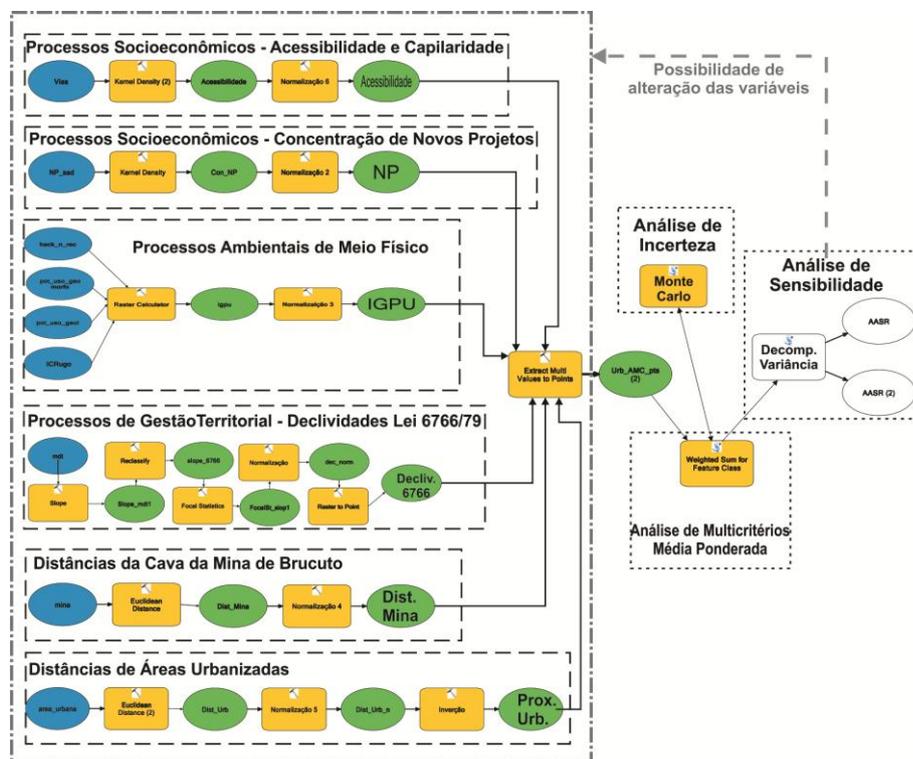


FIGURA 4. 4 - Fluxo de processo da modelagem integrando a avaliação do potencial expansão urbana às análises de incerteza e sensibilidade na plataforma Model Builder/ArcGIS 10.2

Os processos ambientais de meio físico foram sintetizados no índice geomorfológico IGPU, o qual foi obtido pela média ponderada entre quatro critérios geomorfológicos relacionados à fatores geológicos/geotécnicos, morfológicos, hidrodinâmicos e relacionados aos processos de vertente. A matriz resultante foi normalizada e convertida em uma nuvem de pontos.

Aos polígonos do limite físico das áreas urbanas e da cava da mina de Brucutu foram aplicados o algoritmo de distância euclidiana, obtendo posteriormente duas matrizes independentes de distâncias de áreas urbanas e da cava da mina de Brucutu. As duas matrizes foram normalizadas e convertidas para nuvem de pontos. Os critérios utilizados para avaliar o potencial de expansão urbana foram todos reunidos em uma única nuvem de pontos para posteriormente passarem pelo procedimento de análise de multicritérios, análise de incerteza e análise de sensibilidade (FIGURA 4.4). Todos os procedimentos descritos acima, e ilustrado na figura 4.3, podem ser observados em detalhe em Moura, Jankowski e Cocco (2014).

4.3 Resultados e Discussões

Conforme mencionado anteriormente nos procedimentos metodológicos, todos os critérios analisados tiveram seus atributos numéricos normalizados para o intervalo entre 0 e 1, conforme pode ser observado nas figuras 4.5 e 4.6.

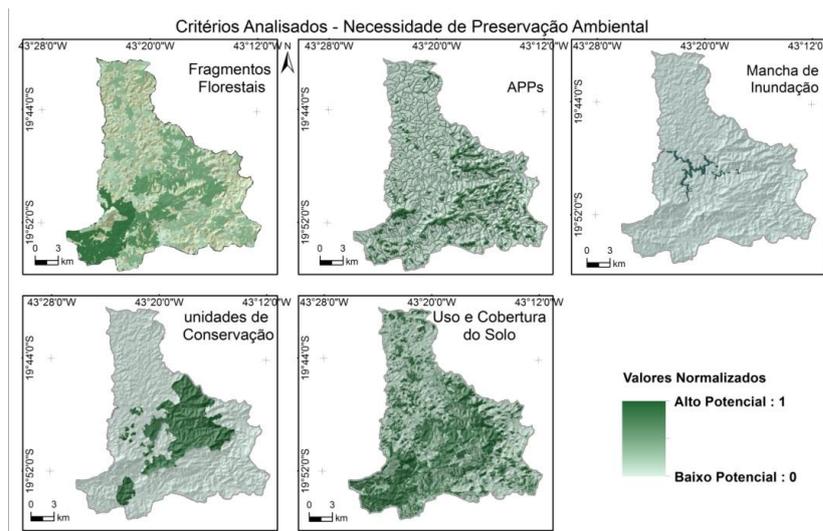


FIGURA 4.5 - Critérios analisados na avaliação multicriterial da necessidade de preservação ambiental

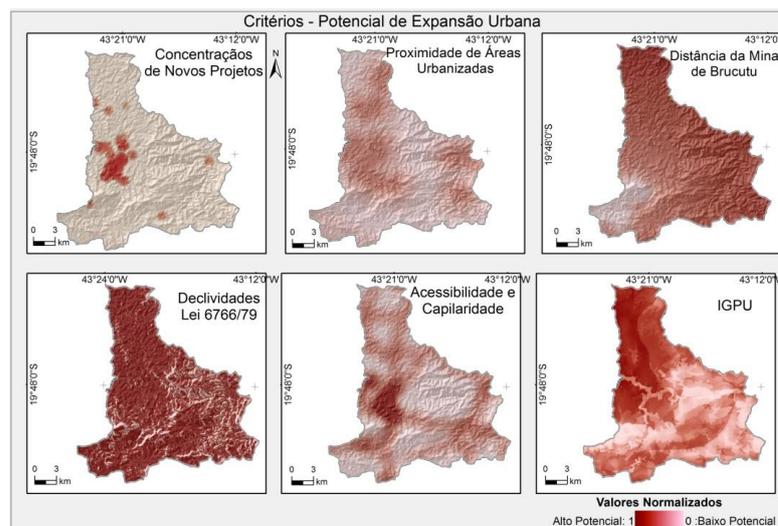


FIGURA 4. 6 - Critérios analisados na avaliação multicriterial do potencial expansão urbana

As mil simulações executadas no método de Monte Carlo (SMC) resultaram na matriz de média da necessidade de preservação ambiental. Esse resultado mostrou que 27,58% da área de estudo possui elevado potencial de preservação, sendo que as áreas de maior interesse ambiental estão localizadas na porção central do município de São Gonçalo do Rio Abaixo (TABELA 4.9 e FIGURA 4.7).

É possível observar que as áreas com maior potencial para preservação ambiental sofrem a influência do relevo da região central do município, sobretudo em relação ao critério das áreas de preservação permanente (APPs), com destaque para as áreas de topo de morro na região centro-sul da área de estudo. Os fragmentos florestais, junto às APPs (FIGURA 4.5), correspondem aos dois critérios com mais relevância para a análise em questão, não somente pelos maiores pesos recebidos por parte dos especialistas entrevistados (vide TABELA 4.7), mas também pela concentração e representatividade espacial na região centro-sul da área estudada (FIGURAS 4.5 e 4.7).

TABELA 4. 9 - Análise quantitativa da Necessidade de Preservação Ambiental na área de estudo

Potencial de Preservação Ambiental	Área (ha)	%
Muito Baixo	9.183,27	25,21
Baixo	6.030,92	16,55
Médio	11.159,81	30,64
Alto	6.448,16	17,70
Muito Alto	3.599,30	9,88
Total geral	36.421,46	100

Fonte: dados da pesquisa

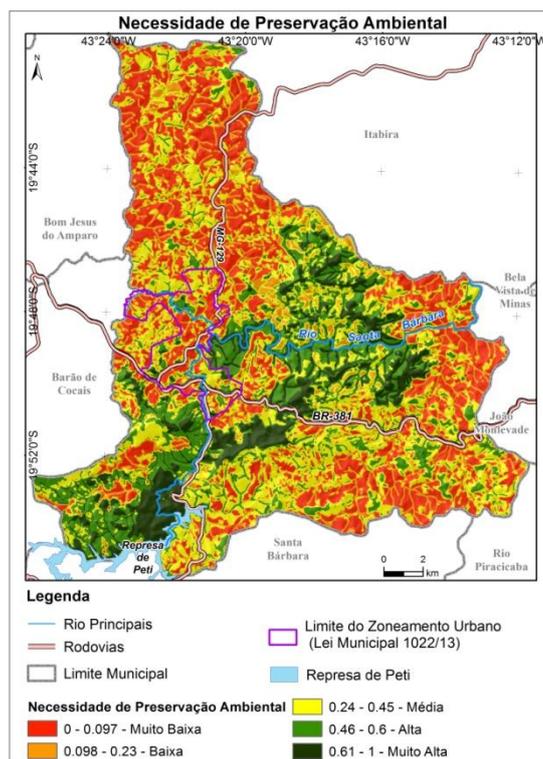


FIGURA 4. 7 - Resultado da análise de multicritérios para avaliação do potencial de preservação ambiental

A avaliação do potencial de expansão urbana mostrou que a região norte da área de estudo concentra a maior quantidade de áreas classificadas como de alto e muito alto potencial para desenvolvimento das atividades antrópicas urbanas, o que corresponde a quase 47% do município de São Gonçalo do Rio Abaixo (TABELA 4.10 e FIGURA 4.8). Nas adjacências do limite municipal com o município de João Monlevade também é possível observar uma zona de elevado potencial para expansão urbana, a área corresponde ao distrito de Santa Rita de Pacas, o qual sofre influência da mancha urbana daquele município. Por esse motivo, cabe ressaltar que no critério de proximidade de áreas urbanizadas considerou-se parte da área urbanizada do município de João Monlevade, a partir da qual também foram calculadas distâncias euclidianas no sentido da área de estudo.

TABELA 4. 10 - Análise quantitativa do Potencial de Expansão Urbana na área de estudo

Potencial de Expansão Urbana	Área (ha)	%
Muito Baixo	7.681,58	21.08
Baixo	6.171,05	16.94
Médio	5.543,91	15.21
Alto	8.810,18	24.18
Muito Alto	8.214,73	22.56
Total	36.421,46	100

Fonte: dados da pesquisa

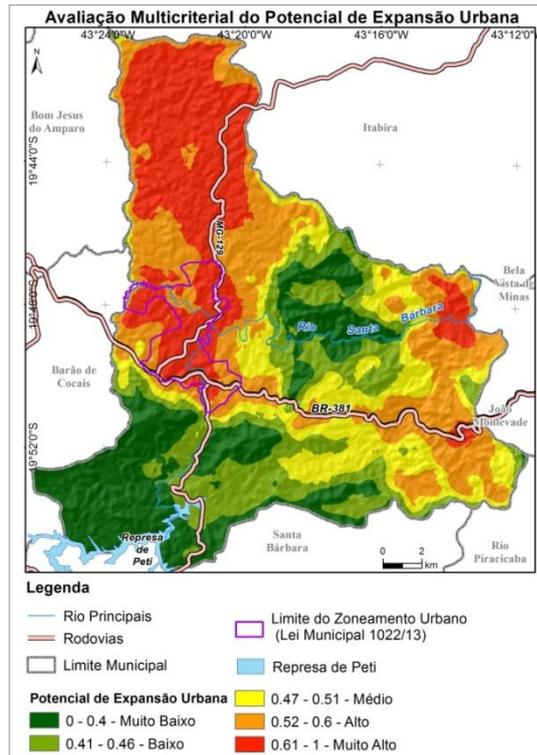


FIGURA 4. 8 - Resultado da análise de multicritérios para avaliação do potencial de expansão urbana

É possível observar que a BR-381 (leste-oeste) exerce a "função de fronteira" do potencial de expansão urbana, a partir da qual, em direção ao sul, o potencial de expansão das atividades urbanas é reduzido. Tal fato pode ser explicado pela acessibilidade viária reduzida e por fatores do relevo. Ao longo da BR-381 observa-se alto potencial de expansão urbana, haja vista a atração que as rodovias exercem em relação às atividades antrópicas urbanas, agindo como um catalisador do processo de urbanização (ANTROP, 2004; SATHLER; MONTE-MÓR; DE CARVALHO, 2009).

Do mesmo modo, a MG-129 (norte-sul) desempenha função importante na acessibilidade viária da área de estudo, ligando o município de São Gonçalo do Rio Abaixo ao município de Itabira ao norte, e às cidades históricas de Catas Altas, Mariana e Ouro Preto ao sul. É importante ressaltar que o trecho da MG-129, entre a BR-381 e o limite do município de Santa Bárbara, ainda não é pavimentado, o que contribui para o baixo potencial de expansão urbana na região sudoeste do município de São Gonçalo do Rio Abaixo (FIGURA 4.8). Por outro lado, o potencial médio de preservação ambiental ao longo do referido trecho da MG-129 pode contribuir para uma ocupação desta área, sobretudo se o projeto de pavimentação do trecho for executado.

4.3.1 Avaliação das incertezas e da sensibilidade, associados às análises de multicritérios

A Simulação de Monte Carlo (SMC) resultou também na superfície de incertezas associadas aos processos de avaliação para as duas temáticas abordadas neste artigo (FIGURAS 4.8 e 4.9). De acordo com Ligmann-Zielinska e Jankowski (2014), considerando-se as práticas até então atuais e o estado da arte das avaliações multicriteriais espaciais, as análises em curso poderiam ser finalizadas com os resultados apresentados anteriormente. No entanto, estes autores argumentam que os resultados das avaliações multicriteriais são associados à incertezas relacionadas à distribuição espacial dos critérios, aos pesos a eles atribuídos, bem como ao próprio fato de considerar um determinado critério em detrimento de outro. Por isso, os resultados apresentados anteriormente, considerando somente as análises multicriteriais, constituem avaliações incompletas, haja vista a elevada incerteza associada a algumas áreas classificadas como aptas para expansão urbana ou para a preservação ambiental.

Nas figuras 4.9 e 4.10 observa-se à esquerda a média resultante da análise de multicritérios executada na SMC, e à direita o respectivo mapa de incerteza associada à avaliação multicriterial simulada.

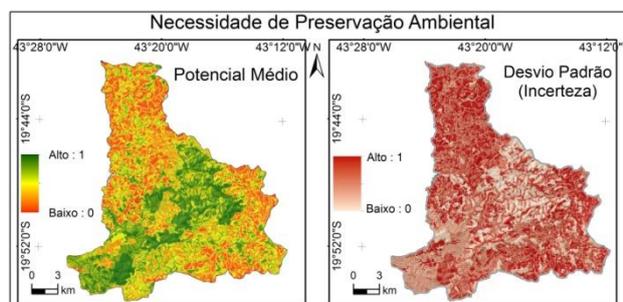


FIGURA 4.9 - À esquerda o resultado a análise de multicritérios, à direita o resultado da análise de incerteza

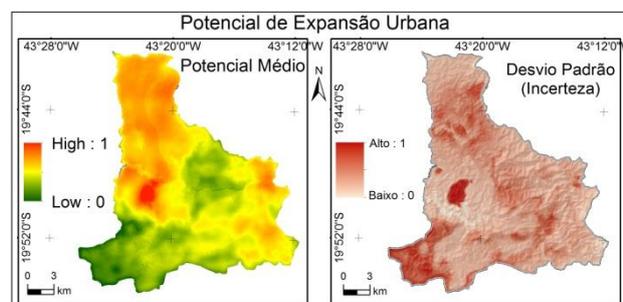


FIGURA 4.10 - À esquerda o resultado a análise de multicritérios, à direita o resultado da análise de incerteza

Para identificar com segurança as áreas de interesse para as avaliações da necessidade de preservação ambiental e do potencial de expansão urbana associou-se às análises de multicritérios às análises de incerteza, conforme sugerido por Ligmann-Zielinska e Jankowski (2012) e Ligmann-Zielinska e Jankowski (2014) (TABELA 4.11). Deste modo, assumiu-se que os valores mínimos considerados nas análises de multicritérios para a área ser classificada como de alta aptidão devem ser $\geq 0,45$ e os valores mínimos a partir dos quais as áreas são classificadas como de alta incerteza devem ser $\geq 0,10$, considerando valores normalizados entre 0 e 1.

Deste modo, a área de estudo foi agrupada em quadro de grandes classes para cada temática avaliada (Figuras 4.11 e 4.12), sendo que as áreas consideradas ótimas apresentam valores de aptidão, resultantes da análise de multicritérios (AMC), maiores ou iguais a 0,45 e valores de incerteza (desvio padrão - DP) menores que 0,10, são áreas com alto potencial e baixa incerteza.

As áreas candidatas a novas investigações ou novos estudos apresentam AMC maior ou igual a 0,45 e DP maior ou igual a 0,10, são áreas com alto potencial e alta incerteza. As áreas com baixo potencial e alta incerteza apresentam valores de AMC menores que 0,45 e valores de DP maiores que 0,10 e as áreas que poderão ser descartadas, ou as áreas que necessitaram de um maior investimento para reverter sua aptidão, apresentam valores de AMC menores que 0,45 e DP menores que 0,10, correspondem às áreas com baixo potencial e baixa incerteza (FIGURAS 4.11 e 4.12).

TABELA 4. 11 - Associação dos valores das Análises de Multicritérios com as Análises de Incerteza realizada para as duas temáticas avaliadas (Potencial de Expansão Urbana e Necessidade de Preservação Ambiental)

		Potencial (P) (Análise de Multicritérios)	
		Alto	Baixo
Incerteza (I)	Alto	P $\geq 0,45$ e I $\geq 0,10$ - Alto-Alto	P $< 0,45$ e I $\geq 0,10$ - Baixo-Alto
	Baixo	P $\geq 0,45$ e I $< 0,10$ - Alto-Baixo	P $< 0,45$ e I $< 0,10$ - Alto-Alto

4.3.2 Análise de Incerteza e Sensibilidade na Avaliação do Potencial de Preservação Ambiental

Em relação à necessidade de preservação ambiental observa-se que, somente com o resultado da análise de multicritérios (AMC), 27,58% da área de estudo é classificada como de alto e muito alto potencial (TABELA 4.9 e FIGURA 4.7). Com a associação da análise de incerteza (AI) temos 24% de toda a área de estudo classificada como de alta necessidade de preservação ambiental (FIGURA 4.11), conforme demonstrado no gráfico 4.1.

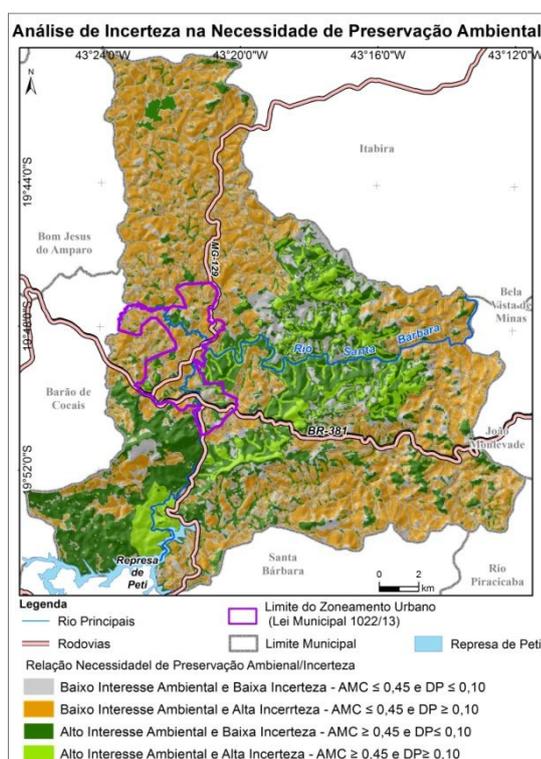
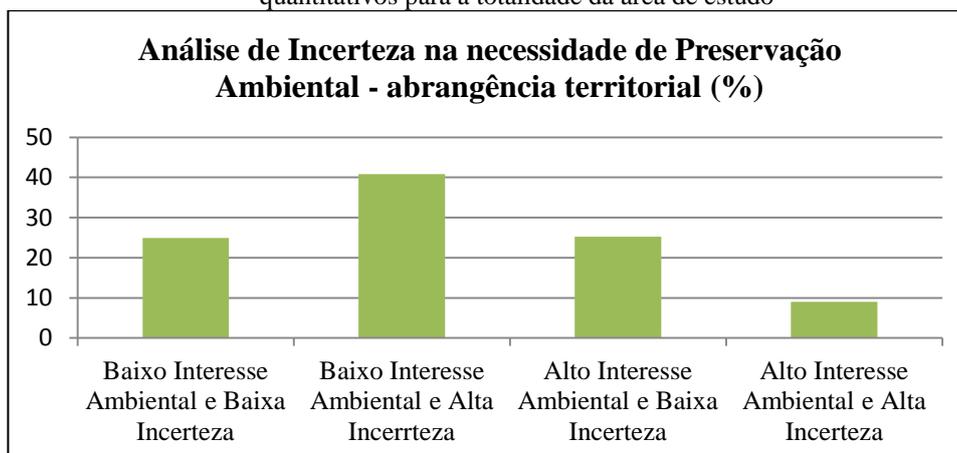


FIGURA 4. 11 - Análise de incerteza associada à avaliação do potencial de preservação ambiental

Mesmo com uma relativa perda de 2,32 pontos percentuais, é possível verificar o ganho da aplicação da AI, uma vez que os 25,25% da área de estudo que apresenta potencial para preservação ambiental correspondem aos locais com menor incerteza, podendo ser considerados áreas prioritárias.

GRÁFICO 4. 1 - Análise de Incerteza no potencial de necessidade de Preservação Ambiental em termos quantitativos para a totalidade da área de estudo



Fonte: dados do autor da pesquisa

O resultado da análise de sensibilidade (AS), medida pela decomposição da variância do resultado das simulações realizadas pelo método de Monte Carlo, forneceu a média de mudanças no ranking da incerteza (*Average Shift in Ranks*) por meio de duas medidas de sensibilidade, sendo S o índice local de sensibilidade e ST o índice global de sensibilidade, que indica o efeito total de sensibilidade do critério em relação aos demais (TABELA 4.12).

TABELA 4. 12 - Análise de Sensibilidade para a Avaliação do Potencial de Preservação Ambiental

Análise de Sensibilidade - Potencial de Preservação Ambiental				
Critério	S	ST	%S	%ST
Fragmentos Florestais	0,011	0,061	1,1	5,4
Distância da Mancha de Inundação	0,001	0	0,1	0
Áreas de Preservação Permanente (APPs)	0,521	0,353	52,1	31
Unidades de Conservação (Ucs)	0,931	0,65	93,1	57,3
Uso e Cobertura do Solo	-0,009	0,072	-0,9	6,3

Fonte: dados da pesquisa

O resultado apontou que o critério com maior incerteza em relação aos pesos a ele atribuídos é o conjunto de unidades de conservação (UCs), o valor de S igual a 0,93 indica um elevado índice de sensibilidade local associado. Já a incerteza relacionada à interação espacial entre os pesos dos demais critérios e os pesos atribuídos às UCs (ST=0,65) é um pouco menor, mas ainda assim é a maior incerteza, considerando a distribuição espacial dos demais critérios analisados. Deste modo, o critério em questão agrega incerteza à análise em relação aos seus pesos e à sua disposição espacial relativa, haja vista a porcentagem de sensibilidade

global de 57,3% (TABELA 4.11). Tal fato pode ser explicado por se tratar, em sua maioria, de unidades de conservação de uso sustentável. A realidade ambiental das UCs que integram a categoria de manejo de uso sustentável teria contribuído para a dúvida dos especialistas entrevistados, resultando na maior variabilidade entre os pesos máximos e mínimos atribuídos por eles ao critério em questão, como pode ser observado em termos absolutos na tabela 4.7, onde observa-se também o maior desvio padrão (4).

Cabe ressaltar a falta de consenso em relação às unidades de conservação de uso sustentável, haja vista a falta de investimento em um sistema de gestão integrada que fomente de fato o uso sustentável, no sentido mais nobre do termo. Observa-se que muitas dessas UCs são delimitadas pelos municípios, com o intuito de receber o ICMS ecológico⁷, sem elaboração de Plano de Manejo, ou mesmo são propostas e implantadas por mineradoras no processo de compensação ambiental (BECKER, 1999; DIEGUES, 1992, 2001; GUERRA; COELHO, 2009; QUEIROZ, 2013; SCALCO; GONTIJO, 2010).

Guardando as devidas proporções, o mesmo ocorre com o critério áreas de preservação permanente (APPs), que também gerou dúvidas nos especialistas entrevistados, o que explica a segunda colocação do critério no ranking da incerteza global (ST=31%). Para este critério o índice de sensibilidade local S foi menor (0,521), demonstrando menor dúvida entre os especialistas em comparação com as UCs.

Os demais critérios têm baixa ou nula influência sobre a incerteza da análise, haja vista os valores de S e ST próximos de 0 (TABELA 4.10). Os valores baixos negativos de S e ST do critério uso e cobertura do solo correspondem pequenos erros no processo de amostragem aleatória da simulação de Monte Carlo e podem ser arredondados para 0 (MOURA; JANKOWSKI; COCCO, 2014). O critério distância da mancha de inundação, embora com baixa representatividade espacial, por corresponder aos processos hidrológicos localizado ao longo da calha dos rios Una e Santa Bárbara, foi o que menos contribuiu para a incerteza, com participação praticamente nula.

De um modo geral, o resultado da análise de incerteza para a avaliação do potencial de preservação ambiental merece atenção especial, uma vez que revela grande incerteza e falta de consenso em relação às UCs e APPs. Ao mesmo tempo que revela um consenso inverso,

⁷ Modalidade de “Pagamento por Serviços Ambientais”, em Minas Gerais estabelecida pela Lei Estadual nº 18.030/2009.

demonstrando que os instrumentos de gestão ambiental, aqui representados por estes critérios, não são considerados eficazes nas suas respectivas funções.

Um dos benefícios práticos da aplicação das análises de incerteza e sensibilidade é a possibilidade de fazer ajustes nas variáveis e processos analisados, ou a substituição de um critério ou incorporação de outros processos. Na presente avaliação a falta de consenso entre os especialistas a respeito das UCs e APPs e a consequente incerteza associada a estes critérios poderia indicar uma substituição dos mesmos. Por outro lado, os dois critérios com maior incerteza representam também os primeiros a serem considerados em análises ambientais, pois fazem parte dos processos administrativos de gestão ambiental sem os quais as avaliações seriam incompletas.

Diante do exposto, não se recomenda a substituição desses critérios, mas sim sugere-se a incorporação de outros elementos na análise, a exemplo de estudos sobre flora e fauna, com a finalidade de reforçar o argumento da importância ambiental dessas áreas e, conseqüentemente, convencer os especialistas céticos.

Outra opção seria um estudo paralelo específico nas UCs e APPs, a exemplo do trabalho de Fonseca, Moura e Haddad (2014). Estes autores avaliaram as áreas de APPs e UCs no município de São Gonçalo do Rio Abaixo com o objetivo de identificar áreas prioritárias para conservação, considerando somente as áreas amparadas por lei. Neste estudo os autores identificaram que 26,28% do município possui aptidão para conservação associada a baixa incerteza. Ressalta-se que o estudo foi realizado considerando as áreas de APPs em relação ao código florestal antigo, já o presente estudo considerou o Novo Código Florestal, o qual provocou a redução das áreas de APPs na área de estudo em 6,85%.

As áreas com baixo potencial de preservação ambiental (baixo interesse ambiental) associadas a alta incerteza chamam a atenção pela representatividade espacial. Neste caso, atribui-se a abrangência espacial ao critério uso e cobertura do solo, mais especificamente à classe de pastagem. Este critério, embora com baixa influência na incerteza em relação aos pesos recebidos, corresponde a 6,3% da incerteza geral, que é a incerteza relacionada à interação espacial com os demais critérios.

4.3.3 Análise de Incerteza e de Sensibilidade na Avaliação do Potencial de Expansão Urbana

Em relação ao potencial de expansão urbana ocorreu um aumento de 6,27% nas áreas com elevado potencial. As áreas classificadas como de alto e muito alto potencial de expansão urbana anteriormente somavam 46,75% de toda a área de estudo, isso considerando apenas a análise de multicritérios (AMC) (TABELA 4.10). Aplicando a análise de incerteza (AI) o total de áreas com elevado potencial subiu para 53,02% de todo o município de São Gonçalo do Rio Abaixo (FIGURA 4.12), conforme observado no gráfico 4.2.

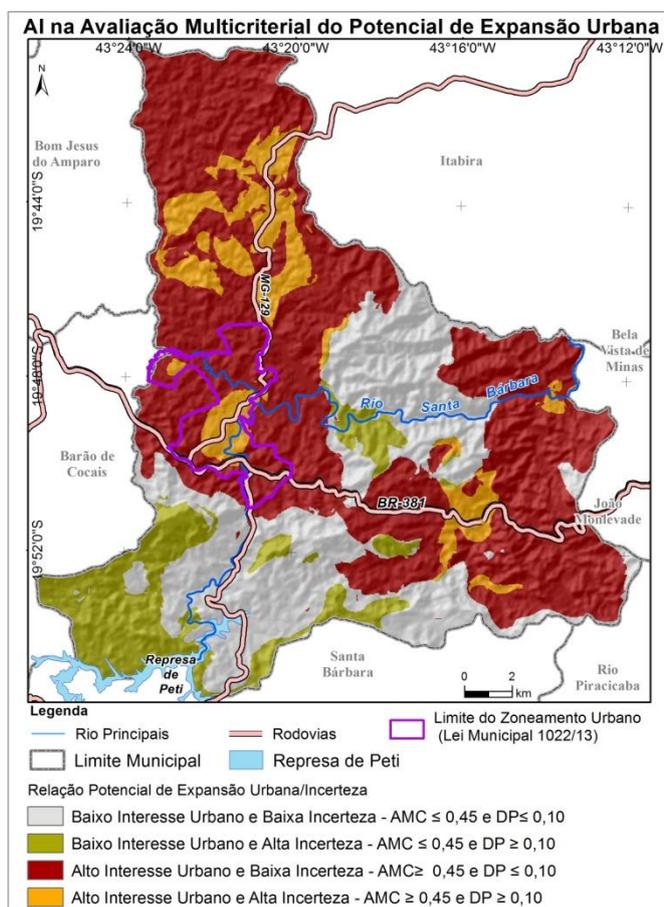
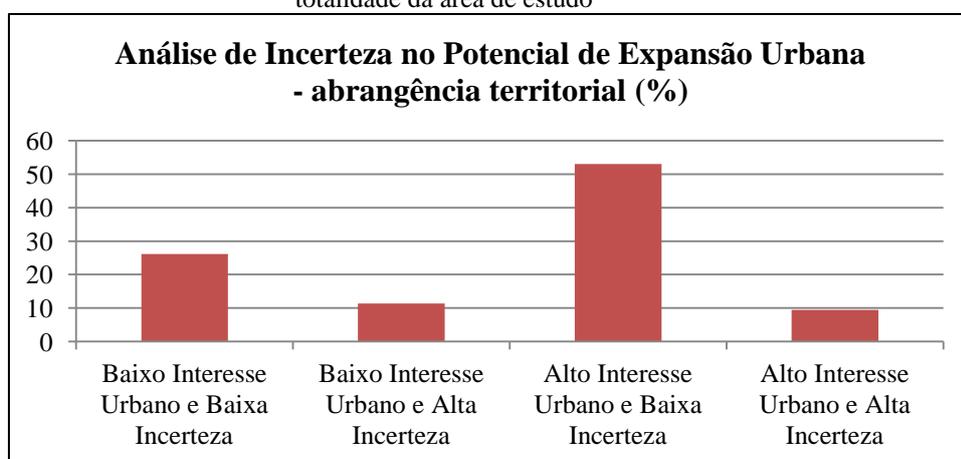


FIGURA 4. 12 - Análise de incerteza associada à avaliação do potencial de expansão urbana

As áreas classificadas com alto potencial de expansão urbana (alto interesse urbano) associadas a alta incerteza podem ser explicada pela distribuição espacial dos critérios declividade, acessibilidade e capilaridade e concentração de novos projetos (FIGURA 4.12). Estes dois últimos critérios possuem baixa influencia sobre a incerteza em relação aos pesos

recebidos (valores de S na TABELA 4.13), bem como são insignificantes para a incerteza em relação a interação espacial com os demais critérios, haja vista os valores muito baixos de ST. No entanto, os critérios acessibilidade e capilaridade viária e concentração de novos projetos incidem espacialmente, com valores que potencializam a expansão urbana, na mesma área de ocorrência dos valores do critério declividade que potencializam o referido fenômeno. Como a declividade é a segunda no ranking dos critérios que influenciam a incerteza, as áreas em laranja no mapa são áreas incertas devido à sua ocorrência espacial (FIGURA 4.12).

GRÁFICO 4. 2 - Análise de Incerteza no Potencial de Expansão Urbana em termos quantitativos para a totalidade da área de estudo



Fonte: dados da pesquisa

TABELA 4. 13 - Análise de Sensibilidade para a Avaliação do Potencial de Expansão Urbana

Análise de Sensibilidade na Avaliação do Potencial de Expansão Urbana				
Critério	S	ST	%S	%ST
Acessibilidade e Capilaridade	0,006	0,015	0,6	1,1
Proximidade de Áreas Urbanas	-0,012	0,097	-1,2	7,1
Distância de Mineração	0,545	0,848	54,5	62,5
Concentração de Novos Projetos	-0,002	0,001	-0,2	0
Declividade - Lei 6766/79	0,046	0,337	4,6	24,9
Índice Geomorfológico (IGPU)	0,054	0,059	5,4	4,3

Fonte: dados da pesquisa

O critério que influenciou consideravelmente a incerteza geral da análise foi a distância em relação à Mina de Brucutu (Distância de Mineração), representando 62,5% da incerteza. O critério representado pelas classes de declividade conforme a Lei Federal 6766/1979 (Lei de parcelamento do solo urbano) foi o segundo no ranking da incerteza geral

da análise ($S=0,337$), o que é confirmado pelo valor de $S\%$ igual a 24,9% (TABELA 4.13). Entretanto, este critério influenciou pouco a incerteza em relação à variabilidade dos pesos a ele atribuídos, o que é observado no valor de do índice local de sensibilidade S igual a 0,046.

Observou-se que o critério concentração de novos projetos obteve valores muito baixos dos índices S e ST , o que o classifica como insignificante para a incerteza global e local da análise. Porém, em relação à variabilidade dos pesos atribuídos pelos especialistas no questionário Delphi, observa-se que o referido critério apresentou o segundo maior desvio padrão (2,95), ficando atrás apenas do critério distância de mineração, que foi o mais influente na incerteza, inclusive apresentando o maior desvio padrão do Delphi, o que pode ser observado na tabela 4.8. Neste caso, esperava-se que o critério concentração de novos projetos fosse representativo para a incerteza. Mas a interação espacial entre os critérios analisados não confirmou esta suspeita. Deste modo, verificou-se a importância das análises de incertezas e de sensibilidade espacialmente explícitas no processo de avaliação multicriterial (FEIZIZADEH; JANKOWSKI; BLASCHKE, 2014; LIGMANN-ZIELINSKA; JANKOWSKI, 2014).

De um modo geral, as análises de incerteza e de sensibilidade indicaram quatro critérios como os mais robustos para a avaliação do potencial de expansão urbana, que são: acessibilidade e capilaridade, concentração de novos projetos, o índice geomorfológico (IGPU) e a proximidade de áreas urbanas. Por outro lado, o critério distância de mineração foi o que mais atribuiu incerteza no resultado. A falta de consenso em relação a este critério pode ser explicada pela histórica relação entre a mineração e o processo de urbanização, sobretudo no Estado de Minas Gerais (ÁVILA; MONTE-MÓR, 2007; BUENO, 2012; MONTE-MÓR, 2001), o que levou muitos dos entrevistados a atribuírem notas diametralmente opostas. No entanto, a moda dos pesos atribuídos ao critério distância de mineração foi de 19,81, este dado estatístico demonstra que há um interesse por parte dos especialistas entrevistados de que a expansão urbana ocorra em sentido contrário ao da mineração, o que é ambientalmente compreensível, sobretudo devido ao fato desses especialistas possuírem relação direta com a área de estudo. Acrescenta-se a isso o caso correlato do município vizinho, Itabira, onde observa-se uma desastrosa condição de conflito entre a mineração e o processo de expansão urbana (CLEMENTE; LEITE; PEREIRA, 2013; SOUZA, 2007).

4.4 Conclusões e Observações

A aplicação da análise de incerteza (AI) possibilitou a identificação das áreas ótimas para cada temática avaliada neste trabalho (preservação ambiental e expansão urbana). Enquanto a análise de sensibilidade (AS) permitiu uma avaliação individual e em conjunto dos critérios, e a sua participação na incerteza associada ao processo de atribuição de pesos nas avaliações multicriteriais.

É importante ressaltar a redução da subjetividade do processo de atribuição de pesos na análise de multicritérios, uma vez que foi realizada uma simulação com 1000 interações entre os pesos máximos e mínimos, os quais foram definidos a partir do desvio padrão dos pesos atribuídos no questionário Delphi.

No âmbito da simulação de Monte Carlo, este trabalho considerou intervalos de pesos baseados na consulta a especialistas, mantendo a escolha aleatória dos pesos simulados, mas num intervalo delimitado por profissionais relacionados com as temáticas abordadas, e sobretudo com a área de estudo, o que coloca esta pesquisa em consonância com o caráter participativo inerente ao processo de Geodesign.

A análise de sensibilidade (AS) permitiu uma avaliação crítica sobre os critérios considerados na análise, haja vista a possibilidade de identificar os principais fatores responsáveis pela incerteza global, bem como a incerteza associada ao peso atribuído, o que possibilita a revisão dos processos e das variáveis.

A aplicação da AI em conjunto com a AS permitiu a identificação das áreas que necessitam de investigação mais aprofundada, que são as áreas com alto potencial e alta incerteza. O aprofundamento na investigação pode se feito, por exemplo, pela alteração dos modelos de representação utilizados, alterando a escala de trabalho, as resoluções espaciais dos dados de entrada, ou mesmo alterando/acrescentando modelos de processos não abordados. Neste caso, sugere-se o estudo de processos de caráter econômico, que podem ser analisados com o uso de modelos econométricos que relacionem a produção mineral, a arrecadação financeira do município e as conseqüentes/possíveis transformações na paisagem.

Pela ótica da necessidade de preservação ambiental, sugere-se o aprofundamento dos modelos de processos ecológicos, incorporando às análises de métricas de paisagem estudos de flora e fauna, incluindo abordagens que envolvam a modelagem geográfica de hábitat e sua relação com a fragmentação florestal.

4.5 Referências Bibliográficas

ANTROP, Marc. Landscape change and the urbanization process in Europe. **Landscape and Urban Planning** v. 67, n. 1-4, p. 9–26 , 2004.0169-2046.

ÁVILA, J.L.T.; MONTE-MÓR, R.L. M. **Urbanização e Impactos Ambientais: uma análise da relação entre as características dos espaços urbanos ea poluição hídrica na região do médio Rio Doce**. 2007. p.21. Projeto de Extensão, CEDEPLAR-UFMG, Belo Horizonte, 2007. Disponível em: <http://www.ecoeco.org.br/conteudo/publicacoes/encontros/vii_en/mesa3/trabalhos/urbanizacao_e_impactos_ambientais.pdf>. Acesso em: 30 ago. 2013.

BALBI, Diego Antônio Fonseca. **Metodologias para a elaboração de planos de ações emergenciais para inundações induzidas por barragens. Estudo de Caso: Barragem de Peti - MG**. 2008. 353f. Dissertação de Mestrado (Mestrado em Engenharia Civil), EE-UFMG, Belo Horizonte, 2008.

BECKER, D. F. “Sustentabilidade: um novo (velho) paradigma de desenvolvimento regional”. In: BECKER, D. F (Org.). **Desenvolvimento sustentável: necessidade ou possibilidade**. Santa Cruz do Sul: Edunisc, 1999. p. 241.

BUENO, Beatriz Piccolotto Siqueira. Caminhos da história da urbanização no Brasil-colônia Introdução. **Anais do Museu Paulista** v. 20, n. 1, p. 11–40 , 2012.

BURROUGH, P.A. Development of intelligent geographical information systems. **International Journal of Geographical Information Systems** v. 6, n. 1, p. 1–11 , 1992.

BUTLER, J.; JIA, J.; DYER, J. Simulation techniques for the sensitivity analysis of multi-criteria decision models. **European Journal of Operational Research** v. 103, p. 531–546 , 1997.

CEM. CENTRAIS ELÉTRICAS MANTIQUEIRA S.A. **Estudos Hidrológicos da PCH São Gonçalo**. São Gonçalo do Rio Abaixo: [s.n.], 2002.

CLEMENTE, Carlos Magno Santos; LEITE, Marcos Esdras; PEREIRA, Deborah Marques. Estudo Comparado da área de mineração no município de Itabira/MG nos anos de 1985, 1997 E 2007. **Observatorium: Revista Eletrônica de Geografia** v. 5, n. 13, p. 84–100 , 2013. Disponível em: <<http://www.observatorium.ig.ufu.br/pdfs/5edicao/n13/05.pdf>>.

COX, M.G; DAINTON,M.P.; FORBES, A.B.; HARRIS, P.M.;. Use of Monte Carlo Simulation for Uncertainty Evaluation in Metrology. **Advanced Mathematical and Computational Tools in Metrology** v. 57, p. 93-115, 2001.

CROSETTO, Michele; TARANTOLA, Stefano; SALTELLI, Andrea. Sensitivity and uncertainty analysis in spatial modelling based on GIS. **Agriculture, Ecosystems & Environment** v. 81, n. 1, p. 71–79, 2000. Disponível em:

<<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0167880900001699>>. Acesso em: 19 nov. 2014.

DALKEY, Norman; HELMER, Olaf. An experimental application of the delphi method to the use of experts. **Management Science** v. 9, n. 3, p. 458–467, 1963.

DIEGUES, A.C.S. Desenvolvimento Sustentável ou Sociedades Sustentáveis da crítica dos modelos aos novos paradigmas. **Perspectivas** v. 6, n. 1-2, p. 22–29, 1992.

DIEGUES, A.C.S. **O Mito Moderno da Natureza Intocada**. 3^a. ed. São Paulo: HUCITEC, 2001. 161 p.

DONATELLI, G. D.; KONRATH, A. C. Simulação de Monte Carlo na avaliação de incertezas de medição. **Revista de Ciência & Tecnologia** v. 13, n. 25, p. 5–15, 2005.

FEIZIZADEH, Bakhtiar; JANKOWSKI, Piotr; BLASCHKE, Thomas. A GIS based spatially-explicit sensitivity and uncertainty analysis approach for multi-criteria decision analysis. **Computers & Geosciences** v. 64, p. 81–95, 2014. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0098300413002975>>. Acesso em: 10 nov. 2014.

FELGUEIRAS, Carlos Alberto. **Modelagem Ambiental com Tratamento de Incertezas em SIG: O paradigma geoestatístico por indicação**. 2001. 213f. Tese de Doutorado (Doutorado em Computação Aplicada) INPE, São José dos Campos, 2001.

FONSECA, B. M.; BEZERRA, D. P.; AUGUSTIN, C. H. R. R. Mapeamento de Unidades Geomorfológicas na borda nordeste do Quadrilátero Ferrífero. In: 9^o Simpósio Nacional de Geomorfologia. **Anais...** Rio de Janeiro: UGB, 2012. p.1–12.

FONSECA, B. M.; MOURA, A. C. M. **Índice Geomorfológico para avaliação do Potencial de Ocupação e Uso do Solo (IGPU): uma proposta metodológica**. 2015. 33f. Tese de Doutorado, Artigo - 2 (Doutorado em Geografia) IGC-UFMG, Belo Horizonte, 2015 (No Prelo).

FONSECA, B. M.; MOURA, A.C.M.; HADDAD, M. Definição de Áreas Prioritárias para Conservação na borda nordeste do Quadrilátero Ferrífero por meio da Análise de Multicritérios em Ambiente SIG com vistas ao processo de Geodesign. In: XXVI Congresso Brasileiro de Cartografia. **Anais...** Gramado: SBC-UFRGS, 2014. p.1–17.

FONSECA, B. M.; MOURA, A.C.M.; RIBAS, R. P. Applying Ecological Landscape Concepts and Metrics in Urban Landscape Management. In: 2nd International Conference on “Changing Cities. **Anais...** Porto Heli, Peloponnese: University of Thessaly, 2015. p.1–10. (No Prelo)

GOODCHILD, M. F. Data models and data quality: problems and prospects. In: GOODCHILD, M. F.; BRADLEY, O. P.; STEYAERT, T. L. (Orgs.). **Environmental modeling with GIS**. New York: Oxford University Press, 1993. p. 94–103.

GOODCHILD, M. F.; GUOING, S. Development and test of an error model for categorical data. **International Journal of Geographical Information Systems** v. 6, n. 2, p. 87–104 , 1992.

GUERRA, Antonio José Teixeira; COELHO, Maria Célia Nunes. **Unidades de Conservação: abordagens e características geográficas**. 1^a. ed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2009. 296 p.

HEUVELINK, G.B.M. **Error propagation in environmental modeling with GIS**. London: Taylor & Francis, 1998. 127 p.

HEUVELINK, G.B.M.; BURROUGH, P.A.; STEIN, P.A. Propagation of errors in spatial modeling with GIS. **International Journal of Geographical Information System** v. 3, p. 303–322 , 1989.

HROMKOVIC, J. **Algorithms for hard problems: introduction to combinatorial optimization, randomization, approximation, and heuristics**. 2nd. ed. New York: Springer, 2003. 538 p. .ISBN 978-3-662-05269-3.

LIGMANN-ZIELINSKA, Arika; JANKOWSKI, Piotr. A Framework for Sensitivity Analysis in Spatial Multiple Criteria Evaluation. **Lecture Notes in Computer Science** p. 217–233 , 2008. 3540874720.

LIGMANN-ZIELINSKA, A.; JANKOWSKI, P. Impact of proximity-adjusted preferences on rank-order stability in geographical multicriteria decision analysis. **Journal of Geographical Systems**, v 14, p.167-187, 2012

LIGMANN-ZIELINSKA, A.; JANKOWSKI, P.; WATKINS, J. Spatial Uncertainty and Sensitivity Analysis for Multiple Criteria Land Suitability Evaluation. **Journal of Geographical Systems**.v. 13 p. 2–5, 2012.

LIGMANN-ZIELINSKA, Arika; JANKOWSKI, Piotr. Spatially-explicit integrated uncertainty and sensitivity analysis of criteria weights in multicriteria land suitability evaluation. **Environmental Modelling & Software** v. 57, p. 235–247 , 2014. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1364815214000851>>. Acesso em: 18 nov. 2014.

MALCZEWSKI, J. **GIS and multicriteria decision analysis**. New York: Wiley & Sons, 1999.

MALCZEWSKI, J. GIS-based multicriteria decision analysis: a survey of the literature. **International Journal of Geographical Information Science** v. 20, n. 7, p. 703–726, 2006.

MALCZEWSKI, Jacek. Review Article On the Use of Weighted Linear Combination Method in GIS : Common and Best Practice Approaches. **transactions in GIS** v. 4, n. 1 , 2000.

MONTE-MÓR, R. L. M. **Gênese e Estrutura da Cidade Mineradora**. 2001. 164f. Projeto de Pesquisa, CEDEPLAR - UFMG, Belo Horizonte, 2001. Disponível em: <http://www.cedeplar.ufmg.br/pesquisas/td/TD_164.pdf>

MOURA, A. C. M.; MAGALHÃES, D. M. M.; PARIZZI, M. G. Vocações e Conflitos de Interesse na Ocupação do Território da Região Metropolitana de Belo Horizonte – Apoio ao Plano Diretor de Desenvolvimento Integrado - PDDI. In: XV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto. **Anais...** Curitiba: INPE, 2011. p.690–687. Disponível em: <<http://www.dsr.inpe.br/sbsr2011/files/p0293.pdf>>. Acesso em: 18 nov. 2014.

MOURA, Ana Clara Mourão. **Geoprocessamento na gestão e planejamento urbano**. Belo Horizonte: ACMM, 2005. 294 p.

MOURA, A. C. M. Reflexões metodológicas como subsídio para estudos ambientais baseados em Análise de Multicritérios. In: XIII Simpósio de Sensoriamento Remoto, 13., 2007, Florianópolis, **Anais...** São José dos Campos: INPE, 2007. p. 2899-2906. Disponível em: <<http://martel.sid.inpe.br/col/dpi.inpe.br/sbsr@80/2006/11.13.14.41/doc/2899-2906.pdf>>. Acesso em: 18 nov. 2014.

MOURA, A. C. M.; JANKOWSKI, P. L.; COCCO, C. Contribuições aos estudos de análises de incertezas como complementação às análises multicritérios -“ SENSITIVITY ANALYSIS TO SUITABILITY EVALUATION”. In: XXVI Congresso Brasileiro de Cartografia. **Anais...** Gramado: SBC-UFRGS, 2014. p.1–20. Disponível em: <http://www.cartografia.org.br/cbc/trabalhos/6/251/CT06-25_1403923543.pdf>. Acesso em: 18 nov. 2014.

PELUZIO, T. M. O.; SANTOS, A. R.; FIELDLER, N. C. **Mapeamento de áreas de preservação permanente no ARCGIS**. Alegre: CAUFES; 2010. 58 p

QUEIROZ, E. D. Contribuições da educação ambiental crítica para o uso público sustentável em unidades de conservação. In: – Uso Público em Unidades de Conservação. **Anais...** Niterói: UFF, 2013. p.88–99. Disponível em: <http://www.uff.br/var/www/htdocs/usopublico/images/Artigos/2013/Artigo_OL_9.pdf>.

ROWE, Gene; WRIGHT, George. The Delphi technique as a forecasting tool: Issues and analysis. **International journal of forecasting** v. 15, p. 353–375 , 1999.

SALTELLI, A.; ANNONI, P.; AZZINI, I.; CAMPOLONGO, F.; RATTO, M.; TARANTOLA, S. Variance based sensitivity analysis of model output. Design and estimator for the total sensitivity index. **Computer Physics Communications** v. 181, n. 2, p. 259–270 , 2010. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0010465509003087?np=y>>.

SATHLER, D.; MONTE-MÓR, R. L. M.; CARVALHO, J. A. M. As redes para além dos rios: Urbanização e desequilíbrios na Amazônia brasileira. **Nova Economia** v. 19, n. 1, p. 10–39 , 2009.

SCALCO, R. F.; GONTIJO, B. M. Mosaico de unidades de conservação : da teoria à prática . O caso do mosaico de unidades de conservação da APA Cachoeira das Andorinhas – Ouro Preto / MG. **Revista Geografias** v. 05, n. 2, p. 75–92 , 2010. Disponível em:<<http://www.cantacantos.com.br/revista/index.php/geografias/article/viewFile/93/91>>.

SILVA, J. R. **Conformidades e conflitos ambientais no município de Ouro Preto como apoio à gestão e planejamento municipal**. 2012. 242f. Tese de Doutorado (Doutorado em Geografia) IGC-UFMG, Belo Horizonte, 2012.

SILVEIRA, S. J. **Subsídios para normativa de loteamentos sustentáveis quanto ao ciclo hidrológico**. 2013. 290f. Tese de Doutorado (Doutorado em Engenharia Civil) UFSC, Florianópolis, 2013.

SOUZA, Maria do Rosário Guimarães. **Da Paciência à Resistência: Conflitos entre Atores Sociais, Espaço Urbano e Espaço de Mineração**. São Paulo: HUCITEC, 2007. 174 p.

STEINITZ, Carl. **A Framework for Geodesign**. Redlands: ESRI Press, 2012. 360 p.

STORE, Ron; KANGAS, Jyrki. Spatial multi-criteria evaluation and expert knowledge for GIS-based habitat suitability modelling. **Landscape and Urban Planning** n. 55, p. 79–93 , 2001.

VOOGD, H. **Multi-criteria evaluation for urban and regional planning**. London: Pion, 1983. 125 p.

**5. ARTIGO 4 - ANÁLISE DE MUDANÇA E POTENCIAL DE IMPACTOS
AMBIENTAIS NO USO E COBERTURA DO SOLO EM SÃO GONÇALO DO RIO
ABAIXO - MG**

RESUMO

As mudanças no uso e cobertura do solo fornecem indícios históricos e permitem uma avaliação de futuros possíveis para uma determinada área de estudo. A análise integrada de modelos de mudança com modelos de avaliação da aptidão de uso do solo, considerando potencialidades e vulnerabilidades, objetivando a previsão de impactos, faz parte do escopo de procedimentos fundamentados no conceito de Geodesign. Nesse sentido, este artigo tem como objetivos: 1 - detectar e avaliar mudanças ocorridas no uso e cobertura do solo entre os anos de 2000, 2007 e 2013, no município de São Gonçalo do Rio, região do Quadrilátero Ferrífero/MG; 2 - simular possíveis alterações na área de estudo para o ano de 2020; 3 - avaliar o potencial de impactos relacionado aos conflitos entre áreas com potencial de expansão urbana e áreas com necessidade de preservação ambiental. Para analisar as mudanças utilizou-se o modelo *Land Change Modeler (LCM-IDRISI)*, no qual a estimativa da quantidade de mudança baseia-se em Cadeias de Markov e o cálculo da influência dos determinantes espaciais na alocação espacial das mudanças é feito por Redes Neurais Artificiais. O modelo de potencial de impactos resultou da combinação, por álgebra matricial, de uma matriz de potencial de expansão urbana com uma matriz de necessidade de preservação ambiental. As matrizes de potencial de expansão urbana e de preservação ambiental foram construídas por análise de multicritérios, com pesos atribuídos pelo método Delphi. Os resultados mostram que a mineração e a área urbanizada foram as tipologias mais representativas para o total de as mudanças ocorridas entre 2000 e 2013 na área de estudo. A área urbana projetada para 2020 extrapolou os limites do zoneamento urbano definido por lei, sugerindo a revisão do Plano Diretor municipal dentro de cinco anos. De um modo geral, os resultados mostraram que a expansão urbana pode ocorrer sem impactar diretamente as áreas de vegetação natural, e evidenciam uma condição de equilíbrio entre a quantidade de áreas aptas à expansão urbana e áreas propícias para preservação ambiental.

Palavras-chave: Modelo de Mudança, Modelo de Impacto, Modelagem Ambiental, Análise de Multicritérios

ABSTRACT

The changes in land use and land cover provide historical evidence and allow an evaluation of possible futures for a particular study area. The integrated analysis of the changing models with land suitability evaluation models, considering potentialities and vulnerabilities, aiming the forecast impacts, is part of the scope of procedures based on the Geodesign concept. In this sense, this paper aims to: 1 - detect and evaluate changes in land use and land cover between years 2000, 2007 and 2013 in São Gonçalo do Rio Abaixo, Iron Quadrangle region, Brazil; 2 – to simulate possible changes in the study area for 2020; 3 – to evaluate the potential of impacts related to conflicts between areas presenting potential for urban expansion and areas presenting potential for environmental preservation. In order to analyze the changes, it was used the Land Change Modeler model (LCM-IDRISI), in which the estimate of the amount of changes is based on Markov Chains algorithm and the calculation of the influence of spatial determinants in spatial allocation of changes is based on Artificial Neural Networks algorithm (ANN). The potential of impacts model was the result of combinatorial analysis, by map algebra, between an urban expansion potential map and a map of potential of environmental preservation. Both maps were constructed by multi-criteria analysis, with assigned weights by Delphi method. The results show that mining and urban areas were the most significant land use types to the total of the changes between 2000 and 2013 in the area of study. The projected urban area for 2020 exceeded the boundaries of the urban zoning defined by law, suggesting the revision of Master Plan within five years. In general, the results show that urban expansion can occur without directly impacting the areas of natural vegetation, showing an equilibrium condition, related to quantity, between areas suitable for urban expansion and areas suitable for environmental preservation.

Keywords: Change Model, Impact Model, Environmental Modeling, Multi-criteria Analysis

5.1 Introdução

As mudanças no uso e cobertura do solo fornecem indícios históricos e permitem uma avaliação de futuros possíveis para uma determinada área de estudo e para toda a humanidade (HOUGHTON, 1994; STEINITZ, 2012).

A dinâmica das mudanças possuem relações estreitas com o desenvolvimento econômico, o crescimento populacional, as mudanças ambientais e com a expansão do meio técnico-científico-informacional. (ANTROP, 2004; BESSA; SOARES, 2003; HOUGHTON, 1994; SANTOS, 1996, 1994).

Segundo Antrop (2004) a velocidade, a frequência e a magnitude das mudanças teve um aumento sem precedentes na segunda metade do século XX, criando novas paisagens em uma homogeneidade funcional. Para o referido autor, o processo de mudança na Europa está relacionado ao desenvolvimento de novos meios de transporte, em especial os que permitem a mobilidade das massas, como as estradas de ferro e as rodovias.

No Brasil, a intensificação da dinâmica de ocupação e uso do solo pode ser observada de maneira efetiva, e com grande intensidade, na "*região concentrada*", abrangendo os estados do sudeste e sul (SANTOS, 1993, 1994). No caso do Estado de Minas Gerais, observa-se uma relação estreita entre os ciclos da mineração e o processo de urbanização, acarretando em profundas e extensas transformações nas formas e padrões de uso e cobertura do solo (ÁVILA; MONTE-MÓR, 2007; BRIDGE, 2004; BUENO, 2012; SONTER; BARRETT; *et al.*, 2014; SONTER; MORAN; *et al.*, 2014).

A análise das mudanças no uso, cobertura e ocupação do solo, no espaço e no tempo, constitui uma prática fundamental para o planejamento territorial e ambiental. Neste sentido, a modelagem da dinâmica do uso e cobertura do solo é uma técnica importante para projetar cenários futuros, visando o planejamento de uma determinada área de estudo, produzindo informações que ajudam na compreensão do comportamento espacial dos processos relacionados (MAS *et al.*, 2014; STEINITZ, 2012; VELDKAMP; FRESCO, 1996; VELDKAMP; LAMBIN, 2001).

O monitoramento das mudanças ocorridas e observadas na dinâmica do uso e cobertura do solo pode ser realizado por modelos e algoritmos computacionais de detecção de mudança (*Land Use and Land Cover Change Models*, LUCC). Modelos LUCC consideram processos sociais, ambientais, institucionais e econômicos, compreendendo uma grande

quantidade de variáveis, em diferentes abordagens metodológicas (EASTMAN, 2011; MAS *et al.*, 2014; SOARES-FILHO; RODRIGUES; FOLLADOR, 2013; STOMPH; FRESCO; KEULEN, 1994).

De acordo com Steinitz (2012), nem sempre um modelo de análise de mudança será necessariamente estruturado em um algoritmo computacional complexo. Este autor argumenta que existem casos em que a área estudada sofre uma transformação que não pode ser explicada por fatores que previamente aconteciam. Nesses casos, a análise espaço-temporal não pode contribuir para uma avaliação baseada no comportamento dos processos do passado e como eles podem ajudar a planejar o futuro.

Segundo Steinitz (2012), um modelo de mudança no contexto de um estudo baseado em Geodesign deve, em primeiro lugar, compreender como a população local considera as mudanças que estão por vir. Esta iniciativa influencia e auxilia na escolha e na construção do algoritmo conceitual a ser seguido na execução do modelo de mudança.

O Geodesign é um conjunto de conceitos e de práticas para otimizar a tomada de decisão (TOMLIN, 2011). O Geodesign pode ser considerado uma abordagem que consolida a associação de propostas de intervenção na paisagem, com simulações geográficas de impacto analisadas sob a ótica do pensamento sistêmico, com suporte do Sistema de Informação Geográfica (ERVIN, 2011).

Segundo Steinitz (2012), alguns profissionais entendem o Geodesign como uma combinação de estratégias algorítmicas, enquanto deveriam pensar primeiro na área a ser estudada, suas dimensões e seus processos, para posteriormente escolher o melhor algoritmo a ser empregado. No contexto do Geodesign os modelos de mudança devem ser precedidos de investigações do comportamento da área de estudo, primeiro é importante entender e avaliar os processos que explicam a dinâmica do uso e cobertura solo, objetivando verificar se a área de estudo está funcionando corretamente, ou seja, avaliar potencialidades e vulnerabilidades visando identificar possíveis conflitos de interesses entre distintos usos e modos de ocupação do solo (STEINITZ, 2012).

Nesse contexto, as análises de mudança não precedidas de avaliações dos potenciais e das restrições de uso e ocupação do solo podem ser consideradas incompletas e descontextualizadas dos processos que respondem pelo funcionamento da área investigada.

Os conflitos de interesses entre distintas tipologias de uso e ocupação do solo, a exemplo dos usos antrópicos e suas incidências espaciais sobre áreas ambientalmente preservadas, podem ser materializados sob forma de impactos, de diversos tipos e magnitudes.

De acordo com a resolução CONAMA nº 001/1986, o impacto ambiental ocorre quando são alteradas as propriedades químicas, físicas e biológicas dos elementos que compõe o meio ambiente. Podendo ser causado por qualquer forma de matéria, ou energia resultante das atividades humanas. De acordo com a referida lei federal, inclui-se no conceito de impacto ambiental os reflexos diretos e indiretos sobre a saúde, a segurança e o bem-estar da população humana, as atividades sociais e econômicas, as condições estéticas e sanitárias do meio ambiente, e a qualidade dos recursos ambientais.

Sánchez (2008) apresenta interessante definição de impacto ambiental, considerando a dimensão dinâmica dos processos do meio ambiente como base de entendimento das alterações ambientais consideradas como impactos. O autor apresenta um gráfico com o qual defende que impacto ambiental é a alteração da qualidade ambiental que resulta da modificação de processos naturais ou sociais provocada por ação humana. (FIGURA 5.1).

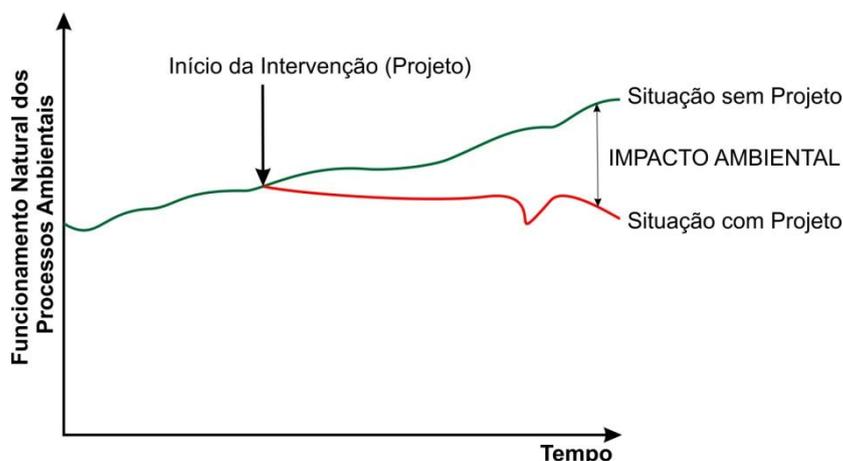


FIGURA 5. 1 - Representação do conceito de impacto ambiental conforme Sánchez (2008). Fonte: Adaptado de Sánchez (2008)

O processo de avaliação de impactos ambientais (AIA) permite prever, identificar, interpretar e transmitir informações, acerca das consequências de qualquer ação antrópica sobre a saúde e o bem-estar do homem, numa perspectiva espaço-temporal definida (SANCHÉZ, 2008; SOUSA, 2006).

O termo avaliação de impacto ambiental emerge como conceito a partir do pioneirismo da legislação ambiental dos Estados Unidos da América, a *National*

Environmental Policy Act – NEPA. A partir dessa lei o Estudo de Impacto Ambiental (EIA) e respectivo Relatório de Impacto sobre o Meio Ambiente (RIMA) foram consolidados como instrumentos legais de avaliação e gestão ambiental (SANCHÉZ, 2008).

Para Sánchez (2008) a AIA é um procedimento que visa antever as possíveis consequências de uma decisão, utilizando-se de análises integradas dos processos ambientais através dos EIA/RIMA. Neste sentido, os procedimentos a serem realizados no âmbito de uma avaliação de impacto estão em consonância com a estrutura metodológica do Geodesign proposta por Carl Steinitz (2012), uma vez que ambos são movidos por uma decisão (*decision-driven*) e pressupõe uma análise integrada, multidisciplinar e participativa.

Analisando o esquema de representação do conceito de impacto ambiental proposto por Sánchez (2008), ilustrado na FIGURA 5.1, observa-se que, mesmo sem a incidência específica de um determinado projeto, a avaliação dos processos ambientais ao longo do tempo pode ser realizada sob a ótica do potencial de impactos ambientais.

Nesse sentido, um modelo de avaliação de impactos deve remeter às avaliações dos processos ambientais para responder se as possíveis transformações incorrerão em impactos.

Os objetivos deste artigo são: 1 - detectar e avaliar mudanças ocorridas no uso e cobertura do solo entre os anos de 2000, 2007 e 2013 no município de São Gonçalo do Rio Abaixo/MG; 2 - simular possíveis alterações na área de estudo para o ano de 2020, considerando a execução de projetos de infraestrutura urbana; 3 - avaliar o potencial de impactos relacionados aos possíveis conflitos entre áreas com potencial de expansão urbana e áreas com necessidade de preservação ambiental.

5.2 Materiais e Métodos

A proposta metodológica deste artigo foi inspirada no roteiro metodológico do modelo de mudança utilizado no estudo realizado para avaliar o crescimento de La Paz, capital da província de Baja California Del Sur, no México. Esse estudo foi realizado por pesquisadores das Universidades de Harvard, Universidade Autônoma da Baja Califórnia Del Sur e Universidade do Arizona, sob a coordenação do Professor Carl Steinitz.

O estudo de caso de La Paz contemplou a avaliação de critérios relacionados a preservação ambiental e critérios relacionados aos atrativos e potencialidades para o desenvolvimento das atividades urbanas e de infraestrutura. Essas avaliações foram utilizadas

como regras de análise para o modelo de mudança e para o modelo de avaliação dos impactos, resultando em um instrumento de gestão territorial (STEINITZ, 2012; STEINITZ *et al.*, 2005).

5.2.1 Área de Estudo

O município de São Gonçalo do Rio Abaixo (FIGURA 5.2) teve como vetor inicial de ocupação o interesse por terras férteis para a prática da agricultura às margens do Rio Una, em decorrência da grande carência edáfica na região das minas de Ouro Preto e Mariana, bem como a procura de ouro no leito do Rio Santa Bárbara. Com a fixação dos bandeirantes no início do século XVIII, surge o povoado do Rio Abaixo, às margens do Rio Santa Bárbara (ALMG, 2012; FUNDAÇÃO VALE, 2006; IBGE, 2013).

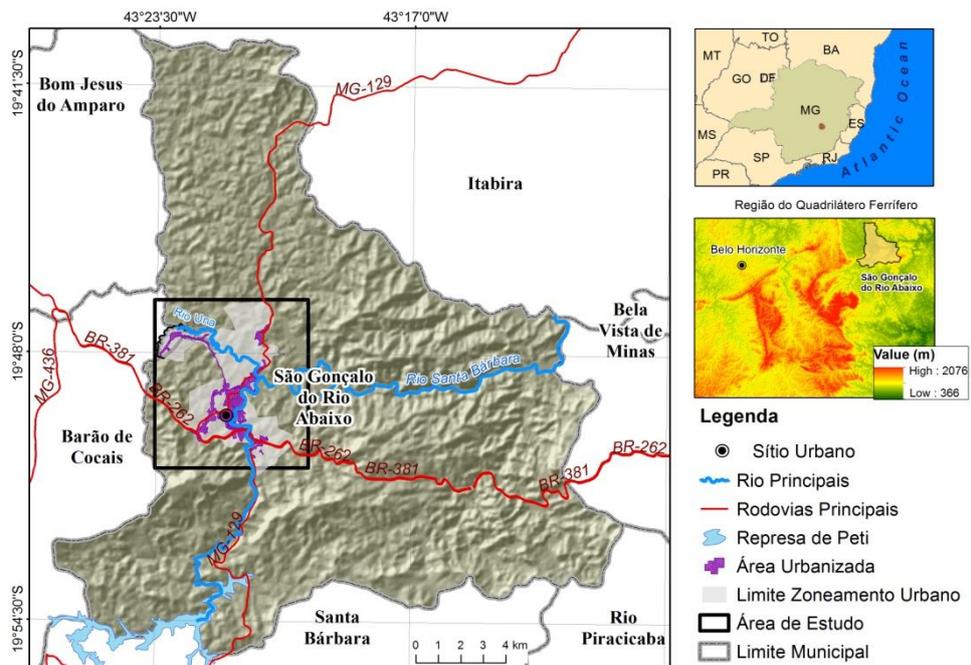


FIGURA 5. 2 - Localização do município de São Gonçalo do Rio Abaixo

Alguns fatores externos ao município exerceram influência sobre sua dinâmica econômica local e regional no início do século XX, quais sejam: a transferência da capital para Belo Horizonte, a construção da Estrada de Ferro Vitória-Minas (EFVM), a construção da MG 129 ligando Itabira a Mariana, e a construção da BR – 381/262 em 1956. Essas transformações provocaram alterações na infraestrutura, na dinâmica socioeconômica e na

paisagem do município (ÁVILA; MONTE-MÓR, 2007; MONTE-MÓR *et al.*, 1997). Diversos serviços urbanos passam a ser prestados, com destaque para a eletricidade, através da construção da Central Hidroelétrica de Peti, e os serviços postais. Tais fatores atribuíram importância estratégica ao território de São Gonçalo do Rio Abaixo, sobretudo em relação às atividades comerciais regionais, uma vez que grande parte do fluxo de pessoas e mercadorias entre a Região Metropolitana de Belo Horizonte (RMBH) e a Região Metropolitana do Vale do Aço (RMVA), passava a menos de 10 km do núcleo urbano do município, através da BR-381 (MONTE-MÓR *et al.*, 1997; ÁVILA e MONTE-MÓR, 2007).

De acordo com o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE, 2013), até o ano de 2006 a agropecuária, em decadência, era a principal atividade econômica de São Gonçalo do Rio Abaixo. Após aquele ano sua arrecadação financeira anual cresceu cinco vezes, impulsionada pela exploração mineral, subindo de R\$33,85 milhões para R\$173,5 milhões em 2012. Desse total, R\$75,56 milhões (43,5%) vêm da Compensação Financeira pela Exploração de Recursos Minerais (CFEM). O PIB per capita também foi quintuplicado, passando de R\$26,92 mil, em 2006, para R\$144,75 mil em 2012. Atualmente São Gonçalo do Rio Abaixo possui aproximadamente 10.400 habitantes (IBGE, 2013).

A mina de Brucutu, inaugurada em 2006, é uma das maiores e mais produtivas minas de minério de ferro a céu aberto em operação no mundo (FUNDAÇÃO VALE, 2006; ÁVILA e MONTE-MÓR, 2007).

De acordo com a classificação de Köppen, o clima da região enquadra-se no tipo Cwa, ou seja, clima mesotérmico de verões quentes com invernos secos (JESUS, 2010). A temperatura média anual é de 20,1°C, tendo média máxima e mínima de 26,5°C e 15,9°C respectivamente. A pluviometria apresenta média anual de 1.372 mm (ALMG, 2012). A distribuição espacial da pluviosidade acumulada para a região demonstra que os fatores topográficos, principalmente a forte influência do orógeno Espinhaço e das serras do Quadrilátero Ferrífero, desempenham um papel importante no regime de chuvas.

O relevo é bastante acidentado na região centro-sul do município e possui morfologias mais suaves na região norte. Segundo Fonseca, Bezerra e Augustin (2012) São Gonçalo do Rio Abaixo apresenta uma elevada variabilidade de formas de relevo e, de modo geral, sua geomorfologia é caracterizada por colinas, vales encaixados, vertentes alongadas, cristas de serras e patamares escalonados. Ainda de acordo com os autores citados, essas formas de relevo condicionam o padrão espacial de uso e ocupação do solo.

O município de São Gonçalo do Rio Abaixo está inserido no bioma da Mata Atlântica, as principais formações vegetacionais são: floresta estacional semidecidual e campos rupestres (OLIVEIRA FILHO e SCOLFORO, 2008; OLIVEIRA FILHO *et al.*, 2006).

O uso e cobertura do solo é caracterizado predominantemente por pastagens improdutivas e degradadas, por fragmentos florestais de tamanhos variados e por monocultura de eucalipto. Ressalta-se uma condição de quase “equilíbrio” entre a quantidade de cobertura de vegetação natural e as áreas antropizadas, sendo 41% de vegetação natural e 50,08% de áreas antropizadas (pastagem degradada e áreas urbanizadas).

5.2.2 Procedimentos Metodológicos

Os procedimentos metodológicos foram divididos em três grandes etapas (FIGURA 5.3). Na primeira etapa foram realizadas análises multicriteriais para a avaliação do potencial de expansão urbana e em paralelo para a avaliação da necessidade de preservação ambiental. Essas análises foram realizadas com base no método Delphi com consulta a quinze especialistas e executado no aplicativo *Raster Calculator* do ArcGIS 10.2.

Na segunda etapa, em um primeiro momento, foi realizada a classificação automática de duas cenas de imagens do sensor TM Landsat 5 dos anos de 2000 e 2007. Foi feita também a classificação de imagens do sensor Landsat 8 do ano de 2013. O objetivo foi gerar três mapas de uso e cobertura do solo em três tempos distintos, a saber: 2000, 2007 e 2013.

A partir da classificação das imagens aplicou-se um modelo espacial de detecção de mudança entre o uso e cobertura do solo dos anos 2000 e 2007. Na sequência foi realizada uma simulação para o ano de 2013, que por sua vez foi comparada com o mapeamento real do uso e cobertura do ano de 2013, com o objetivo de validar o modelo simulado, criando bases sólidas para executar a simulação para o ano de 2020 (FIGURA 5.3).

Todo o processo de modelagem foi realizado através do aplicativo *Land Change Modeler – LCM* que compõe o software IDRISI versão Selva (EASTMAN, 2011).

Na terceira etapa foi feito o cotejo, por análise combinatória via álgebra matricial, do mapa de potencial de expansão urbana com o mapa de necessidade de preservação ambiental, visando a avaliação dos conflitos de interesse e, conseqüentemente, obter a matriz resultante de potencial de impactos.

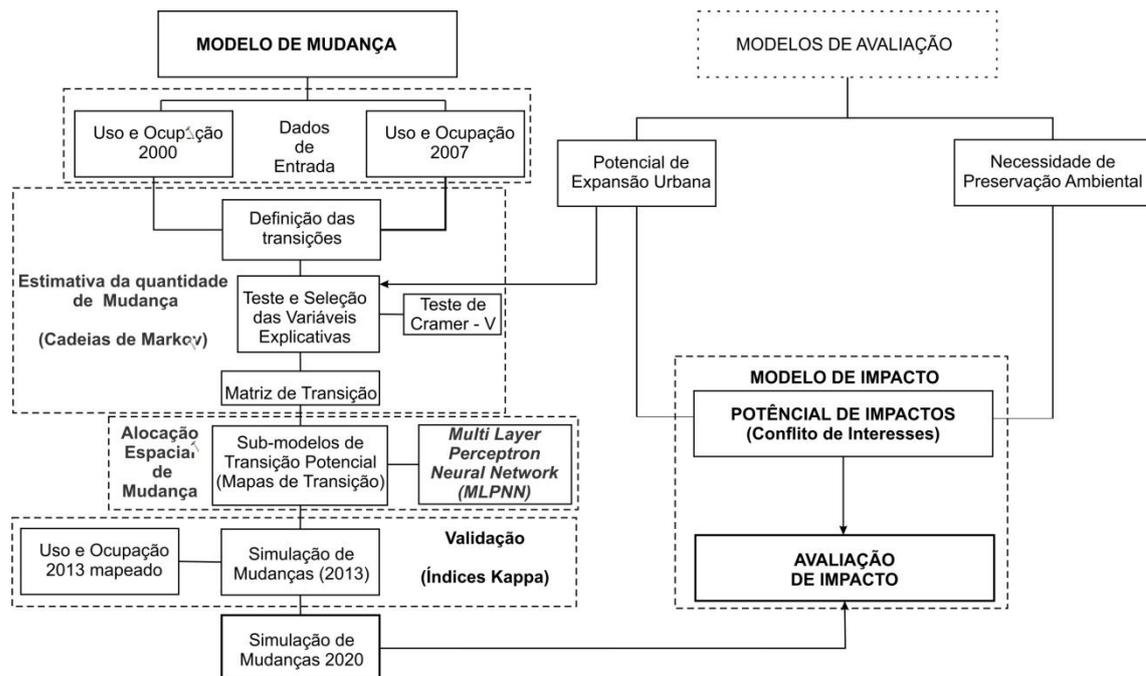


FIGURA 5. 3 - Roteiro metodológico contemplando as etapas executadas

5.2.3 Potencial de Expansão Urbana e Potencial de Preservação Ambiental

O procedimento de Análise de Multicritérios (AMC) é amplamente utilizado para a criação de síntese de valores baseado na ponderação de critérios ou variáveis. O procedimento empregado neste artigo é baseado na média ponderada amparada por *knowledge-driven evaluation* (MOURA, 2005). Nesse caso, a atribuição de pesos é feita por conhecedores dos fenômenos da área de estudo e das variáveis analisadas (MALCZEWSKI, 2006).

Para avaliar potencial de expansão urbana e a necessidade de preservação ambiental empregou-se o método Delphi na consulta a especialistas conhecedores dos processos que descrevem e explicam o funcionamento da área de estudo em relação às temáticas avaliadas (TABELA 5.1 e TABELA 5.2). Foram entrevistados 15 especialistas em duas rodadas de perguntas. Após a primeira rodada calcula-se a média e a moda dos pesos atribuídos e elas são apresentadas a cada entrevistado, eles têm então a oportunidade de rever suas opiniões na segunda rodada, alterando o peso atribuído aos critérios ou permanecendo com a mesma opinião da primeira rodada (MOURA, 2007; SILVEIRA, 2013).

TABELA 5. 1 - Pesos oriundos de questionário Delphi para avaliação da necessidade de Preservação Ambiental

Critério	Peso Médio
Fragmentos Florestais	22,91
Distância da Mancha de Inundação	19,90
Áreas de Preservação Permanente (APPs)	22,07
Unidades de Conservação (Ucs)	17,22
Uso e Cobertura do Solo	17,89

Fonte: dados da pesquisa

TABELA 5. 2 - Pesos oriundos de questionário Delphi para avaliação do Potencial de Expansão Urbana

Critério	Peso Médio
Acessibilidade e Capilaridade	18,89
Proximidade de Áreas Urbanas	17,43
Distância da Cava da Mina de Brucutu	15,85
Concentração de Novos Projetos	16,48
Declividade - Lei 6766/79	16,42
Índice Geomorfológico (IGPU)	14,93

Fonte: dados da pesquisa

Os critérios que são representados por dados qualitativos foram convertidos em dados quantitativos para o processo de análise de multicritérios.

O critério Fragmentos Florestais é o resultado de uma síntese de métricas de paisagem, na qual considerou-se as métricas de área núcleo, índice de forma e distância do vizinho mais próximo. Todo o procedimento foi realizado com dados normalizados entre 0 a 1, conforme procedimento metodológico proposto por Fonseca, Moura e Ribas (2015). Considerou-se que os fragmentos com maior potencial de preservação (valores próximos de 1) são os que apresentam maior área núcleo, morfologia arredondada e menor distância ao próximo fragmento de vegetação.

Para a construção da camada de Distância da Mancha de Inundação aplicou-se o algoritmo de distância euclidiana em relação à área de inundação, que é delimitada pela cota altimétrica de 634 metros, de acordo com estudos hidrológicos na área de estudo por Balbi, (2008) e CEM (2002). Considerou-se que a área da mancha inundação e as áreas a menos de 100 metros da mancha de inundação devem ser consideradas de interesse na avaliação ambiental.

Os critérios Áreas de Preservação Permanente (APPs) e Unidades de Conservação (UCs) foram classificados da seguinte maneira: as APPs de nascente receberam nota máxima (10) e as demais foram classificadas com nota 9. As UCs de proteção integral (Zonas de Proteção Ambiental Urbana - ZPAMU) e a e Estação Ecológica de Peti receberam nota 10. A Área de Proteção Ambiental (APA) em fase de implantação na área de estudo foi classificada de acordo com seu zoneamento ecológico econômico (ZEE), conforme demonstrado na tabela 5.3.

TABELA 5. 3 - Notas atribuídas ao ZEE da APA municipal

Zoneamento Ecológico Econômico (ZEE) da APA (Projeto em implantação)	Nota
Zona de Conservação do Equilíbrio Ambiental e Agropecuário	8
Zona de Conservação do Equilíbrio Ambiental Urbano	9
Zona de Conservação do Corredor de Biodiversidade	10
Zona de Desenvolvimento da Silvicultura	6

O critério Uso e Cobertura do Solo foi classificado da seguinte maneira: as tipologias de vegetação nativa, tais como a vegetação densa (floresta estacional semidecidual) e campo rupestre receberam nota máxima (10), tipologias de mineração e solo exposto (3), reflorestamento (3), pastagem e área urbanizada (1).

No âmbito da avaliação do potencial de expansão urbana, para definir o critério acessibilidade e capilaridade aplicou-se o estimador de densidade de Kernel ponderando pela classificação das vias, sendo que vias pavimentadas e de grande circulação, a exemplo de avenidas e rodovias, foram classificadas com peso 5 e as demais com peso 2 (MOURA; MAGALHÃES; PARIZZI, 2011; SILVA, 2012).

Os critérios de Proximidade de Áreas Urbanas e Distância da Cava da Mina de Brucutu foram construídos aplicando-se o algoritmo de distância euclidiana sobre as respectivas poligonais. A classificação destes critérios em relação ao potencial de expansão urbana ocorreu de maneira diferente. No caso das áreas urbanas, quanto mais próximo de áreas urbanizadas, maior o potencial de expansão urbana, ao passo que, no caso da área de mineração, quanto mais distante da cava da mina, maior o potencial de expansão urbana.

Para a definição do critério concentração de novos projetos aplicou-se o estimador de densidade de Kernel nos pontos de centroide de cada polígono representando a área de incidência de cada novo projeto. Nos projetos lineares (obras lineares), tais como avenidas e

estradas, foram considerados o ponto de início, o ponto médio e o ponto final de cada linha. Nos casos de loteamentos considerou-se o centroide ponderado pelo peso 5, nos outros casos cada ponto obteve peso 1.

Para a construção do critério Declividade utilizou-se o modelos digital de elevação TOPODATA/INPE, com resolução espacial de 30 metros, no qual foi aplicado o algoritmo de cálculo de declividade presente na extensão *3D Analyst* do programa ArcGIS 10.2. Posteriormente foi feita a reclassificação das classes de declividade tendo como base a Lei federal 6766/79, que estabelece diretrizes para o parcelamento do solo, conforme observado na tabela 5.4.

TABELA 5. 4 - Notas atribuídas às classes de declividade

Classe de Declividade (%)	Nota	Observação
0 a 5	4	Apresenta risco de inundação
5 a 30	10	Propício à ocupação
30 a 47	3	Ocupação mediante aprovação de Laudo Técnico
Acima de 47	1	Risco Geotécnico

O último critério considerado na avaliação do potencial de expansão urbana foi o Índice Geomorfológico de Potencial de Uso e Ocupação do Solo (IGPU), proposto por Fonseca e Moura (2015, no prelo)⁸. O IGPU é um índice normalizado na escala de 0 a 1, sendo que valores próximos de 1 correspondem a terrenos com elevado potencial de ocupação. O IGPU é o resultado da síntese de variáveis do meio físico relacionadas à fatores geológicos/geotécnicos, hidrodinâmicos e relacionados aos processos de vertente.

Todos os valores dos componentes de legenda de cada critério, para cada temática avaliada, foram normalizados entre 0 e 1. Posteriormente utilizou-se a ferramenta de álgebra de mapas *Raster Calculator*, presente no programa ArcGIS 10.2. Para cada avaliação considerou-se a fórmula a seguir:

$$AMC = \sum_{k=1}^n (Pk \times Nk) \quad (1)$$

⁸ Artigo correspondente ao capítulo 2 desta tese.

onde AMC corresponde ao resultado da análise de multicritérios em cada célula ou ponto da matriz, n é o número de critérios, P_k é o peso atribuído a cada critério e N_k é o valor normalizado de cada componente de legenda.

5.2.4 Modelo de Mudança

De acordo com Steinitz (2012) um modelo de mudança no contexto de um estudo baseado em Geodesign deve, em primeiro lugar, compreender como a população local considera as mudanças que estão por vir. Esta iniciativa influencia e auxilia na escolha da construção do algoritmo conceitual a ser seguido na execução do modelo de mudança.

O modelo de mudança aplicado neste trabalho é uma adaptação do modelo de mudança baseado em regras, no qual as regras que direcionam as mudanças são conhecidas do pesquisador (STEINITZ, 2012). Essas regras podem ser conhecidas por algoritmos computacionais aplicados a dados históricos de uso e cobertura do solo, bem como podem ser regras de restrições e potencialidades de ocupação e uso do solo. No presente trabalho as regras de transição foram associadas às decisões de projeto para compor o resultado do modelo de mudança e do modelo de impacto. (STEINITZ *et. al.*, 2005).

5.2.4.1 Mapeamento do uso e cobertura do solo

Para obter dados históricos de uso e cobertura do solo da área de estudo foi feita a classificação automática de duas cenas de imagens do sensor TM Landsat-5 de Agosto de 2000 e Maio de 2007, órbita/ponto 217/074, com resolução espacial de 30. As cenas georreferenciadas e ortorretificadas foram obtidas no *website* "*Earth Science Data Interface - Global Land Cover Facility*", vinculado à Universidade de Maryland/USA. Foi obtida no *website* do *United States Geological Survey* (USGS) uma cena georreferenciada e ortorretificada do sensor Landsat-8, órbita/ponto 217/074, datada do mês de Maio de 2013.

Para as imagens do sensor Landsat-5 utilizaram-se as bandas 5, 4 e 3 na composição RGB, respectivamente (JENSEN, 2007). Para as imagens do sensor Landsat-8 utilizaram-se as bandas 6, 5 e 4 na composição RGB, respectivamente (HAZAYMEH; HASSAN, 2015; SIMONETTI; SIMONETTI; PREATONI, 2014).

O processamento digital das imagens foi realizado no programa SPRING versão 5.2.1, iniciando com a correção radiométrica entre as três bandas das três cenas utilizadas e posteriormente a aplicação de realce de contraste. A classificação foi feita com o algoritmo Máxima Verossimilhança (MaxVer), o qual é utilizado para análises pixel a pixel. Este algoritmo utiliza apenas a informação espectral de cada pixel para identificar as regiões homogêneas e considera a ponderação das distâncias entre médias dos níveis digitais das classes, utilizando parâmetros estatísticos (HORNING *et al.*, 2010; MILGRAM, 1975). O valor mínimo definido para a aceitação do desempenho geral das amostras de pixels coletados no processo de classificação foi de 90%.

As tipologias de uso e cobertura do solo, pré definidas por chave de interpretação, correspondem a: mineração, área urbanizada, pastagem, reflorestamento, campo rupestre, floresta estacional semidecidual, corpos hídricos e solo exposto.

Para a validação do mapeamento realizado para o ano de 2013 analisou-se a estatística de desempenho geral da classificação, e foi realizado um trabalho de campo de 3 dias no mês de Agosto de 2013. Utilizou-se um aparelho receptor do sinal GPS para aquisição de pontos de controle, e foram realizadas fotografias com geolocalização para auxiliar o trabalho de pós campo, visando a correção do mapeamento.

Os mapeamentos realizados para as datas pretéritas foram validados pela estatística de desempenho geral da classificação e por dados históricos, tais como fotografias aéreas oblíquas, feitas por voo de helicóptero nos anos de 2000 e 2007 (Prefeitura Municipal de São Gonçalo do Rio Abaixo), imagens do sensor Ikonos (resolução espacial de 1 metro) de 2007 e imagens do programa *Google Earth*. Utilizou-se também fotografias de arquivos pessoais de cidadãos locais, bem como dados do acervo pessoal e da obra "Trilhas de Lembranças" (BLONSKI, 2010) da pesquisadora e diretora do Centro Cultural de São Gonçalo do Rio Abaixo, Miriam Stella Blonski.

5.2.4.2 Detecção de Mudanças e Simulação para o ano de 2020

No caso do município de São Gonçalo do Rio Abaixo, o principal vetor de mudanças nos últimos quinze anos foi a atividade da mineração, sobretudo pela aquisição e ampliação da Mina de Brucutu, propriedade da mineradora Vale S/A a partir do ano de 2006.(COSTA; GARCIA, 2013; JESUS, 2010).

Tal fato motivou a escolha do recorte temporal considerado na análise de mudança, assumindo o ano de 2000 como o início da investigação das mudanças (t_1), o ano de 2007 a data intermediária (t_2) e o ano de 2013 a data final (t_3). As etapas do processo de modelagem das mudanças podem ser observadas na FIGURA 5.4.

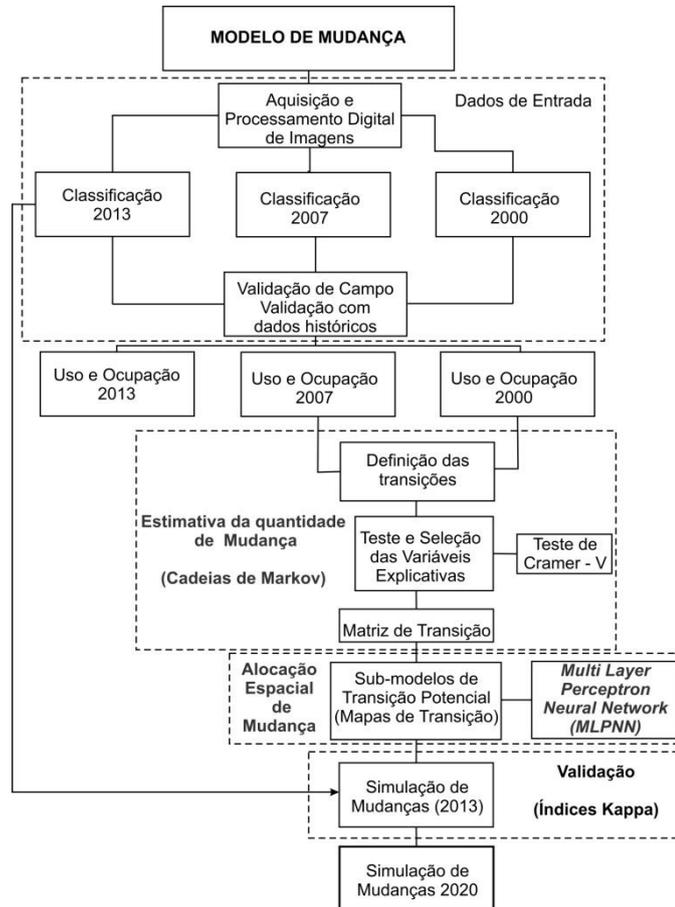


FIGURA 5. 4 - Fluxograma do processo de modelagem de mudanças e simulação para o ano de 2020

A detecção das mudanças ocorridas entre os anos de 2000 e 2007 é realizada no aplicativo LCM, por meio de álgebra matricial. As mudanças verificadas são quantificadas por tipologia, sendo possível fazer as primeiras análises quantitativas e qualitativas. São gerados mapas de perdas, ganhos e persistências, para a avaliação visual da mudança por tipologia de uso e cobertura do solo, e para subsidiar a construção do sub-modelo de transição. Também é possível observar a tendência espacial das mudanças ocorridas.

O sub-modelo de transição contemplou as transições mais relevantes em relação a área de abrangência e em relação ao objetivo deste trabalho, a saber: 1 - transição de pastagem para área urbanizada e 2 - transição de floresta para área urbanizada.

A transição de floresta para mineração não foi considerada, por se tratar de uma mudança já definida em projeto e controlada por um agente externo à área de estudo. Por exemplo, a empresa de mineração já possui o planejamento de lavra até um determinado ano no futuro, mas não necessariamente as transformações ocorrerão de forma sequencial, haja vista a incidência de fatores macroeconômicos que controlam a velocidade da produção mineral. Por outro lado, cabe ressaltar que o objetivo deste trabalho é avaliar as mudanças espaciais relativas às atividades antrópicas urbanas, que não são produto de um projeto previamente estabelecido, como é o caso da mineração, mas que seguem processos dinâmicos que sofrem influência de um conjunto de variáveis potencializadoras da transformação.

Após estabelecidas as transições de interesse, foram definidas as variáveis que explicam espacialmente essas transições (TABELA 5.5). Foi realizado então o teste de Cramer-V, que avalia a associação espacial das variáveis explicativas com as áreas de mudanças (EASTMAN, 2011; MAS *et al.*, 2014). O Cramer-V é um teste estatístico não paramétrico, podendo ser aplicado independentemente da distribuição das variáveis, de acordo com a fórmula simplificada:

$$V = \sqrt{\frac{x^2}{n(q-1)}} \quad (2)$$

onde x^2 é o coeficiente Qui-quadrado $((O - E)^2 / 2)$, O é a frequência observada para uma categoria, E é a frequência esperada na categoria correspondente, n é o tamanho da amostra; q é o mínimo número de linhas e colunas da matriz de uso e cobertura do solo (CLARK; HOSKING, 1986). O índice V de Cramer é uma medida de associação com base no Qui-Quadrado para análise bivariada, dependendo da aplicação, pode-se identificar a principal variável que comanda o processo de mudança de uso e cobertura do solo no período em análise. Conforme demonstrado na equação 2, o valor V é traduzido pela raiz quadrada da divisão entre o Qui-Quadrado sobre o número de células total da imagem vezes a quantidade de componentes das hipóteses.

Um valor alto de Cramer (próximo de 1) indica que o potencial explicativo da variável é bom, embora não signifique que o modelo apresentará um desempenho ótimo. No entanto, é um bom indicativo de que a variável pode ser utilizada para explicar as transições. Valor 0 indica ausência de associação entre variáveis. Geralmente um valor de Cramer maior que 0,15

é o suficiente para que a variável seja relacionada ao sub-modelo de transição potencial (EASTMAN, 2011).

TABELA 5. 5 - Variáveis testadas para o sub-modelo de potencial de transição

Variáveis Explicativas testadas
Acessibilidade e Capilaridade
Concentração de Novos Projetos
Distância da Mina de Brucutu
Proximidade de áreas urbanizadas
Transição Floresta para Urbano
Potencial de Expansão Urbana
Transição Floresta para Mineração
Transição de Pastagem para Urbano
Topografia (Modelo TOPODATA/INPE)

Fonte: dados da pesquisa

Partindo dos mapas de entrada nos tempos t_1 e t_2 , o cálculo das taxas de potencial de transição ou da estimativa da quantidade de mudança foi realizado com base em Cadeias de Markov (EASTMAN, 2011; MAS *et al.*, 2014). O algoritmo baseado em Cadeias de Markov calculou a probabilidade uma determinada tipologia de uso e cobertura do solo permanecer a mesma ou mudar, se transformando em outras tipologias, durante o intervalo de tempo analisado (2000-2007). O modelo de Markov é descrito com detalhes por Baker (1989).

A alocação espacial das mudanças foi feita com base em Redes Neurais Artificiais (RNA) (HAYKIN, 1999), que é um modelo baseado no funcionamento do cérebro humano, desenvolvido para adquirir conhecimento através da experiência, num processo de aprendizado e correção de erros com base nos dados de entrada (EASTMAN, 2011; FAUSETT, 1994). Utilizou-se o modelo RNA de múltiplas camadas *Multi-Layer Perceptron Neural Network (MLPNN)*, que é o mais utilizado atualmente. O algoritmo utilizado treina a rede através da aprendizagem por correção de erros, de modo que o erro calculado é retro-propagado em toda a rede. Durante esse processo os pesos foram reajustados nas camadas e, conseqüentemente, apresentados à rede, o que ocorreu por 10 mil iterações até que a acurácia do modelo chegue a cem por cento (FAUSETT, 1994; GEVERT *et al.*, 2010).

Após a calibração do sub-modelo de potencial de transição foi feita uma simulação para um cenário conhecido, o uso e cobertura do solo do ano de 2013. Na etapa de validação avaliou-se a performance do sub-modelo comparando a simulação de 2013 com o

mapeamento realizado para 2013. Utilizou-se a estatística Kappa (*Kappa Index of Agreement-KIA*) para medir a similaridade entre dois mapas (simulado e "real"), baseada na razão da porcentagem de acertos observados pela porcentagem de acertos esperados por aleatoriedade. A estatística Kappa permitiu avaliar acertos relacionados à quantidade de mudanças e à localização das mudanças (PONTIUS; MILLONES, 2011; PONTIUS, 2000, 2002).

5.2.5 Modelo de Impacto

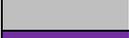
A abordagem do modelos de impacto seguiu a lógica do potencial de impacto (*PI*), ou seja, foram identificadas as áreas com maior potencial de impactos, relacionando a matriz de necessidade de preservação ambiental (A_{ij}) com a matriz de potencial de expansão urbana (U_{ij}), de acordo com a equação 3:

$$PI = (A_{ij} \times 0,5) + (U_{ij} \times 0,5) \quad (3)$$

As matrizes de entrada A_{ij} e U_{ij} foram reclassificadas com valores específicos (TABELA 5.6), conforme procedimento realizado por Moura (2005), Moura, Magalhães e Parizzi (2011), Silva, (2012) e Zyngier (2012). Os valores de reclassificação para as duas matrizes foram associados às respectivas classes temáticas qualitativas (de muito alto à muito baixo). A matriz resultante obteve 25 valores que foram agrupados para compor a análise de potencial de impactos (TABELA 5.6).

TABELA 5. 6 - Matriz Resultante de Potencial de Impactos

		Potencial de Expansão Urbana				
		Muito Alto	Alto	Médio	Baixo	Muito Baixo
Necessidade de Preservação Ambiental	Muito Alto	0	2	4	6	8
	Alto	10	1	2	3	4
	Médio	20	5	6	7	8
	Baixo	30	10	11	12	13
	Muito Baixo	40	15	16	17	18
			20	21	22	23
		24				

Legenda	
	Alto Potencial de Impactos
	Potencial Geodesign
	Preservação Ambiental
	Baixo Potencial de Impactos
	Alto Potencial de Expansão Urbana

O agrupamento dos valores resultantes 0, 1, 5 e 6 representam as áreas com alto e muito alto potencial de expansão urbana e com alto e muito alto potencial de preservação ambiental. Estes valores foram agrupados para representar as áreas com alto potencial de impactos. Os valores 18, 19, 22, 23 e 24 foram agrupados para representar as áreas com baixo potencial de impactos. Os valores 15, 16, 20 e 21 representam as áreas com alto e muito alto potencial de expansão urbana e baixa e muito baixa necessidade de preservação ambiental.

Os valores localizados no centro da matriz (TABELA 5.6) correspondem às áreas com potencial intermediário para expansão urbana e para preservação ambiental. De um modo geral, esses valores (7, 10, 11, 12, 13 e 17) representam áreas com potencial de transformação, podendo ser alvo de projetos de restauração ambiental ou alvo de ocupação controlada, visando o uso sustentável. Essas áreas foram classificadas como áreas com potencial para abrigar projetos baseados em Geodesign.

O resultado da matriz de impactos foi cotejado com o cenário projetado para 2020 para identificar as áreas onde haverá maior probabilidade de incidência de impactos.

5.3 Resultados e Discussões

Foram obtidos dois conjuntos de resultados, o primeiro deles de referente ao modelo de mudança, e o segundo relacionado ao modelo de impactos.

5.3.1 Análise das Mudanças

A análise das mudanças ocorridas no uso e cobertura do solo da área de estudo foi embasada pela classificação automática de imagens Landsat dos anos de 2000, 2007 e 2013 (FIGURA 5.6). As matrizes de confusão com as estatísticas de erros e acertos das três classificações evidenciaram indicadores com valores que demonstram o bom desempenho e a qualidade do processo de classificação automática (ANEXO 2). O desempenho geral da classificação da imagem do ano 2000 foi de 90,50% (índice Kappa de 0,86), com confusão média de 9,50%.

A classificação da imagem do ano de 2007 obteve desempenho geral de 98,59% (índice Kappa de 0,98) e confusão média de 1,41%. O desempenho geral da classificação da imagem do ano de 2013 foi de 99,28% (índice Kappa de 0,99), com confusão média de

0,72%. O mapeamento de 2013 foi validado em campo por uma nuvem amostral de 122 pontos de controle (FIGURA 5.5).

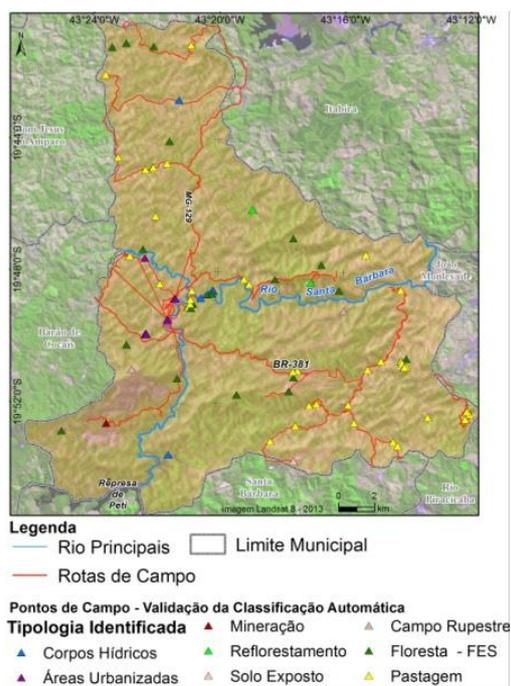


FIGURA 5. 5 - Pontos de controle verificados em campo para validação do mapeamento de 2013

De um modo geral, entre os anos de 2000 e 2013 observa-se que a atividade de mineração (minério de ferro) e o processo de expansão urbana (tipologia Urbano) foram os mais dinâmicos no município de São Gonçalo do Rio Abaixo (FIGURA 5.6). A área urbanizada do município aumentou mais de 200% em treze anos, a mineração aumentou onze vezes a área de 82,93 ha, que ocupava no ano 2000.

Entre os anos de 2000 e 2007 a mineração representou 88% do total de mudanças ocorridas na área de estudo, o que corresponde a um aumento absoluto de 648 ha de área ocupada por esta atividade produtiva (FIGURA 5.6). As áreas de mineração expandiram, sobretudo, em detrimento da supressão das áreas de floresta (476 ha) e campo rupestre (103 ha). Naquele período (2000-2007), as áreas urbanizadas aumentaram em 120 ha, correspondendo a 50,3% do total de mudanças ocorridas (FIGURA 5.6, gráficos A e C). O desmatamento da floresta estacional semidecidual alcançou uma área de 925 ha, dos quais apenas 8 ha ocorreu em detrimento do processo de expansão urbana (FIGURA 5.7, gráfico A).

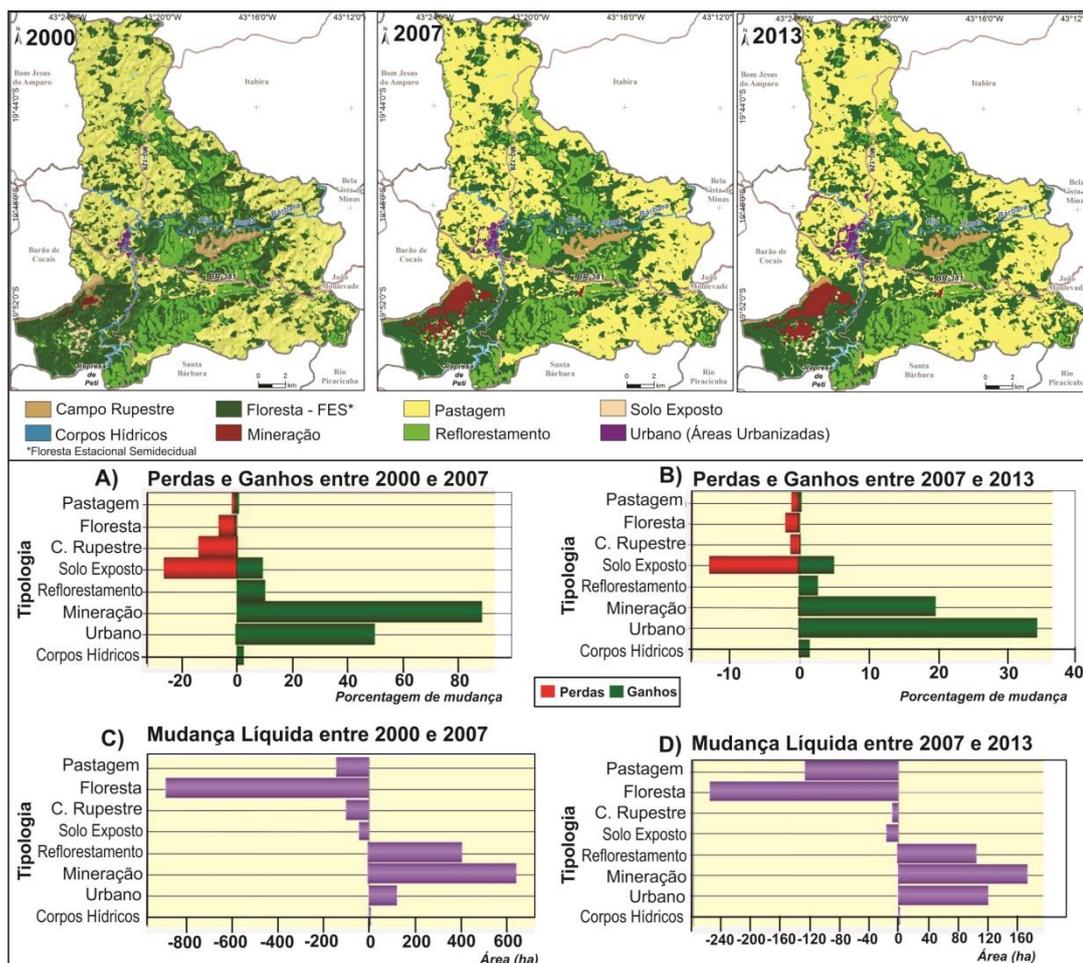


FIGURA 5. 6 - Mapeamento do uso e cobertura do solo para os anos de 2000, 2007 e 2013, resultado da classificação automática com calibração de campo e por dados históricos

TABELA 5. 7 - Quantitativo de tipologias de uso e cobertura do solo nos anos 2000, 2007 e 2013

Tipologia	Área (ha) 2000	Área (ha) 2007	Área (ha) 2013
Corpos Hídricos	266,25	272,92	275,61
Urbano	118,26	238,33	359,69
Mineração	82,93	732,09	905,11
Reforestamento	3580,94	3994,18	4102,66
Solo Exposto	222,21	180,94	165,24
Campo Rupestre	749,05	644,98	636,37
Floresta - FES	14004,77	13112,56	12856,90
Pastagem	17244,30	17092,70	16967,11
Total Geral	36268,70	36268,70	36268,70

Fonte: dados da pesquisa

Cabe ressaltar que a Mina que Brucutu começou suas atividades, após ampliação da capacidade produtiva, sob domínio da Vale S/A, no ano de 2006. A partir deste ano as

transformações no entorno da mina e no entorno da área urbana do município foram cada vez mais evidentes. No entanto, o objetivo deste trabalho é avaliar as transformações referentes às atividades antrópicas urbanas, pelos motivos já colocados: a mineração segue projetos pré-definidos, ao passo que o crescimento urbano reage a fatores de estímulo e potenciais, o que justifica a simulação.

Entre 2000 e 2007 a expansão urbana ocorreu sobre 2 ha de solo exposto, 8 ha de florestas e 110 ha de áreas de pastagens degradadas e improdutivas (FIGURA 5.7, gráfico A). O vetor de expansão materializou-se com componentes para norte e oeste da área de estudo, sobretudo ao longo da rodovia MG-129 e da avenida Contorno Oeste, construída entre 2007 e 2009 para ligar a MG-129 à BR-381, retirando o trânsito pesado do centro histórico de São Gonçalo do Rio Abaixo.

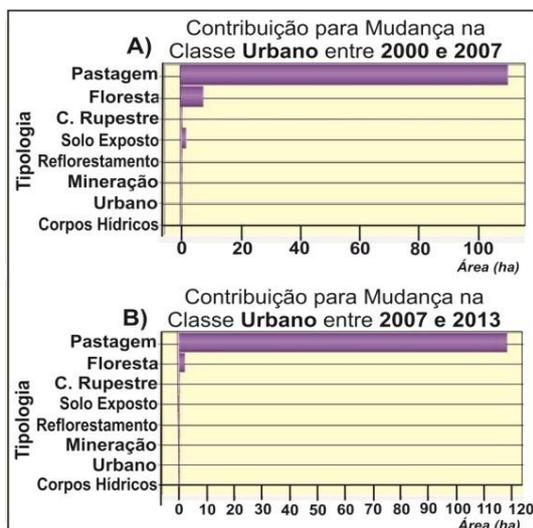


FIGURA 5. 7 - Contribuição para mudança na classe Urbano (áreas urbanizadas) entre os anos de 2000 e 2007(A), e entre 2007 e 2013 (B)

O impacto em tipologias naturais de cobertura do solo ocorreu, entre 2000 e 2007, sobre o campo rupestre e sobre a floresta estacional semidecidual. O campo rupestre foi impactado exclusivamente pela atividade de mineração em 103 ha. As áreas ocupadas por florestas foram suprimidas num total de 890 ha (FIGURA 5.6, gráfico C e TABELA 5.7), sendo que 476 ha para dar lugar à mineração, 245 ha em detrimento do reflorestamento com eucalipto, 138 ha perdidos para pastagens e 18 ha suprimidos para dar lugar ao solo exposto. É importante ressaltar a perda de 6,7 ha de floresta, na região central da área de estudo, para a mancha de inundação da Pequena Central Hidroelétrica (PCH) São Gonçalo, da CPFL

Renováveis. Por isso observa-se um aumento na área ocupada por corpos hídricos entre 2000 e 2013 (TABELA 5.7).

No período compreendido entre os anos de 2007 e 2013 a tipologia de uso urbano passou a ser a mais representativa na porcentagem geral de mudanças ocorridas (FIGURA 5.6, gráfico B). Em termos absolutos a expansão das áreas urbanizadas ocorreu em 123 ha, sendo 118 ha sobre pastagens e 2 ha sobre floresta estacional semidecidual (FIGURA 5.7, gráfico B). A substituição de áreas cobertas por floresta por áreas urbanizadas reduziu quatro vezes de 2000 para 2013, esta redução se deu em detrimento da ocupação das áreas de pastagem, com um aumento de 110 ha em entre 2000 e 2007 para 118 ha entre 2007 e 2013. Tal redução pode ser atribuída, em certa medida, às diretrizes estipuladas pelo Plano Diretor Municipal, à presença do escritório do Instituto Estadual de Florestas (IEF-MG) e à impedâncias naturais, a exemplo do relevo (FONSECA *et. al.*, 2012).

Entre 2007 e 2013 a mineração aumentou em 174 ha, o que representa uma redução da expansão em área, evidenciando o avanço em profundidade da lavra. Em 2013 o crescimento em área da classe mineração foi de 23% em relação a área ocupada em 2007.

De um modo geral, a mineração teve grande expansão em área entre 2000 e 2008, sobretudo devido a ampliação da capacidade produtiva e consequente instalação da nova planta de produção, após a aquisição do direito de lavra pela Vale S/A (ALVES; DINIZ, 2008; COSTA; GARCIA, 2013).

Em relação aos impactos sobre as tipologias naturais de ocupação do solo, entre 2007 e 2013, observa-se que o campo rupestre foi suprimido em 9 ha e substituído pela atividade de mineração. A floresta estacional semidecidual foi suprimida em 254 ha (FIGURA 5.6, gráfico D e TABELA 5.7), dos quais 133 ha perdidos para mineração, 57 ha para o reflorestamento, 53 ha para pastagens, 9 para solo exposto e 2 ha para áreas urbanizadas.

5.3.2 Simulação de Mudanças para 2020

A simulação para 2020 teve como foco as mudanças ocorridas na tipologia de áreas urbanizadas (Urbano), para tal o sub-modelo de transição considerou as transições Floresta Estacional Semidecidual para Urbano e Pastagem para Urbano. As variáveis utilizadas para explicar o modelo de potencial de transição podem ser observadas na tabela 5.8 e figura 5.9.

TABELA 5. 8 - Variáveis testadas e selecionadas para o modelo de potencial de transição

Variáveis Explicativas testadas	Cramer - V	Situação
Altimetria	0,1627	Não Selecionada
Concentração de Novos Projetos	0,2070	Selecionada
Acessibilidade e Capilaridade	0,2213	Selecionada
Proximidade de áreas urbanizadas	0,2243	Selecionada
Potencial de Expansão Urbana	0,2689	Selecionada
Transição Floresta para Urbano	0,2000	Não Selecionada
Transição Floresta para Mineração	0,2028	Não Selecionada
Transição de Pastagem para Urbano	0,2379	Não Selecionada

Fonte: dados da pesquisa

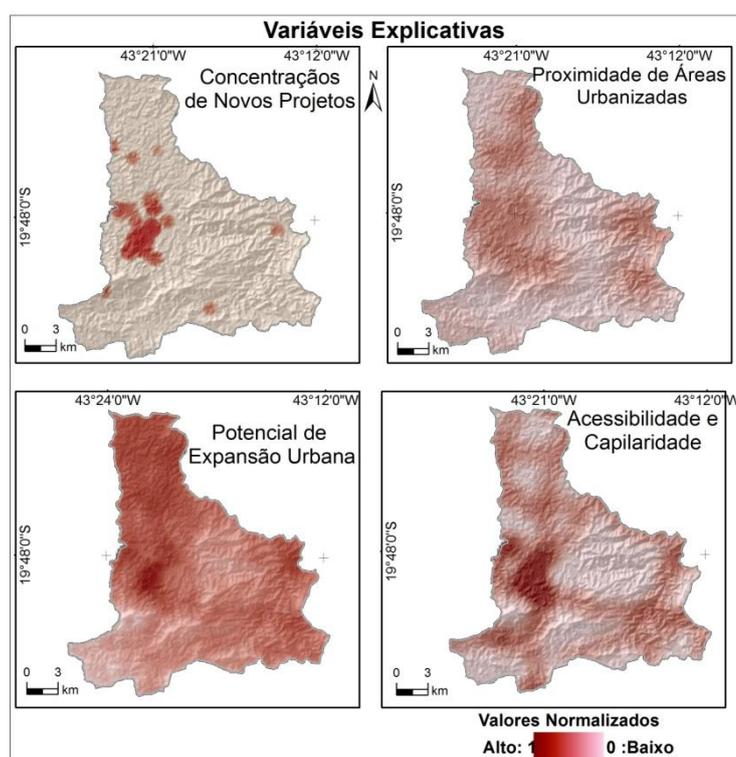


FIGURA 5. 8 - Variáveis explicativas utilizadas no sub-modelo de potencial de transição para a tipologia urbano de uso do solo

Todas as variáveis testadas foram aptas a compor o sub-modelo de potencial de transição, uma vez que apresentaram valor de Cramer superior a 0,15 (MAS *et. al.*, 2014; EASTMAN, 2011). As variáveis selecionadas foram previamente testadas no sub-modelo de transição, simulando as transições consideradas na análise com 10 mil interações e alcançaram uma taxa de acurácia de 98,72%.

O resultado do sub-modelo de transição potencial é o mapa de potencial de transição para a tipologia Urbano. Como o potencial de transição da tipologia floresta para a tipologia urbano obteve baixa representatividade espacial, foi apresentado junto ao potencial de transição da tipologia pastagem para urbano (FIGURA 5.9).

Observa-se que o maior potencial de transição para a tipologia urbano ocorreu ao longo das vias de acesso, próximo às áreas já urbanizadas, em zonas de alta concentração de novos projetos e com alto potencial de expansão urbana, conforme as variáveis explicativas utilizadas no sub-modelo de potencial de transição (FIGURA 5.8).

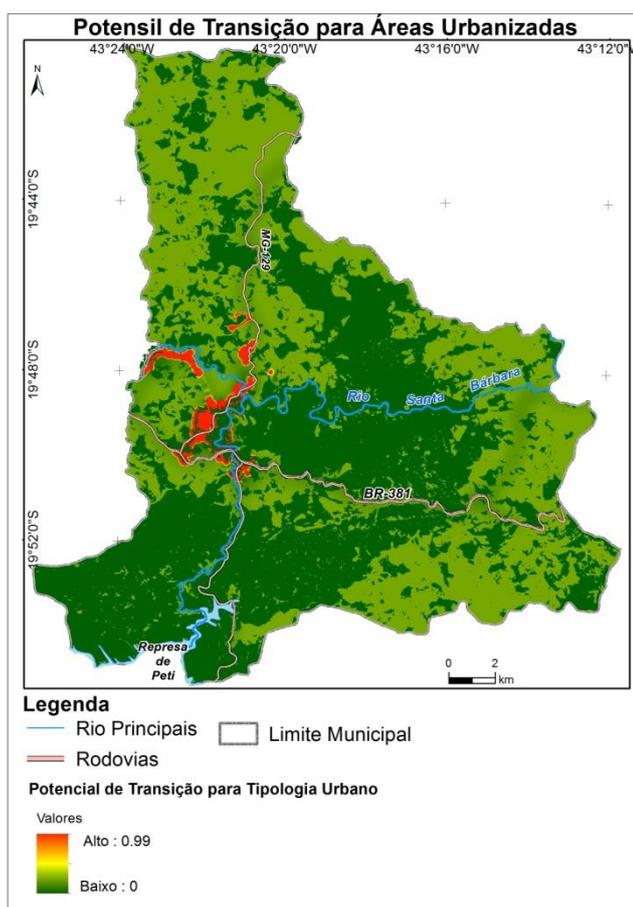


FIGURA 5. 9 - Potencial de transição para a tipologia urbano de uso do solo

Partindo do sub-modelo de potencial de transição foi realizada uma simulação do uso e cobertura do solo para o ano de 2013, com base na matriz de transição (TABELA 5.9) calculada por Cadeias de Markov e alocação das mudanças por Redes Neurais Artificiais (MLPNN), de acordo com o potencial de transição (FIGURA 5.10).

TABELA 5. 9 - Matriz de transição entre 2007 e 2013 (projetado) com os percentuais de mudança e persistência

	Corpos				Solo	Campo		
	Hídricos	Urbano	Min	Ref	Exposto	Rupestre	Floresta	Past.
Corpos Hídricos	0.9989	0.0000	0.0008	0.0003	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
Urbano	0.0000	1.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
Mineração	0.0000	0.0000	1.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
Reflorestamento	0.0000	0.0000	0.0014	0.9986	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
Solo Exposto	0.0000	0.0061	0.1200	0.0325	0.7684	0.0000	0.0000	0.0730
Campo Rupestre	0.0000	0.0000	0.1196	0.0000	0.0000	0.8804	0.0000	0.0000
Floresta	0.0004	0.0005	0.0293	0.0151	0.0011	0.0000	0.9431	0.0106
Pastagem	0.0000	0.0055	0.0016	0.0080	0.0000	0.0000	0.0018	0.9831

Min= Mineração; Ref = Reflorestamento; Past. = Pastagem. Fonte: dados da pesquisa

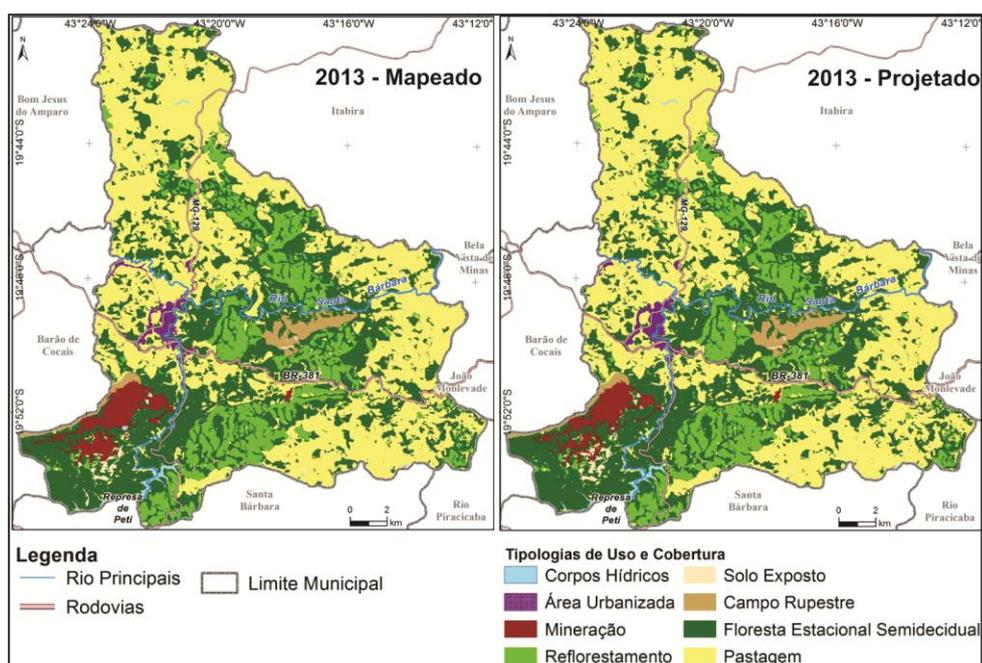


FIGURA 5. 10 - Uso e cobertura do solo do município de São Gonçalo do Rio Abaixo mapeado sobre imagem Landsat-8 de 2013 e simulado pelo modelo Land Change Modeler (LCM)

A matriz de transição da simulação feita para o ano de 2013 mostrou que a tipologia com a menor probabilidade de persistência foi o solo exposto. Este resultado é compatível com a dinâmica de fato ocorrida em relação à classe solo exposto, que foi responsável por mais de 10% de toda a mudança ocorrida entre 2007 e 2013, principalmente em relação a perda de área (FIGURA 5.6, gráfico B). A matriz de transição simulada para 2013 também é compatível com a realidade em relação à probabilidade de mudança para a tipologia urbano,

neste caso a classe pastagem tem dez vezes mais probabilidade de mudar para urbano do que a classe floresta.

A validação da simulação foi feita pela comparação estatística entre o mapeamento realizado para 2013 e o modelo projetado para 2013. A estatística Kappa avaliou a similaridade entre os dois mapas, baseada na razão da porcentagem de acertos observados pela porcentagem de acertos esperados por aleatoriedade. De um modo geral, o valor obtido pelo índice Kappa global (Kno) foi de 0,9924 e indica um bom desempenho geral do modelo, o valor obtido para o índice Kappa de alocação de mudança (*K-location*), de 0,9965, evidencia um bom desempenho relativo à alocação espacial das mudanças simuladas. O valor encontrado para o índice Kappa padrão (*K-standard*) foi de 0,99 e confirma o bom desempenho do modelo de simulação. Todas as estatísticas de calibração e validação do modelo podem ser observadas no Anexo 3.

Após a validação do modelo foi executada a projeção do uso e cobertura do solo para o ano de 2020, considerando a alocação dos novos projetos de infraestrutura e de expansão urbana (TABELA 5.10 e FIGURA 5.11)

TABELA 5. 10 - Matriz de transição entre 2013 e 2020 (projetado) com os percentuais de mudança e persistência

	Corpos Hídricos	Urbano	Min	Ref	Solo Exposto	Campo Rupestre	Floresta	Past
Corpos Hídricos	0.9976	0.0000	0.0018	0.0006	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
Urbano	0.0000	1.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
Mineração	0.0000	0.0000	1.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
Reflorestamento	0.0000	0.0000	0.0030	0.9970	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
Solo Exposto	0.0000	0.0119	0.2252	0.0616	0.5659	0.0000	0.0001	0.1353
Campo Rupestre	0.0000	0.0000	0.2410	0.0000	0.0000	0.7590	0.0000	0.0000
Floresta	0.0008	0.0002	0.0623	0.0317	0.0020	0.0000	0.8808	0.0222
Pastagem	0.0000	0.0118	0.0034	0.0173	0.0000	0.0000	0.0037	0.9638

Min= Mineração; Ref = Reflorestamento; Past. = Pastagem. Fonte: dados da pesquisa

Na simulação para 2020 observa-se que 0,02% é probabilidade de áreas cobertas por florestas serem substituídas por áreas urbanizadas. Por outro lado, observa-se um aumento em mais de cem vezes da probabilidade de áreas de pastagem serem transformadas em áreas

urbanizadas. A área urbanizada projetada para 2020 obteve o maior aumento entre as tipologias antrópicas de uso do solo (TABELA 5.10).

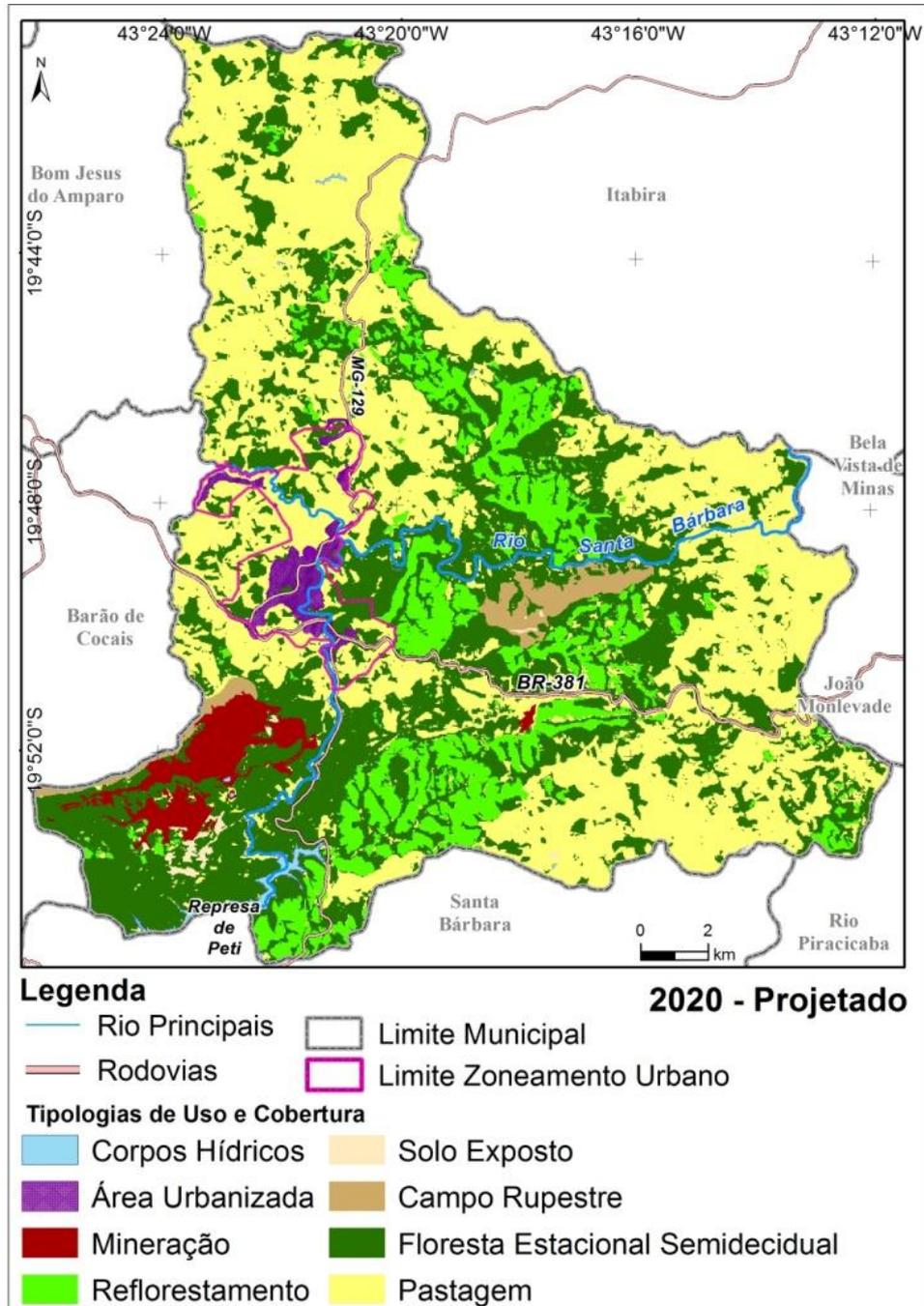


FIGURA 5. 11 - Uso e cobertura do solo do município de São Gonçalo do Rio Abaixo simulado para 2020 pelo modelo Land Change Modeler (LCM)

TABELA 5. 11 - Quantitativo de tipologias de uso e cobertura do solo nos anos 2000, 2007, 2013 e projetado para 2020

Tipologia	Área (ha) 2000	Área (ha) 2007	Área (ha) 2013	Área (ha) 2020
Corpos Hídricos	266.25	272.92	275.61	279.39
Urbano	118.26	238.33	359.69	525.54
Mineração	82.93	732.09	905.11	932.72
Reflorestamento	3580.94	3994.18	4102.66	4133.95
Solo Exposto	222.21	180.94	165.24	164.83
Campo Rupestre	749.05	644.98	636.37	633.87
Floresta - FES	14004.77	13112.56	12856.90	12826.90
Pastagem	17244.30	17092.70	16967.11	16771.50
Total Geral	36268.70	36268.70	36268.70	36268.70

Fonte: dados da pesquisa

Na projeção para 2020 as áreas urbanizadas aumentam 46% em relação à área mapeada para 2013 (TABELA 5.11), o que poderá ocorrer, de acordo com o modelo, somente sobre as áreas de pastagem, sem impacto sobre as áreas de floresta, como observado na FIGURA 5.12, gráfico C.

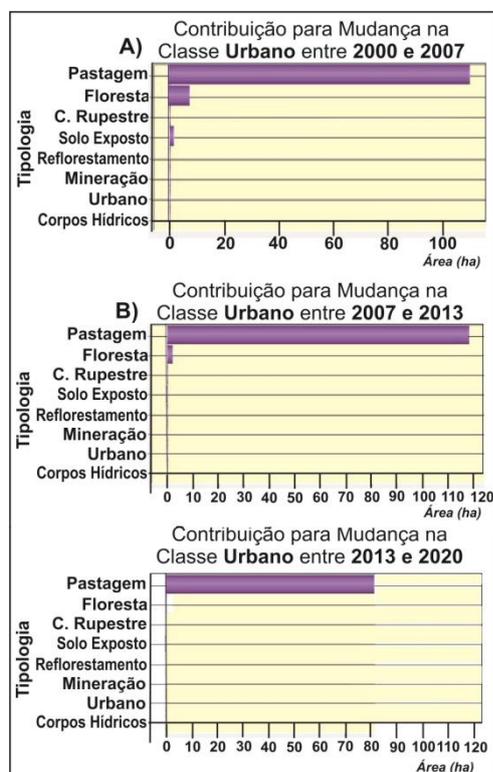


FIGURA 5. 12 - Contribuição para mudança na classe Urbano (áreas urbanizadas) entre os anos de 2000 e 2007(A), entre 2007 e 2013 (B) e entre 2013 e 2020 projetado (C)

Observa-se que a expansão projetada para a área urbanizada extrapolou para norte, além dos limites do zoneamento urbano municipal (Lei Municipal 1.022 de 2013) (FIGURA 5.11), indicando a necessidade de sua revisão, sete anos após a sua promulgação em forma de lei. Este cenário demonstra a dinamicidade do crescimento das áreas urbanizadas no município de São Gonçalo do Rio Abaixo.

Considerando a tendência de expansão urbana sobre áreas de pastagem, em direção à região norte, seguindo o eixo da MG-129, e considerando ainda uma área de pastagem projetada para 2020 de aproximadamente 17 mil hectares (46% da área total), dos quais mais da metade encontra-se na região norte, é possível sustentar que o município de São Gonçalo do Rio Abaixo tem grandes possibilidades de expandir sua área urbana sem que este processo incorra em impactos diretos sobre a floresta estacional semidecidual (FIGURA 5.11).

Mesmo não sendo umas das transições analisadas, de acordo com os objetivos deste trabalho, é importante ressaltar a redução da probabilidade da classe campo rupestre permanecer inalterada (TABELA 5.10), sendo que a persistência era de 0,8804 em 2013, passando para 0,7590 na projeção para 2020. Como no município de São Gonçalo do Rio Abaixo a referida tipologia de cobertura do solo vem sendo suprimida ao longo da Serra do Machado, na Mina de Brucutu, é muito provável que este processo continue neste local, o que será certamente acentuado pela expansão da cava da mina e construção da barragem norte (já licenciados) em direção ao município de Barão de Cocais.

5.3.3 Potencial de impactos

A matriz de potencial de impactos foi elaborada pela combinação de valores atribuídos aos resultados das matrizes de potencial de expansão urbana e necessidade de preservação ambiental (FIGURA 5.13), conforme apresentado no item 2.5 deste artigo, na tabela 5.6. O modelo de impacto foi construído seguindo a lógica de potencial de impactos, por meio da combinação da matriz de potencial de expansão urbana com a matriz de necessidade de preservação ambiental (FIGURA 5.14). Ressalta-se que o foco da avaliação do potencial de impactos é sobre as áreas com potencial de expansão urbana.

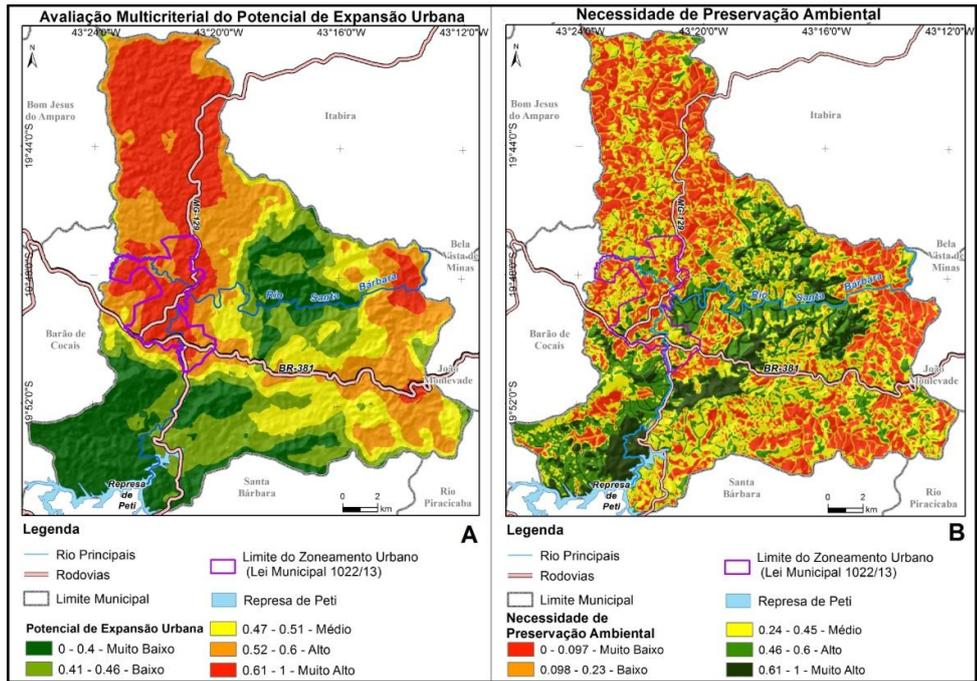


FIGURA 5. 13 - Potencial de Expansão Urbana (A) e Necessidade de Preservação Ambiental (B)

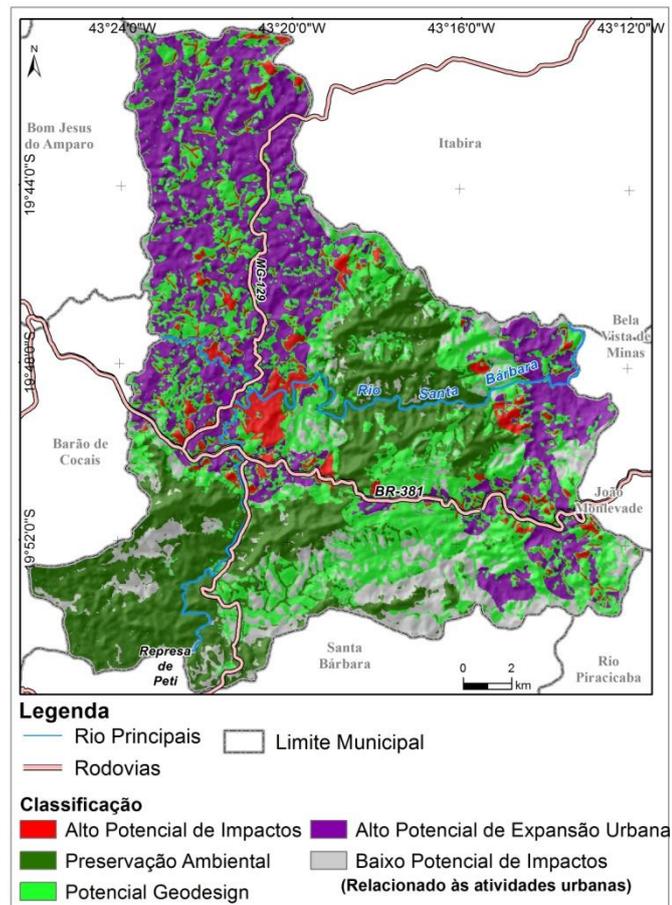


FIGURA 5. 14 - Matriz resultante de potencial de impactos, com valores agrupados e classificados

As áreas classificadas como de alto potencial de impactos apresentam alto e muito alto potencial de expansão urbana associados espacialmente à alta e muito alta necessidade de preservação ambiental (FIGURA 5.14, TABELA 5.12), materializando conflito de interesse. Essas áreas correspondem à 5,07% da área de estudo, sendo representadas por grandes fragmentos florestais, sobretudo nas adjacências das áreas urbanizadas e de rodovias. A área da mancha de inundação no perímetro urbano e algumas APPs também fazem parte das áreas classificadas como de alto potencial de impactos.

TABELA 5. 12 - Análise quantitativa da Matriz de Potencial de Impactos para o município de São Gonçalo do Rio Abaixo

Classificação	Área (ha)	%
Baixo Potencial de Impactos	4.332,96	11,91
Potencial Geodesign	10.955,50	30,11
Alto Potencial de Expansão Urbana	10.035,30	27,58
Alto Potencial de Impacto	1.846,11	5,07
Necessidade de Preservação Ambiental	9.212,79	25,32

Fonte: dados da pesquisa

As áreas de baixo potencial de impacto ou baixo conflito (em relação às atividades urbanas) ocupam 11,91% da área de estudo, e estão concentradas na região centro-sul, associadas às atividades de mineração e reflorestamento.

As áreas classificadas como de alto potencial de expansão urbana abrangem 27,58% do município de São Gonçalo do Rio Abaixo, ocorrendo em maior quantidade na região centro-norte. Ocorrem ao longo da BR-381, na região centro-sul e no extremo leste da área de estudo, em uma estreita faixa norte-sul, nas proximidades dos limites municipais com João Monlevade e Bela Vista de Minas (FIGURA 5.14).

As áreas com necessidade de preservação ambiental ocupam 25,32% da área de estudo, com concentração espacial na região centro-sul, coincidindo com a Estação Ecológica de Peti e com a área estudada para ser transformada em Área de Proteção Ambiental (APA). Mesmo não sendo objetivo deste trabalho, é importante ressaltar o elevado potencial de impacto sobre essas áreas, na região sudoeste da área de estudo, em relação à atividade de mineração.

Áreas classificadas como "Potencial Geodesign" ocupam a maior parte da área de estudo, num total de 30,11%. São áreas aptas a serem estudadas para receberem projetos baseados em Geodesign, a exemplo de parques, unidades de conservação e novos

parcelamentos do solo (STEINITZ, 2012). Essas áreas apresentam, em geral, médio potencial de expansão urbana e necessidade média de preservação ambiental, são caracterizadas por manchas de vegetação em meio a uma matriz de pastagem, com presença de cultivo de eucalipto (reflorestamento).

De um modo geral, os resultados alcançados com a matriz de potencial de impactos sugerem que o município de São Gonçalo do Rio Abaixo pode ser considerado em condição de “Geodesign Natural”, haja vista que a maior parte de sua área, aproximadamente 11 mil hectares (30,11%), apresenta equilíbrio entre potencial de expansão urbana e necessidade de preservação ambiental. Tal condição é ainda ratificada pelos expressivos valores de áreas com aptidão para preservação ambiental (9 mil ha ou 25,32%) e com aptidão para expansão urbana (10 mil ha ou 27,58%), e sobretudo pelo equilíbrio evidente entre estes valores. Deste modo, a área de estudo apresenta condição de “Geodesign Natural” na totalidade de seu território, bem como apresenta áreas específicas que podem ser alvo para projetos baseados nos conceitos e práticas de Geodesign.

5.4 Conclusões e Observações

O modelo de mudança construído para explicar e modelar a dinâmica do uso e cobertura do solo apresentou resultado satisfatório, haja vista os valores dos índices de calibração e validação alcançados. As variáveis explicativas utilizadas demonstraram uma forte associação com o modelo e com a área de estudo.

Os resultados do modelo de mudança revelam uma tendência na redução da substituição de floretas por áreas urbanas, podendo chegar no estágio de supressão zero em 2020, evidenciando a possibilidade de expansão das atividades urbanas com o mínimo ou nenhum impacto direto sobre a cobertura de vegetação natural.

A expansão urbana do município de São Gonçalo do Rio Abaixo segue e provavelmente continuará seguindo o vetor de expansão em direção ao norte, ao longo da rodovia MG-129. Até o ano de 2020 há grande probabilidade da área urbana do município extrapolar o limite legalmente estabelecido para a zona urbana, o que poderá exigir, num prazo de cinco anos, a revisão do Plano Diretor Municipal.

A expansão das atividades antrópicas urbanas seguirão em sentido contrário ao vetor de expansão da mineração, assim como planejado e desejado pela administração pública

municipal. Assim sendo, dificilmente serão observadas as situações de conflitos e impactos que ocorrem no município de Itabira, onde observa-se uma relação espacial conflituosa entre a área de mineração e área urbanizada (CLEMENTE; LEITE; PEREIRA, 2013; SOUZA, 2007).

Além das áreas específicas identificadas como potencial para receber projetos sustentáveis baseados em Geodesign (30,11%), identificou-se ainda áreas com potencial para preservação ambiental (25,32%) e áreas com potencial para expansão urbana (27,58%). Tal condição possibilita o avanço do processo de expansão urbana com a manutenção das áreas aptas à preservação ambiental.

A manutenção dessa condição atual depende de fatores internos e externos à área de estudo. Em relação aos fatores internos destaca-se o papel dos tomadores de decisão em relação à proposição e execução de políticas de gestão da paisagem urbana e municipal. Por outro lado, deve-se considerar que as mudanças no uso do solo em regiões mineradoras são também controladas por fatores macroeconômicos globais (BRIDGE, 2004; SONTER; BARRETT; *et al.*, 2014). Neste caso, uma desaceleração na demanda por ferro, por exemplo, pode impactar na arrecadação financeira anual, desacelerando os investimentos em infraestrutura e conseqüentemente desacelerando o processo de expansão urbana.

Por fim, de um modo geral, os resultados permitem sustentar a hipótese de que a área de estudo está em relativo equilíbrio (em termos quantitativos), ou em condição de “Geodesign Natural”, e não apresenta grandes extensões de área em conflito de interesses, o que resulta em um baixo potencial geral de impactos em relação às atividades urbanas.

5.5 Referências Bibliográficas

ALMG. *Municípios Mineiros*. Disponível em: <<http://www.almg.gov.br/index.asp?grupo=estado&diretorio=munmg&arquivo=municipios&municipio=61908>>. Acesso em: 8 jun. 2012.

ALVES, Melina Amoni Silveira; DINIZ, Alexandre Magno Alves. O zoneamento morfológico funcional das cidades médias mineiras: o exemplo de Barão de Cocais. **Sociedade & Natureza (Online)** v. 20, n. 2, p. 79–91, 2008.

ANTROP, Marc. Landscape change and the urbanization process in Europe. **Landscape and Urban Planning** v. 67, n. 1-4, p. 9–26, 2004.0169-2046.

ARAUJO, Rogério Palhares Zschaber. **Plano Diretor de São Gonçalo do Rio Abaixo**. Belo Horizonte: Praxis Projetos e Consultoria, 2004. 168 p.

ÁVILA, J.L.T.; MONTE-MÓR, R.L. M. **Urbanização e Impactos Ambientais: uma análise da relação entre as características dos espaços urbanos ea poluição hídrica na região do médio Rio Doce**. 2007. p.21. Projeto de Extensão, CEDEPLAR-UFMG, Belo Horizonte, 2007. Disponível em: <http://www.ecoeco.org.br/conteudo/publicacoes/encontros/vii_en/mesa3/trabalhos/urbanizacao_e_impactos_ambientais.pdf>. Acesso em: 30 ago. 2013.

BAKER, W. L. A review of models of landscape change. **Landscape Ecology** v. 2, n. 2, p. 111–133, 1989.

BALBI, Diego Antônio Fonseca. **Metodologias para a elaboração de planos de ações emergenciais para inundações induzidas por barragens. estudo de caso: barragem de Peti - MG**. UFMG, 2008. 1-353 p.

BESSA, Kelly Cristine; SOARES, Beatriz Ribeiro. Novas espacialidades urbano-regionais perante a expansão do meio técnico-científico-informacional: o exemplo de Uberlândia. **Mercator** v. 2, n. 4, p. 19–34, 2003.

BLONSKI, Miriam Stella. **Trilhas de Lembranças**. 2^a. ed. Belo Horizonte: Editora Vigília, 2010.

BRIDGE, Gavin. Contested terrain: mining and the environment. **Annual Review of Environment and Resources** v. 29, p. 205–259, 2004.

BUENO, Beatriz Piccolotto Siqueira. Caminhos da história da urbanização no Brasil-colônia Introdução. **Anais do Museu Paulista** v. 20, n. 1, p. 11–40, 2012.

CEM. CENTRAIS ELÉTRICAS MANTIQUEIRA S.A. **Estudos Hidrológicos da PCH São Gonçalo**. São Gonçalo do Rio Abaixo: [s.n.], 2002.

CLARK, W. A. V.; HOSKING, P. L. **Statistical methods for geographers**. New York: Wiley & Sons, 1986.

CLEMENTE, Carlos Magno Santos; LEITE, Marcos Esdras; PEREIRA, Deborah Marques. Estudo Comparado da área de mineração no município de Itabira/MG nos anos de 1985, 1997 E 2007. **Observatorium: Revista Eletrônica de Geografia** v. 5, n. 13, p. 84–100 , 2013. Disponível em: <<http://www.observatorium.ig.ufu.br/pdfs/5edicao/n13/05.pdf>>.

COSTA, Alfredo; GARCIA, Ricardo Alexandrino. Evolução do uso e cobertura do solo e fragmentação da paisagem na Serra do Gandarela (MG): análise a partir de métricas de paisagem. **Geografias** v. 10, n. 1, p. 1–132 , 2013.

EASTMAN, J.R. **IDRISI Selva: Guide to GIS and Image Processing**. Worcester: ClarkLabs, 2011. 327 p.

ERVIN, S. A System for Geodesign. In Digital Landscape Architecture Conference. **Anais...** Dessau: Anhalt University, 2011. p.1–14. Disponível em: <<http://www.gsd.harvard.edu/images/content/5/3/536223/A-System-forGeodesign.pdf>>.

FAUSETT, Laurene V. **Fundamentals of Neural Networks: Architectures, Algorithms and Applications**. London: Prentice-Hall, 1994. 461 p.

FONSECA, B. M.; BEZERRA, D. P.; AUGUSTIN, C. H. R. R. Mapeamento de Unidades Geomorfológicas na borda nordeste do Quadrilátero Ferrífero. 2012, Rio de Janeiro: UGB, 2012. p.1–12.

FONSECA, B. M.; MOURA, A. C. M. **Índice Geomorfológico para avaliação do Potencial de Ocupação e Uso do Solo (IGPU): uma proposta metodológica**. 2015. 33f. Tese de Doutorado, Artigo - 2 (Doutorado em Geografia) IGC-UFMG, Belo Horizonte, 2015 (No Prelo).

FONSECA, B. M.; MOURA, A.C.M.; RIBAS, R. P. Applying Ecological Landscape Concepts and Metrics in Urban Landscape Management. In: 2nd International Conference on “Changing Cities. **Anais...** Porto Heli, Peloponnese: University of Thessaly, 2015. p.1–10. (No Prelo)

FUNDAÇÃO VALE. **Programa Vale Mais – São Gonçalo do Rio Abaixo: Plano de Desenvolvimento Sustentável - 2006-2026**. Rio de Janeiro: Agência 21, 2006. 144 p.

GEVERT, Vania Gryczak *et al.* Logistic Regression Models, Neural Networks and Support Vector Machine (SVMs) in the Credit Analysis Corporate Entities Analysis Corporate Entities. **Revista Ciências Exatas e Naturais** v. 12, n. 2, p. 269–293 , 2010.

HAYKIN, S. **Neural networks, a comprehensive foundation**. New Jersey: Englewood Cliffs, 1999. 842 p.

HAZAYMEH, Khaled; HASSAN, Quazi K. Spatiotemporal image-fusion model for enhancing the temporal resolution of Landsat-8 surface reflectance images using MODIS

images. **Journal of Applied Remote Sensing** v. 9, n. 1, p. 096095 , 2015. Disponível em: <<http://remotesensing.spiedigitallibrary.org/article.aspx?doi=10.1117/1.JRS.9.096095>>.

HORNING, N. *et al.* **Remote sensing for ecology and conservation**. New York: Oxford, 2010. 451 p.

HOUGHTON, R. A. The Worldwide Extent of Land-use Change. **BioScience** v. 44, n. 5, p. 305–313 , 1994.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. *Cidades@*. 2013. Disponível em: <<http://www.ibge.gov.br/cidadesat/topwindow.htm?1>>. Acesso 23. Maio de 2013.

JENSEN, John R. **Remote Sensing of the Environment: An Earth Resource Perspective**. Minneapolis: Pearson Prentice Hall, 2007. 592 p.

JESUS, J.R.P. **Análise da Dinâmica do Uso e Ocupação do Solo no Município de São Gonçalo do Rio Abaixo/MG – 1988 a 2009**. 2010. 57f. Monografia (Especialização em Geoprocessamento)-IGC/UFGM, Belo Horizonte, 2010.

MALCZEWSKI, J. GIS-based multicriteria decision analysis: a survey of the literature. **International Journal of Geographical Information Science** v. 20, n. 7, p. 703–726 , 2006.

MAS, Jean-Francois *et al.* Modelling Land use / cover changes : a comparison of conceptual approaches and softwares. **Environmental Modelling and Software**, v. 51, p. 94–111 , 2014.

MONTE-MÓR, Roberto L. *et al.* Ocupação do Território e Estrutura Urbana. In: PAULA, João Antônio (Org.). **Biodiversidade, População e Economia: uma região de Mata Atlântica**. Belo Horizonte: UFGM/CEDEPLAR, 1997. p. 91–154.

MOURA, A. C. M.; MAGALHÃES, D. M. M.; PARIZZI, M. G. Vocações e Conflitos de Interesse na Ocupação do Território da Região Metropolitana de Belo Horizonte – Apoio ao Plano Diretor de Desenvolvimento Integrado - PDDI. In: XV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto. **Anais...** Curitiba: INPE, 2011. p.690–687. Disponível em: <<http://www.dsr.inpe.br/sbsr2011/files/p0293.pdf>>. Acesso em: 18 nov. 2014.

MOURA, Ana Clara Mourão. **Geoprocessamento na gestão e planejamento urbano**. Belo Horizonte: ACMM, 2005. 294 p.

MOURA, A. C. M. Reflexões metodológicas como subsídio para estudos ambientais baseados em Análise de Multicritérios. In: XIII Simpósio de Sensoriamento Remoto, 13., 2007, Florianópolis, **Anais...** São José dos Campos: INPE, 2007. p. 2899-2906. Disponível em: <<http://marte.sid.inpe.br/col/dpi.inpe.br/sbsr@80/2006/11.13.14.41/doc/28992906.pdf>>. Acesso em: 18 nov. 2014.

OLIVEIRA FILHO, A. T. *et al.* Definição e delimitação de domínios e subdomínios das paisagens naturais do estado de Minas Gerais. In: SCOLFORO, J. R.; CARVALHO, L. M. T (Orgs.). **Mapeamento e inventário da flora e dos reflorestamentos de Minas Gerais**. 1^a ed. Lavras: Editora UFLA, 2006. p. 21–35.

OLIVEIRA FILHO, A. T.; SCOLFORO, J. R. **Inventário florestal de Minas Gerais**. Lavras: Editora UFLA, 2008. 575 p.

PONTIUS, Robert Gilmore. Quantification error versus location error in comparison of categorical maps. **Photogrammetric Engineering & Remote Sensing** v. 66, n. 8, p. 1011–1016, 2000. Disponível em: <http://www.clarku.edu/~rpontius/pontius_2000_pers.pdf>.

PONTIUS, Robert Gilmore. Statistical methods to partition effects of quantity and location during comparison of categorical maps at multiple resolutions. **Photogrammetric Engineering & Remote Sensing** v. 68, n. 10, p. 1041–1049, 2002. Disponível em: <http://www.clarku.edu/~rpontius/pontius_2002_pers.pdf>.

PONTIUS, Robert Gilmore; MILLONES, Marco. Death to Kappa: birth of quantity disagreement and allocation disagreement for accuracy assessment. **International Journal of Remote Sensing** v. 32, n. 15, p. 4407–4429, 2011.0143-1161.

SANCHÉZ, Luis Enrique. **Avaliação de Impacto Ambiental: conceitos e métodos**. São Paulo: Oficina de Textos, 2008. 495 p. .

SANTOS, Milton. **A natureza do espaço:técnica e tempo/razão e emoção**. São Paulo: HUCITEC, 1996. 308 p.

SANTOS, Milton. **A urbanização brasileira**. São Paulo: HUCITEC, 1993. 147 p. .

SANTOS, Milton. **Técnica, espaço, tempo: globalização e meio técnico-científico-informacional**. São Paulo: HUCITEC, 1994. 190 p.

SILVA, J. R. **Conformidades e conflitos ambientais no município de Ouro Preto como apoio à gestão e planejamento municipal**. 2012. 242f. Tese de Doutorado (Doutorado em Geografia) IGC-UFMG, Belo Horizonte, 2012. Disponível em: <<http://hdl.handle.net/1843/MPBB-935KEW>>.

SILVEIRA, S. J. **Subsídios para normativa de loteamentos sustentáveis quanto ao ciclo hidrológico**. 2013. 290f. Tese de Doutorado (Doutorado em Engenharia Civil) UFSC, Florianópolis, 2013.

SIMONETTI, Edoardo; SIMONETTI, Dario; PREATONI, Damiano. Phenology-based land cover classification using Landsat 8 time series. **Scientific and Technical Research series** v. 1, n. 1, p. 1–57, 2014. Disponível em: <<http://publications.jrc.ec.europa.eu/repository/bitstream/JRC91912/lb-na-26841-en-n.pdf>>.

SOARES-FILHO, Britaldo S.; RODRIGUES, Hermann; FOLLADOR, Marco. A hybrid analytical-heuristic method for calibrating land-use change models. **Environmental Modelling & Software** v. 43, p. 80–87, 2013.

SONTER, Laura J.; BARRETT, Damian J.; *et al.* Global demand for steel drives extensive land-use change in Brazil's Iron Quadrangle. **Global Environmental Change** v. 26, n. 1, p. 63–72, 1 maio 2014. Disponível em:

<http://espace.library.uq.edu.au/view/UQ:329830#.VQ7Kjch0d_E.mendeley>. Acesso em: 17 mar. 2015.

SONTER, Laura J.; MORAN, Chris J.; *et al.* Processes of land use change in mining regions. **Journal of Cleaner Production** v. 84, n. 1, p. 494–501 ,1 dez. 2014 Disponível em: <<http://espace.library.uq.edu.au/view/UQ:329831#.VQ7JFlz0BC0.mendeley>>. Acesso em: 22 mar. 2015.0959-6526.

SOUSA, Daniel Vieira. O conceito de impacto ambiental no quadro do conceito de sustentabilidade. **Caminhos de Geografia** v. 6, n. 9, p. 126–129 , 2006.

SOUZA, Maria do Rosário Guimarães. **Da Paciência à Resistência: Conflitos entre Atores Sociais, Espaço Urbano e Espaço de Mineração**. São Paulo: HUCITEC, 2007. 174 p.

STEINITZ, Carl. **A Framework for Geodesign**. Redlands: ESRI Press, 2012. 360 p.

STEINITZ, Carl *et al.* A Sustainable Path? Deciding the Future of La Paz. **Environment: Science and Policy for Sustainable Development** v. 47, p. 24–38 , 2005.

STOMPH, T. J.; FRESCO, L. O.; KEULEN, H. V. Land use system evaluation: concepts and methodology. **Agricultural Systems** v. 44, p. 243–245 , 1994.

TOMLIN, C Dana. Speaking of GeoDesign. 2011, Bernburg: [s.n.], 2011. p.180–188. Disponível em: <http://www.kolleg.loel.hs-anhalt.de/landschaftsinformatik/fileadmin/user_upload/_temp_/2011/Proceedings/304_TOMLIN_2011May10.pdf>.

VELDKAMP, A.; FRESCO, L. O. CLUE: a conceptual model to study the conversion of land use and its effects. **Ecological Modelling** v. 85, n. 2-3, p. 253–270 , 1996.

VELDKAMP, A.; LAMBIN, E. Predicting land-use change. **Agriculture, Ecosystems and Environment** v. 85, p. 1–6 , 2001.

ZYNGIER, Camila Marques. **Paisagens possíveis: geoprocessamento na análise da ação de agentes modeladores das paisagens urbanas dos Bairros Santa Lúcia e Vale do Sereno**. 2012. 296f. Dissertação (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo)- Escola de Arquitetura/UFGM, Belo Horizonte, 2012. Disponível em: <<http://hdl.handle.net/1843/BUOS-8YQNNJ>>.

6 CONCLUSÕES

Esta pesquisa propôs a aplicação de um arcabouço metodológico baseado em Geodesign, estruturado para avaliar a dinâmica territorial de um pequeno município minerador. O conjunto de modelos e procedimentos metodológicos utilizados podem ser aplicados em casos correlatos ao caso aqui estudado.

Não existe uma relação completa e exata de procedimentos metodológicos que caracterizem os estudos baseados em Geodesign, a utilização das distintas ferramentas existentes depende da capacidade do pesquisador ou da equipe responsável pelo estudo em analisar e entender o objeto de estudo, bem como da escala e da complexidade do tema (ERVIN, 2011; STEINITZ, 2012).

Há um esforço em criar uma ontologia para procedimentos metodológicos e conceitos relacionados ao Geodesign. O Consórcio de Apoio à Decisão Espacial⁹ (*Spatial Decision Support Consortium*) tem como finalidade consolidar um conjunto de estratégias, métodos e técnicas para o Geodesign, organizados em tipos e subtipos, de acordo com a finalidade de casa estudo (LI *et. al.*, 2012). Os procedimentos metodológicos empregados nesta pesquisa fazem parte dos mais de 100 métodos selecionados na ontologia até o presente momento. Dentre os quais destacam-se o método Delphi, as análises de incerteza e sensibilidade e os modelos de mudanças baseados em regras (LI *et. al.*, 2012).

Ressalta-se que o município de São Gonçalo do Rio Abaixo pode ser considerado um território que incorpora os conceitos e a essência do Geodesign, onde observa-se uma condição de Geodesign natural ou "*implicit Geodesign*" (COCCO, FONSECA; CAMPAGMA, 2015). Observa-se na área de estudo, em seu perímetro urbano e em todo o território municipal, o arranjo espacial de uma ocupação urbana equilibrada, com áreas claramente antropizadas, mas mantendo áreas preservadas de floresta estacional semidecidual.

Observa-se uma dinâmica de uso e ocupação do solo na qual as potencialidades e as vulnerabilidades foram respeitadas, com exceção do núcleo urbano central histórico, onde ocorre a histórica ocupação da planície de inundação do rio Santa Bárbara, que representa uma zona de conflito entre processos ambientais hidrogeomorfológicos e os processos socioeconômicos urbanos. Neste caso de exceção percebe-se a regra do processo de urbanização mundial, caracterizada pela histórica ocupação das margens dos rios, remetendo à

⁹ <http://www.spatial.redlands.edu/sds/>

épocas nas quais as potencialidades e aptidões eram privilegiadas em detrimento de fatores ambientais (STEINITZ, 2012; MILLER, 2012; AB´SABER, 2004).

A estrutura metodológica e conceitual baseada no processo de Geodesign proporcionou uma avaliação crítica das temáticas abordadas, com a participação dos atores sociais locais, com avaliações que foram testadas estatisticamente e validadas em campo.

Deste modo, em concordância com Wilson (2014a), percebe-se o Geodesign emergindo como um SIG crítico, um SIG que é muito mais que um método, é uma lógica de pensamento capaz de integrar "pesquisas de cunho quantitativo e qualitativo", capaz de "integrar a geografia humana e as técnicas geoespaciais", capaz de propor "*both the critical use of and the critique of the use of geospatial technologies*" (PAVLOVSKAYA, 2006; WILSON, 2014b; LESZCZYNSKI, 2009).

O Geodesign emerge também como uma maneira de fazer o planejamento dos instrumentos de gestão (*metaplanning*), e possui grande potencial para contribuir com o processo de produção de pesquisas científicas, o processo de produção de instrumentos de gestão ambiental e da paisagem urbana. Possui grande potencial para ser introduzido como um instrumento de reengenharia de processos e tomada de decisão nos ambientes corporativos do setor público e privado.

O arcabouço metodológico do Geodesign desenvolvido por Steinitz (2012), ao exigir a reflexão sobre seis questões relacionadas à área de estudo, em três momentos diferentes do processo de investigação, contribui para que cada estudo ou pesquisa realizada seja única, uma vez que em cada área estudada as seis questões possuirão seis respostas diferentes. Os modelos executados para chegar às respostas também serão diferentes, pois deverão ser ajustados para distintos contextos, distintas escalas cartográficas e geográficas, distintos atores sociais e distintas decisões.

Deste modo, a abordagem metodológica e conceitual do Geodesign permite uma análise mais ajustada à realidade do objeto de estudo, sua estrutura sistêmica possibilita uma avaliação crítica dos processos analisados, sendo possível reconstruir e refinar etapas de trabalho. Neste caso, ressalta-se a grande diferença entre as metodologias tradicionais, lineares, e a estrutura oferecida por Steinitz (2012), no contexto do Geodesign. Anteriormente, repetições de etapas poderiam ser interpretadas como perda de tempo, ou como um erro, no contexto do Geodesign as repetições das etapas ampliam o conhecimento sobre o objeto de estudo e proporcionam tomadas de decisão mais coerentes com a realidade.

Ressalta-se ainda que a execução do estudo em seis etapas, seguindo uma sequência lógica e estruturada, permite uma avaliação clara de onde deve ser feitos eventuais ajustes. Neste caso, destacam-se as análises de incerteza e sensibilidade, as quais possuem função ímpar na identificação de inconsistências e possíveis revisões de processos e variáveis.

Os instrumentos de gestão ambiental e do território, sejam eles planos diretores, zoneamentos, planos de manejo ou estudos de impacto ambiental, por muitos anos vêm sofrendo com replicações alienadas de estruturas metodológicas lineares, engessadas.

Neste contexto, a proposta de trabalho do Geodesign de planejar com e para o território, pressupõe a constante interação entre planejadores e atores sociais, em uma atividade que deve acontecer de baixo para cima.

Conclui-se que, em certa medida, dentro das limitações dos modelos de representação disponíveis, suas respectivas escalas e resoluções espaciais, os resultados alcançados permitiram a manutenção das hipóteses formuladas. A aplicação dos conceitos e práticas de Geodesign no município de São Gonçalo do Rio Abaixo permitiram a avaliação de processos relacionados ao fenômeno da expansão urbana e às necessidades de preservação ambiental.

A aplicação direcionada do método Delphi para os profissionais inseridos na comunidade local permitiu uma avaliação mais ajustada ao contexto atual da área de estudo, as análises de incerteza e sensibilidade permitiram avaliar as variáveis mais e menos importantes para as avaliações realizadas, proporcionaram a identificação das áreas com as características mais robustas e ajustadas para a expansão urbana e para a preservação ambiental, possibilitaram ainda identificar e quantificar as incertezas espacialmente explícitas relacionadas ao processo de avaliação multicriterial.

Os modelos de avaliação mostraram que a expansão urbana poderá ocorrer sem implicar em conflito de interesses com as áreas que devem ser ambientalmente preservadas. Verificou-se a existência de áreas em conflito de interesses, com alto potencial de impactos ambientais relacionados às atividades urbanas, essas áreas representam apenas 5% do território de São Gonçalo do Rio Abaixo. Por outro lado, foi possível identificar que 25% do município pode ser destinado à preservação ambiental, sem que tal medida implique em relação conflituosa com as atividades urbanas.

A estrutura do Geodesign foi importante para a integração dos processos avaliados, de modo que, desde os modelos de representação até o modelo de impacto, cada análise realizada serviu como variável de entrada para o modelo subsequente.

A pesquisa aqui apresentada tem potencial para vários desdobramentos futuros, com destaque para o desenvolvimento de modelos de decisão, possibilitando a otimização da participação popular na avaliação das análises realizadas e no processo de tomada de decisão. Neste caso destaca-se a possibilidade de utilização de ferramentas direcionadas para o tratamento de análise de Informação Geográfica Voluntária, visando a construção de propostas de gestão junto à comunidade local.

As temáticas abordadas nesta pesquisa podem ser expandida para toda a região do Médio Rio Doce, visando investigar a relação de São Gonçalo do Rio Abaixo com a rede de cidades vizinhas, e como essa relação pode ter influenciado nos resultados aqui apresentados.

7 COSIDERAÇÕES FINAIS

As plataformas de trabalho específicas para a prática de Geodesign estão em construção, espera-se que nos próximos anos seja possível trabalhar em programas baseados na lógica dos *Planning Support Systems*, integrando ferramentas de projeto e ferramentas de análise e simulação espacial.

O conceito de Geodesign vem sendo debatido e discutido em periódicos e congressos internacionais, com o tempo será aperfeiçoado e consolidado. As críticas e refutações serão importantes para a difusão e o aprimoramento tanto dos conceitos quanto das técnicas.

Ressalta-se o pioneirismo de universidades dos Estados Unidos na criação de cursos de bacharelado e mestrado na área de Geodesign, a exemplo da *Pennsylvania State University*, *Philadelphia University* e a *University of Southern California*. De um modo geral, o tema em questão vem sendo abordado pela comunidade científica internacional, em diversas universidades, em congressos e revistas científicas. Ressalta-se o grande potencial do Geodesign na integração das atividades acadêmicas de ensino, pesquisa e extensão, possibilitando a aproximação da academia com a comunidade.

No Brasil, em agosto de 2015, a Conferência Internacional de Cartografia terá o Geodesign como um dos eixos temáticos. Esta será a primeira oportunidade para a introdução do tema na comunidade científica brasileira.

Por fim, espera-se que os conceitos e as práticas relacionados ao Geodesign sejam amplamente debatidos, sobretudo no esforço de fomentar e fortalecer uma ontologia própria, possibilitando a difusão e o uso de maneira crítica e contextualizada.

7.1 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AB’SÁBER, A. N. São Paulo: ensaios entreveros. São Paulo: Edusp/Imprensa Oficial, 2004. 522p.

COCCO, Chiara.; FONSECA, Bráulio M.; CAMPAGNA, Michele. Applying Geodesign in Urban Planning Case Study of Pampulha, Belo Horizonte, Brazil. In. 27th International Cartographic Conference. Anais... Rio de Janeiro: ICA/SBC, 2015 (No Prelo). p. 1-16.

ENRÍQUEZ, Maria Amélia Rodrigues da Silva. Maldição ou dádiva? Os dilemas do desenvolvimento sustentável a partir de uma base mineira. 2007. 449 f. Tese de Doutorado (Doutorado em Desenvolvimento Sustentável) Centro de Desenvolvimento Sustentável – CDS, UnB, Brasília, 2007.

ERVIN, S. A System for Geodesign. In Digital Landscape Architecture Conference. Anais... Dessau: Anhalt University, 2011. p.1–14. Disponível em: <<http://www.gsd.harvard.edu/images/content/5/3/536223/A-System-forGeodesign.pdf>>.

LI, N., ERVIN, S., FLAXMAN, M., GOODCHILD, M. and STEINITZ, C. Design and application of an ontology for geodesign. **Revue Internationale de Géomatique**. v. 22 n. 2, p. 145–168, 2012.

LESZCZYNSKI, A. Rematerializing GIScience. **Environment and Planning D: Society and Space**, London, v. 27, p. 609–615, 2009.

MILLER, William R. **Introducing Geodesign: The Concept Director of GeoDesign Services**. Redlands: ESRI Press, 2012. 36 p.

PAVLOVSKAYA, M. Theorizing with GIS: A tool for critical geographies? **Environment and Planning A**, London, v. 38, 2003–2020, 2006.

STEINITZ, Carl. **A Framework for Geodesign**. Redlands: ESRI Press, 2012. 360 p.

WILSON, M. W. Geospatial technologies in the location-aware future. **Journal of Transport Geography**, v. 34, p. 297–299, 2014b.

WILSON, Matthew W. On the criticality of mapping practices: Geodesign as critical GIS?. **Landscape and Urban Planning**, v. 43, n. 6, 2014a. Disponível em: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0169204614000218>

ANEXO 1 - QUESTIONÁRIO DELPHI

Em relação às áreas com relevância ambiental, qual é a importância atribuída (de 0 a 10) aos critérios listados abaixo:

Fragmentos de Vegetação =

Áreas com risco de inundação =

Áreas de Preservação Permanente de acordo com a Legislação Ambiental vigente (Nascentes, Hidrografia e Topo de Morro) =

Uso e Cobertura do Solo

Estabeleça um Ranking de importância entre as variáveis de 1 a 4

1º -

2º -

3º -

4º -

O senhor (a) utilizaria outro critério nesta análise? qual? qual seria o peso a ele atribuído?

Em relação às áreas com potencial de expansão urbana, qual é a importância atribuída (de 0 a 10) aos critérios listados abaixo:

Acessibilidade (ruas e demais vias de acesso) =

Proximidade das áreas já urbanizadas =

Distância da Cava da Mina de Brucutu =

Concentração de Novos Projetos =

Declividades =

Estabeleça um Ranking de importância (ordem de importância) entre as variáveis de 1 a 4.

1º -

2º -

3º -

4º -

O senhor (a) utilizaria outro critério nesta análise? qual? qual seria o peso atribuído?

 Refloresta | 18 86 14 7 4 14 22 18 11 60
 5 8 10 45 40 8 37 13 6 8 3 16
 34 99 49 12 20 667|
 -----|
 -----|

-----|
 | Amostra 46 Amostra 47 Amostra 48 Amostra 49 Amostra 50 Amostra 51 Amostra 52
 Amostra 53 Amostra 54 Amostra 55 Amostra 56 Amostra 57 Amostra 58 Amostra 59 Amostra 60
 Amostra 61 Amostra 62 Amostra 63 Amostra 64 | Total Coletado|

-----|
 Floresta_E | 70 88 83 56 53 79 44 80 71 167
136 16 105 152 133 26 30 56 123 1568
 -----|

-----|
 | Amostra 65 Amostra 66 Amostra 67 Amostra 68 Amostra 69 Amostra 70 Amostra 71
 Amostra 72 Amostra 74 Amostra 75 Amostra 76 Amostra 77 Amostra 78 Amostra 79 Amostra 80
 Amostra 81 Amostra 82 Amostra 83 Amostra 84 Amostra 85 Amostra 86 Amostra 87 Amostra 88
 Amostra 89 Amostra 90 Amostra 91 Amostra 93 Amostra 94 Amostra 95 Amostra 96 Amostra 97
Total Coletado
 -----|

-----|
 Pastagem | 211 46 158 329 58 77 47 99 129 118
 28 124 199 37 59 113 260 296 45 162 35 28
45 47 262 122 272 242 145 124 144 4061
 -----|

-----|
 | Amostra 98 Amostra 99 Amostra 100 Amostra 101 Amostra 102 Amostra 103 Amostra
 104 Amostra 105 | Total Coletado|

-----|
 Solo_expos | 4 5 2 5 2 2 2 2 24|

-----|
 | Amostra 116 Amostra 117 Amostra 118 | Total Coletado|

-----|
 Mineracao | 133 36 18 187|

Matriz de Erros de Classificação - Landsat 5 - 2007

Desempenho geral: 98.59 %

Confusão media : 1.41 %

Abstenção media : 0.00 %

Estatística KHAT : 97.99 %

Variância KHAT: 3.643e-006

Estatística TAU: 98.31 %

	Exatidão do produtor	Exatidão do usuário
Água	100.00%	100.00%
Floresta_E	98.72%	99.51%
Pasto	98.73%	98.14%
Solo_expos	60.00%	100.00%
Refloresta	99.27%	98.08%
Nuvem	90.68%	100.00%

(Número de pixel[s] coletados de cada amostra) Landsat 5 - 2007

| Amostra 01 Amostra 02 Amostra 03 Amostra 04 Amostra 05 Amostra 06 Amostra 07
 Amostra 08 Amostra 09 Amostra 10 Amostra 11 Amostra 12 Amostra 13 Amostra 14 Amostra 15
 | Total Coletado|

Água	103	7	9	5	93	98	44	17	8	9
3	13	45	23	25	502					

| Amostra 16 Amostra 17 Amostra 18 Amostra 19 Amostra 20 Amostra 21 Amostra 22
 Amostra 23 Amostra 24 Amostra 25 Amostra 26 Amostra 27 Amostra 28 Amostra 29 Amostra 30
 Amostra 31 Amostra 76 | Total Coletado|

Floresta_E	61	35	27	102	94	18	113	346	13	17
48	264	126	117	41	164	62	1648			

-|

| Amostra 32 Amostra 33 Amostra 34 Amostra 35 Amostra 36 Amostra 37 Amostra 38
 Amostra 39 Amostra 40 Amostra 41 Amostra 42 Amostra 43 Amostra 44 Amostra 45 Amostra 46
 Amostra 47 Amostra 48 Amostra 49 Amostra 50 Amostra 51 Amostra 52 Amostra 53 Amostra 54
 Amostra 88 | Total Coletado|

Pasto	51	55	68	86	23	59	92	72	52	87
153	43	54	58	142	22	68	269	464	92	136
510	704	31	3391							

| Amostra 55 Amostra 56 Amostra 57 Amostra 58 Amostra 59 Amostra 60 Amostra 61 |
 Total Coletado|

Solo_expos	5	1	3	2	8	1	1	21		
------------	---	---	---	---	---	---	---	----	--	--

| Amostra 62 Amostra 63 Amostra 64 Amostra 65 Amostra 66 Amostra 67 Amostra 68
 Amostra 69 Amostra 70 Amostra 71 Amostra 72 Amostra 73 Amostra 74 Amostra 75 Amostra 77
 Amostra 78 Amostra 79 Amostra 80 Amostra 81 Amostra 82 Amostra 83 Amostra 84 Amostra 85
 Amostra 86 Amostra 87 Amostra 89 Amostra 90 Amostra 91 | Total Coletado|

Refloresta	93	12	8	21	20	134	96	66	33	162
80	20	43	52	13	48	75	58	50	284	141
138	78	65	132	51	122	2152				57

| Amostra 92 Amostra 93 Amostra 94 Amostra 95 Amostra 96 Amostra 97 Amostra 98
 Amostra 99 Amostra 100 Amostra 101 Amostra 102 Amostra 103 Amostra 104 Amostra 105
 Amostra 106 | Total Coletado|

Nuvem	27	30	9	16	14	4	7	14	5	12
71	44	36	12	18	319					

Matriz de Erros de Classificação - Landsat 8 - 2013

Desempenho geral: 99.28 %

Confusão media : 0.72 %

Abstenção media : 0.00 %

Estatística KHAT : 98.98 %

Variância KHAT : 1.034e-006

Estatística TAU: 99.14 %

	Exatidão do produtor	Exatidão do usuário
Água	100.00%	98.59%
Floresta_E	98.55%	99.52%
Refloresta	99.82%	99.39%
Pasto	99.52%	99.01%
Solo_expos	50.00%	100.00%
Mineração	99.66%	99.81%

(Número de pixel[s] coletados de cada amostra) - Landsat 8 - 2013

	Amostra 02	Amostra 03	Amostra 04	Amostra 05	Amostra 06	Amostra 07	Amostra 08	Amostra 09	Amostra 10	Amostra 11	Amostra 12	Amostra 13	Total Coletado													
Água	139	95	7	26	38	43	88	26	16	21	12	14	525													
Floresta_E	403	203	263	117	95	212	276	363	117	50	263	175	46	134	170	62	9	142	81	120	54	169	35	23	31	3613

| Amostra 40 Amostra 42 Amostra 43 Amostra 44 Amostra 45 Amostra 46 Amostra 47
 Amostra 48 Amostra 49 Amostra 50 Amostra 51 Amostra 52 Amostra 53 Amostra 54 Amostra 56
 Amostra 57 Amostra 58 Amostra 59 Amostra 60 Amostra 62 Amostra 63 Amostra 64 Amostra 65
 Amostra 66 Amostra 67 Amostra 68 Amostra 69 Amostra 70 Amostra 71 Amostra 72 Amostra 73
 Amostra 74 Amostra 75 Amostra 76 Amostra 77 Amostra 78 Amostra 79 Amostra 80 Amostra 81
 Amostra 82 Amostra 83 | Total Coletado|

-----|-----

 -----|-----
 Refloresta | 13 45 13 35 45 22 18 143 10 20
 38 15 77 49 83 17 44 21 58 63 11 5
 78 13 4 57 115 114 54 56 11 46 70 6
 59 12 6 18 18 25 77 1684|

| Amostra 84 Amostra 85 Amostra 87 Amostra 88 Amostra 89 Amostra 90 Amostra 91
 Amostra 92 Amostra 93 Amostra 94 Amostra 95 Amostra 96 Amostra 97 Amostra 98 Amostra 99
 Amostra 100 Amostra 101 Amostra 102 Amostra 103 Amostra 104 Amostra 105 Amostra 106
 Amostra 107 Amostra 108 Amostra 109 Amostra 110 Amostra 111 Amostra 113 Amostra 114
 Amostra 115 Amostra 116 Amostra 117 Amostra 118 Amostra 119 Amostra 120 Amostra 121
 Amostra 123 Amostra 124 Amostra 125 Amostra 126 Amostra 127 Amostra 128 Amostra 129
 Amostra 130 Amostra 131 Amostra 132 Amostra 133 Amostra 134 Amostra 135 Amostra 136
 Amostra 137 Amostra 138 Amostra 139 | Total Coletado|

-----|-----

 -----|-----
 Pasto | 42 56 87 82 96 134 78 80 77 96
 76 66 104 83 76 83 51 49 85 26 41 47
 228 246 307 96 70 220 126 125 282 125 132
 132 551 187 276 39 278 38 54 86 99 208
 82 56 266 80 115 68 110 38 105 6440|

| Amostra 140 Amostra 142 Amostra 143 Amostra 144 Amostra 145 Amostra 146 Amostra
 147 Amostra 148 Amostra 149 Amostra 151 | Total Coletado|

-----|-----

 -----|-----
 Solo_expos | 4 1 1 3 3 10 4 2 13 2
 43|

	Amostra 152	Amostra 153	Amostra 154	Amostra 155	Amostra 156	Total Coletado
Mineracao	317	649	278	271	557	2072

ANEXO 3 - ESTATÍSTICAS DO PROCESSO DE MODELAGEM

Land Change Modeler MLP Model Results

(Created: 23/01/2015 16:10:12)

1. General Model Information

1) Input Files

Independent variable 1	AcessCapi_n
Independent variable 2	Prox_Urb_n
Independent variable 3	NP_n
Independent variable 4	Pot_exp_Urb_n
Training site file	LCM_2301_Train_Urbano

2) Parameters and Performance

Input layer neurons	4
Hidden layer neurons	2
Output layer neurons	2
Requested samples per class	1226
Final learning rate	0.0010
Momentum factor	0.5
Sigmoid constant	1
Acceptable RMS	0.01
Iterations	10000
Training RMS	0.1100
Testing RMS	0.1078
Accuracy rate	98.72%
Skill measure	0.9744

3) Model Skill Breakdown by Transition & Persistence

Class	Skill measure
Transition : Pastagem to Urbano	0.9935
Persistence : Pastagem	0.9559
Transition : FES to Urbano	0.9912
Persistence : Pastagem	0.9899

2. Weights Information of Neurons across Layers

1) Weights between Input Layer Neurons and Hidden Layer Neurons

Neuron	h-Neuron 1	h-Neuron 2
i-Neuron 1	2.0019	4.4461
i-Neuron 2	-7.6584	6.2070

i-Neuron 3	3.2744	-0.7742
i-Neuron 4	2.0059	3.4455

2) Weights between Hidden Layer Neurons and Output Layer Neurons

Neuron	o-Neuron 1	o-Neuron 2
h-Neuron 1	-12.9194	12.9195
h-Neuron 2	4.6945	-4.6945

3. Sensitivity of Model to Forcing Independent Variables to be Constant

1) Forcing a Single Independent Variable to be Constant

Model	Accuracy (%)	Skill measure	Influence order
With all variables	98.72	0.9744	N/A
Var. 1 constant	98.72	0.9744	4 (least influential)
Var. 2 constant	39.26	-0.2147	1 (most influential)
Var. 3 constant	98.56	0.9712	2
Var. 4 constant	98.25	0.9710	3

2) Forcing All Independent Variables Except One to be Constant

Model	Accuracy (%)	Skill measure
With all variables	98.72	0.9744
All constant but var. 1	48.88	-0.0224
All constant but var. 2	98.64	0.9728
All constant but var. 3	45.51	-0.0897

3) Backwards Stepwise Constant Forcing

Model	Variables included	Accuracy (%)	Skill measure
With all variables	All variables	98.72	0.9744
Step 1: var.[1] constant	[2,3,4]	98.72	0.9744
Step 2: var.[1,3] constant	[2,4]	98.64	0.9728
Step 3: var.[1,4] constant	[2,3]	98.64	0.9728

Validação - 2013 Projetada/2013 "real"

Number of total runs : 1
Multi-resolution VALIDATE : Categorical Image Comparison

=====
Comparison image file : Projetada_2013
Reference image file : 2013rec
Strata/Mask image file : N/A

Number of valid strata: 1; Number of valid categories: 9

//Beginning of run: 1
Resolution scale: 1 x 1

Classification agreement/disagreement
According to ability to specify accurately quantity and allocation

Information of Quantity

Information of Allocation No[n] Medium[m] Perfect[p]

Perfect[P(x)] P(n) = 0.4258 P(m) = 0.9919 P(p) = 1.0000
PerfectStratum[K(x)] K(n) = 0.4258 K(m) = 0.9919 K(p) = 1.0000
MediumGrid[M(x)] M(n) = 0.4215 M(m) = 0.9825 M(p) = 0.9767
MediumStratum[H(x)] H(n) = 0.1111 H(m) = 0.3271 H(p) = 0.3280
No[N(x)] N(n) = 0.1111 N(m) = 0.3271 N(p) = 0.3280

AgreementChance = 0.1111
AgreementQuantity = 0.2160
AgreementStrata = 0.0000
AgreementGridcell = 0.6554
DisagreeGridcell = 0.0094
DisagreeStrata = 0.0000
DisagreeQuantity = 0.0081

Kno = 0.9803
Klocation = 0.9858
KlocationStrata = 0.9858
Kstandard = 0.9740

//Ending of run: 1