

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

Bráulio Magalhães Fonseca¹
Ana Clara Mourão Moura²
Mônica Haddad³

¹Universidade Federal de Minas Gerais
Instituto de Geociências
brauliomagalhaes@ufmg.br

²Universidade Federal de Minas Gerais
Escola de Arquitetura
anaclara@ufmg.br

³Iowa State University
College of Design
haddad@iastate.edu

RESUMO

Este artigo tem como objetivo identificar possíveis áreas prioritárias para conservação no município minerador de São Gonçalo do Rio Abaixo – MG, através da Análise de Multicritérios com ferramentas de Sistema de Informação Geográfica, com destaque para a construção de um processo de fluxo automatizado usando o construtor de modelos (*Model Builder*), o que favorece ajustes, calibrações e construções de processos que podem compor posteriormente o *Geodesign* da área de estudo. O município passa e passará por grandes transformações de cunho econômico, a exemplo da expansão produtiva da Mina de Brucutu, expansão urbana através de novos empreendimentos imobiliários e o projeto de construção de um aeroporto. Tais transformações exercerão grande pressão sobre as áreas de floresta nativa, as áreas legalmente protegidas e os cursos d'água. Neste contexto foram analisadas as seguintes variáveis: uso e cobertura do solo, declividades, áreas de preservação permanente (APP) conforme a legislação ambiental vigente, áreas do Sistema Nacional de Unidades de Conservação (SNUC) e o zoneamento ecológico econômico de uma área de proteção ambiental (APA) em fase de implantação. O uso e cobertura do solo foi feito sobre uma cena de 2013 do sensor RapidEye nas composições 541RGB e 341RGB, utilizando-se o algoritmo de classificação supervisionada Máxima Verossimilhança (MAXVER) do SPRING/INPE, que atua em análises pixel a pixel que melhor se adaptam à realidade fisiográfica da região do Quadrilátero Ferrífero. Os demais procedimentos metodológicos foram realizados no programa ArcGIS 10.2, com o auxílio do ambiente de modelagem *Model Builder*. O primeiro passo foi selecionar as áreas de preservação permanente em conformidade com a lei, ou seja, que possuem tipologias naturais de cobertura do solo (Floresta Estacional Semidecidual, Campo Rupestre e Corpos Hídricos). As declividades acima de 55% foram selecionadas por representarem as zonas de escarpas de serras, com notável beleza cênica perceptíveis na paisagem. A Análise de Multicritérios considerou quatro variáveis, a saber: áreas de preservação permanente em conformidade com a legislação, declividades acima de 55%, o zoneamento ecológico econômico da APA e uma Unidade de Conservação de uso sustentável. As classes temáticas das variáveis receberam notas de 1 a 10, sendo que quanto mais próximo de 10 maior é a prioridade para conservação ambiental. Foram feitas duas análises multicriteriais, uma considerando pesos iguais para as variáveis e outra ponderando pela importância perante a conservação ambiental. Para otimizar os resultados e dar maior robustez à decisão a ser tomada foi aplicada a Análise de Sensibilidade (AS) com base na Simulação de Monte Carlo nos pesos atribuídos às variáveis envolvidas nas análises de multicritérios. Os resultados alcançados foram satisfatórios, a estruturação dos dados através do *Model Builder* proporcionou agilidade e clareza ao processo de modelagem ambiental, e irá compor o processo maior, baseado em *Geodesign*, que sucederá as etapas realizadas. No primeiro cenário, com pesos iguais, houve equilíbrio em relação às áreas prioritárias dentro e fora das unidades de conservação do SNUC, no segundo cenário, com pesos diferentes, observa-se aumento no grau de

prioridade para conservação, enfatizando o importante papel das unidades de conservação. Observa-se também que 12% da área do município encontra-se preservada e em área de APP, restando 30% de áreas preservadas fora de APP. A Análise de Sensibilidade culminou na criação de um *rank* da incerteza dos resultados da Análise de Multicritérios, o que possibilitou avaliar as áreas mais prioritárias para conservação, ou seja, àquelas com o menor grau de incerteza e alto grau de interesse (maior aptidão para conservação).

Palavras chave: Áreas Prioritárias para Conservação, Análise de Multicritérios, *Model Builder*, *Geodesign*. *Análise de Sensibilidade*

ABSTRACT

The main objective of this article was to identify potential priority areas for biodiversity conservation in the municipality of São Gonçalo do Rio Abaixo (MG), which has the basis of its economy centered in mining activities. The municipality is changing very rapidly mainly because the Brucutu Mine expansion and new developments are taking place various parts of its territory, including a new airport. This urbanization process is pressuring the existing conservation areas and natural environment assets such as the native forests and the hydrological network. Currently, 30% of the municipality total area is preserved outside Environment Preservation Areas, and 12% of the municipality total area is preserved using the Environment Preservation Area law. Within this context, this article's methodology was based on multi-criteria analysis, using geographic information systems (GIS), and specifically, Model Builder, from ArcGIS 10.2 –ESRI. Two different scenarios were produced using the Geodesign approach as its main framework. The following spatial variables were included in the criteria for the scenarios. First, the 2013 land cover was produced based on RapidEye using the 541RGB and 341RGB compositions, and the Maximum Likelihood algorithm (MAXVER from SPRING/INPE) of supervised classification was applied. MAXVER analyzed pixel by pixel, looking for the best match for the physiographic of the Quadrilátero Ferrífero. This 2013 land cover was then used to identify permanent conservation areas designated by the Federal Environmental Legislation based on natural land cover only, defined as Estacional Semidecidual Forest, Rupestre Fields, and water bodies. Second, slope was defined at 55% or higher. These areas represent scenic beauty spots in the landscape and should be protected from new developments. Third, areas that belong to the National System for Conservation Units (NSCU) were also selected. Fourth, the ecological economic zoning for a specific environment protected area (under implementation) was used. These four variables were then reclassified using a common scale from 1 to 10, 10 being the value for highest priority for environmental conservation. Two multi-criteria analyses were performed: scenario one, giving the same weight for all variable, and scenario two, giving more weight (i.e. 50%) to the permanent conservation areas with natural land cover. In scenario one, there was a balance between the identified potential target areas for conservation, inside and outside the NSCU conservation areas. In scenario two, clearly, the permanent conservation areas were emphasized for preservation. To assure robustness of the results, a sensitivity analysis (SA) based on Monte Carlo simulation was applied to the weights of both multi-criteria analyses. SA results proved to be satisfactory, demonstrating that areas that were characterized by lower degree of uncertainty and higher degree of conservation interest should be considered the priority target areas. Model Builder was indeed very helpful with regards to changing parameters and adding clarity to the methodology. Future research will continue to use Model Builder to incorporate the more Geodesign concepts in this case study of São Gonçalo do Rio Abaixo (MG).

Keywords: Priority Areas for Biodiversity Conservation, Multi-criteria Analysis, Model Builder, Geodesign, Sensitivity Analysis

1. INTRODUÇÃO

A definição de áreas prioritárias para conservação tem sido uma das principais estratégias para fomentar a conservação da biodiversidade (RUSSEL et al, 1997; NOSS et al, 1997; MARGULES e PRESSEY, 2000). Nos últimos anos temos observado a crescente utilização de ferramentas baseadas em Sistema de Informação Geográfica (SIG) como um instrumento de mapeamento de áreas prioritárias para conservação da biodiversidade, a exemplo dos trabalhos de Mendoza e Prabhu (2000); Gkaraveli et al. (2004); Geneletti (2004).

Neste trabalho abordaremos o caso do município minerador de São Gonçalo do Rio Abaixo (Fig. 1), o qual teve como vetor de ocupação do território a procura por terras férteis para a prática da agricultura às margens do Rio Una, sobretudo em decorrência da deficiência 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).

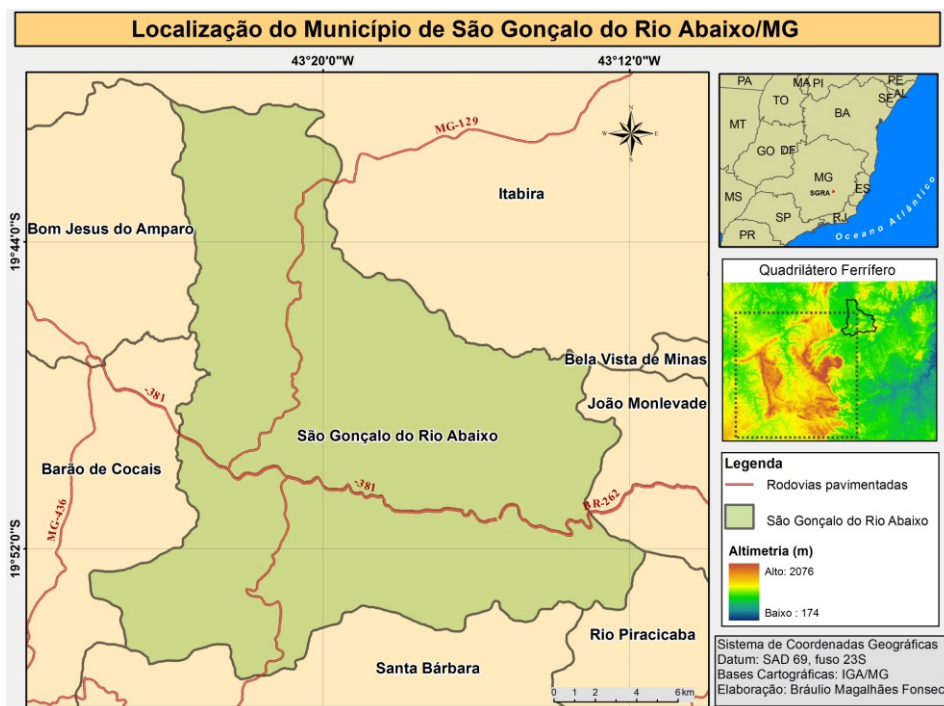


Fig. 1 – Localização do município de São Gonçalo do Rio Abaixo - MG

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, há 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).

O município de São Gonçalo do Rio Abaixo é caracterizado pela fragmentação florestal, com a ocorrência de fitofisionomias típicas de uma área de transição entre a Mata Atlântica e o Cerrado, bem como ocorrências locais de Campos Rupestres (LUCAS et al, 2013). Ressalta-se uma condição de quase equilíbrio entre a cobertura vegetal natural e as áreas de pastagem, sendo 41 % de vegetação natural e 50,08% de áreas degradadas por pastagem. Tal condição é considerada rara se comparada à situação dos demais municípios da bacia do rio Doce (FONSECA, 1985; FONSECA, 1997; COELHO, 2009). O relevo é bastante acidentado, na região centro-sul do município e mais suave na região norte. Segundo Fonseca et al (2012) São Gonçalo do Rio Abaixo apresenta uma elevada variabilidade de formas de relevo, de um modo geral sua geomorfologia é caracterizada por colinas, vales encaixados, vertentes alongadas, cristas de serras e patamares escalonados. 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 análise das áreas prioritárias para conservação constitui um componente importante dos Modelos de Processos e de Avaliação, integrante do processo de Geodesign.

Do ponto de vista da Geográfica, o Geodesign pode ser definido como uma metodologia sistemática de análise e planejamento ambiental. Através da ótica da Arquitetura da Paisagem e do Urbanismo é um processo sistêmico de representação, transformação, planejamento e gestão do ambiente, da paisagem ou do *geo-escape* (MILLER (2012), que considera os elementos e mecanismos de funcionamento de um sistema ambiental para então propor, de forma estratégica e racional, as possibilidades de intervenção.

O objetivo geral deste trabalho é identificar as áreas prioritárias para conservação no município de São Gonçalo do Rio Abaixo – MG baseado no processo metodológico do Geodesign.

2. O GEODESIGN

O termo Geodesign foi consolidado com o lançamento do livro *A Framework for Geodesign*, no ano de 2012, por Carl Steinitz. A essência do termo está relacionada ao surgimento do Sistema de Informação Geográfica (SIG), que de acordo com Batty (2013) tem suas origens na Arquitetura da Paisagem. 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 conceito de arquitetura orgânica de Frank Lloyd Wright (1867-1959) e explícita na obra *Design With Nature* de Ian McHarg (MILLER, 2012; STEINITZ, 2012).

A base que ampara este processo é a concepção interdisciplinar colaborativa e integrada, com o apoio de ferramentas de SIG (e futuramente com o desenvolvimento de ferramentas próprias mais direcionadas), de profissionais das Ciências Geográficas, profissionais de Arquitetura/Engenharia e as comunidades envolvidas “*people of the place*” (BATTY, 2013; STEINITZ, 2012; MILLER, 2012).

A estrutura metodológica que dá suporte ao geodesign vem sendo desenvolvida por mais de trinta anos por Carl Steinitz e pode ser observada em Steinitz (1995) e Steinitz (2012). Neste contexto foram estabelecidos seis modelos para descrever o processo analítico do geodesign (Fig. 2), sendo três modelos voltados para a avaliação da área de estudo e três modelos de cunho intervencionista/propositivo, a saber:

1 – **Modelos de representação** para responder: como deveria ser descrita a área de estudo? O propósito é entender como a área de estudo pode ser descrita no contexto espaço e tempo. Para tal é necessário identificar as características relevantes da área, 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 pertencentes ao Sistema Nacional de Unidades de Conservação e demais parâmetros legais.

2 – **Modelos de processos** - para responder: como funciona a área de estudo? É preciso entender quais são as relações funcionais e estruturais entre os elementos dos modelos de representação. Nesta etapa são identificados os componentes ambientais da área de estudo, suas definições e relações, possibilitando assim o conhecimento dos processos antrópicos e naturais.

3 – **Modelos de Avaliação** - para responder: a área de estudo está funcionando corretamente? Esta questão nos remete à necessidade do estabelecimento de instrumentos de avaliação dos processos ambientais decorrentes da interação das variáveis relacionadas nos modelos de processos e de representação.

4 – **Modelos de mudança** - para responder: como seria possível alterar a área de estudo? Esta questão passa por políticas públicas, ações e legislações que poderão ter efeito direto na transformação da paisagem, mas também por tendências naturais de planejamento. Este modelo fornece dados para a representação das condições futuras (STEINITZ, 2012).

5 – **Modelos de impacto** - para saber quais diferenças causariam essas alterações? Nesta etapa são comparados os resultados dos modelos e avaliados os impactos ambientais tais como desmatamentos, novas plantações, atividades antrópicas em geral, degradação social, modificação do ciclo hidrológico, mudança ou uso abusivo do solo e redução de biodiversidade. Surge então a necessidade de simulação das alternativas para a paisagem, através dos modelos de impacto positivo e negativo, representados através de esquemas, croquis, diagramas e mapas.

6 – **Modelo de decisão** - para saber se a área de estudo deveria ser alterada e como? Para resolver esta questão é necessário saber qual é a melhor decisão a ser tomada, uma vez que diferentes alternativas podem mudar a paisagem de maneira distinta. Cada modelo é avaliado com base nos fatos atuais e na simulação futura de desenvolvimento para a área. Deste modo, o presente modelo, assim como o modelo de avaliação, é dependente do conhecimento cultural dos decisores responsáveis.

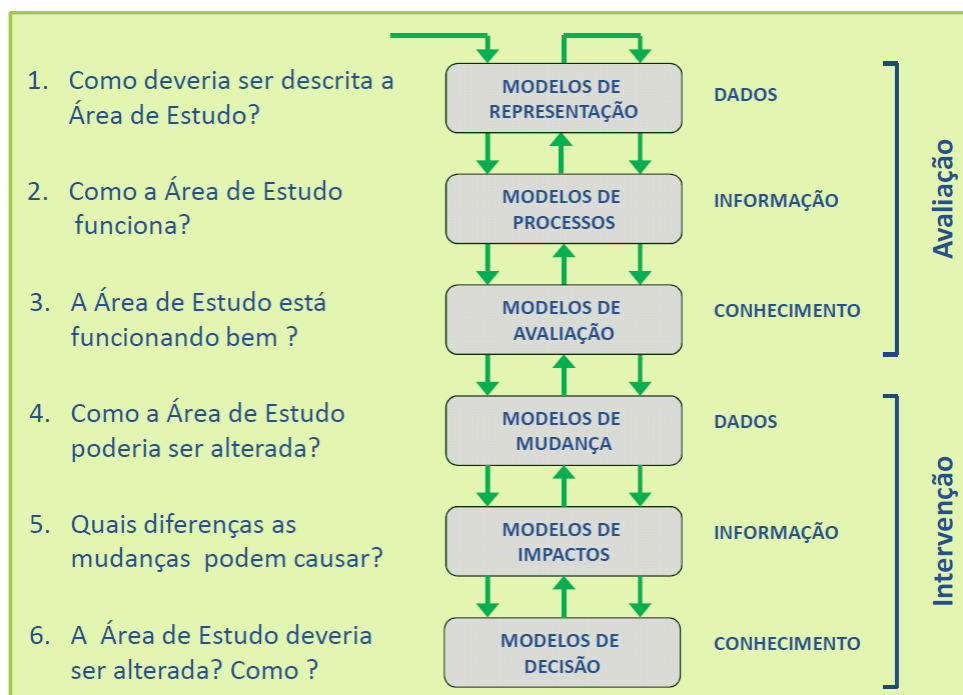


Fig. 2 – Esquema representando o processo do Geodesign. Fonte: Traduzido de Steinitz (2012)

A estrutura metodológica do Geodesign exige que os seis modelos sejam percorridos três vezes, sendo a primeira vez com o objetivo de definir o contexto da pesquisa, entender a área de estudo e levantar hipóteses. A segunda iteração é iniciada dos modelos de decisão e tem como objetivo definir os métodos de pesquisa. A terceira iteração inicia-se novamente dos modelos de representação com o objetivo de executar os procedimentos metodológicos e a análise dos resultados dos seis modelos propostos.

Os resultados apresentados neste trabalho correspondem parcialmente aos produtos dos modelos de avaliação. Cabe ressaltar que os dados aqui apresentados fazem parte da tese de doutorado “Futuros Alternativos para o município de São Gonçalo do Rio Abaixo”, desenvolvida pelo primeiro autor deste artigo, sob orientação da Professora Dra. Ana Clara Mourão Moura.

2.1. Análise de Sensibilidade e Incerteza

Segundo Crosetto et al (2000) a Análise de Incerteza (AI) e a Análise de Sensibilidade são, ou deveriam ser, pré-requisitos para a prática eficiente da modelagem. O uso da AI e da AS tem como objetivo quantificar e avaliar a incerteza associada às respostas dos modelos inerentes às subjetividades dos dados e parâmetros de entrada (LIGMANN-ZIELINSKA e JANKOWSKI, 2008).

No âmbito das análises de multicritérios as incertezas e subjetividades correspondem ao processo de atribuição de pesos e notas, neste caso o uso da AS é motivada pela possibilidade de avaliar a influencia e a pertinência dos diferentes critérios e pesos no padrão de distribuição espacial das áreas consideradas aptas/prioritárias (STORE e KANGAS, 2001; LIGMANN-ZIELINSKA et al, 2012).

Um dos métodos mais utilizados para avaliar as incertezas e sensibilidade dos modelos baseados em SIG é o Método de Monte Carlo (HEUVELINK, 1998; CROSETTO et al., 2000; LIGMANN-ZIELINSKA et al, 2012). O referido método é também conhecido como Simulação de Monte Carlo, 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, neste caso constitui uma abordagem paramétrica, haja vista que as amostras aleatórias são extraídas de uma população com distribuição conhecida (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. Ainda de acordo com Donatelli e Konrath (Op. Cit.) a SMC é conhecida como *método da propagação de distribuições*, uma vez que produz a propagação das funções densidade de probabilidade (PDFs) das grandezas de entrada pelo modelo matemático da medição, resultando em uma PDF que descreve os valores do mensurado consistentes com os valores de entrada.

3. PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

A presente proposta metodológica constitui uma adaptação da metodologia de análise da paisagem proposta por Carl Steinitz (2012) à área de estudo deste trabalho.

3.1 Primeira Iteração

3.1.1 Modelos de Representação

Os componentes do modelo de representação foram utilizadas imagens georreferenciadas e ortorretificadas, com resolução espacial de 5 metros do sensor RapidEye, do ano de 2013, fornecido pela Secretaria de Meio Ambiente do município de São Gonçalo do Rio Abaixo – MG (SEMA-SGRA). O referido sensor integra um sistema que trabalha ao longo de uma faixa de 77 km de largura por 1500 km de extensão, o período de revisita dos satélites é de 24 horas (off-nadir) e 5,5 dias (nadir). O processo de classificação de imagem foi executado no programa SPRING/INPE versão 5.1.2, utilizou-se o algoritmo de classificação supervisionada Máxima Verossimilhança (MAXVER), o qual é utilizado para análises pixel a pixel. Na composição R5G4B1, as classes Corpo Hídrico, Reflorestamento, Floresta Estacional Semidecidual, Campo Rupestre e Mineração foram identificadas e mapeadas, enquanto na composição R3G4B1 foram as classes Pastagem, Solo Exposto e Área Urbana. Em paralelo ao mapeamento de uso e cobertura do solo foi realizada uma revisão bibliográfica sobre a área de estudo com o objetivo de compreender o seu histórico de ocupação e fazer relações com a sua atual condição ambiental.

As demais bases cartográficas utilizadas neste trabalho são secundárias, a saber: rede hidrográfica vetorial do Instituto Mineiro de Gestão das Águas (IGAM); modelo digital de terreno do projeto TOPODATA, disponibilizado pelo Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), com resolução espacial de 30 metros; pontos de nascentes do Projeto “Cercar para não Secar” da SEMA-SGRA; áreas de preservação permanente (APPs) (conforme Lei Estadual Nº 20922 de 16/10/2013); Zoneamento Ecológico Econômico do Plano de Manejo da Área de Proteção Ambiental (APA) de São Gonçalo do Rio Abaixo (em fase de implantação); e a base cartográfica de unidade de conservação de uso sustentável do Sistema Nacional de Unidades de Conservação (SNUC). Os dados foram padronizados no Datum SAD 69 e organizados em um *file geodatabase* no programa ArcGIS 10.2.

3.1.2 Modelos de Processos

Os processo a serem analisados corresponde à configuração espacial do uso e cobertura do solo, as relações funcionais e estruturais entre suas distintas tipologias naturais e antrópicas, as áreas legalmente protegidas e variabilidade topográfica.

O primeiro passo foi selecionar as áreas que correspondem às APPs e que possuem cobertura do solo com tipologia natural, a saber: Floresta Estacional Semidecidual, Campo Rupestre e Corpos Hídricos (Represas, Lagos e Rios volumosos). O resultado desta análise espacial foi chamado de “APPs em conformidade com a lei”. O Segundo passo foi o cálculo das declividades do terreno e posteriormente a seleção de declividades acima de 55%, as quais correspondem as escarpas de serras e morros residuais (FONSECA, et al, 2012), estes não estão amparados pela lei, mas constituem elementos geomorfológicos notáveis da paisagem do município, os quais também foram considerados prioritários para conservação no âmbito do modelo de avaliação. Este modelo conceitual foi traduzido e implementado no *Model Builder*.

3.1.3 Modelo de Avaliação

Uma vez conhecidos e entendidos os processos, a proposta do presente modelo de avaliar as áreas mais aptas a serem definidas como prioritárias para conservação. Os critérios avaliados e analisados para tal foram: APPs em conformidade, declividades acima de 55%, zoneamento ecológico econômico da APA e unidade de conservação de proteção integral.

Para a execução da análise de multicritérios as variáveis analisadas foram todas padronizadas no formato raster com pixel de 50 metros, posteriormente iniciou-se o processo de atribuição dos pesos e das notas aos componentes de legenda de cada plano de informação. O procedimento empregado neste trabalho, de acordo com Moura (2007), é baseado na média ponderada amparada por “*knowledge driven evaluation*”, neste caso a ponderação é feita por conhecedores dos fenômenos da área de estudo, bem como das variáveis analisadas (MALCZEWSKI, 1999; MALCZEWSKI, 2006).

Foram atribuídas notas de 1 a 10, sendo que as notas mais próximas de 10 correspondem às áreas com maior prioridade de conservação e as notas próximas de 1 correspondendo às áreas com baixa ou nula prioridade de conservação. Foram feitas duas simulações de avaliação dos critérios, uma atribuindo pesos iguais a todas as variáveis (0.25) e outra atribuindo pesos distintos, de acordo com a tabela 1.

TABELA 1 – ÁRVORE DE DECISÕES PARA AVALIAÇÃO DAS ÁREAS PRIORITÁRIAS PARA CONSERVAÇÃO

APP Conforme	Peso	0.5
Topo de Morro	Nota	10
Nascentes	Nota	10
Hidrografia	Nota	10
No Data	Nota	1
Pontos Notáveis na Paisagem – Declividades acima de 55%	Peso	0.1

Dec > 55%	Nota	10
No Data	Nota	1
Zoneamento Ecológico Econômico da APA (Projeto em implantação)	Peso	0.3
Zona de Conservação do Equilíbrio Ambiental e Agropecuário	Nota	8
Zona de Conservação do Equilíbrio Ambiental Urbano	Nota	9
Zona de Conservação do Corredor de Biodiversidade	Nota	10
Zona de Desenvolvimento da Silvicultura	Nota	6
No Data	Nota	
Unidade de Conservação	Peso	0.1
Área da Unidade de Conservação	Nota	10
No Data	Nota	1

Os procedimentos descritos acima foram executados no ArcGIS 10.2. com o auxílio do ambiente de modelagem *Model Builder*, conforme ilustrado na Fig. 3.

O *Model Builder* constitui uma importante plataforma de modelagem para o estabelecimento de cenários no contexto do processo do Geodesign, uma vez que possibilita e otimiza as operações de análise espacial, os procedimentos intermediários, permite a adição/reposição de novas ferramentas de análise, bem como a alteração de parâmetros anteriormente estabelecidos. É possível ainda salvar todo o fluxo de processo e compartilhar com outros usuários. Tais características são fundamentais para o processo do Geodesign, mas cabe ressaltar a inexistência de ferramentas especificamente desenvolvidas para tal. Contudo o *Model Builder* tem sido indicado na literatura como uma alternativa útil para desenvolver modelos de processos, modelos de avaliação e modelos de impacto (ALBERT e VARGAS-MORENO, 2012)

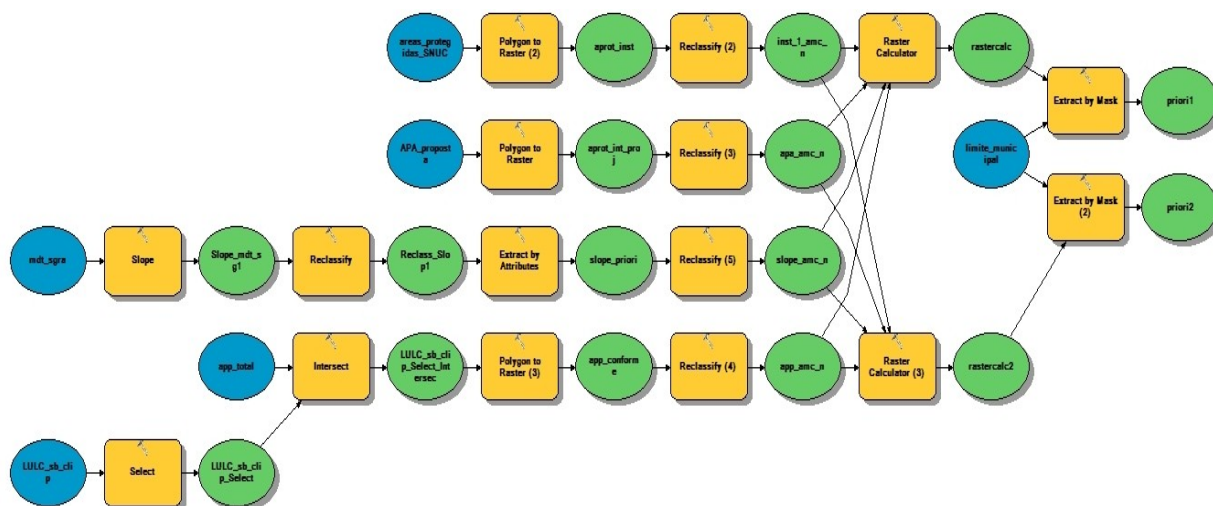


Fig. 3 – Fluxograma do processo de modelagem dos dados para a definição das áreas prioritárias para conservação

3.1.4 Modelo de Mudança

Com o objetivo de analisar o comportamento das variáveis que descrevem a área e o objeto deste estudo é proposto aqui uma avaliação da robustez do modelo de avaliação através da análise de incertezas de suas respostas.

No processo de definição de pesos e notas da análise de multicritérios as respostas do modelo são, inevitavelmente, associados a um espectro de incertezas e subjetividades oriundas de seus componentes, a saber: critérios, pesos e prioridades. Essas incertezas podem ser avaliadas através da Análise de Sensibilidade (AS), que determina a robustez dos resultados do processo de análise multicriterial (STORE e KANGAS, 2001; LIGMANN-ZIELINSKA e JANKOWSKI, 2008; LIGMANN-ZIELINSKA et al, 2012).

É importante salientar que o conceito de mudança na presente abordagem é considerado para além das variações temporais. É compreendido no sentido de troca, alteração, não somente das condições da área de estudo, mas também dos modelos analíticos utilizados. De acordo com Ervin (2011) as simulações através de modelos analíticos são realizadas para saber as propriedade e comportamento do objeto de estudo ao longo do tempo ou em condições diferentes.

3.1.5 Modelo de Impacto

As alterações promovidas pelo modelo de mudança podem causar impactos nas respostas do modelo de avaliação e conseqüentemente na tomada de decisão final, uma vez que através da AS é possível avaliar o quão

confiável é a escolha por uma ou outra área prioritária para conservação.

3.1.6 Modelo de Decisão

Ao final da primeira iteração do processo do Geodesign, sobretudo ao final dos três últimos modelo de cunho propositivo, foi decidido alterar a proposta metodológica incorporando o processo de AS aos resultados alcançados até o final da etapa avaliativa da área de estudo. Ao final deste ciclo, ou desta iteração, foi estabelecido a composição de uma ferramenta de planejamento, o "metaplanning" para a análise e escolha de áreas prioritárias para conservação.

3.2 Segunda Iteração

Nesta segunda iteração retorna-se aos modelos do processo do Geodesign estabelecendo nova análise da área de estudo, sob a ótica da análise de sensibilidade e incerteza.

3.2.1 Modelo de Representação

Os modelos de representação são convertidos para superfícies contínuas com o propósito de atenuar os efeitos de borda, considerando os princípios de influência de vizinhança (TOBLER, 1979), conforme proposto por Moura et. al (2014) no âmbito das análises de sensibilidade e incerteza. Os critérios foram convertidos para pontos e posteriormente aplicou-se o estimador de densidade de Kernel, com raio de busca de 1000 metros, para obter as novas superfícies, com exceção do critério zoneamento ecológico econômico, ao qual foi aplicado um filtro de vizinhança, com máscara de 9x9 pixels. Em seguida, com as superfícies prontas procede-se a normalização dos dados.

3.2.2 Modelos de Processos

Nesta iteração os modelos de processos da área de estudo não são alterados em relação à iteração anterior, ou seja, não são realizadas novas modelagens entre os critérios a serem analisados, os quais permanecem os mesmos. É importante ressaltar que embora não ocorra uma alteração de fato nos processos que explicam a área de estudo, considera-se que com a alteração nos modelos de representação a interpretação e a distribuição espacial dos processos podem sofrer alterações que irão incidir no modelo de decisão. Ressalta-se ainda o ganho na capacidade de análise através da normalização dos critérios, o que possibilita a otimização da comparação entre variáveis por escala de representação homogeneia.

3.2.3 Modelo de Avaliação

Já com os dados normalizados inicia-se o processo de "Sensitivity Analysis to Land Suitability Evaluation" utilizando o conjunto de ferramentas "Multicriteria Evaluation for Discrete Set of Options" desenvolvido pelo Professor Piotr Jankowski da San Diego State University, descrito em Ligmann-Zielinska e Jankowski (2012) e Ligmann-Zielinska et al, (2012). Este conjunto de ferramentas trabalha com arquivos vetoriais em formato de pontos. Para tal criou-se uma malha de pontos cobrindo toda a extensão da área de estudo, posteriormente foi feita a extração de todos os valores das camadas normalizadas em raster. Deste modo, a malha vetorial de pontos apresentará quatro colunas, correspondendo aos critérios analisados. A análise de multicritérios vetorial com vistas à AS foi realizada sobre os critérios normalizados utilizando os mesmos notas apresentadas na tabela 1, porém com pesos médios em relação a ponderação de três especialistas para cada critério (Tab. 2).

TABELA 2 – PESOS ATRIBUÍDOS NA ANÁLISE DE MULTICRITÉRIOS

Critério	Peso 1	Peso 2	Peso 3	Peso Médio
APP Conforme	0,25	0,30	0,20	0,25
Pontos Notáveis na Paisagem – Declividades acima de 55%	0,25	0,26	0,24	0,25
Zoneamento Ecológico Econômico da APA (Projeto em Votação)	0,23	0,20	0,32	0,25
Unidade de Conservação	0,25	0,25	0,25	0,25

Finalizada a análise de multicritérios em formato vetorial inicia-se de fato a avaliação da incerteza através do método de Monte Carlo. Neste processo são feitas simulações atribuindo variações de pesos mínimos e máximos em relação ao peso médio de 0.25 (Tab. 3), através de uma função densidade de probabilidade (PDF), reconhecendo que as variáveis tendem a se comportar de acordo com uma distribuição gaussiana. Foram realizadas 150 simulações de pesos possíveis, tendo como base o intervalo entre os pesos máximo e mínimo. Um número maior de simulações é recomendado para a obtenção de resultados mais confiáveis, porém os custos computacionais de hardware e tempo impedem a realização de um número elevado de simulações.

Os pesos mínimos e máximos foram atribuído de acordo com a variação dos pesos atribuídos pelos especialistas. Por exemplo, o critério zoneamento ecológico econômico apresentou a maior variabilidade de pesos entre os especialistas, com maior desvio padrão, por isso arbitro-se os pesos máximos e mínimos em duas vezes o desvio

padrão (DP) a partir da média.

TABELA 3 – PESOS ATRIBUIDOS NA SIMULAÇÃO DE MONTE CARLO

Critério	Peso Médio	Peso Max	Peso Min	Desvio Padrão (DP)	PDF
APP Conforme	0,25	0,30	0,20	0,05	1x DP
Pontos Notáveis na Paisagem – Declividades acima de 55%	0,25	0,26	0,24	0,01	1 x DP
Zoneamento Ecológico Econômico da APA (Projeto em Votação)	0,25	0,375	0,125	6,25	2 x DP
Unidade de Conservação	0,25	0,25	0,25	0	1 x DP

A presente estrutura metodológica é uma adaptação do processo do Geodesign proposto por Steinitz (2012), deste modo o fluxo de processo do Geodesign é finalizado no modelo de avaliação, uma vez que não abordaremos as próximas etapas propositivas.

4. ANÁLISE DOS RESULTADOS

4.1 Primeira iteração

4.1.1 Modelos de Processos

O mapeamento do uso e cobertura do solo alcançou um desempenho geral de 97,86 %, com confusão média de 2,14. No contexto da análise de áreas prioritárias para conservação, observa-se que 42,6 % da área de estudo possui tipologias naturais de ocupação do solo, correspondem a áreas preservadas não necessariamente por força de dispositivos legais (Fig. 4 e Tab. 3). De um modo geral a configuração espacial das tipologias de uso e cobertura do solo estão condicionadas por fatores topográficos e geomorfológicos, haja vista a concentração de vegetação natural no entorno das áreas com as maiores declividades, sobretudo nos sopés e escarpas de serras, marcadas pela elementos notáveis na paisagem da área de estudo, de relevância ecológica e beleza cênica(FONSECA et. al, 2012) (Fig. 5).

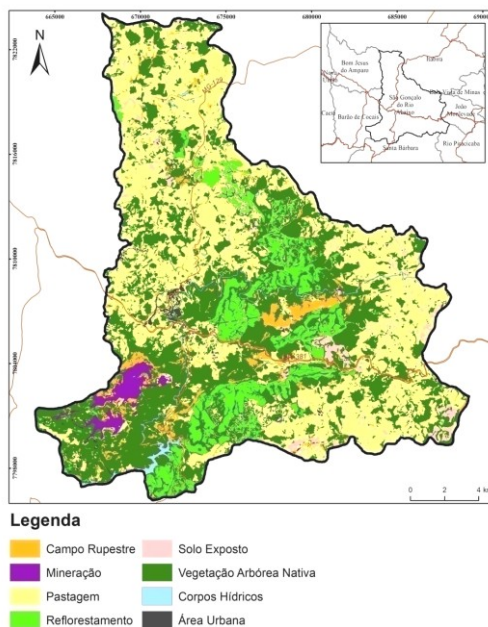


Fig. 4 – Mapeamento do uso e cobertura do solo

TABELA 3 – QUANTITATIVO DO USO E COBERTURA DO SOLO

Uso e Ocupação do Solo	Área (ha)	Porcentagem (%)
Vegetação Arbórea (Primária e Secundária) Floresta Estacional	13.639,83	37,49
Campo Rupestre	1.568,93	4,31
Mineração	622,22	1,71

Pastagem	14.737,65	40,50
Área Urbana	416,01	1,14
Corpos Hídricos	289,31	0,80
Reflorestamento	3.493,24	9,60
Solo Exposto	1.619,77	4,45
Área total das classes	36.386,97	100,00

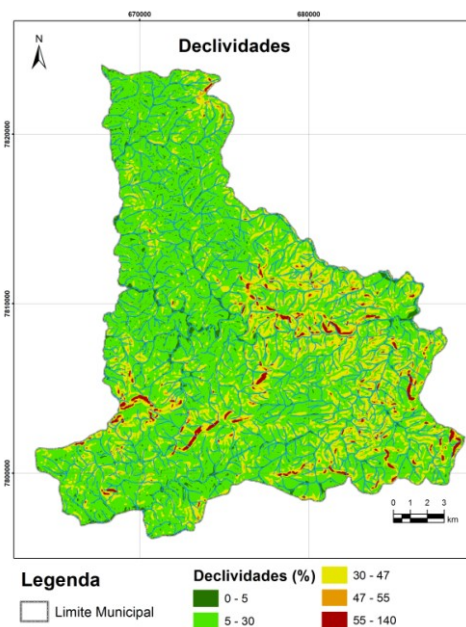


Fig. 5 – Classes de declividades do terreno

As APPs correspondem a 33,81% da área de estudo, sendo que 12% são APPs com tipologias naturais de cobertura do solo, ou seja em conformidade com a legislação (Tab.4 e Fig. 6). Do total de áreas preservadas (42 %) 28% encontram-se localizadas em APP, o que significa que ainda restam 30% de áreas preservadas fora de APP. No entanto cabe ressaltar que o foco deste trabalho foi sobre as áreas de preservação permanente ainda preservadas.

TABELA 4 – COBERTURA DO SOLO EM APP

APP Hidrografia	Área (ha)	%*
APP Hidrografia	1821.71	5.01
Água	114.71	0.32
Campo Rupestre	9.29	0.03
Floresta Estacional Semidecidual	1697.69	4.67
APP Nascentes	Área (ha)	%*
APP Nascentes	169.43	0.47
Água	0.08	0
Campo Rupestre	4.97	0.01
Floresta Estacional Semidecidual	164.38	0.45
APP Topo de Morro	Área (ha)	%*
APP Topo de Morro	2319.89	6.38
Água	6.25	0.02
Campo Rupestre	103.16	0.28
Floresta Estacional Semidecidual	2210.47	6.07

* em relação à área total do município - 36387 ha

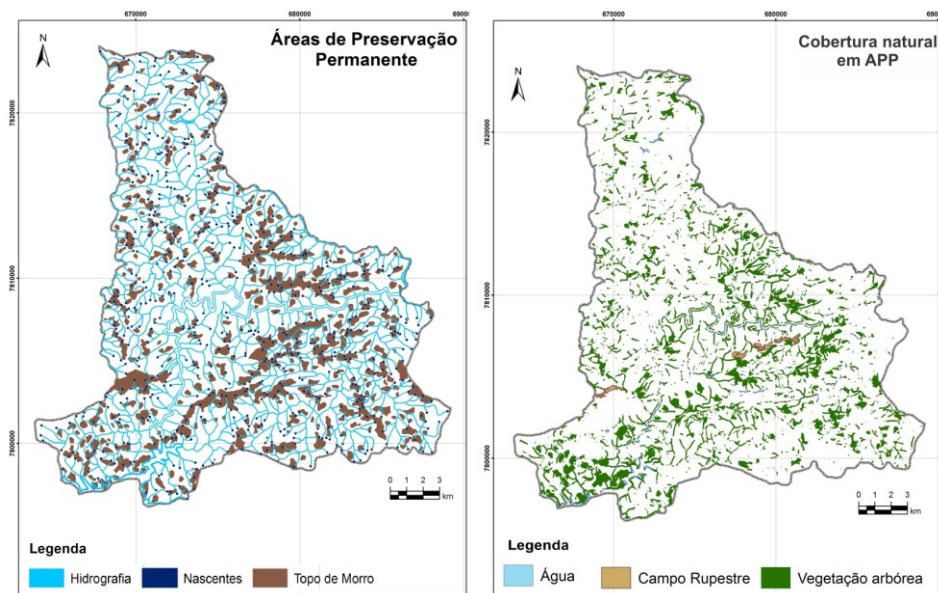


Fig. 6 – À esquerda observam-se as APPs da área de estudo e à direita as APPs com tipologias naturais de cobertura do solo.

Outro critério analisado foram as Unidades de Conservação (UC) (Figs. 7 e 8), sendo uma caracterizada como área de proteção integral e outra como área de uso sustentável. Segundo a Lei Federal nº 9.985, de 18/07/2000, uma Unidade de Conservação é legalmente instituída pelo Poder Público, sob regime especial de administração, ao qual se aplicam garantias de proteção, tendo como objetivo a conservação da biodiversidade. O SNUC - Sistema Nacional de Unidades de Conservação agrupa as UCs em dois grupos: Unidade de Proteção Integral e Unidades de Uso Sustentável. Às UCs de proteção integral é admitido apenas o uso indireto de seus recursos naturais, a exemplo da visitação controlada em alguns casos e as pesquisas científicas. Por sua vez, as UCs de uso sustentável tem como objetivo compatibilizar a conservação da natureza com o uso sustentável de seus recursos, conciliando e deliberando sobre a presença e ação antrópica nas áreas protegidas. Neste contexto essas duas categorias de UC foram avaliadas de maneira diferente, como critérios diferentes, obtendo graus de pertinência e pesos diferenciados na análise de multicritérios (Tab. 1). No caso da UC de uso sustentável foi considerado o seu zoneamento ecológico econômico, observou-se duas zonas de maior relevância ambiental, a saber: zona de conservação do corredor de biodiversidade e a zona de conservação do equilíbrio ambiental urbano, que são as zonas com maior índice de remanescentes florestais (SEMA-SGRA, 2012). É importante ressaltar que a UC de uso sustentável em análise está em fase de implantação.

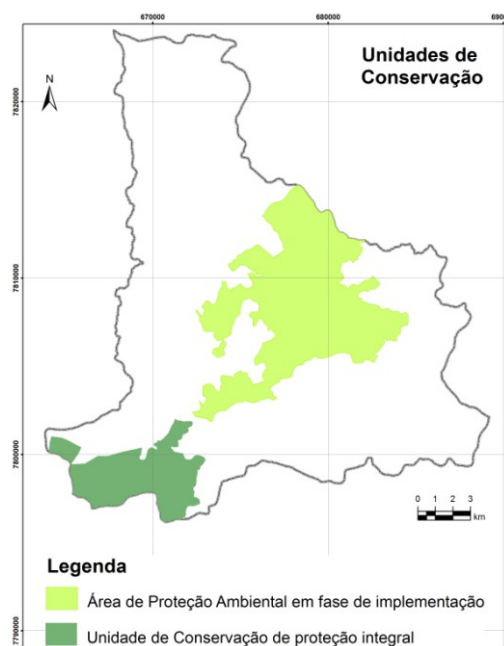


Fig. 7 – Unidades de Conservação

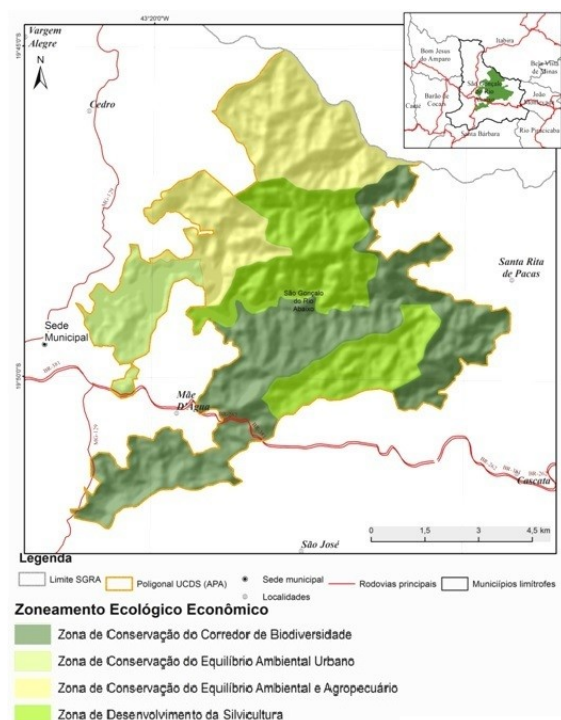


Fig. 8 – Zoneamento Ecológico Econômico da APA de São Gonçalo do Rio Abaixo - MG

4.1.2 Modelos de Avaliação

O resultado dos modelos de avaliação da primeira iteração do processo do Geodesign resultaram em dois cenários distintos para áreas prioritárias para conservação Fig. 9.

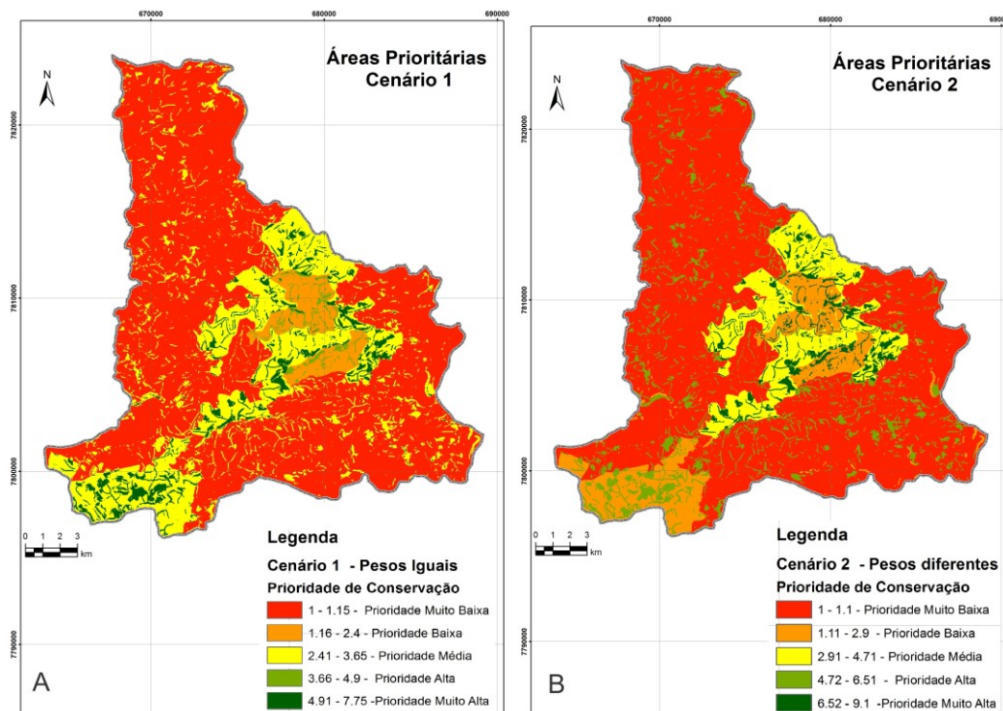


Fig. 9 - Resulta das análises de multicritérios para áreas prioritárias para conservação. A) análise realizadas com pesos iguais. B) análise realizada com pesos distintos. Ambas classes temáticas definidas conforme o método do desvio padrão.

No Cenário 1, multicritérios com pesos iguais, observou-se que 4.70% do território de São Gonçalo do Rio Abaixo é considerado de muito alta prioridade de conservação (Ta. 5), já no Cenário 2, com pesos distintos, houve uma redução para 3.5 % (Tab. 6). No Cenário 1 as áreas com maior prioridade para conservação ficaram espacialmente

restritas às UCs, sendo que não foram observadas áreas de alta e muito alta prioridade fora das UCs. Já no Cenário 2 observou-se que as APPs ocupadas por tipologias naturais de cobertura do solo, fora das UCs, foram enquadradas como alta prioridade para conservação, esta classe de prioridade aumentou de 0.85% para 7.95%. Neste cenário as áreas com média prioridade caíram em mais da metade, passando de 22% para 10%. Tal perda se deu em detrimento do ganho em áreas com alta prioridade. De um modo geral a análise de áreas prioritárias pela ótica da legislação, proposta neste trabalho, omitiu várias áreas com potencial para conservação, uma vez que mais de 40% do município de São Gonçalo do Rio Abaixo é coberto por Floresta Estacional e Campo Rupestre, e pouco mais de 11% do município está em APPs cobertas por Florestas e Campos Rupestres, ou seja, restam quase 30% de áreas com vegetação natural fora de APP que podem ser objeto de outras análises, a exemplo da abordagem por métricas de paisagem aplicadas aos fragmentos florestais.

TABELA 5 – PRIORIDADE DE CONSERVAÇÃO - CENÁRIO 1

Cenário 1		
Prioridade	Área (ha)	Porcentagem
Alta	310.37	0.85
Baixa	1476.13	4.05
Média	8098.53	22.23
Muito Alta	1713.79	4.70
Muito Baixa	24832.40	68.16

TABELA 6 – PRIORIDADE DE CONSERVAÇÃO - CENÁRIO 2

Cenário 2		
Prioridade	Área (ha)	Porcentagem
Alta	2896.67	7.95
Baixa	3495.01	9.59
Média	3927.79	10.78
Muito Alta	1278.71	3.51
Muito Baixa	24833.00	68.16

4.2 Segunda iteração

4.2.1 Modelos de Representação

Os modelos de representação na segunda iteração são superfícies contínuas, resultantes do estimador de densidade de Kernel e de filtro de vizinhança, atenuadores do efeito de borda, uma vez que na realidade campo os critérios não possuem um limite brusco com sua vizinhança (MOURA et al, 2014, TOBLER, 1979). Na Fig. 10 é possível observar o efeito do filtro de vizinhança com máscara de 9x9 pixels aplicado ao critério zoneamento ecológico econômico da APA. Neste caso o raster em verde e amarelo corresponde à aplicação do filtro, a borda preta representa o limite abrupto da APA. Na Fig. 11 observamos o efeito do estimador de densidade de Kernel com raio de busca de 1000 metros sobre a UC de proteção integral.

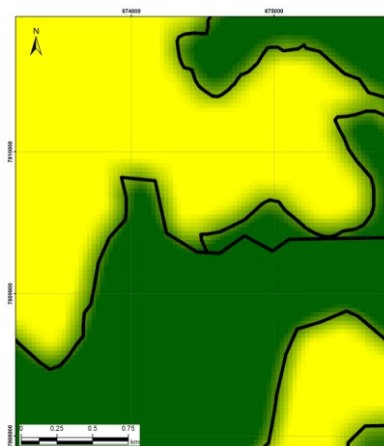


Fig. 10 - Resultado da aplicação do filtro de vizinhança "Focal Statistics" no raster em verde e amarelo. A borda preta representa o limite da APA.

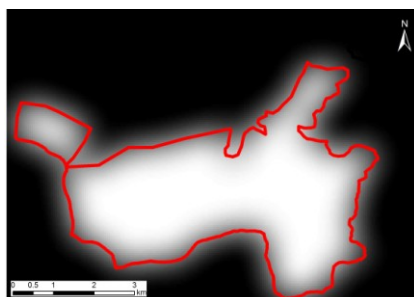


Fig. 11 - Resultado da aplicação do estimador de densidade de Kernel sobre o critério UC de proteção integral.

4.2.2 Modelos de Avaliação

Como primeiro resultado dos modelos de avaliação da segunda iteração temos a análise de multicritérios em formato vetorial com vistas à AS, realizada com os critérios atenuados do efeito de borda e normalizados, apresentando valores variando entre 0 e 1, conforme demonstrado parcialmente na Tab. 7 e Fig. 12.

TABELA 7 – CRITÉRIOS NORMALIZADOS E ANÁLISE DE MULTICRITÉRIOS VETORIAL

*UCPI	*ZEE-APA	Declividade > 55%	*APP Conforme	*AMC
0.0000	0.8272	0.7512	0.8843	0.6151
0.0000	0.9259	0.9512	0.7802	0.6647
0.0000	1.0000	0.7951	0.7523	0.6376
0.0000	1.0000	0.9041	0.5740	0.6212
0.0000	1.0000	0.9951	0.6008	0.6505
0.0000	0.9753	0.9599	0.6500	0.6475
0.0000	0.9877	0.9171	0.7030	0.6529
0.0000	0.9753	0.9951	0.6639	0.6597
0.0000	0.9259	0.9734	0.6418	0.6363
0.0000	0.9753	0.9171	0.7263	0.6555
0.0000	0.9136	0.9734	0.7414	0.6576
0.0000	0.8765	0.9599	0.7037	0.6356
0.0300	0.9259	0.9951	0.6185	0.6360

* UCPI = Unidade de Conservação de Proteção Integral; ZEE-APA = zoneamento ecológico econômico da APA; APP Conforme = APPs cobertas por tipologias naturais de uso e cobertura do solo; AMC = análise de multicritérios vetorial.

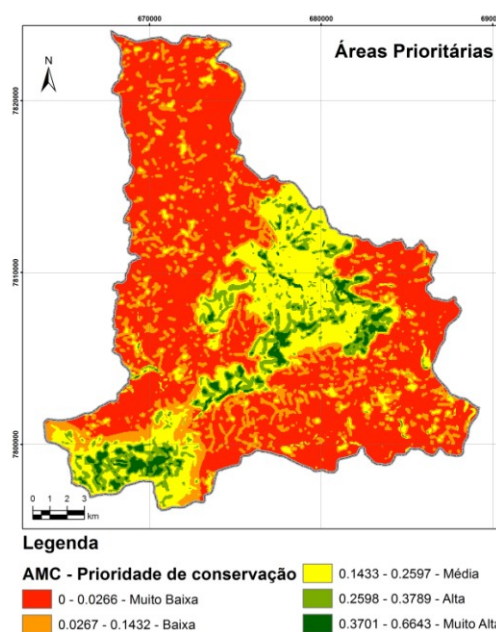


Fig. 12 - Resultado na análise de multicritérios com variáveis normalizadas. Classes temáticas definidas conforme o método do desvio padrão.

Observa-se uma redução na classe de áreas com muito baixa prioridade de conservação, o que pode ser explicado pela aplicação dos métodos atenuadores do efeito de borda, na segunda iteração dos modelos de representação (Tab. 5, Tab. 8). O efeito de borda ocorre, por exemplo, entre as áreas amparadas por lei e as não amparadas. Neste sentido a legislação que regulamenta o SNUC prevê o estabelecimento de uma zona de amortecimento entre a UC e a não UC.

Deste modo, algumas áreas que eram classificadas como de média prioridade no cenário 1 (Fig. 9A) e passavam abruptamente para a classificação de muito baixa prioridade, antes da aplicação dos métodos de atenuação do efeito de borda e consideração da vizinhança, possuem agora uma transição gradual passando pela classe de baixa prioridade até chegar na muito baixa (Fig. 12). O mesmo ocorre entre as classes de média a muito alta prioridade, sendo possível observar ganho de conhecimento e qualidade da informação. Houve um aumento de 0.85 para 7.47 em áreas com alta prioridade para conservação também em relação ao cenário 1 (Tab. 5, Tab. 8). Cabe ressaltar que tanto o cenário 1 como a análise apresentada na Fig. 12 e Tab. 8 foram realizados com pesos e notas iguais.

TABELA 8 – PRIORIDADE DE CONSERVAÇÃO

Prioridade	Área (ha)	Porcentagem
Alta	2719,47	7,47
Baixa	6842,26	18,78
Média	6326,55	17,37
Muito Alta	1001,35	2,75
Muito Baixa	19539,80	53,64

A AS pelo método de Monte Carlo resulta em duas colunas de informação, uma com o rank da média da análise de multicritérios, que representa a aptidão para prioridade de conservação, simulada entre pesos máximos e mínimos e outra com o rank do desvio padrão das simulações, que representa o grau de certeza/incerteza da análise de aptidão para conservação (Tab. 9). A coluna AMC contém os valores absolutos da análise de multicritérios apresentados na tabela 7.

TABELA 9 – RESULTADO PARCIAL DA SIMULAÇÃO DE MONTE CARLO

ID Ponto	AMC	RANK MÉDIA	RANK DESVIO PADRÃO
3210	0.0000030	101005	2
4738	0.0000030	101004	2
5740	0.0000030	101003	2
7807	0.0000030	101002	2
10230	0.0000030	101001	2
213661	0.6597210	2	1
214101	0.0000139	100342	1
214166	0.6554782	4	1
215614	0.0000179	100329	1
222479	0.248223	19538	6706
243971	0.178869	31702	6705
253671	0.178617	31740	6707
255095	0.255875	18003	6705
222479	0	19538	6705

De acordo com Ligmann-Zielinska e Jankowski (2012) a alta posição no rank da média, ou seja, valores que tendem as primeiras posições, mais próximos de 1, correspondem às áreas com alto interesse para a análise. Já as primeiras posições no rank do desvio padrão correspondem às áreas com maior incerteza para a análise. Ligmann-Zielinska e Jankowski (op. cit.) propõe quatro situações analíticas para comparar o rank da média e o rank do desvio padrão, a saber:

1) Alta posição no rank da média e baixa posição no rank do desvio padrão significa a melhor opção, são os melhores locais, a solução mais robusta. no contexto do presente trabalho são as áreas certamente com maior prioridade para

conservação;

2) Baixa posição no rank da média e baixa posição no rank do desvio padrão correspondem as opções "perdedoras", que podem ser desconsideradas;

3) Alta posição no rank da média e alta posição no rank do desvio padrão caracterizam opções potencialmente boas, mas que necessitam de estudos mais aprofundados, haja vista a elevada incerteza;

4) Baixa posição no rank da média e alta posição no rank do desvio padrão, são áreas que podem ser desconsideradas mas com alta incerteza.

Considerando os quatro casos elaborados para a AS baseada na Simulação de Monte Carlo foi possível mapear as áreas com aptidão para conservação e avaliar seu grau de incerteza/certeza (Fig.13).

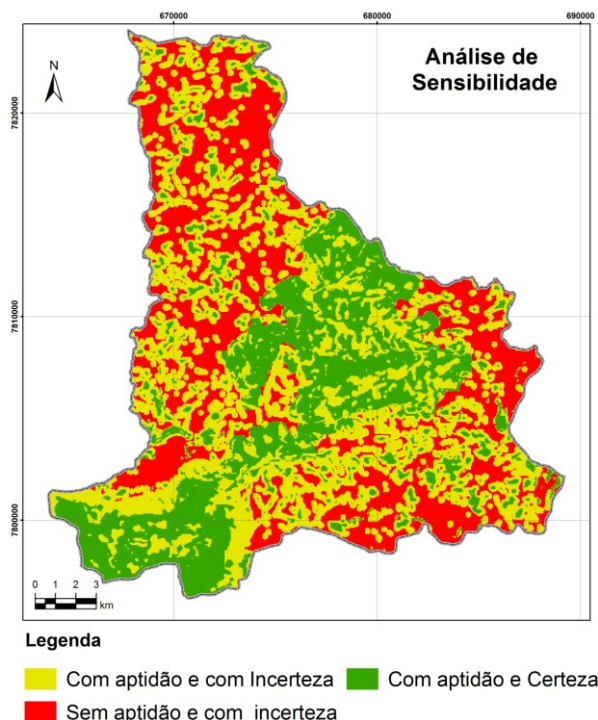


Fig. 13 - Resultado na análise de sensibilidade para avaliar a aptidão da área de estudo em relação às áreas prioritárias para conservação.

Observa-se que 26,28% (Tab. 10) da área de estudo possui aptidão para conservação, sendo está uma informação que possui robustez e certeza estatisticamente testada pela Simulação de Monte Carlo. É importante ressaltar esses 26,28% são formados por áreas anteriormente classificadas como de alta, muito alta, média e até de baixa prioridade para conservação.

Os resultados mostram que em mais de 70% da área estudada a análise de multicritérios apresenta incerteza em seus resultados, o que demonstra a falta de consenso entre os especialistas no momento da valoração dos critérios analisados. Por exemplo, a variabilidade nos pesos atribuídos à APA e às APPs cobertas por vegetação nativa, que correspondem às áreas ambientalmente protegidas com menor investimento em instrumentos de fiscalização e gestão ambiental. Este exemplo também pode explicar a quantidade de áreas com aptidão e incerteza.

A áreas enquadradas como sem aptidão e incerteza devem ser objeto de novas investigações. Neste caso sugerimos análise baseada em métricas de paisagem para considerar os fragmentos florestais que não estão amparados por algum dispositivo legal, mas que podem ser aptos a conservação.

De um modo geral o segundo caso de comparação entre ranks da AS não ocorre neste trabalho, demonstrando que não existem áreas totalmente descartáveis quando avaliamos a prioridade para conservação.

TABELA 10 – RESULTADO DA SIMULAÇÃO DE MONTE CARLO

Análise de Sensibilidade	Área (ha)	Porcentagem
Sem aptidão e com Incerteza	11202,60	30,76
Com aptidão e Incerteza	15649,10	42,96
Com aptidão e certeza	9571,65	26,28

6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A abordagem pelo processo do Geodesign possibilitou a estruturação da lógica de pensamento e da metodologia aplicada na investigação de áreas prioritárias para conservação. Cabe ressaltar que o Geodesign enquanto um processo não constitui uma caixa fechada e pode ser dimensionado para diferentes escalas, objetos e situações de estudo. Neste trabalho foi feita uma adaptação na concepção dos modelos propostos pelo Professor Carl Steinitz, com o objetivo de avaliar uma mesma área de estudo aplicando diferentes modelos de representação e avaliação.

Na segunda iteração do processo de Geodesign os novos modelos de representação e avaliação análise de proporcionaram maior confiabilidade e robustez aos resultados alcançados, com ganho de conhecimento e qualidade na informação, ocasionando em formação de conhecimento para um modelo de decisão mais ajustado.

É importante salientar que as três últimas etapas do Geodesign, quais sejam os modelos de mudança, impacto e decisão, constituem etapas de intervenção, a exemplo da proposição de instrumentos legais para a implementação das áreas prioritárias para conservação, a avaliação dos respectivos impactos considerando fatores ecológicos e econômicos, para posteriormente a tomada de decisão baseada na avaliação por parte dos gestores públicos municipais e a comunidade local em geral.

AGRADECIMENTOS

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.

Ao Programa de Pós-graduação em Geografia do Instituto de Geociências da UFMG.

Ao Sistema de bolsas CAPES/REUNI.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALBERT, C., AND J.C. VARGAS-MORENO. Testing GeoDesign in Landscape Planning- First Results. In Digital Landscape Architecture conference. **Anais**. p. 219-227., 2012.

ÁVILA, Jorge Luís; MONTE-MÓR, Roberto. Urbanização e Impactos Ambientais : uma análise da relação entre as características dos espaços urbanos e a poluição hídrica na região do médio Rio Doce (MG). In. VII Encontro da Sociedade Brasileira de Economia Ecológica. Fortaleza: Sociedade Brasileira de Economia Ecológica (ECOECO). **Anais**, 21p. 2007.

COX, M.G; DAINTON, M.P.; FORBES, A.B.; HARRIS, P.M.;. Use of Monte Carlo Simulation for Uncertainty Evaluation in Metrology. In: Advanced Mathematical and Computational Tools in Metrology. World Scientific Publishing, 2001.

CROSETTO, M., TARANTOLA, S., SALTELLI, A.: Sensitivity and uncertainty analysis in spatial modelling based on GIS, **Agriculture, Ecosystems & Environment**, 81, 71–79, 2000.

BATTY, M. Planning and Design. **Environment and Planning B**. 2013,. v. 40, p. 1–2, 2013.

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

DONATELLI, G. D.; KONRATH, A. C. Simulação de Monte Carlo na avaliação de incertezas de medição. **Revista de Ciência & Tecnologia**. V. 13. n.25, pag. 5-15.jan/dez, 2005.

FONSECA, B. M. ; Bezerra, D. P. ; AUGUSTIN, C. H. R. R. . Mapeamento de Unidades Geomorfológicas na borda nordeste do Quadrilátero Ferrífero MG. In: 9º SINAGEO - Simpósio Nacional de Geomorfologia, 2012, Rio de Janeiro. Geomorfologia e Eventos Catastróficos: passado, presente e futuro. **Anais**, p. 1-10, 2012.

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**. Belo Horizonte: UFMG/ICB, 1997.

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

- GENELETTI, D. A GIS-based decision support system to identify nature conservation priorities in an alpine valley. **Land Use Policy**, v.21, p.149-160, 2004.
- HEUVELINK, G.B.M. **Error propagation in environmental modeling with GIS**. Londres:Taylor & Francis, 1998. 127p
- GENELETTI, D.; DUREN, I.V. Protected area zoning for conservation and use: a combination of spatial multicriteria and multiobjective evaluation. **Landscape and Urban Planning**, v.85, p. 97-110, 2008.
- 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, 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, Proceedings of 5th International Conference, GIScience 2002, Park City, Utah, USA, September 2008, Springer Verlag, Berlin-Heidelberg,2008. p.217-233.
- MARGULES, C.R. & PRESSEY, R.L. Systematic conservation planning. **Nature** 405:243-53, 2000.
- MALCZEWSKI, J. GIS-based multicriteria decision analysis: a survey of the literature. **International Journal of Geographical Information Science** v, 20 (7), p. 703–726, 2006.
- MALCZEWSKI, J. **GIS and multicriteria decision analysis**. New York: J. Wiley & Sons, 1999.
- MCHARG, I. **Design with Nature**. New York: Natural History Press, 1969. 197p.
- MENDOZA, G.A.; PRABHU, R. Multiple criteria decision making approaches to assessing forest sustainability using criteria and indicators: a case study. **Forest Ecology and Management**, v. 131, p. 107-126, 2000.
- MILLER, William R. **Introducing Geodesign** : The Concept Director of GeoDesign Services. ESRI PRESS, 2012. , p. 1–36.
- MOURA, A. C. M.; JANKOWSKI, P.; COCCO, C. Contribuições aos estudos de Análises de Incertezas como complementação às Análises Multicritérios - “Sensitivity Analysis to Suitability Evaluation”. In. XXVICongresso Brasileiro de Cartografia, Gramado. (no prelo), 2014.
- NOSS, R.F. Indicators for monitoring biodiversity: a hierarchical approach. **Conservation Biology**, v.4 p.355-364, 1990.
- RUSSEL, G.D; HAWKINS,C.P. O'NEILL,M.P. The role of GIS in selecting sites for riparian restoration on hydrology and land use. **Restoration Ecology**, v.5, p-5668, 1997
- SÃO GONÇALO DO RIO ABAIXO. **Perfil do município de 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.
- SECRETARIA MUNICIPAL DE MEIO AMBIENTE DE SÃO GONÇALO DO RIO ABAIXO. Estudo **Técnico para proposição de Unidade de Conservação de Uso Sustentável**. São Gonçalo do Rio Abaixo, SEMA-SGRA, 2012, 123p.
- STEINITZ C. **A Framework for Geodesign: Changing Geography by Design**. 1. ed. Redlands, CA: ESRI Press,2012. 360p.
- 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.