



ANÁLISE ESPACIAL COMO SUPORTE AO PLANEJAMENTO AMBIENTAL DA REGIÃO DO QUADRILÁTERO FERRÍFERO, MINAS GERAIS

SPATIAL ANALYSIS AS A SUPPORT FOR THE ENVIRONMENTAL PLANNING OF THE QUADRILÁTERO FERRÍFERO REGION, MINAS GERAIS

Janaína Silva de Oliveira

jsobio@yahoo.com.br

José Francisco Prado Filho

Universidade Federal de Ouro Preto

jfprado@depro.em.ufop.br

Renato Andrade Rezende

Instituto Federal Minas Gerais - Campus Ouro Preto

renato.andrade@ifmg.edu.br

Marcelo Dutra da Silva

Universidade Federal do Rio Grande

dutradasilva@terra.com.br

RESUMO

Em Minas Gerais, o Quadrilátero Ferrífero abriga jazidas minerais e remanescentes naturais que garantem os serviços ecossistêmicos para a porção mais populosa do Estado: a Região Metropolitana de Belo Horizonte. Quando mal planejados, os diversos usos da terra podem causar a fragmentação de habitats e desencadear conflitos territoriais. O presente estudo visou analisar o padrão estrutural da paisagem na porção oeste do Quadrilátero Ferrífero como subsídio ao planejamento ambiental do território. Para atingir o objetivo, foram utilizadas técnicas de Sistema de Informação Geográfica (SIG) e de Ecologia de Paisagem que permitiram avaliar o cenário ambiental da região entre os anos de 1984 e 2013. Os resultados evidenciaram forte efeito das atividades antrópicas sobre os fragmentos de vegetação nativa; uma conflituosa representatividade espacial das áreas legalmente protegidas; e os principais fragmentos de habitat que podem contribuir para a manutenção da paisagem natural.

Palavras-chave: fragmentação; conflito territorial; planejamento ambiental.

ABSTRACT

In Minas Gerais, the Quadrilátero Ferrífero host a mineral deposits and natural remnants that insure ecosystem services for the most populous portion of the State: the Belo Horizonte Metropolitan Region. When poorly planned, the diverse uses of land can cause the habitat's fragmentation and territorial conflicts. The present study aimed to analyze the structural pattern of the landscape in the western portion of the Quadrilátero Ferrífero as a subsidy to the territory environmental planning. For reach the objective, Geographic Information System (GIS) and Landscape Ecology techniques were used to analyze the environmental scenario between 1984 and 2013. The results showed a strong effect of the anthropic activities on the remaining natural; a conflicted spatial representativeness of the legally protected areas; and the principal habitat patches that can contribute to the maintenance of the natural landscape.

Keywords: fragmentation; territorial conflict; environmental planning.

1 - Introdução

A fragmentação globalizada da paisagem natural é consequência dos diversos usos antropocêntricos da terra, muitas vezes de modo desordenado. No processo de fragmentação, os remanescentes nativos ficam menores e mais isolados em uma matriz que pode ser inóspita para a permanência de algumas espécies (HADDAD *et al.*, 2015).

A criação de Unidades de Conservação (UCs) é uma estratégia para atenuar os efeitos da fragmentação em longo prazo a partir da proteção dos remanescentes naturais. Porém, muitas UCs são encontradas na forma de pequenos fragmentos pressionados pelas atividades antrópicas; ou apresentam falhas na gestão pela ausência de um planejamento integrado do cenário ambiental (SILVA e SOUZA, 2014; SAITO *et al.*, 2016).

Para conciliar a conservação da natureza com as demandas sociais e naturais, Herrmann (2011) e Saito *et al.* (2016) destacam os corredores ecológicos e os *stepping stones* enquanto unidades de planejamento regional. Eles permitem integrar os fragmentos de habitat em áreas que abrangem os ambientes modificados pelo ser humano, de modo a garantir o uso sustentável do território.

Além de motivar a conectividade entre fragmentos de habitat que promovem a permeabilidade da matriz, Muchailh *et al.* (2010) consideram que um planejamento efetivo do território deve abordar os aspectos estruturais da paisagem. O padrão estrutural da paisagem é representado por um modelo constituído por manchas, corredores e matriz (FORMAN, 1995).

As manchas – também denominadas como fragmentos – são áreas homólogas encontradas na matriz de forma restrita. Os corredores são estruturas lineares que ligam dois ou mais fragmentos dispersos na matriz, que é a unidade dominante da paisagem, representada por uma vasta área heterogênea onde estão inseridos as manchas e os corredores (McGARIAL, 2004).

Neste sentido, Herrmann (2011) considera que a Ecologia de Paisagem e o Sistema de Informação Geográfica (SIG) têm se tornado um arcabouço conceitual para o planejamento ambiental. As métricas são algoritmos aplicados pela Ecologia de Paisagem que revelam a disposição espacial, a área e a forma dos elementos interativos que compõem a matriz. O comportamento das métricas, complementados pelo uso de ferramentas de SIG, permitem analisar as intervenções antrópicas na paisagem, o grau de

fragmentação e as mudanças ambientais em uma escala temporal (LUPPI *et al.*, 2015; SAITO *et al.*, 2016; VALLE *et al.*, 2016).

O Quadrilátero Ferrífero (QF), localizado na região centro-sul do Estado, recebe destaque pelos recursos naturais existentes, mas que estão sob forte pressão pela exploração mineral e pela ocupação humana. A extração de jazidas minerais, sobretudo de ferro, sustenta um dos principais pilares econômicos do Estado; já as minas de ouro motivaram, no passado, a ocupação antrópica onde hoje está consolidada a Região Metropolitana de Belo Horizonte (DINIZ, 2014).

Ao mesmo tempo, a região fornece serviços ecológicos essenciais à população, destacados pelo potencial hídrico com mananciais de abastecimento urbano; e pelo alto índice de endemismo dos biomas *hotspots* de Cerrado e Mata Atlântica. O QF também abriga raros geoambientes de canga – afloramentos de rochas ferríferas com distribuição restrita que compõem ambientes únicos, mas que pelo alto teor de ferro, são cobiçados pelas minerações (DINIZ *et al.*, 2014; CARMO *et al.*, 2012).

Os interesses minerários, imobiliários e conservacionistas desencadeiam conflitos quanto ao uso e ocupação do solo na região e dificultam o planejamento ambiental deste território. Para Zhou e Laschefski (2010), os conflitos ambientais territoriais são gerados quando os interesses distintos se chocam com a percepção da representatividade espacial. Assim, as consequências sociais e ambientais da apropriação do espaço interferem nas formas de uso do território, que muitas vezes dependem dos ritmos de regeneração do meio utilizado.

O problema norteador do estudo foi embasado nas intensas atividades antrópicas que têm transformado a paisagem natural da região em fragmentos, que podem estar cada vez mais isolados na matriz. O presente trabalho teve como objetivo principal analisar o padrão estrutural da paisagem natural diante o conflituoso cenário de uso e ocupação do solo da porção oeste do Quadrilátero Ferrífero.

2 - Materiais e Métodos

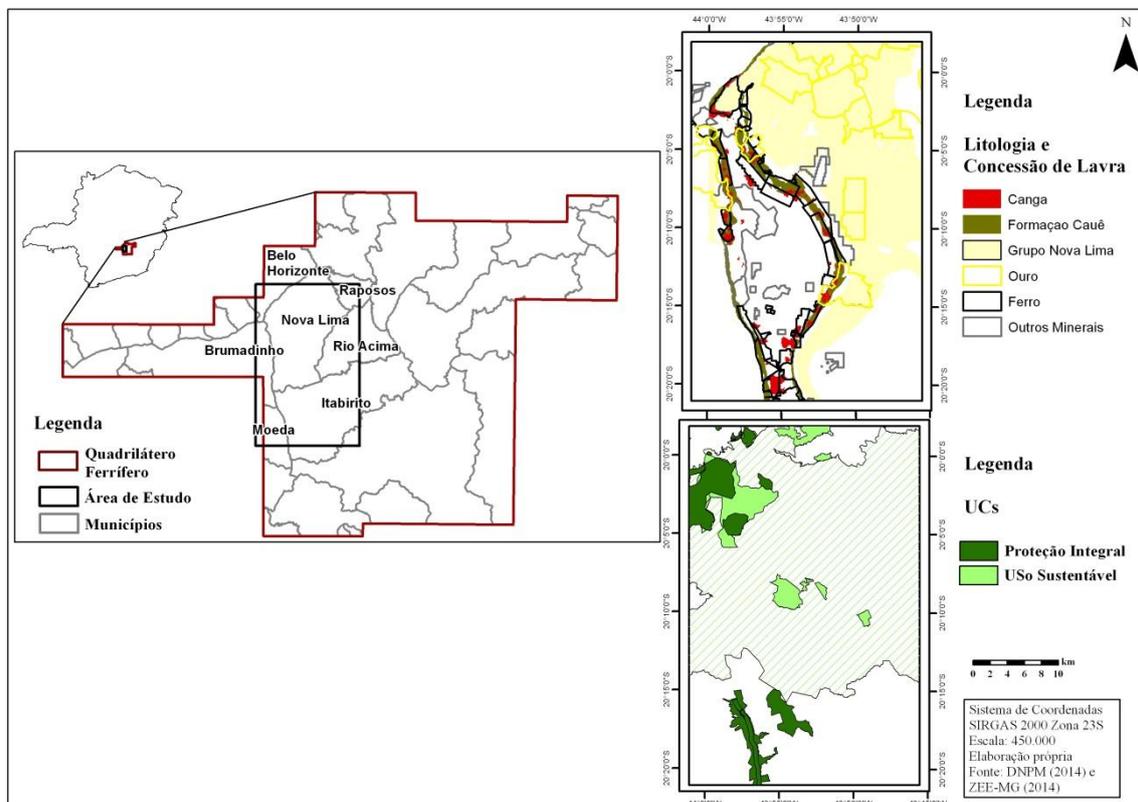
2.1 - Caracterização da área de estudo

Com aproximadamente 113.000 hectares (ha), a área de estudo abrange parte dos municípios de Belo Horizonte, Brumadinho, Itabirito, Moeda, Nova Lima, Raposos e Rio

Acima. A região inclui a estrutura geológica do Sinclinal Moeda e seu entorno, localizado na porção oeste do Quadrilátero Ferrífero, em Minas Gerais. As abas externas do Sinclinal atingem altitudes de até 1.600 metros sustentadas por quartzitos da Formação Moeda e itabiritos da Formação Cauê; e muitas vezes são capeadas por canga. Ele é delimitado pela Serra da Moeda a oeste, Serra de Itabirito (também conhecida como Serra das Serrinhas) a leste e, a norte, se funde com a Serra do Curral (Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais – CPRM, 2005).

A Figura 1 mostra a localização da área de estudo no contexto do Quadrilátero Ferrífero, a litologia local e as Unidades de Conservação existentes.

Figura 1 - Mapa da área de estudo no contexto do Quadrilátero Ferrífero.



Fonte: AUTORES (2016).

Na Figura 1 nota-se que na região há minas ativas por toda matriz: as de minério de ferro se concentram em áreas de canga e nas formações ferríferas de regiões com topografia mais altas. Já as minas de ouro estão em regiões mais baixas na estrutura litológica do Grupo Nova Lima (Supergrupo Rio das Velhas). A especulação imobiliária segue intensamente pelo vetor sul da capital em direção ao município de Nova Lima, embora sejam encontradas ocupações antrópicas dispersas por toda a paisagem.

O aumento de novos loteamentos apresenta uma tendência de junção com as áreas de maior adensamento, que pressionam os remanescentes ainda preservados das fitofisionomias do Cerrado – Campo Cerrado, Cerrado *Sensu Stricto*, Matas Ripárias e Capões de Altitude – ou da Mata Atlântica – Floresta Estacional Semidecidual. Muitos destes ambientes nativos estão protegidos como UCs: 13 de Uso Sustentável e 12 de Proteção Integral, conforme o Zoneamento Ecológico-Econômico de Minas Gerais (ZEE-MG, 2016).

2.2 - Procedimentos Metodológicos

A aplicação de técnicas de SIG e de métricas da paisagem foi realizada no *software* ArcGIS 10.0. Para criar a base cartográfica (mapas), o primeiro passo se baseou na escolha de duas imagens de satélite em tempos distintos: uma da década de 1980, destacada pelo início da criação de áreas protegidas; e outra para representar a atualidade.

As duas imagens foram selecionadas conforme melhor visibilidade, proporcionada pela ausência de nuvens, ambas com resolução espacial de 30 metros e georreferenciadas para SIRGAS 2000 fuso 23S. Para a década de 1980, foi selecionada a imagem gerada em 06/06/1984, pelo Landsat-5 sensor TM, obtida no *site* do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE). A ausência de imagens recentes do Landsat-5 motivou a escolha do Landsat-8 sensores OLI e TIRS, geradas em 05/05/2013, e retiradas no *site* da Earth Explorer United States Geological Survey (USGS).

O pré-tratamento é a fase em que se faz o registro para corrigir o deslocamento causado entre imagens de uma mesma área obtidas em períodos distintos – no caso, também por satélites e sensores diferentes. Para obter um bom nivelamento sem ocasionar distorções nas imagens, foram criados 20 pontos de controle embasados nas cartas topográficas vetoriais de Rio Acima referentes à hidrografia e ao sistema viário, na escala 1:50.000, disponíveis no *site* do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE).

Após correção das imagens, iniciou-se a fase de tratamento, que se refere à classificação supervisionada. De acordo com Profeta (2015), as etapas da classificação supervisionada envolvem: a seleção dos melhores conjuntos de bandas espectrais para definir as classes que serão utilizadas no estudo; a escolha de amostras de treinamento para cada classe; a classificação da imagem de acordo com o método estatístico escolhido; e a avaliação da precisão da classificação.

O colorido das imagens é proporcionado pelas bandas espectrais RGB (*Red, Green e Blue*). As composições que permitiram melhor identificação das classes de paisagem estudadas foram RGB-543 (Landsat-5) e RGB-654 (Landsat-8), também utilizadas por Fernandes *et al.* (2015) na detecção de mudanças no uso e ocupação do solo em região semiárida.

Optou-se em criar cinco grandes classes temáticas adaptadas de Scolforo e Carvalho (2006) e do ZEE-MG, que abarcam os principais tipos de uso e ocupação do solo e os domínios existentes na região. De acordo com Scolforo e Carvalho (2006), domínios referem-se ao espaço geográfico caracterizado por uma tipologia vegetacional predominante sobre as demais. Assim, as classes foram definidas em:

- (1) Vegetação Densa, que representa a Floresta Estacional Semidecidual e outras áreas com predomínio de porte arbóreo;
- (2) Vegetação Rarefeita, com fisionomias Savânicas, Formações Campestres e afloramentos rochosos;
- (3) Ocupação, com áreas alteradas para ocupação humana;
- (4) Solo Exposto, com presença de minas a céu aberto e demais exposições da cobertura do solo;
- (5) Água, que inclui corpos d'água lânticos naturais ou artificiais.

Nas imagens de 1984 e 2013 foram criadas amostras de treinamento (*shapefiles*) para representar as classes de interesse, dando início à classificação supervisionada. A partir delas, utilizou-se algoritmos classificadores de máxima verossimilhança (MaxVer), método que encontra regiões homólogas conforme informação espectral do pixel isolado (PROFETA, 2015).

A validação estatística verifica a classificação errônea ocasionada pela confusão do programa classificador. Para verificar a exatidão e acurácia dos mapas classificados utilizou-se a matriz de erros – ou matriz de confusão – cujos resultados são apresentados em uma relação binominal associados ao tipo de classificação; e o coeficiente *Kappa*, que considera todos os resultados da matriz. A visualização dos resultados expressa a relação entre os tipos de erros associados ao processo de classificação – erro global, comissão e omissão – e a exatidão do produtor e usuário. As informações foram exportadas do ArcGIS para o Excel 2007, onde foi calculada a matriz de erros pela exatidão global (equação 1)

e pelo coeficiente *Kappa* (equação 2), que são classificados conforme qualidade do mapa (Tabela 1).

$$EG = \frac{A}{N} * 100$$

onde:

EG = exatidão global (equação 1)

A = acerto geral de cada ponto amostral da diagonal

N = número total de pontos amostrais em cada classe

$$K = \frac{n \sum_{i=1}^c x_{ii} - \sum_{i=1}^c x_{i+} x_{+i}}{n^2 - \sum_{i=1}^c x_{i+} x_{+i}}$$

onde:

K = coeficiente *Kappa* (equação 2)

n = número total de pontos amostrais

(pixels de referência)

c = número total de classes

xii = soma da diagonal da matriz de erros

xi+ = soma da linha i da matriz de erros

x+i = soma da coluna i da matriz de erros

Tabela 1 – Classes de qualidade resultantes do coeficiente *Kappa*.

<i>Kappa</i> (K)	Qualidade
< 0,00	Péssima
0,00 – 0,20	Ruim
0,21 – 0,40	Razoável
0,41 – 0,60	Boa
0,61 – 0,80	Muito Boa
0,81 – 1,00	Excelente

Fonte: LANDIS e KOCK (1977).

Após a validação estatística, a fase de pós-classificação é definida por Fernandes *et al.* (2015) como importante processo para eliminar os pixels isolados e melhorar a qualidade visual dos mapas. Neste trabalho, utilizou-se a ferramenta *Majority Filter* que prevalece o valor da maioria em uma vizinhança de oito pixels.

A verdade terrestre finaliza a etapa de elaboração da base cartográfica, sendo constatada a veracidade obtida pelas classificações. Para o mapa de 1984 foram utilizadas 19 ortofotos das cartas de Belo Horizonte, Rio Acima e Itabirito, na escala 1:10.000, de 1986. Para o mapa de 2013 houve levantamento de campo em 84 pontos aleatórios, também validados estatisticamente. O mapeamento de reconhecimento adotou a escala 1:50.000, conforme padronização do IBGE (2013).

2.3 - Análise da paisagem

Após concluir a etapa de validação estatística do mapeamento, iniciou-se a análise estrutural da paisagem. As técnicas de SIG permitiram identificar a contribuição das atividades antrópicas no processo de fragmentação ambiental ao longo do tempo e a representatividade espacial das UCs. Para isso, foi realizado o cruzamento dos mapas de 1984 e 2013, que revelou as mudanças sofridas por cada classe entre os anos estudados.

Para melhor compreender as interferências antrópicas na paisagem, foram utilizados dados vetoriais (*shapefiles*) referentes à mineração, litologia, altimetria e UCs, disponíveis nos *sites* do Departamento Nacional de Produção Mineral (DNPM), Brasil em Relevo e ZEE-MG.

O cruzamento das classes seguiu os procedimentos metodológicos utilizados por Profeta (2015). Os atributos das classes dos dois mapas foram cruzados a partir de uma identificação sem repetição (Tabela 2). Por exemplo, a identificação 12 revela a substituição da 2 (Vegetação Rara em 1984) pela 10 (Vegetação Densa em 2013) e quantifica, em hectares, a área que sofreu alteração.

Tabela 2 – Valores de identificação utilizados das classes nos anos de 1984 e 2013, seguidas da matriz de cruzamento dos mapas.

Classe	1984	2013	Cruzamento				
Vegetação Densa	1	10	11	12	13	14	15
Vegetação Rarefeita	2	20	21	22	23	24	25
Ocupação	3	30	31	32	33	34	35
Solo Exposto	4	40	41	42	43	44	45
Água	5	50	51	52	53	54	55

Fonte: adaptado de PROFETA (2015).

Conforme as premissas da Ecologia de Paisagem, as métricas estruturais foram aplicadas para quantificar a fragmentação ou a uniformidade dos padrões espaciais dos fragmentos nativos representados pelas classes Vegetação Densa e Vegetação Rarefeita. Foram utilizadas as extensões *V-Late2.0 beta* e o programa *Conefor Sensinode 2.2*, que calculam automaticamente as métricas selecionadas (Tabela 3).

Tabela 3 – Métricas de paisagem aplicadas no estudo.

Métrica	Sigla	Descrição
Área de Classe (<i>ClassArea</i>)	CA	Somatório das áreas de todos os fragmentos de classe (em hectares).
Número de Fragmentos (<i>Numberof Patches</i>)	NUMP	Número Total de Fragmentos.
Área Núcleo Total de Classe (<i>Total Class Core Area</i>)	TCCA	Tamanho total de áreas núcleo (em hectares) dentro de cada fragmento em nível de classe ou de paisagem.
Índice de Divisão da Paisagem (<i>LandscapeDivision Index</i>)	DIVISION	Distribuição acumulativa das áreas dos fragmentos (em porcentagem)
Índice de Fragmentação (<i>Splitting Index</i>)	SPLIT	Número de fragmentos obtidos quando se divide a área total da paisagem em tamanhos iguais
Índice de Conectividade Integral (<i>Integral Index ofConnectivity</i>)	IIC	Conectividade entre os fragmentos conforme forma, tamanho e localização espacial, a uma distância máxima estipulada de 10 km.

Fonte: AUTORES (2016).

3 - Resultados e Discussão

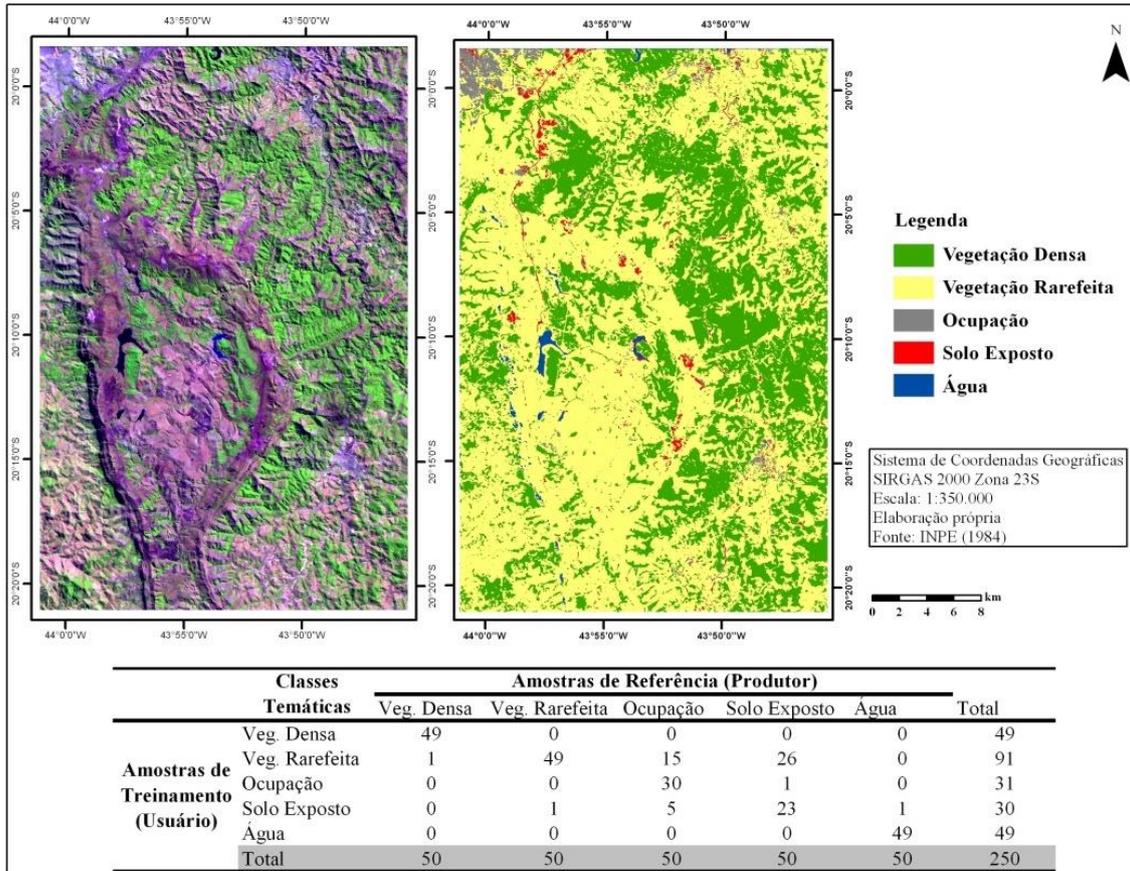
3.1 - Verificação estatística do mapeamento

A Figura 2 ilustra a imagem de satélite, a classificação e a matriz de confusão para o ano de 1984. A classe Ocupação também foi confundida com a Vegetação Rarfeita (30%, 15 pixels) e Solo Exposto (10%, 05 pixels). As classes Vegetação Densa, Vegetação Rarfeita e Água tiveram o menor índice de confusão, com 2% (01 pixel) confundidos com a Vegetação Rarfeita, Solo Exposto e Solo Exposto, respectivamente.

A classe temática Solo Exposto apresentou grande confusão com a classe Vegetação Rarfeita, com o total de 52% (equivalente a 26 pixels); onde apenas 46% (23 pixels) foram classificados corretamente. Justifica-se este resultado pelo período seco em que a imagem foi obtida, onde mesmo com a escolha das melhores amostras de treinamento, o nível de reflectância apresenta maior tendência de confusão. O comportamento espectral de um sensor é uma das limitações existentes no sensoriamento remoto, mas que não inviabiliza a utilização desta ferramenta.

Mesmo com a confusão obtida pelas classes supracitadas, a validação estatística da classificação de 1984 atingiu 80% na exatidão global e o valor de 0,75 no coeficiente *kappa*, que atinge a qualidade de mapa considerada muito boa (LANDIS e KOCK, 1977). Fernandes *et al.* (2015), ao realizar uma análise temporal do uso e da cobertura da terra na região semiárida de Sergipe, obteve coeficiente *kappa* de 0,60 e exatidão global de 82,5%; Profeta (2015) utilizou apenas a matriz de confusão, com total de 98,79% na validação estatística em estudo da dinâmica do solo no município de Piranga, Minas Gerais.

Figura 2 - Mapa de classificação da imagem de 1984.



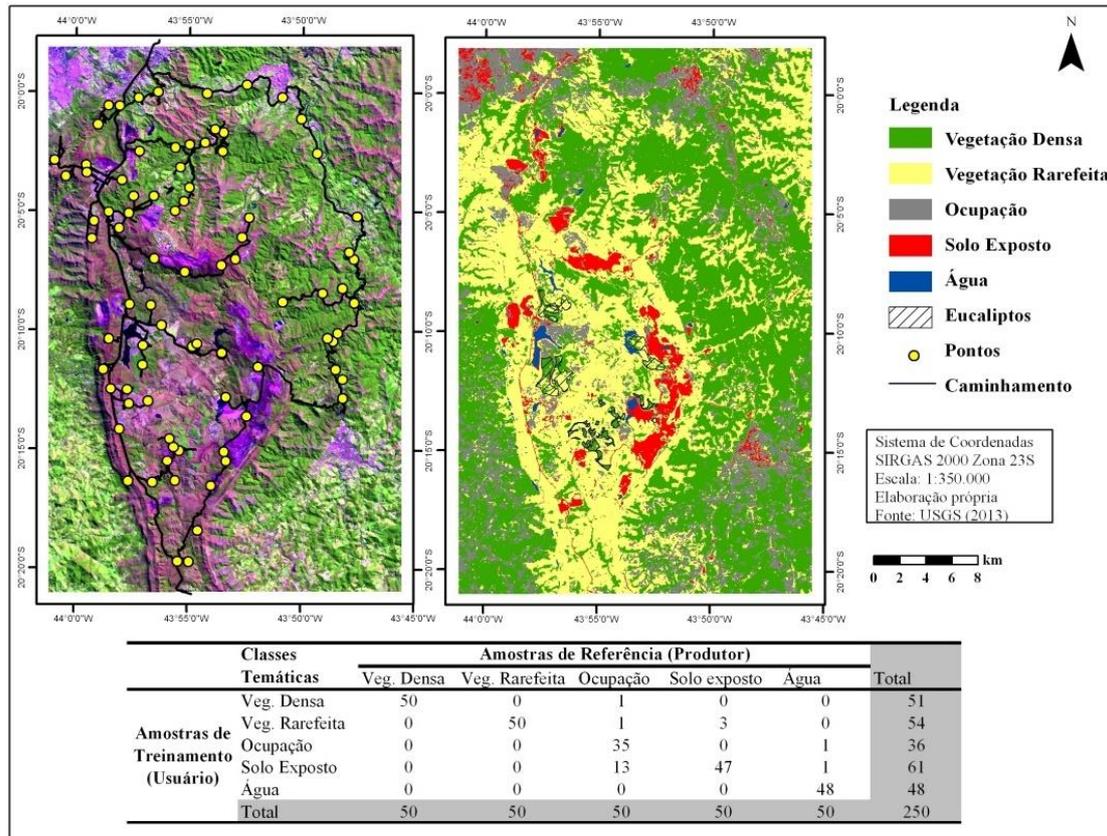
Fonte: AUTORES (2016).

A Figura 3 ilustra a imagem de satélite, a classificação e a matriz de confusão para o ano de 2013. Nota-se que 26% (13 pixels) da classe Ocupação foram confundidos com Solo Exposto, 2% (01 pixel) com as classes Vegetação Rarefaita e Vegetação Densa.

Em menor proporção, a classe Solo Exposto foi confundida com a Vegetação Rarefaita (6%, 03 pixels); e a classe Água foi confundida com Solo Exposto e Ocupação (2% cada, representando 01 pixel).

A classificação de 2013 apresentou valor de 0,90 para o coeficiente *Kappa*, considerado excelente por Landis e Koch (1977), com exatidão global de 92%. Os resultados obtidos nas classificações de 1984 e 2013 endossam a diferença entre a resposta espectral de uma classe conforme a coleta de dados remotos. No mapa de 2013, o satélite e sensores diferentes proporcionaram melhor distinção entre as classes Solo Exposto e Vegetação Rarefaita.

Figura 3 - Mapa de classificação da imagem de 2013.



Fonte: AUTORES (2016).

Na verdade terrestre de 2013 foram identificadas áreas florestadas com predominância de espécimes exóticos de *Eucalyptus* spp ou de *Pinus* spp, não visualizadas na imagem de satélite. Por não serem representativos no contexto de paisagem – correspondem a 1.257ha (1,11% da área de estudo e 2,57% da Vegetação Densa), não houve a criação de uma classe temática para estes ambientes.

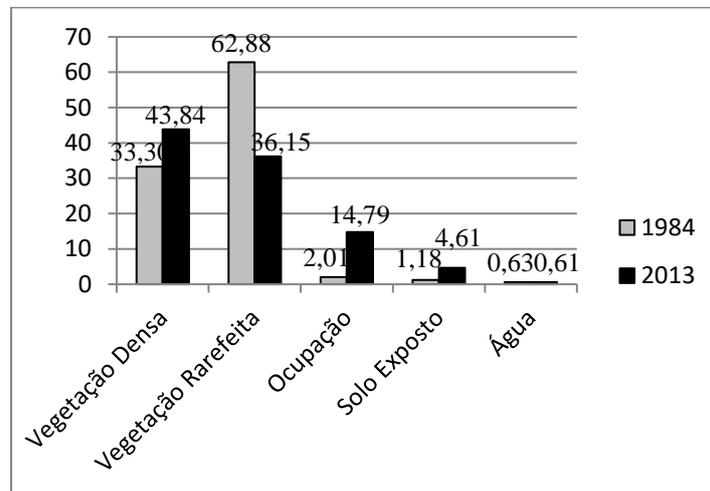
A confusão geral da verdade terrestre foi pequena. A classe Vegetação Densa apresentou classificação errônea de 2,4%, confundida com Vegetação Rarfeita e Ocupação; as classes Vegetação Rarfeita e Ocupação apresentam erro de 1,2%, respectivamente classificadas como Solo Exposto e Vegetação Rarfeita. As classes Solo Exposto e Água ficaram isentas de erro na classificação.

3.2 - Análise temporal e estrutural da paisagem

As classes de paisagem, quando cruzadas pelos anos de referência (1984 e 2013), revelaram uma mudança na composição da matriz ao longo do tempo. Conforme a Figura 4, a unidade dominante da paisagem em 1984 era a classe Vegetação Rarfeita (com

71.387 ha, 62,88%), que foi substituída em 2013 pela Vegetação Densa (com 50.200 ha, 43,84%).

Figura 4 - Gráfico obtido pelo cruzamento das bases cartográficas de 1984 e 2013.



Fonte: AUTORES (2016).

O cruzamento das classes de paisagem entre o período temporal estudado permitiu identificar que 14,95% da Vegetação Densa de 2013 estavam em áreas de Vegetação Rarefeita em 1984. Este resultado pode indicar uma sucessão ecológica dos ambientes florestais até sua recuperação. Mas a perda significativa da Vegetação Rarefeita também está relacionada com as atividades antrópicas existentes: 11,20% da classe em 1984 foram substituídas pela Ocupação e 3,06% pelo Solo Exposto em 2013.

A classe Ocupação apresentou o maior aumento proporcional entre as cinco classes estudadas (com total de 12,78%). Isto significa que, mediante o cruzamento dos mapeamentos, a ocupação antrópica foi a principal fonte de alteração negativa da Vegetação Rarefeita. Porém, devido à limitação da classe Solo Exposto – que inclui minerações visíveis nas imagens de satélite – optou-se em incluir os dados de processos minerários do DNPM existentes até 2014 para subsidiar a análise desta atividade antrópica.

As concessões de lavra totalizaram 47.304 ha (41,86%) da região de estudo. Os demais processos apresentaram resultados preocupantes para o cenário ambiental futuro: 5.749 ha da área (5,09%) estavam em fase de requerimento de lavra; 35.355 ha (31,29%) e 78.773 ha (69,67%) em fase de autorização e requerimento de pesquisa, respectivamente; e 319 ha (0,28%) em fase de licenciamento. O somatório da abrangência dos processos

ativos do DNPM, superior à área de estudo, evidencia conflito de interesse entre as próprias atividades minerárias, com a existência de várias poligonais sobrepostas.

Em meio ao crescimento acelerado das atividades antrópicas, a vegetação nativa fica sob os efeitos cruzados entre as diferentes práticas sociais e a apropriação dos recursos territorializados, destacados por Zhou e Laschetski (2010) como desencadeadores de conflitos. Para Barros (2011), os conflitos podem ameaçar a criação de áreas protegidas quando outros usos são mais rentáveis – no caso, as atividades minerárias e imobiliárias.

Sob o aspecto de proteção ambiental, cabe destacar que as 25 UCs existentes totalizam 80,58% da região. Mas destes, apenas 6,38% estão na categoria de Proteção Integral; e dos 74,20% representados pelas UCs de Uso Sustentável, 65,69% estão como Área de Proteção Ambiental (a APA SUL RMBH, cujo instrumento de gestão ainda não está consolidado). Além da alta permissividade de uso do solo prevista em APAs, há um total de 12 UCs com categorias, objetivos e manejos distintos que estão em áreas sobrepostas: seis de Proteção Integral e seis de Uso Sustentável.

De acordo com Ranieri e Moretto (2013), a sobreposição territorial com outros espaços protegidos, que possuem objetivos e recursos financeiros distintos para sua gestão, tem resultado em um cenário bastante confuso e gerado conflitos com os usos permitidos no entorno. Barros (2011) complementa que muitos ambientes protegidos em um contexto urbano estão em processo de degradação ocasionado pela ineficiência de gestão. Sem o planejamento integrado do território, tais fatores indicam uma ameaça potencial à manutenção dos ambientes naturais, que de acordo com Silva e Souza (2014), podem resultar no comprometimento da finalidade ecológica pelo qual foram criados.

3.2 - Análise estrutural da paisagem natural

As métricas complementaram a análise da paisagem, embasada nos aspectos estruturais dos fragmentos de habitat representados pelas classes Vegetação Densa e da Vegetação Rarefeita. A recuperação ambiental da Vegetação Densa foi constatada pelas métricas de área e tamanho (CA e NUMP). Houve o aumento de área de 37.959ha para 50.200ha entre o período estudado, que associado com a manutenção da quantidade de fragmentos (de 4.020 em 1984 para 4.021 em 2013), indica o crescimento da área núcleo dos ambientes florestais.

Quanto maior a área núcleo de um fragmento, mais protegido ele fica ao efeito de borda. Silva e Souza (2014) citam que efeitos abióticos como temperatura, umidade e luminosidade podem alterar a estrutura dos fragmentos, facilitar a introdução de espécies generalistas e comprometer a biodiversidade local. Os autores consideram que, em fragmentos acima de 100 ha, o efeito de borda se estende em até 60 metros para o interior. Devido os diversos tamanhos de fragmentos encontrados na paisagem da porção oeste do Quadrilátero Ferrífero, o presente trabalho adotou duas faixas de borda (35 e 100 metros) para comparar o comportamento das métricas de área núcleo em nível de classe e de fragmento (Tabela 4). Em nível de classe, observa-se que a Vegetação Densa apresentou aumento de área (CA) e de área núcleo (TCCA) entre os anos de 1984 e 2013.

Em nível de fragmento, a Tabela 4 revelou que apenas três grupos foram responsáveis por esse crescimento: 55-65ha, 95-110ha e >1.000ha. Este pode ser um fator determinante para que eles sejam analisados em termos de biodiversidade, onde a ocorrência de espécies sensíveis ao efeito de borda deve ser verificada.

Tabela 4 – Resultados das Métricas de Área (CA) e de Área Núcleo (TCCA) aplicadas em bordas de 35 e 100 metros para nível de classe e de fragmento.

Tamanho dos Fragmentos	Faixa de borda de 35 metros				Faixa de borda de 100 metros			
	1984		2013		1984		2013	
	CA	TCCA	CA	TCCA	CA	TCCA	CA	TCCA
< 1	710	3	694	2	710	0	694	0
1-5	1.425	253	1.141	174	1.425	1	1.141	0
5-15	1.937	766	1.437	555	1.937	29	1.437	25
15-25	1.055	527	829	393	1.055	72	829	49
25-35	945	532	640	337	945	97	640	54
35-45	714	405	386	193	714	78	386	35
45-55	940	593	435	250	940	188	435	52
55-65	344	200	493	303	344	52	493	88
65-75	629	394	491	302	629	111	491	93
75-85	400	252	385	207	400	76	385	41
85-95	712	414	559	328	712	106	559	85
95-110	-	-	105	69	-	-	105	23
110-200	3.434	2.256	1.520	1.026	3.434	785	1.520	408
200-500	7.611	5.279	2.597	1.813	7.611	2.158	2.597	813
500-1000	2.151	1.555	1.453	1.037	2.151	713	1.453	456
>1000	14.590	11.284	37.035	28.159	14.590	6.130	37.035	15.541
Nível Classe	37.595	24.714	50.200	35.146	37.595	10.595	50.200	17.763

Fonte: AUTORES (2016).

Ribeiro *et al.* (2009) destacam que de todos os fragmentos de Mata Atlântica existentes no Brasil, 83% estão representados pelos grupos menores que 50ha, mas juntos, contribuem com 20% do total dos remanescentes florestais. Neste sentido, acredita-se que os fragmentos que tiveram as áreas núcleo reduzidas também devam receber atenção conservacionista para proporcionar aumento e conectividade entre suas áreas.

Na Vegetação Rarefeita, as métricas de área e tamanho (CA e NUMP) revelaram a redução de área entre os anos (de 71.387ha em 1984 para 41.330ha em 2013) e o aumento significativo da quantidade de fragmentos (de 3.478 para 9.319). De acordo com Saito *et al.* (2016), resultados como os apresentados pela métrica NUMP indicam uma fragmentação, mas são insuficientes para constatar se houve este processo.

As métricas de subdivisão expressas pelos Índices de Divisão da Paisagem (DIVISION) e de Fragmentação (SPLIT) complementaram a hipótese de fragmentação da Vegetação Rarefeita e de recuperação ambiental da Vegetação Densa. Saura (2002) explica que quanto maior for o fragmento de classe, menos dividida estará a paisagem, que atingirá os menores valores percentuais da métrica DIVISION. Por outro lado, quanto mais fragmentada estiver a paisagem, maior será o valor do índice de fragmentação (SPLIT).

Na Vegetação Rarefeita, os resultados das métricas de subdivisão constataram o processo de fragmentação: os 11,86% em 1984 obtidos pela métrica DIVISION saltaram para 60,10% em 2013; e a fragmentação indicada pelo SPLIT passou de 1,13 para 2,51 entre o período estudado. Já na Vegetação Densa foi comprovada a recuperação da classe: os valores do DIVISION passaram de 96,26% em 1984 para 81,05% em 2013; seguidas pela redução da fragmentação (SPLIT) de 26,71 para 5,28.

Para finalizar a análise estrutural da paisagem, o Índice Integral de Conectividade (IIC) apresentou um modelo simplista de conexão entre os fragmentos das classes de Vegetação Densa ou de Vegetação Rarefeita. Esta seleção parte do pressuposto que o deslocamento das espécies só ocorrerá por uma classe (área habitat), onde os demais elementos da matriz são considerados como áreas não-habitat.

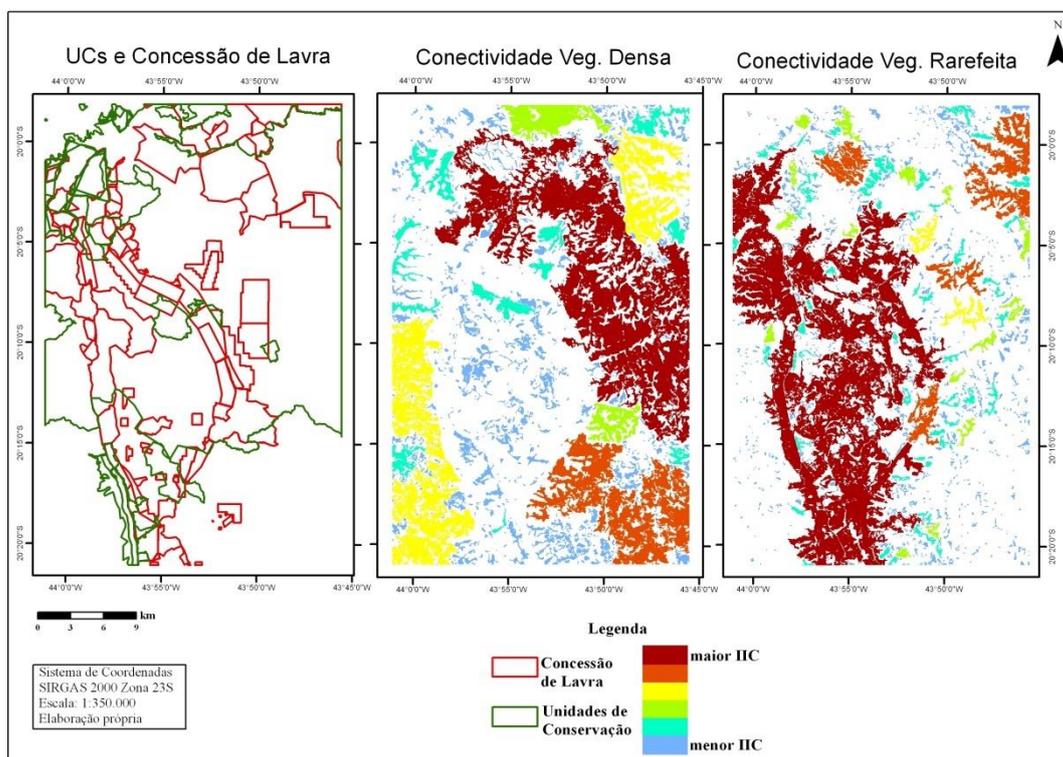
Por não envolver estudos ecológicos de nenhuma espécie-chave, foi definida uma distância máxima de 10 km entre os fragmentos existentes, que foram destacados conforme sua relevância para a conectividade estrutural. Justifica-se a distância

abrangente para não subestimar nenhum fragmento que possa influenciar a permeabilidade da matriz.

De acordo com Crouzeilles *et al.* (2010), a avaliação científica da permeabilidade seletiva de cada espécie em uma matriz ainda é incipiente no Brasil. Conforme os autores, os métodos adotados para quantificar o deslocamento de espécies muitas vezes não são apropriados para identificar a maior distância possível que uma espécie é capaz de cruzar em uma paisagem, principalmente quando pequenos fragmentos são utilizados como *stepping stones*.

A Figura 5 mostra a localização espacial das UCs e das concessões de lavra, o modelo de conectividade estrutural obtido pela métrica IIC entre os fragmentos nativos de Vegetação Densa e de Vegetação Rarefeita da área estudada.

Figura 5 - Mapa com a localização espacial das UCs e das concessões de lavra com os resultados obtidos pelo Índice de Conectividade Integral (IIC).



Fonte: AUTORES (2016).

Embora a Vegetação Rarefeita esteja passando por um processo de fragmentação entre os anos de referência, ainda há conectividade entre seus remanescentes destacados pelo maior IIC (em vermelho), muitos deles protegidos como UCs. Na Vegetação Densa, nota-

se que a abrangência de áreas protegidas ainda é incipiente, principalmente nos fragmentos em processo de recuperação ambiental.

É fato que as atividades antrópicas comprometem a consolidação destes corredores e oferecem risco à manutenção dos ambientes naturais e dos serviços ecológicos oferecidos por eles. No entanto, Barros (2011) considera que um planejamento territorial deve incluir as diversas atividades econômicas existentes para minimizar os impactos causados pelas atividades que alteram o processo dinâmico da paisagem natural.

Como subsídio ao planejamento territorial do cenário atual, acredita-se que novas áreas protegidas devam ser criadas para incluir os fragmentos destacados pelo IIC, que podem atuar como *stepping stones*. Para Baum *et al.* (2004) esta é a alternativa mais adequada para promover a conectividade entre fragmentos nativos em meio a uma matriz alterada pelas atividades antrópicas.

Conforme os autores, os *stepping stones* permitem a circulação de espécies entre fragmentos de vegetação nativa quando não há áreas contínuas de habitat ou quando os pequenos fragmentos são mais representativos na configuração natural da paisagem. Ainda que estes ambientes não correspondam a faixas contínuas de vegetação nativa, eles podem ajudar na permeabilidade da matriz, na manutenção da paisagem natural e na restrição das ações antrópicas.

4 – Considerações Finais

A região estudada é alvo de conflitos territoriais: a beleza cênica e os ambientes endêmicos de canga motivam os interesses de preservação, de exploração mineral e de ocupação humana. Os diversos usos antrópicos têm alterado a paisagem natural e, quando mal planejados, podem resultar na fragmentação e no isolamento de habitats. O padrão estrutural da paisagem na porção oeste do Quadrilátero Ferrífero foi analisado para subsidiar o planejamento ambiental do território de modo integrado.

As técnicas de SIG e as métricas de paisagens permitiram identificar que a matriz sofreu modificação entre o período estudado: a unidade dominante em 1984 da Vegetação Rarefeita (representada por fitofisionomias do Cerrado e ambientes de canga) passou a ser representada em 2013 pela Vegetação Densa (com predomínio de Floresta Estacional Semidecidual).

Embora a estrutura da paisagem seja predominantemente natural, as atividades antrópicas contribuem para a alteração do padrão estrutural na região de estudo. De acordo com análise temporal dos mapas elaborados, a Ocupação apresentou maior crescimento entre todas as classes temáticas, sendo a principal responsável pela redução da Vegetação Rarefeita. Mas as minerações, representadas pelos processos de concessão de lavra emitidos pelo DNPM, indicam uma nova substituição da matriz por esta atividade antrópica.

O comportamento das métricas de paisagem revelou a recuperação ambiental da Vegetação Densa e a intensa fragmentação da Vegetação Rarefeita. No entanto, muitos dos ambientes florestais de Vegetação Densa não estão incluídos como Unidades de Conservação. A disposição espacial das UCs revelou maior proteção na Vegetação Rarefeita, mas a sobreposição destes ambientes dificulta a gestão e pode comprometer a preservação ambiental.

As métricas de conectividade destacaram os fragmentos que contribuem para a permeabilidade da matriz em um contexto de paisagem, que podem exercer a função de *stepping stones* em uma conectividade estrutural. Para que estes ambientes sejam incorporados como novas UCs, eles devem ser estudados em uma abordagem ecológica. No entanto, a recuperação das áreas afetadas pela mineração é essencial para concretizar a formação de corredores ecológicos no cenário futuro, mediante a junção de faixas contínuas de habitat.

Conclui-se que análise espacial se mostrou um importante instrumento de planejamento ambiental do território. Mediante o cenário de expansão antrópica caracterizada pela mineração e ocupação, acredita-se que o presente estudo possa contribuir para a atualização dos instrumentos de gestão existentes; e mostra-se eficaz para a consolidação de um mosaico de UCs, que pode atenuar os efeitos da fragmentação.

7 – Agradecimentos

Agradecemos o apoio financeiro obtido pela CAPES e pela UFOP.

6 – Referências

BARROS, L. L. **Aplicações da Geoecologia da Paisagem no Planejamento Ambiental e Territorial dos Parques Urbanos Brasileiros**. Revista Geográfica de América Central, Costa Rica, v. 2, n. 47E, 1-14, 2011.

BAUM, K. A.; HAYNES, K. J.; DILLEMUTH, F. P.; CRONIN, J. T. **The Matrix Enhances the Effectiveness of Corridors and Stepping Stones**. Ecology, Washington, v. 85, n. 10, 2671-2676, 2004.

CARMO F. F.; CARMO F. F.; CAMPOS I. C.; JACOBI, C.M. **Cangas: ilhas de ferro estratégicas para a conservação**. Ciência Hoje, Rio de Janeiro, n. 295, 40-53, 2012.

CPRM – Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais. Geomorfologia. MEDINA, A. I. M.; DANTAS, E. M.L; SAADI, A. (Orgs). **Projeto APA SUL RMBH**. Belo Horizonte. SEMAD/CPRM, 2005. Capítulo 6, 1-60. Disponível em:<http://www.cprm.gov.br/publique/media/apa_sul_rmbh_geomorfologia_texto.pdf> Acesso em: 19 de dezembro de 2016.

CROUZEILLES, R.; LORINI, M. L.; GRELLE, C. E. V. **Deslocamento na matriz para espécies da Mata Atlântica e a dificuldade da construção de perfis ecológicos**. Oecologia Australis, Rio de Janeiro, v. 14, n. 4, 875-903, 2010.

DINIZ, J. M. F. S.; REIS, A. A.; JUNIOR, F. W. A.; GOMIDE, L. R. **Detecção da Expansão da Área Minerada no Quadrilátero Ferrífero, Minas Gerais, no Período de 1985 a 2011 através de Técnicas de Sensoriamento Remoto**. BCG – Boletim de Ciências Geodésicas, Curitiba, v. 20, n. 3, 683-700, 2014.

DNPM – Departamento Nacional de Produção Mineral. Processos Minerários de Minas Gerais. Disponível em <<http://sigmine.dnpm.gov.br/webmap/>>. Acesso em: 14 de abril de 2014.

FERNANDES, M. R. M.; MATRICARDI, E. A. T.; ALMEIDA, A. Q.; FERNANDES, M. M. **Mudanças do Uso e Cobertura da Terra na Região Semiárida de Sergipe**. Floresta e Ambiente, Rio de Janeiro, v. 22, n. 4, 472-482, 2015.

FORMAN, R. T. T. **Some General Principles of Landscape and Regional Ecology**. Landscape Ecology, v. 10, n. 3, 133-142, 1995.

HADDAD, N. M.; BRUDVIG, A.; CLOBERT, J.; DAVIES, K. F.; GONZALEZ, A.; HOLT.; R. D.; LOVEJOY, T. E.; SEXTON, J. O.; AUSTIN, M. P.; COLLINS, C. D.; COOK, W. M.; DAMSCHEN, E. I.; EWERS, R. M.; FOSTER, B. L.; JENKIS, A. J.; KING, A. J.; LAURANCE, W. F.; LEVEY, D. J.; MARGULES, C. R.; MEBOURNE, B. A.; NICHOLLS, A. O.; ORROCK, J. L.; SONG, D. X.; TOWNSHEND, J. R. **Habitat fragmentation and its lasting impact on Earth's ecosystems**. Science Advances, v. 1, n. 2, 1-9, 2015.

HERRMANN, G. **Incorporando a teoria ao planejamento regional da conservação: a experiência do corredor ecológico da Mantiqueira**. Belo Horizonte. Valor Natural, 2011. 228.

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Cartas Topográficas Vetoriais (escala 1:50.000) de Belo Horizonte, Rio Acima e Itabirito**. Disponível em:

<ftp://geofitp.ibge.gov.br/mapeamento_sistemático/topograficos/>. Acesso em: 15 de janeiro de 2014.

_____. Manual Técnico de Uso da Terra. Rio de Janeiro, 3. ed., 2013. Disponível em: <<http://biblioteca.ibge.gov.br/visualizacao/livros/liv81615.pdf>>. Acesso em: 04 de março de 2017.

INPE – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. Catálogo de Imagens Landsat-5. Disponível em: <<http://www.dgi.inpe.br/CDSR/>>. Acesso em: 10 de outubro de 2013.

LANDIS, J. R.; KOCH, G. G. **The measurement of observer agreement for categorical data**. Biometrics, Texas, v. 33, n. 1, 159-174, 1977.

LUPPI, A. S. L.; SANTOS, A. S.; EUGÊNIO, F. C.; FEITOSA, L. S. A. **Utilização de Geotecnologias para Mapeamento de Áreas de Preservação Permanente no município de João Neiva, ES**. Floresta e Ambiente, Rio de Janeiro, v. 22, n. 1, 13-22, 2015.

McGARRIAL, K. **Introduction to Landscape Measurements**. International Association for Landscape Ecology, UK region, 2004. Disponível em: <<http://iale.org.uk/files/pdfs/Introduction-to-landscape-measurement.pdf>>. Acesso em: 20 de março de 2015.

MUCHAILH, M. C.; RODERJAN, C. V.; CAMPOS, J. B.; MACHADO, A. L. T.; CURCIO, G. R. **Metodologia de Planejamento de Paisagens Fragmentadas Visando a Formação de Corredores Ecológicos**. Floresta, Paraná, v. 40, n. 1, 147-162, 2010.

PROFETA, A. L. **Dinâmica Multitemporal da Cobertura do Solo no Município de Piranga - MG, no período de 1984 a 2009**. Revista Brasileira de Cartografia, Rio de Janeiro, v. 67, n. 1, 111-125, 2015.

RANIERI, V. E. L.; MORETTO, E. M. Áreas Protegidas: por que precisamos dela? In: CUNHA, D. G. F.; CALIJURI, M. C. (Orgs). **Engenharia Ambiental: conceitos, tecnologia e gestão**. Rio de Janeiro. Elsevier, 2013. 717-738.

RIBEIRO, M. C.; METZGER, J. P.; MARTENSEN, A. C.; PONZONI, F. J.; HIROTA, M. M. **The Brazilian Atlantic Forest: How much is left, and how is the remaining forest distributed? Implications for conservation**. Biological Conservation, v.142, n. 6, 1141-1153, 2009.

SAITO, N. S.; MOREIRA, M. A.; SANTOS, A. R.; EUGÊNIO, F. C.; FIGUEIREDO, A. C. **Geotecnologia e Ecologia da Paisagem no Monitoramento da Fragmentação Florestal**. Floresta e Ambiente, Rio de Janeiro, v. 23, n. 2, 201-210, 2016.

SAURA, S. **Effects of minimum mapping unit on land cover data spatial configuration and composition**. International Journal of Remote Sensing, v. 23, n. 22, 4853-4880, 2002.

SCOLFORO, J. R.; CARVALHO, L. M. T. **Mapeamento e Inventário da Flora Nativa e dos Reflorestamentos de Minas Gerais**. Lavras. UFLA, 2006. 288.

SILVA, M. S. F.; SOUZA, R. M. **Padrões Espaciais de Fragmentação Florestal na FLONA do Ibura – Sergipe**. Mercator, Ceará, v. 13, n. 3, 121-137, 2014.

USGS – United States Geological Survey. Catálogo de Imagens Landsat-8. Disponível em: <<http://earthexplorer.usgs.gov/>>. Acesso em: 05dezembro de 2013.

VALLE, I. C.; FRANCELINO, M. R.; PINHEIRO, H. S. K. **Mapeamento da Fragilidade Ambiental na Bacia do Rio Aldeia Velha, RJ**. Floresta e Ambiente, Rio de Janeiro, v. 23, n. 2, 295-308, 2016.

ZHOURI, A.; LASCHEFSKI, K. Desenvolvimento e conflitos ambientais: um novo campo de investigação. In: ZHOURI, A.; LASCHEFSKI, K. (Orgs). **Desenvolvimento e conflitos ambientais**. Belo Horizonte. UFMG, 2010. 11-33

ZEE-MG – Zoneamento Ecológico-Econômico do Estado de Minas Gerais. Unidades de Conservação, Mapa da Cobertura Vegetal, Mapa de Tendência de Uso e Ocupação do Solo. Disponível em: <<http://geosisemanet.meioambiente.mg.gov.br/zee/>>. Acesso em: 14 de abril de 2014.