

Mapeamento da evolução do uso e cobertura do solo na Serra do Gandarela a partir de imagens Landsat (1987-2010)

Alfredo Costa
Geógrafo, UFMG; Mestre em Análise e Modelagem de Sistemas Ambientais, UFMG, Belo Horizonte, MG
Ricardo Alexandrino Garcia
Professor Adjunto do Departamento de Geografia, IGC, UFMG

Resumo

Este trabalho dedica-se a analisar as transformações recentes do uso e cobertura do solo na Serra do Gandarela, localizada na porção nordeste do Quadrilátero Ferrífero, região central de Minas Gerais, palco de discussão sobre a viabilidade dos usos existentes versus os usos possíveis, considerando o embate exploração versus conservação. Com base na classificação supervisionada do uso e cobertura do solo a partir de imagens do satélite LANDSAT TM 5 para os anos 1987, 1994, 2003 e 2010, através do método Máxima Verossimilhança (MAXVER), foram identificadas as principais transformações ocorridas na região. O estudo identificou uma tendência à degradação dos ambientes naturais da Serra do Gandarela (perda de 12,4% de sua área total no período analisado, equivalente a 4.500 hectares), seja pelas práticas agropastoris, pelo avanço da silvicultura ou pela intensificação da urbanização, seja pelo crescente interesse pela mineração na área.

Palavras-chave: Serra do Gandarela, uso e cobertura do solo, classificação supervisionada.

Abstract:

This work aims to analyze the recent changes in the Gandarela Mountain Range land use and land cover. The region in analysis is located in the northeastern portion of the Iron Quadrangle, in the central region of the State of Minas Gerais, which has become stage of discussion about the viability of existing uses versus possible uses, considering the clash between conservation and exploration. Through remote sensing images, digital cartographic databases, secondary databases, software and field materials, the analysis is conducted based on the evolution of land use and landscape transformation for four periods (1987, 1994, 2003 and 2010). The exercise performed identified a tendency to degradation of natural environments, either by agropastoral practices, by the advancement of forestry, by the urbanizing process, or by the growing interest in the mining area.

Key-Words: Serra do Gandarela, land-use and land-cover change, supervised classification.

Recebimento: 05/2013
Aprovação: 06/2013

alfredo.costa@yahoo.com.br

Introdução

A região do Quadrilátero Ferrífero, localizada no estado de Minas Gerais (Brasil), sofreu grandes transformações nos últimos três séculos, motivadas inicialmente pela exploração aurífera na região e, conseqüentemente, pela urbanização e ruralização do espaço natural como suporte à atividade mineradora então estabelecida. Ao longo do tempo, a expansão territorial humana neste espaço se tornou cada vez mais expressiva, configurando-se em atividades econômicas modificadoras do espaço natural, tais como a mineração, a silvicultura e a agropecuária (GONTIJO, 2010). Entretanto, a despeito do que se pode observar na atualidade, ainda restam neste espaço algumas áreas preservadas, que são os últimos refúgios de geodiversidade e biodiversidade únicas, como é o caso do Sinclinal Gandarela, objeto deste estudo (LAMOUNIER *et al.*, 2010; MARENT *et al.*, 2011).

A área delimitada para o estudo do Sinclinal Gandarela localiza-se na porção nordeste do Quadrilátero Ferrífero, Minas Gerais, e possui extensão territorial de 45.816,3 hectares e população de 34.997 habitantes (IBGE, 2010). Compreende parte dos municípios de Caeté, Barão de Cocais, São Gonçalo do Rio Abaixo, Santa Bárbara, Itabirito e Rio Acima. A região configura-se como um espaço de conflito de interesses, que agrega empenhos econômicos das indústrias mineradora e siderúrgica – expressados pelas culturas industriais de eucalipto e pelas minas existentes na região, como Brucutu e Gongo Soco –, além de empenhos ambientais, já que abriga áreas indicadas como prioritárias à preservação da biodiversidade (MMA, 2007).

Os diferentes usos reconhecidos na área, decorrentes da intensificação das atividades econômicas ali desenvolvidas, aliados à ausência de mecanismos eficientes de proteção ambiental, têm resultado em paulatina fragmentação da região do Sinclinal Gandarela, configurando-se em ameaça aos remanescentes florestais e campestres e, conseqüentemente, à disponibilidade hídrica (MARENT *et al.*, 2011).

Assim, este estudo tem por objetivo identificar as alterações no uso e cobertura do solo recentes na região, e os fenômenos que influenciaram e influenciam estas transformações, com ênfase nas alterações geográficas e econômicas decorrentes da prática da silvicultura e da mineração, além dos desdobramentos dos processos de expansão das áreas urbanas e rurais neste espaço. Fisher *et al.* (2005) relatam que conhecer e mapear o uso e cobertura do solo sempre foi algo desejado ao longo dos séculos, porém, recentemente tem-se observado aumento da variedade de interpretações dos conceitos utilizados para fins deste tipo de mapeamento, o que acaba resultando em desenhos e análises confusos e insuficientes.

Tendo isso em vista, é possível dizer que a expressão “uso e cobertura do solo” possui conceito híbrido, fundamentado nos três termos que a compõem (ANDERSON *et al.*, 1976; BAKKER; VELDKAMP, 2008): o termo “uso” diz respeito às alterações essencialmente antrópicas na superfície, desde o simples manejo agropastoril à construção de cidades. Já o termo “cobertura” diz respeito aos atributos físicos da superfície, como geologia, geomorfologia e cobertura vegetal, entre outros. Por fim, o termo “solo” deve ser entendido como a camada superficial da Terra onde os vegetais se desenvolvem, resultante da decomposição da rocha-matriz a partir do intemperismo físico e químico (NAGENDRA *et al.*, 2004), e também como superfície passível de alteração, construção e habitação (BRIASSOULIS, 2000).

Segundo Briassoulis (2000), para análise do uso da terra e mudanças em sua cobertura, primeiro é necessário conceituar o significado da mudança para detectá-la em situações do mundo real.

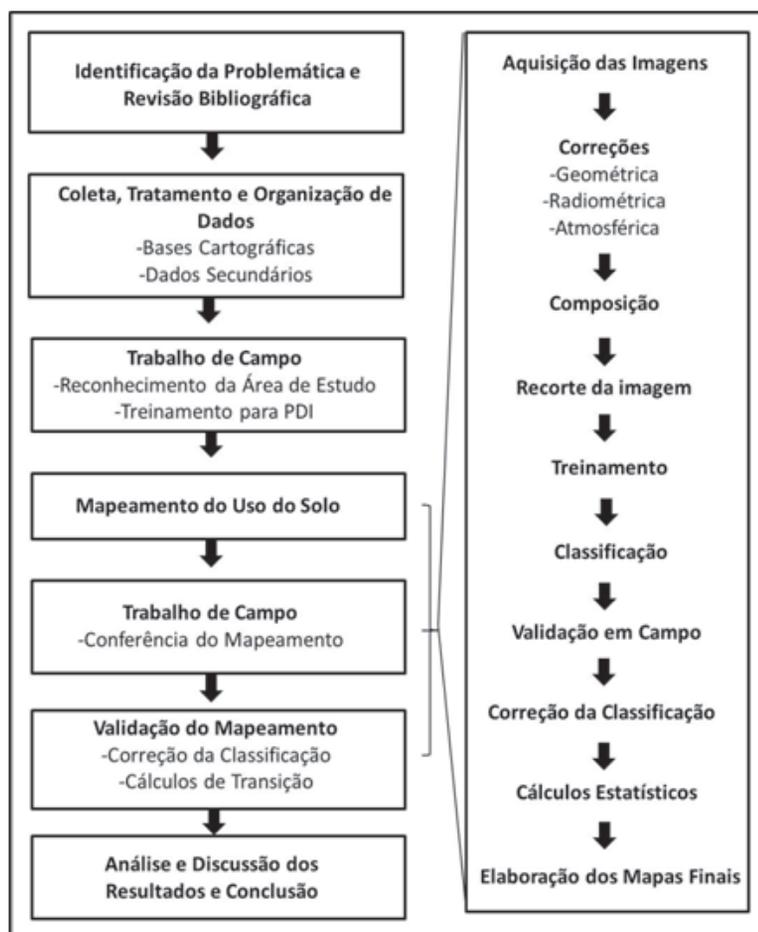
Segundo o mesmo autor, em um nível muito elementar, a mudança do uso e cobertura da terra significa alterações quantitativas na área (aumento ou diminuição) de um determinado tipo de uso da terra ou de cobertura do solo, respectivamente. É importante notar que, mesmo a este nível, a detecção e medição de alterações dependem da escala espacial: quanto maior o nível de detalhamento, maiores mudanças na extensão da área de uso e cobertura da terra poderão ser detectadas e registradas.

Neste sentido, é realizada a análise da evolução e fragmentação do uso e cobertura do solo a partir de técnicas de sensoriamento remoto e de geoprocessamento, considerando-se quatro períodos (1987, 1994, 2003 e 2010). As motivações sociais e econômicas responsáveis pelas alterações observadas também são consideradas, levantadas através de revisão bibliográfica e de visitas técnicas à área de estudo.

Metodologia

A metodologia do trabalho é apresentada de forma simplificada no fluxograma abaixo (Figura 1) e detalhada em seguida.

FIGURA 1 Metodologia do Trabalho.



Inicialmente, realizou-se uma imersão nas informações existentes sobre a área de estudo. Esta imersão foi apoiada na realização de um trabalho de campo, em maio de 2011, com os objetivos de fazer o reconhecimento da área de estudo – o que permitiu complementar sua caracterização – e também de realizar a coleta de informações para classificação do uso do solo (treinamento).

Para classificação do uso e cobertura do solo, foram selecionadas¹ quatro imagens do satélite Landsat 5, sensor TM, cena da órbita ponto 218/074, anos 1987, 1994, 2003 e 2010, de 17/07/1987, 05/08/1994, 27/06/2003 e 01/08/2010. Estas imagens foram escolhidas por permitirem análise temporal mais abrangente a partir de um mesmo sensor, além de serem disponibilizadas gratuitamente pelo sítio do INPE.

O pré-processamento foi realizado em ambiente ENVI 4.5. A análise das imagens, em formato *.GeoTIFF², revelou que a correção radiométrica não era necessária. Deste modo, fez-se a correção geométrica a partir do modelo polinomial (MELO; PACHECO, 2004), que utilizou como base de referência o mapeamento hidrográfico disponibilizado pelo Instituto de Geociências Aplicadas (IGA) na escala 1:50.000. Em seguida, realizou-se a correção atmosférica baseada no modelo de correção pelo pixel escuro (*DOS – Dark Object Subtraction*), em que os objetos com menor resposta espectral são selecionados em cada banda, e o valor médio de seus pixels é subtraído de todos os pixels da banda (CHAVEZ JR., 1988; CHAVEZ JR., 1996; POLIDORIO *et al.*, 2005).

A partir das imagens pré-processadas, foi criado em ambiente ArcGIS 10 um arquivo em formato *.GeoTIFF contendo as sete bandas de cada imagem Landsat 5 TM selecionada³. Isto permitiu considerar as sete bandas para classificação do uso e cobertura do solo, uma vez que, em se tratando a classificação de um tipo de análise multifatorial, quanto maior o número de informações por pixel, melhor a sua diferenciação em relação aos demais. Ainda em ambiente ArcGIS 10, as imagens foram recortadas conforme a área de estudo. Isto foi feito com o objetivo de otimizar seu processamento e classificação, já que o treinamento foi realizado apenas na área de estudo.

A classificação das imagens considerou, em boa medida, a discussão sobre a utilização de tipologias sugerida por Anderson *et al.* (1976). Assim, em ambiente ENVI 4.5 foram inseridas as imagens processadas e introduzidas as áreas obtidas no treinamento, sendo que pelo menos vinte áreas conhecidas (considerando uma matriz mínima de 100 metros por 100 metros para definição de cada uma destas áreas) foram utilizadas para cada classe. As classes empregadas foram: Água (cursos d'água, lagoas, represas); Floresta (florestas, matas ciliares, matas-galerias, capões de mata e cerradões); Reflorestamento (eucaliptais); Área antrópica (áreas urbanas, distritos, estradas, construções, solos expostos); Mineração (áreas de mineração, cavas); Cultivo (pastos artificiais, áreas de agricultura); Campo (campos, campos sujos, campos limpos, campo rupestre).

Para classificação, aplicou-se o classificador MAXVER com limite de decisão de cem por cento, ou seja, todos os pixels foram classificados. Optou-se por este limite de decisão pela antevisão de que a classificação seria corrigida manualmente após a conferência de campo.

Para correção da classificação, foi realizado um segundo trabalho de campo em outubro de 2011, com o objetivo de checar os resultados do mapeamento. Este procedimento permitiu que ajustes no mapeamento fossem realizados, tendo como exemplos marcantes as matas em regeneração, que foram confundidas pelo modelo de classificação com plantações de eucalipto; e as áreas de formação savânica de transição entre campos rupestres e florestas, que possuem resposta espectral semelhante à das áreas de pastagem. A correção foi realizada em ambiente ArcGIS 10, em que as imagens classificadas em formato *.GeoTIFF foram transformadas em arquivos de formato vetorial (*shapefile*).

¹ É importante mencionar que foram analisadas imagens de outros anos para a mesma área e mesmo período (inverno), quando há menor incidência de nuvens. As imagens selecionadas foram aquelas que melhor permitiram a visualização total da área de estudo.

² Acrônimo para Geographic Tagged Image File Format, formato de arquivo raster para imagens digitais, capaz de conter uma ou várias páginas em um único arquivo e armazenar suas coordenadas geográficas.

³ A banda 6, de resolução espacial de 120 metros, foi automaticamente reamostrada para a resolução espacial das demais bandas, ou seja, 30 metros.

Para avaliação da precisão da classificação, consideraram-se o Erro de Omissão (E.O.), que diz respeito aos pixels omitidos de sua classe e associados a uma outra classe; o Erro de Comissão (E.C.), que diz respeito aos pixels que são erroneamente incluídos em uma classe devendo estar em outra; a Precisão do Produtor (P.P), que se refere às amostras que não foram classificadas corretamente em relação à sua categoria; e a Precisão do Usuário (P.U.), que indica a probabilidade de um pixel classificado na imagem representar de fato a sua categoria correspondente em campo. Além disso, consideraram-se a Exatidão Global da classificação, que leva em conta a razão entre o número total de pixels classificados e o total de pixels na imagem de referência, a partir da matriz de confusão; e o índice de Kappa, que se presta a avaliar a precisão de uma classificação a partir dos elementos de sua matriz de confusão. As classificações, bem como os aspectos concernentes à sua precisão, serão apresentadas na análise dos resultados.

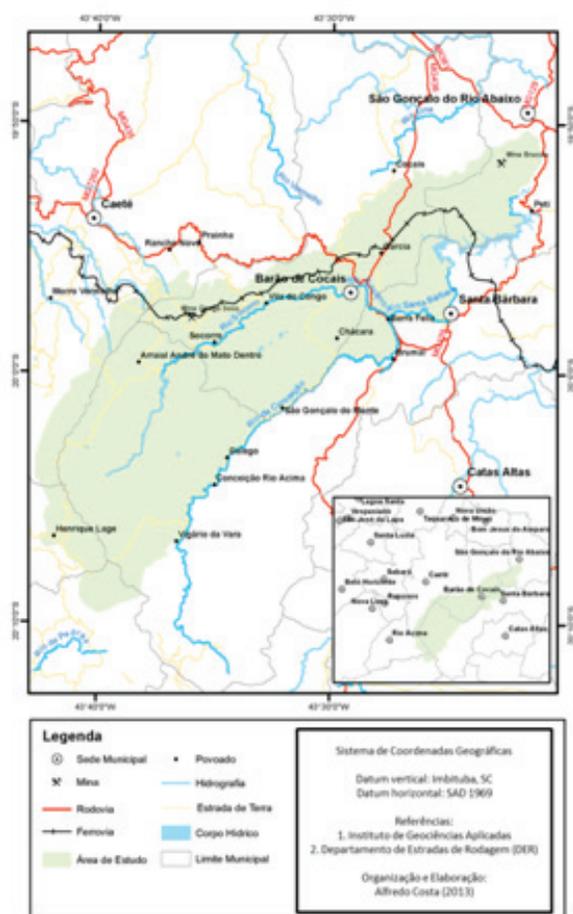
A partir das imagens corrigidas e validadas, foram realizados os cálculos das áreas mapeadas de maneira automática, ainda em ambiente ArcGIS 10. Da mesma maneira, as classificações foram confrontadas com o objetivo de identificar as áreas de transição entre classes, como a transição entre áreas de floresta e de campo, ou entre áreas de floresta e de reflorestamento, por exemplo.

Por fim, realizou-se a análise e discussão dos resultados, considerando os agentes econômicos regionais que influenciaram as transformações de uso e ocupação do solo na Região do Sinclinal Gandarela, a partir da bibliografia pesquisada, do mapeamento e dos dados obtidos em laboratório e campo.

Caracterização da área de estudo

A área de estudo compreende o Sinclinal Gandarela, que contém a Serra do Gandarela, localizada na porção oeste da área de estudo (Figura 2). Apesar dos demais topos verificados em seu interior, neste trabalho a área de estudo em sua totalidade será doravante referenciada como Serra do Gandarela, como é mais comumente conhecida.

FIGURA 2 Localização da área de estudo.



Para melhor entendimento das transformações do uso do solo na área, é importante caracterizar a sua cobertura vegetal e seu processo de ocupação. Sobre o primeiro tema, Lamounier *et al.* (2010) relatam que a variação das litoestruturas, dos solos e da topografia representa maior influência na formação da vegetação e na organização da paisagem da Serra do Gandarela do que as condições climáticas, pois estas ali variam muito pouco. Ainda de acordo com esses autores, o fato de o relevo ser ali claramente controlado pelo substrato geológico faz com que as fitofisionomias e o uso do solo estejam diretamente relacionados ao contexto litoestrutural do Gandarela.

No mesmo trabalho, Lamounier *et al.* (2010) descrevem a influência da litologia na distribuição da cobertura vegetal e no uso do solo na Serra do Gandarela, em artigo homônimo, e relatam que a vegetação na região apresenta características de transição entre os Biomas Mata Atlântica e Cerrado. Desta maneira, segundo o autor, ali se verificam florestas estacionais semidecíduais, campos limpos, campos rupestres quartzíticos, campos rupestres hematíticos (também conhecidos por vegetação de canga ou campo ferruginoso) e, em menor proporção, áreas de campo sujo associadas ao cerrado.

Assim, os padrões vegetacionais e principais usos identificados por Lamounier *et al.* (2010) são: campos rupestres ferruginosos e quartzíticos associados às rochas mais resistentes ao intemperismo; campos limpo e sujo, geralmente em altitudes inferiores aos campos rupestres; florestas estacionais semidecíduais que ocorrem em diferentes estruturas, relacionadas principalmente aos fatores geológicos e geomorfológicos; áreas de mineração nas rochas ferríferas, localizadas em maior altimetria; áreas de uso agrossilvopastoril e urbano, localizadas predominantemente nas regiões mais baixas da Serra.

No que diz respeito ao processo de ocupação da área de estudo, é importante relatar, em primeiro lugar, que a exploração aurífera na Serra do Gandarela durante o ciclo do ouro não teve a mesma intensidade que em outras áreas da região das minas, e, portanto, a urbanização observada nestas outras regiões não teve eco ali. Ainda assim, o trânsito pelos caminhos da mineração e a exploração do ouro fomentaram o surgimento de alguns núcleos de povoamento na região, que serviram como base para os garimpeiros, por serem locais produtores de insumos para atividade mineradora.

Destaca-se o isolamento geográfico dos núcleos de povoamento da Serra do Gandarela. De fato, à exceção da sede de Barão de Cocais, o acesso a estas localidades não é simples, e se dá a partir de estradas de terra mal sinalizadas e de manutenção inconstante, cuja origem de boa parte delas está associada ao início das atividades de sondagens na década de 1980. Embora isto represente um aspecto dificultador ao crescimento dessas localidades, este isolamento é em larga medida responsável pelo estado de conservação atual da vegetação na área de estudo.

A mineração, contudo, não é uma atividade recente na área e possui forte relação com a conformação dos núcleos de povoamento na serra, principalmente com a mineração aurífera em Gongo Soco, que teve produção iniciada em 1760, por iniciativa do Barão de Catas Altas (IEPHA, 1995). Esta passou por diversos proprietários ao longo de sua história, em que foram explorados o ouro e depois o minério de ferro. No ano 2000, a empresa Vale S.A. adquiriu a mina, e permanece como atual proprietária.

No que diz respeito à atividade mineradora recente na área, destaca-se a mina de Brucutu, também de propriedade da empresa Vale S.A., inaugurada em 2006, segunda maior mina de ferro do Brasil (atrás da mina de Carajás/PA) e a maior do planeta em capacidade inicial de produção. As duas minas de ferro citadas – Gongo Soco e Brucutu – contêm 6,5% (322,4 hectares) das áreas das cavas de exploração de minério de ferro no Quadrilátero Ferrífero, que correspondem a 4.926,4 hectares (GONTIJO, 2010). Adicionalmente, segundo dados do Departamento Nacional de Produção Mineral (DNPM), a Serra do Gandarela possui 100% de sua área coberta por requerimentos de pesquisa mineral.

Esta breve exposição demonstra que esforços reais para a proteção do patrimônio vegetal da Serra do Gandarela urge. Embora seja perceptível que há intenção de se minerar todo o território da Serra do Gandarela, os processos minerários que se encontram em fase mais adiantada de licenciamento localizam-se em áreas de campos rupestres sobre canga e em áreas de floresta. Embora sejam áreas protegidas por APP, a ausência de mecanismos mais rigorosos e a fragilidade da fiscalização podem significar o prevailecimento dos interesses econômicos, o que resultará em perda de patrimônio paisagístico e de biodiversidade.

Análise dos resultados

A precisão das classificações das imagens pode ser verificada na Tabela 1. É importante ressaltar que, em todas as quatro classificações finais, a precisão geral foi superior a 90% e os índices Kappa superiores a 0,8 em relação às amostras de treinamento, resultado considerado suficiente para as análises propostas (FONSECA, 2000).

TABELA 1 Erro de Omissão (E.O.), Erro de Comissão (E.C.), Precisão do Produtor (P.P.), Precisão do Usuário (P.U.), Índice de Exatidão Global e Índice Kappa da classificação das imagens Landsat utilizadas.

Ano	Classe	Reflorestamento	Floresta	Campo	Corpo d'água	Cultivo	Mineração	Área Ocupada	Exatidão Global	Índice Kappa
1987	E.C.	4,9%	1,6%	14,3%	0,0%	23,3%	12,9%	11,1%	92,2%	0,908
	E.O.	2,0%	8,1%	10,1%	2,8%	13,4%	1,0%	6,6%		
	P.P.	98,0%	91,9%	89,9%	97,2%	86,6%	99,0%	93,4%		
	P.U.	95,1%	98,4%	85,7%	100,0%	76,7%	87,1%	88,9%		
1994	E.C.	1,7%	4,3%	9,3%	0,0%	11,3%	6,6%	15,8%	90,9%	0,892
	E.O.	4,3%	4,4%	6,5%	3,5%	15,4%	3,9%	7,1%		
	P.P.	95,7%	95,6%	93,5%	96,5%	84,6%	96,1%	92,9%		
	P.U.	98,4%	95,7%	90,7%	100,0%	88,7%	93,4%	84,2%		
2003	E.C.	1,7%	4,3%	9,3%	0,0%	11,3%	6,6%	15,8%	92,4%	0,912
	E.O.	4,3%	4,4%	6,5%	3,5%	15,4%	3,9%	7,1%		
	P.P.	95,7%	95,6%	93,5%	96,5%	84,6%	96,1%	92,9%		
	P.U.	98,4%	95,7%	90,7%	100,0%	88,7%	93,4%	84,2%		
2010	E.C.	0,4%	4,6%	17,8%	0,4%	6,5%	1,4%	11,4%	93,3%	0,9229
	E.O.	3,6%	3,9%	9,1%	2,0%	4,9%	8,7%	8,0%		
	P.P.	96,4%	96,2%	90,9%	98,0%	95,1%	91,3%	92,0%		
	P.U.	99,6%	95,4%	82,2%	99,6%	93,5%	98,6%	88,7%		

Os resultados do mapeamento podem ser visualizados nas Figuras 3, 4 e 5, e as estatísticas nas Tabelas 1 e 2.

Figura 3 Uso e cobertura do solo na Serra do Gandarela, anos 1987 e 1994.

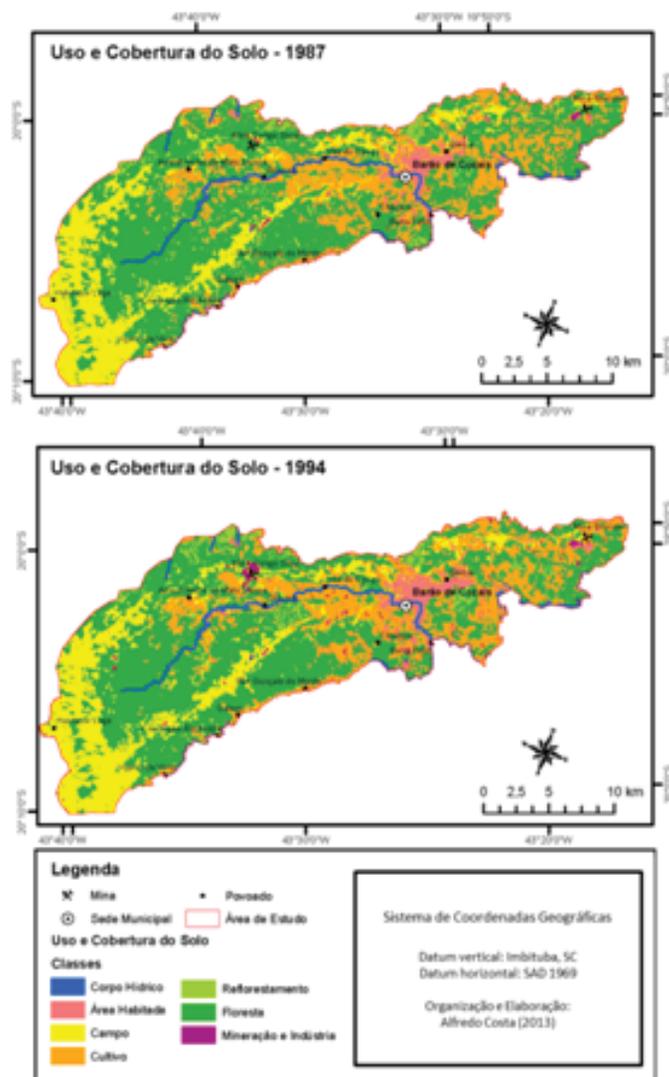


Figura 4 Uso e cobertura do solo na Serra do Gandarela, anos 2003 e 2010.

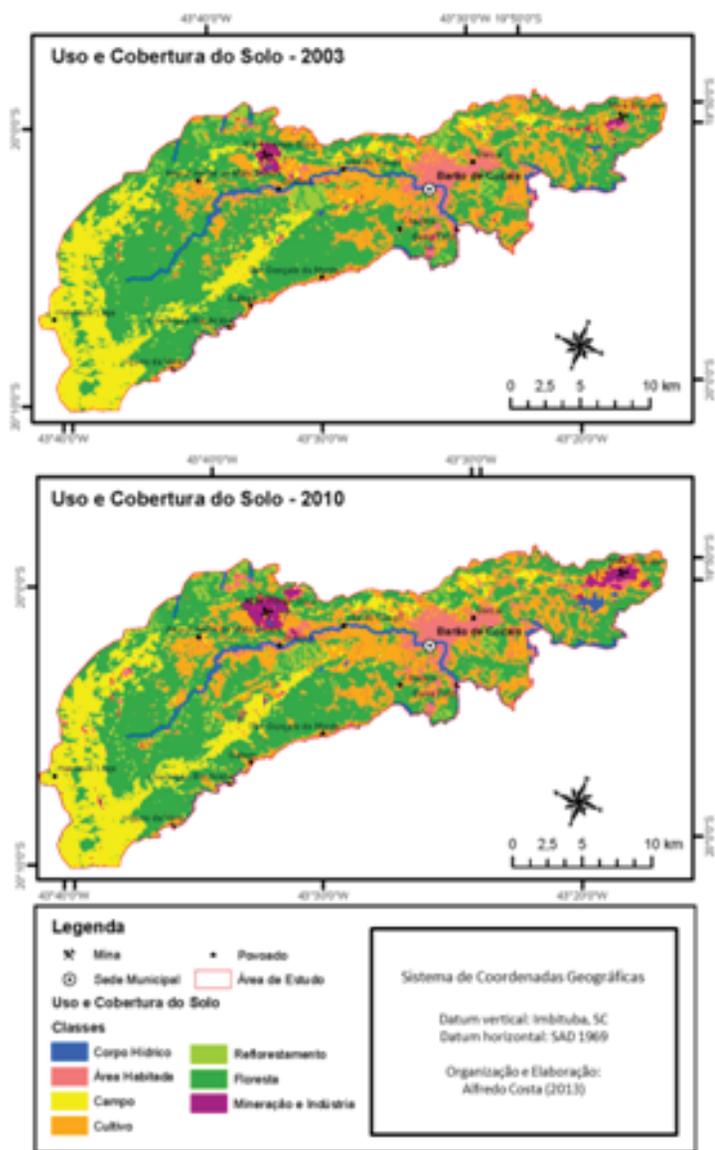


Figura 5 Transição do uso e cobertura do solo na Serra do Gandarela, anos 1987, 1994, 2003 e 2010.

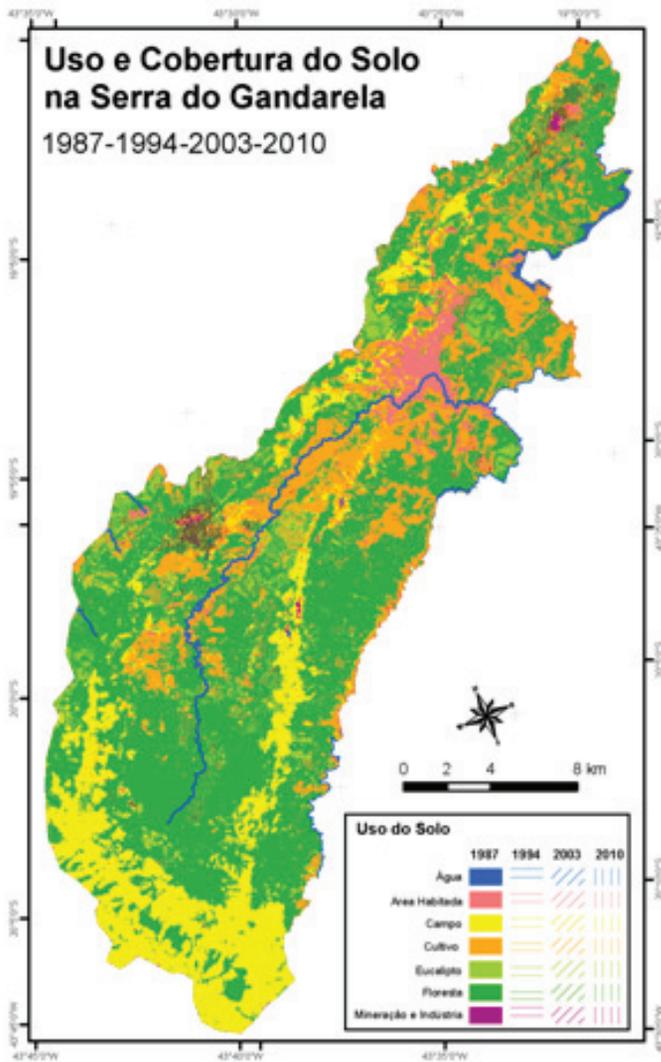


Tabela 2 Evolução do uso e cobertura do solo em hectares na Serra do Gandarela.

Classe	Área (ha)			
	1987	1994	2003	2010
Reflorestamento	1.828,1 (3,99%)	2.230,1 (4,87%)	2.368,3 (5,17%)	1.910,9 (4,17%)
Floresta	28.525,5 (62,26%)	26.172,9 (57,13%)	26.108,6 (56,99%)	24.173,1 (52,76%)
Campo	7.734,6 (16,88%)	7.871,6 (17,18%)	7.353,3 (16,05%)	7.586,3 (16,56%)
Corpo Hídrico	209,3 (0,46%)	216,4 (0,47%)	223,8 (0,49%)	455,9 (1,00%)
Cultivo	6.504,0 (14,20%)	7.718,4 (16,85%)	7.611,4 (16,61%)	8.238,8 (17,98%)
Mineração	71,6 (0,16%)	260,8 (0,57%)	450,4 (0,98%)	1.255,0 (2,74%)
Área Habitada	942,9 (2,06%)	1.345,9 (2,94%)	1.700,2 (3,71%)	2.195,9 (4,79%)
Total	45.816,0 (100,00%)	45.816,0 (100,00%)	45.816,0 (100,00%)	45.816,0 (100,00%)

Tabela 3 Taxas de crescimento do uso e cobertura do solo nos períodos selecionados.

Classe	Taxa de crescimento no período (%)			
	1987 - 1994	1994 - 2003	2003 - 2010	1987 - 2010
Reflorestamento	21,99%	6,20%	-19,31%	4,53%
Floresta	-8,25%	-0,25%	-7,41%	-15,26%
Campo	1,77%	-6,58%	3,17%	-1,92%
Corpo Hídrico	3,38%	3,39%	103,74%	117,77%
Cultivo	18,67%	-1,39%	8,24%	26,67%
Mineração	264,12%	72,71%	178,66%	1652,36%
Área Habitada	42,73%	26,33%	29,16%	132,88%

A análise da evolução do uso e cobertura do solo na Serra do Gandarela entre os anos de 1987 e 2010 demonstrou, em primeiro lugar, o predomínio da cobertura de florestas, superior a 50% em todo o período, sobretudo na porção oeste da área de estudo, em que há baixa densidade populacional e são raros os acessos. Entretanto, foram as florestas que proporcionalmente obtiveram maiores perdas territoriais, pois sua área diminuiu em 15,26% no período analisado, o que representou uma perda de aproximadamente 4.350 hectares. Os principais usos que influenciaram neste decréscimo foram o cultivo de pastagens e as atividades de reflorestamento de eucalipto, com maior intensidade na borda nordeste e na região sudeste da área de estudo; e a mineração, em menor intensidade, nas áreas ocupadas pelas minas de Brucutu e Gongo Soco.

Na região sudeste, é possível observar, ao longo dos quatro passos temporais, a paulatina fragmentação florestal em razão da interiorização das práticas de cultivo e reflorestamento em pequena escala às margens dos rios, ao passo que a proximidade das vias e da cidade de Barão de Cocais – e, portanto, de sua frente de urbanização – constitui os possíveis impulsionadores das grandes manchas de reflorestamento e cultivo observadas na borda nordeste da área de estudo. Nas bordas norte e leste, a perda florestal se deu respectivamente pela implantação das minas de Gongo Soco e Brucutu em escala industrial.

As áreas de campos, por sua vez, concentram-se nas regiões de maior altimetria, predominantemente em áreas de proteção permanente (topos), com acessibilidade limitada, cuja maior parte dos acessos foi criada para sondagens e é de difícil tráfego, além de apresentar baixa densidade populacional. Encontram-se melhor preservadas nas regiões centro e sudeste, e sofreram maiores transformações nas bordas norte e nordeste da área de estudo.

A cobertura de campo apresentou baixa variação no período analisado, e o que se observou está relacionado ao avanço do cultivo na porção central da área de estudo e ao desenvolvimento da atividade de mineração pelas minas de Gongo Soco e Brucutu. Apesar da baixa representatividade desta supressão no período analisado, de 1,92% (143 hectares), a sua localização sobre as formações ferríferas, associada à rigidez locacional da atividade minerária, representa um forte risco à sua preservação. A variação das bordas observada entre campo e floresta se deve à ecóclina entre os dois tipos de vegetação, caracterizada pela vegetação savânica, o que não prejudica a análise.

As áreas cobertas por corpos hídricos variaram muito pouco entre 1987 e 2003, mais das vezes em razão da construção de pequenos açudes para uso agrícola e de atividades minerárias de pequena escala. Entre 2003 e 2010, a cobertura de água dobrou em razão da construção da barragem de Brucutu, na região nordeste da área de estudo, fruto da expansão da mina de Brucutu, que ocupou áreas de floresta, cultivo e reflorestamento.

Áreas cobertas por cultivos foram identificadas em toda a área de estudo, em diferentes escalas, e representam em sua grande maioria áreas de pastagem, principalmente às margens do Ribeirão Socorro, onde são observadas grandes e médias manchas mais próximas ao seu talvegue, ao passo que manchas pequenas e esparsas podem ser visualizadas nas regiões mais elevadas da sua bacia; e do Ribeirão Conceição, onde predomina a agricultura familiar, praticada nas localidades de Vigário da Vara, Conceição do Rio Acima, Galego e São Gonçalo do Monte.

A evolução das áreas de cultivo se deu majoritariamente sobre áreas de floresta e, de maneira menos intensa, sobre as áreas de campo. O recuo das áreas de cultivo observado em 2003 se deve principalmente ao avanço das áreas de mineração sobre áreas originalmente utilizadas para pastagens.

As áreas dedicadas a atividades da mineração apresentaram crescimento de 1.652,36% no período analisado, tendo sua área original de 71,6 hectares em 1987 transformada em 1.225 hectares em 2010. Embora tenha apresentado crescimento significativo, a área ocupada pela mineração representa apenas 2,74% da área de estudo, concentrada principalmente na Serra do Tamanduá (Mina de Brucutu) e na Serra do Gongo Soco (Mina de Gongo Soco), e em menor escala na Serra do Maquiné e na Serra da Pedra. Observa-se que a atividade mineradora substituiu regiões de campos e florestas, mas também de cultivos, em sua maioria pastagens.

As áreas habitadas da área de estudo concentraram-se majoritariamente nas porções mais baixas e planas do relevo e ao longo dos principais rios, e de maneira minoritária em pequenas áreas onde se verificam práticas agropastoris. A evolução deste tipo de uso está intimamente ligada ao crescimento populacional urbano do município de Barão de Cocais, cuja expansão acompanha o vale do rio São João e é orientada pelo relevo regional. As demais áreas classificadas como habitadas estão associadas em sua maioria a pequenos núcleos rurais – alguns deles centenários, como o Arraial André do Mato Dentro, a vila do Socorro e o povoado de Conceição do Rio Acima – e em menor proporção às edificações de suporte à atividade mineradora. Ressalte-se que estradas com edificações em suas adjacências também foram classificadas como área habitada.

Quanto às áreas de reflorestamento, foram identificados dois tipos predominantes: áreas de produção em escala industrial, voltada à produção de carvão para atender às indústrias metalúrgicas e siderúrgicas da região do Vale do Aço, e para a produção de celulose, realizada principalmente pela empresa Cenibra, concentradas ao longo do Ribeirão Socorro, na região norte da área de estudo e nas proximidades da cidade de Barão de Cocais; e áreas de produção em escala familiar, realizada nas proximidades dos povoados rurais como alternativa de fonte de renda, localizadas ao longo do Ribeirão Conceição. No segundo caso, o plantio de eucalipto funciona como investimento, ou seja, só é cortado quando o mercado está favorável ou quando há necessidade de complementação da renda por parte das famílias proprietárias. Nas proximidades de André do Mato Dentro, por exemplo, as plantações de eucalipto são utilizadas em associação à apicultura para produção de mel. Esta prática é comum nos povoados da região, que vendem parte da sua produção de maneira artesanal e parte para a empresa Mel Santa Bárbara, localizada no município de Santa Bárbara (MG).

Os reflorestamentos ocupam área maior que a da mineração, porém, seu ritmo de crescimento na área de estudo foi baixo, principalmente porque as áreas utilizadas para reflorestamento geralmente são reutilizadas conforme a capacidade de recuperação do solo. Apesar disso, as áreas mais utilizadas para expansão do eucalipto foram as de florestas. O decréscimo na atividade de reflorestamento observado no período 2003 a 2010 deve-se muito provavelmente à extração de madeira destas áreas, que foram reclassificadas como áreas de cultivo, uma vez que não há como prever qual será o uso da terra após o corte.

No cômputo geral, de 1987 a 2010, as coberturas de florestas e campos sofreram diminuição de sua área em 15,26% e 1,92%, respectivamente, totalizando perda de 4.500,6 hectares. Os demais temas pesquisados apresentaram crescimento, sendo a água em 117,77%, o cultivo em 26,67%, a mineração em 1.652,36%, o reflorestamento em 4,53% e as áreas habitadas em 132,88%.

Discussão dos Resultados e Conclusão

Conforme observado, a paisagem na Serra do Gandarela está se transformando em razão da expansão das atividades humanas. Foi possível constatar que a cobertura de florestas apresentou perdas em área quase trinta vezes maior que a dos campos. Isto pode ser justificado principalmente pela localização dos campos nas porções mais altas do relevo, com baixa acessibilidade e sobre solos impróprios para agricultura. As florestas, por sua vez, encontram-se nas principais frentes de expansão urbana e rural, e sua fragmentação só pode ser vista como prejudicial à conservação dos ecossistemas regionais. A análise dos mapas demonstra que os pequenos fragmentos florestais próximos às frentes de expansão diversas têm sido mais desmatados para ocupação do que os fragmentos maiores. Ainda assim, é possível vislumbrar uma grande mancha florestal na porção oeste da área de estudo, que se encontra preservada.

No que diz respeito ao avanço dos cultivos na área de estudo, chamou atenção terem apresentado variação positiva no período analisado. O fato de se observar a expansão das áreas de cultivo na Serra do Gandarela se deve muito mais à expansão das áreas de pastagem voltada à pecuária extensiva, conforme relatado, e em menor escala à agricultura familiar praticada na região, incluindo a retirada de lenha. Entretanto, esta expansão, embora lenta, tem contribuído para a fragmentação florestal na região, principalmente a montante do Ribeirão São João e ao longo do Ribeirão Conceição.

As áreas urbanas na Serra do Gandarela aumentaram de maneira mais significativa que os cultivos, impulsionadas principalmente pela expansão urbana de Barão de Cocais, em larga medida apoiada na economia minerária e siderúrgica desenvolvida na região. Ali, a dinâmica de crescimento da cidade é ordenada pelo relevo acidentado em que a cidade se insere, e segue o eixo viário (MG 436) que conecta grandes centros funcionais, como Belo Horizonte, João Monlevade e Itabira. Outra frente de expansão está localizada ao longo do Ribeirão São João, oriunda do incremento dos cultivos que estão fomentando o surgimento de pequenos núcleos rurais.

A mineração, por sua vez, foi a atividade que apresentou maior crescimento relativo no período, conforme demonstrado, e, ao contrário do avanço do cultivo na região, teve forte influência internacional. O fato de as concessões de lavra na região serem voltadas à exploração de ferro e ouro – e, portanto, localizadas sobre as formações ferríferas – põe em risco a vegetação de campo rupestre sobre canga presente na região, já bastante degradada em outras áreas do Quadrilátero Ferrífero.

As frentes de reflorestamento apresentaram crescimento em área de 4,53% no período analisado, resultante das frentes de expansão dos cultivos de eucalipto no vale do Rio Piracicaba, voltadas principalmente à produção de carvão e celulose. Conforme relatado, estas frentes de expansão podem ser visualizadas nas bordas sul e norte da área de estudo, próximo aos acessos. Há também o eucalipto cultivado em caráter familiar, em escala menor e, em comparação ao primeiro, de impacto pouco representativo na serra.

É possível dizer, portanto, que as transformações na Serra do Gandarela seguem a tendência de reprodução dos anseios siderúrgicos e minerários tradicionais do estado de Minas Gerais, visualizados na instalação de minas, indústrias siderúrgicas e áreas de reflorestamento para matéria-prima das indústrias siderúrgica e de celulose. A área contém um dos maiores remanescentes florestais do Quadrilátero Ferrífero, que conserva grande diversidade geocológica e representa tanto uma fronteira a ser transposta pelos anseios econômicos, quanto uma área a ser protegida destes mesmos anseios, já que é perceptível a tendência de substituição das florestas por usos diversos de maneira indiscriminada na região.

Agradecimentos

Agradecemos o apoio financeiro da Fundação de Amparo à Pesquisa (FAPEMIG).

Referências Bibliográficas

- ANDERSON, J. R.; HARDY, E. E.; ROACH, J. T.; WITMER, R. E. A land use and land cover classification system for use with remote sensor data. *U.S. Geol. Survey Prof. Paper*, Sioux Falls (EUA), n. 964, 1976. 28 p.
- BAKKER, M. M.; VELDKAMP, A. Modelling land change: the issue of use and cover in wide-scale applications. *Journal of Land Use Science*, Reino Unido, v. 3, n. 4, p. 203-213, 2008.
- BRIASSOULIS, H. Analysis of land use change: theoretical and modeling approaches. In: LOVERIDGE, S. (Ed.). *The webbook of Regional Science* (www.rri.wvu.edu/regscweb.htm). Regional Research Institute, West Virginia University, Morgantown, Virginia (EUA), 2000. Disponível em: <http://www.rri.wvu.edu/WebBook/Briassoulis/contents.htm>.
- CHAVEZ JR., P. S. An improved dark-object subtraction technique for atmospheric scattering correction of multispectral data. *Remote Sensing of Environment*, U.S. Geological Survey, Flagstaff, Arizona (EUA), v. 24, p. 459-479, 1988.
- _____. Image-based atmospheric corrections – revisited and improved. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, U.S. Geological Survey, Flagstaff, Arizona (EUA), v. 62, p. 1025-1036, 1996.
- FISHER, P. F.; COMBER, A. J.; WADSWORTH, R. A. Cap. 6 - Land Use and Land Cover: Contradiction or Complement. In: FISHER, P. F.; UNWIN, D. (Ed.). *Re-Presenting GIS*. Nova Jersey (EUA): Ed. Wiley, Hoboken, v. único, p. 85-98, 2005.
- FONSECA, L. M. G. *Processamento digital de imagens*. Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), São José dos Campos (SP), v. único, 2000. 105 p.
- GONTIJO, N. M. *Análise da expansão das áreas minerárias de ferro na segunda metade do século XX e suas implicações ambientais*. Monografia – IGC/UFMG, Belo Horizonte, 2010.
- IBGE. *Censo Demográfico de 2010*.
- IEPHA. *Projeto Ruínas de Gongo Soco*. Relatório Final das Pesquisas Histórica e Arqueológica, v. I, Barão de Cocais/Sede (MG), 1995.
- LAMOUNIER, W. L.; SALGADO, A. A. R.; CARVALHO, V. L. M.; MARENT, B. R. As Correlações entre Geologia e Distribuição da Cobertura Vegetal e Uso do Solo na Serra do Gandarela, Quadrilátero Ferrífero-MG. *Revista Geografias*, IGC-UFMG, Belo Horizonte, v. 6, n. 1, p. 152-165, jan./jun. 2010.
- MARENT, B. R.; LAMOUNIER, W. L.; GONTIJO, B. M. Conflitos ambientais na Serra do Gandarela, Quadrilátero Ferrífero - MG: mineração x preservação. *Revista Geografias*, IGC-UFMG, Belo Horizonte, v. 7, p. 99-113, 2011.
- MELO, I. D. F.; PACHECO, A. P. Aspectos da Correção Geométrica das Imagens Orbitais. In: I SIMPÓSIO DE CIÊNCIAS GEODÉSICAS E TECNOLOGIAS DA GEOINFORMAÇÃO, 2004, Recife. *I Simpósio de Ciências Geodésicas e Tecnologias da Geoinformação*, Recife, 2004.
- MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE (MMA). *Áreas Prioritárias para conservação, uso sustentável e repartição de benefícios da biodiversidade brasileira atualização*: Portaria MMA n° 9, de 23 de janeiro de 2007. Brasília. Disponível em: <http://www.mma.gov.br/estruturas/chm/_arquivos/biodiversidade31.pdf>. Acesso em: dez. 2013.
- NAGENDRA, H.; MUNROEB, D.; SOUTHWORTH, J. From pattern to process: landscape fragmentation and the analysis of land use/land cover change. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, Los Angeles, v. 101, ed. 2-3, p. 111-115, 2004.
- POLIDORIO, A. M.; IMAI, N. N.; FRANCO, C.; TOMMASELLI, A. M. G.; GALO, M. L. B. T. Correção radiométrica de imagens multiespectrais CBERS e Landsat ETM usando atributos de reflectância e de cor. In: XII SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 2005, Goiânia, GO. *Anais...* São José dos Campos (SP): INPE, 2005, v. único, p. 4241-4248.