

## **Estudo de evolução temporal da paisagem do Quadrilátero Ferrífero através de classificação de imagens de satélite**

Débora Veridiana Brier Leite<sup>1,2</sup>

Ana Clara Mourão Moura<sup>1,3</sup>

Danilo Marques de Magalhães<sup>4</sup>

<sup>1</sup>Universidade Federal de Minas Gerais – UFMG

Escola de Arquitetura

Rua Paraíba 697, Savassi, Belo Horizonte – MG, Brasil - CEP 31330-140

<sup>2</sup>deborabrier@hotmail.com

<sup>3</sup>anaclara@ufmg.br

<sup>4</sup> Universidade Federal de Minas Gerais – UFMG

Instituto de Geociências

Av Antônio Carlos 6627, Pampulha, Belo Horizonte – MG, Brasil - CEP 31270-901

danzetrindade@yahoo.com.br

**Abstract.** The Quadrilátero Ferrífero (QF) is located in the state of Minas Gerais, in the central-south and covers an area of approximately 7000 km<sup>2</sup>. The QF has various sums as geological, historical, tourist, economic, and other geoscience. For these reasons, and the ease of access and location, the region has become very important teaching / education. Such considerations have led to the QF was chosen as the object of analysis in this work. The general objective was to identify the main changes that occurred in the urban landscape and environmental do Quadrilátero Ferrífero based on monitoring of spatial changes of different times, sorting and processing of Landsat images in SPRING software. Specifically, we sought to distinguish which and how many there are areas where expansion of land use by humans. The processing of the images went through georeferencing correction to achieve a standard error compatible with the scale of work, radiometric correction between scenes, since the mosaic work required with three scenes, radiometric correction between different dates. Next were the segmentation and classification of images. Subsequently, they were the transformations of tutoring for the classes of dense scrub and disturbed areas. The mapping presented showed to contribute with several other students and researchers in the region to identify priorities for study, since it identifies areas, shows what happened to them, and generates quantitative data where there were major changes in the landscape of QF.

**Palavras-chave:** Image classification, landscape evolution, Quadrilátero Ferrífero, classificação de imagens, evolução da paisagem, Quadrilátero Ferrífero.

### **1.Introdução e fundamentação**

A paisagem urbana e ambiental envolve uma rede complexa e dinâmica de variáveis que sofrem constantemente alterações. Diante deste quadro para conhecer, gerenciar e manipular essas inúmeras variáveis e mudanças que ocorrem surge a necessidade de ferramentas tecnológicas de alto nível e de metodologias específicas que consigam atender às novas demandas e necessidades atuais. Desse modo as geotecnologias desempenham um papel fundamental e facilitador de tomadas de decisões de várias atividades humanas que intervêm no ambiente urbano ambiental. Acreditamos que o uso do geoprocessamento no planejamento urbano, para a construção, interpretação e simulação de cenários sem dúvida fará parte cada vez mais das políticas ambientais e urbanas deste século.

Com base neste pensamento, o objetivo principal deste trabalho é promover estudos em técnicas e procedimentos metodológicos de aplicações do geoprocessamento que sirvam de apoio ao entendimento e análise das transformações que ocorreram na paisagem urbana e

ambiental do Quadrilátero Ferrífero baseado na monitoria de transformações espaciais de diferentes épocas, através de classificação e tratamento de imagens LandSat no software SPRING. Especificamente, buscou-se a partir desse mapeamento, distinguir quais e quantas são as áreas onde ocorreu expansão do uso solo pela ação humana, e concomitantemente, levantar a informação do quanto e onde a vegetação está se modificando com a ação antrópica. Especificamente, buscou-se melhorar diretamente a qualidade do ensino da graduação principalmente nos cursos de Geografia, Arquitetura e Urbanismo e Geologia onde disciplinas de Topografia e Cartografia são obrigatórias; apoiar docentes e alunos cujas áreas de interesse e/ou atuação envolvam necessariamente dados relativos à área do Quadrilátero Ferrífero; promover integração do tripé ensino, pesquisa e extensão nas áreas que lidam com informações sobre o Quadrilátero Ferrífero.

Espera-se que este seja um mapeamento que auxilie na identificação de eixos de estudos prioritários em diversas áreas tais como a gestão do patrimônio paisagístico, planejamento e gestão municipal, gestão de mineração, turismo e meio ambiente.

A escolha do QF justifica-se por este representar um valor inestimável para toda a comunidade envolvente. É um importante patrimônio cultural para seu povo e faz parte da sua identidade cultural e histórica e a complexidade apresentada por sua paisagem merece ser destacada e favorecida pela riqueza das ferramentas das geotecnologias.

## **2.Importância do Quadrilátero Ferrífero**

O Quadrilátero Ferrífero (QF) está localizado no estado de Minas Gerais, na porção centro-sudeste. De uma forma mais precisa sua área tem como limite os vértices: a nordeste, a cidade de Itabira, a noroeste de Itaúna, a sudeste Mariana e a sudoeste a cidade de Congonhas. Dentro deste limite, o QF envolve cidades importantes como a capital do estado (Belo Horizonte), Nova Lima, Ouro Preto, Sabará, Itabirito e outras. Seu limite pelas serras se dá ao norte pela Serra do Curral, a leste pela Serra do Caraça e pela ponta sul da Serra do Espinhaço, à oeste pela Serra da Moeda e à sul pela Serra de Ouro Branco. O Quadrilátero Ferrífero ocupa uma área de aproximadamente 7000 Km<sup>2</sup>.

O Quadrilátero Ferrífero possui diversas importâncias que valem a pena ressaltar. Possui importância geológica por se tratar de uma região com conformações geológicas do período Pré-cambriano, possui importância econômica para o Brasil desde o período colonial, onde nesta área se desenvolvia atividades de extração de recursos minerais, principalmente o ouro. Atualmente, a história da mineração no QF é de grande valor econômico para não só Minas Gerais, como também para todo o país, uma vez que é do QF, segundo Spier (2005, *apud* Ruchkys, 2007, p.65), que advém cerca de 60% da produção de minério de ferro brasileira, um dos principais produtos da exportação do Brasil.

A importância turística da região está ligada a diversos fatores. Um deles é devido ao grande patrimônio natural, presente em diversas áreas protegidas de parques, como grutas, cachoeiras, rios, formações rochosas, vegetação do cerrado, campos rupestres e outros. Também estão inseridos no QF, o Circuito do Ouro e a Estrada Real, importantes patrimônios culturais que guardam registros de fatos relevantes da história.

O valor geocientífico do QF está expresso na quantidade de estudos realizados por importantes estudiosos do mundo todo, desde o século XIX, pois é possuidor de diversas riquezas e conformações peculiares desta região. Até hoje, esta desperta interesse de pesquisadores em variados tipos de assunto. Por este mesmo motivo, e pela facilidade de acesso e localização, a região também se tornou de grande importância didático/educativa.

É um laboratório para as mais diversas disciplinas da geociência como a geologia, a geografia, engenharia de minas e outras, uma vez que os estudantes podem realizar trabalhos em campo e observar inúmeros fenômenos que aprenderam em teoria, na prática.

### 3. Metodologia e resultados

Para comparar a evolução da paisagem do QF, elaboramos mapas de uso do solo a partir de imagens Landsat 5 TM de 1989 e de 2009, disponibilizadas gratuitamente pelo INPE (Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais). Essas imagens, que possuem uma resolução espacial de 30 metros, são comumente utilizadas para identificar a presença de cobertura vegetal e/ou monitorar desmatamentos. A vantagem de se classificar o uso do solo de uma região a partir de imagens de satélite está, sobretudo, na grande área de abrangência das imagens somada à agilidade, à economia e à obtenção de informações sobre locais muitas vezes inacessíveis.

As técnicas de sensoriamento remoto permitem obter uma visão espacial e temporal e facilitam o mapeamento, a atualização das informações e a compreensão dos pontos críticos de vulnerabilidade das interações [natureza]/atividades humanas, subsidiando decisões e planos de gestão ambiental (SANTOS, 2005. p.3)

A seguir detalharemos as etapas da metodologia deste trabalho e apresentaremos paralelamente os mapas gerados que são o resultado deste trabalho:

#### 3.1 Classificação de Imagens de Satélite no Spring 4.1

O tratamento das imagens passou por correção geométrica, ou seja, foi necessário fazer o georreferenciamento das mesmas, pois estavam deslocadas no espaço. Esse procedimento de ajuste espacial foi imprescindível para se elaborar uma análise verdadeira e atingir um padrão de erro compatível com a escala de trabalho. Para tanto, trabalhamos como Sestini e Florezano (2004) e Carvalho (2010) usando o polinômio do primeiro grau e adotando encontros de rede de drenagem como pontos de controle para ajustar as imagens ao seu local no espaço. Após este ajuste, testamos composições coloridas que destacassem as feições de interesse com base na resposta espectral dos alvos estudados (Figura 1). E, de acordo com Rocha (2000), adotamos a composição colorida em falsa cor das bandas 3, 4 e 5 (BGR), respectivamente, pois essa evidencia os limites entre solo exposto, cursos d'água e vegetação.

Em seguida foram realizadas correções radiométricas entre as cenas, uma vez que o mosaico de toda a área do Quadrilátero Ferrífero exigiu o trabalho com três cenas, e entre as diferentes datas, uma vez que o objetivo era a comparação das transformações causadas pela ação antrópica nos últimos 20 anos. A correção radiométrica é necessária para que as bandas equivalentes das diferentes imagens fossem elevadas a um mesmo padrão de tons de cinza dos pixels. Dessa maneira geramos a estatística da imagem e, assim como Carvalho (2010), os valores encontrados foram utilizados na operação aritmética  $Y = ax + b$ , onde  
 $a = \text{Desvio Padrão de referência} / \text{Desvio Padrão da banda da imagem a ser ajustada}$   
 $b = \text{Média de referência} - (A * \text{Média da banda da imagem a ser ajustada})$   
 $x = \text{imagem de entrada (mais escura)}$

Para o cálculo do *Ganho* ( $a$ ) e do *Offset* ( $b$ ), utilizou-se como referência os valores de 127 para a média e de 45 para o desvio padrão. O Valor da média de referência (127) é o

valor utilizado pelos técnicos do INPE ao trabalhar com LandSat. Já o valor de Desvio Padrão (45) foi selecionado por apresentar os melhores resultados para as imagens, uma vez que outros valores foram testados, mas apresentados resultados não satisfatórios.

Com as imagens georreferenciadas e equalizadas o próximo passo foi realizar a segmentação das imagens. Segundo Carvalho(2010), “a segmentação da imagem baseia-se em agrupar os pixels que apresentam comportamento espectral semelhante, ou seja, em identificar pixels vizinhos com valores de refletância semelhantes, o que resulta em uma pré-classificação.”

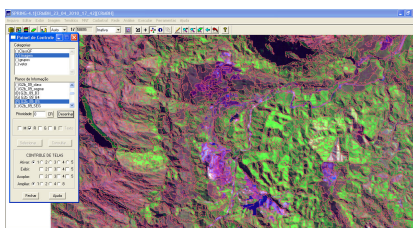


Figura 1:Segmentação das áreas de pixels similares

A segmentação é naturalmente um processo que exige muito da máquina que se trabalha e conseqüentemente quanto maior a área de estudo, mais tempo será preciso para o computador junto ao software realizar esta tarefa. Nesse sentido, tivemos o cuidado de selecionar máquinas com ótimas configurações de hardware no que tange a velocidade do processador e quantidade de memória para o presente trabalho. Ainda assim esta etapa foi a mais demorada da metodologia, dado ao tamanho do banco de dados da área de estudo. Muitas foram as falhas em tentar classificar todo o QF de uma só vez. A solução foi fragmentar a região em 8 grupos, agrupando cerca de 5 a 8 municípios por cada grupo, dependendo da extensão territorial dos mesmos. Dessa maneira, recomendamos trabalhar com recortes máximos de aproximadamente 785 m<sup>2</sup>, para que o software seja capaz de realizar a tarefa sem travamento durante a execução, facilitando inclusive a etapa seguinte de classificação das imagens, que também é um processo trabalhoso para o software. Posteriormente verificamos que somente o desmembramento da região não era suficiente, pois o software acusava “falta de memória”. Diante de vários testes realizados, descobrimos que é preciso além da divisão em grupos, excluir todas as imagens do banco de dados no SPRING que não sejam relevantes no momento da segmentação, suprimindo as mesmas, para que o software dê prosseguimento normal às atividades. Recomendamos fazer back up do banco de dados antes da supressão ou limpeza das imagens desnecessárias para esta etapa. Para a divisão das áreas em grupos, foi necessário criar retângulos de envolvimento de cada grupo de municípios pela ferramenta “recortar por plano de informação”. Na continuação desta etapa, com o QF dividido em grupos, tornamos a segmentar cada grupo por vez, considerando uma variação de até 15 tons de cinza em cada segmento e indicando 30 metros para área do píxel.

Após a segmentação, passamos a coletar amostras da própria imagem do que seriam as tipologias que desejávamos classificar. Para o objetivo proposto neste trabalho, foram escolhidas cinco classes principais: área antropizada, água ou sombra, solo exposto, vegetação arbustiva a densa e vegetação rasteira (gramíneas, campo rupestre). Nesta etapa verificou-se que a imagem de LandSat realiza uma melhor classificação para a classe de “vegetação densa”, pois foi onde o software teve menor confusão possível. Já para a classe “área antropizada”, a LandSat não teve o mesmo excelente desempenho, pois esta classe possui muita variabilidade espectral. Isso ocorre devido aos diversos materiais que a

compõe como, por exemplo, os telhados das edificações. Assim, a reflectância desses materiais causam grande confusão nas imagens principalmente em relação a classe “vegetação rasteira” que possui semelhança de tonalidade dos pixels. Logo ressaltamos que para estudo de expansão urbana, esta classe é o suficiente para realizar análises apenas mais genéricas das transformações ocorridas por parte de ação antrópica. Para finalizar esta etapa foi feito o mosaico (agrupamento) das imagens classificadas gerando o mapa de uso do solo de toda a área do QF para os anos de 1989 e 2009.

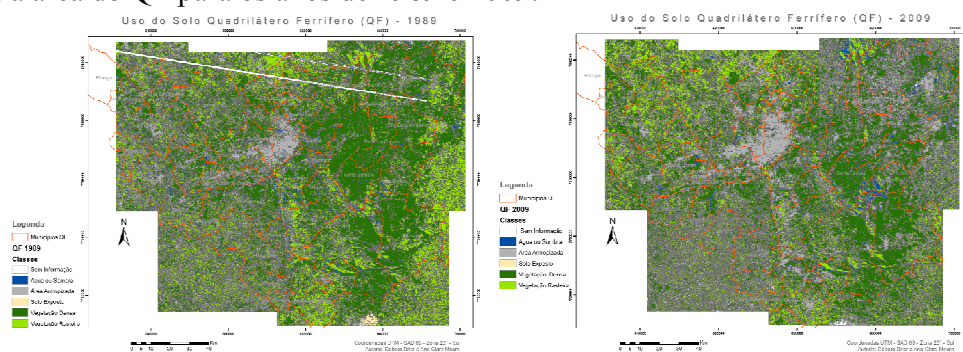


Figura 2 – Mapa de Uso do Solo do QF de 1989 à esquerda e de 2009 à direita.

O próximo passo foi realizarmos os procedimentos de monitoria no software Saga-UFRJ através do resultado da classificação para o estudo da evolução temporal.

### 3.2 Monitoria no Saga-UFRJ

A fim de interpretarmos a evolução temporal do uso do solo – de 1987 para 2009, geramos uma comparação quantitativa desses dados. Para tanto, o mapa de uso do solo de 1987 e 2009 – gerada pela classificação automática – foram convertidas para Raster no software ArcGIS 9.2. Os novos formatos foram submetidos à Monitoria das áreas de vegetação arbustiva a densa ou antropizada no software Saga-UFRJ. Segundo Xavier-da-Silva(2001) “o apoio à decisão sobre problemas ambientais não pode basear-se apenas na informação sobre ocorrências territoriais; esta é a dimensão espacial do fenômeno ambiental. É preciso obter conhecimento sobre a evolução, ou seja, sobre a variação, no tempo, dos fenômenos territorialmente expressos(...) Portanto a monitoria consiste no levantamento exaustivo das alterações ambientais ocorridas em uma determinada situação ambiental”. Com base neste pensamento, é que realizamos dois tipos de monitorias: a simples e a múltipla, para a análise do que ocorreu ao longo do tempo para as duas classes mais interessadas para o proposto trabalhado: as áreas de vegetação arbustiva a densa e as áreas antropizadas do QF. É importante ressaltar que o conceito adotado para as áreas antropizadas utilizado neste trabalho são aquelas áreas onde não só tenham ocupação humana como também aquelas que sofreram qualquer tipo de intervenção antrópica, não sendo, portanto, consideradas nesta classe somente as áreas de ocupação urbana propriamente dita.

#### 3.2.1 Monitoria Simples

Novamente, o autor Xavier-da-Silva(2001) elucida que a conceituação da monitoria simples consiste na “definição de alterações de localização e extensão de características ambientais determinadas, ao longo de um período definido.” Esta monitoria nos permitiu definir os locais onde as características da classe que se monitorou não sofreram alterações,

ou seja, não era e continua não sendo o que se analisa ou era e continua sendo; os locais onde a característica passou a existir, ou seja, era e passou a não ser; aqueles onde a característica deixou de tornou-se o que se analisa, ou seja, não era e passou a ser. Desse modo Xavier-da-Silva relata que o exame destas alterações permitem de um certo modo verificarmos “o sentido e a velocidade de progressão do fenômeno no espaço geográfico”(2001).

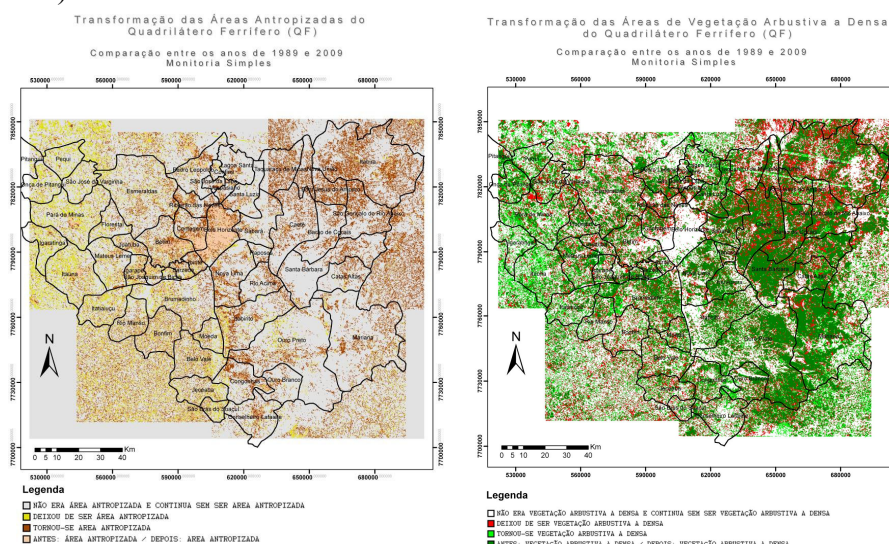


Figura 3: Monitoria Simples da Classe “Área Antropizada e da Classe Vegetação Arbustiva a Densa”.

Monitoria Simples	Pixel	Total (em Ha)
Não era Área Antropizada e continua não sendo	30872871	1925429457
DEIXOU DE SER ÁREA ANTROPIZADA	2990606	184975,3
TORNOU-SE ÁREA ANTROPIZADA	6633664	413604
ERA ÁREA ANTROPIZADA e continua sendo	2099667	131229,1875

Monitoria Simples	Pixel	Total (em Ha)
Não era Veg. Arbustiva a densa e continua não sendo	19019773	1188735,81
DEIXOU DE SER Veg. Arbustiva a Densa	675714	423482,13
TORNOU-SE Veg. Arbustiva a Densa	4788896	299306
ERA Veg. Arbustiva a Densa e continua sendo	11979425	748714,06

Figura 4: Dados quantitativos da Monitoria Simples realizada no SAGA-UFRJ – à esquerda da “Área Antropizada” e à direita da “Vegetação Arbustiva a Densa”.

### 3.2.2 Monitoria Múltipla (Tornou-se e Deixou de ser)

Uma vez que foram gerados os mapas resultantes da monitoria simples sobre as áreas em que uma característica deixou de existir e os locais onde uma característica passou a existir (tornou-se) podem surgir o interesse na obtenção de informação sobre o destino dado à área que sofreu alteração. Então este tipo de monitoria permite dentro de todas as classes do mapa base de uso do solo gerado, tomar conhecimento sobre o que cada classe deixou de ser, e o que cada classe passou a ser. Então geramos as duas monitorias múltiplas para as duas classes: vegetação arbustiva a densa e área antropizada, resultando em mais quatro mapas e quatro tabelas que não serão colocadas aqui devido a limitação de espaço do artigo.

Após as monitorias realizadas, a última etapa da metodologia do trabalho foi tratar graficamente os resultados obtidos e posteriormente analisá-los.

## 4. Análises e discussões

A interpretação dos mapas geram rapidamente visualização de eixos de alterações na paisagem sobre as classes analisadas sendo possível estabelecer que tipos de estudos seriam necessários realizar para dar respostas às mudanças das variáveis investigadas. Por

exemplo, no mapa de 1989(ver figura 2) pode-se perceber uma concentração grande de vegetação densa na porção leste do QF, estendendo-se por uma faixa que vai do município de Caetés até o sul da cidade de Ouro Preto. Há uma predominância de área antropizada no eixo oeste do QF partindo de Belo Horizonte, passando por Contagem, Betim e uma leve concentração também nos municípios de Pará de Minas e Itaúna. A vegetação rasteira está predominantemente no eixo sul, iniciando em Nova Lima até Conselheiro Lafaiete. Porém percebe-se uma pequena concentração bem ao norte, principalmente no norte de Pedro Leopoldo e Lagoa Santa. Quanto ao solo exposto, em 1989 a maior concentração se situava no município de Catas Altas, mais precisamente no local onde se estabelece a Serra do Caraça.

Já no mapa do uso de solo de 2009(ver figura 2), pode-se perceber que houve uma maior retirada na vegetação densa existente no mapa de 1989 no eixo noroeste, podendo atribuir a este fato a ação antrópica atuante nesta região, constatado pelo aumento significativo da mancha urbana nesta área. É nítido também observar que houve um “boom” no crescimento urbano ocorrido em Belo Horizonte e sua região metropolitana ao longo dos vinte anos. Percebe-se que no ano de 2009 a cidade toda já está praticamente tomada pela mancha urbana e percebeu-se que essa expansão se deu no eixo oeste, abrangendo principalmente os municípios de Contagem e Betim. Através de estudos mais profundos sobre a expansão da Região Metropolitana de Belo Horizonte, sabe-se que a causa primeiramente se deu com a criação de importante pólo industrial nestes municípios limítrofes a capital, o que nos ajuda a validar as informações geradas pela classificação por imagens de satélite. Também houve um crescimento urbano na para a região sul do QF no sentido Nova Lima até Conselheiro Lafaiete, destacando que em 1989 esta região tinha uma predominância de vegetação rasteira. Também é sabido por outros estudos que realizamos que essa transformação da paisagem para este eixo sul pode ser explicada pela criação dos condomínios fechados instalados nessas regiões. Em 2009, percebe-se também uma diminuição e até o desaparecimento de represas(vistas na classe água ou sombra) na área de Nova Lima. Uma visível diminuição da Lagoa da Pampulha em Belo Horizonte, que também pode ser validada pelas informações de estudos ambientais realizados na Lagoa sobre a diminuição de sua vazão devido ao assoreamento de resíduos sólidos, etc. Na análise do mapa de uso do solo de 2009, avistamos o surgimento de uma grande represa no município de Brumadinho que em 1989 não existia. Dada a extensão da represa, vale lembrar que esta região é uma área de mineração e que esta tem grandes chances de ter surgido por este motivo. Mas como já dissemos, estas análises devem ser mais bem aprofundadas e aliadas a outras informações. Aqui foi relatada uma breve análise das principais transformações ocorridas na paisagem do Quadrilátero Ferrífero com o propósito de demonstrar alguns eixos temáticos para estudos de qualquer natureza urbana ou ambiental que o mapeamento gerado possibilita identificar. Importante mencionar que estes podem ser feitos em qualquer escala, sendo que a mínima recomendada devido a resolução da imagem LandSat é a escala municipal.

Importante ressaltar que não era de objetivo deste trabalho informar ou interpretar as causas das transformações da paisagem do QF e afirmamos que para tal seja seguramente apontado deve-se realizar análises mais aprofundadas associadas ao cruzamento de outras variáveis de interesse, podendo ser estas históricas, sociais, econômicas, físicos ambientais ou outras. A idéia deste mapeamento foi justamente gerar mais um produto da região do QF que possa servir de apoio para as análises e tomadas de decisão da região. Portanto, sendo este mapeamento será mais bem aproveitado quando no cruzamento de outras informações

da área como a topografia, hidrografia, dados sócios econômicos, rodovias, outros. Por este motivo nos atemos aqui a interpretação das informações geradas apenas por esta classificação.

A metodologia proposta através da classificação de imagens LAnd Sat e monitorias dos dados resultantes da classificação pode ser desenvolvida de modo expedito e simplificado pelas prefeituras municipais que objetivem realizar uma análise geral do município quanto à adequabilidade da ocupação urbana e de seu crescimento. É um roteiro metodológico economicamente sustentável, de baixo custo, pois utiliza dados e softwares gratuitos(livres). A classificação da imagem de satélite do Quadrilátero Ferrífero pode servir de base à análises urbanas e ambientais, pois forneceu uma visão global da área com vistas a dar apoio a aplicações em gestão do seu patrimônio paisagístico, do planejamento e gestão municipal das suas cidades, gestão de mineração, turismo e meio ambiente.

## 5. Conclusão

A coleção de bases e diagnósticos resultantes de análise espacial, assim como de processos de processamento digital de imagens de satélite são de grande valia para estudos ambientais e urbanos. O mapeamento apresentado demonstrou poder contribuir bastante com diversos outros estudantes e pesquisadores da região na identificação de eixos prioritários de estudo, uma vez que aponta as áreas, mostra o que aconteceu com elas, bem como gera dados quantitativos de onde houve maiores transformações na paisagem do QF. Neste sentido pode servir de apoio ao projeto em voga “Quadrilátero 2050” que é de interesse do Estado de Minas Gerais. Além disso, o trabalho pode balizar, que tipo de estudo fazer (qual a orientação o estudo deve seguir), mesmo os fenômenos sendo diretamente relacionados pode-se dar prioridade às causas da retirada da cobertura vegetal, ou quais motivos que influenciaram os eixos expansão urbana de cada municípios, ou dada região do QF. Assim, a descrição do roteiro metodológico e da solução dada para os desafios das técnicas, representa uma etapa de grande importância neste trabalho e servirão de bases para outros pesquisadores que pretendem realizar tipos de estudos similares a este.

## 6. Agradecimentos

Os autores agradecem o apoio da Fapemig e da bolsa de iniciação científica concedida pelo CNPq.

## 7. Referências

- CARVALHO, Grazielle Anjos; MOURA, Ana Clara Mourão UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS. **Análise espacial urbano-sócio-ambiental como subsídio ao planejamento territorial do município de Sabará**. 2010. xii, 133 f., enc.: Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Minas Gerais, Instituto de Geociências.
- ROCHA, Cezar Henrique Barra. *Geoprocessamento: tecnologia transdisciplinar*. Juiz de Fora, MG: Ed. Do Autor, 2000. 220p.
- RUCHKYS, U.A. (2007). Patrimônio geológico e geoconservação no Quadrilátero Ferrífero, Minas Gerais: potencial para a criação de uma geoparque da UNESCO. IGC, UFMG, Belo Horizonte, Tese de Doutorado, 211p.
- SANTOS, Nádia Antônia Pinheiro; *Uma abordagem metodológica para determinar a influência do uso e da cobertura do solo como fonte de poluição difusa na alteração da qualidade da água na Bacia do Rio das Velhas*; Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Minas Gerais, Departamento de Geografia. Belo Horizonte 2005.
- XAVIER DA SILVA, J. Geoprocessamento para análise ambiental. Rio de Janeiro. 228 p.