



THAINÁ GUIMARÃES ROCHA

**ANÁLISE DOS ERROS DE INCLUSÃO EM “HIGH-
RESOLUTION GLOBAL MAPS OF 21ST-CENTURY FOREST
COVER CHANGE” NOS BIOMAS DE MINAS GERAIS**

LAVRAS - MG

2019

THAINÁ GUIMARÃES ROCHA

**ANÁLISE DOS ERROS DE INCLUSÃO EM “HIGH-RESOLUTION GLOBAL MAPS
OF 21ST-CENTURY FOREST COVER CHANGE” NOS BIOMAS DE MINAS
GERAIS**

Monografia apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do Curso de Engenharia Florestal, para a obtenção do título de Bacharel.

Prof. Dr. Fausto Weimar Acerbi Júnior

Orientador

Dra. Eduarda Martiniano de Oliveira Silveira

Coorientadora

LAVRAS - MG

2019

THAINÁ GUIMARÃES ROCHA

**ANÁLISE DOS ERROS DE INCLUSÃO EM “HIGH-RESOLUTION GLOBAL
MAPS OF 21ST-CENTURY FOREST COVER CHANGE” NOS BIOMAS DE MINAS
GERAIS**

**INCLUSION ERROR ANALYSIS IN “HIGH-RESOLUTION GLOBAL MAPS OF
21ST CENTURY FOREST COVER CHANGE” IN MINAS GERAIS BIOMES**

Monografia apresentada à Universidade
Federal de Lavras como parte das exigências
do curso de Engenharia Florestal, para a
obtenção do título de Bacharel.

APROVADA em 19 de junho de 2019.

Prof. Dr. Fausto Weimar Acerbi Júnior - UFLA

Inácio Thomaz Bueno - UFLA

Kalill José Viana da Páscoa – UFLA

Prof. Dr. Fausto Weimar Acerbi Júnior

Orientador

Dra. Eduarda Martiniano de Oliveira Silveira

Coorientadora

LAVRAS–MG

2019

AGRADECIMENTOS

À Universidade Federal de Lavras, em especial ao Departamento de Ciências Florestais, pela oportunidade de aprendizagem.

Ao professor Fausto, por todo apoio e ensinamentos ao longo dos anos. Fazer parte do Laboratório de Geoprocessamento e receber sua orientação foi o ponto alto da minha formação acadêmica.

À Duda, pela paciência e todos os ensinamentos. Aprender com você foi um privilégio.

Aos membros do Laboratório, que direta ou indiretamente contribuíram para a realização do meu trabalho. Em especial, Álvaro, Guilia, Luiza e Rafa, obrigada pela amizade e pelas risadas.

A todos os amigos que ganhei nessa graduação, e que espero levar para o resto da vida. Especialmente à Raquel Pacheco, agradeço a amizade e por se tornar uma das melhores amigas que já tive na vida.

Aos meus pais Solange e Rocha, por todos os sacrifícios, suporte e amor que recebi não só nessa etapa, mas em toda minha vida.

À minha irmã, por estar sempre perto. Evoluímos muito juntas, mas ainda temos muito o que aprender.

Muito obrigada!

RESUMO

Diversos mapeamentos visando analisar perdas em coberturas vegetais são realizados nos dias atuais graças a maior disponibilidade de imagens adquiridas por sensores remotos e aos avanços tecnológicos no processamento e análise dessas imagens. Este estudo teve como objetivo analisar o potencial da detecção de mudanças na cobertura vegetal utilizando a base de dados do Global Forest Change, identificando, quantificando e caracterizando os erros de inclusão nos Biomas do Cerrado, Caatinga e Floresta Atlântica no estado de Minas Gerais, no período de 2007 a 2017. Para isso, realizou-se uma análise utilizando técnicas de interpretação visual numa amostra composta por 5.500 polígonos de mudanças na cobertura do solo de diferentes classes de tamanho. A análise dos resultados revelou altos valores de erros de inclusão, associados aos efeitos da sazonalidade, da definição de “cobertura florestal” utilizada e aos erros de classificação. Assim, pode-se concluir que o uso de mapas globais de mudanças na cobertura vegetal deve ser realizado com cautela em escalas regionais, recomendando-se sempre que possível uma análise prévia das características de cada região e o uso de dados auxiliares.

Palavras-chave: Mapeamento. Monitoramento. Detecção de mudanças. Acurácia da classificação. Biomas.

SUMÁRIO

PRIMEIRA PARTE	6
1 INTRODUÇÃO.....	6
2 REFERENCIAL TEÓRICO	8
2.1 Biomas do estado de Minas Gerais	8
2.2 Desmatamento no Brasil	10
2.3 Detecção de desmatamentos através do sensoriamento remoto	12
2.4 Global Forest Change	15
3 CONSIDERAÇÕES FINAIS	18
REFERÊNCIAS.....	19
SEGUNDA PARTE – ARTIGO	23
ANÁLISE DOS ERROS DE INCLUSÃO EM “HIGH-RESOLUTION GLOBAL MAPS OF 21ST-CENTURY FOREST COVER CHANGE” NOS BIOMAS DO ESTADO DE MINAS GERAIS.....	23
1 Introdução	25
2 Material e Métodos	27
2.1 Área de estudo.....	27
2.2 Base de dados <i>Global Forest Change</i>	28
2.3 Base de dados de referência	28
2.4 Análise de acurácia	29
3 Resultados	30
4 Discussão	33
5 Conclusões	35
Referências	36

PRIMEIRA PARTE

1 INTRODUÇÃO

Os biomas Caatinga, Cerrado e Mata Atlântica ocorrem aproximadamente em 48% do território nacional e cobrem todo o estado de Minas Gerais, com seus 586.522,12 km² de extensão (IBGE, 2019; Parques de Minas Gerais, 2019).

O bioma Caatinga, encontrado numa pequena porção do norte do estado, ocupa apenas 2% do território mineiro. A Caatinga é exclusiva do Brasil, sendo assim, a fauna e flora presentes no bioma não existe em nenhuma outra região do planeta. Em registro, existem aproximadamente 2.200 espécies de plantas, peixes, répteis e anfíbios, aves, mamíferos e abelhas. Estudos revelam elevado número de espécies endêmicas, mas segundo Tabarelli e Vicente (2013), esses números podem estar sendo subestimados, já que boa parte do bioma nunca foi estudado e o restante permanece subamostrado (TABARELLI; VICENTE, 2003).

O Cerrado é o bioma que mais abrange o estado, ocupando cerca de 57% do território. Considerado como *hotspot*, o bioma apresenta a maior diversidade botânica de todas as savanas do mundo (KLINK; MACHADO, 2005) com aproximadamente 160.000 espécies de plantas, fungos e animais. E assim como a Caatinga, apresenta altos níveis de endemismo (RATTER, 1997).

O bioma Mata Atlântica ocorre na região oriental e ocupa 41% do estado. Também considerado como *hotspot*, a Mata Atlântica foi, e ainda é muito fragmentada pela agricultura, plantios de florestas de eucaliptos e pinus e expansões urbanas (RIBEIRO et al., 2011). Apresenta altos níveis de endemismo e abriga aproximadamente 22.000 espécies de plantas, mamíferos, aves, répteis e anfíbios (MITTERMEIER et al., 2004).

A degradação da Caatinga e da Mata Atlântica se iniciou na colonização do Brasil com o desenvolvimento de atividades extrativistas e agrícolas voltadas para a exportação (ALVES; ARAÚJO; NASCIMENTO, 2009; CARDOSO, 2016). Já no Cerrado, a degradação se iniciou apenas na década de 1970, oriundas de atividades agropecuárias (FILHO, 2008). Atualmente estima-se que reste apenas um terço da vegetação nativa no estado de Minas Gerais e por bioma, dentro do estado, estima-se que reste 3,5% da vegetação nativa da Caatinga, 10,4% da vegetação da Mata Atlântica e 19,9% da vegetação nativa do Cerrado (Parques de Minas Gerais, 2019).

O projeto *Global Forest Change* (HANSEN et al., 2013) apresenta a análise e mapeamento das mudanças da cobertura vegetal florestal global a partir do ano 2000, utilizando imagens do satélite *Landsat* de resolução espacial de 30 metros. O mapa gerado por

Hansen e colaboradores gera possibilidades de estudos sobre o desmatamento nas áreas de Cerrado, Caatinga e Mata Atlântica. Existe, porém, a necessidade de validar os dados criados por Hansen e colaboradores, uma vez que, por ser um mapa global, pode não levar em consideração as dinâmicas vegetais dos diferentes biomas em Minas Gerais.

O estudo teve como objetivo analisar o potencial da detecção de mudanças na cobertura vegetal utilizando os dados GFC, identificando, quantificando e caracterizando os erros de inclusão nos Biomas do Cerrado, Caatinga e Floresta Atlântica no estado de Minas Gerais, no período de 2007 a 2017. Além disso, identificar, independente do bioma onde está inserida, qual a classe de uso e cobertura do solo sofre maior pressão antrópica bem como aquelas que mais contribuem para os erros de inclusão.

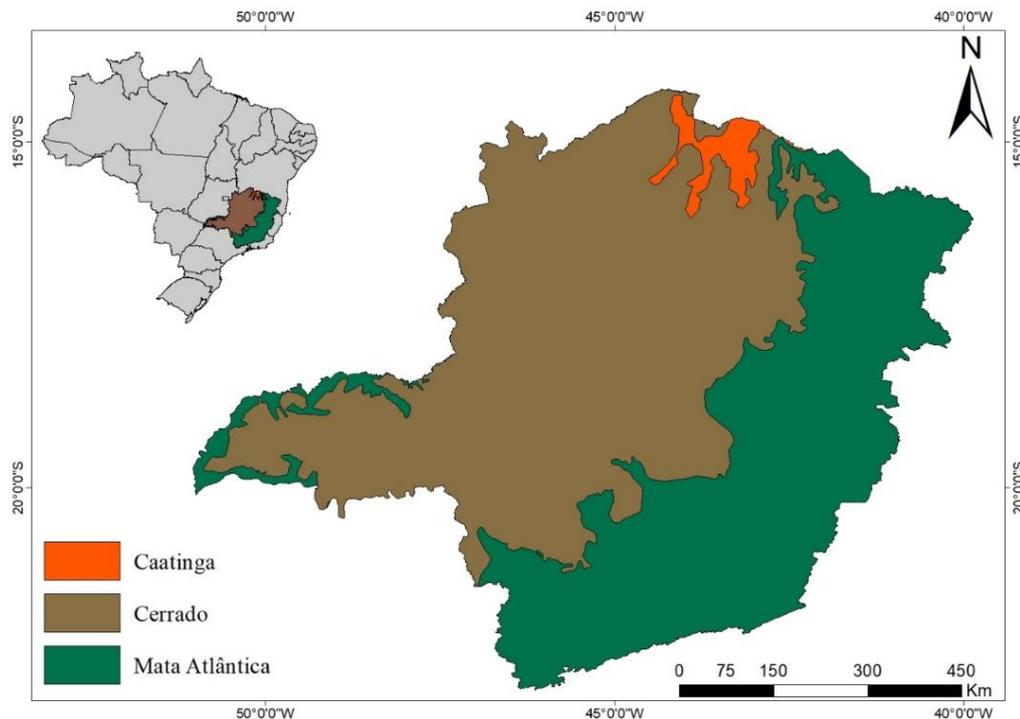
2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 Biomas do estado de Minas Gerais

Minas Gerais, com seus 586.522,12 km², é o quarto maior estado brasileiro em extensão territorial. Paisagens variadas, dadas por peculiaridades edafoclimáticas e diversas formas de relevo, são recobertas por vegetações características, adequadas aos inúmeros ambientes particulares que compõem os três biomas presentes no Estado: a Caatinga, o Cerrado e a Mata Atlântica (Parques de Minas Gerais, 2019).

O bioma Caatinga, limitado ao norte do Estado, abrange apenas cerca de 2% do território mineiro. O bioma Cerrado, situado na região centro-ocidental de Minas Gerais, estende-se por cerca de 57% da extensão territorial. O bioma Mata Atlântica, situada na porção oriental, ocupa cerca de 41% da área do Estado (Figura 1) (Instituto Estadual de Florestas - IEF, 2019). Um estudo desenvolvido pelo Instituto Estadual de Florestas (IEF) em conjunto à Universidade Federal de Lavras (UFLA) no ano de 2005 indicou que restava um terço (33,8%) da cobertura vegetal nativa no Estado, porcentagem essa dividida pelos biomas: Cerrado (19,9%), Mata Atlântica (10,4%) e Caatinga (3,5%) (Parques de Minas Gerais, 2019).

Figura 1 - Localização dos biomas Cerrado, Mata Atlântica e Caatinga no estado de Minas Gerais.



Fonte: Do Autor (2019).

O Cerrado está presente principalmente nas bacias dos rios São Francisco e Jequitinhonha. A época com chuvas e a época seca são bem distintas neste bioma e a vegetação é constituída por gramíneas, arbustos e árvores. Estima-se que existam 160.000 espécies de plantas, fungos e animais no Cerrado, no qual se destacam numericamente os insetos com 90.000 espécies, os fungos com 40.000 espécies e as angiospermas com 10.000 espécies. Além disso, são encontradas também 150 espécies de mamíferos e 550 espécies de aves, sendo algumas completamente endêmicas do bioma (RATTER, 1997).

Na Mata Atlântica a vegetação é densa e perenifólia, e as árvores têm folhas largas e lisas. É comumente encontrado no ecossistema muitas bromélias, cipós, samambaias, orquídeas e líquens. Neste bioma praticamente não ocorre período de seca, uma vez que os índices de precipitação são altos e bem distribuídos ao longo do ano. Apresenta um diversificado mosaico de habitats que abrigam aproximadamente 20.000 espécies de plantas, 263 espécies de mamíferos, 936 espécies de aves, 306 espécies de répteis e 475 espécies de anfíbios, além de apresentar altos níveis de endemismo (MITTERMEIER et al., 2004).

A Caatinga é o único bioma exclusivamente brasileiro e grande parte das espécies de fauna e flora dessa região não é encontrada em nenhum outro lugar do planeta. Já foram registradas 932 espécies de plantas vasculares (GIULIETTI et al., 2004), 187 de abelhas (ZANELLA; MARTINS, 2003), 240 de peixes, com 57% de endemismo (ROSA, 2003), 167 de répteis e anfíbios (RODRIGUES, 2003), 62 famílias e 510 espécies de aves, com cerca de 3% de endemismo (SILVA et al., 2003) e 148 espécies de mamíferos, com aproximadamente 7% de endemismo (OLIVEIRA; GONÇALVES; BONVICINO, 2002). Informações obtidas a partir de inventários incompletos mostram que o nível de endemismo também é bastante alto para as espécies vegetais. Existem 18 gêneros e 318 espécies endêmicas considerando somente as plantas lenhosas e as suculentas (GARIGLIO et al., 2010).

Esses valores sobre a biodiversidade da Caatinga são muito mais altos que os publicados anteriormente (SILVA et al., 2004) e são iguais ou mais altos que aqueles registrados para outras florestas secas do mundo (LEAL; JOSÉ; CARDOSO DA SILVA, 2003). Mas o número real de espécies na Caatinga é, provavelmente, ainda maior, uma vez que 41% da região nunca foi investigada e 80% permanece subamostrada (TABARELLI; VICENTE, 2003). Sendo o bioma menos conhecido do país e o menos valorizado, devido ao avanço do desmatamento descontrolado, corre grande risco de não ser estudado e identificado (Instituto Estadual de Florestas - IEF, 2019; PERES, 2019).

2.2 Desmatamento no Brasil

Na época do descobrimento do Brasil, a Mata Atlântica ocupava uma área equivalente a 1.315.460 km², mas foi nessa época que o processo de degradação começou. Devido a sua localização, ocupando boa parte da costa do país, sofreu influências dos ciclos econômicos, além de sofrer impactos relacionados à urbanização e industrialização, lembrando que é no território do bioma Mata Atlântica que são encontrados os grandes polos industriais, responsáveis por cerca de 80% do PIB do Brasil (CARDOSO, 2016).

O primeiro grande impacto na Mata Atlântica foi a superexploração do pau-brasil (*Paubrasilia echinata*), sendo quase extinto da região no primeiro século de colonização. Obviamente, não foi explorado apenas o pau-brasil. Outras espécies também foram exploradas demasiadamente, colocando-as inclusive em risco de extinção, como: araucária, jequitibá, braúma-preta, canela-preta, entre outras (Lista Oficial da Flora Ameaçada de Extinção, 1992).

Seguindo a linha do tempo, o próximo grande impacto foi causado pelos extensos plantios de cana de açúcar, principalmente nos estados da região Nordeste e mais tarde, na região Sudeste. A partir do século XVIII, a devastação foi causada pela exploração de minérios e pela pecuária, desta vez, explorando mais o interior do país em busca de áreas que favoreciam as atividades, desflorestando regiões para abertura de jazidas e realizando queimadas para criação de pastagens com espécies exóticas de gramíneas.

Após o ciclo do ouro, o algodão, conhecido na época da Revolução Industrial como ouro branco, passou a ser o principal produto de exportação. Para suprir a demanda, principalmente da Inglaterra, vários estados como Pernambuco, Bahia, São Paulo e Ceará desmataram vastas áreas florestais para o cultivo do algodão. O ciclo do café, no século XIX, foi responsável por sérias transformações na região do Vale do Paraíba, com a instalação de grandes fazendas voltadas para o monocultivo do café. Os fazendeiros acreditavam que o solo para plantio deveria ser coberto por florestas “virgens”, desta forma, as florestas primárias foram quase completamente derrubadas. E, após 15 ou 20 anos, as plantações eram abandonadas e estabelecidas em outros locais devido à exaustão do solo (SILVA, 2002).

Em consequência de todos esses ciclos que passaram pela Mata Atlântica, o aumento demográfico foi inevitável, e junto com ele houve expansão das cidades, construções de estradas e portos, industrialização e a poluição decorrente desses fatores (CARDOSO, 2016).

Atualmente, estima-se que reste apenas 12,4% da floresta que existia originalmente. Dados obtidos a partir do programa SOS Mata Atlântica mostram que o total desmatado, em

todos os 17 estados da Mata Atlântica no período de 2016-2017, foi de 12.562 mil hectares, apresentando uma redução de 56,8% na taxa de desmatamento quando comparado com a análise realizada no período de 2015-2016 (29.075 mil hectares). Desses 12,562 mil hectares desmatados no período de 2016-2017, Minas Gerais foi responsável por 25% desse total, desmatando 3.128 mil hectares. Mesmo com uma contribuição ainda alta, houve uma redução de 58% na taxa de desmatamento do estado quando comparado com o período de 2015-2016 (7.410 mil hectares) (HIROTA et al., 2018).

O Cerrado, permaneceu praticamente intocado até a década de 1970. A região não apresentava potencial para produção agrícola em consequência de solos ácidos (FILHO, 2008). Até então, a pecuária dominava a região, mas usando espécies nativas de gramíneas. A partir de 1970, a agricultura em solos de cerrados começou a desenvolver-se e em 1985, correspondia a 25% da produção nacional de soja, 16% da produção de milho e 8,4% da de café. Ao final desse mesmo período, o rebanho bovino da região atingiu cerca de 30% do efetivo nacional, 10 pontos percentuais acima da marca de 1970 (CUNHA et al., 1993). A introdução de gramíneas exóticas como forrageiras para a criação de gado alavancou ainda mais a pecuária na região, e o Cerrado tornou-se a mais importante região produtora de carne bovina no país (JÚNIOR; VILELA, 2002; ZANIN, 2009).

Os principais danos ambientais do Cerrado estão associados a fatores como, a fragmentação dos habitats, extinção da diversidade biológica, introdução de espécies exóticas, erosão e compactação dos solos, poluição de mananciais por fertilizantes, defensivos agrícolas, dentre outros, incluindo a deterioração de ecossistemas, mudanças nos regimes de queimadas, problemas quanto ao ciclo do carbono e, possivelmente, modificações climáticas regionais (KLINK; MACHADO, 2005). Estima-se que desde 2001 até 2018, o Cerrado tenha perdido cerca de 277 milhões de hectares e Minas Gerais tenha contribuído com 16% desse valor (44.329 milhões de hectares). Analisando somente os dados do ano de 2018, o Cerrado perdeu 6.6 milhões de hectares, sendo aproximadamente 471 mil hectares só no estado de Minas Gerais (Terrabrasilis, 2019).

A degradação da Caatinga se iniciou na época de colonização da Brasil. A ocupação litorânea e do interior do Nordeste levou à um desenvolvimento de atividades agrícolas e extrativistas visando a exportação. No século XVII grandes fazendas foram estabelecidas, introduzindo o gado na região. Nos dias de hoje, existe na região extrativismo de minério e pecuária extensiva, a última sendo a principal atividade dentro do bioma. De modo geral, essas atividades são acompanhadas de desmatamentos descomedidos gerando sérias implicações como: compactação dos solos, comprometimento de recursos hídricos, erosão,

redução da biodiversidade, entre outros (ALVES; ARAÚJO; NASCIMENTO, 2009). Estima-se que 80% da vegetação são sucessionais, ou seja, modificada de sua condição inicial (ARAÚJO FILHO; CARVALHO, 1997).

Atualmente não existe um programa oficial de detecção e monitoramento de desmatamentos para o bioma Caatinga. Os últimos dados oficiais publicados, oriundos do Projeto de Monitoramento do Desmatamento nos Biomas Brasileiros mostra que houve uma perda de 179 milhões de hectares de área nativa entre 2002 e 2009.

2.3 Detecção de desmatamentos através do sensoriamento remoto

Estimar mudanças na cobertura florestal e desmatamentos seria um grande desafio sem o auxílio do sensoriamento remoto, especialmente em regiões remotas. Nesse cenário global, o desmatamento é um problema mundial que explora a diversidade biológica, causando diversos problemas ambientais. Com a chegada de vários satélites de sensoriamento remoto ao longo dos anos, surgiu a oportunidade de usar essas ferramentas para lidar com esses problemas (KUMAR, 2011).

Diversos estudos são atualmente realizados no Brasil visando otimizar a detecção de desmatamentos nos Biomas, sendo a maioria para a Amazônia e alguns para o Cerrado. Áreas que possuem grande variações altimétricas e edáfoclimáticas como irradiação, precipitação, temperatura do ar e do solo, declividade, nutrientes, pressão do vento e distúrbios meteorológicos ocasionam uma alta heterogeneidade da paisagem e da vegetação (USTIN et al., 2004). Todos esses fatores dificultam a detecção das mudanças na cobertura do solo e o monitoramento dos biomas do estado de Minas Gerais por causa da extensão, da dinâmica acentuada da ocupação humana e da sazonalidade que as vegetações naturais apresentam.

Estudos de vegetação por imagens de satélite devem considerar duas transformações espectrais particularmente importantes: os índices de vegetação, que são amplamente utilizados como intermediários na obtenção de parâmetros biofísicos e no acompanhamento da sazonalidade e dinâmica fenológica; e os modelos de mistura espectral que, decompõem o sinal do pixel em seus vários constituintes (solos, vegetação, água, entre outros), facilitando o mapeamento de classes e variações fitofisionômicas, assim como importantes fatores abióticos (FERREIRA; FERREIRA; FERREIRA, 2008).

O Projeto de Monitoramento do Desmatamento dos Biomas Brasileiros por Satélite (PMDBBS), criado em 2008 a partir de dados remanescentes do Projeto de Conservação e

Utilização Sustentável da Diversidade Biológica Brasileira (PROBIO), primeiro mapeamento digital para o Brasil finalizado em 2006, utiliza imagens dos satélites *Landsat* e CBERS para identificar possíveis polígonos desmatamentos no interior das áreas com vegetação nativa, através da interpretação visual comparativa no programa Esri ArcGis e digitalização manual das feições de desmatamento encontradas nas áreas dos polígonos de remanescentes supracitados (PMDBBS - Projeto de Monitoramento do Desmatamento dos Biomas Brasileiros por Satélite, 2019).

Antes da iniciativa MMA/PROBIO, o RadamBrasil, realizado na década de 1970, havia sido o único mapeamento completo da cobertura vegetal feito em detalhe para o Brasil. Eram sobrevoos que geravam imagens de radar por avião. Atualmente, dentre dos biomas discutidos, apenas o Cerrado e a Mata Atlântica possuem sistemas de detecção e monitoramento do desmatamento, sendo eles o PRODES Cerrado e o projeto Atlas dos Remanescentes Florestais da Mata Atlântica.

O PRODES Cerrado identifica os desmatamentos, definidos pela remoção completa da cobertura vegetal natural do bioma, através da interpretação visual de imagens *Landsat* ou LISS-III/RESOURCESAT2 diretamente na tela do computador, com uso do sistema de informações geográficas TerraAmazon, desenvolvido pelo INPE (DE BRITO et al., 2018). O Atlas dos Remanescentes Florestais da Mata Atlântica atualmente utiliza imagens orbitais do sensor OLI/LANDSAT 8 e também são analisadas digitalmente através de interpretação visual em tela de computador (HIROTA et al., 2018).

Em 2010 foi realizado um mapeamento visando detectar áreas desmatadas e, a partir disso, fiscalizar e monitorar a vegetação nativa no norte de Minas Gerais, através de imagens do satélite CBERS 2B. Foi utilizado um modelo linear de mistura espectral para estimar a proporção dos componentes solo, vegetação e sombra (ou água) através da resposta espectral de cada pixel nas diversas bandas. Em sequência, foi realizado a segmentação das imagens, baseando-se no conceito da região vizinha mais similar. A classificação das imagens segmentadas foi supervisionada, extraindo amostras representativas de áreas com vegetação, solo nu, área urbana e nuvens. Após a classificação, as imagens classificadas foram comparadas com as imagens da mesma órbita/ponto do ano anterior. As áreas classificadas como solo nu, que havia no ano anterior ocorrência de vegetação, foram identificadas como áreas de desmatamento. As imagens do satélite CBERS-2 mostraram um bom potencial para identificar áreas de desmatamentos, sendo possível sua aplicação para o monitoramento ambiental (NERY, 2010).

Em 2015, um estudo publicado apresentou mudanças na cobertura do solo nos biomas Cerrado e Caatinga a partir de uma análise temporal de 1990 a 2010 com imagens Landsat. Um total de 927 imagens foram pré-processadas e segmentadas automaticamente no software eCognition, e a partir de 243 amostras, foi realizada uma classificação orientada ao objeto resultando em cinco classes: *Tree Cover* (TC), *Tree Cover Mosaic* (TCM), *Other Wooded Land* (OWL), *Other Land Cover* (OLC) e *Water* (W). As mudanças na cobertura do solo foram obtidas a partir de estimativas estatísticas e matrizes de mudança. Os resultados de perda de cobertura vegetal natural foram comparados com dados oriundos do Projeto de Conservação e Utilização Sustentável da Diversidade Biológica Brasileira (PROBIO), do Projeto de Monitoramento do Desmatamento dos Biomas Brasileiros por Satélite (PMDBBS) e com dados do *Global Forest Change* (HANSEN et al., 2013). Quando realizada a comparação dos resultados do estudo com os dados do Ministério do Meio Ambiente (PROBIO e PMDBBS), porcentagem para a Caatinga foram parecidas, mas houve discrepâncias para o Cerrado, que podem ser atribuídas a divergências sobre o que é considerado como vegetação natural, já que o PROBIO e o PMDBBS englobam campos nessa categoria e o autor do GFC não. As comparações com o GFC de Hansen et. al a partir de 2000 se mostraram bastante similares (BEUCHLE et al., 2015).

Um estudo realizado em 2015 analisou o uso de séries temporais (2000-2013) do MODIS EVI e MODIS NDVI para detectar desmatamentos em municípios no Cerrado. As séries temporais foram suavizadas pelo filtro logística dupla, disponível no programa TIMESAT. Foi utilizada a estatística de Kruskal-Wallis para definir se as assinaturas temporais representativas das formações florestais de Jataí e São Miguel do Araguaia e das formações savânicas dos quatro municípios eram estatisticamente iguais. Em seguida, foram definidos os limiares de desmatamento para cada formação vegetacional (valores de EVI e NDVI abaixo dos quais são considerados desmatamentos). Resultados indicaram que não é possível definir um limiar único de desmatamento para cada formação vegetacional, porém, é possível detectar desmatamentos em formações florestais e savânicas. O desempenho do NDVI foi superior ao EVI no sentido de que a redução nos valores de NDVI durante o evento de desmatamento é mais acentuada do que nos valores de EVI (BAYMA; SANO, 2015).

Em 2016 um estudo comparou e analisou diferentes metodologias de mapeamento da cobertura florestal da Mata Atlântica. Foi comparado o Atlas produzido pela SOS Mata Atlântica/INPE, produzido por interpretação visual de imagens *Landsat* na escala 1:50.000, e o MapBiomas, produzido através de uma chave de classificação empírica baseada em frações de solo, vegetação verde, vegetação não-fotossintética e sombra geradas através do Modelo

Espectral de Mistura de imagens *Landsat*. O resultado mostra que o Atlas possui uma base melhor que o MapBiomas para identificação de desmatamentos (ROSA, 2017).

Outro estudo realizado em 2017, buscando analisar o potencial das técnicas de diferença de imagens e do índice de queimada por diferença normalizada (NBR) em cenas do satélite *Landsat-8 Operational Land Imager* (OLI) para produzir indicativos de desmatamentos no bioma Cerrado, concluiu que o método de diferença de imagens seguida da técnica de NBR possui alto potencial para identificar, de forma rápida, eficiente e operacional, indicativos de desmatamentos no bioma Cerrado para subsidiar campanhas de combate a desmatamentos ilegais no Cerrado (BARROSO; SANO; FREITAS, 2017).

Em 2018, um estudo voltado para o monitoramento ambiental por sensoriamento remoto na Caatinga, utilizou os índices espectrais SAI (Índice Surface Albedo), NDVI (*Normalized Difference Vegetation Index*) e EVI (*Enhanced Vegetation Index*) em séries temporais de imagens segmentadas do satélite *Landsat* para monitorar mudanças na cobertura do solo, derivadas de ações antrópicas ou alterações induzidas pelo clima. Os resultados mostram que o índice SAI é capaz de distinguir entre cobertura do solo alterada pelo homem e alterada pelo clima com uma alta acurácia, 87%. O desempenho dos índices EVI e NDVI na detecção das mudanças no bioma da Caatinga foi considerado baixo, e é explicado pela sua alta sensibilidade às variações da cobertura de folhas, como resultado de condições sazonais ou extremas de seca (CUNHA, 2018).

2.4 Global Forest Change

A área de estudo do mapeamento desenvolvido por Hansen et. al incluiu quase toda a cobertura terrestre, com exceção da Antártica e algumas ilhas do Ártico, totalizando 128.8 milhões de km². Como critérios para o estudo foi considerado (HANSEN et al., 2013).:

- A. Vegetação florestal árvores com mais de 5 metros de altura;
- B. Perda florestal foi definida como distúrbios de substituições de fragmentos florestais;
- C. Ganho florestal foi definido como mudança de um estado não florestal para vegetação florestal.

A análise global com imagens *Landsat* foi realizada com o *Google Earth Engine*, uma plataforma de processamento geoespacial baseada em nuvem, com catálogo de vários petabytes de imagens de satélites e dados geoespaciais. As imagens foram automaticamente

pré-processadas realizando correções atmosféricas, radiométricas e geométricas em um total de 654.178 cenas do satélite *Landsat 7 Enhanced Thematic Mapper Plus* (ETM+) (HANSEN et al., 2013).

Foram calculados e empregados 3 grupos de métricas espectrais, sendo: valores de reflectância máximo, mínimo e de percentis selecionados (10%, 25%, 50%, 75% e 90%); valores médios de reflectância para observações entre os percentis selecionados (máx-10%, 10-25%, 25-50%, 50-75%, 75-90%, 90%-máx, min-max, 10-90%, e entre 25-75%); e a inclinação da regressão linear em função do valor da reflectância de banda e da data da imagem (HANSEN et al., 2013).

Em seguida, aplicando técnicas de interpretação visual foram coletadas amostras de treinamento utilizando imagens de alta resolução espacial do satélite *Quickbird*, imagens de média resolução espacial do satélite *Landsat* e imagens de moderada resolução espacial do satélite MODIS. Essas amostras de treinamentos contendo a porcentagem de cobertura e as perdas e ganhos florestais foram relacionadas com as métricas espectrais usando árvores de decisão. As árvores de decisão são classificadores hierárquicos que predizem a participação na classe, separando um grupo de dados em um grupo de dados mais similares ou menos subgrupos variados (HANSEN et al., 2013).

Para obtenção dos mapas produtos de cobertura arbórea e de mudança foi utilizada também a metodologia de árvores de decisão. Os dados de perda florestal foram separados em escalas temporais anuais usando decisões heurísticas derivadas do declínio máximo anual da porcentagem da cobertura arbórea e do declínio máximo do NDVI na estação de baixo crescimento vegetal. As tendências de perda florestal foram obtidas a partir do Método dos Mínimos Quadrados, sendo $y =$ perda anual e $x =$ ano. Em escala de pixel se obteve porcentagem de cobertura anual arbórea, perdas anuais florestais de 2000 a 2012 e ganhos florestais de 2000 a 2012. Visando facilitar o processamento, os dados foram separados continentalmente (América do Norte, América do Sul, Eurásia, África e Austrália) (HANSEN et al., 2013).

Os resultados foram comparados com os levantamentos de avaliação de recursos florestais da UNFAO (*Food and Agricultural Organization of the United Nations*). Os dados da UNFAO são realizados de década em década e segunda Hansen et al. possui várias limitações como: diferentes métodos de levantamento em cada país; definição de floresta baseada no uso do solo e não na cobertura do solo, camuflando a cobertura arbórea; áreas de mudanças em cobertura florestal é informada em valores líquidos apenas; e as definições de floresta dos levantamentos variam no decorrer dos anos. Devido aos fatores supracitados, a

comparação dos dados da UNFAO com o estudo de Hansen et. al. mostrou várias discordâncias, salientando a definição de “mudança florestal”. Para os autores, desmatamento é a conversão de florestas naturais em áreas de uso não-florestal e que, remover essas florestas e implantar plantios ou deixar a mesma regenerar naturalmente não é desmatamento (HANSEN et al., 2013).

A validação foi realizada por matriz de confusão e mostrou uma acurácia global de 80%. Os resultados de ganho florestal indicam uma possível subestimação em florestas tropicais com uma acurácia do usuário de 82% e acurácia do produtor de 48%. Uma segunda validação foi realizada usando dados LiDAR (*light Detection and Ranging*) do instrumento *Geoscience Laser Altimetry System* da NASA, mostrando semelhança nos resultados obtidos (HANSEN et al., 2013).

3 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Com este trabalho, foi possível analisar o potencial do mapeamento criado por Hansen e colaboradores no estado de Minas Gerais e seus diferentes biomas, além de permitir um melhor entendimento das singularidades dos biomas brasileiros, tal como a sazonalidade. De modo geral, os erros de inclusão obtidos nesse estudo apresentaram valores significativos por não considerarem a dinâmica florestal em diferentes locais e suas respectivas propriedades e fenômenos climáticos, além de não diferenciar em sua classificação florestas plantadas e nativas, agrupando-as na classe cobertura vegetal florestal. Senso assim, mesmo considerando a facilidade de aquisição desses dados já processados, não é recomendado o uso dos mapas gerados em Global Forest Change sem acompanhamento de dados auxiliares e sem análise prévia específica para a região de interesse.

REFERÊNCIAS

- ALVES, J. J. A., ARAÚJO, M. A. & NASCIMENTO, S. S. Degradação da Caatinga: uma investigação ecogeográfica. **Revista Caatinga**, v. 22, n. 3, p. 126-135, 2009.
- ARAÚJO FILHO, J. A. & CARVALHO, F. C. Desenvolvimento Sustentado da Caatinga. **Circular Técnica - EMBRAPA**, v. 13, p. 19, 1997.
- BARROSO, A. G., SANO, E. E. & FREITAS, D. M. DE. Identificação de desmatamentos no Cerrado utilizando técnicas de diferença de imagens e índice de queimada por diferença normalizada. **Revista Brasileira de Cartografia**, v. 69, n. 7, p. 1397-1409, 2017.
- BAYMA, A. P. & SANO, E. E. Séries temporais de índices de vegetação (NDVI e EVI) do sensor MODIS para detecção de desmatamentos no bioma Cerrado. **Boletim de Ciências Geodésicas**, v. 21, n. 4, 2015.
- BEUCHLE, R., GRECCHI, R. C., SHIMABUKURO, Y. E., SELIGER, R., EVA, H. D., SANO, E. & ACHARD, F. Land cover changes in the Brazilian Cerrado and Caatinga biomes from 1990 to 2010 based on a systematic remote sensing sampling approach. **Applied Geography**, v. 58, p. 116-127, 2015.
- BIOMAS | IBGE, 2019. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/geociencias-novoportal/informacoes-ambientais/estudos-ambientais/15842-biomas.html?=&t=downloads>
- BIOMAS | PARQUES DE MINAS GERAIS, 2019. Disponível em: <http://www.edhorizonte.com.br/parquesmg/biomas/> (Acesso em: 01/04/19)
- CARDOSO, J. T. A Mata Atlântica e sua conservação. **Revista Encontros Teológicos**, v. 31, n. 3, p. 441-458, 2016.
- CUNHA, A. S., MUELLER, C. C., ALVES, R. DE A. & EURIPEDES DA SILVA, J. Uma avaliação da sustentabilidade da agricultura nos cerrados. **Estudos de Política Agrícola**, v. 2, p. 18, 1993.
- CUNHA, J. E. DE B. L. **Monitoramento ambiental por sensoriamento remoto: avaliação, automação e aplicação ao bioma Caatinga utilizando séries históricas Landsat** (Universidade Federal de Campina Grande), 2018.
- DE BRITO, A., DE MORRISON VALERIANO, D., FERRI, C., SCOLASTRICI, A., SESTINI, M., JOSÉ, S. & CAMPOS, D. **Monitoramento da cobertura natural do Cerrado por satélite**, 2018.
- FERREIRA, L. G., FERREIRA, N. C. & FERREIRA, M. E. Sensoriamento remoto da vegetação: evolução e estado-da-arte. **Biological Sciences**, v. 30, n. 4, p. 379-390, 2008.
- FILHO, K. E. **A Pecuária de Corte no Cerrado Brasileiro. Savanas: desafios e estratégias para o equilíbrio entre sociedade, agronegócio e recursos naturais**, 1198 p, 2008.

- GARIGLIO, M. A., SAMPAIO, E. V. DE S. B., CESTARO, L. A. & KAGEYAMA, P. Y. **Uso Sustentável e Conservação dos Recursos Florestais da Caatinga**, Brasília - DF, 368 p, 2010.
- GIULIETTI, A. M., NETA, A. L. DU B., CASTRO, A. J. A. F., GAMARRA-ROJAS, C. F. L., VIRGIONIO, J. F., QUEIROZ, L. P. DE, FIGUEIREDO, M. A., RODAL, M. DE J. N., BARBOSA, M. R. DE V. & HARLEY, R. M. **Diagnóstico da vegetação nativa do bioma Caatinga**, 2004.
- HANSEN, M. C., POTAPOV, P. V, MOORE, R., HANCHER, M., TURUBANOVA, S. A., TYUKAVINA, A., THAU, D., STEHMAN, S. V, GOETZ, S. J., LOVELAND, T. R., KOMMAREDDY, A., EGOROV, A., CHINI, L., JUSTICE, C. O. & TOWNSHEND, J. R. G. (a). High-resolution global maps of 21st-century forest cover change. **American Association for the Advancement of Science**, v. 134, n. 2011, 2013.
- HANSEN, M. C., POTAPOV, P. V, MOORE, R., HANCHER, M., TURUBANOVA, S. A., TYUKAVINA, A., THAU, D., STEHMAN, S. V, GOETZ, S. J., LOVELAND, T. R., KOMMAREDDY, A., EGOROV, A., CHINI, L., JUSTICE, C. O. & TOWNSHEND, J. R. G. (b). Supplementary Materials for High-Resolution Global Maps of 21st-Century Forest Cover Change. **Science**, v. 342, 2013.
- HIROTA, M. M., PONZONI, F. J., MANTOVANI, M. C., GARRIDO, O., BALAZINA, A., HERRENA, A. G., BOLZAN, M., SOARES, L., ROSA, M. R., MAZIN, V., FREITAS, J., ROSA, E. R. & PATERNOST, F. **Atlas dos remanescentes florestais da mata atlântica período 2016-2017**, Paulo, São, 2018.
- INSTITUTO ESTADUAL DE FLORESTAS - IEF - COBERTURA VEGETAL DE MINAS GERAIS, 2019. Disponível em: <<http://www.ief.mg.gov.br/florestas>> (Acesso em: 01/04/19)
- JÚNIOR, G. B. M. & VILELA, L. Pastagens no Cerrado: Baixa Produtividade pelo Uso Limitado de Fertilizantes. **Embrapa Cerrados. Documentos**, 50, 2002.
- KLINK, C. A. & MACHADO, R. B. A conservação do Cerrado brasileiro. **Megadiversidade**, v. 1, n. 1, p. 147-155, 2005.
- KUMAR, D. Monitoring Forest Cover Changes Using Remote Sensing and GIS: A Global Prospective. **Research Journal of Environmental Sciences**, v. 5, n. 2, p. 105-123, 2011.
- LEAL, R. I., JOSÉ, M. T. & CARDOSO DA SILVA, J. M. **Ecologia e Conservação da Caatinga**, 828 p., 2003.
- LISTA OFICIAL DA FLORA AMEAÇADA DE EXTINÇÃO**, 1992.
- MITTERMEIER, R. A., GIL, P. R., HOFFMANN, M., PILGRIM, J., BROOKS, T., MITTERMEIER, C. G., LAMOREUX, J. & DA FONSECA, G. A. B. Hotspots Revisited: Earth's Biologically Richest and Most Endangered Ecoregions. **CEMEX**, p. 84-88, 2004.
- NERY, C. V. M. Uso De Imagens Do Satélite Cbers 2B Para Detecção De. **Simpósio Brasileiro de Ciências Geodésicas e Tecnologias da Geoinformação**, v. 21, n. 4, p. 4, 2010.

OLIVEIRA, J. A. DE, GONÇALVES, P. R. & BONVICINO, C. R. **Mamíferos da caatinga**, 2003.

PERES, E. **Caatinga: exclusivamente brasileira Parque Nacional da Serra da Capivara-PI**, Arquivo MMA, 2019.

PMDBBS - PROJETO DE MONITORAMENTO DO DESMATAMENTO DOS BIOMAS BRASILEIROS POR SATÉLITE, 2019. Disponível em:
<https://siscom.ibama.gov.br/monitora_biomass/index.htm> (Acesso em: 30/04/19)

RATTER, J. A., RIBEIRO, J. F. & BRIDGEWATER, S. The Brazilian Cerrado Vegetation and Threats to its Biodiversity, **Annals of Botany**, 1997.

RIBEIRO, M. C., MARTENSEN, A. C., METZGER, J. P., TABARELLI, M., SCARANO, F. & FORTIN, M.-J. The Brazilian Atlantic Forest: A Shrinking Biodiversity Hotspot. In: **Biodiversity Hotspots**, Springer Berlin Heidelberg, Berlin, Heidelberg, p. 405-434, 2011.

RODRIGUES, M. T. Herepetofauna da Catinga. In : **Hepertologia**, p. 181-236, 2003.

ROSA, M. R. (, janvier 19). Comparação e análise de diferentes metodologias de mapeamento da cobertura florestal da mata atlântica. **Boletim Paulista de Geografia**, v. 0, n. 95, p. 25-34, 2017.

ROSA, R. **Diversidade e conservação dos peixes da Caatinga**, 2003.

SILVA, J. M. C. DA, SOUZA, M. A. DE BIEBER, A. G. D. & CARLOS, C. J. **Aves da Caatinga: Status, uso do habitat e sensibilidade**, 2003.

SILVA, J. M. C. DA TABARELLI, M., FONSECA, M. T. DA & LINS, L. V. **Biodiversidade da Caatinga: Áreas e ações prioritárias para a conservação**, Brasília, 382 p., 2004.

SILVA, V. V. DA. **Médio Vale do Paraíba do Sul: fragmentação e vulnerabilidade dos remanescentes da Mata Atlântica**, Instituto de Geociências, Universidade Federal Fluminense, 2002.

TABARELLI, M. & VICENTE, A. Conhecimento sobre plantas lenhosas da Caatinga: lacunas geográficas e ecológicas. **Biodiversidade da Caatinga: áreas e ações prioritárias para a conservação**, p. 101-111, 2003.

TERRABRASILIS – PLATAFORMA DE DADOS GEOGRÁFICOS, 2019. Disponível em:
<<http://terrabilis.dpi.inpe.br/>> (Acesso em: 30/04/19)

USTIN, S. L., ROBERTS, D. A., GAMON, J. A., ASNER, G. P. & GREEN, R. O. Using Imaging Spectroscopy to Study Ecosystem Processes and Properties, **BioScience**, 2004.

ZANELLA, F. C. V. & MARTINS, C. F. Abelhas da caatinga: biogeografia, ecologia e conservação. **Ecologia e Conservação da Caatinga**, n. January 2003, p. 804, 2003.

ZANIN, R. Aspectos da introdução das espécies exóticas: o capim-gordura e a braquiária no Parque Nacional de Brasília, 2009.

SEGUNDA PARTE – ARTIGO
ANÁLISE DOS ERROS DE INCLUSÃO EM “HIGH-RESOLUTION GLOBAL MAPS
OF 21ST-CENTURY FOREST COVER CHANGE” NOS BIOMAS DO ESTADO DE
MINAS GERAIS

Thainá Guimarães Rocha^a, Eduarda Martiniano de Oliveira Silveira^a, Fausto Weimar Acerbi Júnior^a, Álvaro Salgado Araújo Silva Pinto^a, Inácio Thomaz Bueno^a

^aForest Science Department, Federal University of Lavras (UFLA), Lavras, Brazil, 3037, thaina.g.rocha@gmail.com – ORCID: 0000-0003-1653-4755; dudalavras@hotmail.com - ORCID: 0000-0002-1015-4973; fausto@ufla.br - ORCID: 0000-0002-9553-0148; alvarosalgado003@gmail.com – ORCID: 0000-0002-3257-0548; inaciotbueno@gmail.com – ORCID: 0000-0002-6662-3396.

RESUMO

Diversos mapeamentos visando analisar perdas em coberturas vegetais são realizados nos dias atuais graças a maior disponibilidade de imagens adquiridas por sensores remotos e aos avanços tecnológicos no processamento e análise dessas imagens. Este estudo teve como objetivo analisar o potencial da detecção de mudanças na cobertura vegetal utilizando a base de dados do Global Forest Change, identificando, quantificando e caracterizando os erros de inclusão nos biomas do Cerrado, Caatinga e Floresta Atlântica no estado de Minas Gerais, no período de 2007 a 2017. Para isso, realizou-se uma análise utilizando técnicas de interpretação visual de imagens numa amostra composta por 5.500 polígonos de mudanças na cobertura do solo de diferentes classes de tamanho. A análise dos resultados revelou altos valores de erros de inclusão, associados aos efeitos da sazonalidade, da definição de “cobertura florestal” utilizada e aos erros de classificação. Assim, pode-se concluir que o uso de mapas globais de mudanças na cobertura vegetal deve ser realizado com cautela em escalas regionais, recomendando-se sempre que possível uma análise prévia das características de cada região e o uso de dados auxiliares.

Palavras-chave: Mapeamento. Monitoramento. Detecção de mudanças. Acurácia da classificação. Biomas.

1 INTRODUÇÃO

Os biomas Caatinga, Cerrado e Mata Atlântica ocupam aproximadamente 48% do território nacional (IBGE, 2019). A Mata Atlântica, um *hotspot* de floresta tropical, apresenta um alto nível de endemismo, é muito fragmentada pela agricultura, plantios de espécies exóticas como pinus e eucaliptos, e pela presença de áreas urbanas, como o Rio de Janeiro e São Paulo (RIBEIRO et al., 2011). A Caatinga tem uma diversidade florística alta para um domínio com uma restrição forte ao crescimento como a deficiência hídrica. Estudos apontam a presença de 1.512 espécies com, no mínimo 318 endêmicas, isso considerando apenas as Caatingas no seu sentido mais restrito (GARIGLIO et al., 2010). Outro *hotspot* brasileiro, o Cerrado, é a savana mais rica em diversidade botânica do mundo e acomoda diversas espécies de plantas, aves, peixes, répteis, anfíbios e insetos endêmicos (KLINK; MACHADO, 2005), mas infelizmente é encarado, até hoje, como fronteira agrícola pronta para ser desmatada e não como um bioma portador de uma das mais importantes biodiversidades do planeta (BRANDON et al., 2005).

Com o intuito de monitorar e quantificar os desmatamentos no Brasil, diversos sistemas e métodos foram criados desde a década de 80. O Projeto de Monitoramento do Desmatamento dos Biomas Brasileiros por Satélite (PMDBBS), criado em 2008 a partir de dados remanescentes do Projeto de Conservação e Utilização Sustentável da Diversidade Biológica Brasileira (PROBIO), primeiro mapeamento digital para o Brasil finalizado em 2006, utiliza imagens dos satélites *Landsat* e CBERS para identificar possíveis desmatamentos no interior das áreas com vegetação nativa, através da interpretação visual comparativa no programa Esri ArcGis (PMDBBS - Projeto de Monitoramento do Desmatamento dos Biomas Brasileiros por Satélite, 2019).

Devido a importância do bioma Cerrado, foi desenvolvido, em 2006, o primeiro sistema de monitoramento específico para o mesmo. O SIAD Cerrado (Sistema Integrado de Alerta de Desmatamentos) utiliza um processo semiautomático, baseado no mapeamento gerado pelo TerraClass Cerrado, com imagens índice de vegetação do sensor MODIS (*Moderate-resolution Imaging Spectroradiometer*), satélite TERRA, produto MOD13Q1, com resolução espacial de 250 metros (HUETE et al., 2002). Além do índice de vegetação NDVI (*Normalized Difference Vegetation Index*), são também utilizadas as bandas espectrais do infravermelho médio, infravermelho próximo, vermelho e pixel reliability (imagem qualidade) (FERREIRA et al., 2007; ROCHA et al., 2011).

Ambos os sistemas de monitoramento possuem aspectos positivos e negativos, sendo o principal aspecto negativo a emissão de falsos alertas de desmatamentos, os chamados erros de inclusão num processo de detecção de mudanças, em consequência de causas intrínsecas dos satélites e extrínsecas como queimadas, sazonalidade da vegetação e precipitação. E mesmo sendo específico para o Cerrado, o SIAD Cerrado apresenta diferenças significativas quando comparado com o PMDBBS, devido à resolução espacial das imagens MODIS (ROCHA et al., 2017).

Em escala mundial, o projeto Global Forest Change – GFC (HANSEN et al., 2013), apresenta a análise e mapeamento das mudanças da cobertura vegetal florestal no mundo a partir do ano 2000, utilizando imagens do satélite *Landsat*, de resolução espacial de 30 metros. As mudanças foram definidas a partir de distúrbios nas copas das árvores visualmente identificadas nas imagens. O mapa gerado por Hansen e colaboradores serve de grande auxílio para o estudo do monitoramento e desmatamento em escala local, porém, existe a necessidade de validação, já que é um mapa global e pode não considerar as singularidades locais que ocorrem nos biomas brasileiros, tal como a sazonalidade, podendo acarretar erros de inclusão.

Portanto, a pergunta científica que direcionou esse estudo foi: é possível utilizar os mapas de mudanças da cobertura vegetal gerados pelo projeto GFC para o monitoramento dos desmatamentos nos diferentes biomas presentes no estado de Minas Gerais? Essa pergunta é de extrema relevância, pois uma resposta afirmativa significaria uma redução significativa nos esforços de aquisição, processamento e análise de imagens, dinamizando o processo tradicional de detecção de mudanças que muitas vezes é baseado na análise visual.

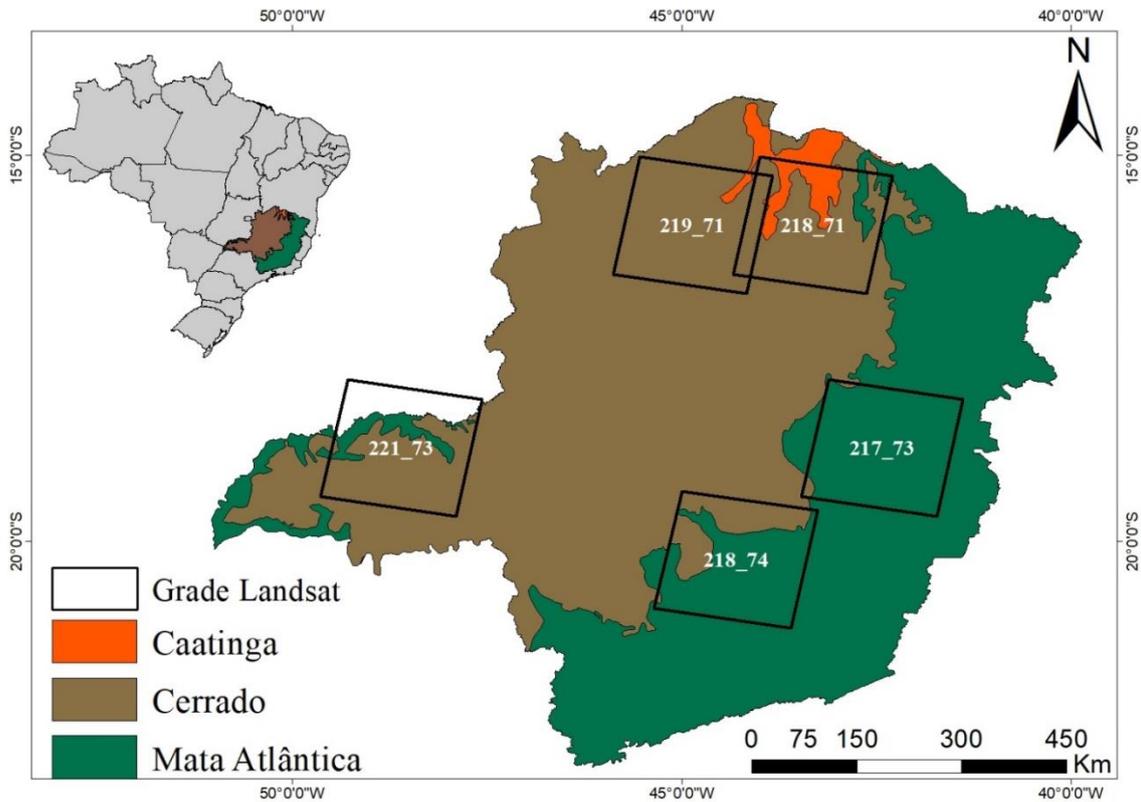
Este estudo teve como objetivo analisar o potencial da detecção de mudanças na cobertura vegetal utilizando os dados do Global Forest Change, identificando, quantificando e caracterizando os erros de inclusão nos biomas do Cerrado, Caatinga e Floresta Atlântica no estado de Minas Gerais, no período de 2007 a 2017. Avaliando, independente do bioma onde está inserido, qual a classe de uso e cobertura do solo sofre maior pressão antrópica bem como aquelas que mais contribuem para os erros de inclusão do GFC.

2 MATERIAL E MÉTODOS

2.1 Área de estudo

A área de estudo compreende 5 cenas da grade *Worldwide Reference System version 2* do satélite *Landsat* (Figura 1). Foram utilizadas imagens dos satélites *Landsat 5 (Thematic Mapper - TM)* e *Landsat 8 (Operational Land Imager – OLI)*, com resolução espacial de 30 metros, e uma área de abrangência de 185 x 185 km (34.225 km²) por cena, adquiridas a partir do portal USGS *Earth Resources Observation and Science (EROS)* entre os anos de 2006 a 2017, totalizando 55 imagens (Tabela 1).

Figura 1 - Mapa do estado de Minas Gerais com seus Biomas e cenas *Landsat* utilizadas.



Fonte: Do Autor (2018).

Tabela 1 - Datas das imagens *Landsat* selecionadas em cada ano.

ANO	217_73	218_71	218_74	219_71	221_73	
2006	21/dez	26/nov	23/set	14/set	12/set	<i>Landsat 5 TM</i>
2007	14/mai	24/jul	22/jun	12/mai	26/mai	
2008	05/set	12/set	07/mai	30/mai	26/abr	
2009	07/ago	15/set	13/jul	04/jul	18/jul	
2010	06/mai	17/ago	13/mai	05/jun	02/mai	
2011	09/mai	20/ago	19/jul	24/jun	06/jun	
2013*	02/ago	21/mai	05/mai	13/jun	29/jul	<i>Landsat 8 OLI</i>
2014	05/ago	15/out	12/mai	12/mar	27/abr	
2015	25/set	02/out	31/ago	06/ago	04/ago	
2016	10/ago	16/jul	18/set	08/ago	06/ago	
2017	06/mar	04/ago	04/ago	11/ago	09/ago	

*Não possui imagens do satélite *Landsat* para o ano de 2012.

Fonte: Do Autor (2018).

2.2 Base de dados *Global Forest Change*

Em *Global Forest Change*, foram detectadas mudanças, através de árvores de decisões na plataforma *Google Earth Engine*, na cobertura florestal em escala global, considerando cobertura florestal toda vegetação maior que 5 metros de altura. A validação do produto foi realizada por matriz de confusão, e apresentou uma acurácia global de 80%. A detecção não diferenciou se as mudanças ocorreram em áreas nativas ou em áreas plantadas, e se foram causadas por fogo, atividades antrópicas, tempestades ou doenças (HANSEN et al., 2013).

2.3 Base de dados de referência

A base de dados de referência, também conhecida como verdade de campo, foi construída através de uma análise, ano a ano, utilizando técnicas de interpretação visual de imagens numa amostra composta por 100 regiões de mudanças na cobertura do solo, detectados pelo GFC, em diferentes classes de tamanho (2-25 ha; 25-50 ha; 50-100 ha; > 100ha) em cada cena *Landsat*, totalizando 5.500 polígonos. As regiões amostradas que apresentaram alteração na cobertura do solo foram classificadas como mudança enquanto as

regiões que não apresentaram mudanças na cobertura do solo ou apresentaram alterações em áreas de corte de florestas plantadas foram classificadas como não mudança.

Posteriormente realizou-se a identificação das classes de uso e cobertura do solo (Eucalipto; Pinus; Cultura; Sazonalidade; Outros) para as regiões classificadas como não mudança identificando assim a classe de uso e cobertura do solo que sofre maior pressão antrópica bem como aquelas que mais contribuem para os erros de inclusão.

2.4 Análise de acurácia

A validação foi realizada através da matriz de confusão para cálculo dos erros de inclusão. As análises foram realizadas por bioma, considerando a área de cada polígono classificado como “nm” (não mudança). A matriz de confusão fornece uma base descrevendo a precisão da classificação e caracterizando os erros (FIGUEIREDO; VIEIRA, 2007). A partir da matriz, são obtidas a acurácia global, que é a somatória dos objetos classificados corretamente, dividida pelo número total de amostras; a acurácia do usuário, que representa os erros de inclusão e é calculada pelo número total de pixels corretamente classificados de uma classe dividido pelo número total de pixels classificados, correta ou incorretamente, nessa mesma classe; e a acurácia do produtor que é calculada dividindo o total de pixels corretamente classificados em uma classe pelo total de pixels pertencentes a esta classe segundo as amostras de campo (erros de exclusão) (LEWIS; BROWN, 2001).

Equação 1 - Fórmula da acurácia do usuário (Erros de Inclusão).

$$\text{Acurácia do usuário} = \frac{x_{ii}}{x_{i+}}$$

em que:

x_{ii} = total de pixels corretamente classificados de uma dada classe temática;

x_{i+} = somatório da coluna para dada classe temática.

Fonte: Adaptado de Brito (2008).

3 RESULTADOS

Na validação das mudanças considerando todos os biomas, o erro de inclusão total foi de 66,13%. Dentro das classes de tamanho analisadas, as áreas com mais de 100 ha apresentaram os maiores erros de inclusão (81,47%). O erro de inclusão geral do bioma Caatinga foi de 58,62%, e considerando as classes analisadas, as áreas com mais de 100 ha apresentaram os maiores erros de inclusão (80,81%). O erro de inclusão geral do bioma Cerrado foi de 60,81%, e considerando as classes analisadas, as áreas com mais de 100 ha apresentaram os maiores erros de inclusão (75,50%). O erro de inclusão geral do bioma Mata Atlântica foi o maior entre os biomas, com uma porcentagem de 75,20% e considerando as classes analisadas, as áreas com mais de 100 ha apresentaram os maiores erros de inclusão (92,22%) (Tabela 2).

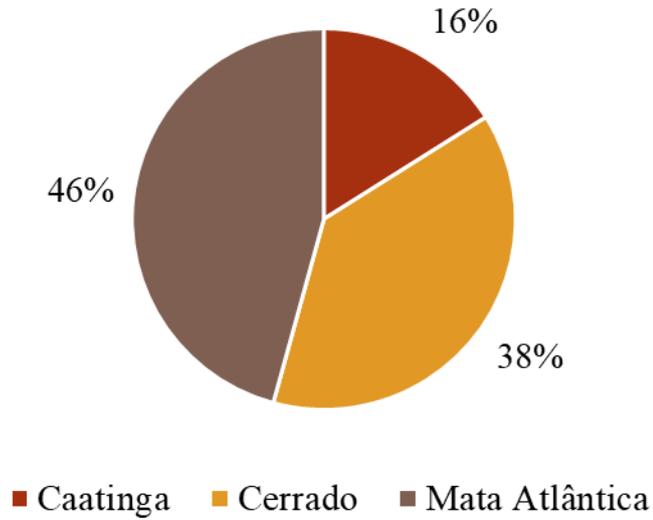
Tabela 2 – Porcentagem de erros de inclusão por bioma e por área.

Erros de Inclusão	2 - 25 ha	25 - 50 ha	50 - 100 ha	> 100 ha	Geral
Caatinga	56,47%	55,15%	56,18%	80,81%	58,62%
Cerrado	58,65%	61,41%	61,61%	75,50%	60,81%
M. Atlântica	68,24%	87,68%	92,46%	92,22%	75,20%
Geral	62,44%	70,15%	70,22%	81,47%	66,13%

Fonte: Do Autor (2019)

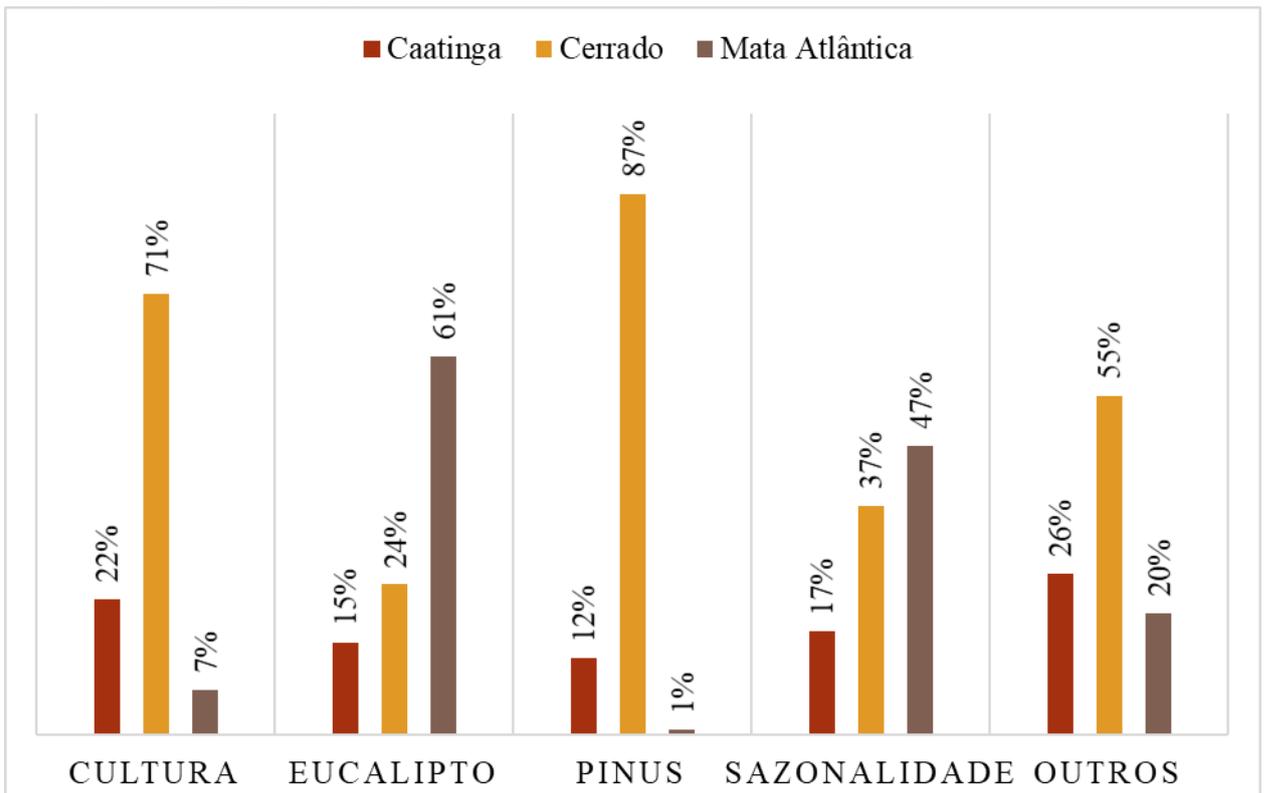
Após a validação das amostras, as mesmas foram separadas por bioma e identificadas em qual classe de uso e cobertura do solo ocorreram. De acordo com a Figura 2 que 46% das amostras que compõe o erro de inclusão pertencem ao bioma Mata Atlântica, 38% ao Cerrado e 16% a Caatinga. A Figura 3 apresenta a distribuição percentual das amostras compõem o erro de inclusão nas diferentes classes de uso do solo.

Figura 2 - Distribuição percentual das amostras com erro que compõe o erro de inclusão nos diferentes biomas de Minas Gerais.



Fonte: Do Autor (2019).

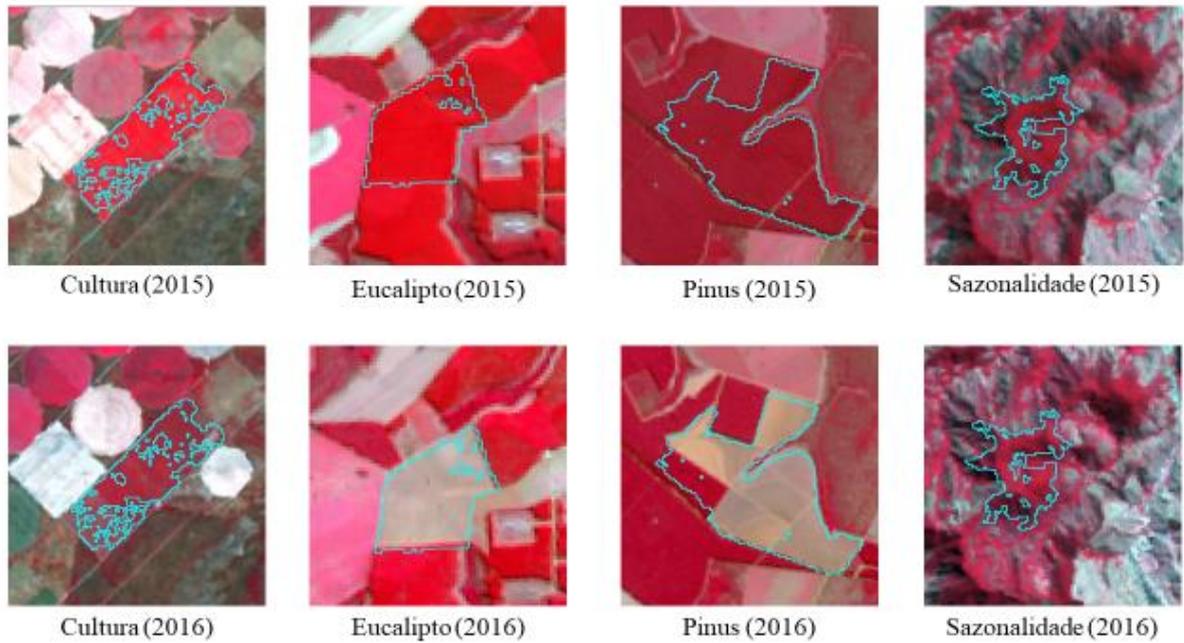
Figura 3 - Distribuição percentual das classes que compõem o erro de inclusão dentro dos biomas de Minas Gerais.



Fonte: Do Autor (2019).

A Figura 4 ilustra, através de um exemplo, os erros de inclusão em cada classe de cobertura do solo. A classe “Outros” não foi apresentada por ser um grupo de situações, como queimadas, nuvens, etc.

Figura 4 - Exemplo dos erros de inclusão nas diferentes classes de cobertura do solo, observadas em imagem *Landsat 8* (R4; G5; B3).



Fonte: Do Autor (2019).

4 DISCUSSÃO

Observa-se, a partir dos resultados, que os erros de inclusão para cada bioma e nas diferentes classes de tamanho são significativos. Esses altos valores podem ser atribuídos à sazonalidade dos biomas brasileiros e principalmente às extensas áreas de florestas plantadas no estado de Minas Gerais, já que no mapeamento realizado por Hansen et al. (2013a), não foram diferenciadas as florestas nativas das florestas plantadas.

Em um comentário técnico sobre “High-Resolution Global Maps of 21st-Century Forest Cover Change”, outros pesquisadores também encontraram erros elevados e apontaram alguns problemas como: a definição de florestas como vegetação acima de 5 metros de altura, sendo áreas de monoculturas ou não, superestimando a cobertura vegetal, mas subestimando a diversidade biológica em plantios; é recorrente observar que, ao contrário da definição adotada, culturas com menos de 5 metros de altura são classificadas; e que é necessário uma “calibração local” quando utilizado, uma vez que a dinâmica florestal varia em diferentes lugares (TROPEK et al., 2014). Em resposta ao comentário, os autores apontam que as críticas impostas sofrem com a falta de compreensão da definição de floresta empregada, bem como os requisitos de validação do produto, já que a aplicação do mesmo é beneficiada mediante à sua associação com outros dados auxiliares, por exemplo, o tipo de floresta, estoque de carbono, status de área protegida, entre outros. Sobre as culturas com menos de 5 metros de altura serem classificadas regularmente, os autores afirmam ser um caso claro de erro de classificação (HANSEN et al., 2014).

Em 2015 um estudo publicado (BEUCHLE et al., 2015), apresentou mudanças na cobertura do solo nos biomas Cerrado e Caatinga a partir de uma análise temporal de 1990 a 2010 com imagens *Landsat* segmentadas automaticamente no software eCognition. As mesmas foram classificadas com o método de classificação orientada ao objeto e as mudanças na cobertura do solo foram obtidas a partir de estimativas estatísticas e matrizes de mudanças. Os resultados de perda de cobertura vegetal natural foram comparados com dados oriundos do Projeto de Conservação e Utilização Sustentável da Diversidade Biológica Brasileira (PROBIO), do Projeto de Monitoramento do Desmatamento dos Biomas Brasileiros por Satélite (PMDBBS) e com dados do GFC, gerado por Hansen e colaboradores (Hansen et al., 2013b). A comparação dos resultados do estudo com os dados do Ministério do Meio Ambiente (PROBIO e PMDBBS), apresentou resultados similares para a Caatinga, mas houve discrepâncias para o Cerrado, que podem ser atribuídas a divergências sobre o que é considerado como vegetação natural, já que o PROBIO e o PMDBBS englobam os campos

nessa categoria e os autores do estudo não. As comparações com o Global Maps de Hansen e colaboradores a partir de 2000 se mostraram bastante similares (BEUCHLE et al., 2015).

Um estudo publicado em 2017 (LINKE et al., 2017), analisou a acurácia e aplicabilidade do mapeamento de Hansen e colaboradores para monitorar atividades de corte em uma floresta temperada do Canadá. A perda florestal detectada no GFC foi vetorizada para polígonos e comparada a m inventário de colheita da província, utilizado como referência. As acurácias do usuário e do produtor para os polígonos foram de 86% e 85%, respectivamente. O estudo concluiu que os dados do Global Maps de Hansen e colaboradores foram bons e podem ser usados como alternativa de monitoramento de atividades de corte em regiões de floresta temperada, onde se costuma fazer o corte raso e a ocorrência de incêndios é rara (LINKE et al., 2017). Talvez, esses valores relativamente altos de acurácia podem ser explicados pela baixa diversidade de espécies presentes nas florestas temperadas do Canadá. Outro fator a ser considerado, é a sazonalidade, já que obviamente no Canadá o regime de chuvas e as dinâmicas climáticas são bem diferentes do Brasil.

Uma análise do fluxo de carbono em diferentes usos de solo e mudanças da cobertura do solo publicada em 2017, estimou fluxos anuais entre os anos de 1850 e 2015. Para obtenção dessas estimativas foram utilizados dados da FAO (*Food and Agriculture Organization*), além de outras fontes, como o GFC. Os autores declaram que, em relação a taxas de desmatamentos analisadas para a obtenção do fluxo, os dados do GFC são mais precisos que os dados da FAO, mas que devido ao critério utilizado, que não separa florestas plantadas de florestas nativas, ainda gera algumas incertezas nos fluxos de carbono estimado (HOUGHTON; NASSIKAS, 2017).

Portanto, observamos que o uso de mapas globais de mudanças na cobertura vegetal deve ser realizado com cautela em escalas regionais, já que não consegue capturar bem as dinâmicas de cada vegetação e bioma. Recomendando-se sempre que possível uma análise prévia das características de cada região e o uso de dados auxiliares, como mapas contendo as áreas de florestas plantadas, áreas agrícolas e áreas sazonais.

5 CONCLUSÕES

O desenvolvimento do presente estudo possibilitou uma análise dos erros de inclusão do mapeamento criado por Hansen no estado de Minas Gerais e seus diferentes biomas. De um modo geral, os erros apresentaram valores significativos por não considerar a dinâmica florestal em diferentes locais e suas respectivas características e fenômenos climáticos, além de considerar florestas plantadas e nativas como cobertura vegetal florestal. Nesse sentido, o uso dos mapas gerados em Global Forest Change sem acompanhamento de dados auxiliares e sem análise prévia específica para a região de interesse não é recomendada.

REFERÊNCIAS

BEUCHLE, R. et al. Land cover changes in the Brazilian Cerrado and Caatinga biomes from 1990 to 2010 based on a systematic remote sensing sampling approach. **Applied Geography**, v. 58, p. 116–127, mar. 2015.

Biomás | IBGE. Disponível em: <<https://www.ibge.gov.br/geociencias-novoportal/informacoes-ambientais/estudos-ambientais/15842-biomas.html?=&t=downloads>>.

BRANDON, K. et al. Conservação brasileira: desafios e oportunidades. **Megadiversidade**, v. 1, n. July, p. 6–13, 2005.

BRITO, A. DE. **Acurácia e precisão do mapeamento da flora nativa e dos reflorestamentos de Minas Gerais**. [s.l.] Universidade Federal de Lavras, 2008.
FERREIRA, N. C. et al. An operational deforestation mapping system using MODIS data and spatial context analysis. **International Journal of Remote Sensing**, v. 28, n. 1, p. 47–62, 10 jan. 2007.

FIGUEIREDO, G. C.; VIEIRA, C. A. O. **Estudo do comportamento dos índices de Exatidão Global, Kappa e Tau, comumente usados para avaliar a classificação de imagens do sensoriamento remoto**. Anais do XIII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto. **Anais...2007**

GARIGLIO, M. A. et al. **Uso Sustentável e Conservação dos Recursos Florestais da Caatinga**. 2. ed. Brasília - DF: [s.n.].

HANSEN, M. C., POTAPOV, P. V, MOORE, R., HANCHER, M., TURUBANOVA, S. A., TYUKAVINA, A., THAU, D., STEHMAN, S. V, GOETZ, S. J., LOVELAND, T. R., KOMMAREDDY, A., EGOROV, A., CHINI, L., JUSTICE, C. O. & TOWNSHEND, J. R. G. (a). High-resolution global maps of 21st-century forest cover change. **American Association for the Advancement of Science**, v. 134, n. 2011, 2013.

HANSEN, M. et al. Response to Comment on “High-resolution global maps of 21st-century forest cover change”. **Science**, v. 344, n. 6187, p. 981–981, 30 maio 2014.

HANSEN, M. C. et al. (b) Supplementary Materials for High-Resolution Global Maps of 21st-Century Forest Cover Change. **Science**, v. 342, n. 6160, p. 850–853, 15 nov. 2013.

HOUGHTON, R. A.; NASSIKAS, A. A. Global and regional fluxes of carbon from land use and land cover change 1850-2015. **Global Biogeochemical Cycles**, v. 31, n. 3, p. 456–472, mar. 2017.

KLINK, C.; MACHADO, R. B. A conservação do Cerrado brasileiro. **Megadiversidade**, v. 1, n. 1, p. 10, 25 fev. 2005.

LEWIS, H. G.; BROWN, M. A generalized confusion matrix for assessing area estimates from remotely sensed data. **International Journal of Remote Sensing**, v. 22, n. 16, p. 3223–3235, 25 jan. 2001.

LINKE, J. et al. High-resolution global maps of 21st-century annual forest loss: Independent

accuracy assessment and application in a temperate forest region of Atlantic Canada. **Remote Sensing of Environment**, v. 188, p. 164–176, jan. 2017.

MASEK, J. G. et al. A Landsat Surface Reflectance Dataset for North America, 1990–2000. **IEEE Geoscience and Remote Sensing Letters**, v. 3, n. 1, p. 68–72, jan. 2006.

PMDBBS - Projeto de Monitoramento do Desmatamento dos Biomas Brasileiros por Satélite. Disponível em: <https://siscom.ibama.gov.br/monitora_biomass/index.htm>. Acesso em: 30 abr. 2019.

RIBEIRO, M. C. et al. The Brazilian Atlantic Forest: A Shrinking Biodiversity Hotspot. In: **Biodiversity Hotspots**. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg, 2011. p. 405–434.

ROCHA, G. F. et al. **Deteção de desmatamentos no bioma Cerrado entre 2002 e 2009; Padrões, tendências e impactos**. [s.l.] Sociedade Brasileira de Cartografia, Geodésia, Fotogrametria e Sensoriamento Remoto, 2011. v. 0

ROCHA, G. F. et al. **Avaliação e comparação dos dados SIAD e PMDBBS com base em imagens Landsat**. Anais do XXVII Congresso Brasileiro de Cartografia e XXVI Expositiva. **Anais**, 2017. Disponível em: <<http://www.lapig.iesa.ufg.br>>. Acesso em: 7 fev. 2019

TROPEK, R. et al. Comment on “High-resolution global maps of 21st-century forest cover change”. **Science**, v. 344, n. 6187, p. 981–981, 30 maio 2014.

ZHU, Z.; WOODCOCK, C. E. Object-based cloud and cloud shadow detection in Landsat imagery. **Remote Sensing of Environment**, v. 118, p. 83–94, 15 mar. 2012.