



MINISTÉRIO DA CIÊNCIA, TECNOLOGIA, INOVAÇÕES E COMUNICAÇÕES
INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS

MODELAGEM DE USO DA TERRA EM MÚLTIPLAS ESCALAS NO BRASIL

RELATÓRIO FINAL DE PROJETO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA (PIBIC/INPE/CNPq)

Gabriela da Silva Nunes (Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita
Filho Bolsista PIBIC/CNPq)
E-mail: gabinunes_02@yahoo.com.br

Ana Paula Dutra Aguiar (CCST, Orientador)
E-mail: ana.aguiar@inpe.br

Gustavo Felipe Balué Arcoverde (CCST/ Coorientador)
gustavo.arcoverde@inpe.br

COLABORADORES

Dr. Eloi Dalla-Nora (CCST/INPE)
Dra. Luciana Soler (CCST/INPE)

Julho de 2017



MINISTÉRIO DA CIÊNCIA, TECNOLOGIA, INOVAÇÕES E COMUNICAÇÕES
INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS



Sumário

1. Resumo	3
2. Abstract	3
3. Introdução	4
4. Fundamentação Teórica.....	6
5. Objetivos específicos	9
6. Materiais e métodos utilizados	9
7. Análises e Resultados	12
8. Conclusões	18
9. Referências Bibliográficas.....	18

1. Resumo

O aumento da tecnologia vem sendo aplicado a diversas áreas do conhecimento, trazendo inúmeras informações a todo o momento, e através destas, foi possível observar mudanças no espaço e tempo, sejam estas associadas ao clima, uso da terra, volume do mar, entre outros. A partir da análise dessas mudanças são feitas, por exemplo, previsões para o futuro. As mudanças interessadas neste trabalho são as mudanças da cobertura e uso da terra, associadas ao novo programa desenvolvido pelo Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE) conhecido como LuccME/Brasil. Este programa trata-se de uma modelagem de cobertura e uso da terra no território nacional, o qual está sendo desenvolvido de forma que possa se aplicar futuramente ao território continental. O mesmo utiliza de mapas disponibilizados por exemplo, pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), para a obtenção de dados a serem utilizados na modelagem. Entretanto, antes de fazer o uso dos dados disponíveis nos mapeamentos oficiais, faz-se necessário à validação dos mesmos. Tal validação é feita através da comparação dos mapas que tendem a ser utilizados com os mapas de referências confeccionados com base em imagens de satélite dos mesmos anos de realização dos mapas oficiais. O mapeamento de referência é feito minuciosamente a fim de se obter maior detalhamento das imagens e então uma validação mais real dos mapas utilizados pelo programa a fim de se obter certa precisão nos dados disponibilizados pelo programa.

2. Abstract

The increase in technology has been applied to several areas of knowledge, bringing innumerable information all the time, and through these, it was possible to observe changes in space and time, associated with climate, land use, volume of the sea, and a lot of other things. From the analysis of these changes are made, for example, forecasts for the future. The changes interested in this work are the changes in land cover and use associated to the new program developed by the National Institute of Space Research (INPE) known as LuccME/Brazil. This program is a model of land cover and use in the national territory,

which is being developed in a way that can be applied in the future in the continental territory. The same uses maps made available for example, by the Brazilian Institute of Geography and Statistics (IBGE), to obtain data to be used in the modeling. However, before making use of the data available in the official mappings, it is necessary to validate them. Such validation is done by comparing the maps that tend to be used with the reference maps made based on satellite images from the same years of the official maps. The reference mapping is done to obtain more detail of the images and then a more real validation of the maps used by the program in order to obtain some precision in the data made available by the program.

3. Introdução

O presente trabalho está compreendido no desenvolvimento de conhecimento de potencialidades e de desempenhos de mapeamentos de uso e cobertura da terra que possam ser utilizados para o Modelo Brasileiro de Uso da Terra – LuccME/Brasil, o qual está sendo desenvolvido de forma integrada para todo o território continental.

A crescente conscientização sobre a necessidade de entender a dinâmica de uso e cobertura da terra no ramo da pesquisa ocasionou o desenvolvimento de uma grande variedade de modelos de mudança de uso da terra. Inicialmente os modelos de uso da terra, espaciais não-dinâmicos, serviram para responder questões sobre alocação de meios de cultivo e produção industrial em relação à centralidade das cidades (BRIASSOULIS, 2000). Com o advento de modelos espacialmente dinâmicos na década 1980, outras perguntas e propósitos começaram a ser incorporados, dentre estes, as causas e consequências do desmatamento na década de 1990(KAIMOWITZ; ANGELSEN, 1988; LAMBIN, 1997).

O fato de haver cada vez mais acesso e frequência de imagens de sensoriamento remoto orbitais e de mapeamentos de uso da terra, torna-se mais exequível o estudo da dinâmica do uso e cobertura da terra mediante modelos dinâmicos espaciais no Brasil.



Via de regra, os mapeamentos de uso e cobertura da terra são provenientes de classificações de empresas ou de fontes oficiais. Cada mapeamento possui suas características, conforme seu propósito, tais como, escala, conjunto de classes e área mínima. E, embora sejam utilizadas as mais sofisticadas técnicas, ainda existem algumas limitações quanto a representação da cobertura real encontrada em campo. Dentro desta problemática, a pergunta que embasa este trabalho é qual o tipo de mapeamento mais apropriado para uma determinada modelagem de uso e cobertura da terra.

A modelagem de uso e cobertura da terra atualmente possui uma grande gama de algoritmos e abordagens de processamento (top-down e bottom-up) e aplicações, contudo, praticamente todos eles consideram uma estrutura compartilhada em demanda, potencial e alocação das classes de uso e cobertura (AGUIAR et al., 2016). Além disso, seja por razões de processamento ou objetivos inerentes da modelagem em escala regional e nacional (VERBURG et al., 1999), tais modelos assimilam os dados de mapeamento de uso da terra em uma abordagem fuzzy, ou de multiescala. Em termos práticos, comumente é empregada uma grade pré-definida, cujas células são de tamanho superior ao da área mínima do mapeamento de uso da terra utilizado. A validação destes modelos, da mesma forma, utiliza-se de uma abordagem em multiescala (COSTANZA, 1989, HAGEN, 2003).

Percebe-se que a multiescala é crucial tanto para a geração do produto da modelagem como para sua validação. Neste sentido, a pergunta inicial deve estar associada e relacionada a qual escala de grade um determinado mapeamento é mais adequado para uma determinada modelagem de uso da terra. Para a avaliação dos diferentes mapeamentos sob diferentes tamanhos de célula de grade -que irão alimentar os modelos - partimos de duas abordagens, sendo estas complementares.

A **primeira avaliação** considera a análise do comportamento das diferentes classes e mapeamentos nos diferentes tamanhos de célula sob a ótica de métricas da paisagem, dentre elas: perímetro, densidade, índice de forma, dimensão fractal, métricas de área central, por exemplo. Esta abordagem explora a relação da forma e presença da fragmentação da

paisagem, e tem sido utilizada em estudos de ecologia da paisagem (TURNER, 2005) e na estimativa de resolução espacial de sensores (SOARES, 2006).

As métricas da paisagem podem indicar o grau de presença de certas classes de forma conjunta com as demais, avaliar o grau de compactação e fragmentação de certas classes, e quais as métricas que melhor representam certa classe à medida que há “diluição” desta em células de maiores. Tais análises, em conjunto com um mapa de referência, tornar-se-iam mais enriquecedoras - **segunda avaliação**.

O uso de mapas de referência tem o propósito de responder o comportamento esperado de cada classe e mapeamentos sob diferentes métricas da paisagem e escalas. Assim, poderíamos avaliar o comprometimento que cada mapeamento e classe possuem em uma abordagem multiescalar, a qual é a base de alimentação para os modelos de uso da terra. A segunda avaliação encabeça este produto e parte de algumas premissas. É possível gerar mapeamentos de referência a nível nacional de forma amostral. Considerando que se trata de uma abordagem multiescalar, os mapeamentos de referência devem ser realizados até o maior tamanho de célula de grade adequado para a escala nacional. É preciso que estas amostras sejam distribuídas de forma aleatória e estratificada.

A estratificação deve ser realizada em áreas com chance de existência de todas as classes a serem consideradas. Neste caso, no Brasil existem classes de uso da terra com área muito dispare, o que reforça o uso da estratificação.

4. Fundamentação Teórica

Uma das formas de produção de mapas de referência é o uso de classificações. A classificação Bhattacharya constitui uma das classificações supervisionadas que se utiliza de regiões. O mesmo utiliza a distância bhattacharya para medir a separabilidade estatística entre cada par de classes espectrais. A separabilidade é calculada através da distância média

entre as distribuições de probabilidades das classes espectrais (LEÃO et al., 2007; OLIVEIRA; MATAVELI, 2013). No aspecto do uso de regiões, existe o benefício de utilizar a área mínima, coerente com as características do sensor utilizado.

O uso de mapeamentos e classificações para uso em modelagem de uso da terra, como supracitado, tem sido cada vez mais exequível. Tais instrumentos, todavia, tem carecido de estudos de validação voltada para a modelagem de uso e cobertura da terra. Análises tradicionais de precisão de classificações são realizadas comumente por mapeamentos de referência, nos quais são estimados precisão total, erros de comissão, erros de moissão, área de cada classe (OLOFSSON et al., 2014), além de possíveis índices de precisão, como o Kappa e o Tau, por exemplo (MA; REDMOND, 1995).

Entretanto, considerando que as modelagens de uso da terra consideram uma inerente interpretação destas classificações em multiescala e fuzzy (VERBURG et al., 1999) tais índices se mostram inapropriados para avaliação de mapeamentos de referência para fins de modelagem. Desta forma, a validação dos mapas de referência deve ter uma abordagem por multiescala, semelhante a Constanza (1989) para a validação de modelagens de uso e cobertura da terra.

A produção de mapas de referência é comumente realizada por fontes primárias de melhor resolução espacial em relação à classificação que se deseja avaliar (COGALTON, 1991). Além disso, existem diferentes desenhos de amostragem para a comparação entre o dado de referência e o dado produzido.

Tais desenhos podem ser baseados nos seguintes critérios: probabilidade amostral da classes, facilidade e praticidade da implementação, custo de implementação, representatividade espacial, desvio padrão das áreas estimadas, dentre outros (probabilidade e tem duas premissas: a probabilidade a priori de cada classe deve ser conhecida para cada unidade amostral, e esta deve ser maior que zero em todas as classes (OLOFSSON et al., 2014).

As mais comuns formas de distribuição de amostragem são a totalmente aleatória, aleatória estratificada e sistemática (OLOFSSON et al., 2014). Estes autores recomendam o uso da estratificação, possuindo dois benefícios: a obtenção de resultados de precisão segundo cada estrato e, a redução das variâncias para cada estrato diminuindo assim a imprecisão. Outros aspectos importantes são a unidade amostral e o tamanho da amostragem.

O tamanho da amostragem está relacionado com a população total a ser estimada e à proporção de amostras corretamente classificadas (acerto esperado). Por sua vez, a população está relacionada com a unidade amostral que será definida, por exemplo, ponto (pixel) ou polígono. A organização de Agricultura e Alimentos das Nações Unidas (FAO, 2016) recomendou que seja empregada uma equação de Cochran (1977) para fins de amostragem estratificada em mapas classificados (Equação 1), sendo n o número de amostras, N o número de unidades do mapa total, $S(\hat{O})$ o desvio padrão da precisão total estimada e W_i a proporção de área por classe i e S_i desvio padrão do estrato i .

$$n = \frac{(\sum W_i S_i)^2}{[S(\hat{O})]^2 + \frac{1}{N} \sum W_i S_i^2} \sim \left(\frac{\sum W_i S_i}{S(\hat{O})} \right)^2 \quad (1)$$

Uma vez calculado o valor de n , o mesmo pode ser alocado nos estratos de várias formas. A alocação ótima de Neyman tem sido empregado em diferentes trabalhos de estimativa de área com mapeamentos

Uma vez definido o desenho amostral, podem ser realizadas estimativas de precisão, conforme supracitado, como também podem ser realizadas regressões para estimativa de área de cada classe considerada (ADAMI et al., 2004). Em se tratando de estimativa de áreas agrícolas, estes autores concluíram que foi mais indicado estimar a área por regressão e que por expansão direta, em segmentos regulares.

5. Objetivos específicos

Considerando o segundo tipo de avaliação de mapeamentos a nível nacional descritos anteriormente, o objetivo específico deste trabalho foi o de produzir o maior número possível de mapeamentos de referência dentro do território nacional para que fossem utilizados na comparação com os mapas já existentes e então fosse possível obter uma validação dos mesmos.

6. Materiais e métodos utilizados

Para a produção de mapas de referências foram utilizados os seguintes softwares: Spring, QGIS, TerraView e ENVI.

Para a análise da classificação e mapeamento, foram utilizadas imagens do sensor REIS a bordo da constelação de satélites RapidEye, sensor TM a bordo do Landsat-5 e ASTER a bordo do TERRA.

Estas imagens foram obtidas através do plugin XXX do QGIS, onde é possível obter as mesmas em formato já georreferenciado. A intenção de utilizar imagens do sensor REIS-RapidEye seria a de utilizar uma resolução espacial melhor (5 metros) em relação à resolução máxima dentre os mapeamentos utilizados (30 metros).

As demais imagens serviram para a obtenção de imagens compreendidas em épocas chuvosas, complementando a interpretação visual e a classificação digital.

Optou-se em utilizar a projeção geográfica mundial e datum horizontal SIRGAS-2000.

Além destas imagens, foram utilizados como material de apoio a página WEB Series View disponível pelo INPE onde encontram-se pontos através de coordenadas e as imagens disponíveis da Digital Globe no Google Earth para que por meio destes materiais fosse

obtida uma melhor visão de determinado ponto e análise do comportamento de sua vegetação através de um gráfico que varia no tempo.

Para o andamento do mapeamento amostral, foi processado no programa TerraView uma grade com células regulares (quadrículas).

Considerando que a maior quadrícula de grade factível para modelagens de uso e cobertura da terra pelo LuccME/Brasil seria de 20x20 km, optou-se em adotar-se esta dimensão de quadrícula como unidade de mapeamento.

A escolha das quadrículas para mapeamento se deu de forma amostral por bioma. Neste trabalho ainda não foi adotada uma amostragem estratificada.

Considerando que o LuccME/Brasil vem utilizando os mapeamentos disponibilizados pelo IBGE em MUDANÇA NA COBERTURA E USO DA TERRA, por terem sido publicados em 2016, sendo então os mais recentes mapeamentos de uso e cobertura da terra no território brasileiro, optou-se em escolher um dos intervalos de referência de mapeamento coerente com estes mapeamentos oficiais, dentre estes, 2000, 2010, 2012 e 2014.

Acrescentado que as imagens do RapidEye começaram a ser disponibilizadas no imageamento do ano de 2011, optou-se por definir como intervalo de mapeamento 2010-2011. Assim, as demais imagens dos sensores supracitados foram obtidas nas épocas chuvosas entre os anos de 2009 e 2010.

Como pré-processamento, as imagens foram restauradas, mosaicadas (no caso de necessidade de mais de um tile de imagem por quadrícula) e realizado contraste linear. A restauração foi realizada somente para as imagens do sensor TM, de 30 metros de resolução espacial (BOGGIONE, 2003).

Neste caso, as mesmas passaram por este processamento com reamostragem para 5 metros, permitindo a compatibilização com a resolução espacial das imagens do sensor REIS-RapiEye, de 5 metros de IFOV. No caso de imagens do sensor ASTER, foi realizado apenas alteração de resolução para 5 metros por método de vizinho mais próximo. A exclusão deste processamento deveu-se a ausência de processamento de restauração para imagens deste sensor no programa Spring.

Apesar de não ser o ideal, a falta de imagens de uma estação chuvosa seria ainda mais prejudicial do que um processamento de reamostragem espacial inadequado.

Como processamento, foram realizadas classificações supervisionadas por região conforme o algoritmo Bhattacharya, disponível no Spring.

O uso de classificações considerando regiões no Spring permite que o mapeamento mínimo possa ser considerado. Empregou-se segmentação sob limiar 10 e área mínima de 100 pixels, que é coerente com a área mínima de 0,25 ha para uma resolução espacial de 5 metros.

No caso do limiar, adotou-se certa flexibilidade, conforme o detalhamento de cada região mapeada, afinal, cada imagem se comportou de uma forma com os lineares propostos.

Uma vez que a segmentação adequada foi encontrada, a mesma foi utilizada para o treinamento das classes presentes em cada imagem, sendo que, devido a aparência semelhante entre as vegetações e portanto a frequente confusão entre as mesmas pelo software, para auxiliar este processo e obter uma maior certeza quanto a classificação de cada vegetação, foram feitas inicialmente a comparação entre datas para a observação do crescimento ou corte de silvicultura, por exemplo, bem como o uso do Series View e Google Earth que apresentavam gráficos comportamentais de cada coordenada solicitada e uma maior aproximação visual e comparação entre datas da região de interesse.



No caso específico da Silvicultura, foi adotada uma metodologia específica na qual esta cultura foi dividida em três classes, sendo elas Silvicultura 1 para o caso da mesma ter se mantido no decorrer dos anos, Silvicultura 2 para o caso em que observou-se o crescimento da mesma com o passar do tempo e Silvicultura 3 para o caso em que observava-se a presença desta cultura nas imagens dos anos anteriores mas não se observava nos anos de análise. Para fim de comparação com os mapas oficiais, as áreas referentes as três classificações eram somadas apresentando uma única porcentagem referente a classe Silvicultura.

Após o treinamento, cada imagem foi classificada conforme o algoritmo Bhattacharya.

Para a verificação da classificação proposta pelo algoritmo, foi feita a sobreposição entre as imagens e o mapeamento realizado, ao analisar alguma incoerência, confusão de classes ou até mesmo pequenas falhas, como a presença de nuvens, erros posicionais, temático, além dos erros com relação a própria classificação, foram realizadas edições matriciais para obter um resultado mais real e melhor.

Devido ao tempo disponível para a realização de tal trabalho juntamente com a complexidade de se estabelecer um padrão para os mapeamentos de referências a serem utilizados para a validação dos mapas e utilização dos mesmos para o projeto LuccME/Brasil, foi possível a realização do mapeamento de três quadrículas

7. Análises e Resultados

Conforme descrito na metodologia, as quadrículas são separadas por biomas e escolhidas aleatoriamente para passar pelo processo de mapeamento de referência.

As três quadrículas classificadas neste trabalho são referentes aos biomas Mata Atlântica, Cerrado e Amazônia.

A quadrícula referente ao bioma Amazônia apresentou grande facilidade em ser mapeada, pois, a mesma apresentou apenas as classes Pastagem e Vegetação Natural, conforme apresentado na figura abaixo.

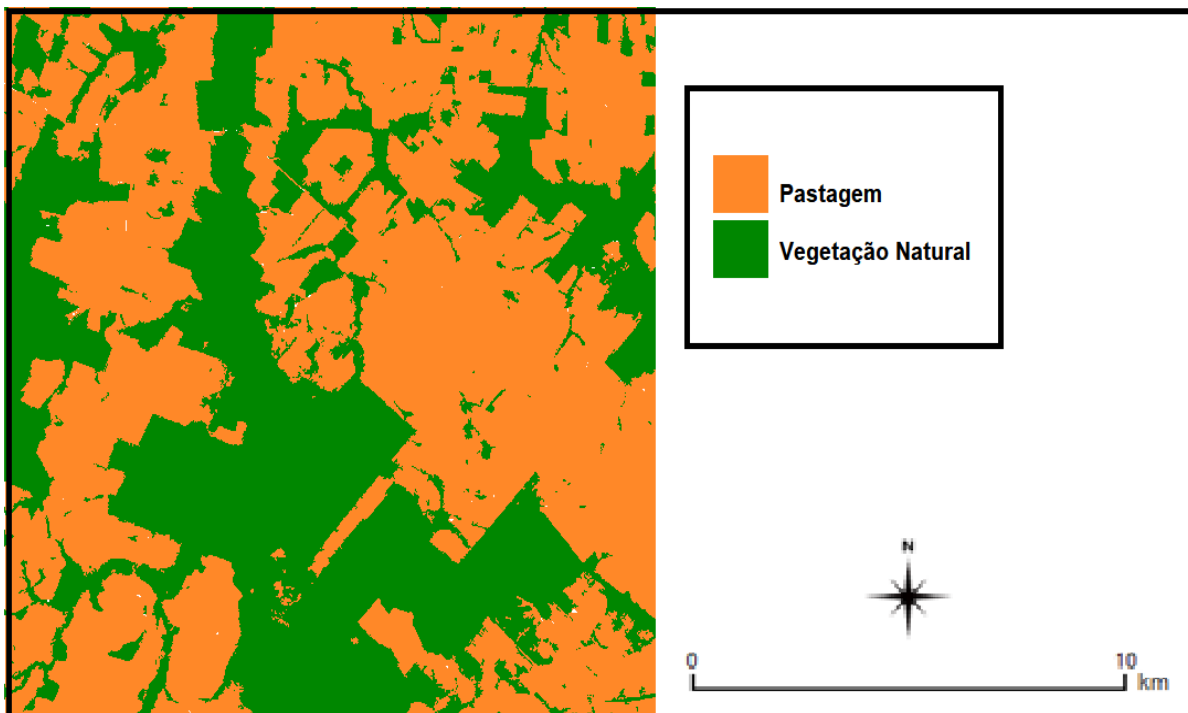


Figura 1. Mapeamento da quadrícula do bioma Amazônia

A Amazônia é um bioma extremamente representativo no Brasil, representando mais de 40% do território nacional segundo o Instituto Brasileiro de Florestas (IBF), e é contido principalmente por uma floresta tropical, o que explica a alta porcentagem de vegetação natural encontrada no mapeamento de referência, porém, ainda que este seja o bioma mais preservado, aproximadamente 16% de sua área já foi devastada, o que representa na quadrícula analisada, a classe pastagem.

Esta devastação sofrida pelo bioma é causada principalmente devido ao desmatamento, as queimadas, a garimpagem e ao setor agropastoril, e é por este motivo que se faz necessário um monitoramento da área.

Inicialmente, esta quadrícula apresentou bastante confusão com relação ao classificador devido a presença de diversas nuvens nas imagens escolhidas, tendo então uma grande área não identificada, porém com a aplicação de zoom, contraste e com o auxílio do material de apoio citado na metodologia, foi possível analisar melhor a área e então classificá-la através de edição matricial.

Observando a Tabela 1, foi possível observar também que o mapa oficial se mostrou bastante coerente com a realidade apresentada pelo mapa de referência realizado com base nas imagens de satélite.

Classes %	Mapa de referência	Mapa oficial (IBGE)
Pastagem	0,53025	0,524447264
Área Urbana	0	0
Silvicultura	0	0
Agricultura	0	0,000161233
Vegetação Natural	0,4654	0,147763251
Mosaico de Ocupação	0	0,327628252
Outros	0	0
Não Identificado	0,00435	0
Total	1	1

Tabela 1. Porcentagem de cada classe na área da quadrícula do bioma Amazônia

Quanto a segunda quadrícula analisada, referente ao bioma Mata Atlântica, observou-se uma maior diversidade de classes, principalmente relacionadas a silvicultura que, conforme descrito na metodologia, foi analisada de três formas diferentes, conforme observado na figura 2.

O bioma Mata Atlântica apresenta, conforme é citado no IBF, uma variedade de formações, além de englobar um diversificado conjunto de ecossistemas florestais, porém, devido ao fato de que 70% da população brasileira habita este bioma, o mesmo apresenta alta porcentagem de pastagens, culturas agrícolas e urbanização, este ultimo em menor quantidade apresentada na quadrícula devido ao fato de que para este trabalho foram excluídas quadriculas estratificadas.

Esta quadricula não contou com a grande presença de nuvens, como na quadrícula anterior, porém para realizar a sua classificação foi essencial a aplicação de contraste e o uso do material de apoio para a melhor identificação dos tipos de silvicultura, e da diferenciação desta com a vegetação natural, que muitas vezes se mostrou visualmente semelhante.

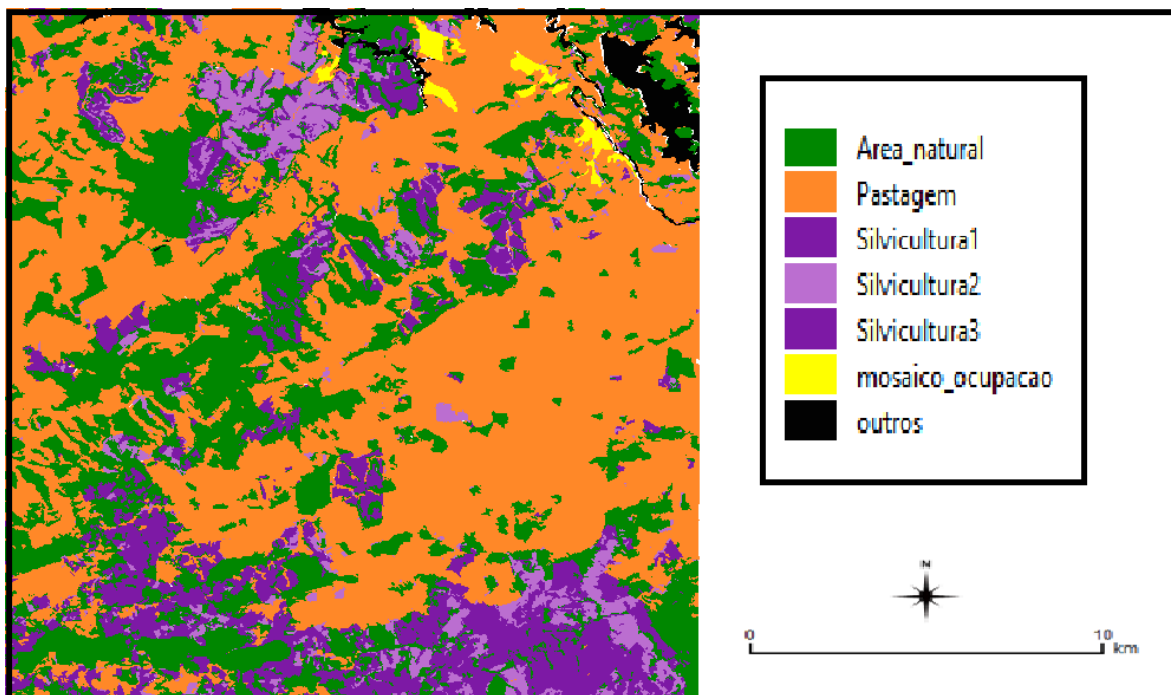


Figura 2. Mapeamento da quadrícula do bioma Mata Atlântica

Ao observar a Tabela 2, nota-se que para esta quadrícula, os resultados apresentados pelos mapas oficiais do IBGE não foram coerentes com os obtidos no mapeamento de referência,

principalmente no que diz respeito a pastagem, em que os resultados foram altamente divergentes quando comparados.

Classes %	Mapa de referência	Mapa oficial (IBGE)
Pastagem	2,88503E-08	0,524447264
Área Urbana	0	0
Silvicultura	0	0
Agricultura	0	0,000161233
Vegetação Natural	2,04231E-08	0,147763251
Mosaico de Ocupação	0	0,327628252
Outros	0	0
Não Identificado	0,999999951	0
Total	1	1

Tabela 2. Porcentagem de cada classe na área da quadrícula do bioma Mata Atlântica.

Por fim, a quadrícula referente ao bioma Caatinga foi a mais difícil de ser mapeada, conforme o esperado para este bioma devido a sua complexidade.

A Caatinga é um bioma que sofreu com a excessiva urbanização e o alto grau de degradação ambiental e apresenta, segundo o Serviço Florestal Brasileiro, pelo menos uma centena de diferentes tipos de paisagens únicas, sendo considerada bastante heterogênea, e portanto, complexa quando se pretende classificá-la.

Esta quadrícula continha a presença de algumas nuvens, mas, novamente, com o auxílio do material de apoio e das ferramentas do software Spring, foi possível classificá-la conforme apresentado na figura abaixo.

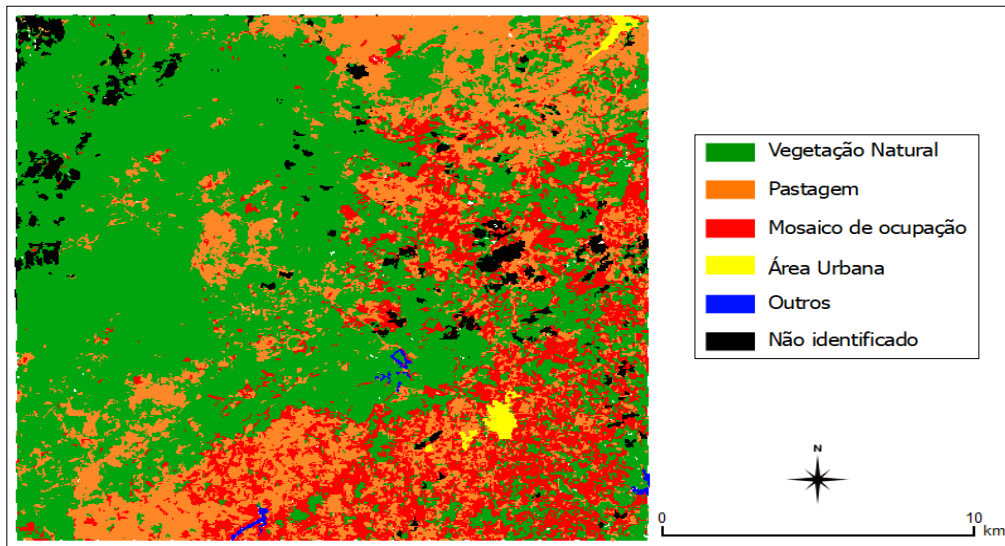


Figura 3. Mapeamento da quadrícula do bioma Cerrado

Na Tabela 3, estão dispostas as porcentagens de cada classe referentes a área da quadrícula com relação aos dados disponibilizados pelo IBGE e obtidos no mapeamento de referência, e através desta percebe-se que, para esta área, os resultados não foram compatíveis, principalmente em relação a vegetação natural, afinal, esta classe apresentou a maior disparidade entre os dois mapeamentos.

Classes %	Mapa de referência	Mapa oficial (IBGE)
Pastagem	0,230269369	0
Área Urbana	0,004922221	0,028445497
Silvicultura	0	0
Agricultura	0	0
Vegetação Natural	0,560113249	0,940076361
Mosaico de Ocupação	0,169760712	0,031478143
Outros	0,001975263	0
Não Identificado	0,032959186	0
Total	1	1

Tabela 3. Porcentagem de cada classe na área da quadrícula do bioma Caatinga.



8. Conclusões

A partir da análise dos resultados é possível concluir que o mapeamento de referência é extremamente importante para a validação de mapas oficiais, pois os mesmos podem conter dados generalizados ou errôneos, ocasionando em uma propagação de erros quando utilizados como embasamento em programas de modelagem de cobertura e uso da terra, como o LuccME/Brasil, afinal, este programa foi desenvolvido como uma ferramenta bastante útil que será disponibilizada para a realização de diversas pesquisas e posteriormente integrar um sistema de modelagem para o território continental.

9. Referências Bibliográficas

AGUIAR, A. P. D.; VIEIRA, I. C. G.; ASSIS, T. O.; DALLA-NORA, E. L.; TOLEDO, P. M.; OLIVEIRA SANTOS-JUNIOR, R. A.; BATISTELLA, M.; COELHO, A. S.; SAVAGET, E. K.; ARAGÃO, L. E. O. C.; NOBRE, C. A.; OMETTO, J. P. H. Land use change emission scenarios: Anticipating a forest transition process in the Brazilian Amazon. **Global Change Biology**, v. 22, n. 5, p. 1821–1840, 2016.

ADAMI, M.; MOREIRA, M. A.; RUDORFF B. F. T.; FREITAS, C da.; C. Análise da eficiência dos estimadores de expansão direta e de regressão para áreas cultivadas com café, milho e soja no município de Cornélio Procópio, estado do Paraná. **Agric. São Paulo**, v. 51, n.2, p. 5-13, 2004.

BOGGIONE, G. Restauração de imagens do satélite LANDSAT-7. **São José dos Campos: INPE**, p. 160, 2003. Disponível em: <<http://scholar.google.com/scholar?hl=en&btnG=Search&q=intitle:RESTAURAO+DE+IMAGENS+DO+SAT?LITE+LANDSAT-7#1>>.

BRIASSOULIS, H. **Analysis of land use change: theoretical and modeling approaches**. Lesvos, Greece. Tese (Doutorado em Geografia) - University of Aegean, 2000. Disponível em: <<http://www.rri.wvu.edu/WebBook/Briassoulis/contents.htm>>. Acesso em: 20/07/16.

COCHRAN, W. G., 1977. **Sampling techniques**. John Wiley & Sons.

CONGALTON, G. C. A review of assessing the accuracy of classifications of remotely sensed data. *Remote Sensing of Environment*, v. 37, p. 35-46, 1991.



COSTANZA, R., Model Goodness of Fit - a Multiple Resolution Procedure. **Ecological Modelling**, v. 47, n. 3-4, p. 199-215, 1989.

FAO. Map Accuracy Assessment and Area Estimation Map Accuracy Assessment and Area Estimation : A Practical Guide. n. 46, p. 69, 2016. Disponível em: <<http://www.fao.org/3/a-i5601e.pdf>>.

HAGEN, A. Fuzzy set approach to a assessing similarity of categorical maps. **Journal of Geographical Information Science**, v. 17, p. 235-249, 2003.

LEÃO, C.; KRUG, L. A.; KAMPEL, M.; FONSECA, L. M. G. Avaliação de métodos de classificação em imagens TM/Landsat e CCD/CBERS para o mapeamento do uso e cobertura da terra na região costeira do extremo sul da Bahia. In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 13., 2007, Florianópolis. **Anais...** São José dos Campos, INPE, 2007. p. 939-946. Disponível em: <<http://marte.dpi.inpe.br/col/dpi.inpe.br/sbsr%4080/2006/11.15.01.10/doc/939-946.pdf>>. Acesso em 18 ago. 2012.

MA, Z.; REDMOND, R. L. Tau coefficient for accuracy assessment of Classification of remote sensing data. **Photogrametric engineering and remote sensing society**, v. 61, n. 4, p. 435-439, 1995.

OLIVEIRA, B. S. MATAVELI, G. A. V. Avaliação do desempenho dos classificadores Iseog e Bhattacharya para o mapeamento de áreas de cana-de-açúcar no município de Barretos-SP. In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 17., 2013, Foz do Iuaçu. **Anais...** São José dos Campos, INPE, 2013. P. 6917-6922.

OLOFSSON, P.; FOODY, G. M.; HEROLD, M.; STEHMAN, S. V.; WOODCOCK, C. E.; WULDER, M. A. Good practices for estimating area and assessing accuracy of land change. **Remote Sensing of Environment**, v. 148, p. 42-57, 2014. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.rse.2014.02.015>>.

SOARES, D. M. **Áreas agrícolas em sensores com resolução espacial de 30m estimadas a partir de dados originais e simulados MODIS e métricas de paisagem**. 2006. 153 p. (INPE-14448-TDI/1139). Dissertação (Mestrado em Sensoriamento Remoto) - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), São José dos Campos, 2006. Disponível em: <<http://urlib.net/6qtX3pFwXQZGivnJSY/M3jzT>>.

TURNER, M. G. LANDSCAPE ECOLOGY: What Is the State of the Science? **Annual Review of Ecology, Evolution, and Systematics**, v. 36, n. 1, p. 319-344, 2005.

VERBURG, P. H.; DE KONING, G. H. J.; KOK, K.; VELDKAMP, a.; BOUMA, J. A spatial explicit allocation procedure for modelling the pattern of land use change based upon actual land use. **Ecological Modelling**, v. 116, n. 1, p. 45-61, 1999.



SNIF. SISTEMA NACIONAL DE INFORMAÇÕES FLORESTAIS. Os Biomas e Suas Florestas. Disponível em: <<http://www.florestal.gov.br/snif/recursosflorestais/os-biomas-e-suas-florestas>> Acesso em: 18/07/17.

IBF. INSTITUTO BRASILEIRO DE FLORESTAS. Bioma Amazônico. Disponível em <<http://www.ibflorestas.org.br/bioma-amazonico.html>> Acesso em: 20/07/17.

IBF. INSTITUTO BRASILEIRO DE FLORESTAS. Bioma Amazônico. Disponível em <<http://www.ibflorestas.org.br/bioma-mata-atlantica.html>> Acesso em: 20/07/17.