

Proposta para mapeamento de áreas agrícolas por análise Séries temporais de NDVI/MODIS na província de Manica-Moçambique

Hugo Adriano Mabilana
Denise Cybis Fontana
Eliana Lima da Fonseca

Universidade Federal do Rio Grande do Sul - UFRGS
Centro Estadual de Pesquisas em Sensoriamento Remoto e Meteorologia - CEPSRM
Laboratório de Estudos de Agricultura e Agrometeorologia - LEAA
Av. Bento Gonçalves, 9500 - Campus do Vale
Cx. Postal: 15044 CEP. 91501-970 - Porto Alegre - RS – Brasil
hmabilana@yahoo.com.br, {dfontana, eliana.fonseca}@ufrgs.br

Abstract. Mozambique, located at east of southern Africa, is a essentially agricultural country that has the corn as the main food crop. The variability in corn yields depends on weather conditions. So, in order to assist in decision making measures of food security risk, an agrometeorological-spectral crop forecasting model is required. To do this become effective, first, is necessary to make an identification of agricultural areas. This work presents a methodological proposal of mapping agricultural areas through analysis of time series of NDVI / MODIS and a model to estimated date of seeding based on rainfall criteria in years from 2000 to 2009. The study area involves four districts of the province central Manica. Rainfall estimations from ECMWF model were used to determining the date of seeding, considering a fixed cycle of 130 days. Compositions of 16 days of NDVI from MOD13Q1 MODIS product were used for the construction of the mean profiles of NDVI for each district. The methodology implemented for mapping the agricultural areas presents four steps: the generation of images with the difference between the maximum and minimum NDVI in the corn cycle; the generation of binary image to identify for each pixel if it had an agricultural field or not; the sum of binary images and the selection of a restriction level. The estimates of the agricultural areas when compared with the official statistics were overestimated, but the final map is considered valid when is made an overlay of socioeconomic data over this map.

Palavras-chave: NDVI/MODIS, cropland estimate, *Zea mays* L.; NDVI/MODIS, estimativa de área agrícola, *Zea mays* L.;

1.Introdução

Moçambique se localiza ao longo da costa Leste da África Austral, é um país essencialmente agrícola, com mais de 80 % da população economicamente ativa se dedicando a esta prática. O setor familiar representa mais de 95% da área cultivada e cada agregado ocupa áreas de 0,5 ha a 2 ha, sendo que a área mediana cultivada por família é de 1,3 ha (MADER, 2002). O milho (*Zea mays* L.) é a principal cultura alimentar produzida pelo setor familiar, em condições não irrigadas. Dados do Censo Agropecuário (CAP) de 2000 indicam que as culturas do milho e da mandioca (*Manihot esculenta*) totalizam 50% do valor de produção agrícola para pequenas e médias explorações. Os camponeses alocam entre 20 a 60 % da suas áreas agrícolas para produzir o milho em todo o país (MICOA, 2002). Sendo cultivado em mais de 80% das explorações agrícolas, em consórcio com leguminosas. É reconhecida a sua contribuição para a segurança alimentar da população Moçambicana. A principal finalidade da produção agrícola é a subsistência, sendo os seus excedentes comercializados.

O milho é majoritariamente semeado na época quente e úmida entre os meses de outubro e abril. O setor familiar semeia o milho em todo ano dividido em duas épocas: a primeira época, onde é semeada cerca de 80 a 90% da produção anual, que geralmente inicia nos meses de novembro e dezembro. A segunda época, com menor proporção, a semeadura é feita em março e abril (Cumba, 2001). Os seus rendimentos são influenciados pelas condições meteorológicas que por sua vez afetam o abastecimento e comercialização de alimentos. A

implementação de modelos de previsão de safras das principais culturas alimentares, pode auxiliar os tomadores de decisão em medidas relativas a distribuição de alimentos para a segurança alimentar. Modelos agrometeorológicos baseados no balanço hídrico das culturas demonstraram um bom desempenho nas estimativas de rendimentos do milho em Moçambique (Rojas, 1994). Com o crescente uso de dados provenientes de sensores orbitais como índices de vegetação em monitoramento e previsão de safras, a expectativa é que este gênero de dados auxiliem na melhoria do desempenho dos modelos de previsão e melhorem a representação espacial das estimativas de rendimentos. Surgindo, portanto, a necessidade de se ajustar um modelo de previsão de rendimentos do milho que combine variáveis agrometeorológicas e espectrais. Porém, o ajuste e aplicação do modelo deverá ser feito em áreas onde efetivamente é cultivada a cultura do milho de modo que as variações anuais dos rendimentos sejam reflexo da variação dos parâmetros agrometeorológicos e espectrais das áreas de cultivo. No entanto, pela características do sistema de produção agrícola em Moçambique, um mapeamento de culturas agrícolas específicas é quase impraticável, principalmente pelo regime consorciado e tamanho das explorações agrícolas. Surge, portanto, a opção de se fazer o mapeamento de áreas agrícolas e baseado na proporção média da área ocupada pela cultura do milho, cumprindo-se assim o objetivo de extrair a variabilidade dos dados espectrais para o ajuste do modelo.

Classificações convencionais de imagens de resolução média como o TM/Landsat e ASTER seriam ideais para a delimitação de áreas agrícolas. No entanto a resolução temporal, a cobertura de nuvens no período chuvoso (principal época de produção) e a semelhança entre padrões espectrais das culturas agrícolas e a vegetação natural em alguns períodos do ano inviabilizam essa alternativa. O uso de séries temporais de índice de vegetação proveniente de sensores de alta resolução temporal como o MODIS (*MODerate-resolution Image Spectroradiometer*) são uma opção prática para discriminação de áreas agrícolas apesar de sua média resolução espacial (250 metros). Baseia-se essencialmente na análise das variações de índices de vegetação verificadas ao longo do ciclo de uma dada cultura em função das mudanças fenológicas e cobertura do solo. Vários autores conseguiram discriminar culturas agrícolas em vários locais do mundo por essa abordagem (Kastens et al, 2005; Doraiswamy et al, 2006; Fritz et al, 2006; Wagner et al, 2007; Santos, 2009) A aplicação de uma metodologia de mapeamento das áreas agrícolas explorando a dinâmica temporal dos índices de vegetação ao longo do ciclo da cultura do milho, constitui o objetivo do presente estudo.

2. Material e Métodos

A área de estudo compreende quatro distritos da Província Manica no centro de Moçambique, nomeadamente: Gondola, Manica, Mossurize e Sussundenga (Figura 1), localizados entre as latitudes 18° 22' 26,4'' e 20° 39' 28,8'' Sul e Longitudes 32° 29' 6'' e 34° 2' 2,4'' Leste, com uma superfície total de 22.423 km², e uma população total de 810.000 habitantes. Cada um dos distritos possui uma média da produção anual do milho superior a 20.000 toneladas no período de análise. Os distritos envolvidos na área de estudo, de acordo com as estatísticas oficiais, foram responsáveis, em média, por mais de 80 % da produção de milho nos últimos dez anos (2000-2009) na província de Manica.

A área de estudo encontra-se sobre duas regiões agroecológicas, nomeadamente a região central de média altitude (R4) e de alta altitude de Manica (R10), com características edafoclimáticas potenciais para produção de milho. Dominada pela região quatro, que inclui áreas com altitude entre 200 e 1000 m nas províncias de Manica e Sofala, precipitação pluvial média anual entre 100 a 1200 mm. O ciclo das culturas anuais praticadas varia entre 120 a 180 dias. A região dez compreende as áreas com altitude acima de 1000 m e envolve as regiões de Manica e Espungaberra. De acordo com o Walker et al (2006), estas duas regiões agroecológicas, incluindo a região seis, são as regiões mais dinâmicas do País em termos de

produção de milho e por isso com destaque na procura de novas variedades pelo programa do milho. O clima predominante é o tropical de savana (classificação de Köppen - Aw). Caracteriza-se por apresentar duas estações climáticas distintas em termos de disponibilidade de umidade. Uma estação quente e chuvosa e outra fresca e seca, que se encontram respectivamente nos períodos de outubro a março e abril a setembro.

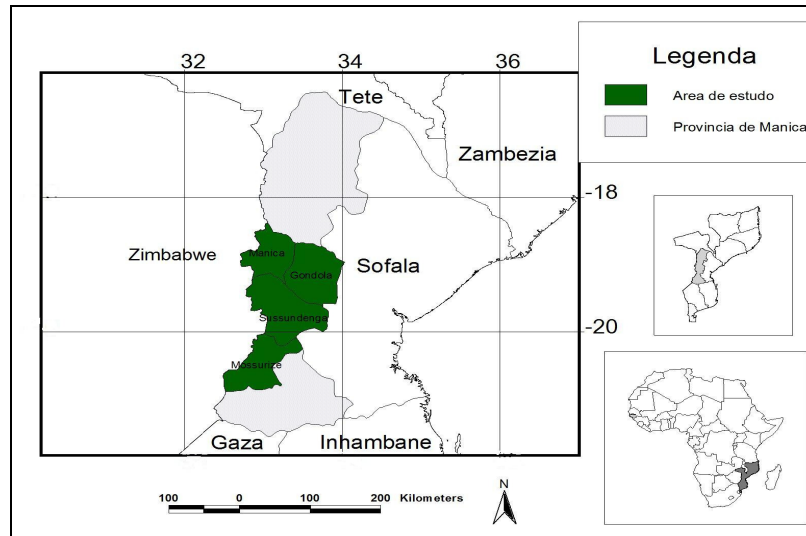


Figura 1 Localização da área de estudo

Estimativas de precipitação pluvial do Centro Europeu de Previsão do Tempo em Médio Prazo (ECMWF-*European Centre for Medium-range Weather Forecast*) foram utilizadas como para a definição do período de semeadura do milho. Dispostos em pontos regulares de 0,25 °, os dados se encontram disponíveis para *download* gratuito no *website* da MARS unit (<http://mars.jrc.ec.europa.eu/mars/About-us/FOODSEC/Data-Distribution>). Foram de seguida interpolados pelo método de inverso do Quadrado da Distância (IQD), e extraídos os valores médios por distrito na área de estudo por meio do software ARCGIS 9.3. Esse tratamento de dados compreendeu nove anos agrícolas na série de dados de 10 anos (2000 a 2009).

Composições de máximo valor (CMV) do Índice de Vegetação por Diferença Normalizada NDVI (*Normalized Difference Vegetation Index*) de 16 dias do sensor EOS MODIS, retiradas do produto MOD13Q1 coleção 5, com resolução espacial de 250 m na série de anos em estudo foram usados para a análise multitemporal. O NDVI é calculado a partir da diferença entre as reflectâncias de superfície do infravermelho próximo (ρ_{IVP}) e o vermelho (ρ_V) normalizado pela sua soma (equação 1), dado por:

$$NDVI = \frac{\rho_{IVP} - \rho_V}{\rho_{IVP} + \rho_V} \quad (1)$$

O produto MOD13 também obtido por *download* no *website* da NASA (*National Aeronautics and Space Administration*): <https://wist.echo.nasa.gov/api>. Com o auxílio do *Software* para processamento de imagens ENVI 4.5, foram extraídos os valores médios de NDVI por distrito em cada uma das composições e, a partir destes, construídos os perfis Temporais de NDVI nos anos analisados em cada um dos distritos.

Na indisponibilidade de dados sobre o calendário agrícola nos anos de análise, que poderiam auxiliar na definição do período de semadura e ciclos do milho. Foi definido um

critério para determinar período de semeadura e definição do ciclo médio da cultura. Foi considerado o decêndio de semeadura àquele que registrar precipitação superior a 25 mm seguido de dois decêndios com precipitação pluvial total superior a 20 mm. Foi também definido um ciclo fixo de crescimento do milho, com duração de 130 dias, que compreendiam 13 decêndios dos dados meteorológicos e 9 composições de 16 dias de índices de vegetação.

A identificação de áreas agrícolas foi feita pela diferença de valores de NDVI entre o início do ciclo do milho na principal época de produção e o máximo verificado dentro do ciclo do milho de 130 dias após a semeadura em cada ano agrícola. Foram definidos limiares que correspondem a diferença entre as médias de NDVI por distrito das composições usadas na diferença. O critério foi definido considerando que os alvos agrícolas, pela sua dinâmica temporal, deverão apresentar uma variação maior nos valores de índices de vegetação durante o ciclo vegetativo em relação a outros alvos naturais, devido a grande variação na cobertura vegetal resultantes das mudanças fenológicas. Foram consideradas prováveis áreas agrícolas as que apresentaram diferença de NDVI entre os dois períodos superior ao limiar definido.

Foram geradas imagens binárias (D_i) onde os *pixels* com valor zero (0) correspondiam aos locais que não apresentaram variação de NDVI superior ao limiar (L) e um (1) aos locais com variação superior ao limiar definido por cada ano agrícola (i) e por distrito da área de estudo (equação 2).

$$D_i \begin{cases} 1 & \text{se } NDVI_{\max} - NDVI_{\min} > L \\ 0 & \text{se } NDVI_{\max} - NDVI_{\min} \leq L \end{cases} \quad (2)$$

Fez-se o somatório das imagens binárias de diferença (equação 3), a imagem (M) resultante apresentavam *pixels* com valores no intervalo de zero (0) a nove (9). Onde *pixels* com valor zero (0), correspondiam as áreas que não apresentaram variação de NDVI superior ao limiar em todos os anos agrícolas em estudo. E os *pixels* com valores entre um (1) e nove (9) correspondem aos locais em que se verificaram variações de NDVI superiores ao limiar entre um e nove anos respectivamente.

$$M = \sum_{i=1}^9 D_i \quad (3)$$

Pixels com valor nove (9) correspondem ao maior nível de restrição de áreas com variação de NDVI, reduzindo sucessivamente com a redução do valor do *pixel*. Foram calculadas as áreas correspondentes aos diferentes níveis de restrição, e por sua vez comparadas com as áreas de plantadas do milho divulgadas pelas estatísticas agrícolas oficiais. As estatísticas agrícolas disponibilizadas a nível distrital por ano agrícola pela Direção Nacional de Serviços Agrárias do ministério da Agricultura de Moçambique (DNSA/MINAG) incluem dados de produtividade média (ton/ha) e produção do milho(ton). A área cultivada foi estimada a partir da razão entre a produção e produtividade média do milho. O nível de restrição que apresentasse áreas mais próximas as estatísticas agrícolas corresponderia à máscara final de cultivo por distrito.

3.Resultados e discussão

De modo geral, os períodos de semeadura definidos pelo critério de chuva se encontram entre os meses de outubro e dezembro. Este intervalo de meses coincide com os resultados obtidos por Cumba (2001), que determinou data média de semeadura do milho usando séries

de precipitação pluvial decendial de 28 a 29 anos na província de Manica. O critério para definição da data de semeadura usado pelo mesmo autor foi o decêndio que apresentasse precipitação superior a 20 mm. Este critério é válido na medida que simula estratégias de semeadura comuns dos agricultores do setor familiar para culturas não irrigadas em Moçambique, que se resume essencialmente é efetuar a semeadura após o início do período chuvoso. As datas de semeadura definidas por distrito não apresentam uma variação considerável no mesmo ano agrícola(Tabela 1).

Tabela 1 Data de semeadura do milho definidas pelo modelo de estimativa de início do ciclo por ano e por distrito considerando o ciclo com duração de 130 dias

	Gondola		Manica		Mossurize		Sussundenga	
	início	final	início	final	início	final	início	final
2000/01	21/out	28/fev	21/out	28/fev	11/out	18/fev	21/out	28/fev
2001/02	11/nov	21/mar	11/nov	21/mar	11/nov	21/mar	11/nov	21/mar
2002/03	01/out	08/fev	01/out	08/fev	21/out	28/fev	21/set	29/jan
2003/04	11/dez	20/abr	11/dez	20/abr	21/dez	30/abr	11/out	18/fev
2004/05	01/out	08/fev	21/nov	31/mar	01/out	08/fev	01/out	08/fev
2005/06	01/dez	10/abr	01/dez	10/abr	01/dez	10/abr	01/dez	10/abr
2006/07	01/nov	11/mar	11/nov	21/mar	11/nov	21/mar	01/dez	10/abr
2007/08	01/nov	11/mar	01/nov	11/mar	01/nov	11/mar	01/nov	11/mar
2008/09	01/nov	11/mar	01/nov	11/mar	01/nov	11/mar	11/dez	20/abr

As diferenças entre o NDVI máximo e mínimo durante o ciclo de desenvolvimento do milho retirados dos perfis médios constituíram os limiares de corte para identificação de áreas agrícolas (Tabela 2).

Tabela 2 Limiares de corte determinados por distrito e ano agrícola

Ano	Gondola	Manica	Mossurize	Sussundenga
2000/01	0,320	0,279	0,186	0,221
2001/02	0,305	0,252	0,216	0,181
2002/03	0,319	0,299	0,236	0,179
2003/04	0,255	0,242	0,109	0,188
2004/05	0,410	0,148	0,307	0,270
2005/06	0,302	0,301	0,332	0,225
2006/07	0,352	0,298	0,323	0,190
2007/08	0,403	0,351	0,379	0,291
2008/09	0,400	0,370	0,430	0,203

Com a implementação operações para discriminação de áreas agrícolas descritas se gerou uma imagem com valores de *pixels* entre 0 e 9. O valor do *pixel* representa a frequência com que este teve uma variação superior ao limiar de corte nos 9 anos analisados. A Figura 3 ilustra a imagem de frequência do distrito de Sussundenga. A hipótese aqui apresentada é de que quanto maior a frequência de variação superior ao limiar de corte de um determinado *pixel* dentro do ciclo de desenvolvimento do milho, maiores as chances deste conter áreas agrícolas consolidadas na área de estudo. Se as frequências de variação forem consideradas níveis de restrição para discriminação de áreas agrícolas a frequência máxima (no caso 9) será o maior nível de restrição de áreas agrícolas. o nível de restrição imediatamente inferior (8) deverá incluir para além dos *pixels* com frequência correspondente ao nível de restrição,

os *pixels* com nível de restrição superiores, assim sucessivamente até o menor nível de restrição. Os níveis de restrição aplicados para o cada um dos distritos foram 9, 7, 8, 9 respectivamente para Gondola, Manica, Mossurize e Sussundenga. O somatório das áreas das máscaras por distrito superestimam a média das áreas de milho divulgadas (Figura 2).

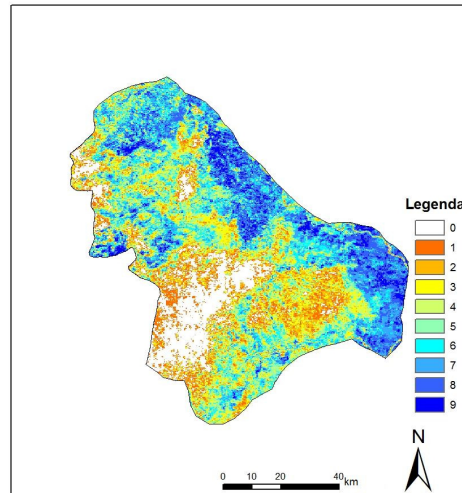


Figura 2 Somatório das imagens binárias no distrito de Sussundenga

A estimativa final de áreas agrícolas é apresentada na Figura 3. Além da comparação com as estatísticas agrícolas oficiais, é possível fazer uma outra avaliação baseado em algumas informações gerais sobre os sistemas de produção agrícola em Moçambique. O milho é o principal alimento básico em todo o país. O resultado da produção dessa cultura é principalmente destinada a alimentação dos agregados familiares sendo seus excedentes posteriormente comercializados. A principal limitação para a extensão das áreas agrícolas é a força de trabalho, portanto, o tamanho das explorações agrícolas é constrangido pelo número de agregados familiares. Por isso, é natural a associação das grandes áreas agrícolas com a localização das maiores concentrações populacionais. Os agregados populacionais se concentraram nas proximidades das vias de comunicação, no caso concreto, das principais estradas de modo a facilitar a comercialização dos seus excedentes agrícolas. Há também que realçar a tendência das populações se localizarem próximo a fontes naturais de água (rios e lagos).

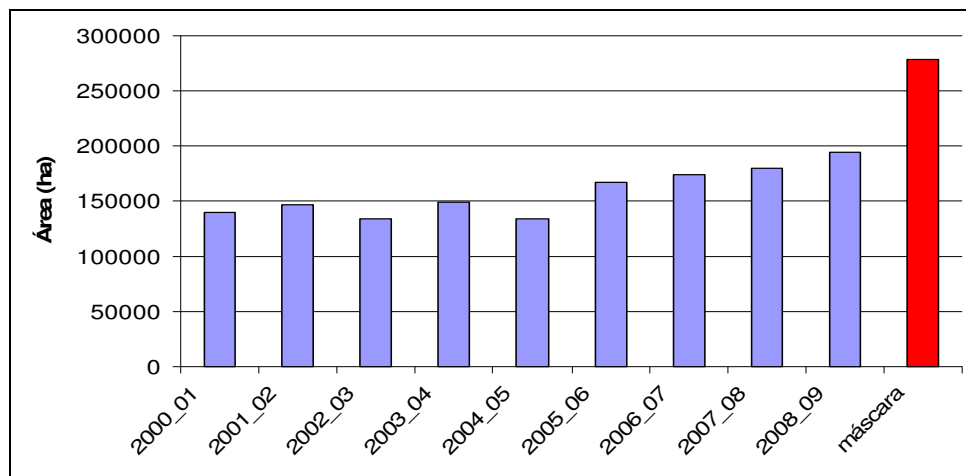


Figura 3 Áreas de milho de referência por ano agrícola e área estimada pela máscara final sobre área total dos distritos

Se forem sobrepostos sobre o mapa de áreas agrícolas gerado, um conjunto de dados socioeconômicos é possível a identificação de prováveis áreas agrícolas. Os dados usados foram : as redes rodoviária e hidrográfica da área de estudo e dados espacializados de agregados populacionais coletados no Censo Geral da População e Habitação de 1997 (Figura 4B).

Algumas limitações sobre o uso de dados de sensores de resolução moderada como o MODIS em mapeamento de áreas agrícolas deverão ser consideradas. Uma consideração se prende com o tamanho das explorações agrícolas. Em média as explorações agrícolas no setor familiar têm 1,3 ha (MICOA, 2002). Menor que o tamanho do *pixel* (250 m equivalente a 6,25 ha) da melhor resolução espacial sensor MODIS que pode, a princípio, dificultar a identificação das áreas agrícolas. No entanto esta pode não ser uma limitação de todo, uma vez que as grandes áreas de produção agrícola se encontram concentradas e apresentam uma continuidade espacial com áreas superiores ao tamanho do *pixel*. Outra limitação tem a ver com os sistemas de produção, em que o milho é cultivado geralmente em consórcio com uma leguminosa, o que pode afetar a resposta espectral do alvo em questão.

O ponto positivo da utilização de imagens satélites para o monitoramento das culturas agrícolas está relacionado com o calendário agrícola em Moçambique, que é mais homogêneo, uma vez que o início da época de produção é definido pelo início da época chuvosa, resultando em ciclos de desenvolvimento pouco defasados. Reduzindo, deste modo, o risco de se ter a mesma cultura agrícola em estágios fenológicos diferentes na mesma área de estudo. Isto tem sido uma limitação comum em monitoramento de culturas agrícolas com uso de sensores remotos.

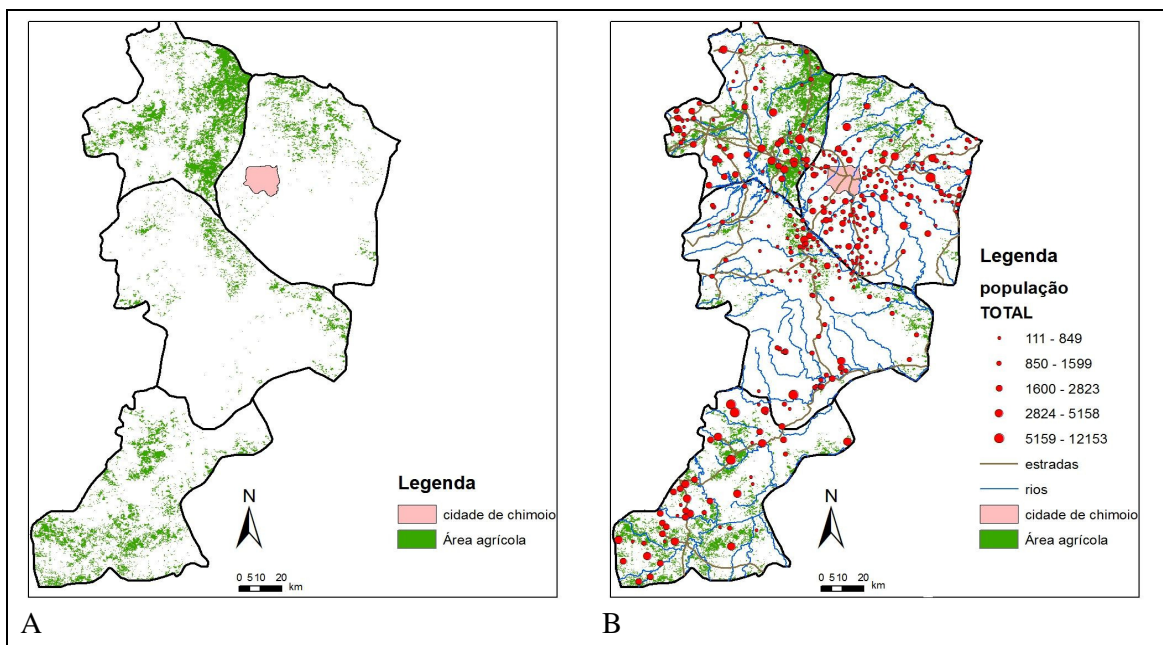


Figura 4 A) mapa final de áreas agrícolas sobre a área de estudo B) mapa final de áreas agrícolas sobre a área de estudo e dados socioeconômicos sobrepostos

4.Considerações finais

A implementação da metodologia de mapeamento de áreas agrícolas apresentada superestimou as áreas de milho estimadas a partir das estatísticas oficiais sobre a área de estudo.

A avaliação da metodologia para a identificação de áreas agrícolas apresentada não é conclusiva, no entanto é importante referir que esta se baseia em pressupostos teóricos sólidos.Há necessidade de se realizar uma validação deste mapeamento por verificação de pontos de controle em campo.

5.Referências Bibliográficas

CUMBA R. Estratégias de Sementeira do Milho na Agricultura de Sequeiro em Moçambique; Tese de Licenciatura(Engenharia Agrônômica), Faculdade de Agronomia e Engenharia Florestal- Universidade Eduardo Mondlane; Maputo, 2001.

DORAISWAMY P. C.; AKHMEDOV B. e STERN A. J. Improved Techniques for Crop Classification using MODIS Imagery In: International Geoscience and Remote Sensing Symposium Denver, Colorado. CD-ROM, p 2084-2087. 2006.

KASTENS J. H., KASTENS T. L., KASTENS D.L., PRICE K. P., MARTINKO E. A. e LEE R.; Image masking for crop yield forecasting using AVHRR NDVI time series imagery in **Remote Sensing of Environment**, Vol. 99, Issue 3,pp.341-356,2005.

FRITZ S., MASSART M., SAVIN I. and LEO O. The use of modis data in southern russia for crop acreage Estimations and inter-comparison of results from various crop Acreage estimation methods In: ISPRS Archives **Workshop proceedings: Remote sensing support to crop yield forecast and area estimates**; Stresa-Italy: 2006, , On-line Disponível em: <http://www.isprs.org/proceedings/XXXVI/8-W48/59_XXXVI-8-W48>. Acesso em: 18 ago. 2010.

MINISTÉRIO DA AGRICULTURA E DESENVOLVIMENTO RURAL-MADER. Relatório Geral Do Trabalho Inquérito Agrícola. Maputo, Moçambique, 26p. 2002.

MINISTÉRIO DA COORDENAÇÃO DA ACÇÃO AMBIENTAL-MICOA, Relatório sobre o Estado do Ambiente, Moçambique, 106p. 2002.

ROJAS O. Estimacão Do Rendimento Do Milho Em Moçambique Utilizando O Modelo De Balanço Hídrico Da FAO, Sistema Nacional de Aviso prévio para a segurança alimentar. DINA, Maputo. FAO- GCPS/RAF/270/DEN(MOZ), 81p., 1994.

SANTOS, J. S.; GEHARDT, A.; FONTANA, D. C; Análise das Estimativas de Área de Soja no Estado do Rio Grande do Sul Geradas por Imagens NDVI/MODIS Coleções 4 e 5.**Anais: XIV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto**, Natal, Brasil, 25-30 abril 2009, INPE, p. 435-442.

WAGNER, A.P.L.; WEBER, E. ; FONTANA, D. C. ; DUCATI, J. R. ; KLERING, E. Estimativa de Área de Soja no Rio Grande do Sul utilizando Imagens NDVI/MODIS. In: XIII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 2007, Florianópolis. **Anais**. São José dos Campos : INPE, 2007. v. 1. p. 457-464.

WALKER, T. et al, Estabelecimento de Prioridades para a Investigação Agrária no Sector Público em Moçambique Baseado nos Dados do Trabalho de Inquérito Agrícola (TIA), Relatório de Pesquisa No3P, Direção de Formação, Documentação e Transferência de Tecnologias- Instituto de Investigação Agrária de Moçambique (DFDIT-IIAM),72p. Maputo-Moçambique, 2006