

Processamento digital de imagens MODIS com obtenção do EVI, para aplicação de modelos de estimativa de produtividade para o café nos municípios de Barra do Choça, Barreiras, Bonito, Itamaraju, Luís Eduardo Magalhães e Prado/BA

Gisele Martins Amaral¹
André Luiz Farias de Souza¹
Diego Raoni da Silva Rocha¹
Társis Rodrigo de Oliveira Piffer¹

¹ Companhia Nacional de Abastecimento - Conab/GEOTE
Caixa Postal 08582 – 70390010 – Brasília – DF, Brasil
{giseledifferent, andrelfsouza, diegorsrocha}@gmail.com
tarsis.piffer@conab.gov.br

Abstract: This study aimed to use the enhanced vegetation index (EVI) and evapotranspiration in the estimated production and productivity of coffee plantations in the municipalities of Barra do Choça, Barreiras, Bonito, Itamaraju, Luís Eduardo Magalhães and Prado in State of Bahia. With EVI data, we defined the period information of 18 February 2000 to 19 December 2010. In this period, we calculated the average and maximum values of the vegetation index in the mapped area with coffee in each municipality. The model given the data and productivity potential evapotranspiration were calibrated between the years 2003 and 2007. The predictive model is based on FAO model, but with the use of satellite information. The model was calibrated with data from years 2000 to 2007, resulting in an equation of linear trend analysis for each municipality. These results allowed to estimate the productivity of the production for the years 2008 to 2010. The results with the model generated based on vegetation index mapped area, estimated values close to those generated by the organs oficiais. Os best results with data from EVI were found to municipalities Itamarajú, Prado, Luis Eduardo Magalhães, Barra do Choça, Bonito e Barreiras. With the data of evapotranspiration, the results still the same for municipalities Itamarajú, Prado, Luis Eduardo Magalhães, Barra do Choça, Bonito e Barreiras. The results with the model generated based on vegetation index of the mapped area, estimated values close to those generated by official agencies.

Keywords: Remote sensing, vegetation index, EVI, MODIS, evapotranspiration, crop yield forecast, State of Bahia.

1. Introdução

A produção de café no Estado da Bahia tem aumentado e criado diversas oportunidades de investimentos. A distribuição espacial da atividade se dá em três pólos de produção: Planalto, Cerrado e Atlântico, caracterizados por cultivarem espécies distintas, demonstrarem níveis tecnológicos diferenciados e produzirem diferentes tipos de bebidas. Na região dos Cerrados, a cafeicultura demonstra maior dinamismo, com 12,5 mil hectares de área irrigada, com alto aporte de tecnologia e registrando níveis de produtividade em lavouras de 24 meses, de 50 sacas, de 60 kg beneficiadas por hectare. Neste aspecto, a cafeicultura apresenta as melhores produtividades do país.

Com uma diferença de produtores e qualidades, a cafeicultura da Bahia demonstra excelentes vantagens competitivas para conquista de mercados mais exigentes, destacando-se, a cada dia, a produção de cafés especiais, cada vez mais procurados em todo mundo.

Segundo a Companhia Nacional de Abastecimento (Conab), no levantamento realizado durante o mês de setembro de 2011, a previsão para a produção cafeeira do Estado é estimada em 2.266,8 mil sacas de café beneficiadas, sendo 1,1% inferior ao volume produzido na safra 2010. Em relação à estimativa anterior, divulgada no mês de maio/11, é 8,4% inferior. A variação negativa se deve à estiagem ocorrida nos meses de janeiro e fevereiro, que provocou redução na florada esperada para ocorrer no período.

Para este estudo, foram utilizadas as imagens do sensor Moderate Resolution Imaging

Spectroradiometer (MODIS) a bordo do satélite TERRA, no qual, foi gerado o índice de vegetação melhorado *Enhanced vegetation index* (EVI), fornecido a cada 16 dias, georreferenciado e corrigido para os efeitos atmosféricos. A estimativa testada, levou em consideração a área, a produtividade e o tempo. A área foi estimada através das tecnologias de imagens de satélite georreferenciadas, que consistiram no mapeamento das áreas cafeeiras. O tempo foi definido pelos anos de 2000 a 2010 e o conhecimento da produtividade foi definido com a análise de vários fatores, principalmente climáticos. Através da utilização de geotecnologias, foram testadas novas metodologias de estimativa de produtividade, com o intuito de melhorar as análises para as culturas cafeeiras no Estado da Bahia.

2. Metodologia de trabalho

A Bahia em 1990 alcançou uma área colhida de 136.297 hectares de café em grãos. Em 2010, esse número foi de 152.056 hectares, segundo o IBGE. Dentre as mesorregiões definidas, optou-se por 6 municípios de maior produção cafeeira para a geração do modelo de previsão de safra.

No Centro Sul Baiano, os municípios escolhidos foram Barra do Choça com produção de 16.200 toneladas de café e Bonito com 8.100 toneladas. Em Barra do Choça, também conhecida como a Capital do Café, a cultura cafeeira corresponde a 83% da atividade econômica do município e da ocupação da mão de obra. Já em Bonito, famosa pela produção de café, destaca-se como um das cidades que mais cresce no estado. Seu forte é a comercialização de café para exportação bem como outros frutos, tais como: morango, caqui, ameixa, uva, etc.

Na mesorregião do Sul Baiano, optou-se pelos municípios de Prado e Itamaraju, com produção de 14.400 e 11.700 toneladas de café. Estes municípios destacam-se na produção do café robusta, onde as lavouras apresentam predominância de café irrigado. Enquanto grande parte dos estados brasileiros começa a colheita entre os meses de maio e junho, produtores da Bahia começam a colher café no início de fevereiro. Isso se dá, pois esta é uma região próxima à linha do Equador e suas plantações recebem muitas chuvas e contam com um clima quente. Isso faz com que a colheita na região seja acelerada e permite que o produtor venda sua produção antes da maioria dos produtores brasileiros.

Na mesorregião Extremo Oeste Baiano, destacam-se os municípios de Barreiras e Luís Eduardo Magalhães, com produção de 11.327 e 9.086 toneladas de café. Clima tropical, solo bem drenado e pivô de irrigação são alguns pontos que permitem o café ser plantado em áreas de pouca chuva no Oeste da Bahia. Grande parte da plantação de café desta região é irrigada por poços e as chuvas recarregam com abundância o subsolo de água.

2.1. EVI (índice de vegetação melhorado)

O índice de vegetação mais utilizado na literatura tem sido o NDVI (Normalized Difference Vegetation Index) que indica presença/concentração de clorofila na vegetação. Outro índice menos utilizado é o EVI (Enhanced Vegetation Index) mais indicado para estudos da variação na estrutura do dossel e área foliar. Deste modo, com o auxílio do software Ilwis, utilizamos os dados do EVI, e informações de 18 de fevereiro de 2000 a 19 de dezembro de 2010 (250 períodos de 16 dias), no qual foi observado o índice de vegetação máximo e médio para o café.

2.2. Parâmetros de produtividade do café

Conforme sugerido por Camargo e Pereira (1994), o café é uma cultura perene e os dados fenológicos e de produtividades considerados são provenientes de cafeeiros adultos, o valor de coeficiente de cultura (K_c) adotado no cálculo do balanço hídrico se iguala à unidade ($K_c=1$), assumindo-se, assim, plena cobertura do terreno pelas plantas adultas.

Picini et al. (1999) desenvolveram e testaram, para Mococa – SP, modelos matemáticos agrometeorológicos que relacionam a fenologia, a bienalidade e a produtividade do cafeeiro, a partir de dados de produtividade de cafeeiros adultos, variedade Mundo Novo, correspondente ao período de 1966/67 a 1973/74. Os melhores ajustes entre dados observados e estimados foram obtidos com modelo aditivo que relaciona o fator hídrico, durante os trimestres jun/jul/ago, set/out/nov e dez/jan/fev, os quais apresentaram coeficientes de resposta ao suprimento hídrico (Ky) de +0,38 (Ky1), +0,61 (Ky2) e +0,18 (Ky3), respectivamente, para os estádios fenológicos da dormência das gemas-início do florescimento, florescimento-formação do grão e formação do grão-maturação. Seguindo estes parâmetros utilizamos a tabela a seguir:

Tabela 1. Resumo dos parâmetros utilizados na parametrização do modelo agrometeorológico-espectral.

PERÍODO	MÊS	DIA JULIANO	KY	KC
Maturação dos frutos	Abril	97		1
	Abril	113		1
	Maio	129		1
	Maio	145		1
	Junho	161	0,38	1
Repouso do cafeeiro	Julho	177	0,38	1
	Julho	193	0,38	1
	Agosto	209	0,38	1
	Agosto	225	0,38	1
Florada, chumbinho, e expansão dos frutos	Setembro	241	0,61	1
	Setembro	257	0,61	1
	Outubro	273	0,61	1
	Outubro	289	0,61	1
	Novembro	305	0,61	1
	Novembro	321	0,61	1
	Dezembro	337	0,18	1
	Dezembro	353	0,18	1
Granação dos frutos	Janeiro	1	0,18	1
	Janeiro	17	0,18	1
	Fevereiro	33	0,18	1
	Fevereiro	49	0,18	1
	Março	65		1
	Março	81		1

2.3. Evapotranspiração

Segundo ALLEN et al., 1998, o consumo de água de uma cultura pode ser expresso na forma de evapotranspiração (ET), que engloba a evaporação (E) e a transpiração (T). Normalmente se estima a evapotranspiração devido à dificuldade de se separar os processos de evaporação - perda de água diretamente das superfícies para a atmosfera - e transpiração - perda de água dos organismos vegetais e animais para a atmosfera. A evapotranspiração é considerada como potencial (ETP) quando ocorre a partir de uma superfície vegetada extensa e uniforme coberta por vegetação de porte baixo e bem suprida de água. Além da ETP do cultivo de interesse, determina-se também a evapotranspiração de referência (ET_o), que corresponde à demanda evaporativa da atmosfera e pode ser satisfatoriamente estimada com dados meteorológicos. Deste modo, pode-se quantificar a deficiência hídrica através do déficit de evapotranspiração, ocorrido nas diferentes fases fenológicas do cafeeiro.

2.4. Altitude e orientação de vertentes a partir de dados SRTM

A *Missão Topográfica Radar Shuttle (SRTM)* é um modelo digital do terreno da zona da Terra entre 56° S e 60° N, de modo a gerar uma base completa de cartas topográficas digitais terrestre de alta resolução. A partir dos dados SRTM e da máscara das áreas mapeadas com a cultura do café, realizou-se a extração das informações a seguir, com o auxílio do software ArcGis.

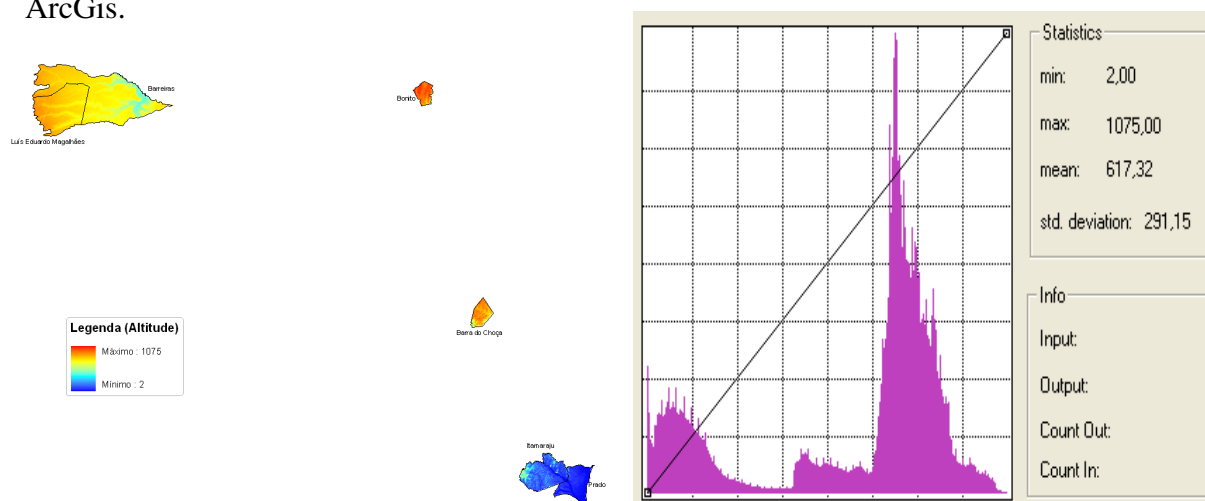


Figura 1: Altitude nas regiões cultivadas com café nos municípios selecionados do Estado da Bahia.

Histograma 1: Altitude em áreas com cafeicultura nos municípios de Barra do Choça, Barreiras, Bonito, Itamaraju, Luís Eduardo Magalhães e Prado no Estado da Bahia.

Na Figura 1, Histograma 1, são apresentados os valores de altimetria em relação às lavouras cafeeiras nos municípios em estudo.

O cruzamento entre a distribuição espacial das lavouras de café e a altitude, mostrou que o café é plantado em altitudes que variam de 2 a 1.075 metros nos municípios analisados. Nos municípios de Itamaraju e Prado, ocorrem áreas que se encontram em altitudes inferiores a 400 m, recomendadas para o cultivo do café conilon.

Quanto à orientação de vertente para os municípios de Barreiras e Luís Eduardo Magalhães, o mapa de vertente (Figura 2), mostrou que os municípios estão voltados para a face sul e noroeste em sua maior parte. No município de Bonito, observa-se que em média as vertentes estão orientadas à leste, e áreas com menor frequência a norte.

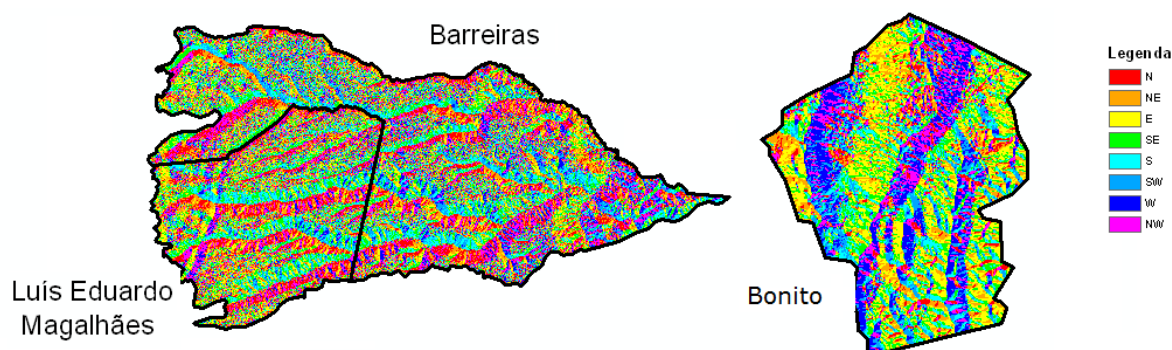


Figura 2: Orientação de vertentes em formato temático nos municípios de Barreiras e Luís Eduardo Magalhães, e o município de Bonito-BA.

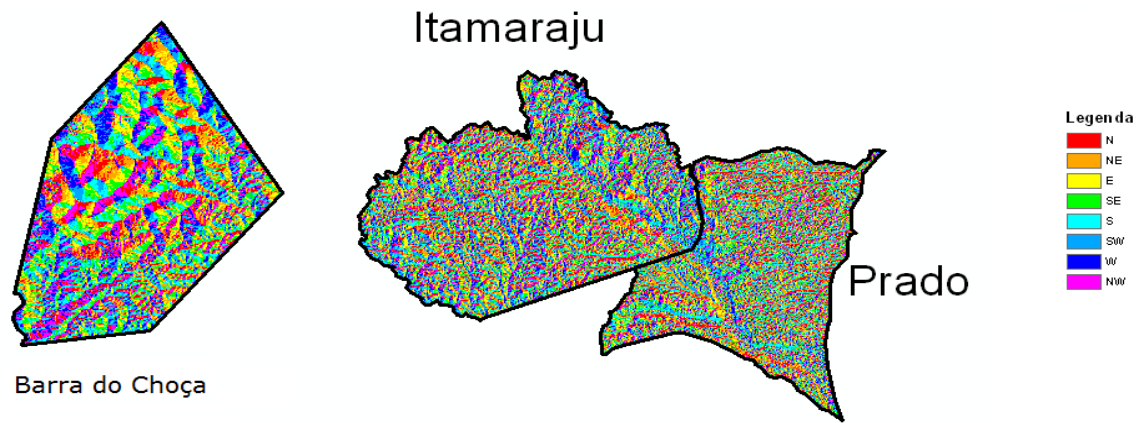


Figura 3: Orientação de vertentes em formato temático nos municípios de Barra do Choça, Itamaraju e Prado-BA.

No município de Barra do Choça, o valor médio na orientação de vertentes ocorre de modo bem diversificado. A Figura 3 ilustra o comentário supracitado, assim como os municípios de Itamaraju e Prado.

2.5. Estimativas de produtividade

O rendimento do café para fins de produtividade, deve levar em consideração as condições térmicas, hídricas e de crescimento da biomassa ocorrida ao longo do crescimento da cultura. Para definição do melhor período para análise do modelo de estimativa de produtividade levamos em consideração o comportamento de produtividade desde o ano de 1990 até 2009, segundo os dados de Produção Agrícola do IBGE.

A partir das informações de produtividade foi criado a linha de tendência para cada município analisado, no qual o cálculo foi dado pela seguinte equação: $y = mx + b$ onde m é a inclinação e b é a interseção. E o R^2 é representado por (Equação 1):

$$R^2 = 1 - \frac{SSE}{SST}$$

where

$$SSE = \sum (Y_j - \hat{Y}_j)^2$$

and

$$SST = \left(\sum Y_j^2 \right) - \frac{\left(\sum Y_j \right)^2}{n} \quad (1)$$

3. Resultados e Discussão

Foi utilizada para a área cultivada de café na Bahia, a (Equação 2) a seguir:

$$Y_{est} = Y_m * (1 - (k_y * (1 - (EVI_{med}/EVI_{max})))) \quad (2)$$

onde: Y = rendimento estimado (T)

Y_m = rendimento médio da série estudada (T)

K_y = fator de resposta à produtividade

EVI_{med} = índice de vegetação médio

EVI_{max} = índice de vegetação máximo

As informações dos anos de 2000 a 2007, serviram para calibrar o modelo, resultando uma equação de tendência linear para cada município analisado. Com esses resultados foi possível estimar a produtividade da cultura para os anos de 2008 a 2010. A Tabela 2, apresenta os resultados do modelo aplicado neste estudo.

Tabela 2. Resultados da quantidade produzida em toneladas e rendimento em toneladas por hectare para a estimativa do modelo de previsão de safra para os municípios selecionados.

<i>Barra do Choça</i>						
Ano	IBGE(T)	Estimativa(T)	IBGE(ton/ha)	Estimativa(ton/ha)	Diferença Estimativa/IBGE(T)	Diferença Estimativa/IBGE(ton/ha)
2008	21124	20877	1,14	1,13	-1%	-1%
2009	20976	21128	1,14	1,15	1%	1%
2010	16200	16360	0,90	0,91	1%	1%
<i>Barreiras</i>						
Ano	IBGE(T)	Estimativa(T)	IBGE(ton/ha)	Estimativa(ton/ha)	Diferença Estimativa/IBGE(T)	Diferença Estimativa/IBGE(ton/ha)
2008	13424	13911	2,47	2,59	4%	5%
2009	10754	11161	2,70	2,84	4%	5%
2010	11327	12009	2,70	2,93	6%	8%
<i>Bonito</i>						
Ano	IBGE(T)	Estimativa(T)	IBGE(ton/ha)	Estimativa(ton/ha)	Diferença Estimativa/IBGE(T)	Diferença Estimativa/IBGE(ton/ha)
2008	7752	7948	1,02	1,05	3%	3%
2009	10200	10123	1,20	1,19	-1%	-1%
2010	8100	8155	0,90	0,91	1%	1%
<i>Itamaraju</i>						
Ano	IBGE(T)	Estimativa(T)	IBGE(ton/ha)	Estimativa(ton/ha)	Diferença Estimativa/IBGE(T)	Diferença Estimativa/IBGE(ton/ha)
2008	14688	14744	2,16	2,19	0%	2%
2009	14688	14668	2,16	2,18	0%	1%
2010	11700	11426	1,80	1,78	-2%	-1%
<i>Luís Eduardo Magalhães</i>						
Ano	IBGE(T)	Estimativa(T)	IBGE(ton/ha)	Estimativa(ton/ha)	Diferença Estimativa/IBGE(T)	Diferença Estimativa/IBGE(ton/ha)
2008	4703	4728	1,41	1,39	1%	-2%
2009	9086	9210	2,70	2,76	1%	2%
2010	9086	9185	2,70	2,75	1%	2%
<i>Prado</i>						
Ano	IBGE(T)	Estimativa(T)	IBGE(ton/ha)	Estimativa(ton/ha)	Diferença Estimativa/IBGE(T)	Diferença Estimativa/IBGE(ton/ha)
2008	10560	10549	1,920	1,93	0%	1%
2009	16800	16706	2,100	2,14	-1%	2%
2010	14400	14369	1,800	1,83	0%	2%

O resultado do modelo estimou valores com pequena diferença em relação aos dados oficiais, demonstrando ser uma ferramenta eficiente para o Estado da Bahia.

A segunda abordagem é feita através da aplicação de modelos de penalização e quebra de produtividade. Este modelo considera a penalização como função da evapotranspiração, que representa o déficit hídrico da cultura. O índice de penalização é calculado como a Equação 3:

$$Y_{est} = (Y_{pot}) / (1 - k_y * (1 - E_{Tr} / E_{TP})) * (1 / 1 - K_{y0} * (1 - (E_{Vimed} / E_{Vimax}))) \quad (3)$$

onde: Y_{est} = produtividade estimada (ton^{-1}) e (ton/ha^{-1})

Y_{pot} = produtividade potencial (ton^{-1}) e (ton/ha^{-1})

K_{y0} = coeficiente de penalização da safra do ano anterior

K_y = coeficiente de resposta da cultura à demanda hídrica durante as fases dos ciclos fenológicos

E_{Tr} = evapotranspiração real da cultura

E_{TP} = evapotranspiração potencial da cultura

EVImed = índice de vegetação médio

EVImax = índice de vegetação máximo

A calibração deste modelo analisou os anos de 2003 a 2007. Os dados foram disponibilizados pelo Instituto Nacional de Meteorologia – INMET, e correspondem a dados decendiais das estações meteorológicas de São Mateus e Boa Esperança. Os resultados da aplicação desta equação resultaram para cada município em uma equação de tendência linear. Esses resultados possibilitaram estimar a produtividade da produção para os anos de 2008 a 2010. A seguir a Tabela 3, mostra os resultados da aplicação da equação do modelo de previsão de safra.

Tabela 3. Resultados da quantidade produzida em toneladas e rendimento em toneladas por hectare para a estimativa do modelo de previsão de safra em função da evapotranspiração para os municípios selecionados

<i>Barra do Choça</i>						
Ano	IBGE(T)	Estimativa(T)	IBGE(ton/ha)	Estimativa(ton/ha)	Diferença Estimativa/IBGE(T)	Diferença Estimativa/IBGE(ton/ha)
2008	21124	23701	1,14	1,28	12%	13%
2009	20976	20548	1,14	1,12	-2%	-2%
2010	16200	15981	0,90	0,88	-1%	-2%
<i>Barreiras</i>						
Ano	IBGE(T)	Estimativa(T)	IBGE(ton/ha)	Estimativa(ton/ha)	Diferença Estimativa/IBGE(T)	Diferença Estimativa/IBGE(ton/ha)
2008	13424	17455	2,47	2,65	30%	7%
2009	10754	9435	2,70	2,61	-12%	-3%
2010	11327	13335	2,70	2,81	18%	4%
<i>Bonito</i>						
Ano	IBGE(T)	Estimativa(T)	IBGE(ton/ha)	Estimativa(ton/ha)	Diferença Estimativa/IBGE(T)	Diferença Estimativa/IBGE(ton/ha)
2008	7752	8039	1,02	1,06	4%	4%
2009	10200	9107	1,20	1,10	-11%	-8%
2010	8100	7700	0,90	0,91	-5%	1%
<i>Itamaraju</i>						
Ano	IBGE(T)	Estimativa(T)	IBGE(ton/ha)	Estimativa(ton/ha)	Diferença Estimativa/IBGE(T)	Diferença Estimativa/IBGE(ton/ha)
2008	14688	13361	2,16	2,00	-9%	-7%
2009	14688	11259	2,16	1,79	-23%	-17%
2010	11700	10083	1,80	1,71	-14%	-5%
<i>Luís Eduardo Magalhães</i>						
Ano	IBGE(T)	Estimativa(T)	IBGE(ton/ha)	Estimativa(ton/ha)	Diferença Estimativa/IBGE(T)	Diferença Estimativa/IBGE(ton/ha)
2008	4703	5370	1,41	1,54	14%	9%
2009	9086	9500	2,70	2,78	5%	3%
2010	9086	11750	2,70	3,46	29%	28%
<i>Prado</i>						
Ano	IBGE(T)	Estimativa(T)	IBGE(ton/ha)	Estimativa(ton/ha)	Diferença Estimativa/IBGE(T)	Diferença Estimativa/IBGE(ton/ha)
2008	10560	10899	1,92	1,98	3%	3%
2009	16800	14913	2,10	1,98	-11%	-6%
2010	14400	12986	1,80	1,75	-10%	-3%

O modelo gerado com base na evapotranspiração, estimou valores abaixo e acima daqueles gerados pelos órgãos oficiais. O modelo proposto pode ser utilizado como

alternativa para previsão de safras, porém o modelo baseado somente nos dados do índice de vegetação, demonstrou melhores resultados.

4. Conclusões

Estes modelos de estimativa de produtividade apresentaram valores de produção para as áreas mapeadas nos municípios analisados. As informações obtidas ao final da pesquisa apontam um resultado desejável e convincente acerca da eficiência do uso de dados de EVI em modelos de estimativa de produtividade, o que não significa afirmar que diferentes metodologias não possam chegar a resultados semelhantes. As informações adquiridas através de mapeamentos, realizados por meio de processamento e análise dos dados de imagens de satélite, devem ser atualizadas e validadas constantemente, para que os resultados encontrados sejam capazes de aumentar a confiabilidade das informações.

Para explorar a potencialidade da aplicação dos modelos utilizados é necessário conhecer a capacidade das estimativas também em outros tipos de cultura. Os recursos disponibilizados por estes métodos, devem auxiliar as análises de levantamento de safras, com maior eficiência.

Agradecimentos

A Companhia Nacional de Abastecimento (CONAB), pelo apoio na realização deste estudo.

Referências Bibliográficas

Allen, R. G. et al. **Crop evapotranspiration: guidelines for computing crop water requirements**. Rome: FAO, 1998. 301p. (FAO Irrigation and drainage paper, n. 56).

Amaral, G.M.; Souza, A.L.F.; Piffer, T. R. O.; Sousa, A.O.; Santos, E.C.; Souza, L.M.M.; Oliveira, C.C. **Uso da geotecnologia para o mapeamento da cultura do café na microrregião de Ariquemes no Estado de Rondônia**. In: XV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 2011, Curitiba. XV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 2011.

Camargo, A. P.; Pereira, A. R. **Agrometeorology of the coffee crop**. Geneva, 1994. 43p. (WMO. TD, n. 615).

Picini, A.G. et al. **Desenvolvimento e teste de modelos agrometeorológicos para a estimativa de produtividade do cafeeiro**. Bragantia, Campinas, v. 58, n. 1, p. 157-170, 1999.

Piffer, T. R. O.; Amaral, G.M.; Campos, P.M.; Silva, R.A.B. **Mapeamento de áreas cultivadas**. In: Companhia Nacional de Abastecimento. (Org). Agricultura e Abastecimento Alimentar: políticas públicas e mercado agrícola. Brasília: Conab, 2009. cap.4, p.312-317.

Santos, E.C.; Souza, A.L.F.; Amaral, G.M.; Sousa, A.O.; Piffer, T. R. O.; Souza, L.M.M.; OLIVEIRA, C. C. **Mapeamento da cultura do café na microrregião de Afonso Cláudio Espírito Santo, com imagens de aerofotogrametria**. In: XV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 2011, Curitiba. XV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 2011.

Sousa, A.O.; Souza, A.L.F.; Amaral, G.M.; Piffer, T. R. O.; Santos, E.C.; Souza, L.M.M.; Oliveira, C.C. **Geoprocessamento e sensoriamento remoto como subsídio à previsão de safra de café no Extremo Oeste Baiano**. In: XV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 2011, Curitiba. XV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 2011.

Souza, L.M.M.; Souza, A.L.F.; Amaral, G.M.; Sousa, A.O.; Santos, E.C.; Piffer, T. R. O.; OLIVEIRA, C. C. **Sensoriamento remoto e geoprocessamento aplicados ao mapeamento das lavouras de café nas microrregiões de Ji Paraná, Vilhena e Colorado do Oeste em Rondônia**. In: XV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 2011, Curitiba. XV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 2011.