



Comparação do risco climático da soja, cana-de-açúcar e café arábica, para o estado de São Paulo, calculado com dados terrestres e orbitais de precipitação pluvial

Michelle Cristina Sanches¹, Jurandir Zullo Junior^{2(*)} e Luciana Alvim Santos Romani³

¹Unicamp - Faculdade de Engenharia Agrícola, Avenida Cândido Rondon, 501, CEP 13083-875 Campinas, SP. E-mail: mcristinasanches@gmail.com

²Unicamp - Centro de Pesquisas Meteorológicas e Climáticas Aplicadas a Agricultura, Avenida Dr. André Tosello, 209, CEP 13083-886, Campinas, SP. E-mail: jurandir@cpa.unicamp.br

³Embrapa Informática Agropecuária, Avenida Dr. André Tosello, 209, CEP 13083-886 Campinas, SP. E-mail: luciana.romani@embrapa.br

(*) Autor para correspondência.

INFORMAÇÕES

História do artigo:

Recebido em 20 de junho de 2018

Aceito em 20 de dezembro de 2018

Termos para indexação:

zoneamento agrícola
sensoriamento remoto
geoprocessamento

RESUMO

O objetivo deste trabalho é avaliar a utilidade dos dados de precipitação do produto orbital TRMM3B42, do satélite TRMM, na elaboração do zoneamento agrícola da soja, cana-de-açúcar e café arábica, para o estado de São Paulo. O período de análise foi 1998-2012. Dados de precipitação pluviométrica de 195 estações de superfície do Departamento de Águas e Energia Elétrica do estado de São Paulo (DAEE-SP) foram considerados como referência para o trabalho. A série de dados pluviométricos remotos foi gerada substituindo-se os dados de cada um dos 195 postos do DAEE-SP pelos dados da estação virtual mais próxima. As temperaturas médias mensal e anual, a evapotranspiração potencial decenal média e a probabilidade de geadas foram estimadas com base em modelos de regressão, utilizando as coordenadas geográficas (latitude, longitude e altitude) dos 195 postos pluviométricos do DAEE-SP. A deficiência hídrica anual e o índice de satisfação das necessidades de água (ISNA) foram calculados com base em modelos de simulação do balanço hídrico. Concluiu-se que os dados do produto orbital TRMM3B42 têm potencial para melhorar a quantidade e a distribuição espacial dos dados pluviométricos necessários para definição do zoneamento agrícola de culturas perenes e semiperenes, como a cana-de-açúcar e o café arábica. No caso de culturas anuais, como a soja, são necessárias adaptações no método de zoneamento devido ao impacto provocado pela tendência de superestimativa da precipitação pelo sensoriamento remoto.

© 2018 SBAgro. Todos os direitos reservados.

Introdução

A característica climática de uma região, como sua temperatura média e regime de chuvas, é um fator que influencia diretamente a produção agrícola de um municí-

pio, estado ou país, provocando perdas de safras por falta de água na fase crítica das culturas (florescimento e enchimento de grãos) ou excesso de chuvas na colheita (Rossetti, 2001). Após a implantação do programa de zoneamento agrícola de riscos climáticos (ZARC) pelo Governo Federal,

a partir da safra 1995/1996, as ocorrências de perdas de safras reduziram significativamente. Isto se justifica pelo fato do ZARC ser um instrumento de política pública gerado a partir de estudos, métodos e pesquisas científicas para identificar regiões com maior ou menor risco climático para o cultivo de diferentes culturas agrícolas, sejam elas temporárias ou perenes (Cunha e Assad, 2001).

Como exemplo de culturas agrícolas consideradas no ZARC, cita-se a soja, como temporária, a cana-de-açúcar, como semiperene, e o café arábica, como cultura permanente. Segundo indicadores agropecuários fornecidos pela CONAB (2018), a soja é um produto agrícola importante para o comércio exterior brasileiro, sendo que o país exportou cerca de 70 milhões de toneladas do grão na safra 2017/2018. A cana-de-açúcar ocupou cerca de 8,729 milhões de hectares, na safra 2017/2018, sendo considerada como uma das principais fontes de recursos renováveis, pelo etanol, um de seus derivados utilizado na substituição dos combustíveis fósseis (CONAB, 2018). O cultivo do café também é uma fonte de renda importante no comércio agrícola brasileiro, tendo superado a receita de US\$ 5,2 bilhões em 2017 (CECAFE, 2018).

A importância econômica da soja, cana-de-açúcar e café arábica ressalta a relevância da realização de pesquisas científicas visando a melhoria do zoneamento agrícola para essas culturas, atualmente baseado na utilização de séries de dados climáticos adquiridos por instrumentos e sensores instalados em estações de superfície. Esses postos são fundamentais como fontes de dados ambientais, mas apresentam limitações que dificultam sua utilização em escala regional, tais como, distribuição espacial inadequada, grande diversidade de equipamentos para medidas e condições difíceis de manutenção e acesso aos dados (Lazarim, 2013). Sendo assim, o aumento da disponibilidade e da qualidade dos dados obtidos por sensores remotos, especialmente nos anos mais recentes, faz com que eles representem, cada vez mais, uma alternativa viável para ampliar as bases de dados necessárias em aplicações de grande interesse prático, como é o caso do zoneamento agrícola. Como exemplo de um sistema remoto que pode ser útil neste caso, menciona-se o TRMM (sigla de Tropical Rainfall Measuring Mission), desenvolvido para monitorar e estudar a chuva tropical, e que disponibiliza dados estimados de precipitação nas regiões intertropicais do planeta, com resolução temporal de três horas (Kempner, 2010).

Com base neste contexto, define-se que o objetivo principal deste trabalho é avaliar a utilidade dos dados de precipitação do produto orbital TRMM3B42 do satélite TRMM, na elaboração do zoneamento agrícola da soja, cana-de-açúcar e café arábica, visando aumentar a quantidade de dados disponíveis e melhorar a distribuição espacial dos dados climáticos, permitindo aperfeiçoar os resultados do ZARC existente. Ressalta-se que não foi feita uma compara-

ção entre os dados pluviométricos de superfície, utilizados como referência no trabalho, e os do produto TRMM3B42 pois visou-se exclusivamente avaliar o impacto de dados obtidos de formas distintas no resultado final do zoneamento agrícola de culturas relevantes para o agronegócio nacional.

Material e Métodos

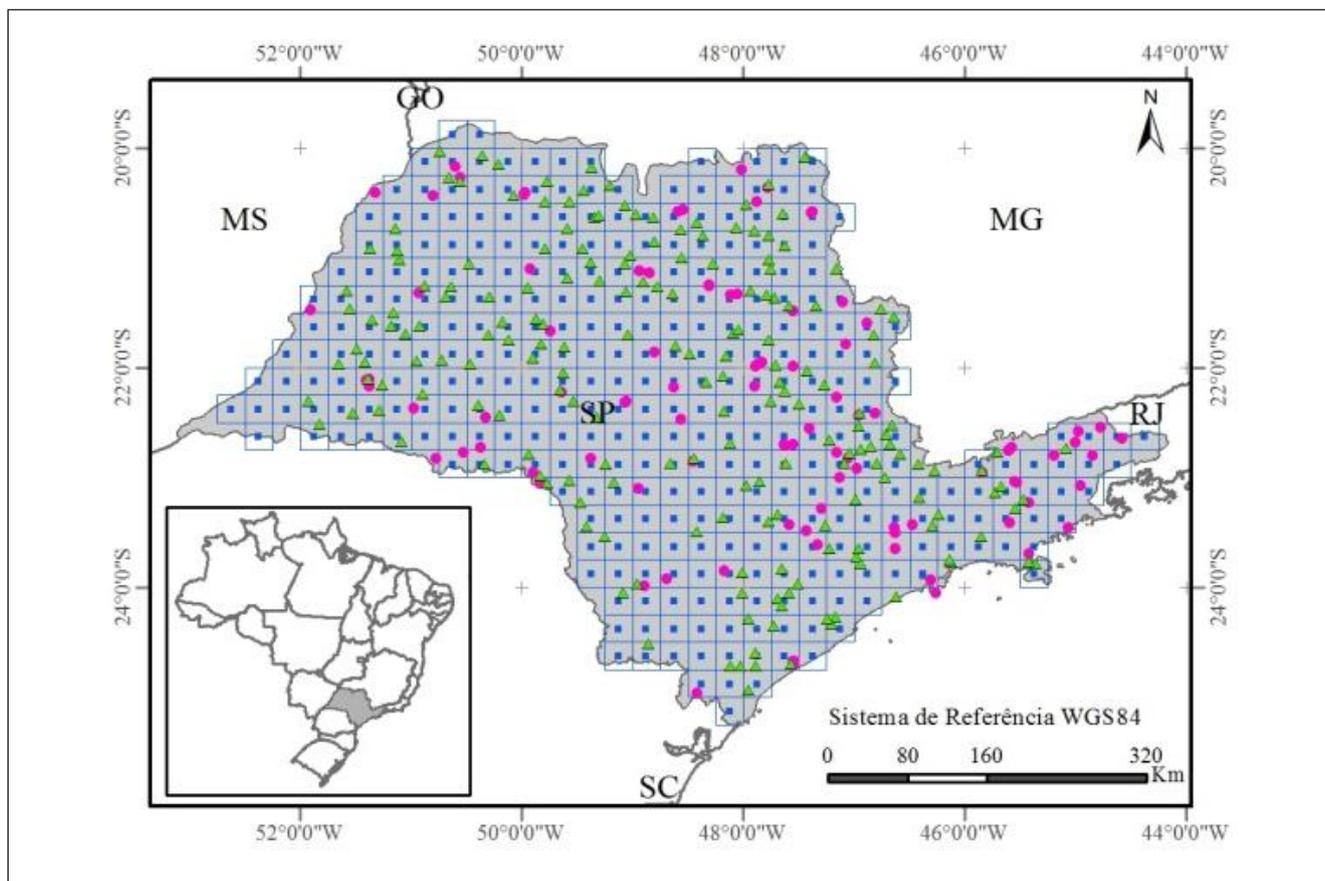
O estado de São Paulo foi escolhido como referência para avaliar o zoneamento agrícola da soja, cana-de-açúcar e café arábica, elaborado com dados de precipitação diária do produto orbital TRMM3B42, pelos seguintes motivos principais: (i) há estações pluviométricas de superfície bem distribuídas espacialmente em sua extensão territorial (Figura 1); (ii) possui condições ambientais distintas em seu território, com montanhas, planaltos, planícies e litoral; (iii) apresenta condições climáticas diversificadas, com possibilidade de geadas, temperaturas elevadas e deficiência hídrica de baixa a alta; (iv) há conhecimento consolidado e disponível sobre o zoneamento agrícola das principais culturas do país em sua área.

As séries de dados climáticos utilizadas atenderam à recomendação do MAPA (2018) de um período mínimo de 15 anos para satisfazer a questão dos riscos climáticos no zoneamento agrícola. Seguindo essa recomendação, foram selecionados dados de precipitação diária, entre os anos civis de 1998 a 2012, do Departamento de Águas e Energia Elétrica do estado de São Paulo (DAEE-SP) e do produto orbital TRMM3B42 (Embrapa Informática Agropecuária, 2014). Ressalta-se que este período de análise foi definido em função da disponibilidade dos dados do satélite TRMM.

O DAEE-SP disponibiliza, livremente na internet (www.hidrologia.dae.sp.gov.br), dados de precipitação diária e mensal de sua rede pluviométrica para toda extensão territorial do estado de São Paulo, tendo sido selecionadas 195 estações que apresentavam menos de 10% de dados faltantes entre 1998 e 2012. Dessas 195 estações, 122 não apresentaram falhas, 56 apresentaram de 1% a 5% de falhas, e 17 tinham de 6% a 9% de falhas, o que demonstra a qualidade dos dados utilizados como referência no trabalho. Os dados faltantes foram preenchidos com o valor da precipitação da estação pluviométrica mais próxima. Destaca-se que a localização geográfica (longitude, latitude e altitude) destes 195 postos foi utilizada como referência nas simulações, estimativas e cálculos realizados no trabalho.

Os dados de precipitação diária de 344 estações virtuais do produto orbital TRMM3B42 foram obtidos no sistema de monitoramento agrometeorológico AgriTempo (Embrapa Informática Agropecuária, 2014). É importante salientar que a precipitação fornecida nesse produto orbital combina informações de diferentes sensores a bordo do satélite TRMM e também dados de outros satélites, como o GMS,

Figura 1. Localização dos 195 postos pluviométricos do DAEE-SP, denotados por triângulos verdes, e das 344 estações virtuais, representadas por quadrados azuis localizados no centro das quadrículas do produto orbital TRMM3B42 delimitadas por linhas azuis. Os círculos de cor magenta representam estações do sistema meteorológico Agridempo (Embrapa Informática Agropecuária, 2014).



GOES-E, GOES-W, Meteosat-7, Meteosat-5 e NOAA-12. Eles têm seus dados ajustados de acordo com a característica climática de cada região e época do ano, a fim de disponibilizar uma estimativa da precipitação diária, significativa para um pixel, com dimensões de 0,25° x 0,25° de latitude e longitude (Huffman et al., 2007). A utilização destes dados orbitais foi feita considerando como referência a localização geográfica dos 195 postos do DAEE-SP. Neste caso, foram selecionados os dados da estação virtual mais próxima de cada um dos 195 postos do DAEE-SP, dentre as 344 disponíveis, para cálculo do zoneamento agrícola com dados remotos. Desse modo, a série de dados remotos foi gerada substituindo-se os dados pluviométricos das estações de superfície pelos dados da estação virtual mais próxima.

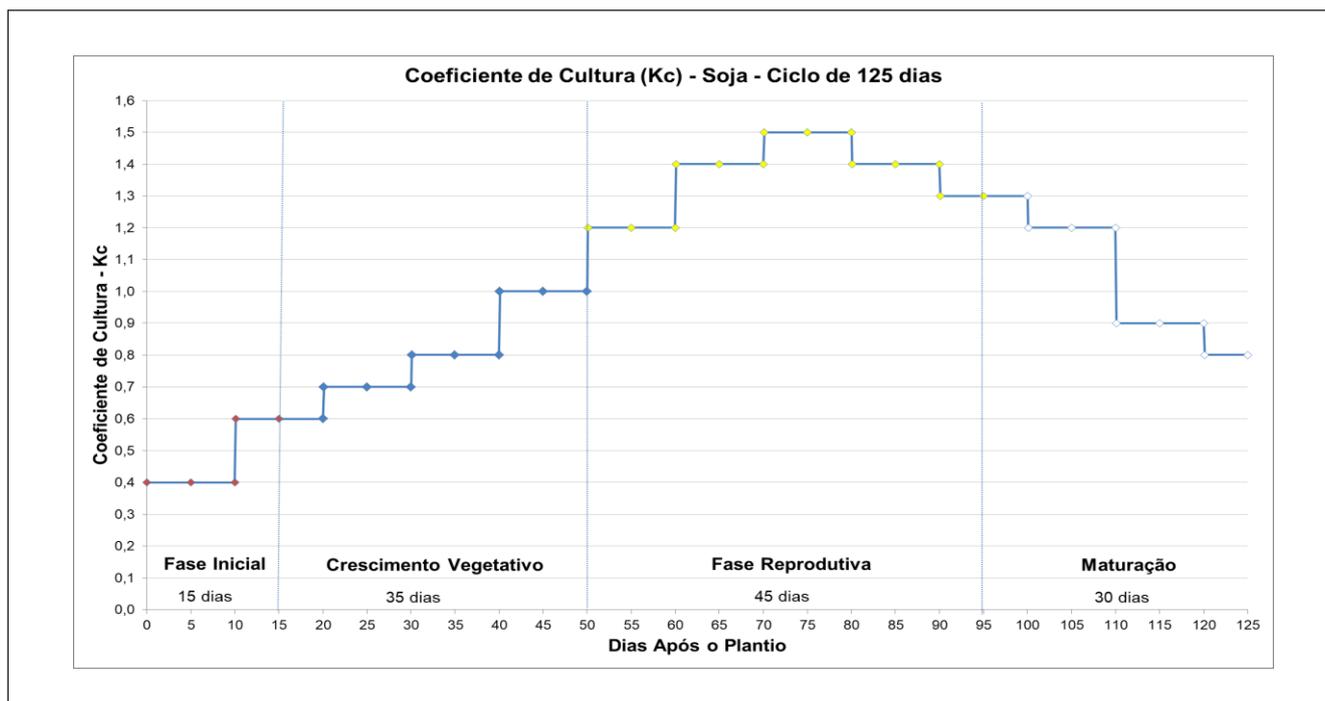
Foram elaborados, portanto, sempre dois zoneamentos, para cada uma das três culturas agrícolas enfocadas no trabalho: um com dados de precipitação do DAEE-SP, e outro com dados do produto TRMM3B42, ambos considerando a localização dos 195 postos do DAEE-SP como referência.

Soja

O método utilizado para elaboração do zoneamento agrícola da soja foi baseado no trabalho de Farias et al. (2001) e nas especificações do MAPA (2018). De acordo com estas publicações, é considerado com baixo risco climáti-

co para cultivo da soja os municípios que apresentam pelo menos 20% de sua área com o Índice de Satisfação das Necessidades de Água (ISNA = evapotranspiração potencial / evapotranspiração máxima) maior ou igual a 0,6 em 80% dos anos avaliados. O ISNA foi calculado com base no modelo BIPZON de simulação do balanço hídrico, descrito por Forest (1984), utilizando os seguintes dados principais para estimar o desenvolvimento das plantas de acordo com o consumo e a disponibilidade de água: (i) duração do ciclo e das fases fenológicas da cultura; (ii) coeficiente de cultura (Kc); (iii) capacidade de água disponível (CAD) no solo em função do sistema radicular; (iv) chuva diária; e (v) evapotranspiração potencial decidual. Considerou-se: (i) uma cultivar de soja com ciclo total de 125 dias, correspondendo ao valor médio entre um ciclo precoce (120 dias) e um tardio (130 dias); (ii) plantios em solos arenosos, médios e argilosos, com capacidade de água disponível (CAD) de 40, 50 e 70 milímetros, respectivamente; e (iii) datas de plantio em nove decêndios, de outubro a dezembro. A evapotranspiração potencial decidual média do período de análise foi calculada pelo método de Thornthwaite & Matter (1955), adaptado por Camargo (1971), segundo descrição feita por Camargo e Camargo (1983 e 2000), com base na localização geográfica das 195 estações de referência. A Figura 2 apresenta o gráfico do coeficiente de cultura (Kc) utilizado nas

Figura 2. Coeficiente de cultura (Kc) da soja com indicação das quatro fases fenológicas consideradas nas simulações.



simulações, com destaque para as quatro fases fenológicas consideradas e suas respectivas durações: fase inicial (15 dias), crescimento vegetativo (35 dias), fase reprodutiva (45 dias) e maturação (30 dias). A Figura 3 apresenta um fluxograma simplificado da metodologia utilizada para elaboração do zoneamento agrícola da soja.

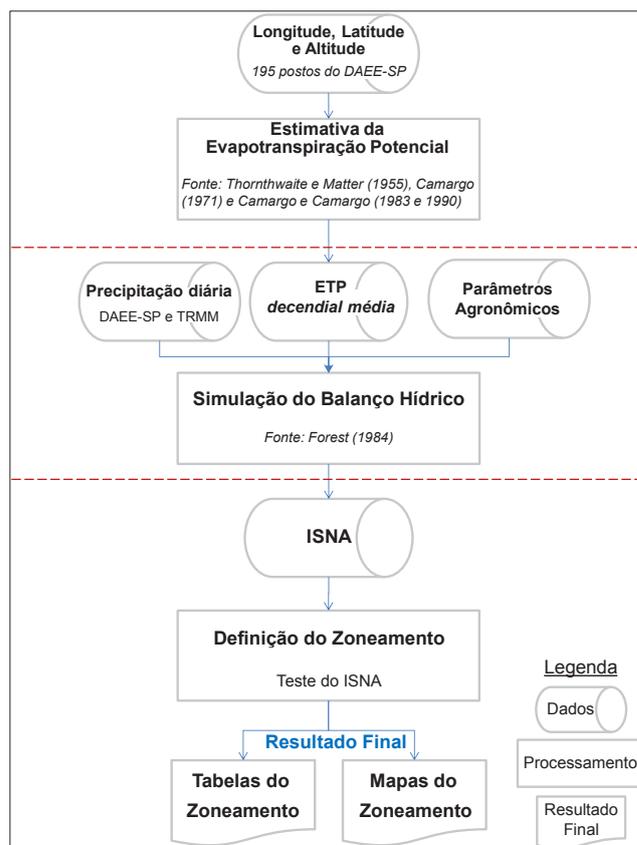
Cana-de-açúcar e café

Os municípios com baixo risco climático para cultivo da cana-de-açúcar são os que atendem simultaneamente as duas condições seguintes, definidas com base nos trabalhos de Manzatto et al. (2009) e Camargo et al. (1977), em pelo menos 20% de sua área, valor mínimo estipulado pelo MAPA (2018): (i) temperatura média anual maior ou igual a 21 °C; e (ii) deficiência hídrica anual superior a 0 mm e menor ou igual a 200 mm.

Os municípios com baixo risco climático para cultivo do café arábica são os que atendem ao mesmo tempo os três critérios seguintes, segundo publicado por Pinto et al. (2001), em pelo menos 20% de sua área, limite mínimo estabelecido pelo MAPA (2018): (i) temperatura média anual entre 18 °C e 22 °C; (ii) deficiência hídrica anual menor ou igual a 100 mm; e (iii) probabilidade de geadas menor ou igual a 25%.

A deficiência hídrica anual foi estimada com base no cálculo do balanço hídrico proposto por Thornthwaite e Matter (1955), sendo que a capacidade de água disponível (CAD) no solo foi estipulada em 125 milímetros. As temperaturas médias (mensal e anual) foram estimadas utilizando modelos de regressão linear descritos pela Equação 1, com base na latitude e altitude das 195 estações de super-

Figura 3. Fluxograma simplificado da metodologia utilizada para elaboração do zoneamento agrícola da soja.



fície do DAEE-SP, com coeficientes propostos por Pinto et al. (1972) e apresentados na Tabela 1. Foi acrescido o valor de 1,0°C no resultado da Equação 1 devido à tendência de elevação das temperaturas globais observada principalmente no final do século passado, conforme apresentado

Tabela 1. Coeficientes dos modelos de regressão linear propostos por Pinto et al. (1972) para estimar as temperaturas médias (mensais e anuais), em graus centígrados, para o estado de São Paulo.

Período	β_0	β_1 (latitude) $\times 10^{-3}$	β_2 (altitude) $\times 10^{-3}$
Janeiro	33,03	-4,555	-6,322
Fevereiro	32,68	-4,461	-5,982
Março	35,10	-6,583	-6,117
Abril	36,11	-8,754	-5,831
Mai	36,49	-11,030	-5,591
Junho	36,61	-12,370	-5,140
Julho	39,31	-14,830	-5,321
Agosto	42,35	-15,650	-5,475
Setembro	50,19	-20,130	-5,408
Outubro	47,39	-16,950	-5,944
Novembro	42,03	-11,990	-6,412
Dezembro	34,93	-6,358	-6,256
Ano	38,98	-11,250	-5,783

por Assad et al. (2004), que não foi considerada quando elas foram propostas.

$$Temperatura_{médica} = \beta_0 + \beta_1 \times lat + \beta_2 \times alt \quad (1)$$

onde, β_0 , β_1 e β_2 são os coeficientes propostos por Pinto et al. (1972), apresentados na Tabela 1; lat é o valor absoluto da latitude, em minutos; e alt é a altitude da estação, em metros.

A probabilidade de geadas para o café arábica foi estimada com base nos trabalhos de Camargo et al. (1993 e 1990), utilizando a Equação 2, com valores de latitude, longitude e altitude das estações de referência.

$$Prob_{geadas} = -226,537 + 0,061899 \times alt + 0,117076 \times lat + 0,016333 \times long \quad (2)$$

onde, alt é a altitude, em metros; lat é o valor absoluto da latitude, em minutos; e long é o valor absoluto da longitude, em minutos.

O risco climático foi definido a partir do cruzamento dos valores da temperatura média anual e da deficiência hídrica anual, para as duas culturas, e também do risco de geadas, exclusivamente para o café arábica, de acordo com os critérios apresentados acima. As diferenças absoluta e relativa entre o número de municípios com baixo risco climático, definidos em cada zoneamento, foram utilizadas para compará-los quantitativamente, enquanto que os mapas gerados foram úteis na análise qualitativa dos resultados obtidos. As Figuras 4 e 5 apresentam fluxogramas simplificados das metodologias utilizadas para elaboração do zoneamento agrícola do café arábica e da cana-de-açúcar, respectivamente.

Figura 4. Fluxograma simplificado da metodologia utilizada para elaboração do zoneamento agrícola do café arábica.

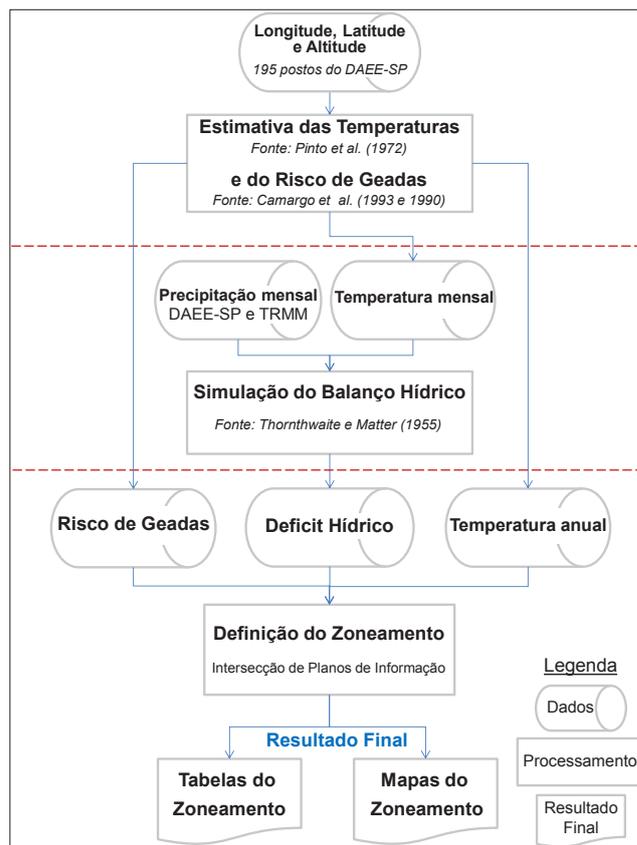
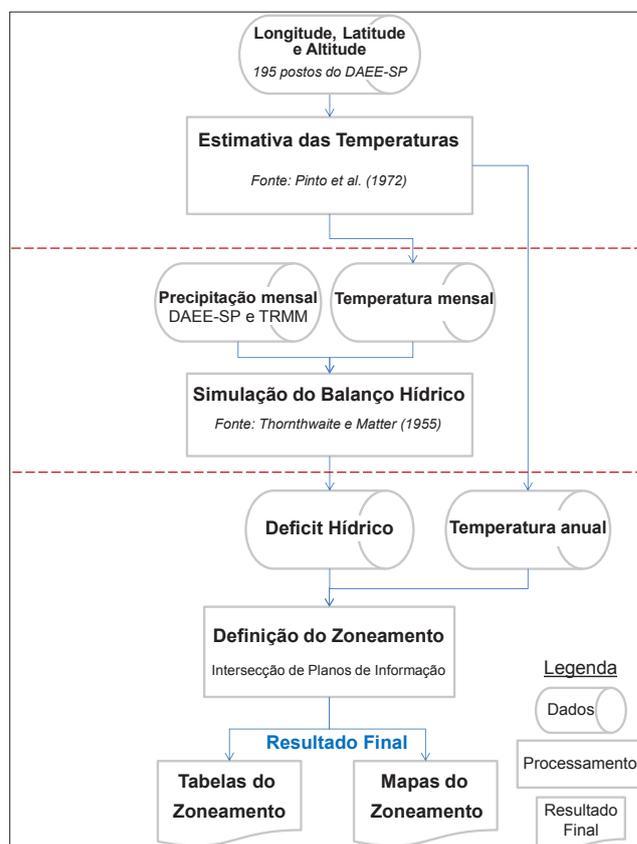


Figura 5. Fluxograma simplificado da metodologia utilizada para elaboração do zoneamento agrícola da cana-de-açúcar.



Resultados e Discussão

As Figuras 6, 7 e 8 apresentam os mapas do zoneamento agrícola da soja em São Paulo, para plantios nos decênios de outubro, novembro e dezembro, em solos arenosos, elaborados com base em dados de precipitação diária do DAEE-SP (a, c, e) e do produto orbital TRMM3B42 (b, d, f). Os mapas dos zoneamentos para solos médios e argilosos não foram apresentados pois tiveram comportamentos semelhantes aos dos solos arenosos.

A Tabela 2 apresenta o número de municípios com baixo risco climático para a soja em São Paulo, nos zoneamentos elaborados com dados pluviométricos de superfície do

DAEE-SP e do produto orbital TRMM3B42, para nove datas de plantio (de outubro a dezembro), e três tipos de solo (arenosos, médios e argilosos), bem como a diferença absoluta entre eles.

Com base nos mapas das Figuras 6, 7 e 8 e nos valores apresentados na Tabela 2, é possível destacar os seguintes fatos na comparação dos zoneamentos realizados com dados de superfície e remotos:

- (i) os dois zoneamentos são espacialmente coerentes, ou seja, as regiões assinaladas como sendo de baixo risco climático coincidem, embora com quantidades diferentes de municípios;
- (ii) o dinamismo ao longo do tempo dos dois zoneamen-

Figura 6. Mapas do zoneamento agrícola da soja em São Paulo, para plantios em outubro e solos arenosos, elaborados com dados de precipitação diária do DAEE-SP (a, c, e) e do produto orbital TRMM3B42 (b, d, f).

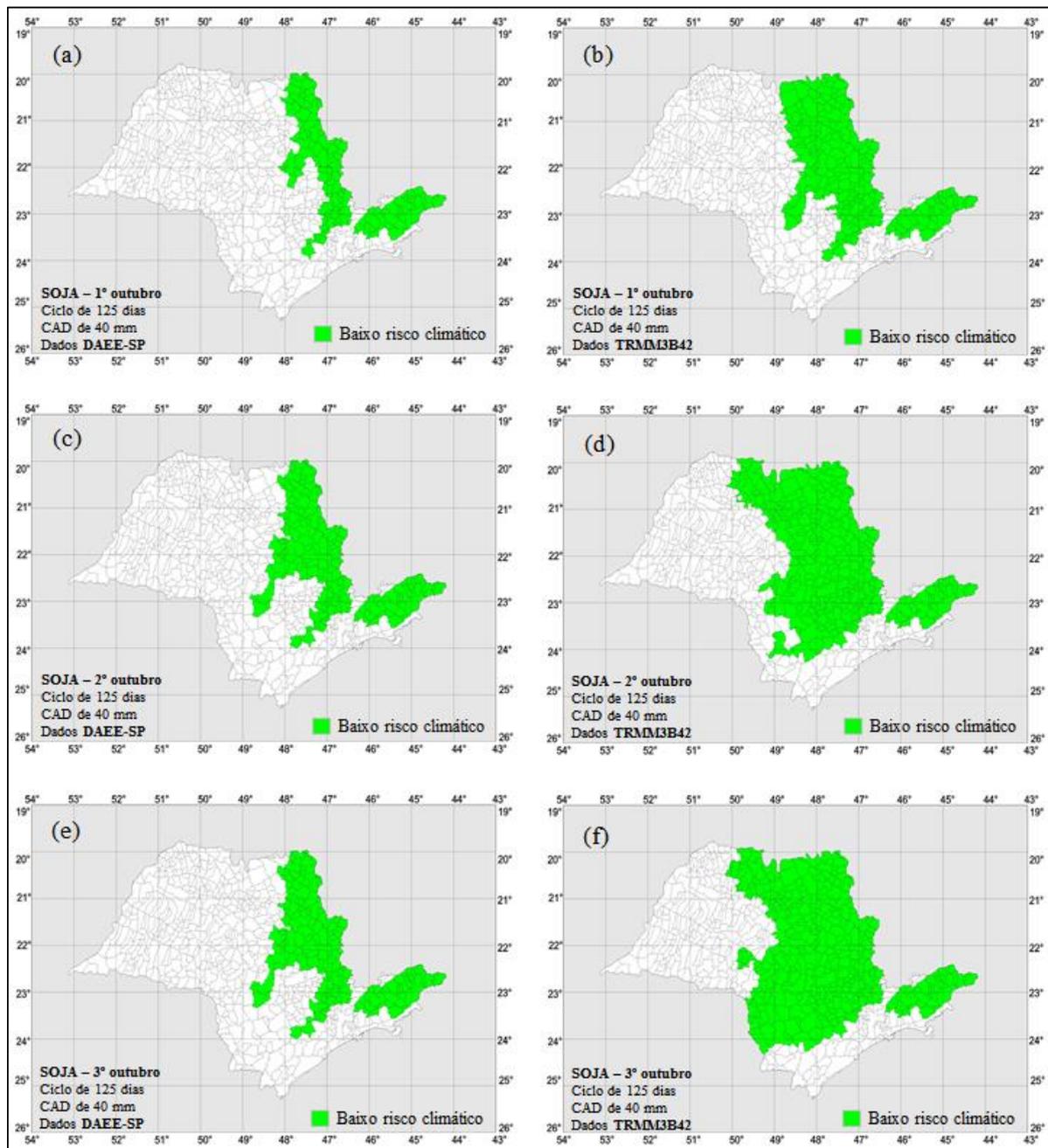
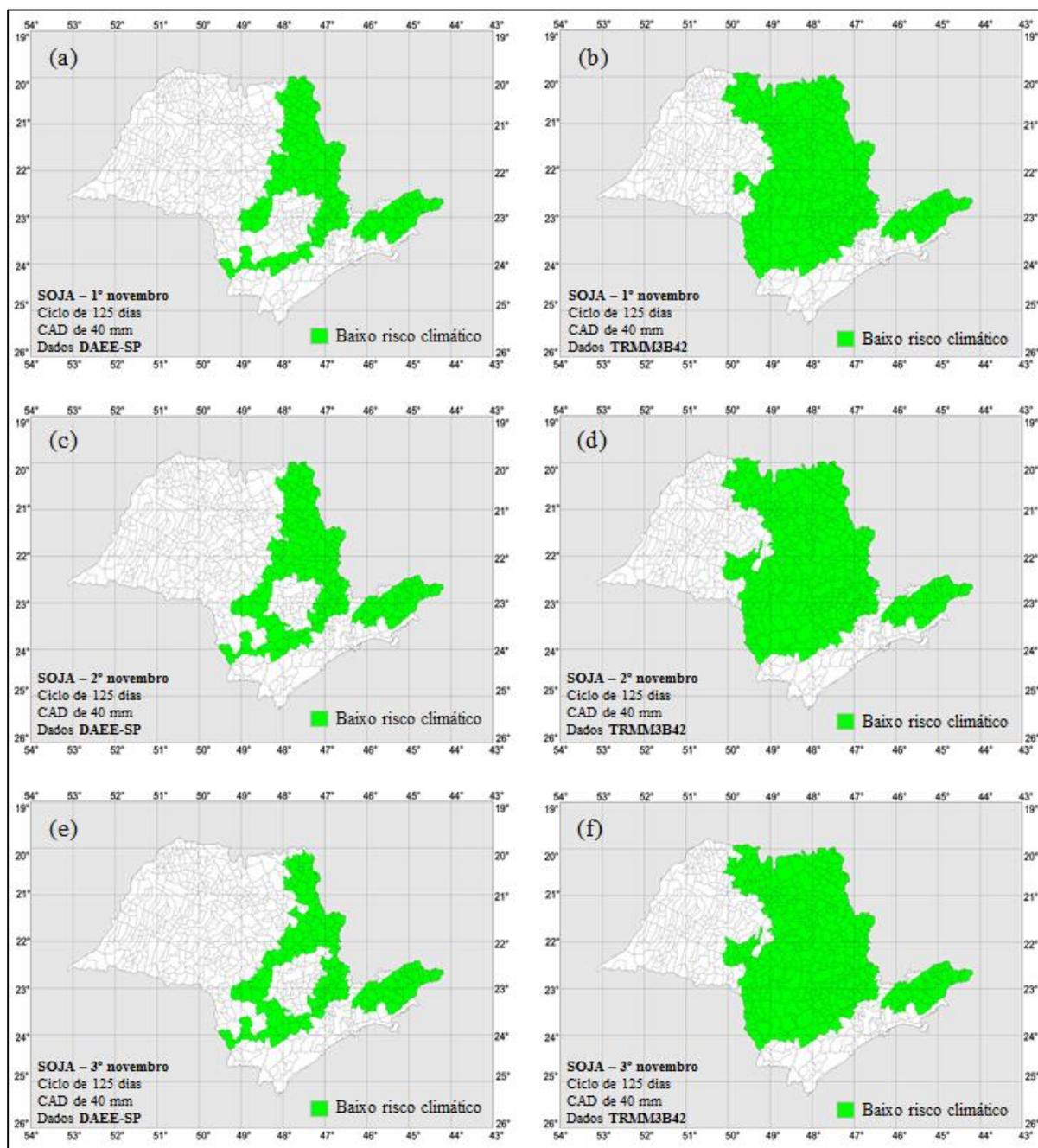


Figura 7. Mapas do zoneamento agrícola da soja em São Paulo, para plantios em novembro e solos arenosos, elaborados com dados de precipitação diária do DAEE-SP (a, c, e) e do produto orbital TRMM3B42 (b, d, f).



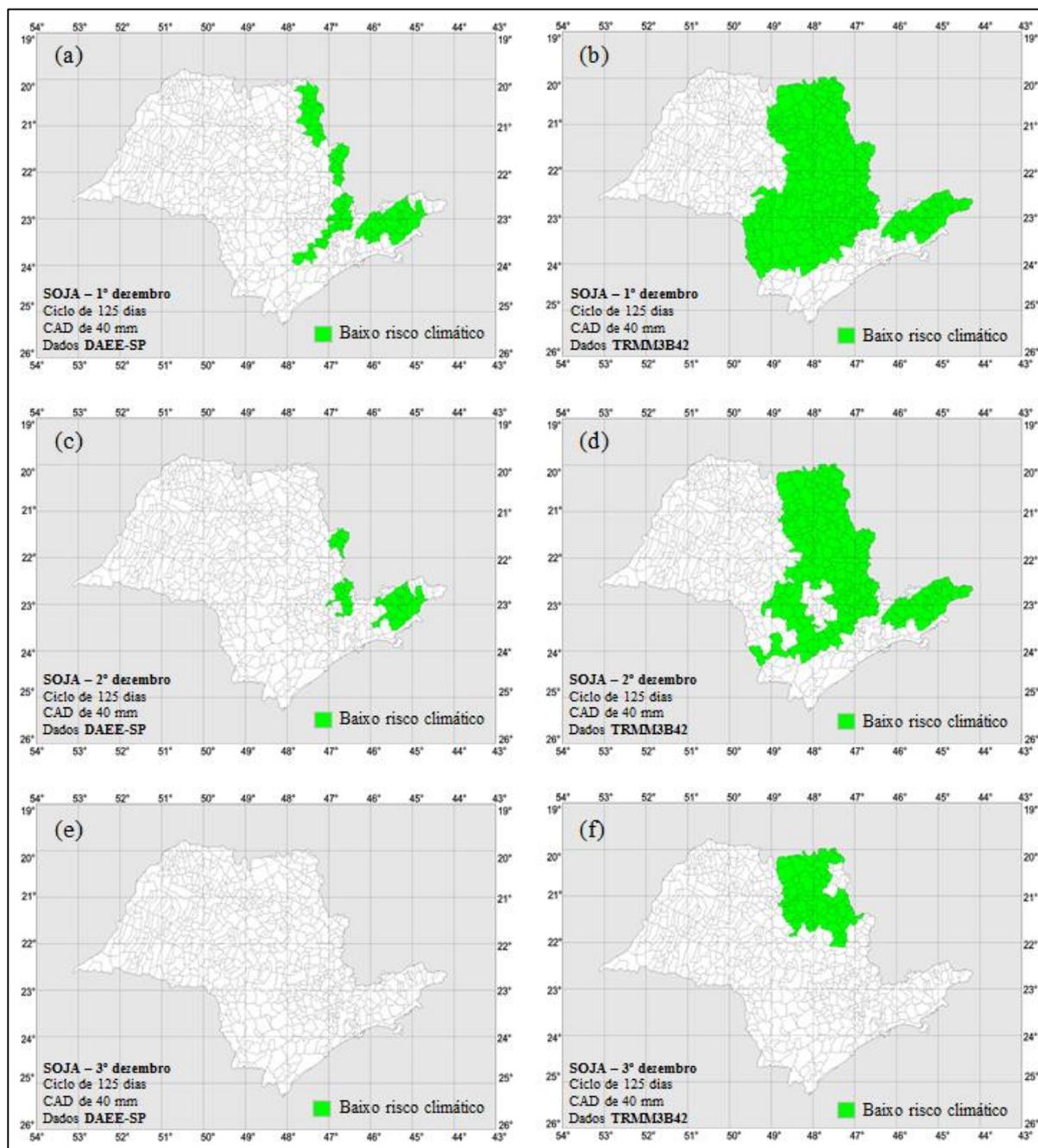
tos também é equivalente, isto é, observa-se uma ampliação do número de municípios com baixo risco climático a partir do início de outubro, com valores máximos desde o final de outubro até o início de dezembro, reduzindo significativamente nos últimos decêndios do ano;

(iii) houve ampliação do número de municípios assinalados como sendo de baixo risco climático ao utilizar dados remotos, em comparação aos zoneamentos realizados com dados de superfície. Isto indica uma tendência de superestimativa dos valores de precipitação diária do produto TRMM3B42 em relação às estações pluviométricas de superfície, pois ela leva a uma maior disponibilidade de água no solo, nos períodos críticos de desenvolvimento da

cultura da soja, elevando o valor do ISNA e reduzindo o risco climático. Essa tendência de superestimativa da precipitação pelo sensoriamento remoto, em análises decendiais, como no caso do zoneamento agrícola da soja, coincide com o considerado por Collischon (2007); e

(iv) o número de municípios assinalados como sendo de baixo risco climático para solos arenosos (CAD = 40 mm) e dados pluviométricos do produto orbital TRMM3B42 ficou sempre mais próximo, nas nove datas de plantio consideradas, dos zoneamentos elaborados com dados de superfície do DAEE-SP e solos de textura média (CAD = 50 mm). Uma alternativa para contornar a tendência de superestimativa dos dados diários de precipitação do produto orbi-

Figura 8. Mapas do zoneamento agrícola da soja em São Paulo, para plantios em dezembro e solos arenosos, elaborados com dados de precipitação diária do DAEE-SP (a, c, e) e do produto orbital TRMM3B42 (b, d, f).



tal, mencionada no item anterior, seria utilizar um valor inferior para a CAD nos zoneamentos realizados com dados orbitais, em relação ao valor utilizado normalmente para dados de superfície.

As Figuras 9 e 10 apresentam os mapas do zoneamento agrícola do café arábica e da cana-de-açúcar em São Paulo, elaborados com base em dados de precipitação do DAEE-SP (a) e do produto TRMM3B42 (b).

Observa-se, nas Figuras 9 e 10, a concordância elevada dos municípios com baixo e alto risco climático para cultivo da cana-de-açúcar e do café arábica, havendo poucas diferenças nos zoneamentos. A cana-de-açúcar teve 12 mu-

nicipios que não apresentaram o mesmo risco climático, enquanto que o café arábica teve 11 com riscos climáticos diferentes, considerando todo o estado de São Paulo, com 645 municípios. Isto corresponde a diferenças relativas de 1,9% e 1,7%, respectivamente, ou a concordâncias superiores a 98% nos municípios assinalados com baixo e alto risco climático, quando comparado com os zoneamentos feitos com dados de precipitação provenientes de estações pluviométricas de superfície. Estes fatos reforçam o potencial do produto TRMM3B42 na estimativa da precipitação, assim como mencionado por Adami et al. (2008).

Tabela 2. Quantidade de municípios do estado de São Paulo com baixo risco climático para plantio da soja, de outubro a dezembro, em solos arenosos, médios e argilosos, utilizando dados de precipitação diária de estações de superfície do DAEE-SP e do produto orbital TRMM3B42, referente ao período 1998-2012, e a diferença absoluta entre elas.

Solo	MÊS	DECÊNDIO	Fonte de Dados Pluviométricos		Diferença Absoluta
			DAEE-SP	TRMM3B42	
Arenoso	Outubro	1º (01-10)	123	213	90
		2º (11-20)	156	305	149
		3º (21-31)	157	349	192
	Novembro	1º (01-10)	164	350	186
		2º (11-20)	172	358	186
		3º (21-30)	144	355	211
	Dezembro	1º (01-10)	81	299	218
		2º (11-20)	40	233	193
		3º (21-31)	0	71	71
Médio	Outubro	1º (01-10)	158	285	127
		2º (11-20)	248	390	142
		3º (21-31)	266	438	172
	Novembro	1º (01-10)	275	453	178
		2º (11-20)	308	474	166
		3º (21-30)	276	473	197
	Dezembro	1º (01-10)	169	417	248
		2º (11-20)	105	333	228
		3º (21-31)	0	150	150
Argiloso	Outubro	1º (01-10)	316	439	123
		2º (11-20)	431	513	82
		3º (21-31)	504	561	57
	Novembro	1º (01-10)	516	561	45
		2º (11-20)	561	561	0
		3º (21-30)	561	561	0
	Dezembro	1º (01-10)	531	561	30
		2º (11-20)	335	535	200
		3º (21-31)	133	356	223

Figura 9. Mapas do zoneamento agrícola do café arábica em São Paulo elaborados com base em dados de precipitação do DAEE-SP (a) e do produto TRMM3B42 (b).

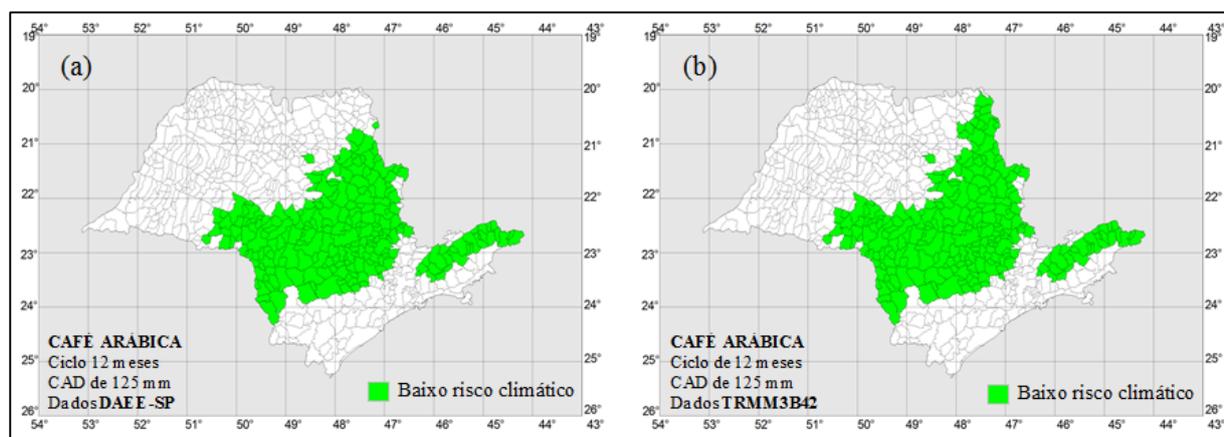
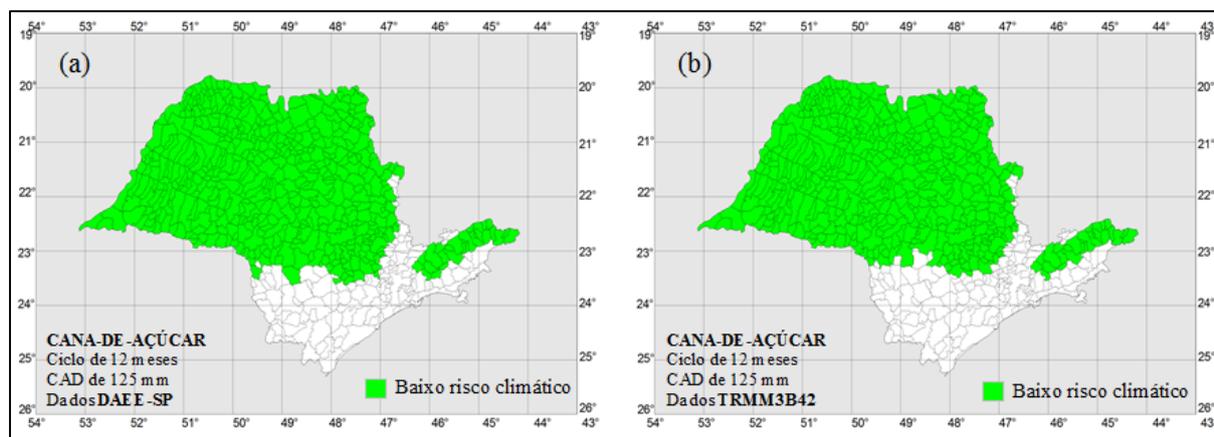


Figura 10. Mapas do zoneamento agrícola da cana-de-açúcar em São Paulo elaborados com base em dados de precipitação do DAEE-SP (a) e do produto TRMM3B42 (b).



Conclusões

Foi possível constatar que o produto orbital TRMM3B42 tem potencial para melhorar a quantidade e a distribuição espacial dos dados pluviométricos necessários para elaboração do zoneamento agrícola, especialmente no caso de culturas perenes e semiperenes, como a cana-de-açúcar e o café arábica, devido à elevada concordância que apresentaram com o zoneamento elaborado exclusivamente com base em dados de estações pluviométricas de superfície.

No caso da cultura da soja, a principal diferença observada foi a maior quantidade de municípios assinalados como sendo de baixo risco climático, ao utilizar dados remotos, em comparação aos resultados obtidos exclusivamente com dados de estações de superfície. Uma alternativa que pode ser considerada, para utilizar dados pluviométricos do TRMM3B42 no zoneamento agrícola de culturas anuais, é aumentar o valor de corte do ISNA, empregado para definir o risco climático de um ponto da grade de simulação, ou reduzir o valor da capacidade de água disponível (CAD), em relação ao que é utilizado normalmente para os dados de superfície.

Desse modo, conclui-se recomendando que os dados adquiridos por sensores remotos, cada vez mais acessíveis e disponíveis a baixo custo, sejam considerados como alternativa na elaboração do zoneamento agrícola, especialmente para regiões com grande carência de dados climáticos de superfície, que ainda são muito frequentes no país.

Agradecimentos

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) e à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pelo apoio financeiro.

Referências

- ADAMI, M.; DE FREITAS, R.M.; PADOVANI, C.R.; SHIMABUKURO, Y.E.; MOREIRA, M.A. Estudo da dinâmica espaço-temporal do bioma Pantanal por meio de imagens MODIS. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v. 43, n. 10, p. 1371–1378, 2008.
- ASSAD, E.D.; PINTO, H.S.; ZULLO JUNIOR, J.; ÁVILA, A.M.H. Impacto das mudanças climáticas no zoneamento agroclimático do café no Brasil. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v. 39, n. 11, p. 1057–1064, 2004.
- CAMARGO, A.P.; CAMARGO, M.B.P. Uma revisão analítica da evapotranspiração potencial. *Bragantia*, v. 59, n. 2, p. 125–137, 2000.
- CAMARGO, M.B.P.; PEDRO JUNIOR, M.J.; ALFONSI, R.R.; ORTOLANI, A.A.; BRUNINI, O.; CHIAVEGATO, O.M.P. Guia agrometeorológico do agricultor irrigante: n.º 4. Probabilidade de ocorrência de geadas nos Estados de São Paulo e Mato Grosso do Sul. *Boletim Técnico*, Instituto Agrônomo, Campinas, n. 136, 10 p, 1990.
- CAMARGO, M.B.P.; PEDRO JUNIOR, M.J.; ALFONSI, R.R. Probabilidade de ocorrência de temperaturas absolutas mensais e anual no Estado de São Paulo. *Bragantia*, v. 52, n. 2, p.161-168, 1993.
- CAMARGO A.P.; CAMARGO, M.B.P. Teste de uma equação simples para estimativa da evapotranspiração potencial baseada na radiação solar extraterrestre e na temperatura média do ar. *Anais do 3º Congresso Brasileiro de Agrometeorologia (CBAGRO)*, Sociedade Brasileira de Agrometeorologia (SBAGRO), Campinas, p. 229-244, 1983.
- CAMARGO, A.P.; PINTO, H.S.; PEDRO JUNIOR, M.J.; BRUNINI, O.; ALFONSI, R.R.; ORTOLANI, A.A. Aptidão Climática de Culturas Agrícolas. In: Comissão de Zoneamento Agrícola do Estado de São Paulo (ed) *Zoneamento Agrícola do Estado de São Paulo*, v. 1. Secretaria da Agricultura, São Paulo, p. 119-130, 1977.
- CAMARGO, A.P. Balanço hídrico no Estado de São Paulo. 3ª ed. *Boletim Técnico*, Instituto Agrônomo, Campinas, n. 116, 24 p, 1971.
- COLLISCHONN, B.; ALLASIA, D.; COLLISCHONN, W.; TUCCI, C.E.M. Desempenho do satélite TRMM na estimativa de precipitação sobre a bacia do Paraguai superior. *Revista Brasileira de Cartografia*, v. 59, p. 93-99, 2007.
- CONAB (Companhia Nacional de Abastecimento). *Indicadores da Agropecuária* (ISSN 2317-7535). Observatório Agrícola, Ano XXVII, n. 5, Maio, 2018, Brasília, 116 p. Disponível em: <https://www.conab.gov.br/info-agro/precios/revista-indicadores-da-agropecuaria/item/download/19695_a3c3a2dc8193d880dec66a90e7a1d61b>. Acesso em: 18 junho 2018.
- CECAFE (Conselho dos Exportadores de Café do Brasil). *Exportações Brasileiras de Café*. Disponível em: <<http://www.cecafe.com.br/dados-estatisticos/exportacoes-brasileiras/>>. Acesso em: 19 junho 2018.
- CUNHA, G.R.; ASSAD, E.D. Uma visão geral do número especial da RBA sobre zoneamento agrícola no Brasil. *Revista Brasileira de Agrometeorologia*, v. 9, n. 3 (Edição Especial: Zoneamento Agrícola), p. 377–385, 2001.

EMBRAPA INFORMÁTICA AGROPECUÁRIA. **Agritempo: Sistema de Monitoramento Agrometeorológico**. Campinas, 2014. Disponível em: <<http://www.agritempo.gov.br/agritempo/>>. Acesso em: 1 jan. 2014.

FARIAS, J.R.B.; ASSAD, E.D.; ALMEIDA, I.R.; EVANGELISTA, B.A.; LAZZAROTTO, C.; NEUMAIER, N.; NEPOMUCENO, A.L. Caracterização de risco de déficit hídrico nas regiões produtoras de soja no Brasil. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, v. 9, n. 3 (Edição Especial: Zoneamento Agrícola), p. 415-421, 2001.

FOREST, F. **Simulation du bilan hydrique des cultures pluviales**. Présentation et utilisation du logiciel BIP. Montpellier: IRAT-CIRAD, 63 p, 1984.

HUFFMAN, G.J.; BOLVIN, D.T.; NELKIN, E.J.; et al. The TRMM Multisatellite Precipitation Analysis (TMPA): Quasi-Global, Multiyear, Combined-Sensor Precipitation Estimates at Fine Scales. **Journal of Hydrometeorology**. v. 8, n. 1, p. 38-55, 2007.

KEMPLER, S. **Overview TRMM**. The NASA Goddard Earth Sciences Data and Information Services Center (GES DISC), 2010. Disponível em: <<http://disc.sci.gsfc.nasa.gov/TRMM>>. Acesso em: 1 maio 2013.

LAZARIM, C.G. **Estimativa da evapotranspiração e temperatura de superfície através de imagens do satélite AVHRR/NOAA, destinada ao monitoramento agrometeorológico**. Dissertação de Mestrado em Engenharia Agrícola, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 112 p, 2013.

MANZATTO C.V.; ASSAD, E.D.; BACCA, J.F.M.; ZARONI, M.J.; PEREIRA, S.E.M. Zoneamento agroecológico da cana-de-açúcar. Documentos 110 (ISSN 1517-2627). Embrapa Solos, Rio de Janeiro, 55 p, 2009.

MAPA (Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento). **Gestão de Riscos**, Risco Agropecuário, Portarias, Safra Vigente, São Paulo. Brasília, 2018. Disponível em: <<http://www.agricultura.gov.br/assuntos/riscos-seguro/risco-agropecuario/portarias/safra-vigente/sao-paulo>>. Acesso em: 18 junho 2018.

PINTO, H.S.; ZULLO JUNIOR, J.; ASSAD, E.D.; BRUNINI, O.; ALFONSI, R.R.; CORAL, G. Zoneamento de riscos climáticos para a cafeicultura do estado de São Paulo. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, v. 9, n. 3 (Edição Especial: Zoneamento Agrícola), p. 495-500, 2001.

PINTO, H.S.; ORTOLANI, A.A.; ALFONSI, R.R. Estimativa das Temperaturas Médias Mensais do Estado de São Paulo em Função de Altitude e Latitude. **Caderno de Ciências da Terra**, n. 27, p. 1-19, 1972.

ROSSETTI, L.A. Zoneamento agrícola em aplicações de crédito e securidade rural no Brasil: aspectos atuariais e de política agrícola. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, v. 9, n. 3 (Edição Especial: Zoneamento Agrícola), p. 386-399, 2001.

THORNTHWAITE, C.W.; MATHER, J.R. **The water balance**. Centerton, NJ: Drexel Institute of Technology - Laboratory of Climatology. Publications in Climatology, v. 8, n. 1, 104 p, 1955.

REFERENCIAÇÃO

SANCHES, M. C.; ZULLO JUNIOR, J.; ROMANI, L. A. S. Comparação do risco climático da soja, cana-de-açúcar e café arábica, para o estado de São Paulo, calculado com dados terrestres e orbitais de precipitação pluvial. **Agrometeoros**, Passo Fundo, v.26, n.1, p.25-36, 2018.



Comparing the climate risks of soybean, sugarcane and arabica coffee, for São Paulo state, Brazil, using land and satellite data of precipitation

Michelle Cristina Sanches¹, Jurandir Zullo Junior^{2(*)} e Luciana Alvim Santos Romani³

¹Unicamp - Faculdade de Engenharia Agrícola, Avenida Cândido Rondon, 501, CEP 13083-875 Campinas, SP, Brazil. E-mail: mcristinasanches@gmail.com

²Unicamp - Centro de Pesquisas Meteorológicas e Climáticas Aplicadas a Agricultura, Avenida Dr. André Tosello, 209, CEP 13083-886, Campinas, SP, Brazil. E-mail: jurandir@cpa.unicamp.br

³Embrapa Informática Agropecuária, Avenida Dr. André Tosello, 209, CEP 13083-886 Campinas, SP, Brazil. E-mail: luciana.romani@embrapa.br

(*)Corresponding author.

ARTICLE INFO

Article history:

Received 20 June 2018

Accepted 20 December 2018

Index terms:

agricultural zoning

remote sensing

geoprocessing

ABSTRACT

The objective of this paper is to assess the usefulness of rainfall data provided by the TRMM3B42 orbital product in the agricultural zoning of soybean, sugarcane and arabica coffee, for the state of São Paulo, due to the great lack of surface climate data in the country. The analysis period was set to 1998-2012 according to the availability of TRMM3B42 orbital data. Zoning methods used by the Ministry of Agriculture, Livestock and Supply (MAPA), in the federal program of agricultural zoning of climatic risks (ZARC), since the 1995/1996 crop season, were employed. Rainfall data from 195 ground stations of the Department of Water and Electric Power of the state of São Paulo (DAEE-SP) were used as reference for the calculations. The time series of remote sensing rainfall data was generated replacing the data of the 195 DAEE-SP ground stations with data from the nearest virtual station, among the 344 of the TRMM3B42 available in São Paulo. Mean monthly and annual temperatures, average potential evapotranspiration and frost probability were estimated using linear regression models based on the geographical coordinates (latitude, longitude and altitude) of the 195 DAEE-SP rainfall ground stations. The annual water deficit and the water requirement satisfaction index (ISNA) were calculated using simulation models of the water balance. It was concluded that the TRMM3B42 orbital product have potential to improve the amount and spatial distribution of the rainfall data required to define the agricultural zoning of perennial and semi-perennial crops, such as sugarcane and arabica coffee. In the case of annual crops, such as soybean, adaptations to the zoning method is needed due to the impact caused by the overestimation tendency of the precipitation given by remote sensing sensors.

© 2018 SBAgro. All rights reserved.

CITATION

SANCHES, M. C.; ZULLO JUNIOR, J.; ROMANI, L. A. S. Comparação do risco climático da soja, cana-de-açúcar e café arábica, para o estado de São Paulo, calculado com dados terrestres e orbitais de precipitação pluvial. *Agrometeoros*, Passo Fundo, v.26, n.1, p.25-36, 2018.