

Impactos das mudanças climáticas no zoneamento agroclimatológico do café arábica no Espírito Santo

Impact of climate change on agro-climatic zoning of Arabica coffee in the State of Espírito Santo, Brazil

Rosembergue Bragança², Alexandre Rosa dos Santos², Elias Fernandes de Souza³, Almy Júnior Cordeiro de Carvalho³, Alixandre Sanquetta Laporti Luppi⁴, Rosane Gomes da Silva^{5*}

Resumo: Objetivou-se com este trabalho definir, por meio do zoneamento agroclimatológico atual e para os próximos 100 anos, áreas com diferentes aptidões climáticas para a cultura do café arábica (*Coffea arabica* L.), no estado do Espírito Santo. Para isso, foram utilizados dados de temperatura média do ar e precipitação pluviométrica, em escala mensal e anual, de séries históricas representativas do período de 1976 a 2006. Foi necessário simular o efeito do incremento de temperatura de +1 °C, +2 °C, +3 °C, +4 °C e +5 °C, por meio da média obtida do resultado de seis modelos, a saber: GFDL-R30 (Geophysical Fluid Dynamics Laboratory, R-30 resolution model), CCSR/NIES (Center for Climate Research Studies Model), CSIROmk2 (Commonwealth Scientific and Industrial Research Organization GCM mark 2), CGCM2 (Canadian Global Coupled Model version 2), ECHAM4 (European Centre Hamburg Model version 4) e HadCM3 (Hadley Centre Coupled Model version 3). Os resultados encontrados demonstraram que, atualmente, as áreas completamente aptas representam 19,49%, e com acréscimo de 5 °C diminuirá para 0,02%, enquanto as áreas completamente inaptas passarão de 33,47% para 95,63% do território do Espírito Santo, tornando o café arábica impróprio para o cultivo no estado, se mantidas as características genéticas e fisiológicas que tem como limite de tolerância de temperaturas médias anuais entre 23 °C e 24 °C.

Palavras-chave: Aquecimento global. *Coffea arabica* L. Painel Intergovernamental sobre Mudança do Clima, Sistemas de informações geográficas.

Abstract: The aim of this study was to define, using current agro-climatic zoning, and for the next 100 years, areas of different climatic suitability for the cultivation of Arabica coffee (*Coffea arabica* L.) in the State of Espírito Santo, Brazil. Monthly and yearly data of average air temperature and rainfall were used, taken from historical series for the period of 1976 to 2006. It was necessary to simulate the effects of temperature increments of +1 °C, +2 °C, +3 °C, +4 °C and +5 °C, using the mean result of six models, namely: GFDL-R30 (Geophysical Fluid Dynamics Laboratory, R-30 resolution), CCSR/NIES (Center for Climate Research Studies), CSIROmk2 (Commonwealth Scientific and Industrial Research Organization GCM mark 2), CGCM2 (Canadian Global Coupled Model v 2), ECHAM4 (European Centre Hamburg Model v 4) and HadCM3 (Hadley Centre Coupled Model v 3). The results showed that currently, areas which are completely suitable represent 19.49% of the area of Espírito Santo which, with an increase of 5 °C, would decrease to 0.02%; whereas completely unsuitable areas would increase from 33.47% to 95.63%, making the cultivation of Arabica coffee unsuited to the state if the genetic and physiological characteristics, which have a tolerance limit for the average annual temperature of between 23 °C and 24 °C, are maintained.

Key words: Global warming. *Coffea arabica* L. Intergovernmental Panel on Climate Change, Geographic Information Systems.

*Autor para correspondência

Enviado para publicação em 21/07/2015 e aprovado em 12/03/2016

¹Trabalho extraído de projeto de pesquisa

²Professor adjunto, Centro de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Espírito Santo, Alegre, ES, Brasil, rosembergue_braganca@yahoo.com.br, mundogeomatiga@yahoo.com.br

³Professor adjunto, Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro, Campos dos Goytacazes, RJ, Brasil, almy@uenf.br, elias@uenf.br

⁴Doutorando, Departamento de engenharia agrícola, Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG, Brasil, alixandregeoinfo@gmail.com

⁵Doutoranda, Departamento de engenharia florestal e da madeira, Universidade Federal do Espírito Santo, Av. Governador Lindemberg, 316, 29550-000, Jerônimo Monteiro, ES, Brasil, rosane_gomes.s@hotmail.com

INTRODUÇÃO

O café é uma cultura que apresenta grande importância econômica para o Brasil, sendo um produto de exportação e que contribui para a geração de emprego e de divisas para o país. Possui potencial de crescimento tanto no mercado interno, em razão da estabilização, quanto no mercado externo, em face da globalização (GOMES; ROSADO, 2005).

Os principais estados brasileiros produtores de café são Minas Gerais, São Paulo, Espírito Santo, Paraná, Bahia e Rondônia. O estado do Espírito Santo responde por 24% da produção nacional, sendo o segundo maior produtor, somando-se os cafés conilon e arábica; e o terceiro em café arábica (SIQUEIRA *et al.*, 2011).

Para implementação da cultura, é importante considerar que o café possui restrições. Segundo Pezzopane *et al.* (2008), a temperatura do ar atua na duração do ciclo reprodutivo, condicionando a época de colheita. Sendo assim, torna-se importante levar em consideração que as condições climáticas sofrem alterações ao longo dos anos, e que as áreas hoje próprias para cultivo poderão se tornar impróprias (LIMA *et al.*, 2011). Camargo (2010) salienta que nos últimos 10 anos a agricultura vem sofrendo com temperaturas do ar elevadas. Períodos com déficits hídricos acentuados têm sido frequentes, o que confirma que as adversidades meteorológicas estão acontecendo de uma forma atípica, atingindo a safra cafeeira nacional.

Conforme o Quarto Relatório de Avaliação da Organização Meteorológica Mundial (OMM) do Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas (IPCC, 2007), na América Latina, a temperatura do ar deve aumentar 1,1 °C a 6,4 °C, e os recursos agrícolas e hídricos são os mais afetados pelo impacto de temperaturas extremas e alterações na precipitação (GHINI *et al.*, 2008).

Nesse contexto, a aptidão agroclimática de regiões torna-se importante, pois propicia delimitar áreas com padrão climático semelhante, com base nos indicadores do meio físico para a região do estudo (WALDHEIM *et al.*, 2006), contribuindo para uma agricultura racional e sustentável (POSSAS *et al.*, 2012), além de facilitar o planejamento agrícola (SOUSA *et al.*, 2013). O zoneamento de aptidão climática é uma ferramenta de extrema importância e amplamente utilizada na definição das linhas de financiamento rural e na avaliação de impactos climáticos sobre o rendimento das culturas (BEZERRA *et al.*, 2014).

Objetivou-se com esse trabalho definir, por meio do zoneamento agroclimatológico atual e para os próximos 100 anos, áreas com diferentes aptidões climáticas para a cultura do café arábica (*Coffea arabica* L.) no estado do Espírito Santo.

MATERIAL E MÉTODOS

O estudo foi realizado para o estado do Espírito Santo, abrangendo uma área territorial de 46.053,19 km². O clima do estado é tropical úmido, com temperaturas médias anuais de 23,91°C e precipitação média anual de 1240 mm (SIQUEIRA *et al.*, 2004).

Para o desenvolvimento do trabalho, foram utilizados dados de temperatura média do ar e precipitação pluviométrica, do período de 1976 a 2006, referentes a 94 pontos de medição, situados no estado, e 16 pontos pluviométricos localizados fora do estado, tendo como objetivo minimizar o efeito de borda no processo de interpolação.

Os dados futuros de temperatura foram estimados por meio da média obtida do resultado de seis modelos, a saber: GFDL-R30 (Geophysical Fluid Dynamics Laboratory, R-30 resolution model), CCSR/NIES (Center for Climate Research Studies Model), CSIROmk2 (Commonwealth Scientific and Industrial Research Organization GCM mark 2), CGCM2 (Canadian Global Coupled Model version 2), ECHAM4 (European Centre Hamburg Model version 4) e HadCM3 (Hadley Centre Coupled Model version 3) (IPCC, 2007). Dados de umidade relativa são disponibilizados somente pelo modelo HadCM3, sendo assim, para essa variável climática, foram usados dados originados apenas desse modelo.

Para o desenvolvimento do zoneamento agroclimatológico do café arábica no Espírito Santo referente aos próximos 100 anos, foi necessário simular o efeito do incremento de temperatura de +1°C, +2 °C, +3 °C, +4 °C e +5 °C, obtido no endereço eletrônico do Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas (Intergovernmental Panel on Climate Change - IPCC). Streck e Alberto (2006a, b), ao estudarem cenários de mudança climática, testaram incremento de temperatura de +2 °C a +6 °C, para Santa Maria, RS.

Por meio dos dados de deficiência hídrica (atual + 5 °C de adição nos dados de temperatura), foi realizada a interpolação por krigagem esférica, resultando em seis mapas de deficiência hídrica, atual e para os próximos 100 anos.

Os mapas de temperatura média anual atual e com adição de +1 °C à +5 °C, foram criados a partir de uma equação de regressão linear múltipla, conforme a Equação 1.

$$\text{TEMP} = X - Y * \text{ALT} - W * \text{LAT} + Z * \text{LONG} \quad \text{Eq. 1}$$

Onde: TEMP= Temperatura Média Anual (°C); ALT= Altitude (MDE); LAT= Latitude; LONG= Longitude; X, Y, W e Z= Coeficientes estatísticos.

Os mapas gerados foram reclassificados de acordo com as faixas de aptidão para a cultura do café arábica (Tabela 1), definidas por Matiello (1991) e utilizados por Nunes *et al.* (2007) e Andrade *et al.* (2012).

Tabela 1 - Faixas de aptidão por temperatura e deficiência hídrica para o café arábica
Table 1 - Suitability ranges for temperature and water stress in Arabica coffee

Aptidão	Faixa de Aptidão por temperatura	Faixa de Aptidão por deficiência hídrica	Nota
Apta	18,0 – 22,5 °C	<150 mm	1
Restrita	22,5 – 24,0 °C	150-200 mm	2
Inapta	< 18,0 °C e > 24,0 °C	>200 mm	3

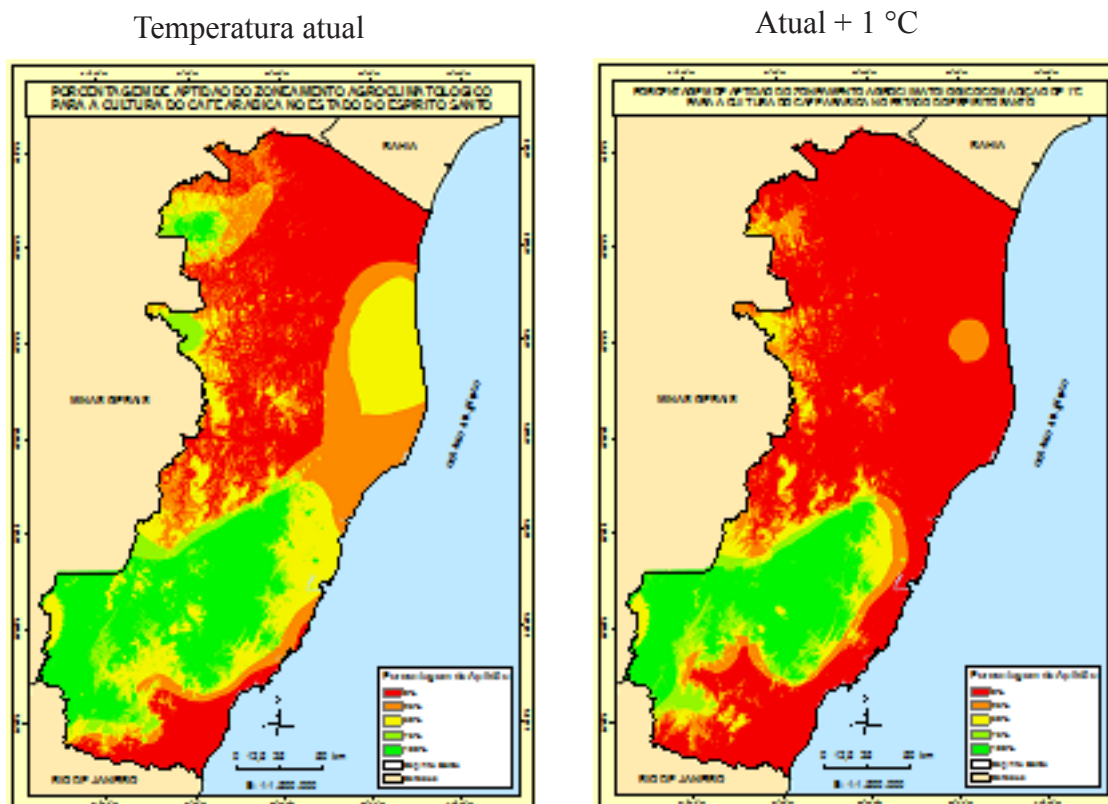
Após a reclassificação, os mapas de temperatura e deficiência hídrica foram combinados de acordo com a faixa adicional de temperatura. Assim, foram gerados os seis zoneamentos agroclimatológicos para o café arábica, do atual e dos próximos 100 anos, com adição de 1 °C a 5 °C na temperatura média anual, respectivamente. As classes de aptidão foram transformadas em porcentagem de aptidão, segundo método desenvolvido por Luppi *et al.* (2014).

RESULTADOS

Os resultados mostraram que, atualmente, o estado do Espírito Santo possui em seu território 33,47% de áreas com

0% de aptidão (15.384,41 km²), 20,86% de áreas com 25% de aptidão (9.586,27 km²), 19,90% de áreas com 50% de aptidão (9.147,17 km²), 6,29% de áreas com 75% de aptidão (2.888,97 km²) e 19,49% de áreas com 100% de aptidão (8.955,88 km²). A espacialização dos resultados pode ser observada por meio da Figura 1.

Com o acréscimo de 5 °C na temperatura média do ar, para a cultura do café arábica no estado do Espírito Santo, ocorrerá aumento das áreas com menores porcentagens de aptidão (0 e 25%), e redução nas áreas com maiores porcentagens de aptidão (50, 75 e 100%). Assim, as áreas com 0% de aptidão aumentam de 33,47 para 95,63%, as áreas com 50% de aptidão diminuem de 19,90 para 3,56%, e as áreas com 100% de aptidão diminuem consideravelmente de 19,49 para 0,02%.



Continua...

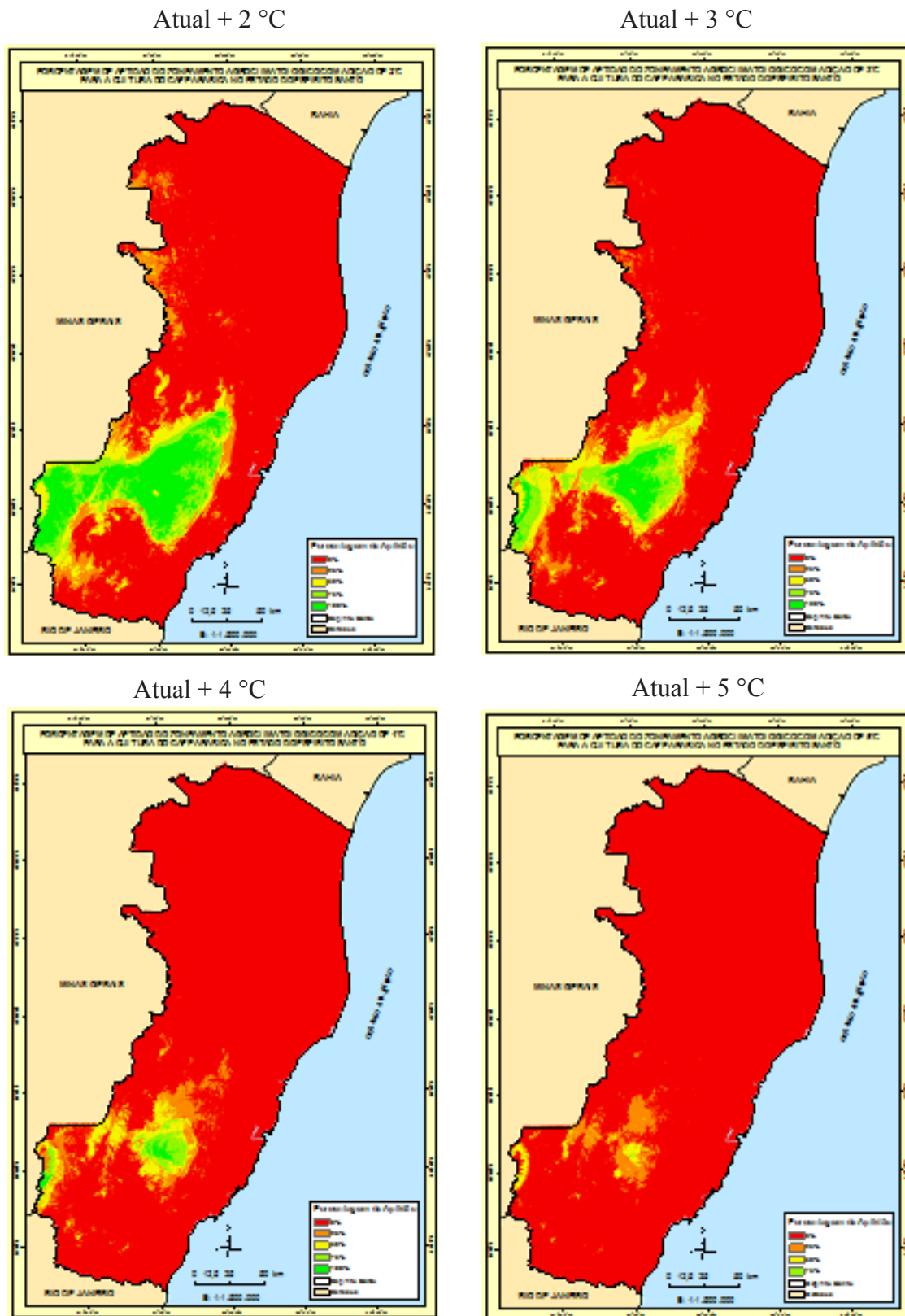


Figura 1 - Aptidão agroclimatológica de áreas propícias ao cultivo de café arábica, em porcentagem. Cor verde -, áreas aptas; Cor amarela - restrita e Cor vermelha - não apta.

Figure 1 - Agrometeorological suitability of areas favourable to the cultivation of Arabica coffee as a percentage. Green areas – suitable, Yellow areas - restricted and Red areas - unsuitable.

DISCUSSÃO

De acordo com os resultados encontrados na Figura 1, pode-se observar que as áreas propícias ao plantio do café arábica no Espírito Santo diminuirão com o aumento da temperatura, sendo extintas com o acréscimo de 5 °C na temperatura média anual, previsto para este século, o que vai ao encontro dos resultados encontrados por Assad *et al.* (2004), que estudaram os efeitos das alterações climáticas no cultivo do café em Minas Gerais, Goiás e São Paulo. Os referidos autores chegaram à conclusão de que, com o aumento da temperatura em 3 °C, em Goiás, praticamente 100% do estado passará para a condição de inaptidão, mesmo para o café irrigado. Já em Minas Gerais, a pior situação ocorrerá com aumento da temperatura em 5,8 °C, onde apenas 2,6% das áreas possuirão algum tipo de aptidão. Em São Paulo essas áreas correspondem a 3,4%.

Estudo semelhante foi realizado por Andrade *et al.* (2012), que avaliaram os efeitos das alterações climáticas no cultivo do café no Paraná, chegando à conclusão de que com um aumento de 4 °C na temperatura, o estado passará a ter novas regiões com restrições. Nesse caso, ocorreria um deslocamento das áreas produtivas para as regiões nordeste a sudeste e parte da região leste. Os autores consideram que esses cenários constituem uma primeira aproximação do que poderá ocorrer caso se confirmem as alterações climáticas previstas, mas esses estudos servem como alerta para estimular práticas que minimizem os impactos negativos e possam incentivar as pesquisas com técnicas de mitigação.

Zullo Júnior *et al.* (2006) estudaram o impacto das alterações climáticas sobre o zoneamento agrícola do café e do milho no estado de São Paulo, considerando aumentos de 1 °C a 5,8 °C na temperatura e de 15% na precipitação. Como resultados, encontraram que com o aumento da temperatura a partir de 1 °C diminuiria as áreas aptas, e

para o aumento em 5,8 °C praticamente todo o estado se tornaria inapto para cultivo do café (96,7%).

Streck e Alberto (2006a) avaliaram o impacto da mudança climática no rendimento de trigo, soja e milho. Como resultados, identificaram que, com aumento da temperatura em pelo menos 3 °C, há uma diminuição significativa no rendimento dos grãos de trigo. Para a soja, um aumento de 6 °C causaria um desvio negativo, assim como para o milho. Os autores destacam que os resultados encontrados devem ser interpretados como tendências, uma vez que esse tipo de estudo é baseado em modelos matemáticos, portanto, simplificação da realidade.

Assim, cabe aos órgãos públicos e de pesquisa nas áreas de fisiologia vegetal, nutrição de plantas, irrigação e principalmente de melhoramento genético, desenvolverem novas cultivares mais resistentes às mudanças climáticas, a fim de evitar que a produção e produtividade agrícola sejam drasticamente afetadas.

CONCLUSÃO

Atualmente, o estado do Espírito Santo apresenta áreas propícias ao cultivo do café arábica, nas quais a faixa de temperatura são adequadas ao cultivo do mesmo. Com o aumento da temperatura em 5 °C, previsto para os próximos 100 anos, não existirão áreas aptas para o cultivo do café arábica.

AGRADECIMENTOS

À Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado do Espírito Santo (FAPES) e à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pela concessão de bolsas de mestrado e pelo incentivo à pesquisa.

LITERATURA CIENTÍFICA CITADA

ANDRADE, G. A.; RICCE, W. S.; CARAMORI, P. H.; ZARO, G. C.; MEDINA, C. C. Zoneamento agroclimático de café robusta no Estado do Paraná e impactos das mudanças climáticas. *Semina: Ciências Agrárias*. n. 33, v. 4, p 1381-1390, 2012.

ASSAD, E. D.; PINTO, H. S.; ZULLO JÚNIOR, J.; ÁVILA, A. D. Impacto das mudanças climáticas no zoneamento agroclimático do café no Brasil. *Pesquisa Agropecuária brasileira*, n. 39, v. 11, p. 1057-1064, 2004.

BEZERRA, B. G.; ARAÚJO, J. S.; PEREIRA, D. D.; LAURENTINO, G. Q.; SILVA, L. L. Zoneamento agroclimático da palma forrageira (*Opuntia* sp.) para o estado da Paraíba. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*. n. 18, v. 7, p 755-761, 2014.

CAMARGO, M. B. P. D. The impact of climatic variability and climate change on arabic coffee crop in Brazil. *Bragantia*. n. 69, v. 1, p 239-247, 2010.

- GHINI, R.; HAMADA, E.; JÚNIOR, P.; JOSÉ, M.; MARENGO, J. A.; GONÇALVES, R. R. D. V. Risk analysis of climate change on coffee nematodes and leaf miner in Brazil. **Pesquisa agropecuária brasileira**. n. 2, v. 43, p 187-194, 2008.
- GOMES, M. F. M.; ROSADO, P. L. Mudança na produtividade dos fatores de produção da cafeicultura nas principais regiões produtoras do Brasil. **Revista de Economia e Sociologia Rural**. n. 4, v. 43, p 633-654, 2005.
- IPCC. Intergovernmental Panel On Climate Change. Climate Change 2007. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, 2007. 996 p.
- LIMA, C. B.; SANTOS, R. F.; SIQUEIRA, J. Análise da variação das temperaturas mínimas para Cascavel-PR. **Revista Brasileira de Energias Renováveis**. v. 1, p 1-21, 2011.
- LUPPI, A. S. L.; SANTOS, A. R.; EUGÊNIO, F. C.; BRAGANÇA, R.; PELÚZIO, J. B. E.; DALFI, R. L.; SILVA, R. G. Metodologia para classificação de zoneamento agroclimatológico. **Revista brasileira de climatologia**. n. 10, v. 15, p 80-97, 2014.
- MATIELLO, J. B. **O café: do cultivo ao consumo**. 1 ed. São Paulo: Globo, 1991. 320 p.
- NUNES, E. L.; AMORIM, R. C. F. D.; SOUZA, W. G. D.; RIBEIRO, A.; SENNA, M. C. A.; LEAL, B. G. Zoneamento agroclimático da cultura do café para a bacia do Rio Doce. **Revista Brasileira de Meteorologia**, n. 22, v. 3, p 297-302, 2007.
- PEZZOPANE, J. R. M.; PEDRO JÚNIOR, M. J.; CAMARGO, M. D.; FAZUOLI, L. C. Exigência térmica do café arábica cv. Mundo Novo no subperíodo florescimento-colheita. **Ciência e Agrotecnologia**, n. 32, v. 6, p 1781-1786, 2008.
- POSSAS, J. M. C.; CORREA, M. M.; MOURA, G. B. A.; LOPES, P. M. O.; CALDAS, A. M.; FONTES JÚNIOR, R. V. P. Zoneamento agroclimático para a cultura do pinhão-manso no Estado de Pernambuco. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**. v. 16, p. 993-998, 2012.
- SOUSA, F. D. M.; PORTELA, G. L. F.; LIMA, M. G. D.; SOUSA, M. Zoneamento agroclimático da cultura da goiabeira no estado do Piauí, Brasil. **Agropecuária científica no semiárido**. n. 3, v. 9, p 81-86, 2013.
- SIQUEIRA, J. D. P.; LISBOA, R. S.; FERREIRA, A. M.; SOUZA, M. F. R.; ARAÚJO, E.; LISBOA JÚNIOR, L.; SIQUEIRA, M. M. Estudo ambiental para os programas de fomento florestal da Aracruz Celulose S. A. e extensão florestal do Governo do Estado do Espírito Santo. **Revista Floresta**, n. 2, v. 34, p. 3-67, 2004.
- SIQUEIRA, H. D.; SOUZA, P. D.; PONCIANO, N. J. Café convencional versus café orgânico: perspectivas de sustentabilidade socioeconômica dos agricultores familiares do Espírito Santo. **Revista Ceres**, n. 58, v. 2, p 155-160, 2011.
- STRECK, N. A.; ALBERTO, C. M. Estudo numérico do impacto da mudança climática sobre o rendimento de trigo, soja e milho. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.41, p.1351 - 1359, 2006a.
- STRECK, N. A.; ALBERTO, C. M. Simulação do impacto da mudança climática sobre a água disponível do solo em agroecossistemas de trigo, soja e milho em Santa Maria, RS. **Ciência Rural**, n. 2, v. 36, p. 424-433, 2006b.
- WALDHEIM, P. V.; CARVALHO, V. S. B.; CORREA, E.; FRANÇA, J. R. D. A. Zoneamento climático da cana-de-açúcar, da laranja e do algodão herbáceo para a região Nordeste do Brasil. **Anuário do Instituto de Geociências**. n. 2, v. 29, p. 30-43, 2006.
- ZULLO JUNIOR, J.; PINTO, H. S.; ASSAD, E. D. Impact assessment study of climate change on agricultural zoning. **Meteorological Applications**. n. 13, p. 69-80, 2006.