

RESSALVA

Atendendo solicitação do(a) autor(a), o texto completo desta dissertação será disponibilizado somente a partir de 17/02/2022.

**UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA - UNESP
CÂMPUS DE JABOTICABAL**

**ASSOCIAÇÃO ENTRE EL NIÑO-OSCILAÇÃO SUL E A
VARIAÇÃO GEOGRÁFICA DA PRODUTIVIDADE DO CAFÉ**

Karita Almeida Silva
Engenheira Agrônoma

2020

**UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA - UNESP
CÂMPUS DE JABOTICABAL**

**ASSOCIAÇÃO ENTRE EL NIÑO-OSCILAÇÃO SUL E A
VARIAÇÃO GEOGRÁFICA DA PRODUTIVIDADE DO CAFÉ**

Karita Almeida Silva

Orientador: Prof. Dr. Glauco de Souza Rolim

Coorientador: Prof. Dr. Alan Rodrigo Panosso

Dissertação apresentada à Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias – Unesp, Câmpus de Jaboticabal, como parte das exigências para a obtenção do título de Mestre em Agronomia (Produção Vegetal).

2020

S586a	Silva, Karita Almeida Associação entre El Niño-Oscilação Sul e a variação geográfica da produtividade do café / Karita Almeida Silva. -- Jaboticabal, 2020 73 f. : il., tabs., mapas Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual Paulista (Unesp), Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Jaboticabal Orientador: Glauco de Souza Rolim Coorientador: Alan Rodrigo Panosso 1. ENSO. 2. Inteligência artificial. 3. Mudanças climáticas. I. Título.
-------	---

Sistema de geração automática de fichas catalográficas da Unesp. Biblioteca da Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Jaboticabal. Dados fornecidos pelo autor(a).

Essa ficha não pode ser modificada.

CERTIFICADO DE APROVAÇÃO

TÍTULO DA DISSERTAÇÃO: ASSOCIAÇÃO ENTRE EL NIÑO-OSCILAÇÃO SUL E A VARIAÇÃO GEOGRÁFICA DA PRODUTIVIDADE DO CAFÉ

AUTORA: KARITA ALMEIDA SILVA

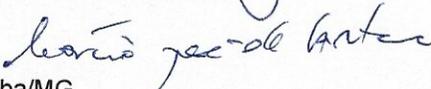
ORIENTADOR: GLAUCO DE SOUZA ROLIM

COORIENTADOR: ALAN RODRIGO PANOSSO

Aprovada como parte das exigências para obtenção do Título de Mestra em AGRONOMIA (PRODUÇÃO VEGETAL), pela Comissão Examinadora:


Prof. Dr. ALAN RODRIGO PANOSSO
Departamento de Ciências Exatas / FCAV-UNESP/Jaboticabal-SP


Prof. Dra. AMANDA LIZ PACÍFICO MANFRIM PERTICARRARI
Departamento de Ciências Exatas / FCAV / UNESP - Jaboticabal


Prof. Dr. MÁRCIO JOSÉ DE SANTANA
Departamento de Agronomia / IFTM - Uberaba/MG

Jaboticabal, 17 de fevereiro de 2020

DADOS CURRICULARES DA AUTORA

KARITA ALMEIDA SILVA – nascida em Prata, Minas Gerais, no dia 27 de julho de 1994, filha de Antônia Elizabeth Almeida Silva e Antônio da Silva Lima. Ingressou no curso de Engenharia Agrônoma no Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Triângulo Mineiro (IFTM), Câmpus Uberaba, em fevereiro de 2013. No mesmo Câmpus, foi bolsista do Programa de Educação Tutorial (PET) durante a gestão 2013-2017, no qual desenvolveu as áreas de pesquisa, ensino, extensão e gestão de pessoas. Realizou seu estágio obrigatório na área de P&D na Usina Bunge Brasil, entre agosto de 2017 e janeiro de 2018. Em fevereiro de 2018 obteve o título de Engenheira Agrônoma. Em março de 2018 ingressou no programa de mestrado em Agronomia (Produção Vegetal) na Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, UNESP, Câmpus Jaboticabal, onde aproximadamente dois anos depois, defende sua dissertação para obtenção do título de mestre em Agronomia (Produção Vegetal). Ao longo de sua trajetória acadêmica seguiu as linhas de pesquisa em agrometeorologia e modelagem de cultivos agrícolas.

Aos meus pais, Antônia Elizabeth e Antônio, e à minha irmã Carolinne que me proporcionaram o maior amor do mundo e abdicaram de muitas coisas ao longo deste caminho para que eu realizasse meu sonho.

A vocês, **DEDICO!**

Aos meus padrinhos e madrinhas, **OFEREÇO!**

AGRADECIMENTOS

Acima de tudo agradeço a Deus, o qual sempre esteve à frente da minha caminhada. Me dando serenidade para aceitar as coisas que não podia modificar, coragem para modificar as que eu podia, e sabedoria para reconhecer a diferença entre ambas.

À Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Campus de Jaboticabal, em especial ao Programa de Pós-Graduação em Agronomia (Produção Vegetal).

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) - Código de Financiamento 001.

Ao meu orientador Prof. Dr. Glauco de Souza Rolim, por me ensinar o verdadeiro sentido da pesquisa científica, pelo exemplo de dedicação ao trabalho, bem como pela paciência com todos nós, seus orientandos. Muito obrigada por toda dedicação e ensinamentos, tenho uma admiração e consideração imensa pelo seu trabalho.

Ao meu coorientador Prof. Dr. Alan Rodrigues Panosso pela confiança, apoio e colaboração para realização deste trabalho.

Aos membros da banca da defesa, Profa. Dra. Amanda Liz Pacífico Manfrim Perticarrari e Prof. Dr. Márcio José de Santana, os quais muito contribuíram para a Dissertação.

À toda minha família em especial minha mãe, Antônia Elizabeth; meu pai, Antônio; minha irmã Carolinne; meus padrinhos José Antônio e Roberto; minhas madrinhas Maria Elisabete e Fabiana; e minha afilhada Izabella, que sempre dedicaram tempo e conselhos a mim, nunca questionaram minhas decisões, mas sim apoiaram minhas escolhas durante todos esses anos de estudos até aqui. Obrigado por vocês acreditarem em mim!

À minha prima Maria Eduarda, minha segunda irmã, agradeço pela cumplicidade, lealdade, carinho e amizade de todos esses anos.

Às minhas amigas de infância, Bruna Sousa e Laila Góes que, apesar da distância, sempre estiveram presentes em minha vida.

Às minhas irmãs de coração, Amanda Yamada, Rayeny Ávila e Taynara Valeriano que em meus momentos mais felizes estiveram ao meu lado e nos momentos mais tristes não hesitaram em me ajudar. Obrigada por sempre estarem ao meu lado, apesar da distância, e fazerem a minha vida mais feliz!

Aos amigos que ganhei durante estes dois anos em Jaboticabal, Adão, Edgard, Everton e Letícia, que fizeram meus dias mais felizes e preencheram todos os meus almoços de domingo amenizando a saudade de casa.

Às minhas amigas Kamila, Larissa, Maria Albertina e Stefany, que me deram apoio incondicional durante o mestrado e me presentearam com uma linda amizade.

Aos meus amigos e parceiros do GAS e do departamento de Ciências Exatas, José Reinaldo, Victor Moreto, Lucas Aparecido, Paulo, Aline, Valter, Mary Jane, Lígia, Nayane, Tatiana, Washington, Gustavo, Fernando, Bruna, Kleve, Ludhanna, Gabriela e Thiago. Obrigada pela convivência e troca de experiência durante esse tempo, vocês fizeram do departamento de exatas o melhor da UNESP.

Aos colegas do Departamento de Ciências Exatas, Prof. Newton, Prof. Peruzzi, Zezé, Shirlei, Adriana e Carlão, muito obrigada pela convivência durante esse tempo.

A todos que de alguma forma contribuíram para que chegasse até aqui, o meu muito obrigada!

SUMÁRIO

	Página
RESUMO	ii
ABSTRACT	iii
LISTA DE ABREVIATURAS	iv
CAPÍTULO 1 – Considerações gerais	1
1.1 Introdução.....	1
1.2 Revisão de Literatura.....	2
1.2.1 A importância do café para o agronegócio brasileiro.....	2
1.2.2 Influências do clima no desenvolvimento e produtividade do café	4
1.2.3 El Niño-Oscilação Sul (ENSO)	5
1.2.4 Uso de inteligência artificial como modelo de previsão	7
1.2.5 Árvores de decisão para classificação	8
1.3 Referências.....	9
CAPÍTULO 2 - Previsão de eventos de El Niño e La Niña por inteligência artificial	17
2.1 Introdução.....	18
2.2 Material e métodos	20
2.3 Resultados e discussão	26
2.4 Conclusão.....	33
2.5 Referências.....	34
CAPÍTULO 3 - Influence of El Niño and La Niña on coffee yield in the main coffee-producing regions of Brazil	38
3.1 Introduction	38
3.2 Data and methodology	40
3.3 Results and discussion	43
3.4 Conclusion	54
3.5 References	56
CAPÍTULO 4 – Considerações finais	61

Associação entre El Niño-Oscilação Sul e a variação geográfica da produtividade do café

RESUMO - O fenômeno El Niño-Oscilação Sul é um fator chave na variabilidade climática, sendo formado pelos episódios de El Niño e La Niña e classificado como um fenômeno de grande escala no Oceano Pacífico Tropical. Em razão do grande efeito deste fenômeno nos elementos meteorológicos, principalmente nos padrões de temperatura e precipitação, faz-se necessário estudos sobre a antecipação de sua previsão e da sua influência na produtividade de culturas agrícolas, como o café. O café é uma cultura que representa grande importância socioeconômica para o Brasil, sendo cultivada em mais de 2 milhões de hectares e, além de ser uma das commodities mais valiosas mundialmente, é muito sensível à mudança das condições climáticas. Diante disso, o objetivo deste trabalho é prever episódios quentes e frios do ENSO, de forma a obter um modelo simples e acurado, que auxilie na gestão agrícola da cultura do café. Para tanto, este trabalho apresenta informações importantes sobre o fenômeno El Niño-Oscilação Sul e sua influência no cafeeiro, como (i) Previsão de eventos de El Niño e La Niña por inteligência artificial e (ii) Influência do El Niño e La Niña na produtividade do café, nas principais regiões produtoras de café do Brasil. Os resultados encontrados neste trabalho foram eficientes e promissores para aplicação prática. O modelo de previsão apresentou boa acurácia em condições de anos de El Niño, La Niña e neutros, com média de 84% e conseguiu prevê-los com 9 meses de antecedência. A utilização de árvores de decisão para classificação com o objetivo de prever episódios quentes e frios do fenômeno El Niño-Oscilação Sul se mostrou uma alternativa promissora e de fácil acesso em relação a outras técnicas de inteligência artificial. Observou-se ainda correlação significativa entre os fenômenos do El Niño-Oscilação Sul com a temperatura do ar, precipitação, evapotranspiração potencial, armazenamento de água no solo, deficiência hídrica e excedente hídrico, influenciando, portanto, na produtividade do café em todas as regiões estudadas.

Palavras-Chave: ENSO, inteligência artificial, mudanças climáticas

Association between El Niño-South Oscillation and the geographical variation of coffee yield

ABSTRACT - The El Niño-Southern Oscillation phenomenon is a key factor in climate variability, being formed by the El Niño and La Niña episodes and classified as a large-scale phenomenon in the Tropical Pacific Ocean. Due to the great effect of this phenomenon on the meteorological elements, especially on the temperature and precipitation patterns, studies on the anticipation of its prediction and its influence on the productivity of agricultural crops, such as coffee. Coffee is a crop that is of great socioeconomic importance for Brazil, being grown on over 2 million hectares and, besides being one of the most valuable commodities in the world, it is very sensitive to changing weather conditions. Therefore, this work presents important information about the El Niño-Southern Oscillation phenomenon and its influence on coffee, as (i) Forecasting El Niño and La Niña events using artificial intelligence and (ii) Influence of El Niño and La Niña on coffee yield in the main coffee-producing regions of Brazil. The results found in this work were efficient and promising for practical application. The model showed good accuracy in forecasting El Niño, La Niña and neutral year conditions, averaging 84% and was able to predict them 9 months in advance. The use of decision trees classifier to predict hot and cold episodes of the El Niño-Southern Oscillation phenomenon has shown to be a promising and easily accessible alternative to other artificial intelligence techniques. There was also a strong correlation between El Niño-Southern Oscillation phenomenon with air temperature, precipitation, potential evapotranspiration, soil water storage, water deficit and water surplus, thus influencing coffee yield in all production regions studied.

Palavras-Chave: ENSO, artificial intelligence, climate changes

LISTA DE ABREVIATURAS

DTC – Árvore de decisão para classificação

EN – El Niño

ENSO – El Niño-Oscilação Sul

FN – Falso negativo

FP – Falso positivo

IA – Inteligência Artificial

LN – La Niña

MAAO – Modelos acoplados atmosfera-oceano

ML – Aprendizagem de máquina

NE – Neutro

NOAA – National Oceanic and Atmospheric Administration

ONI – Índice Oceânico Niño

SOI – Índice de Oscilação Sul

SST – Temperatura da superfície do mar

VN – Verdadeiro negativo

VP – Verdadeiro positivo

VPN – Valor preditivo negativo

VPP – Valor preditivo positivo

CAPÍTULO 1 – Considerações gerais

1.1 Introdução

O El Niño-Oscilação Sul (ENSO) refere-se à alternância entre duas fases climáticas distintas, a fase de El Niño e sua fase oposta, La Niña. O ENSO é acompanhado por um deslocamento da circulação atmosférica refletido pelo Índice de Oscilação do Sul (Southern Oscillation Index, SOI) e por mudanças na temperatura da superfície do mar (Sea Surface Temperature, SST) cujos aspectos se acredita serem previsíveis (Latif et al., 1998).

O ENSO influencia a agricultura global de várias maneiras, inclusive através de mudanças nos parâmetros hidrometeorológicos (Casanueva et al., 2014; Sun et al., 2015; Veldkamp et al., 2015; Ward et al., 2010) e climáticos (Barlow et al., 2001; Dilley e Heyman, 1995; Donat et al., 2014), que afetam direta ou indiretamente a produtividade, a produção e os preços de diversas culturas (Iizumi et al., 2014; Ray et al., 2015; Rowhani et al., 2011).

O uso de informações climáticas com prazos longos, como as previsões sazonais do El Niño-Oscilação Sul, permitem que os agricultores antecipem riscos e melhorem sua gestão em várias partes do mundo (Bussay et al., 2015; Haigh et al., 2015; Iizumi et al., 2014; Meinke e Stone, 2005; Motha e Baier, 2005; Nnaji, 2001), inclusive para culturas como soja, milho, trigo e cevada (Nóia Júnior e Sentelhas, 2019; Cunha et al., 2001a,b).

Muitos estudos indicam que o padrão de precipitação na América do Sul, em particular em algumas regiões do Brasil, é fortemente afetado pelos extremos da Oscilação Sul (Ropelewski e Halpert, 1987; Rao e Hada, 1990; Gurgel e Ferreira, 2003). Na floresta tropical do norte da Amazônia e no nordeste do Brasil, baixas quantidades de precipitação foram observadas durante os anos de El Niño (Aceituno, 1988; Marengo, 1992; Uvo, 1998; Williamson et al., 2000).

De forma geral, os impactos provocados por estes fenômenos vão desde alterações na circulação regional quanto na global, resultando em anomalias climáticas, afetando diretamente padrões de vento e da temperatura do ar e

modificando o regime da precipitação pluvial em diferentes regiões do Brasil (Berlato e Fontana, 2003).

As condições climáticas tem alta correlação com a produtividade das culturas, causando grande impacto nas atividades agrícolas (Sá Júnior et al., 2012). Hoogenboom (2000) salienta que os elementos meteorológicos críticos na produção agrícola são a temperatura do ar, a radiação solar e a precipitação. Especificamente para o cafeeiro, a distribuição pluviométrica é um dos elementos que proporcionam maior interferência na fenologia do cafeeiro (Camargo, 2010).

Apesar da importância da previsão do fenômeno El Niño Oscilação-Sul para a gestão das atividades agrícolas, a previsão convencional ainda é limitada a 6 meses à frente (Ludescher et al., 2014) e, além disso, são escassos trabalhos que associam o fenômeno à cultura do café no Brasil. Por isso, o objetivo deste trabalho é prever episódios quentes e frios do ENSO, de forma a obter um modelo simples e acurado, que auxilie na gestão agrícola da cultura do café.

3.4 Conclusion

We present results that support the conclusion that the air temperature, precipitation, potential evapotranspiration (PET), soil water storage (STO), water

deficits (DEF) and water surplus (SUR) correlate with the ENSO signal and cause an important variation in coffee yield in all production regions in Brazil.

Conditions during the El Niño (EN) years decrease precipitation and increase the air temperature, resulting in a higher DEF and PET compared to the neutral (NE) and La Niña (LN) years. The opposite happens in the LNs years, there is an increase in precipitation and STO, resulting in higher SUR. NEs years show similar patterns to LNs years.

The average coffee yield values in ENs, LNs and NEs years in Brazilian national level are not statistically different, but the standard deviation of yield in years of ENs is lower compared to the LNs and NEs years. Nevertheless, there are significant differences between coffee-producing regions against the ENSO phenomenon.

Bahia is the state most affected by ENSO. The ENs years condition increase yield reaching 2439.64 kg ha⁻¹ and the LNs years decrease yield to 325.96 kg ha⁻¹. The states of Paraná and Rondônia are the less affected by ENSO, with average yields around 2000 and 1000 kg ha⁻¹, respectively.

Minas Gerais, the largest coffee producer state in Brazil, has its average yield reduced to 772 kg ha⁻¹ in the LNs years. In the EN and NE years average yields of 1638.74 and 1368.24 kg ha⁻¹ occur, respectively. Vale do Jequitinhonha is the region that most suffers from the yield decrease in LN years, with an average yield of 1036.94 kg ha⁻¹, followed by the Zona da Mata region. EN years favor yield in the southern Minas Gerais region, while NE years favor the Triângulo Mineiro and Alto Paranaíba.

Even though the present study shows the influence of Enso in short time series, it was possible to verify how much this phenomenon affects the different regions of Brazil. In addition, the results presented here may provide support for further studies, even with the simulation of some data.

3.5 References

- Adams RM, Houston LL, McCarl BA, Mario Tiscareño LM, Matus GJ, Weiher RF (2003) The benefits to Mexican agriculture of an El Niño-Southern Oscillation (ENSO) early warning system. *Agricultural and Forest Meteorology* 115:183–194
- Alves MB, Souza EB, Repelli CA, Vitorino MI, Ferreira NS (1997) Episódios de La Niña na bacia do oceano pacífico e equatorial e a distribuição sazonal e intra-sazonal das chuvas no setor norte do nordeste brasileiro. *Revista Brasileira de Meteorologia* 12(1):63–76
- Aparecido LEO, Rolim GS (2018) Forecasting of the annual yield of Arabic coffee using water deficiency. *Pesq Agrop Brasileira* 53(12):1299–1310
- Aparecido LEO, Rolim GS, Souza PS (2014) Flowering and harvest ing periods of macadamia-walnut for areas of the southeastern coffee region. *Rev Bras Frutic* 36:165–173
- Avelino J, Cristancho M, Georgiou S, Imbach P, Aguilar L, Bornemann G, Läderach P, Anzueto F, Hruska AJ, Morales C (2015) The coffee rust crises in Colombia and Central America (2008–2013): Impacts, plausible causes and proposed solutions. *Food Security* 7(2):303–321
- Bai J, Chen X, Dobermman A, Yang H, Cassman KG, Zhang F (2010) Evaluation of NASA satellite- and model-derived weather data for simulation of maize yield potential in China. *Agron J* 102(1):9–16
- Barnston AG, Tippett MK, L'Heureux ML, Li S, DeWitt DG (2012) Skill of real-time seasonal ENSO model predictions during 2002–11: is our capability increasing? *Bull Am Meteorol Soc* 93(5):631–651
- Bastianin A, Lanza A, Manera M (2018) Economic impacts of El Niño southern oscillation: evidence from the Colombian coffee market. *Agric Econ* 1:3–17
- Berlato MA, Farenzena H, Fontana DC (2005) Associação entre El Niño Oscilação Sul e a produtividade do milho no Estado do Rio Grande do Sul. *Pesq Agrop Brasileira* 40(5):423–432
- Café de Colombia (2014) Our coffee regions. Retrieved from: <<http://www.cafedecolombia.com>>
- Camargo AP (1971) Balanço hídrico no Estado de São Paulo. 3.ed. Campinas: Instituto Agronômico. 24p. (Boletim, 116)
- Camargo AP (1985) Florescimento e frutificação de café arábica nas diferentes regiões cafeeiras do Brasil. *Pesq Agrop Brasileira* 20(7):831–839

Camargo MBP (2010) The impact of climatic variability and climate change on arabic coffee crop in Brazil. *Bragantia*. 69:239–247

Camargo AP, Camargo MBP (2001) Definição e esquematização das fases fenológicas do cafeeiro arábica nas condições tropicais do Brasil. *Bragantia*. 60(1):65–68

Carmona LC, Berlato MA (2002) El Niño e La Niña e a produtividade do arroz irrigado no Estado do Rio Grande do Sul. *Revista Brasileira de Agrometeorologia*. 10(1):147–152

Chen D, Cane MA, Kaplan A, Zebiak SE, Huang D (2004) Predictability of El Niño over the past 148 years. *Nature*. 428(6984):733–736

Chimeli A, Souza Filho F, Holanda M, Petterini F (2008) Forecasting the impacts of climate variability: lessons from the rainfed corn market in Ceará. *Brazil Environment and Development Economics* 13(2):201–227

Cirino PH, Féres JG, Braga MJ, Reis E (2015) Assessing the Impacts of ENSO-related weather effects on the Brazilian Agriculture. *Procedia Economics and Finance* 24:146–155

Climate Prediction Center – CPC (2012) Frequently asked questions about El Niño and La Niña. Retrieved from:<https://www.cpc.ncep.noaa.gov/products/analysis_monitoring/ensostuff/ensofaq.shtml#forecasts>

Companhia Nacional de Abastecimento – CONAB (2019) Acompanhamento da safra brasileira de café. 6(1)

Craparo ACW, Van Asten PJA, Läderach P, Jassogne LTP, Grab SW (2015) Coffea arabica yields decline in Tanzania due to climate change: global implications. *Agric For Meteorol* 207:1–10

Cressey D (2013) Coffee rust regains foothold. *Nature*. 493-587

Cunha DR, Dalmargo GN, Estefanel D, Pasinato A, Moreira MB (2001) El Niño-Oscilação Sul e seus impactos sobre a cultura da cevada no Brasil. *Revista Brasileira de Agrometeorologia* 9(1):137–1345

Damatta FM (2004) Ecophysiological constraints on the production of shaded and unshaded coffee: a review. *Field Crop Res* 86:99–114

Damatta FM, Ramalho JDC (2006) Impacts of drought and temperature stress on coffee physiology and production: a review. *Braz J Plant Physiol* 18(1):55–81

Decasy F, Avelino J, Guyot B, Perriot JJ, Pineda C, Cilas C (2003) Qualidade de diferentes cafés hondurenhos em relação a diferentes meio ambientes. *J Food Sci* 68(7):2356–2361

Dineshes KP, Shivanna P, Santa Ram A (2011) Identification of RAPD (random amplified polymorphic DNA) markers for Ethiopian wild *Coffea arabica* L genetic resources in the tropics. *Institute of Integrative Omics and Applied Biotechnology Journal* 2(4):1–7

Eskes A (2005) Phenotypic expression of resistance to coffee leaf rust and its possible relationship with durability. In: *Durable Resistance to Coffee Leaf Rust*. Viçosa-MG. Universidade Federal de Viçosa, 305-331

Figuroa P, Jimenez OH, López de LE, Anzueto F (2000) Influencia de la variedad y la altitud en las características organolepticas y físicas del café. In: *Simpósio Latinoamericano De Cafeicultura*, 19., 2000, San José, Costa Rica. Memoria... San José: ICAFE. 493-497

Fraser J, Fisher E, Arce A (2014) Reframing ‘crisis’ in fair trade coffee production: trajectories of agrarian change in Nicaragua. *J Agrar Chang* 14(1):52–73

Grimm AM, Barros VR, Doyle ME (2000) Climate Variability in Southern South America associated with El Niño and La Niña events. *J Clim* 13(1):35–57

Hoogenboom G (2000) Contribution of agrometeorology to the simulation of crop production and its applications. *Agric For Meteorol* 103(1/2):137–157

Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – IBGE. (2018). Sidra: Banco de Tabelas Estatísticas. Retrieved from: <<https://sidra.ibge.gov.br>>

International Coffee Organization – ICO (2019). Coffee trade statistics. Retrieved from: <<http://www.ico.org>>

Júnior RDSN, Sentelhas PC (2019) Soybean-maize off-season double crop system in Brazil as affected by El Niño Southern Oscillation phases. *Agric Syst* 173:254–267

Li Y, Yi F, Wang Y, Gudaj R (2019) The Value of El Niño-Southern oscillation forecasts to China’s agriculture. *Sustainability*. 11(15):4184

Mcphee J, Margulis SA (2005) Validation and error characterization of the GPCP-1DD precipitation product over the contiguous United States. *J Hydrometeorol* 6:441–459

Meireles E JL, Camargo MBP, Pezzopane JRM, Thomaziello RA, Fahl JI, Bardin L, Santos JCF, Japiassú LB, Garcia AWR, Miguel AE, Ferreira RA (2009) Fenologia do cafeeiro: condições agrometeorológicas e balanço hídrico do ano agrícola 2004-2005. Brasília: Embrapa Café; MAPA 5:130

- Miao R, Khanna M, Huang H (2016) Responsiveness of crop yield and acreage to prices and climate. *American Journal of Agricultural Economics* 98:191–211
- Moeletsi ME, Walker S (2012) Evaluation of NASA satellite and modelled temperature data for simulating maize water requirement satisfaction index in the Free State Province of South Africa. *Physics and Chemistry of the Earth, Parts A/B/C* 50-52:157–164
- Phillips J, Cane M, Rosenzweig C (1998) ENSO, Seasonal rainfall patterns and simulated maize yield variability in Zimbabwe *Agricultural and Forest Meteorology* 90:39–50
- Phillips J, Rajagopalan B, Cane M, Rosenzweig C (1999) The role of ENSO in determining climate and maize yield variability in the US cornbelt. *International Journal of Climatology* 19:877–888
- Pinault JL (2016) Anticipation of ENSO: What teach us the resonantly forced baroclinic waves. *Geophysical & Astrophysical Fluid Dynamics* 110(6):518–528
- Poveda G, Jaramillo A, Gil MM, Quiceno N, Mantilla RI (2001) Seasonally in ENSO-related precipitation, river discharges, soil moisture, and vegetation index in Colombia. *Water Resour Res* 37(8):2169–2178
- Prela AP, Pereira AR, Caramori PH (2005) Influência dos fenômenos El Niño/La Niña na produtividade de trigo no estado do Paraná. *Revista Brasileira de Agrometeorologia*. 13(3):341–342
- Rena AB, Maestri M (1986) Coffee Physiology. In: A.B. Rena et al. (guest eds) *Cultura do cafeeiro: fatores que afetam a produtividade*. Piracicaba, SP: POTAFOS. pp. 447
- Rendón EPD, Builes VHR, Quiñones AJP (2015) Variabilidad espacial y temporal de la temperatura del aire en la zona cafetera colombiana. *Investigaciones Geográficas. Boletín* 89
- Rodrigues WN, Tomaz MA, Ferrão RG, Ferrão MAG, Fonseca AFA (2013) Crop yield bienniality in groups of genotypes of conilon coffee. *Afr J Agric Res* 8:4422–4426
- Serrano CEB, Castrillón JJC (2002) Influência de la latitude en la calidad de la bebida de muestras del café procedente del ecotopo 206 B en Colombia. *Cenicafé*. 53(2):119–131
- Silva CA, Teodoro REF, Melo B (2008) Produtividade e rendimento do cafeeiro submetido a lâminas de irrigação. *Pesq Agrop Brasileira* 43:387–394
- Smith AW (1989) Introduction. In: Clarke RJ, Macrae R (eds), *Coffee – Chemistry*.1:1-41

Souza Júnior JA, Nechet D, Oliveira MCF, Albuquerque MF (2009) Estudo do comportamento da temperatura e precipitação nos períodos chuvosos e menos chuvosos em Belém-PA em anos de fortes eventos de El Niño e La Niña. *Revista Brasileira de Climatologia* 5:87–101

Stackhouse PW, Zhang T, Westberg D, Barnett AJ, Bristow T, Macpherson B, Hoell JM (2018) Power release 8.0.1 (with GIS applications) methodology (Data parameters, sources & validation). Retrieved from <https://power.larc.nasa.gov/documents/POWER_Data_v9_methodology.pdf>

Syvertsen JP, Garcia-Sanchez F (2014) Multiple abiotic stresses occurring with salinity stress in citrus. *Environ Exp Bot* 103:128–137

Thornthwaite CW, Mather JR (1955) The water balance. Centerton: Drexel Institute of Technology. *Climatology* 8(1):104

Ubilava D, Abdolrahimi M (2019) The El Niño impact on maize yields is amplified in lower income teleconnected countries. *Environ Res Lett* 14(5):054008

Westberg D, Soja A, Stackhouse JRPW (2010) Linking satellite-derived fire counts to satellite-derived weather data in fire prediction models to forecast extreme fires in Siberia. *Geophys Res Abstr* 12:2010–5597

White JF, Hoogenboom G, Stackhouse JRPW, Hoell JM (2008) Evaluation of NASA satellite- and assimilation model-derived long-term daily temperature data over the continental US. *Agric For Meteorol* 148:1574–1584

CAPÍTULO 4 – Considerações finais

O modelo para previsões de eventos de El Niño e La Niña por inteligência artificial se mostrou uma ferramenta de fácil utilização para uso no setor agrícola. Além de sua facilidade, o modelo apresentou acurácia média de 84%. A DTC apresentou uma acurácia de 91%, 92% e 83% para previsões de anos de El Niño, La Niña e anos neutros, respectivamente, no período de treinamento e 80%, 93% e 73%, respectivamente, para o período de validação. A previsão foi possível com 9 meses de antecipação, utilizando apenas dados trimestrais do Índice Niño Oceânico (ONI) dos períodos de março-abril-maio e outubro-novembro-dezembro do ano anterior e janeiro-fevereiro-março do ano corrente.

Já se tratando da influência destes fenômenos na produtividade de café, observou-se que os componentes do balanço hídrico se correlacionam com os eventos ENSO e, portanto, condicionam a variação na produtividade da cultura do café a nível regional. A Bahia é o estado mais afetado pelo ENSO, apresentando aumento de produtividade para até 2439,64 kg ha⁻¹ em anos de EN, enquanto nos anos de LNs há diminuição da mesma para 325,96 kg ha⁻¹. Os estados do Paraná e Rondônia são os menos afetados pelo ENSO, com rendimentos médios em torno de 2000 e 1000 kg ha⁻¹, respectivamente.