

Engenharias, Ciência e Tecnologia 4

Luís Fernando Paulista Cotian
(Organizador)



Atena
Editora
Ano 2019

Luís Fernando Paulista Cotian

(Organizador)

Engenharias, Ciência e Tecnologia

4

Atena Editora

2019

2019 by Atena Editora

Copyright © da Atena Editora

Editora Chefe: Profª Drª Antonella Carvalho de Oliveira

Diagramação e Edição de Arte: Geraldo Alves e Natália Sandrini

Revisão: Os autores

Conselho Editorial

- Prof. Dr. Alan Mario Zuffo – Universidade Federal de Mato Grosso do Sul
Prof. Dr. Álvaro Augusto de Borba Barreto – Universidade Federal de Pelotas
Prof. Dr. Antonio Carlos Frasson – Universidade Tecnológica Federal do Paraná
Prof. Dr. Antonio Isidro-Filho – Universidade de Brasília
Profª Drª Cristina Gaio – Universidade de Lisboa
Prof. Dr. Constantino Ribeiro de Oliveira Junior – Universidade Estadual de Ponta Grossa
Profª Drª Daiane Garabeli Trojan – Universidade Norte do Paraná
Prof. Dr. Darllan Collins da Cunha e Silva – Universidade Estadual Paulista
Profª Drª Deusilene Souza Vieira Dall’Acqua – Universidade Federal de Rondônia
Prof. Dr. Eloi Rufato Junior – Universidade Tecnológica Federal do Paraná
Prof. Dr. Fábio Steiner – Universidade Estadual de Mato Grosso do Sul
Prof. Dr. Gianfábio Pimentel Franco – Universidade Federal de Santa Maria
Prof. Dr. Gilmei Fleck – Universidade Estadual do Oeste do Paraná
Profª Drª Girlene Santos de Souza – Universidade Federal do Recôncavo da Bahia
Profª Drª Ivone Goulart Lopes – Istituto Internazionele delle Figlie de Maria Ausiliatrice
Profª Drª Juliane Sant’Ana Bento – Universidade Federal do Rio Grande do Sul
Prof. Dr. Julio Candido de Meirelles Junior – Universidade Federal Fluminense
Prof. Dr. Jorge González Aguilera – Universidade Federal de Mato Grosso do Sul
Profª Drª Lina Maria Gonçalves – Universidade Federal do Tocantins
Profª Drª Natiéli Piovesan – Instituto Federal do Rio Grande do Norte
Profª Drª Paola Andressa Scortegagna – Universidade Estadual de Ponta Grossa
Profª Drª Raissa Rachel Salustriano da Silva Matos – Universidade Federal do Maranhão
Prof. Dr. Ronilson Freitas de Souza – Universidade do Estado do Pará
Prof. Dr. Takeshy Tachizawa – Faculdade de Campo Limpo Paulista
Prof. Dr. Urandi João Rodrigues Junior – Universidade Federal do Oeste do Pará
Prof. Dr. Valdemar Antonio Paffaro Junior – Universidade Federal de Alfenas
Profª Drª Vanessa Bordin Viera – Universidade Federal de Campina Grande
Profª Drª Vanessa Lima Gonçalves – Universidade Estadual de Ponta Grossa
Prof. Dr. Willian Douglas Guilherme – Universidade Federal do Tocantins

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP) (eDOC BRASIL, Belo Horizonte/MG)

E57 Engenharias, ciência e tecnologia 4 [recurso eletrônico] / Organizador
Luís Fernando Paulista Cotian. – Ponta Grossa (PR): Atena
Editora, 2019. – (Engenharias, Ciência e Tecnologia; v. 4)

Formato: PDF

Requisitos de sistema: Adobe Acrobat Reader

Modo de acesso: World Wide Web

Inclui bibliografia.

ISBN 978-85-7247-087-2

DOI 10.22533/at.ed.872193101

1. Ciência. 2. Engenharia. 3. Inovações tecnológicas.
4. Tecnologia. I. Cotian, Luís Fernando Paulista. II. Série.

CDD 658.5

Elaborado por Maurício Amormino Júnior – CRB6/2422

O conteúdo dos artigos e seus dados em sua forma, correção e confiabilidade são de
responsabilidade exclusiva dos autores.

2019

Permitido o download da obra e o compartilhamento desde que sejam atribuídos créditos aos
autores, mas sem a possibilidade de alterá-la de nenhuma forma ou utilizá-la para fins comerciais.

www.atenaeditora.com.br

APRESENTAÇÃO

A obra “Engenharia, Ciência e Tecnologia” aborda uma série de livros de publicação da Atena Editora. O volume IV apresenta, em seus 29 capítulos, conhecimentos relacionados a Modelagem, Análise e Simulação relacionadas à engenharia de produção nas áreas de Programação Matemática, Decisão Multicriterial e Teoria da Decisão e Teoria dos Jogos.

A área temática de Modelagem, Análise e Simulação trata de temas relevantes para a mecanismos que auxiliam na tomada de decisão, desde a modelagem e simulação até a análise dos resultados envolvendo assuntos relacionados a engenharia. As análises e aplicações de novos estudos proporciona que estudantes utilizem conhecimentos tanto teóricos quanto tácitos na área acadêmica ou no desempenho da função em alguma empresa.

Para atender os requisitos do mercado as organizações precisam levar em consideração a área de sustentabilidade e desenvolvimento sustentável, sejam eles do mercado ou do próprio ambiente interno, tornando-a mais competitiva e seguindo a legislação vigente.

Aos autores dos capítulos, ficam registrados os agradecimentos do Organizador e da Atena Editora, pela dedicação e empenho sem limites que tornaram realidade esta obra, que retrata os recentes avanços científicos do tema.

Por fim, espero que esta obra venha a corroborar no desenvolvimento de novos conhecimentos de Modelagem, Análise e Simulação e auxilie os estudantes e pesquisadores na imersão em novas reflexões acerca dos tópicos relevantes na área de engenharia de produção.

Boa leitura!

Luís Fernando Paulista Cotian

SUMÁRIO

CAPÍTULO 1	1
A UTILIZAÇÃO DE UM SOFTWARE PARA O DIMENSIONAMENTO DE UMA ESTRUTURA METÁLICA	
<i>Douglas Freitas Augusto dos Santos</i>	
DOI 10.22533/at.ed.8721931011	
CAPÍTULO 2	11
ALGORITMOS EVOLUTIVOS APLICADOS A OTIMIZAÇÃO OFF-LINE DE UM MAPA COGNITIVO FUZZY DE UM MISTURADOR INDUSTRIAL	
<i>Márcio Mendonça</i>	
<i>Edson Hideki Koroishi</i>	
<i>Lillyane Rodrigues Cintra</i>	
<i>Lucas Botoni de Souza</i>	
DOI 10.22533/at.ed.8721931012	
CAPÍTULO 3	19
APLICAÇÕES MATEMÁTICAS EM MEDIDAS AGRÁRIAS: UM CONHECIMENTO ETNOMATEMÁTICO DO HOMEM DO CAMPO CONTEXTUALIZADO COM O CONTEÚDO ESCOLAR	
<i>Deonísio Hul</i>	
<i>Silton José Dziadzio</i>	
<i>Clodogil Fabiano Ribeiro dos Santos</i>	
DOI 10.22533/at.ed.8721931013	
CAPÍTULO 4	34
AVALIAÇÃO DOS EFEITOS DA CONEXÃO DE UMA UNIDADE GERADORA DISTRIBUÍDA A UM ALIMENTADOR DE 13,8 KV UTILIZANDO O ATP	
<i>Jaqueline Oliveira Rezende</i>	
<i>Larissa Marques Peres</i>	
<i>Geraldo Caixeta Guimarães</i>	
<i>Marcelo Lynce Ribeiro Chaves</i>	
DOI 10.22533/at.ed.8721931014	
CAPÍTULO 5	46
CÁLCULO FRACIONÁRIO APLICADO À GENERALIZAÇÃO DA MODELAGEM MATEMÁTICA DA SECAGEM DE BAGAÇO DE UVA	
<i>Amanda Peruzzo da Motta</i>	
<i>Bruna de Souza Nascimento</i>	
<i>Fernanda Batista de Souza</i>	
<i>Douglas Junior Nicolin</i>	
DOI 10.22533/at.ed.8721931015	
CAPÍTULO 6	57
CINÉTICA DE DEGRADAÇÃO TÉRMICA DO BAGAÇO DE CANA	
<i>Edvan Vinícius Gonçalves</i>	
<i>Wardleison Martins Moreira</i>	
<i>Emanuel Souza Barros</i>	
<i>Sérgio Inácio Gomes</i>	
<i>Marcos de Souza</i>	
<i>Luiz Mario de Matos Jorge</i>	
DOI 10.22533/at.ed.8721931016	

CAPÍTULO 7 67

CONTAGEM AUTOMÁTICA DE OVOS DO Aedes Aegypti em palhetas de ovitrampas: um sistema para aquisição e processamento de imagens

Carlos Diego Franco da Rocha
Ayla Márcia Cordeiro Bizerra
Demétrios Araújo Magalhães Coutinho
Luiz Fernando Virginio da Silva
Michel Santana de Deus
Phablo Márcio de Paiva Souto

DOI 10.22533/at.ed.8721931017

CAPÍTULO 8 75

Controlador fuzzy Mamdani aplicado à navegação autônoma em ambiente desconhecido variante no tempo

Eduardo Vilela Pierangeli
Jordann Alessander Rosa Almeida
Marcelo Vilela Pierangeli

DOI 10.22533/at.ed.8721931018

CAPÍTULO 9 82

Controle robusto aplicado em uma viga de material compósito visando atenuação de vibrações

Camila Albertin Xavier da Silva
Daniel Almeida Colombo
Edson Hideki Koroishi
Albert Willian Faria

DOI 10.22533/at.ed.8721931019

CAPÍTULO 10 96

Estratégias heurísticas para posicionamento de unidades de medição fasorial

Marcio André Ribeiro Guimaraens
Julio Cesar Stacchini de Souza
Milton Brown Do Coutto Filho
Breno Crespo Zeba

DOI 10.22533/at.ed.87219310110

CAPÍTULO 11 109

Estudo de caracterização e desenvolvimento da urbanização do município de Sousa-PB no período de 1984 a 2016

Márcia de Lacerda Santos
Thayse Bezerra da Silva
Maria Raiana Almeida Silva
Danielle Leal Barros Gomes

DOI 10.22533/at.ed.87219310111

CAPÍTULO 12 116

Flambagem linear e não-linear utilizando uma análise numérica pelo método dos elementos finitos

Rodrigo Villaca Santos
Leticia Barizon Col Debella

DOI 10.22533/at.ed.87219310112

CAPÍTULO 13..... 121

GEOLOGIA DA SERRA DO CARAÇA: PERFIS REAIS

Carolina Cristiano Barbosa
Ariadne Duarte Libutti Nuñez
Adriane Abreu Cadar
Alexandre Motta Tunes
Bárbara Alves Oliveira
Ulisses Cyrino Penha

DOI 10.22533/at.ed.87219310113

CAPÍTULO 14..... 132

GERENCIAMENTO DE RESERVATÓRIOS DE PETRÓLEO: PREVISÃO DE COMPORTAMENTO ATRAVÉS DA SIMULAÇÃO NUMÉRICA

Josué Domingos da Silva Neto
Débora Cristina Almeida de Assis
Nayra Vicente Sousa da Silva
Zenilda Vieira Batista

DOI 10.22533/at.ed.87219310114

CAPÍTULO 15..... 143

INFLUÊNCIA DA INÉRCIA A TORÇÃO NO MOMENTO FLETOR DE PLACAS MACIÇAS DE CONCRETO

Leticia Barizon Col Debella
Rodrigo Villaca Santos

DOI 10.22533/at.ed.87219310115

CAPÍTULO 16..... 149

METODOLOGIA DE CONTROLE PREVENTIVO BASEADA EM ÁRVORE DE DECISÃO PARA A MELHORIA DA SEGURANÇA ESTÁTICA E DINÂMICA DO SISTEMA INTERLIGADO DA ELETRONORTE

Ubiratan Holanda Bezerra
João Paulo Abreu Vieira
Werboston Douglas de Oliveira
Daniel Augusto Martins
Dione José Abreu Vieira
Bernard Carvalho Bernardes
Benedito das Graças Duarte Rodrigues
Vilson Castro

DOI 10.22533/at.ed.87219310116

CAPÍTULO 17 166

O WATSON DA IBM

Eduardo Bruno de Almeida Donato
Amanda Moura Camilo

DOI 10.22533/at.ed.87219310117

CAPÍTULO 18..... 173

PROTÓTIPO DE UM PERMEÂMETRO DE CARGA CONSTANTE A PARTIR DA LEI DE DARCY

Guilherme Medina Cameu
Victor Araujo Figueredo Fischer
Wataru Iwamoto
Rômulo Henrique Batista de Farias

DOI 10.22533/at.ed.87219310118

CAPÍTULO 19 178

SIMULADOS ELETRÔNICOS DO PROCESSO SELETIVO DO IFPR: INSTRUMENTO DE DIVULGAÇÃO E DEMOCRATIZAÇÃO DO ENSINO

João Henrique Berssanette
Antonio Carlos de Francisco
Fabiane Ferreira
Maria Fernanda Müller Pereira da Silva

DOI 10.22533/at.ed.87219310119

CAPÍTULO 20 188

SOLARIZAÇÃO DO SOLO E BIOFUMIGAÇÃO NA VIABILIDADE DE SCLEROTIUM ROLFSSII

João Luiz Lopes Monteiro Neto
Roberto Tadashi Sakazaki
Raphael Henrique da Silva Siqueira
Carlos Abanto-Rodríguez
Sonicley da Silva Maia
Rannyonara Oliveira Rodrigues
Lucas Aristeu Anghinoni dos Santos
Beatriz Sayuri Campaner Sakazaki

DOI 10.22533/at.ed.87219310120

CAPÍTULO 21 194

SYNOPTERO: RECONSTRUINDO O MUNDO TRIDIMENSIONAL A PARTIR DO BIDIMENSIONAL

Lucas Maquedano da Silva
Marcos Cesar Danhoni Neves
Fernanda Tiemi Karia
Gabriel Francischini de Oliveira
Leandro Moraes Azevedo

DOI 10.22533/at.ed.87219310121

CAPÍTULO 22 202

TENDÊNCIAS CLIMATOLÓGICAS DA EVAPOTRANSPIRAÇÃO DE REFERÊNCIA NA REGIÃO SUL DE MINAS GERAIS, BRASIL

Lucas Rosa de Almeida
Marcelo Vieira-Filho
Sílvia Yanagi
Marcelo Ribeiro Viola

DOI 10.22533/at.ed.87219310122

CAPÍTULO 23 217

TEORIA NA PRÁTICA: SIMULAÇÃO COMPUTACIONAL DAS PRINCIPAIS PARTIDAS DA MÁQUINA DE INDUÇÃO

Murilo Miceno Frigo
Paulo Irineu Koltermann

DOI 10.22533/at.ed.87219310123

CAPÍTULO 24 229

UM ALGORITMO ITERATED LOCAL SEARCH PARA O STABLE MATCHING PROBLEM APLICADO AO PROBLEMA DE ALOCAÇÃO DE ALUNOS NAS ESCOLAS DA REDE PÚBLICA DE ENSINO

Robson Vieira de Oliveira
Matheus Correia Teixeira
Marco Antonio Bonelli Junior

DOI 10.22533/at.ed.87219310124

CAPÍTULO 25 242

USO DE IMAGENS SENTINEL - 2A E O ALGORITMO SVM PARA MONITORAR AS APP DE NASCENTES E CURSOS D'AGUA DO RIBEIRÃO MARANHÃO, LAVRAS, MG

Ester Afonso
Katyanne Conceição
Beatriz Campos
Franklin Inácio
Margarete Volpato
Helena Alves

DOI 10.22533/at.ed.87219310125

CAPÍTULO 26 249

UTILIZAÇÃO DA EVOLUÇÃO DIFERENCIAL EM PROBLEMAS INVERSOS PARA A IDENTIFICAÇÃO DE PARÂMETROS DE UMA VIGA EULER-BERNOULLI

Rennan Otavio Kanashiro
Edson Hideki Koroishi
Fabian Andres Lara-Molina

DOI 10.22533/at.ed.87219310126

CAPÍTULO 27 258

UTILIZAÇÃO DA TÉCNICA DE VELOCIMETRIA POR IMAGENS DE PARTÍCULAS (PIV) PARA O ESTUDO DO MÓDULO DE ELASTICIDADE DE PAINÉIS DE MADEIRA COMPENSADA

Eduardo Hélio de Novais Miranda
Rodrigo Allan Pereira
Francisco Carlos Gomes
Roberto Alves Braga Junior
Fernando Pujaico Rivera
Lucas Henrique Pedrozo Abreu

DOI 10.22533/at.ed.87219310127

CAPÍTULO 28 264

UTILIZAÇÃO DO SENSOR PT100 NO ARDUINO PARA CAPTAÇÃO DA TMR

Mariana Espíndola Vieira
Helena Dufau
Christian Muller
Anderson Ferrugem
Antonio Silva
Rafael Soares

DOI 10.22533/at.ed.87219310128

CAPÍTULO 29 269

DINÂMICA DE ESCOAMENTOS PARTICULADOS EM DUTOS VERTICAIS

Diego Nei Venturi
Francisco José De Souza

DOI 10.22533/at.ed.87219310129

SOBRE O ORGANIZADOR 280

TENDÊNCIAS CLIMATOLÓGICAS DA EVAPOTRANSPIRAÇÃO DE REFERÊNCIA NA REGIÃO SUL DE MINAS GERAIS, BRASIL

Lucas Rosa de Almeida

Universidade Federal de Lavras, Departamento de Engenharia

Lavras – Minas Gerais

Marcelo Vieira-Filho

Universidade Federal de Lavras, Departamento de Engenharia

Lavras – Minas Gerais

Sílvia Yanagi

Universidade Federal de Lavras, Departamento de Engenharia

Lavras – Minas Gerais

Marcelo Ribeiro Viola

Universidade Federal de Lavras, Departamento de Engenharia

Lavras – Minas Gerais

RESUMO: A relação sobre a possível escassez de água e de mudanças climáticas tem sido amplamente discutida. Levando à necessidade de investimento em estudos que visam compreender as causas e consequências das alterações no ciclo de água. A estimativa correta da evapotranspiração serve de base para cálculos de irrigação em cultivos, e no monitoramento de bacias hidrográficas. Esse trabalho visou avaliar as normais climatológicas das variáveis intervenientes no processo de evapotranspiração. Os valores climatológicos foram comparados ao período de 2011 a 2017

a fim de verificar tendências no compartimento da evapotranspiração de referência. Observou-se que dentre as variáveis intervenientes, a intensidade do vento apresentou o padrão mais anômalo quando comparado à normal climatológica, com alguns meses com até 25% superior ao valor de referência. Os métodos de Penman-Monteith e Makkink mostraram associações pela análise de agrupamentos, ainda assim, o método de Makking foi o que apresentou um ajuste de modelo climatológico com menores resíduos e maior uniformidade na distribuição para todos os valores de Evapotranspiração. Ademais, para os valores de evapotranspiração de referência, a variação relacionada à década de 2011 a 2017 apresentou valores ligeiramente maiores ao da climatologia no período de janeiro a fevereiro, e de setembro a dezembro (estação chuvosa).

PALAVRAS-CHAVE: ET_0 ; meteorologia; mudanças climáticas; ciclo hidrológico.

ABSTRACT: The relationship between possible water scarcity and climate change has been widely discussed. Taking the need for investment in studies aimed at understanding the causes and consequences of changes in the water cycle. The correct estimation of the evapotranspiration serves as the basis for calculations of irrigation in crops, and in the monitoring of watersheds. This work aimed to evaluate the climatological

norms of the variables involved in the evapotranspiration process. The climatological values were compared to the period from 2011 to 2017 in order to verify trends in the comparison of reference evapotranspiration. It was observed that among the intervening variables, the wind intensity presented the most anomalous pattern when compared to the climatological normal, with some months up to 25%. The Penman-Monteith and Makkink methods showed associations by grouping analysis, yet the Makkink method was the one that presented an adjustment of climatological model with smaller residues and greater uniformity in the distribution for all Evapotranspiration values. In addition, for the reference evapotranspiration values, the variation related to the decade 2011 to 2017 presented values slightly higher than the climatology in the period from January to February, and from September to December (rainy season).

KEYWORDS: ET0; meteorology; climate changes; hydrological cycle.

1 | INTRODUÇÃO

O ciclo hidrológico é o fenômeno global de circulação de água entre a superfície terrestre e a atmosfera, está ligado ao movimento e troca de água nos seus diferentes estados físicos, entre os oceanos, as calotas de gelo, as águas superficiais e subterrâneas e a atmosfera. Esse movimento permanente deve-se à radiação solar, que fornece energia para o processo da evapotranspiração, e a gravidade que força a precipitação e que uma vez na superfície, circule ou se infiltre no solo, mas, nem toda a água precipitada chega a superfície terrestre, eis que parte é interceptada pela vegetação e se evapora (PASSOS; ZAMBRZYCKI; PEREIRA, 2017).

O balanço hídrico é o resultado da quantidade de água que entra e sai de uma certa porção de solo em um determinado período de tempo, dentre os componentes do balanço hídrico climatológico, destaca-se a precipitação como principal entrada e a evapotranspiração como principal meio de saída. Quando se consideram a água disponível no meio ambiente, torna-se evidente a participação antrópica nos processos que se referem ao balanço de água no solo. Dessa forma, a análise dos componentes do balanço é uma ferramenta importantíssima na implantação de programas de desenvolvimento com sustentabilidade (BORGES; MENDIONDO, 2007).

A evapotranspiração (ET) é a maneira na qual a água da superfície terrestre passa para a atmosfera no estado de vapor, tendo papel crucial no ciclo hidrológico. Envolve a evaporação de superfícies de águas livres, e a transpiração dos solos e da vegetação úmida (interceptada pela precipitação), sendo responsável por transportar 95% da água subterrânea para a atmosfera, segundo os estudos de Zhao et al., (2013). Dentre os componentes do balanço hídrico, a ET delimita os processos de troca de água no solo, tais processos resultam na variação do armazenamento de água do solo, que por sua vez condicionará o desenvolvimento da cultura (SENTELHAS; ANGELOCCI, 2009).

As atividades agrícolas demandam grandes quantidades de água, sendo cada vez mais preocupante a sua escassez. Esforços têm sido empregados no desenvolvimento de pesquisas que possibilitem a sua economia. Dessa forma, o correto conhecimento da evapotranspiração das culturas assume grande importância, auxiliando na adoção de um método adequado para se racionalizar o uso da água, e estimar a evapotranspiração da cultura (ET_c), a partir da evapotranspiração de referência (ET_o) (CARVALHO et al., 2011).

Dentre os métodos de estimativa da evapotranspiração, destaca-se o método de Penman-Monteith. Os estudos de Munhoz et al., (2012), Borges e Mendiondo (2007), Alencar, Sedyama e Mantovani (2015) utilizaram o método para avaliar a evapotranspiração, no qual é recomendado pela Food and Agriculture Organization (FAO), contudo, a equação de PM-FAO se torna limitada pela indisponibilidade de todos os dados necessários para a entrada no modelo. Assim, analisar a sensibilidade do modelo para os diversos dados de entrada é importante para avaliar o grau de erro quando se arbitra um dado faltante (IRMAK et al., 2006).

Dentre os fatores intervenientes na evapotranspiração destacam-se, intensidade do vento, insolação, temperatura e umidade relativa que são consideradas em todos os modelos de evapotranspiração (TUNDISI, 2003). Dessa forma, variabilidades meteorológicas são peças chave na estimativa da evapotranspiração para diferentes regiões. O estudo de Ávila et al., (2014) apresentou tendências de aumento de temperatura e aumento de eventos extremos meteorológicos em diferentes regiões de Minas Gerais, concordando com o trabalho de Dantas, Carvalho e Ferreira (2007), apresentou que na cidade de Lavras para o período de 1961 a 2004 houve aumento das temperaturas médias.

A dimensão continental do estado de Minas Gerais (MG) é uma variável que justifica diferentes características meteorológicas, como temperatura, radiação solar, precipitação e evapotranspiração segundo Andrade et al., (2013). O estado possui extensas cadeias de montanhas em seu território e a influência orográfica nas diferentes condições climáticas foi discutido por Mello et al., (2007), também por sua extensão apresenta vegetação e topografia que ensejam diferentes condições climáticas, além de excelente potencial hídrico. Segundo a classificação climática de Köppen, podem ser encontrados os seguintes tipos climáticos: Aw, BSw, Cwa e Cwb, o que significa que podem ser encontradas regiões com clima semiárido até regiões com clima tropical chuvoso, com inverno seco (LEMOS et al., 2010).

Dado esse cenário, o presente trabalho teve por objetivo avaliar o impacto das variações climatológicas na estimativa da evapotranspiração de referência na região Sul de Minas Gerais. Ademais, avaliar a adequabilidade de diferentes métodos de estimativa da evapotranspiração potencial, como os de Makking e Hargreaves. E, por fim, avaliar a adequação dos modelos em relação ao de Penman-Monteith, método de referência nas estimativas de ET, a partir de análises estatísticas multivariadas.

2 | METODOLOGIA

2.1 Dados Meteorológicos

O presente trabalho foi realizado no município de Lavras, Estado de Minas Gerais, de acordo com as coordenadas geográficas: 21,75° S, 45,0° W, com uma elevação de 918,84 m. Foram utilizados os dados meteorológicos de superfície oriundos da estação climatológica de Lavras (#83687) oriundos do Banco de Dados Meteorológicos para Ensino e Pesquisa (BDMEP), fornecidos pelo Instituto Nacional de Meteorologia (INMET) no link <http://www.inmet.gov.br/projetos/rede/pesquisa/>. Utilizaram-se os dados meteorológicos de 2011 a 2017 e as normais climatológicas do período de 1961 a 1990 e 1981 a 2017, descritos na tabela 1, além das normais climatológicas do período de 1961 a 1990 e 1981 a 2010 para as mesmas variáveis.

2.2 Estimativas da Evapotranspiração Potencial

Após o tratamento dos dados brutos, utilizou-se o modelo numérico Ref-ET (University of Idaho) para fornecer cálculos padronizados de evapotranspiração de referência para quinze dos métodos e equações mais comuns atualmente em uso nos Estados Unidos e na Europa (ALLEN 1998). Os cálculos são baseados nas medições de dados meteorológicos que são disponibilizadas pelo usuário.

n (Números de observações)	Período	Dados Entrada (<i>Input</i>)	Dados Saída (<i>Output</i>)
16422	1967 a 2017	Temperatura Máxima (°C)	Temperatura Máxima (°C)
		Temperatura Mínima (°C)	Temperatura Mínima (°C)
		Insolação (h.dia ⁻¹)	Insolação (h.dia ⁻¹)
		Velocidade do Vento (mm.dia ⁻¹)	Velocidade do Vento (mm.dia ⁻¹)
		Umidade Relativa (°C)	Ponto de Orvalho (°C)
		Temperatura Média (°C)	ET Penman-Monteith (mm.dia ⁻¹)
			ET Hargreaves (mm.dia ⁻¹)
			ET Makkink (mm.dia ⁻¹)

Tabela 1. Dados de entrada no Ref-ET e dados de saída do Ref-ET.

Dentre os métodos de estimativa da evapotranspiração potencial, optou-se por utilizar os descritos por diferenciabilidade nos valores da evapotranspiração e também por serem em outros, tais como os de, (ALENCAR et al., 2011), (SANTANA et al., 2013)MG. O experimento foi conduzido no setor de Fruticultura do IFTM, campus Uberaba, MG. A cultivar utilizada foi a Smooth Cayenne. A irrigação foi realizada por tubogotejadores de duas formas: enterrados e superficiais. Para estimativa da evapotranspiração de referência (ET_o e (MELO; FERNANDES, 2012).

PENMAN-MONTEITH

$$\text{Equação 1. } ETo = \frac{0,408\Delta (R_n - G) + \gamma \frac{900}{r_{med} + 273,16} U_2 (e_s - e_a)}{\Delta + \gamma(1 + 0,34 U_2)}$$

Em que: R_n é o saldo de radiação ($\text{MJ.m}^{-2}.\text{dia}^{-1}$), G é a densidade do fluxo de calor no solo, sendo nesse caso considerado sempre como G , U_2 é a velocidade do vento, média diária (m/s), T_{med} é a temperatura média do ar ($^{\circ}\text{C}$), e_s é a pressão de saturação do vapor (kPa), e_a é a pressão atual do vapor (kPa) e γ é o fator psicrométrico (MJ kg^{-1}).

HARGREAVEAS

$$\text{Equação 2. } ETo = 0,408 \times 0,0023 (T_{med} + 17,8)(T_{max} - T_{min})^{0,5} * R_a$$

Em que: T_{med} é a temperatura média do ar, T_{max} é a temperatura máxima do ar, T_{min} é a temperatura mínima do ar e R_a é a radiação solar extraterrestre.

MAKKINK

$$\text{Equação 3. } ETo = (0,61 \times R_s \times W) - 0,12$$

Em que R_s é a radiação solar global ($\text{MJ.m}^{-2}.\text{d}^{-1}$) e W é o fator de ponderação que representa a fração de R_s , que é utilizada na evapotranspiração para diferentes valores de temperatura e altitude.

2.3 Análise de Dados

2.3.1 Manejo de dados em linguagem R

O tratamento de dados foi realizado por programação em ambiente R, a partir dos dados obtidos do banco de dados do INMET. A linguagem R consiste de uma linguagem estatística, com código-fonte aberto, no qual é possível realizar tratamentos estatísticos multivariados, e manejo de dados (Carslaw, D. C. and K. Ropkins, 2012 ; R Core Team 2017).

A entrada de dados no R das variáveis meteorológicas foi realizada a partir de arquivos no formato *csv* (*coma separated values*), além das normais climatológicas no formato *xlsx* (*Microsoft excel*).

2.3.2 Regressão Linear Múltipla

Regressão Linear Múltipla segundo Hair *et al.*, (2009) é o método de análise apropriado á pesquisa quando envolve uma única variável dependente a duas ou mais independentes. O seu objetivo é prever as mudanças na variável dependente como a resposta a mudanças na variável independente. Realizou-se a análise de regressão linear múltipla, no qual visa avaliar a resposta da variável dependente (evapotranspiração) a um conjunto de variáveis independente, sendo o modelo mais

simples a equação da reta. O melhor modelo estatístico é aquele que perde a menor quantidade de informação possível em relação aos demais.

Utilizaram-se o Critério de Informação de Aikake (AIC) para encontrar o melhor modelo estatístico, na literatura consta que o método AIC é referenciado como um modelo robusto para avaliar a perda de informação de um modelo. (Bozdogan, 2000; Burnham, 2004)

2.3.3 *Análise stepwise*

Análise Stepwise é um método de seleção de variáveis para a inclusão em um modelo de regressão, no qual começa selecionando o mais correlacionado com a variável dependente. As variáveis independentes são selecionadas a partir do seu poder explicativo que podem acrescentar ao modelo de regressão, nos quais também podem ser eliminadas se seu poder preditivo cair para um nível insignificante quando uma outra variável for acrescentada ao modelo. (HAIR *et al.* 2009)

O processo foi realizado utilizando a linguagem de programação R (R Team, 2017) dentro do pacote “*MASS*” com o algoritmo de análise *stepwise* (Venables e Ripley, 2002). Esse algoritmo implementa um processo semi-automatizado onde as variáveis são adicionadas e removidas de acordo com o valor de AIC descrito previamente.

2.3.4 *Análise de agrupamento*

A análise de agrupamento (ou análise de *cluster*) reúne indivíduos ou objetos em grupos tais que os objetos por suas similaridades. O principal objetivo desse tipo de análise é o de aumentar a homogeneidade dentro dos grupos, e também maximizar a heterogeneidade entre os grupos (BURDORF, 2013).

O dendrograma foi obtido a partir de linguagem de programação R com o pacote “*openair*” segundo Carslaw, D. C. and K. Ropkins, (2012) que é um diagrama de árvore que exhibe os grupos formados por agrupamento de observações em cada passo e em seus níveis de similaridade.

3 | RESULTADOS E DISCUSSÕES

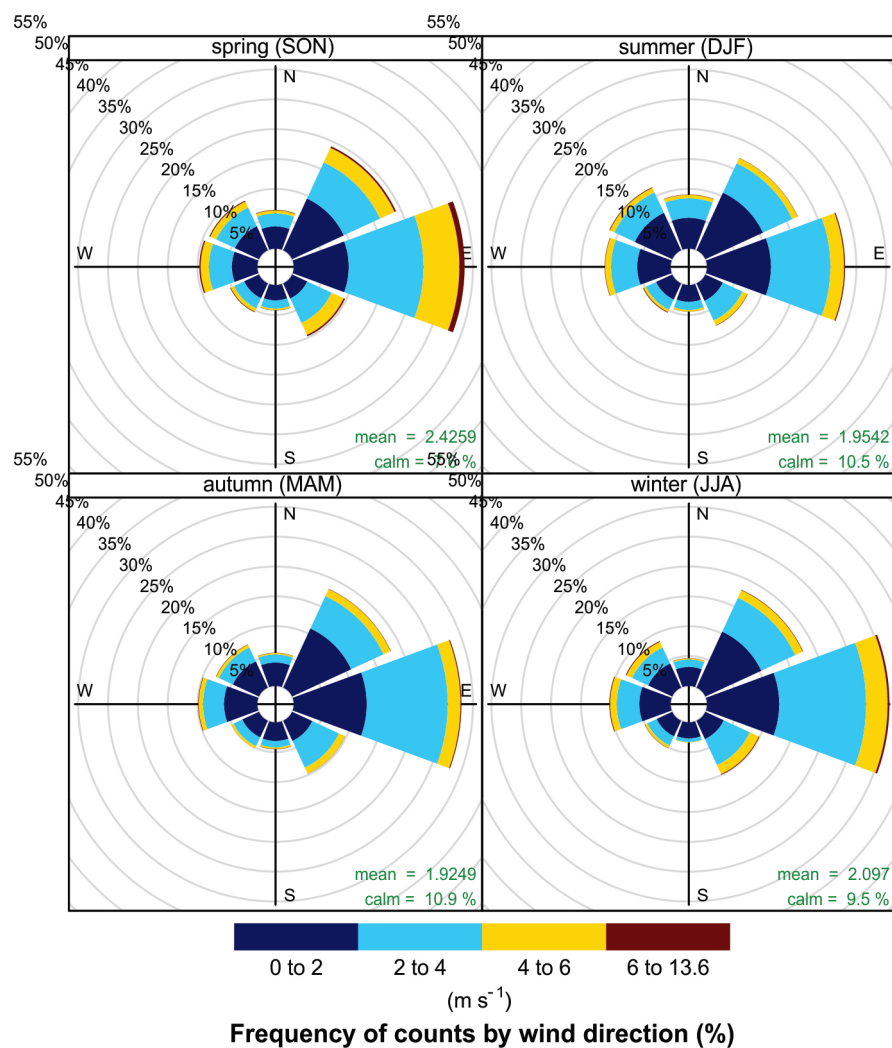


Figura 1. Direção e intensidade do vento por estação no período de 1965-2017

Na Figura 1, apresentam-se a direção e intensidade do vento para cada estação do ano *spring* (primavera), *summer* (verão), *autumn* (outono) e *winter* (inverno), e suas respectivas velocidades médias e porcentagem de calmaria para o período de 1965 a 2017.

Observou-se a presença de vento em todas as direções, com predominância de ventos de Leste em todas as estações do ano, assim como uma maior frequência absoluta de intensidades nas faixas de 0 a 2 ms⁻¹ e 2 a 4 mms⁻¹, que são classificados como brisa leve e brisa moderada segunda a escala de Beaufort, e rajadas de até 6ms⁻¹ em maior frequência na primavera.

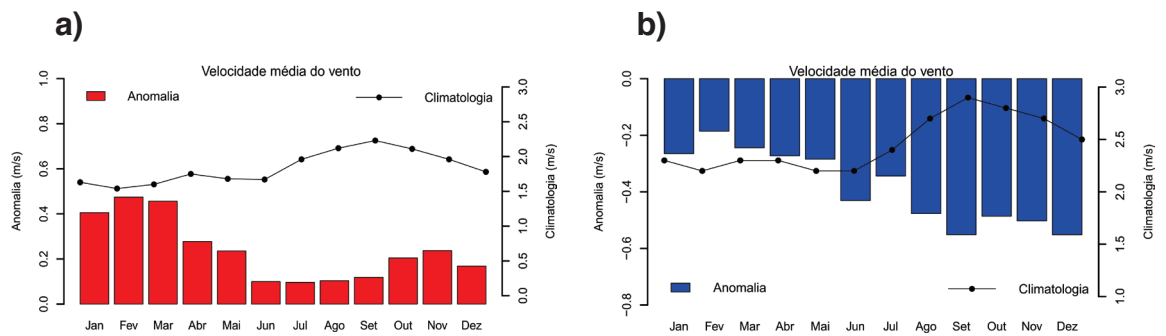


Figura 2. Diferença entre a média mensal do período de 2011-2017 e a normal climatológica dos seguintes períodos, a) 1961-1990 e b) 1981-2010 para a intensidade do vento.

A figura 2 apresenta os valores de anomalia absoluta dada pela diferença entre os valores das normais climatológicas em relação à média de 2011-2017. Observam-se anomalias positivas da intensidade do vento de acordo com a normal climatológica (1961-1990) para todos os meses do ano, com valores acima de 0,4m/s durante o verão. Em contrapartida, constatou-se o padrão oposto para os valores de anomalias em relação à normal climatológica de 1991-2010, demonstrando ventos menos intensos para todos os meses do ano, com anomalia mínima de 0,2 ms.

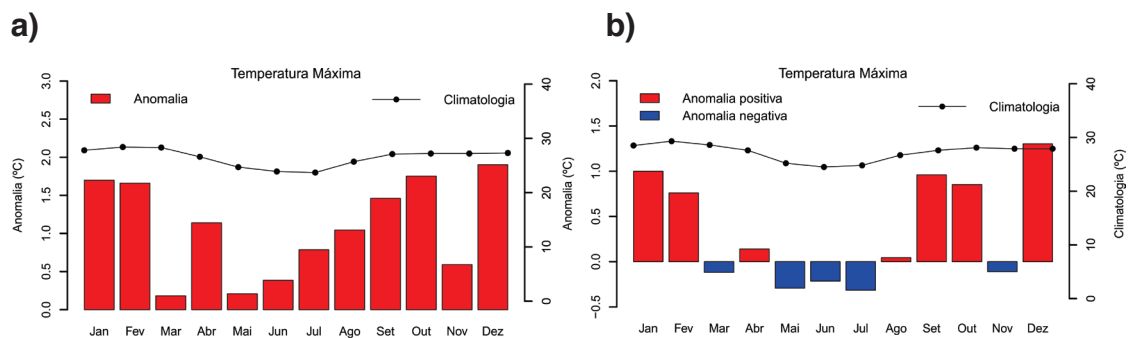


Figura 3. Diferença entre a média mensal do período de 2011-2017 e a normal climatológica dos seguintes períodos, a) 1961-1990 e b) 1981-2010 para a temperatura máxima.

A Figura 3 apresenta gráficos que mostram as médias mensais da temperatura máxima, no qual os gráficos de barras é a variação temporal mensal de 2011 a 2017 menos a normal climatológica do período de 1961 a 1990(a) e 1981 a 2010(b), no qual essas são expressas em curva e pontos.

Observou-se aumento da anomalia para a climatologia antiga da temperatura máxima em todo ano, principalmente no verão com valores maiores que 1,5°C nesses meses, tendência que persistiu para essa mesma estação do ano para a normal climatológica de 1981-2010, entretanto, constatou-se diminuição da temperatura máxima em maio, junho e julho, meses mais frios do ano.

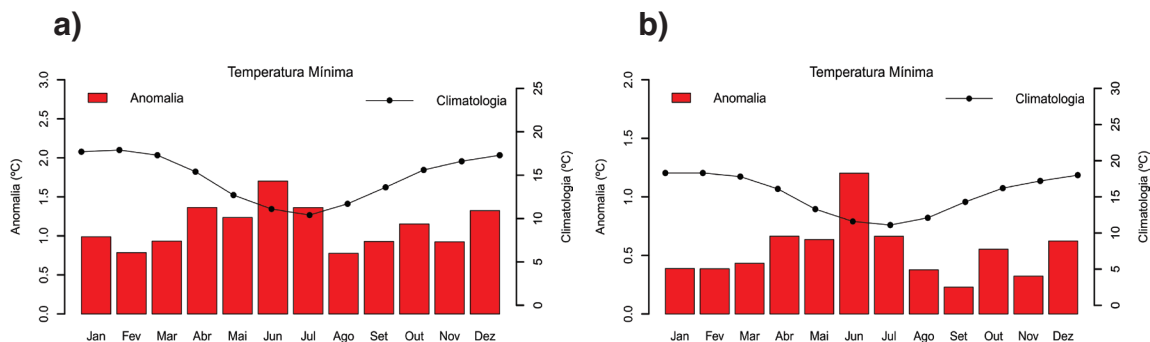


Figura 4. Diferença entre a média mensal do período de 2011-2017 e a normal climatológica dos seguintes períodos, a) 1961-1990 e b) 1981-2010 para a temperatura mínima.

Na figura 4, constata-se anomalia positivas para as duas normais climatológicas, com valores de aproximadamente $1,1^{\circ}\text{C}$ na de 1961 a 1990 e $0,5^{\circ}\text{C}$ para a de 1981 a 2010, constatou-se também aumento um pouco maior que a média nos meses de junho, julho e agosto em ambas normais climatológicas.

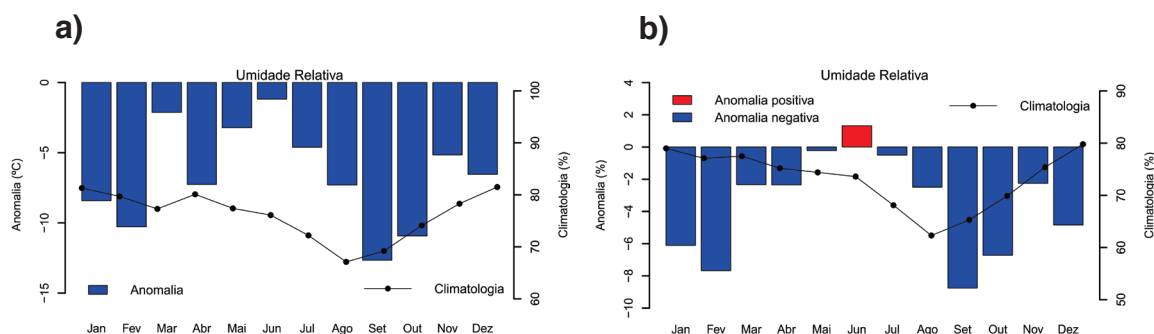


Figura 5. Diferença entre a média mensal do período de 2011-2017 e a normal climatológica dos seguintes períodos, a) 1961-1990 e b) 1981-2010 para a umidade relativa.

Na figura 5, observou-se a anomalia negativa para a umidade relativa para todo o período de acordo com as normais climatológicas, exceto pelo mês de junho da normal climatológica de 1981 a 2010, onde obtemos anomalia positiva de $1,3\%$. Constataram-se também anomalias menos acentuadas para os meses de maio, junho e julho, a qual pode estar relacionada ao aumento da temperatura máxima ou mínima neste mesmo período mostrado anteriormente.

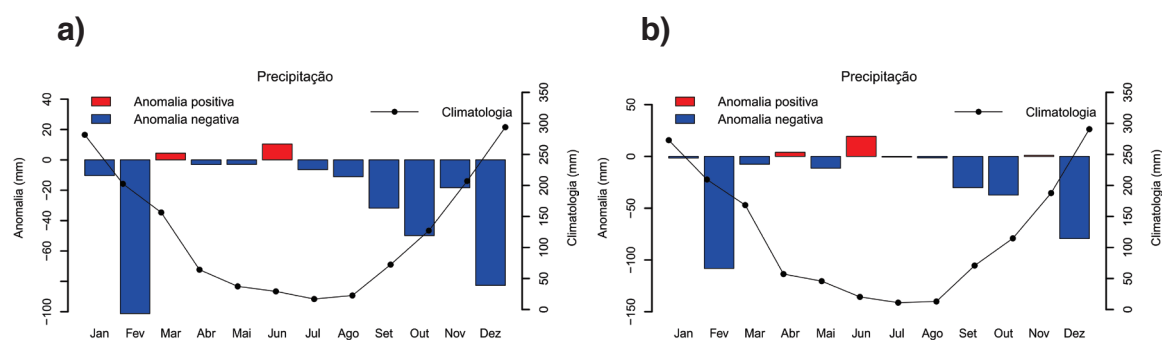


Figura 6. Diferença entre a média mensal do período de 2011-2017 e a normal climatológica dos seguintes períodos, a) 1961-1990 e b) 1981-2010 para a precipitação.

Na figura 6, nota-se para ambas as normais climatológicas uma diminuição da precipitação em quase todos os meses do ano, exceto para março e junho na normal climatológica de 1961 a 1990 e abril e junho para a normal climatológica de 1981 a 2010. Ressalta-se também para ambas as normais climatológicas uma diminuição acentuada da precipitação nos meses de fevereiro e dezembro, atingindo até valores de 100mm.

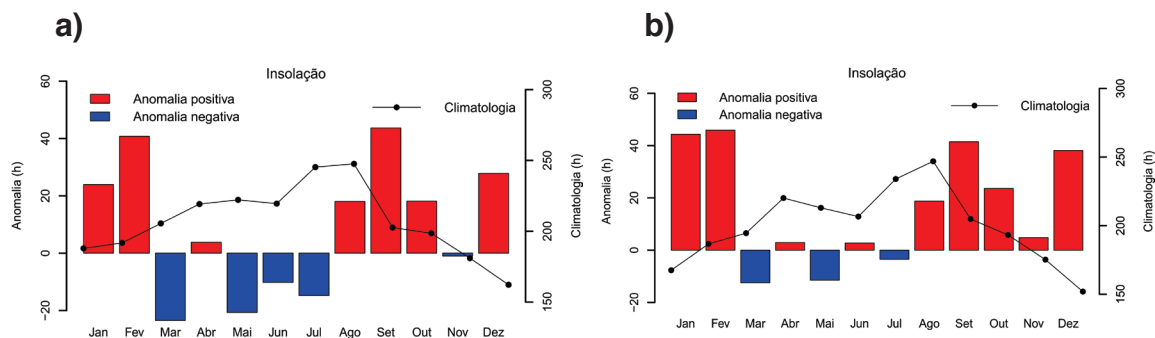


Figura 7. Diferença entre a média mensal do período de 2011-2017 e a normal climatológica dos seguintes períodos, a) 1961-1990 e b) 1981-2010 para a insolação.

Em relação à insolação, observa-se uma maior incidência de radiação solar no período da primavera e verão, mesmo padrão encontrando para a anomalia nesse período, onde se obtiveram maiores anomalias positivas, entretanto, observou-se anomalias negativas para o período do outono a inverno.

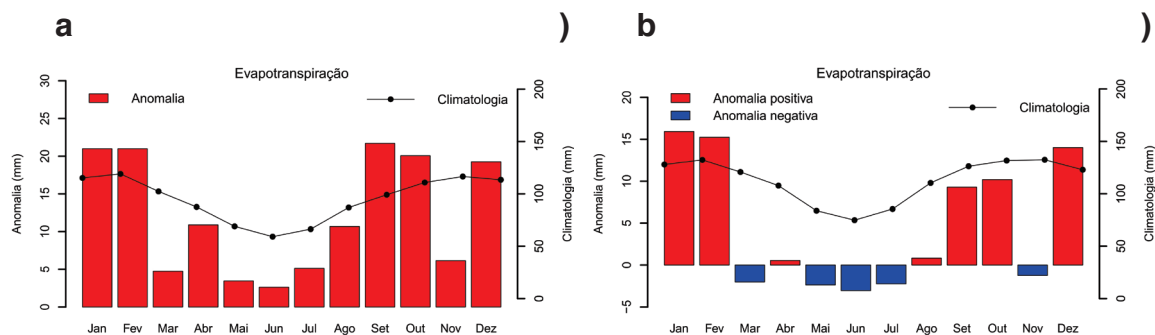


Figura 8. Diferença entre a média mensal do período de 2011-2017 e a normal climatológica dos seguintes períodos, a) 1961-1990 e b) 1981-2010 para a evapotranspiração.

A fim de verificar a tendência da evapotranspiração, construiu-se a Figura 8, que apresenta a evapotranspiração média mensal pelo método Penman-Monteith. Devido à ausência de dados anteriores a 1965 no banco de dados do INMET, utilizou-se o intervalo de 1965 a 1994, para os cálculos da normal climatológica. E, de maneira análoga as figuras anteriores, compararam-se os dados da normal com a variação para o intervalo de tempo de 2011 a 2017.

Os resultados obtidos mostram que em ambas as climatologias da evapotranspiração de referência mostram tendências de maiores valores na primavera e verão, e menores no outono e inverno, no qual está relacionada diretamente, entre outros fatores, à disponibilidade de energia e à maior temperatura. A variação relacionada à década de

2011 a 2017 seguiu o comportamento da normal climatológica, apresentando valores ligeiramente maiores no período de janeiro a fevereiro, e de setembro a dezembro (estação chuvosa). Entretanto, em relação a normal climatológica (1990 – 2010) observa-se uma diminuição da evapotranspiração no período do outono e inverno.

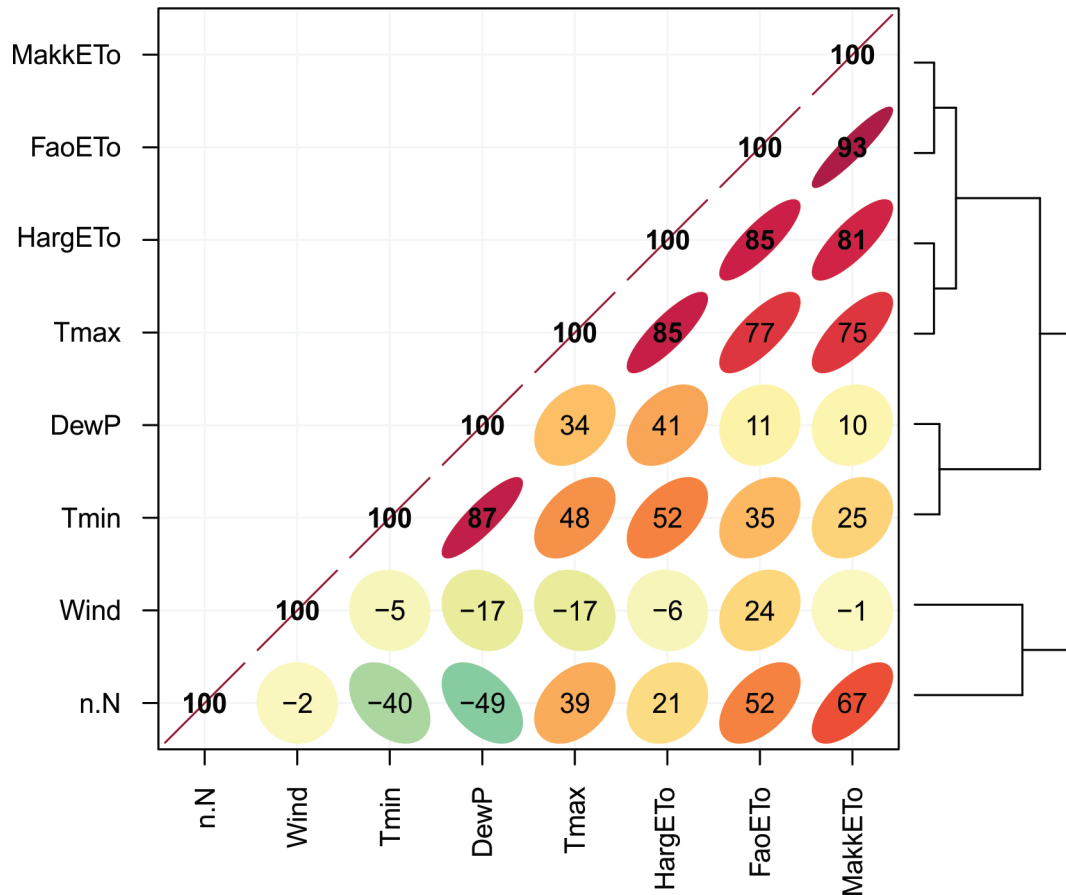


Figura 9. Correlação entre as variáveis meteorológicas e métodos de cálculo de Evapotranspiração

Na Figura 9, observa-se no eixo vertical a análise de agrupamentos para as variáveis meteorológicas, a fim de verificar quais variáveis meteorológicas apresentaram associação com os valores de evapotranspiração. Para tanto, calculou-se a correlação de Pearson para cada variável de input do modelo de estimativa de evapotranspiração, REF-ET. Observam-se associações distintas entre as variáveis meteorológicas: Tmin (temperatura mínima), DewP (ponto de orvalho), Tmax (temperatura máxima), Wind (intensidade do vento) e n/N (Porcentagem de radiação solar direta). Associações significativas (> 70) e positivas foram encontradas entre os métodos de estimativa de evapotranspiração, especialmente para os métodos da FAO e Makkink. Tais observações são consistentes com o trabalho de Andrade *et al.*, 2013, apresentando maior correlação entre a temperatura máxima com os métodos, seguida da insolação. Além disso, correlação negativa entre a insolação, temperatura mínima e ponto de orvalho, o que obedece ao padrão esperado em estudos psicrométricos.

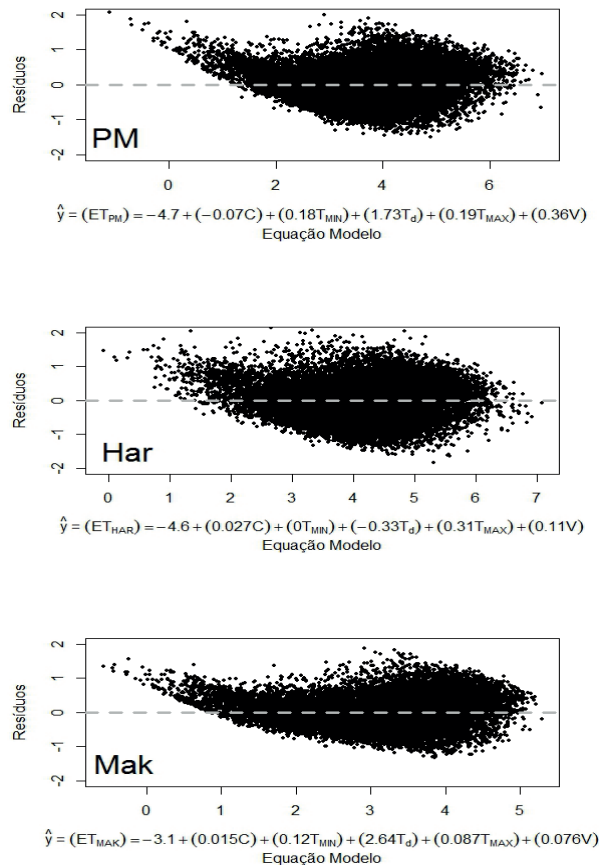


Figura 10. Resíduos obtidos para cada um dos modelos de equação para regressão referentes ao cálculo da Evapotranspiração para cada método, Penman-Monteith, Hargreaves e Makkink.

Fonte: do Autor(2018)

Obteve-se na Figura 10, no eixo das ordenadas, os resíduos para cada modelo de equação para regressão referentes ao cálculo da Evapotranspiração. Por resíduos entende-se como a diferença entre a variável prevista e a observada, em contrapartida, no eixo das abscissas os valores da evapotranspiração. Observa-se que os métodos de Penman-Monteith e Hargreaves superestimam valores pequenos de ET, já o método de Makkink foi o que apresentou um ajuste de modelo climatológico com menores resíduos e maior uniformidade na distribuição para todos valores de Evapotranspiração.

Com isso calculamos suas respectivas equações:

$$y = (ET_{PM}) = -4,7 + (-0,07C) + (0,18T_{MIN}) + (1,73T_d) + (0,19T_{MAX}) + (0,36V)$$

$$y = (ET_{HAR}) = -4,6 + (0,027C) + (0T_{MIN}) + (-0,33T_d) + (0,31T_{MAX}) + (0,11V)$$

$$y = (ET_{MAK}) = -3,1 + (-0,015C) + (0,12T_{MIN}) + (2,64T_d) + (0,087T_{MAX}) + (0,076V)$$

No qual as variáveis da equação são ET = Evapotranspiração, C = número de

horas de cobertura, T_{MIN} = temperatura mínima, T_d = temperatura de Dewpoint, T_{MAX} = temperatura máxima e V = velocidade do vento.

4 | CONCLUSÃO

Esse trabalho visou observar a variabilidade e os fatores intervenientes na evapotranspiração na região Sul de Minas Gerais, devido ao seu potencial agrário, sobretudo no que concerne na produção cafeeira do país.

Entre os resultados observados no estudo, destaca-se a predominância de vento para Leste com velocidade média majoritariamente entre 0 e 4ms^{-1} em todas as estações do ano.

Além disso, observou-se uma associação significativa e positiva entre a temperatura máxima com todos os métodos de cálculo da evapotranspiração, indicando uma associação direta entre a evapotranspiração e maiores valores de temperatura. E associação negativa entre a insolação com a temperatura mínima e ponto de orvalho, indicando que processos inversamente proporcionais. Ainda, observaram-se valores mínimos de evapotranspiração no outono e inverno e valores máximos na Primavera e Verão.

Em conformidade com os resultados apresentados por Dantas, Carvalho e Ferreira (2007) na região de Lavras, MG, comparando-os com aqueles da série histórica do período de 1961 a 1990. Foi utilizado o método do balanço hídrico de Thornthwaite & Mather (1955, os dados para a tendência climatológica demonstraram aumento da temperatura média mensal para todos os meses, tanto de temperatura máxima e mínima, com aumento da temperatura máxima de 4% e 1,2% e temperatura mínima de 8,2% e 3,5% para as normais climatológicas de 1961 a 1990 e 1981 a 2010 respectivamente.

O vento foi a variável que mostrou maior padrão anômalo entre os processos intervenientes na evapotranspiração comparados com as normais climatológicas.

Diante disso, conclui-se que a evapotranspiração apresentou ampla variação durante o período estudado, sendo o principal responsável pela disponibilidade e intensidade da energia solar, mostrando que são as variáveis mais importantes no cálculo da evapotranspiração. Obtendo valores muito maiores no período do verão e primavera em relação ao resto do ano.

A partir da análise de agrupamentos uma associação entre os métodos PM-FAO, Makkink, em contrapartida, o método de Hargreaveas apresenta um quadro distinto dos dois métodos.

A análise climatológica dos dados do período de 1965-2017 para Lavras – MG constatou que o método de Makkink foi o que apresentou um ajuste de modelo climatológico com menores resíduos e maior uniformidade na distribuição para todos

valores de evapotranspiração. Entretanto, todos os métodos apresentaram significância estatística.

REFERÊNCIAS

Allen, R. G., L. Pereira, D. Raes, and M. Smith. **Crop evapotranspiration: Guidelines for computing crop water requirements**, volume 56 of FAO Irrigation and Drainage Paper. UN-FAO, Rome, Italy, 1998.

ÁVILA, L. F. et al. **Tendências de temperaturas mínimas e máximas do ar no Estado de Minas Gerais**. Pesquisa Agropecuária Brasileira, v. 49, n. 4, p. 247–256, 2014.

ALENCAR, L. P. DE et al. **Tendências recentes nos elementos do clima e suas implicações na evapotranspiração da cultura do milho em Viçosa - MG**. Engenharia Agrícola, v. 31, n. 4, p. 631–642, 2011.

ALENCAR, L. P. DE; SEDIYAMA, G. C.; MANTOVANI, E. C. **Estimativa da evapotranspiração de referência (ETO padrão FAO), para Minas Gerais, na ausência de alguns dados climáticos**. Revista Engenharia Agrícola, v. 35, n. 1, p. 1809–4430, 2015.

BORGES, A. C.; MENDIONDO, E. M. **Comparação entre equações empíricas para estimativa da evapotranspiração de referência na Bacia do Rio Jacupiranga**. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, v. 11, n. 3, p. 293–300, 2007.

Bozdogan, H., 2000. **Akaike's Information Criterion and Recent Developments in Information Complexity**. J. Math. Psychol. 44, 62–91. doi:10.1006/jmps.1999.1277

BURDORF, A. **Caracterização da exposição de população a organoclorados : uma aplicação da análise de cluster Characterization of population exposure to organochlorines : a cluster analysis application**. v. 16, n. 2, p. 231–239, 2013.

Burnham, K.P., 2004. **Multimodel Inference: Understanding AIC and BIC in Model Selection**. Sociol. Methods Res. 33, 261–304. doi:10.1177/0049124104268644

Carslaw, D. C. and K. Ropkins, (2012) openair --- an R package for air quality data analysis. Environmental Modelling & Software. Volume 27-28, 52-61.

CARVALHO, L. G. DE et al. **Evapotranspiração De Referência: Uma Abordagem Atual De Diferentes Métodos De Estimativa**. Pesquisa Agropecuária Tropical, v. 41, n. 3, p. 456–465, 2011.

DANTAS, A. A. A.; CARVALHO, L. G. DE; FERREIRA, E. **Classificação e tendências climáticas em Lavras, MG**. Ciência e Agrotecnologia, v. 31, n. 6, p. 1862–1866, 2007.

HAIR Jr., J.F.; BLACK, W.C.; BABIN, B.J.; ANDERSON, R.E. & TATHAM, R.L. **Análise multivariada de dados**. 6.ed. Porto Alegre, Bookman, 2009.p161-165.

Irmak, S.; Payero, J. O.; Martin, D. L.; Irmak, A.; Howell, T. **Sensitivity analyses and sensitivity coefficients of standardized daily ASCE-Penman-Monteith equation**. Journal of Irrigation and Drainage Engineering, v.132, n.6, p.564-578, 2006.

LEMOS, L. C. A et al. **Análise espacial da influência dos elementos meteorológicos sobre a evapotranspiração de referência em Minas Gerais**. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, v. 14, n. 12, p. 1294–1303, 2010.

Mello, C. R.; Sá, M. A. C.; Curi, N.; Mello, J. M.; Viola, M. R.; Silva, A. M. **Erosividade mensal e anual**

da chuva no Estado de Minas Gerais. Pesquisa Agropecuária Brasileira, v.42, n.4, p.537-545, 2007.

MELO, G. L. DE; FERNANDES, A. L. T. **Evaluation of empirical methods to estimate reference evapotranspiration in Uberaba, State of Minas Gerais, Brazil.** Engenharia Agrícola, v. 32, n. 5, p. 875–888, 2012.

MUNHOZ, J. S. B. B. et al. **Estimativa da evapotranspiração de referência no Brasil: uma análise crítica.** XVII Congresso Brasileiro de Meteorologia, n. 1962, p. 1–5, 2012.

PASSOS, M. L. V.; ZAMBRZYCKI, G. C.; PEREIRA, R. S. **Balanço hídrico climatológico e classificação climática para o município de Balsas-MA.** Scientia Agraria, v. 18, n. 1, p. 83–89, 2017.

SANTANA, M. J. DE et al. **Coeficientes de cultura do abacaxizeiro nas condições edafoclimáticas de Uberaba, MG.** Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, v. 17, n. 6, p. 602–607, 2013.

SENTELHAS, P. C.; ANGELOCCI, L. R. **Evapotranspiração – Definições e Conceitos.** LCE 360 - Meteorologia Agrícola, 2009.

TUNDISI, J. G. **Ciclo hidrológico e Gerenciamento Integrado.** Gestão das Águas, v. 55, n. 4, p. 31–33, 2003.

Venables, W. N., Ripley, B.D., 2002. **Modern Applied Statistics with S.**, Fourth Edi. ed. Springer, New York.

ZHAO, L. et al. **Evapotranspiration estimation methods in hydrological models.** Journal of Geographical Sciences, v. 23, n. 2, p. 359–369, 2013.

Agência Brasileira do ISBN
ISBN 978-85-7247-087-2

