



Cleberton Correia Santos
(Organizador)

Competência Técnica e Responsabilidade Social e Ambiental nas Ciências Agrárias 4



Cleberton Correia Santos
(Organizador)

Competência Técnica e Responsabilidade Social e Ambiental nas Ciências Agrárias 4

2020 by Atena Editora

Copyright © Atena Editora

Copyright do Texto © 2020 Os autores

Copyright da Edição © 2020 Atena Editora

Editora Chefe: Profª Drª Antonella Carvalho de Oliveira

Diagramação: Geraldo Alves

Edição de Arte: Lorena Prestes

Revisão: Os Autores



Todo o conteúdo deste livro está licenciado sob uma Licença de Atribuição *Creative Commons*. Atribuição 4.0 Internacional (CC BY 4.0).

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

Conselho Editorial

Ciências Humanas e Sociais Aplicadas

Profª Drª Adriana Demite Stephani – Universidade Federal do Tocantins
Prof. Dr. Álvaro Augusto de Borba Barreto – Universidade Federal de Pelotas
Prof. Dr. Alexandre Jose Schumacher – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Mato Grosso
Prof. Dr. Antonio Carlos Frasson – Universidade Tecnológica Federal do Paraná
Prof. Dr. Antonio Gasparetto Júnior – Instituto Federal do Sudeste de Minas Gerais
Prof. Dr. Antonio Isidro-Filho – Universidade de Brasília
Prof. Dr. Carlos Antonio de Souza Moraes – Universidade Federal Fluminense
Prof. Dr. Constantino Ribeiro de Oliveira Junior – Universidade Estadual de Ponta Grossa
Profª Drª Cristina Gaio – Universidade de Lisboa
Profª Drª Denise Rocha – Universidade Federal do Ceará
Prof. Dr. Deyvison de Lima Oliveira – Universidade Federal de Rondônia
Prof. Dr. Edvaldo Antunes de Farias – Universidade Estácio de Sá
Prof. Dr. Eloi Martins Senhora – Universidade Federal de Roraima
Prof. Dr. Fabiano Tadeu Grazioli – Universidade Regional Integrada do Alto Uruguai e das Missões
Prof. Dr. Gilmei Fleck – Universidade Estadual do Oeste do Paraná
Profª Drª Ivone Goulart Lopes – Istituto Internazionale delle Figlie di Maria Ausiliatrice
Prof. Dr. Julio Candido de Meirelles Junior – Universidade Federal Fluminense
Profª Drª Keyla Christina Almeida Portela – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Mato Grosso
Profª Drª Lina Maria Gonçalves – Universidade Federal do Tocantins
Profª Drª Natiéli Piovesan – Instituto Federal do Rio Grande do Norte
Prof. Dr. Marcelo Pereira da Silva – Universidade Federal do Maranhão
Profª Drª Miranilde Oliveira Neves – Instituto de Educação, Ciência e Tecnologia do Pará
Profª Drª Paola Andressa Scortegagna – Universidade Estadual de Ponta Grossa
Profª Drª Rita de Cássia da Silva Oliveira – Universidade Estadual de Ponta Grossa
Profª Drª Sandra Regina Gardacho Pietrobon – Universidade Estadual do Centro-Oeste
Profª Drª Sheila Marta Carregosa Rocha – Universidade do Estado da Bahia
Prof. Dr. Rui Maia Diamantino – Universidade Salvador
Prof. Dr. Urandi João Rodrigues Junior – Universidade Federal do Oeste do Pará
Profª Drª Vanessa Bordin Viera – Universidade Federal de Campina Grande
Prof. Dr. William Cleber Domingues Silva – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro
Prof. Dr. Willian Douglas Guilherme – Universidade Federal do Tocantins

Ciências Agrárias e Multidisciplinar

Prof. Dr. Alexandre Igor Azevedo Pereira – Instituto Federal Goiano
Prof. Dr. Antonio Pasqualetto – Pontifícia Universidade Católica de Goiás
Profª Drª Daiane Garabeli Trojan – Universidade Norte do Paraná

Profª Drª Diocléa Almeida Seabra Silva – Universidade Federal Rural da Amazônia
Prof. Dr. Écio Souza Diniz – Universidade Federal de Viçosa
Prof. Dr. Fábio Steiner – Universidade Estadual de Mato Grosso do Sul
Prof. Dr. Fágner Cavalcante Patrocínio dos Santos – Universidade Federal do Ceará
Profª Drª Girlene Santos de Souza – Universidade Federal do Recôncavo da Bahia
Prof. Dr. Júlio César Ribeiro – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro
Profª Drª Lina Raquel Santos Araújo – Universidade Estadual do Ceará
Prof. Dr. Pedro Manuel Villa – Universidade Federal de Viçosa
Profª Drª Raissa Rachel Salustriano da Silva Matos – Universidade Federal do Maranhão
Prof. Dr. Ronilson Freitas de Souza – Universidade do Estado do Pará
Profª Drª Talita de Santos Matos – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro
Prof. Dr. Tiago da Silva Teófilo – Universidade Federal Rural do Semi-Árido
Prof. Dr. Valdemar Antonio Paffaro Junior – Universidade Federal de Alfenas

Ciências Biológicas e da Saúde

Prof. Dr. André Ribeiro da Silva – Universidade de Brasília
Profª Drª Anelise Levay Murari – Universidade Federal de Pelotas
Prof. Dr. Benedito Rodrigues da Silva Neto – Universidade Federal de Goiás
Prof. Dr. Edson da Silva – Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri
Profª Drª Eleuza Rodrigues Machado – Faculdade Anhanguera de Brasília
Profª Drª Elane Schwinden Prudêncio – Universidade Federal de Santa Catarina
Prof. Dr. Ferlando Lima Santos – Universidade Federal do Recôncavo da Bahia
Prof. Dr. Gianfábio Pimentel Franco – Universidade Federal de Santa Maria
Prof. Dr. Igor Luiz Vieira de Lima Santos – Universidade Federal de Campina Grande
Prof. Dr. José Max Barbosa de Oliveira Junior – Universidade Federal do Oeste do Pará
Profª Drª Magnólia de Araújo Campos – Universidade Federal de Campina Grande
Profª Drª Mylena Andréa Oliveira Torres – Universidade Ceuma
Profª Drª Natiéli Piovesan – Instituto Federaci do Rio Grande do Norte
Prof. Dr. Paulo Inada – Universidade Estadual de Maringá
Profª Drª Vanessa Lima Gonçalves – Universidade Estadual de Ponta Grossa
Profª Drª Vanessa Bordin Viera – Universidade Federal de Campina Grande

Ciências Exatas e da Terra e Engenharias

Prof. Dr. Adélio Alcino Sampaio Castro Machado – Universidade do Porto
Prof. Dr. Alexandre Leite dos Santos Silva – Universidade Federal do Piauí
Prof. Dr. Carlos Eduardo Sanches de Andrade – Universidade Federal de Goiás
Profª Drª Carmen Lúcia Voigt – Universidade Norte do Paraná
Prof. Dr. Eloi Rufato Junior – Universidade Tecnológica Federal do Paraná
Prof. Dr. Fabrício Menezes Ramos – Instituto Federal do Pará
Prof. Dr. Juliano Carlo Rufino de Freitas – Universidade Federal de Campina Grande
Prof. Dr. Marcelo Marques – Universidade Estadual de Maringá
Profª Drª Neiva Maria de Almeida – Universidade Federal da Paraíba
Profª Drª Natiéli Piovesan – Instituto Federal do Rio Grande do Norte
Prof. Dr. Takeshy Tachizawa – Faculdade de Campo Limpo Paulista

Conselho Técnico Científico

Prof. Msc. Abrãao Carvalho Nogueira – Universidade Federal do Espírito Santo
Prof. Msc. Adalberto Zorzo – Centro Estadual de Educação Tecnológica Paula Souza
Prof. Dr. Adailson Wagner Sousa de Vasconcelos – Ordem dos Advogados do Brasil/Seccional Paraíba
Prof. Msc. André Flávio Gonçalves Silva – Universidade Federal do Maranhão
Profª Drª Andreza Lopes – Instituto de Pesquisa e Desenvolvimento Acadêmico
Profª Msc. Bianca Camargo Martins – UniCesumar
Prof. Msc. Carlos Antônio dos Santos – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro
Prof. Msc. Cláudia de Araújo Marques – Faculdade de Música do Espírito Santo
Prof. Msc. Daniel da Silva Miranda – Universidade Federal do Pará
Profª Msc. Dayane de Melo Barros – Universidade Federal de Pernambuco

Prof. Dr. Edwaldo Costa – Marinha do Brasil
 Prof. Msc. Eliel Constantino da Silva – Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita
 Prof. Msc. Gevair Campos – Instituto Mineiro de Agropecuária
 Prof. Msc. Guilherme Renato Gomes – Universidade Norte do Paraná
 Prof^a Msc. Jaqueline Oliveira Rezende – Universidade Federal de Uberlândia
 Prof. Msc. José Messias Ribeiro Júnior – Instituto Federal de Educação Tecnológica de Pernambuco
 Prof. Msc. Leonardo Tullio – Universidade Estadual de Ponta Grossa
 Prof^a Msc. Lilian Coelho de Freitas – Instituto Federal do Pará
 Prof^a Msc. Liliani Aparecida Sereno Fontes de Medeiros – Consórcio CEDERJ
 Prof^a Dr^a Lívia do Carmo Silva – Universidade Federal de Goiás
 Prof. Msc. Luis Henrique Almeida Castro – Universidade Federal da Grande Dourados
 Prof. Msc. Luan Vinicius Bernardelli – Universidade Estadual de Maringá
 Prof. Msc. Rafael Henrique Silva – Hospital Universitário da Universidade Federal da Grande Dourados
 Prof^a Msc. Renata Luciane Polsaque Young Blood – UniSecal
 Prof^a Msc. Solange Aparecida de Souza Monteiro – Instituto Federal de São Paulo
 Prof. Dr. Welleson Feitosa Gazel – Universidade Paulista

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

C737 Competência técnica e responsabilidade social e ambiental nas ciências agrárias 4 [recurso eletrônico] / Organizador Cleberton Correia Santos. – Ponta Grossa, PR: Atena Editora, 2020.

Formato: PDF

Requisitos de sistema: Adobe Acrobat Reader.

Modo de acesso: World Wide Web.

Inclui bibliografia

ISBN 978-65-81740-20-7

DOI 10.22533/at.ed.207200302

1. Agricultura. 2. Ciências ambientais. 3. Pesquisa agrária – Brasil. I. Santos, Cleberton Correia.

CDD 630

Elaborado por Maurício Amormino Júnior – CRB6/2422

Atena Editora
 Ponta Grossa – Paraná - Brasil
www.atenaeditora.com.br
contato@atenaeditora.com.br

APRESENTAÇÃO

O e-book “**Competência Técnica e Responsabilidade Social e Ambiental nas Ciências Agrárias 4**” de publicação da Atena Editora, apresenta, em seus 20 capítulos, estudos multidisciplinares visando estabelecer reflexões que promovam a sensibilidade quanto à responsabilidade do indivíduo enquanto cidadão e profissional no manejo e conservação dos recursos naturais renováveis e qualidade de vida da população.

Diante dos cenários socioeconômicos, a sustentabilidade tem sido uma preocupação constante para as gerações atuais e futuras. Neste sentido, nesta obra encontram-se trabalhos que permitem compreender os paradigmas e panoramas quanto à segurança alimentar, preceitos éticos de responsabilidade social, impactos e questões ambientais, e intervenções sustentáveis. Em outra vertente, trabalhos que enfatizam práticas que possibilitem o manejo sustentável dos agroecossistemas e recursos naturais por meio dos seguintes temas: remineralização de solos, ocorrência de insetos-pragas, qualidade fisiológica de sementes e outras temas de grande importância.

Aos autores, os agradecimentos do Organizador e da Atena Editora pela dedicação e empenho na elucidação de informações técnicas que sem dúvidas irão contribuir na sensibilização social e profissional quanto a responsabilidade de cada cidadão no fortalecimento do desenvolvimento sustentável.

Esperamos contribuir no processo de ensino-aprendizagem e diálogos da necessidade da responsabilidade social e ambiental nas práticas de uma educação ambiental e sistemas produção de base sustentável. Também esperamos por meio desta obra incentivar agentes de desenvolvimento, dentre eles, alunos de graduação e pós-graduação, pesquisadores, órgãos municipais e estaduais, bem como instituições de assistência técnica e extensão rural na promoção do emponderamento social e da segurança alimentar.

Ótima reflexão e leitura sobre os paradigmas da sustentabilidade!

Cleberton Correia Santos

SUMÁRIO

CAPÍTULO 1	1
O DIREITO AO FUTURO COMO MANDAMENTO ÉTICO: A SUSTENTABILIDADE E O MODELO DE PRODUÇÃO ALIMENTAR NO BRASIL	
Guilherme Ferreira Silva	
DOI 10.22533/at.ed.2072003021	
CAPÍTULO 2	11
SEGURANÇA ALIMENTAR E NUTRICIONAL: MOBILIZAÇÃO SOCIAL E APRENDIZADO POLÍTICO-INSTITUCIONAL NO BRASIL	
Márcio Carneiro dos Reis	
DOI 10.22533/at.ed.2072003022	
CAPÍTULO 3	16
A (IN)SUSTENTABILIDADE DOS IMPÉRIOS ALIMENTARES: UMA OPÇÃO OU UMA NECESSIDADE?	
Angélica Leoní Albrecht Gazzoni André Gazzoni	
DOI 10.22533/at.ed.2072003023	
CAPÍTULO 4	30
CARACTERIZAÇÃO E IMPACTO AMBIENTAL DA SUINOCULTURA NA REGIÃO NORDESTE DO BRASIL	
Lina Raquel Santos Araújo Raquel Brito Maciel de Albuquerque Luiz Antonio Moreira Miranda Tainá Correia Pinho Julyanna Cordeiro Maciel Beatriz Mano e Silva Yuri Lopes Silva Fágner Cavalcante Patrocínio dos Santos Victor Hugo Vieira Rodrigues Everton Nogueira Silva Aderson Martins Viana Neto Isaac Neto Goes da Silva	
DOI 10.22533/at.ed.2072003024	
CAPÍTULO 5	41
EFEITO DA OZONIZAÇÃO NA FITOTOXICIDADE DE LIXIVIADO DE ATERRO SANITÁRIO	
Louise Hoss Larissa Loebens Natali Rodrigues dos Santos Guilherme Pereira Schoeler Caroline Menezes Pinheiro Jessica da Rocha Alencar Bezerra de Holanda Carolina Faccio Demarco Leandro Sanzi Aquino Mery Luiza Garcia Vieira Cícero Coelho de Escobar Robson Andrezza	

CAPÍTULO 6 50

EDUCAÇÃO AMBIENTAL NA PREVENÇÃO DOS INCÊNDIOS FLORESTAIS NO ESTADO DE MATO GROSSO NO PERÍODO DE 2014 A 2016

Wallenstein Maia Santana

Marcos Antônio Camargo Ferreira

DOI 10.22533/at.ed.2072003026

CAPÍTULO 7 56

A VISITAÇÃO INTERFERE NO APROVEITAMENTO DOS ENRIQUECIMENTOS AMBIENTAIS APLICADOS AOS ANIMAIS? UM ESTUDO DE CASO NO RIOZOO – JARDIM ZOOLOGICO DO RIO DE JANEIRO S/A

Ana Carolina Assumpção Camargo Neves

Anna Cecília Leite Santos

DOI 10.22533/at.ed.2072003027

CAPÍTULO 8 61

INTERVENÇÕES SUSTENTÁVEIS E TECNOLÓGICAS PARA VIABILIZAR MELHOR QUALIDADE DE VIDA DO CIDADÃO RECIFENSE

Igor Alves Souza

DOI 10.22533/at.ed.2072003028

CAPÍTULO 9 70

ANÁLISE DAS AÇÕES DO COMITÊ ESTADUAL DE GESTÃO DO FOGO ATRAVÉS DO PLANO AÇÃO E RELATÓRIOS FINAIS NOS ANOS DE 2015 E 2016

Ranie Pereira Sousa

DOI 10.22533/at.ed.2072003029

CAPÍTULO 10 84

USO DE PÓ DE BASALTO COMO REMINERALIZADOR DE SOLOS

Alessandra Mayumi Tokura Alovisi

Meriane Melissa Taques

Alves Alexandre Alovisi

Luciene Kazue Tokura

Elisângela Dupas

João Augusto Machado da Silva

Cleidimar João Cassol

Adama Gnin

DOI 10.22533/at.ed.20720030210

CAPÍTULO 11 94

GERMINAÇÃO E PROTEÇÃO DE SEMENTES DE *Sideroxylon obtusifolium* (ROEM. & SCHUL.) PENN. NO CONTROLE DA INFECÇÃO POR *Colletotrichum* SP. COM EXTRATOS DE *Caesalpinia ferrea* MART. EX. TUL

Paulo Alexandre Fernandes Rodrigues de Melo

Edna Ursulino Alves

Janaina Marques Mondego

Raimunda Nonata Santos de Lemos

José Ribamar Gusmão Araújo

DOI 10.22533/at.ed.20720030211

CAPÍTULO 12 107

QUALIDADE FISIOLÓGICA DE SEMENTES DE SOJA PROVENIENTES DE PLANTAS SUBMETIDAS A DOSES DE GESSO E FÓSFORO EM JATAÍ-GO NA SAFRA 2014/2015

Mirelle Vaz Coelho
Gabriela Gaban
Ingrid Maressa Hungria e Lima e Silva
Amalia Andreza Sousa Silva
Gabriela Fernandes Gama
Simério Carlos Silva Cruz
Givanildo Zildo da Silva
Carla Gomes Machado

DOI 10.22533/at.ed.20720030212

CAPÍTULO 13 114

QUALIDADE FISIOLÓGICA DE SEMENTES DE MILHO TRATADAS COM DIFERENTES FUNGICIDAS

Amalia Andreza Sousa Silva
Wesley Albino da Silva
Gabriela Fernandes Gama
Jacqueline Alves Santana Rodrigues
Gabriela Gaban
Luciana Celeste Carneiro
Givanildo Zildo da Silva
Carla Gomes Machado

DOI 10.22533/at.ed.20720030213

CAPÍTULO 14 122

AGROMETEOROLOGIA PARA OTIMIZAÇÃO DA IRRIGAÇÃO EM SISTEMAS AGRÍCOLAS

Eduardo Augusto Agnellos Barbosa
Gustavo Castilho Beruski
Luis Miguel Schiebelbein
André Belmont Pereira

DOI 10.22533/at.ed.20720030214

CAPÍTULO 15 138

AValiação DO EFEITO DE BIOESTIMULANTES NO DESENVOLVIMENTO INICIAL DO MILHO

Misael Batista Ferreira
Rafael Felipe Reuter
Mariana Moresco Ludtke
Gabriel Antonio Pascoal Genari
Marcio Eduardo Hintz
Gustavo Henrik Nassi
Anderson Henrique de Sousa Paiter
Tatiane Barbosa dos Santos
Lucas Luiz Bourscheid
Marcelo José de Oliveira Martins
Rafael Rodrigo Bombardelli
André Prechlak Barbosa

DOI 10.22533/at.ed.20720030215

CAPÍTULO 16	151
AVALIAÇÃO DE CULTIVARES DE SOJA NAS REGIÕES DE GUARAPUAVA E PONTA GROSSA – PARANÁ	
Edson Perez Guerra Ederson Lucas Medeiro José Elzevir Cavassim	
DOI 10.22533/at.ed.20720030216	
CAPÍTULO 17	161
AVALIAÇÃO SANITÁRIA DE SEMENTES DE <i>Crotalaria</i> SPP	
Fábio Oliveira Diniz Carina Oliveira e Oliveira Joel Martins da Silva Junior	
DOI 10.22533/at.ed.20720030217	
CAPÍTULO 18	170
CONTROLE DA LAGARTA DO CARTUCHO (SPODOPTERA FRUGIPERDA) POR MEIO DE DIFERENTES BIOTECNOLOGIAS EM HÍBRIDOS DE MILHO	
Geovani Vinícius Engelsing Natan Luiz Heck Gabriel Antonio Pascoal Genari Matheus Luis Ferrari Gustavo Henrik Nassi Anderson Henrique de Sousa Paiter Tatiane Barbosa dos Santos Mariana Moresco Ludtke Marcelo José de Oliveira Martins Misael Batista Ferreira Rafael Rodrigo Bombardelli Alexandre Luis Muller	
DOI 10.22533/at.ed.20720030218	
CAPÍTULO 19	182
COMPONENTES DE PRODUÇÃO E QUALIDADE DE SEMENTES DE SOJA BRS 8381 EM FUNÇÃO DO NÚMERO DE PLANTAS NA LINHA EM CERRADO DE RORAIMA	
Oscar José Smiderle Aline das Graças Souza Hananda Hellen da Silva Gomes Vicente Gianluppi Daniel Gianluppi	
DOI 10.22533/at.ed.20720030219	
CAPÍTULO 20	195
CURVA DE EMBEBIÇÃO EM SEMENTES DE CÁRTAMO	
Gabriela Fernandes Gama Ingrid Maressa Hungria de Lima e Silva Mirelle Vaz Coelho Amalia Andreza Sousa Silva Jacqueline Alves Santana Rodrigues Danyella Karoline Ferreira dos Santos Givanildo Zildo da Silva	

Carla Gomes Machado

DOI 10.22533/at.ed.20720030220

SOBRE O ORGANIZADOR.....	202
ÍNDICE REMISSIVO	203

AGROMETEOROLOGIA PARA OTIMIZAÇÃO DA IRRIGAÇÃO EM SISTEMAS AGRÍCOLAS

Data de aceite: 23/01/2020

Data de Submissão: 05/12/2019

Eduardo Augusto Agnellos Barbosa

UEPG, Dep. de Ciência do Solo e Engenharia
Agrícola
Ponta Grossa, PR
<http://lattes.cnpq.br/8723265740985028>

Gustavo Castilho Beruski

FAESB, Dep. de Agronomia
Tatuí, SP
<http://lattes.cnpq.br/6676979297366528>

Luis Miguel Schiebelbein

UEPG, Dep. de Ciência do Solo e Engenharia
Agrícola
Ponta Grossa, PR
<http://lattes.cnpq.br/2192432112438961>

André Belmont Pereira

UEPG, Dep. de Ciência do Solo e Engenharia
Agrícola
Ponta Grossa, PR
<http://lattes.cnpq.br/7548805986719809>

RESUMO: A agricultura é tida como uma atividade humana condicionada marcadamente pelas condições ambientais, bem como pela contribuição das características genéticas das espécies vegetais cultivadas. A agrometeorologia se ocupa em estudar os efeitos das condições do meio físico sobre a resposta biológica

de plantas e animais domésticos, sendo que o planejamento e o manejo da irrigação em sistemas agrícolas são extremamente dependentes do conhecimento do regime vigente de elementos meteorológicos em dada localidade. Assim, iremos neste capítulo abordar a importância do clima e do tempo na agricultura, dando enfoque às necessidades hídricas das culturas, com vistas à melhor resposta fisiológica a ser obtida em campos de produção agrícola. Conhecer a lâmina ideal de água de irrigação a ser aplicada, bem como o momento certo para se proceder a aplicação dessa lâmina de água ao longo da estação de crescimento das plantas constitui o objetivo principal dessa obra para que o produtor rural possa obter os melhores rendimentos e maior rentabilidade em sua propriedade rural sob a luz da sustentabilidade da agricultura.

PALAVRAS-CHAVE: Demanda Atmosférica, Clima, Irrigação, Planejamento Agrícola.

AGROMETEOROLOGY FOR OPTIMIZATION OF IRRIGATION IN AGRICULTURAL SYSTEMS

ABSTRACT: Agriculture comes to being a human activity strongly conditioned by environment in conjunction with genotypical characteristics of cultivated plants. Agricultural meteorology deals with impacts of physical variables on biological

responses of both plants and domestic animals, highlighting herein that irrigation scheduling in agricultural systems is extremely hinged on meteorological information at a given site. Thus, in this particular chapter we will be focusing on the importance of both climate and weather conditions in such a way that water requirements of crops be determined in compliance with the best possible physiological responsiveness to be achieved in crop production fields. Knowing the ideal amount of water to be applied, as well as the right moment at which such an amount of water should be applied throughout the whole crop growing season turns out to be the main goal of the current contribution, which envisions thus the possibility of providing some hands-on for high yields along with profitability at rural areas in light of sustainable agricultural practices. **KEYWORDS:** Atmospheric Demand, Climate, Irrigation, Agricultural Planning.

1 | INTRODUÇÃO

A agricultura é uma atividade humana que requer conhecimentos das condições atmosféricas locais, pois o cultivo a campo é extremamente afetado pelo regime vigente dos elementos meteorológicos com vistas à obtenção da melhor resposta agrícola em dada localidade ou região. Dentre os fatores de produção vegetal, vale destacar que o clima e o tempo condicionam a demanda evaporativa da atmosfera, a qual rege a tomada de água no solo e a absorção de nutrientes minerais por parte das raízes das plantas. A fotossíntese é ainda dependente de recursos naturais como a radiação solar, a água, a concentração de dióxido de carbono atmosférico e o suprimento de nutrientes. O ganho líquido na produção de matéria seca de produtos agrícolas nada mais é do que a contabilização entre dois processos fisiológicos essenciais: a fotossíntese bruta e a respiração, cuja diferença entre tais processos de ganho e perda fisiológica culmina na obtenção da fotossíntese líquida (rendimento biológico advindo de campos de produção de culturas).

A agrometeorologia se preocupa em estudar as respostas biológicas de seres vivos de importância agro-econômica ao meio atmosférico. Esta ciência dá suporte a diversas áreas de atuação do engenheiro agrônomo, entre estas a irrigação. O planejamento da irrigação de espécies vegetais cultivadas volta-se a formulação de duas questões básicas: quanto irrigar e quando irrigar? Essas perguntas devem ser formuladas pelo produtor rural antes que se adote a prática da irrigação em dada propriedade para obtenção de rendimentos máximos com menores custos, visando a otimização dos recursos naturais disponíveis sob a óptica da sustentabilidade da agricultura.

Assim, iremos nesse capítulo abordar os aspectos a serem considerados pelo agricultor para que este possa conciliar agrometeorologia com maximização da produtividade mediante aplicação da lâmina ideal de água a ser recomendada durante todas as etapas fenológicas do ciclo das culturas e no momento certo para

que a rentabilidade do produtor seja elevada e factível.

Uma variável do ambiente agrícola que deve ser considerada em projetos de irrigação é a evapotranspiração. Diversos estudos científicos foram conduzidos por pesquisadores do mundo inteiro que atuam na interface agrometeorologia-irrigação com o objetivo de se evitar situações de suprimento inadequado de água no solo, as quais certamente comprometerão a expressão da potencialidade produtiva de espécies agrícolas cultivadas, tanto a campo como também sob ambiente protegido (caso específico de produção comercial de hortaliças e de mudas).

Como se pode definir evapotranspiração em termos práticos e simples? Como a quantidade de água perdida pelo sistema solo-planta para a atmosfera. Cerca de 99% do total de água que as raízes das plantas superiores extraem do solo se perde para a atmosfera sob a forma de vapor; somente 1% desse total fica retido nos tecidos vegetais perfazendo a água de constituição das plantas. Assim, pode-se asseverar com precisão que evapotranspiração é sinônimo de uso consumptivo ou exigência hídrica de culturas. Não há ganho sem perda. O consumo de água e a absorção de elementos minerais essenciais nada mais é do que uma consequência ao processo de perda d'água, a qual se verifica principalmente através dos estômatos em função de uma diferença de potencial químico da água entre a câmara subestomática das folhas e o ar atmosférico. Cabe aqui ainda na introdução desse capítulo formular a seguinte pergunta:

Qual o significado de um erro de mais ou menos $0,5 \text{ mm dia}^{-1}$ na lâmina de irrigação a ser aplicada em 10 hectares de feijão, quando se considera um ciclo de irrigação de 60 dias, sobre o custo final de produção da cultura?

O significado é catastrófico, pois tal erro poderá levar a aplicação de água na cultura sob taxas deficitárias ou excessivas de modo a promover quebra de rendimento biológico e econômico do campo de produção de feijão em questão. Quanto de água a mais ou a menos seria aplicado por ocasião da prática da irrigação face ao erro de 0,5 milímetros por dia?

$0,5 \text{ mm dia}^{-1} = 0,5 \text{ litros m}^{-2} \text{ dia}^{-1} * 10.000 \text{ m}^2/\text{ha} * 10 \text{ ha} * 60 \text{ dias} = 3.000.000 \text{ litros}$ de água a mais ou a menos seriam aplicados nesta gleba. Tal lâmina inapropriada de irrigação certamente elevará o custo de produção final do produtor rural, além de reduzir significativamente a produtividade vegetal. A falta de água no solo afeta: a fotossíntese, a transpiração, o metabolismo de nitrogênio, o crescimento, a floração, a frutificação, a absorção de água pelas raízes, a nutrição mineral de plantas, o rendimento. O excesso de água no solo diminui a relação raiz-copa, reduz a respiração normal do sistema radicular, afeta a aeração do solo e, portanto, a respiração das raízes, diminui a fotossíntese líquida das plantas, aumenta a incidência de doenças e o ataque de pragas na lavoura, compromete a absorção de água e de nutrientes, promove seca fisiológica em plantas, reduz a produção.

Assim, conhecer a evapotranspiração máxima da cultura ou demanda climática ideal de água é extremamente importante para garantir a sustentabilidade da agricultura, fazendo com que o agricultor produza mais com menos e obtenha lucros desejáveis oriundos de seu empreendimento agrícola.

2 | DEMANDA EVAPORATIVA DA ATMOSFERA

Evapotranspiração potencial ou de referência (ET_o ou ETP) é a taxa de transferência de água que ocorre em uma superfície totalmente vegetada por grama ou alfafa, em fase de crescimento ativo (cultura padrão), com altura uniforme entre 8 e 15 cm, com índice de área foliar em torno de 3, sem restrição de água no solo, exposta às condições atmosféricas reinantes e com bordadura suficientemente extensa e irrigada para evitar a advecção. Seu significado prático se refere ao fato de que ET_o expressa a demanda evaporativa da atmosfera (DEA), de modo a possibilitar o planejamento da irrigação de culturas agrícolas.

Os elementos meteorológicos locais condicionam a demanda potencial de modo a definir quais seriam as localidades e as épocas de plantio que irão requerer maior taxa de aplicação de água a ser proporcionada pela prática da irrigação.

Existem diversos métodos de estimativa da evapotranspiração potencial reportados na literatura. Iremos nos restringir aqui a apresentar alguns de maior uso no meio agrícola, os quais se baseiam em informações meteorológicas coletadas em postos de observação de superfície que contam com a instalação de estações meteorológicas convencionais ou automáticas.

O método de Penman-Monteith (Equação 1) é considerado padrão para estimar a ET_o, segundo a FAO (ALLEN et al., 1998). Entretanto, constata-se que o método utiliza elementos meteorológicos que nem sempre estão disponíveis ao agricultor, dificultando sua obtenção.

$$ET_o = \frac{0,48 \Delta (R_n - G) + \gamma \frac{900}{T + 273} u_2 (e_s - e_a)}{\Delta + \gamma (1 + 0,3 u_2)} \quad (\text{Equação 1})$$

Em que: ET_o = evapotranspiração de referência (mm dia⁻¹); R_n = radiação líquida sobre a superfície da cultura (MJ m⁻² dia⁻¹); G = densidade do fluxo de calor no solo (MJ m⁻² dia⁻¹); T = temperatura do ar a 2 m de altura (°C); u₂ = velocidade do vento a 2 m de altura (m s⁻¹); e_s = pressão de saturação de vapor (kPa); e_a = pressão atual de vapor (kPa); (e_s - e_a) = déficit de pressão de saturação de vapor (kPa °C⁻¹); Δ = tangente à curva de pressão de saturação de vapor à temperatura média do ar (kPa °C⁻¹); γ = coeficiente psicrométrico (kPa °C⁻¹).

Nos casos em que as informações meteorológicas locais para estimativa da

ETo são restritas, impossibilitando a aplicação do modelo de Penman-Monteith, outros métodos com bom desempenho na região sul do Brasil (MEDEIROS, 1998; CONCEIÇÃO e MANDELLI, 2005; SYPPERRECK et al., 2008) podem ser empregados, como o de Hargreaves & Samani, o de Blaney-Criddle FAO 24, o de Priestley & Taylor e o do Tanque Classe A.

Inúmeros métodos existentes para o cálculo de ETo quase sempre o fazem para períodos de 24 horas, incluindo valores de elementos climáticos do período noturno (médias diárias), os quais têm efeito nulo na transpiração, que é a principal demanda nos casos de irrigação localizada. Villa Nova et al. (2006) elaboraram um estudo que teve por objetivo simplificar o método de Penman atribuído relativamente à quantificação das taxas de evapotranspiração diurna, as quais prescindem de dados de velocidade do vento e de umidade relativa do ar, sem perda de precisão, ampliando bastante sua possibilidade de aplicação. A comparação entre os valores de ETo diários-diurnos medidos em lisímetros de pesagem de alta precisão e os valores estimados, tanto pela metodologia proposta pelos referidos autores quanto pelo critério de cálculo proposto por Penman-Monteith, indicou elevada concordância entre os valores observados e os calculados. O método de Penman-simplificado foi, portanto, uma alternativa viável para estimar ETo sob as condições meteorológicas locais de dois experimentos de campo conduzidos em Piracicaba, Estado de São Paulo, para fins de planejamento da irrigação.

Villa Nova e Pereira (2006) e Villa Nova, Pereira e Shock (2007) propuseram um método corrigido para estimar ETo embasado no balanço de energia local, a partir de dados meteorológicos monitorados em postos de observação de superfície durante o período de luz. Para validação do método de Priestley-Taylor ajustado às condições locais, foram utilizados dados observados em estação meteorológica automática instalada em Piracicaba (SP), bem como medidas lisimétricas coletadas na Fazenda Areião, da área experimental da ESALQ/USP, também localizada em Piracicaba. Estudos de regressão revelaram que o método proposto apresentou excelentes resultados quando comparado com o método de Penman-Monteith e com as medidas realizadas em lisímetros de pesagem com célula de carga, tendo em vista os elevados valores de coeficiente de determinação obtidos, podendo ser recomendado, portanto, em estudos de avaliação de consumo hídrico de culturas em diversas localidades climáticas.

O método de Hargreaves e Samani estabelece a ETo por meio da radiação solar incidente no topo da atmosfera e das temperaturas máxima, mínima e média, conforme Equação 2.

$$ETo = 0,0023 \times Q_0 \times (T_{max} - T_{min})^{0,5} \times (T_{med} + 17,8) \quad (\text{Equação 2})$$

Em que: Q_0 = radiação solar extraterrestre diária (mm dia^{-1}) obtida a partir da Tabela 1; T_{max} = temperatura máxima do ar ($^{\circ}\text{C}$); T_{min} = temperatura mínima do ar ($^{\circ}\text{C}$); T_{med} = temperatura média do ar ($^{\circ}\text{C}$).

Lat. Sul	Jan.	Fev.	Mar.	Abr.	Maio	Jun.	Jul.	Ago.	Set.	Out.	Nov.	Dez.
0°	14,5	15,0	15,2	14,7	13,9	13,4	13,5	14,2	14,9	14,9	14,6	14,3
2°	14,8	15,2	15,2	14,5	13,6	13,0	13,2	14,0	14,8	15,0	14,8	14,6
4°	15,0	15,3	15,1	14,3	13,3	12,7	12,8	13,7	14,7	15,1	15,0	14,9
6°	15,3	15,4	15,1	14,1	13,0	12,6	12,5	13,5	14,6	15,1	15,2	15,1
8°	15,6	15,6	15,0	14,0	12,7	12,0	12,2	13,2	14,5	15,2	15,4	15,4
10°	15,9	15,7	15,0	13,8	12,4	11,6	11,9	13,0	14,4	15,3	15,7	15,7
12°	16,1	15,8	14,9	13,5	12,0	11,2	11,5	12,7	14,2	15,3	15,8	16,0
14°	16,3	15,8	14,9	13,2	11,6	10,8	11,1	12,4	14,0	15,3	15,9	16,2
16°	16,5	15,9	14,8	13,0	11,3	10,4	10,8	12,1	13,8	15,3	16,1	16,4
18°	16,7	15,9	14,7	12,7	10,9	10,0	10,4	11,8	13,7	15,3	16,2	16,7
20°	16,7	16,0	14,5	12,4	10,6	9,6	10,0	11,5	13,5	15,3	16,2	16,8
22°	16,9	16,0	14,3	12,0	10,2	9,1	9,6	11,1	13,1	15,2	16,4	17,0
24°	16,9	15,9	14,1	11,7	9,8	8,6	9,1	10,7	13,1	15,1	16,5	17,1
26°	17,0	15,9	13,9	11,4	9,4	8,1	8,7	10,4	12,8	15,0	16,5	17,3
28°	17,1	15,8	13,7	11,1	9,0	7,8	8,3	10,0	12,6	14,9	16,6	17,5
30°	17,2	15,7	13,5	10,8	8,5	7,4	7,8	9,6	12,2	14,7	16,7	17,6

Tabela 1 - Radiação solar extraterrestre diária (Q_0) em mm dia^{-1} no 15º dia do mês correspondente para diferentes latitudes (Lat.) no hemisfério Sul.

Fonte: Doorenbos e Kassam (1979)

O método de Blaney-Criddle foi desenvolvido para regiões áridas e semiáridas, porém após a introdução do fator de correção que considera a umidade relativa mínima do ar, a razão de insolação e a velocidade do vento a 2 m de altura, tal método passou a ser recomendado para diversos climas (DOORENBOS; PRUITT, 1977). Posteriormente à correção preconizada pela FAO, o referido método ficou conhecido como método de Blaney-Criddle FAO-24. A estimativa da E_{To} é expressa por meio da Equação 3.

$$E_{To} = (\alpha + \beta) \times p \times (0,46 \times T_{\text{med}} + 8,13) \quad (\text{Equação 3})$$

Em que: α e β = coeficientes de ajustes estabelecidos por meio das equações 4 e 5; p = porcentagem da média diária mensal do total de fotoperíodo anual, discriminada na Tabela 2; T_{med} = temperatura média diária do ar ($^{\circ}\text{C}$).

$$\alpha = 0,0043UR_{\min} - \frac{n}{N} - 1,41 \quad (\text{Equação 4})$$

$$\beta = 0,81917 - 0,0040922 UR_{\min} + 1,0705 \frac{n}{N} + 0,065649 U_2 - 0,0059684 UR_{\min} \frac{n}{N} - 0,0005967 UR_{\min} U_2 \quad (\text{Equação 5})$$

Em que: UR_{\min} = umidade relativa mínima do ar (%); n/N = razão de insolação; U_2 = velocidade média do vento a 2 m de altura ($m s^{-1}$).

Lat. Sul	Jan.	Fev.	Mar.	Abr.	Mai	Jun.	Jul.	Ago.	Set.	Out.	Nov.	Dez.
0°	0,27	0,27	0,27	0,27	0,27	0,27	0,27	0,27	0,27	0,27	0,27	0,27
5°	0,28	0,28	0,28	0,27	0,27	0,27	0,27	0,27	0,27	0,28	0,28	0,28
10°	0,29	0,28	0,28	0,27	0,26	0,26	0,26	0,27	0,27	0,28	0,28	0,29
15°	0,29	0,28	0,28	0,27	0,26	0,25	0,26	0,26	0,27	0,28	0,29	0,29
20°	0,30	0,29	0,28	0,26	0,25	0,25	0,25	0,26	0,27	0,28	0,29	0,30
25°	0,31	0,29	0,28	0,26	0,25	0,24	0,24	0,26	0,27	0,29	0,30	0,31
30°	0,31	0,30	0,28	0,26	0,24	0,23	0,24	0,25	0,27	0,29	0,31	0,32

Tabela 2 - Porcentagem da média diária mensal do total de fotoperíodo anual (p) para diferentes latitudes no hemisfério Sul.

Fonte: Adaptado de Doorenbos e Pruitt (1977).

O método de Priestley & Taylor é uma simplificação do método original de Penman (VILLA NOVA; PEREIRA, 2006). A evapotranspiração potencial é estimada por meio da Equação 6.

$$ET_o = \frac{\alpha[\Delta/(\Delta+\gamma)(Rn-G)]}{2,45} \quad (\text{Equação 6})$$

Em que: α = constante de proporcionalidade, valor dependente do local e da cultura (em geral, adota-se o valor proposto por Priestley-Taylor de 1,26); Δ = tangente à curva de pressão de saturação de vapor d'água à temperatura média do ar ($kPa \text{ } ^\circ C^{-1}$); γ = coeficiente psicrométrico ($kPa \text{ } ^\circ C^{-1}$); Rn = saldo de radiação ($MJ m^{-2} dia^{-1}$); G = fluxo de calor sensível no solo ($MJ m^{-2} dia^{-1}$), normalmente desprezado por ser muito baixo quando comparado a ordem de grandeza de Rn ; $\frac{\Delta}{\Delta+\gamma}$ = relação em função da temperatura média do ar obtida por Fontana (1990), conforme disposto na Tabela 3.

T (°C)	$\frac{\Delta}{\Delta + \gamma}$	T (°C)	$\frac{\Delta}{\Delta + \gamma}$	T (°C)	$\frac{\Delta}{\Delta + \gamma}$	T (°C)	$\frac{\Delta}{\Delta + \gamma}$
1	0,37	11	0,58	21	0,69	31	0,80
2	0,44	12	0,58	22	0,71	32	0,81
3	0,44	13	0,61	23	0,72	33	0,81
4	0,44	14	0,61	24	0,72	34	0,81
5	0,50	15	0,61	25	0,74	35	0,82
6	0,50	16	0,64	26	0,75	36	0,84
7	0,54	17	0,64	27	0,76	37	0,84
8	0,54	18	0,67	28	0,76	38	0,85
9	0,54	19	0,67	29	0,78	39	0,85
10	0,54	20	0,67	30	0,79	40	0,85

Tabela 3 - Valores de $\frac{\Delta}{\Delta + \gamma}$ em função da temperatura média do ar (T, em °C).

Fonte: Adaptado de Fontana (1990).

O método do Tanque Classe A tem sido largamente empregado na agricultura irrigada para fins de estimativa de ETo por ser mais simples e de baixo custo em relação aos demais métodos agrometeorológicos. Isto porque integra a energia advectiva advinda de áreas adjacentes, bem como constitui abordagem que melhor expressa a realidade física do processo de perda d'água. O Tanque Classe A propriamente dito, consiste em um tanque circular de aço inoxidável ou galvanizado, chapa nº 22, com 121 cm de diâmetro interno e 25,5 cm de profundidade (DOORENBOS; PRUITT, 1977), é instalado sobre um estrado de madeira de 15 cm de altura, com seu interior cheio de água até 5 cm da borda superior.

Para determinar a ETo, inicialmente mede-se a evaporação do tanque Classe A com auxílio de um parafuso micrométrico de gancho, que fica assentado sobre um poço tranquilizador. Por meio do parafuso micrométrico realiza-se a leitura da evaporação do tanque Classe A (ECA) e posteriormente calcula-se a ETo por meio da equação 7.

$$E_{To} = ECA \times K_p \quad (\text{Equação 7})$$

Os valores do coeficiente de Tanque Classe A (Kp) variam com a transferência de vapor d'água no meio, sendo influenciado pela velocidade do vento, pela umidade relativa do ar, pela área de bordadura ou tampão e pelo local de instalação do tanque. Os valores de Kp encontram-se disponíveis na Tabela 4 (DOORENBOS; KASSAM, 1979). Sob a ausência de variáveis que possibilitam a obtenção de Kp via tabular ou por intermédio de estudos de regressão, recomenda-se adotar o valor fixo 0,75 sob condições de vento fraco a moderado, ou o valor fixo 0,60 para condição de regime de vento forte.

	Tanque circundado por grama				Tanque circundado por solo descoberto			
		Umidade relativa do ar				Umidade relativa do ar		
Velocidade do vento (m s ⁻¹)	Tamanho da bordadura ¹ (m)	Baixa <40%	Média 40-70%	Alta >70%	Tamanho da bordadura ¹ (m)	Baixa <40%	Média 40-70%	Alta >70%
Fraco <2	1	0,55	0,65	0,75	1	0,70	0,80	0,85
	10	0,65	0,75	0,85	10	0,60	0,70	0,80
	100	0,70	0,80	0,85	100	0,55	0,65	0,75
	1000	0,75	0,85	0,85	1000	0,50	0,60	0,70
Moderado 2-5	1	0,50	0,60	0,65	1	0,65	0,75	0,80
	10	0,60	0,70	0,75	10	0,55	0,65	0,70
	100	0,65	0,75	0,80	100	0,50	0,60	0,65
	1000	0,70	0,80	0,80	1000	0,45	0,55	0,60
Forte 5-8	1	0,45	0,50	0,60	1	0,60	0,65	0,70
	10	0,55	0,60	0,65	10	0,50	0,55	0,65
	100	0,60	0,65	0,70	100	0,45	0,50	0,60
	1000	0,65	0,70	0,75	1000	0,40	0,45	0,55
Muito forte > 8	1	0,40	0,45	0,50	1	0,50	0,60	0,65
	10	0,45	0,55	0,60	10	0,45	0,50	0,55
	100	0,50	0,60	0,65	100	0,40	0,45	0,50
	1000	0,55	0,60	0,65	1000	0,35	0,40	0,45

Tabela 4 - Coeficiente de Tanque Classe A (Kp) sob as diferentes condições de bordadura, local de instalação do tanque, umidade relativa média do ar e velocidade média do vento.

¹ Distância entre o extremo da bordadura e o tanque medida na direção predominante dos ventos.

Fonte: Doorenbos e Kassam (1979).

3 | EVAPOTRANSPIRAÇÃO MÁXIMA DA CULTURA

A evapotranspiração máxima de uma determinada cultura introduzida por Doorenbos e Pruitt (1977) representa a taxa de evapotranspiração que ocorre em qualquer cultura, com qualquer porte, qualquer índice de área foliar, em qualquer etapa fenológica do ciclo, com suprimento adequado de água no solo, e exposta às condições meteorológicas reinantes (PENMAN, 1956).

A evapotranspiração máxima ou demanda climática ideal de água da cultura (ET_m ou ET_c) poderá então ser calculada a partir da evapotranspiração de referência (ET_o ou ETP) e do coeficiente de cultura (K_c) definido em cada etapa fenológica da cultura, conforme Equação 8.

$$ET_c = ET_o \times K_c \quad (\text{Equação 8})$$

K_c pode ser obtido por lisimetria, medindo-se tanto a evapotranspiração máxima como a de referência em lisímetros de subirrigação, de pesagem ou de drenagem. Entretanto, normalmente ET_o é estimada através do regime vigente de elementos meteorológicos disponíveis na região em estudo. Valores de K_c para as principais culturas agrícolas ao longo de todas as etapas fenológicas do ciclo podem

ser obtidos no boletim da FAO (DOORENBOS; KASSAM, 1979).

Nos dias em que a lâmina atual de água no solo (LAS) se encontra abaixo do limite da água facilmente disponível (AFD), ocorre restrições à perda de água por evapotranspiração nas lavouras de modo a não se atender à condição hídrica necessária que possibilitará a ocorrência de taxas de evapotranspiração em nível máximo. Verifica-se nessa situação que a evapotranspiração da cultura se dá sob condição de suprimento inadequado de água no solo (ALLEN et al., 1998). Esta taxa de evapotranspiração da cultura aquém da máxima ($ET_{c_{aj}}$) é denominada de evapotranspiração atual da cultura e para que esta possa ser estimada com precisão, sugere-se a inclusão do coeficiente de estresse hídrico (K_s) no procedimento de cálculo expresso pela Equação 9.

$$ET_{c_{aj}} = ET_0 \times K_c \times K_s \quad (\text{Equação 9})$$

O K_s representa o efeito do esgotamento de água no perfil do solo explorado pelas raízes de interesse em relação às taxas de evapotranspiração máxima (ET_c). Em termos práticos, considera-se que uma redução significativa na evapotranspiração ocorrerá somente após o momento em que se verifica o consumo pleno da AFD. Assim, se a LAS for igual ou superior a AFD, o valor de K_s será igual a 1 (indicativo de suprimento hídrico adequado). Entretanto, se LAS foi inferior à AFD (condição que expressa restrição hídrica), o valor de K_s será menor do que 1, conforme ilustra a Figura 9.

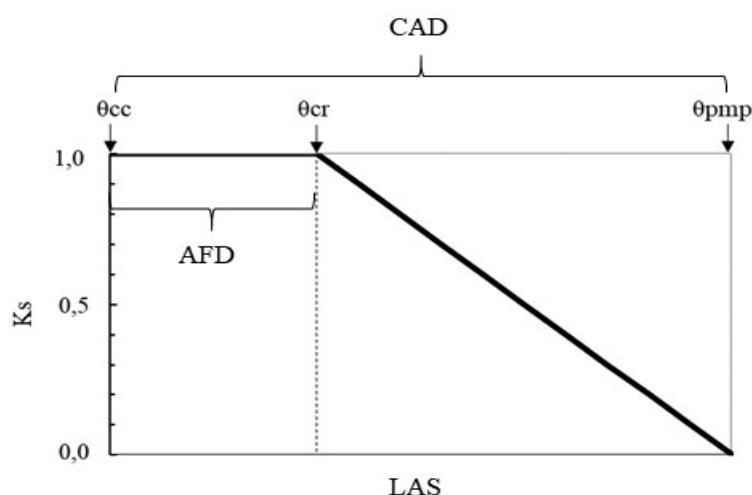


Figura 9 – Curva do coeficiente de estresse hídrico no solo (K_s).

Em que: θ_{cc} = umidade volumétrica na capacidade de campo; θ_{cr} = umidade volumétrica no potencial crítico para a cultura; θ_{pmp} = umidade volumétrica no ponto de murcha; CAD = capacidade de água disponível do solo (mm); AFD = água facilmente disponível (mm); LAS = lâmina atual de água no solo (mm) (DOORENBOS; KASSAM 1979).

Sob condições de suprimento inadequado de água no solo, observa-se queda nos valores de K_s no momento que LAS (eixo x) é inferior ao limite da AFD. Nessa situação, o valor de K_s é determinado através da Equação 10.

$$K_s = \frac{CAD - D_r}{CAD - AFD} \quad (\text{Equação 10})$$

Em que: CAD = capacidade de água disponível do solo (mm); D_r = depleção de suprimento de água no solo acumulada no período (mm); AFD = água facilmente disponível (mm).

Nota-se que, em sistemas irrigados, dificilmente será aplicado o K_s para ajustar a evapotranspiração atual da cultura, visto que o manejo de água no solo deve compreender os limites superior e inferior da AFD.

Na irrigação localizada, em geral, não há o molhamento de toda a área irrigada, sendo necessário considerar o fator de ajuste relativo à porcentagem da área molhada, denominado coeficiente de irrigação localizada (KI). O ajuste do KI pode ser obtido por meio da Equação 11 (KELLER; BLIESNER, 1990). No caso específico da irrigação localizada, a ET_c é ajustada pelo KI (Equação 12).

$$KI = 0,1\sqrt{PAM} \quad (\text{Equação 11})$$

$$ET_{c_{loc}} = ET_c \times KI \quad (\text{Equação 12})$$

Em que: KI = coeficiente de irrigação localizada; PAM = porcentagem de área molhada (%); $ET_{c_{loc}}$ = evapotranspiração da cultura para irrigação localizada (mm dia⁻¹); ET_c = evapotranspiração máxima de cultura (mm dia⁻¹).

4 | LÂMINA LÍQUIDA E BRUTA DE IRRIGAÇÃO

O método mais simples para estimar a lâmina líquida de irrigação (LLI) e factível de aplicação em áreas irrigadas, via monitoramento de elementos de clima, é o cômputo entre a saída de água do sistema devida a ET_c e a entrada de água no mesmo dada pela precipitação efetiva do período (Pe). Nesse método, os valores de evapotranspiração atual da cultura ou de transpiração diária são acumulados no intervalo de tempo (turno de rega) estabelecido para manejo da irrigação. Posteriormente, subtrai-se a precipitação efetiva (Pe) acumulada no período, obtendo-se assim a LLI.

O procedimento de cálculo da LLI é descrito na Equação 13.

$$LLI = \sum_1^{TR} ETc - \sum_1^{TR} Pe \quad (\text{Equação 13})$$

Em que: LLI = lâmina líquida de irrigação (mm); ETc = evapotranspiração da cultura (mm dia⁻¹), a qual pode ser substituída pela transpiração das plantas, especialmente sob sistemas de irrigação localizados; TR = turno de rega (dias), Pe = precipitação efetiva do período (mm).

Por intermédio da Equação 13, constata-se que a LLI representa a quantidade de água efetivamente utilizada pela cultura. Como os sistemas de irrigação evidenciam eficiências distintas, a quantidade de água derivada da fonte hídrica deve ser superior à LLI para atender à demanda evaporativa das culturas. Dessa forma, utiliza-se a lâmina bruta de irrigação, conforme Equação 14.

$$LBI = \frac{LLI}{E_i} \times 100 \quad (\text{Equação 14})$$

Em que: LBI = lâmina bruta de irrigação (mm); LLI = lâmina líquida de irrigação (mm); E_i = eficiência do sistema de irrigação (%).

A eficiência de irrigação (E_i) depende das características do sistema de irrigação, devendo ser avaliada in situ e periodicamente entre diversos anos agrícolas. Os valores de E_i frequentemente observados sob diferentes sistemas de irrigação na cultura da macieira são demonstrados na Tabela 5.

Sistema de irrigação	E _i (%)
Sulcos*	40 – 60
Aspersão convencional	65 – 85
Autopropelidos	65 – 80
Microaspersão	70 – 90
Gotejamento superficial	80 – 95
Gotejamento subsuperficial	80 – 95

Tabela 5 - Valores de eficiência do sistema de irrigação frequentemente observados sob os principais sistemas de irrigação adotados em pomares de macieira.

* Informações adaptadas Brouwer, Prins e Heibloem (1989)

5 | TURNO DE REGA

O turno de rega ou frequência de irrigação (TR ou FI) é a relação entre a água facilmente disponível (AFD) e a evapotranspiração máxima da cultura (ET_m). Refere-se, portanto, ao número de dias transcorridos entre um episódio de irrigação e o subsequente, de modo a assegurar que a cultura se desenvolva sob condições de suprimento adequado de água no solo ao longo de todo o seu ciclo

de desenvolvimento em dada localidade climática. TR pode ser obtida através da seguinte expressão matemática:

$$TR = \frac{AFD}{ETm} \quad (\text{Equação 15})$$

A AFD é a fração da CAD que é utilizada pela planta antes de configurar a deficiência em água, sendo expressa em milímetros. É o intervalo da CAD em que a planta evapotranspira livremente, estando, portanto, sob condições de ETm. Essa condição ocorre durante uma determinada quantidade de água no solo onde não há restrição por intermédio do solo à saída de água.

A CAD explorada pelas raízes das plantas é definida pelo produto entre a CAD do solo, expressa em mm m^{-1} , e a profundidade efetiva das raízes no perfil do solo (H) em metros, referindo-se àquela água que se encontra no perfil onde 80% do sistema radicular das culturas pode explorá-lo em dado volume de controle. A FI ou TR é estabelecida pelo número de dias em que o solo se encontra dentro do intervalo da AFD. Dentro deste intervalo a resistência estomática é mínima, a evapotranspiração da cultura é máxima e o rendimento biológico é compatível com a produtividade atingível (sendo, portanto, mais próxima possível da produtividade potencial).

A CAD do solo expressa o conteúdo de água no solo entre a capacidade de campo (CC) e o ponto de murcha permanente (PMP). A AFD tem como limite superior a CC e como limite inferior a fração p da CAD. Esta fração p nada mais é do que o percentual de depleção de água no solo admissível de modo a não interferir sobre a resistência estomática das folhas. Uma fração p de 0,37, por exemplo, nos permite asseverar que uma redução de até 37% na CAD ainda fará com que as plantas estejam sob condição de ETm, assegurando a expressão da potencialidade produtiva de uma dada espécie vegetal em dado local ou região. A AFD poderá ser obtida por intermédio da seguinte equação:

$$AFD = p \times CAD \quad (\text{Equação 16})$$

ETm (em mm dia^{-1}) e TR (em dias) são variáveis ambientais essenciais a serem consideradas no planejamento da irrigação de culturas agrícolas. ETm possibilita a definição da lâmina ideal de água de irrigação a ser aplicada na lavoura. TR ou FI estabelece o momento da irrigação de modo a assegurar a maximização do rendimento vegetal e a minimização dos custos de produção do agricultor em sua propriedade rural.

No manejo da irrigação, deve-se definir se o turno de rega será fixo ou variável. Sob TR fixo, o intervalo de tempo entre as irrigações é constante e definido com base nas informações de AFD e de ETm. Considerando a cultura da maçã como

exemplo, esse tipo de manejo permite um melhor planejamento das irrigações e em sistemas localizados recomenda-se a frequência máxima de 5 dias para a macieira (UCAR et al., 2016). Sob TR variável, os intervalos entre os episódios de irrigação não são definidos e o momento de irrigar é estabelecido com base na AFD ou no potencial crítico de água no solo para a cultura da macieira, por exemplo, tal valor situa-se próximo a -50 kPa para solos de textura arenosa e média e -70 kPa para solo argiloso.

Exemplo de aplicação:

Determine a provável frequência de irrigação de uma cultura de batata (*Solanum tuberosum* L.), cv. IAC-5986, para as condições médias de clima do Estado de Minas Gerais nas cinco etapas fenológicas da cultura, sabendo-se que as variáveis climáticas ao longo do ciclo foram: evaporação lida no tanque Classe A = 5.0 mm dia⁻¹; umidade relativa média do ar = 58%; velocidade média do vento = 220 km dia⁻¹; tanque instalado em área gramada com bordadura de 10 m. O plantio foi efetuado em fevereiro (plantio da seca). Suponha que a CAD do solo foi de 125 mm m⁻¹. Dados complementares se encontram na tabela a seguir:

Variável	Fase I (20-30 d)	Fase II (30-40 d)	Fase III (30-60 d)	Fase IV (20-35 d)	Fase V (10-15 d)
Kc	0,4	0,7	1,05	0,85	0,7
H (metros)	0,10	0,17	0,25	0,35	0,50
p	0,54	0,46	0,37	0,425	0,46

Solução do exercício proposto:

$$K_p \text{ (Tabela 4)} = 0,7$$

$$E_{To} = K_p * ECA = 0,7 * 5,0 = 3,5 \text{ mm dia}^{-1}$$

FASE I – Batata:

$$E_{Tm} = K_c * E_{To} = 0,4 * 3,5 = 1,4 \text{ mm dia}^{-1}$$

$$AFD = p * CAD * H = 0,54 * 125 * 0,10 = 6,75 \text{ mm}$$

$$TR = AFD/E_{Tm} = 6,75/1,4 = 5 \text{ dias}$$

A duração média da fase I de desenvolvimento da batata é de 25 dias. Assim, a cada 5 dias devemos aplicar a AFD de 6,75 mm. Portanto, deverão ser adotados $25/5 = 5$ episódios de irrigação, o que resultaria numa aplicação total de água neste subperíodo de desenvolvimento da planta da ordem de $5 * 6,75 = 33,75$ mm.

FASE II – Batata:

$$E_{Tm} = K_c * E_{To} = 0,7 * 3,5 = 2,45 \text{ mm dia}^{-1}$$

$$AFD = p * CAD * H = 0,46 * 125 * 0,17 = 9,78 \text{ mm}$$

$$TR = AFD/E_{Tm} = 9,78/2,45 = 4 \text{ dias}$$

A duração média da fase II de desenvolvimento da batata é de 35 dias. Assim,

a cada 4 dias devemos aplicar a AFD de 9,78 mm. Portanto, deverão ser adotados $35/4 = 9$ episódios de irrigação, o que resultaria numa aplicação total de água neste subperíodo de desenvolvimento da planta da ordem de $9 * 9,78 = 88,02$ mm.

FASE III – Batata:

$$ET_m = K_c * E_{To} = 1,05 * 3,5 = 3,675 \text{ mm dia}^{-1}$$

$$AFD = p * CAD * H = 0,37 * 125 * 0,25 = 11,56 \text{ mm}$$

$$TR = AFD/ET_m = 11,56/3,675 = 3 \text{ dias}$$

A duração média da fase III de desenvolvimento da batata é de 45 dias. Assim, a cada 3 dias devemos aplicar a AFD de 11,56 mm. Portanto, deverão ser adotados $45/3 = 15$ episódios de irrigação, o que resultaria numa aplicação total de água neste subperíodo de desenvolvimento da planta da ordem de $15 * 11,56 = 173,40$ mm.

FASE IV – Batata:

$$ET_m = K_c * E_{To} = 0,85 * 3,5 = 2,975 \text{ mm dia}^{-1}$$

$$AFD = p * CAD * H = 0,425 * 125 * 0,35 = 18,59 \text{ mm}$$

$$TR = AFD/ET_m = 18,59/2,975 = 6 \text{ dias}$$

A duração média da fase IV de desenvolvimento da batata é de 27 dias. Assim, a cada 6 dias devemos aplicar a AFD de 18,59 mm. Portanto, deverão ser adotados $27/6 = 4$ episódios de irrigação, o que resultaria numa aplicação total de água neste subperíodo de desenvolvimento da planta da ordem de $4 * 18,59 = 83,65$ mm.

FASE V – Batata:

$$ET_m = K_c * E_{To} = 0,7 * 3,5 = 2,45 \text{ mm dia}^{-1}$$

$$AFD = p * CAD * H = 0,46 * 125 * 0,50 = 28,75 \text{ mm}$$

$$TR = AFD/ET_m = 28,75/2,45 = 12 \text{ dias}$$

A duração média da fase V de desenvolvimento da batata é de 12 dias. Assim, a cada 12 dias devemos aplicar a AFD de 28,75 mm. Portanto, deverá ser adotado $12/12 = 1$ único episódio de irrigação, o que resultaria numa aplicação total de água neste subperíodo de desenvolvimento da planta da ordem de $1 * 28,75 = 28,75$ mm.

Portanto, o consumo hídrico total da cultura da batata cultivada sob as condições climáticas médias do Estado de Minas Gerais será de $33,74 + 88,02 + 173,40 + 83,65 + 28,75 = 407,56$ mm. Neste exemplo hipotético de cálculo, para fins de simplificação considerou-se que a DEA não variou ao longo da estação de crescimento da cultura. Na realidade, a DEA varia de acordo com a época do ano e a localidade em estudo, ponto que evidencia a necessidade de monitoramento do regime vigente dos elementos meteorológicos locais para que a otimização efetiva da irrigação possa ser alcançada.

REFERÊNCIAS

- ALLEN, R.G.; PEREIRA, L.S.; RAES, D.; SMITH, M. Crop Evapotranspiration: Guidelines for Computing Crop Water Requirements. **FAO Irrigation and Drainage Paper**, n. 56, 1998. 333 p.
- BROUWER, C.; PRINS, K.; HEIBLOEM, M. **Irrigation Water Management: Irrigation Scheduling**. Rome, FAO, 1989. 66p. (FAO, Training Manual No. 4).
- CONCEIÇÃO, M.A.F.; MANDELLI, F. Comparação entre Métodos de Estimativa da Evapotranspiração de Referência em Bento Gonçalves, RS. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, v. 13, n. 2, p. 303-307, 2005.
- DOORENBOS, J.; KASSAM, A.H. **Yield Response to Water**. Rome: FAO, 1979. 193 p. (Irrigation and Drainage Paper, 33).
- DOORENBOS, J.; PRUITT, W.O. **Crop Water Requirements**. Rome, FAO, 1977. 144p. (FAO, Irrigation and Drainage Paper, 24).
- FONTANA, D.C. Determinação da Evapotranspiração. In: BERGAMASHI, H. (Ed.). **Agrometeorologia aplicada à irrigação**. Porto Alegre: UFRGS, 1990. 125 p.
- KELLER, J.; BLIESNER, R.D. **Sprinkle and Trickle Irrigation**. Van Nostrand Reynold: New York, 1990. 652 p.
- MEDEIROS, S.L.P. Avaliação de Métodos de Estimativa da Evapotranspiração de Referência para a Região Mesoclimática de Santa Maria - RS. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, v. 6, n. 1, p. 105-109, 1998.
- PENMAN, H. L. Evaporation: An Introductory Survey. **Netherlands Journal of Agricultural Science**, v. 4, p. 9-29, 1956.
- SYPERRECK, V.L.G.; KLOSOWSKI, E.S.; GRECO, M.; FURLANETTO, C. Avaliação de Desempenho de Métodos para Estimativas de Evapotranspiração de Referência para a Região de Palotina, Estado do Paraná. **Acta Scientiarum Agronomy**, v. 30, p. 603-609, 2008.
- UCAR, Y.; KADAYIFCI, A.; ASKIN, M.A.; KANKAYA, A.; SENYIGIT, U.; YILDIRM, F. Effects of Irrigation Frequency on Yield and Quality Parameters in Apple c.v. 'Gala, Galaxy'. **Erwerbs-Obstbau**, v. 58, n. 3, p. 169-175, 2016.
- VILLA NOVA, N. A.; MIRANDA, J.H.; PEREIRA, A.B.; SILVA, K.O. Estimation of the Potential Evapotranspiration by a Simplified Penman Method. **Engenharia Agrícola**, v. 26, p. 713-721, 2006.
- VILLA NOVA, N.A.; PEREIRA, A.B. Ajuste do Método de Priestley-Taylor às Condições Climáticas Locais. **Engenharia Agrícola**, v. 26, p. 395-405, 2006.
- VILLA NOVA, N.A.; PEREIRA, A.B.; SHOCK, C.C. Estimation of Reference Evapotranspiration by an Energy Balance Approach. **Biosystems Engineering**, v. 96, p. 605-615, 2007.

ÍNDICE REMISSIVO

A

Agentes antrópicos 50
Agricultura familiar 5, 6, 29, 31, 74, 149
Avicultura 16

B

Biorreguladores 139, 140

C

Cidades inteligentes 61, 62, 68

D

Dejetos 31, 37, 38, 39, 40
Densidade de plantio 182
Desempenho bioquímico 138, 139, 141

E

Ética 1, 3, 4, 7, 9
Etologia 56, 60

F

Fitopatógenos 94, 101
Fitotoxicidade 41, 42, 44, 45, 46, 47, 48, 49, 115
Fungos de armazenamento 161, 167

G

Germinação 45, 46, 47, 94, 95, 98, 99, 100, 101, 102, 103, 104, 105, 106, 108, 110, 111, 112, 115, 116, 117, 118, 120, 141, 143, 150, 161, 164, 165, 166, 167, 174, 182, 185, 195, 196, 197, 198, 199, 200

I

Incubação 84, 86, 87, 88, 89, 90, 91, 97, 161, 163, 164

M

Maturidade fisiológica 151, 159, 174
Mobilização social 11, 12, 13

R

Resíduos sólidos 42, 43, 44, 48, 49, 202
Resistência 21, 22, 96, 133, 134, 141, 149, 170, 171, 172, 179, 180, 181
Rocha basáltica 84

S

Segurança alimentar 1, 7, 11, 12, 13, 14

Sistemas agroalimentares 12, 16, 17, 21, 22

Sustentabilidade 1, 2, 3, 4, 7, 8, 9, 10, 14, 16, 18, 19, 20, 22, 23, 26, 27, 28, 29, 38, 48, 61, 122, 123, 125, 202

T

Tecnologia Bt 171

V

Vigor 99, 101, 105, 108, 109, 115, 118, 120, 121, 150, 165, 182, 183, 195, 196, 197

 **Atena**
Editora

2 0 2 0