

ENGENHARIA AGRONÔMICA:

Ambientes Agrícolas e
seus Campos de Atuação

3



Tamara Rocha dos Santos
(Organizadora)

Atena
Editora
Ano 2021

ENGENHARIA AGRONÔMICA:

Ambientes Agrícolas e
seus Campos de Atuação

3



Tamara Rocha dos Santos
(Organizadora)

Atena
Editora
Ano 2021

Editora Chefe

Profª Drª Antonella Carvalho de Oliveira

Assistentes Editoriais

Natalia Oliveira

Bruno Oliveira

Flávia Roberta Barão

Bibliotecária

Janaina Ramos

Projeto Gráfico e Diagramação

Natália Sandrini de Azevedo

Camila Alves de Cremo

Luiza Alves Batista

Maria Alice Pinheiro

Imagens da Capa

Shutterstock

Edição de Arte

Luiza Alves Batista

Revisão

Os Autores

2021 by Atena Editora

Copyright © Atena Editora

Copyright do Texto © 2021 Os autores

Copyright da Edição © 2021 Atena Editora

Direitos para esta edição cedidos à Atena Editora pelos autores.



Todo o conteúdo deste livro está licenciado sob uma Licença de Atribuição *Creative Commons*. Atribuição-Não-Comercial-NãoDerivativos 4.0 Internacional (CC BY-NC-ND 4.0).

O conteúdo dos artigos e seus dados em sua forma, correção e confiabilidade são de responsabilidade exclusiva dos autores, inclusive não representam necessariamente a posição oficial da Atena Editora. 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.

Todos os manuscritos foram previamente submetidos à avaliação cega pelos pares, membros do Conselho Editorial desta Editora, tendo sido aprovados para a publicação com base em critérios de neutralidade e imparcialidade acadêmica.

A Atena Editora é comprometida em garantir a integridade editorial em todas as etapas do processo de publicação, evitando plágio, dados ou resultados fraudulentos e impedindo que interesses financeiros comprometam os padrões éticos da publicação. Situações suspeitas de má conduta científica serão investigadas sob o mais alto padrão de rigor acadêmico e ético.

Conselho Editorial

Ciências Humanas e Sociais Aplicadas

Prof. Dr. Alexandre Jose Schumacher – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Paraná

Prof. Dr. Américo Junior Nunes da Silva – Universidade do Estado da Bahia

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. Crisóstomo Lima do Nascimento – Universidade Federal Fluminense
Profª Drª Cristina Gaió – Universidade de Lisboa
Prof. Dr. Daniel Richard Sant’Ana – Universidade de Brasília
Prof. Dr. Deyvison de Lima Oliveira – Universidade Federal de Rondônia
Profª Drª Dilma Antunes Silva – Universidade Federal de São Paulo
Prof. Dr. Edvaldo Antunes de Farias – Universidade Estácio de Sá
Prof. Dr. Elson Ferreira Costa – Universidade do Estado do Pará
Prof. Dr. Eloi Martins Senhora – Universidade Federal de Roraima
Prof. Dr. Gustavo Henrique Cepolini Ferreira – Universidade Estadual de Montes Claros
Profª Drª Ivone Goulart Lopes – Istituto Internazionale delle Figlie de Maria Ausiliatrice
Prof. Dr. Jadson Correia de Oliveira – Universidade Católica do Salvador
Prof. Dr. Julio Candido de Meirelles Junior – Universidade Federal Fluminense
Profª Drª Lina Maria Gonçalves – Universidade Federal do Tocantins
Prof. Dr. Luis Ricardo Fernandes da Costa – Universidade Estadual de Montes Claros
Profª Drª Natiéli Piovesan – Instituto Federal do Rio Grande do Norte
Prof. Dr. Marcelo Pereira da Silva – Pontifícia Universidade Católica de Campinas
Profª Drª Maria Luzia da Silva Santana – Universidade Federal de Mato Grosso do Sul
Prof. Dr. Pablo Ricardo de Lima Falcão – Universidade de Pernambuco
Profª Drª Paola Andressa Scortegagna – Universidade Estadual de Ponta Grossa
Profª Drª Rita de Cássia da Silva Oliveira – Universidade Estadual de Ponta Grossa
Prof. Dr. Rui Maia Diamantino – Universidade Salvador
Prof. Dr. Saulo Cerqueira de Aguiar Soares – Universidade Federal do Piauí
Prof. Dr. Urandi João Rodrigues Junior – Universidade Federal do Oeste do Pará
Profª Drª Vanessa Bordin Viera – Universidade Federal de Campina Grande
Profª Drª Vanessa Ribeiro Simon Cavalcanti – Universidade Católica do Salvador
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. Arinaldo Pereira da Silva – Universidade Federal do Sul e Sudeste do Pará
Prof. Dr. Antonio Pasqualetto – Pontifícia Universidade Católica de Goiás
Profª Drª Carla Cristina Bauermann Brasil – Universidade Federal de Santa Maria
Prof. Dr. Cleberton Correia Santos – Universidade Federal da Grande Dourados
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 Gírlene Santos de Souza – Universidade Federal do Recôncavo da Bahia
Prof. Dr. Jael Soares Batista – Universidade Federal Rural do Semi-Árido
Prof. Dr. Jayme Augusto Peres – Universidade Estadual do Centro-Oeste
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
Profª Drª Daniela Reis Joaquim de Freitas – Universidade Federal do Piauí
Profª Drª Débora Luana Ribeiro Pessoa – Universidade Federal do Maranhão
Prof. Dr. Douglas Siqueira de Almeida Chaves – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro
Prof. Dr. Edson da Silva – Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri
Profª Drª Elizabeth Cordeiro Fernandes – Faculdade Integrada Medicina
Profª Drª Eleuza Rodrigues Machado – Faculdade Anhanguera de Brasília
Profª Drª Elane Schwinden Prudêncio – Universidade Federal de Santa Catarina
Profª Drª Eysler Gonçalves Maia Brasil – Universidade da Integração Internacional da Lusofonia Afro-Brasileira
Prof. Dr. Ferlando Lima Santos – Universidade Federal do Recôncavo da Bahia
Profª Drª Fernanda Miguel de Andrade – Universidade Federal de Pernambuco
Prof. Dr. Fernando Mendes – Instituto Politécnico de Coimbra – Escola Superior de Saúde de Coimbra
Profª Drª Gabriela Vieira do Amaral – Universidade de Vassouras
Prof. Dr. Gianfábio Pimentel Franco – Universidade Federal de Santa Maria
Prof. Dr. Helio Franklin Rodrigues de Almeida – Universidade Federal de Rondônia
Profª Drª Iara Lúcia Tescarollo – Universidade São Francisco
Prof. Dr. Igor Luiz Vieira de Lima Santos – Universidade Federal de Campina Grande
Prof. Dr. Jefferson Thiago Souza – Universidade Estadual do Ceará
Prof. Dr. Jesus Rodrigues Lemos – Universidade Federal do Piauí
Prof. Dr. Jônatas de França Barros – Universidade Federal do Rio Grande do Norte
Prof. Dr. José Max Barbosa de Oliveira Junior – Universidade Federal do Oeste do Pará
Prof. Dr. Luís Paulo Souza e Souza – Universidade Federal do Amazonas
Profª Drª Magnólia de Araújo Campos – Universidade Federal de Campina Grande
Prof. Dr. Marcus Fernando da Silva Praxedes – Universidade Federal do Recôncavo da Bahia
Profª Drª Maria Tatiane Gonçalves Sá – Universidade do Estado do Pará
Profª Drª Mylena Andréa Oliveira Torres – Universidade Ceuma
Profª Drª Natiéli Piovesan – Instituto Federacl do Rio Grande do Norte
Prof. Dr. Paulo Inada – Universidade Estadual de Maringá
Prof. Dr. Rafael Henrique Silva – Hospital Universitário da Universidade Federal da Grande Dourados
Profª Drª Regiane Luz Carvalho – Centro Universitário das Faculdades Associadas de Ensino
Profª Drª Renata Mendes de Freitas – Universidade Federal de Juiz de Fora
Profª Drª Vanessa Lima Gonçalves – Universidade Estadual de Ponta Grossa
Profª Drª Vanessa Bordin Viera – Universidade Federal de Campina Grande
Profª Drª Welma Emidio da Silva – Universidade Federal Rural de Pernambuco

Ciências Exatas e da Terra e Engenharias

Prof. Dr. Adélio Alcino Sampaio Castro Machado – Universidade do Porto
Profª Drª Ana Grasielle Dionísio Corrêa – Universidade Presbiteriana Mackenzie
Prof. Dr. Carlos Eduardo Sanches de Andrade – Universidade Federal de Goiás
Profª Drª Carmen Lúcia Voigt – Universidade Norte do Paraná
Prof. Dr. Cleiseano Emanuel da Silva Paniagua – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás
Prof. Dr. Douglas Gonçalves da Silva – Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia
Prof. Dr. Eloi Rufato Junior – Universidade Tecnológica Federal do Paraná
Profª Drª Érica de Melo Azevedo – Instituto Federal do Rio de Janeiro
Prof. Dr. Fabrício Menezes Ramos – Instituto Federal do Pará
Profª Dra. Jéssica Verger Nardeli – Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho
Prof. Dr. Juliano Carlo Rufino de Freitas – Universidade Federal de Campina Grande

Profª Drª Luciana do Nascimento Mendes – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Norte
Prof. Dr. Marcelo Marques – Universidade Estadual de Maringá
Prof. Dr. Marco Aurélio Kistemann Junior – Universidade Federal de Juiz de Fora
Profª Drª Neiva Maria de Almeida – Universidade Federal da Paraíba
Profª Drª Natiéli Piovesan – Instituto Federal do Rio Grande do Norte
Profª Drª Priscila Tessmer Scaglioni – Universidade Federal de Pelotas
Prof. Dr. Sidney Gonçalves de Lima – Universidade Federal do Piauí
Prof. Dr. Takeshy Tachizawa – Faculdade de Campo Limpo Paulista

Linguística, Letras e Artes

Profª Drª Adriana Demite Stephani – Universidade Federal do Tocantins
Profª Drª Angeli Rose do Nascimento – Universidade Federal do Estado do Rio de Janeiro
Profª Drª Carolina Fernandes da Silva Mandaji – Universidade Tecnológica Federal do Paraná
Profª Drª Denise Rocha – Universidade Federal do Ceará
Profª Drª Edna Alencar da Silva Rivera – Instituto Federal de São Paulo
Profª Drª Fernanda Tonelli – Instituto Federal de São Paulo,
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 Keyla Christina Almeida Portela – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Paraná
Profª Drª Miranilde Oliveira Neves – Instituto de Educação, Ciência e Tecnologia do Pará
Profª Drª Sandra Regina Gardacho Pietrobon – Universidade Estadual do Centro-Oeste
Profª Drª Sheila Marta Carregosa Rocha – Universidade do Estado da Bahia

Conselho Técnico Científico

Prof. Me. Abrãao Carvalho Nogueira – Universidade Federal do Espírito Santo
Prof. Me. Adalberto Zorzo – Centro Estadual de Educação Tecnológica Paula Souza
Prof. Dr. Adailson Wagner Sousa de Vasconcelos – Ordem dos Advogados do Brasil/Seccional Paraíba
Prof. Dr. Adilson Tadeu Basquerote Silva – Universidade para o Desenvolvimento do Alto Vale do Itajaí
Profª Ma. Adriana Regina Vettorazzi Schmitt – Instituto Federal de Santa Catarina
Prof. Dr. Alex Luis dos Santos – Universidade Federal de Minas Gerais
Prof. Me. Alexsandro Teixeira Ribeiro – Centro Universitário Internacional
Profª Ma. Aline Ferreira Antunes – Universidade Federal de Goiás
Profª Drª Amanda Vasconcelos Guimarães – Universidade Federal de Lavras
Prof. Me. André Flávio Gonçalves Silva – Universidade Federal do Maranhão
Profª Ma. Andréa Cristina Marques de Araújo – Universidade Fernando Pessoa
Profª Drª Andreza Lopes – Instituto de Pesquisa e Desenvolvimento Acadêmico
Profª Drª Andrezza Miguel da Silva – Faculdade da Amazônia
Profª Ma. Anelisa Mota Gregoleti – Universidade Estadual de Maringá
Profª Ma. Anne Karynne da Silva Barbosa – Universidade Federal do Maranhão
Prof. Dr. Antonio Hot Pereira de Faria – Polícia Militar de Minas Gerais
Prof. Me. Armando Dias Duarte – Universidade Federal de Pernambuco
Profª Ma. Bianca Camargo Martins – UniCesumar
Profª Ma. Carolina Shimomura Nanya – Universidade Federal de São Carlos
Prof. Me. Carlos Antônio dos Santos – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro
Prof. Me. Carlos Augusto Zilli – Instituto Federal de Santa Catarina
Prof. Me. Christopher Smith Bignardi Neves – Universidade Federal do Paraná
Profª Drª Cláudia de Araújo Marques – Faculdade de Música do Espírito Santo
Profª Drª Cláudia Taís Siqueira Cagliari – Centro Universitário Dinâmica das Cataratas
Prof. Me. Clécio Danilo Dias da Silva – Universidade Federal do Rio Grande do Norte
Prof. Me. Daniel da Silva Miranda – Universidade Federal do Pará
Profª Ma. Daniela da Silva Rodrigues – Universidade de Brasília
Profª Ma. Daniela Remião de Macedo – Universidade de Lisboa

Profª Ma. Dayane de Melo Barros – Universidade Federal de Pernambuco
Prof. Me. Douglas Santos Mezacas – Universidade Estadual de Goiás
Prof. Me. Edevaldo de Castro Monteiro – Embrapa Agrobiologia
Prof. Me. Edson Ribeiro de Britto de Almeida Junior – Universidade Estadual de Maringá
Prof. Me. Eduardo Gomes de Oliveira – Faculdades Unificadas Doctum de Cataguases
Prof. Me. Eduardo Henrique Ferreira – Faculdade Pitágoras de Londrina
Prof. Dr. Edwaldo Costa – Marinha do Brasil
Prof. Me. Eliel Constantino da Silva – Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita
Prof. Me. Ernane Rosa Martins – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás
Prof. Me. Euvaldo de Sousa Costa Junior – Prefeitura Municipal de São João do Piauí
Prof. Dr. Everaldo dos Santos Mendes – Instituto Edith Theresa Hedwing Stein
Prof. Me. Ezequiel Martins Ferreira – Universidade Federal de Goiás
Profª Ma. Fabiana Coelho Couto Rocha Corrêa – Centro Universitário Estácio Juiz de Fora
Prof. Me. Fabiano Eloy Atilio Batista – Universidade Federal de Viçosa
Prof. Me. Felipe da Costa Negrão – Universidade Federal do Amazonas
Prof. Me. Francisco Odécio Sales – Instituto Federal do Ceará
Prof. Me. Francisco Sérgio Lopes Vasconcelos Filho – Universidade Federal do Cariri
Profª Drª Germana Ponce de Leon Ramírez – Centro Universitário Adventista de São Paulo
Prof. Me. Gevair Campos – Instituto Mineiro de Agropecuária
Prof. Me. Givanildo de Oliveira Santos – Secretaria da Educação de Goiás
Prof. Dr. Guilherme Renato Gomes – Universidade Norte do Paraná
Prof. Me. Gustavo Krahl – Universidade do Oeste de Santa Catarina
Prof. Me. Helton Rangel Coutinho Junior – Tribunal de Justiça do Estado do Rio de Janeiro
Profª Ma. Isabelle Cerqueira Sousa – Universidade de Fortaleza
Profª Ma. Jaqueline Oliveira Rezende – Universidade Federal de Uberlândia
Prof. Me. Javier Antonio Albornoz – University of Miami and Miami Dade College
Prof. Me. Jhonatan da Silva Lima – Universidade Federal do Pará
Prof. Dr. José Carlos da Silva Mendes – Instituto de Psicologia Cognitiva, Desenvolvimento Humano e Social
Prof. Me. Jose Elyton Batista dos Santos – Universidade Federal de Sergipe
Prof. Me. José Luiz Leonardo de Araujo Pimenta – Instituto Nacional de Investigación Agropecuaria Uruguay
Prof. Me. José Messias Ribeiro Júnior – Instituto Federal de Educação Tecnológica de Pernambuco
Profª Drª Juliana Santana de Curcio – Universidade Federal de Goiás
Profª Ma. Juliana Thaisa Rodrigues Pacheco – Universidade Estadual de Ponta Grossa
Profª Drª Kamilly Souza do Vale – Núcleo de Pesquisas Fenomenológicas/UFPA
Prof. Dr. Kárpio Márcio de Siqueira – Universidade do Estado da Bahia
Profª Drª Karina de Araújo Dias – Prefeitura Municipal de Florianópolis
Prof. Dr. Lázaro Castro Silva Nascimento – Laboratório de Fenomenologia & Subjetividade/UFPR
Prof. Me. Leonardo Tullio – Universidade Estadual de Ponta Grossa
Profª Ma. Lilian Coelho de Freitas – Instituto Federal do Pará
Profª Ma. Lilian de Souza – Faculdade de Tecnologia de Itu
Profª Ma. Liliani Aparecida Sereno Fontes de Medeiros – Consórcio CEDERJ
Profª Drª Livia do Carmo Silva – Universidade Federal de Goiás
Prof. Dr. Lucio Marques Vieira Souza – Secretaria de Estado da Educação, do Esporte e da Cultura de Sergipe
Prof. Dr. Luan Vinicius Bernardelli – Universidade Estadual do Paraná
Profª Ma. Luana Ferreira dos Santos – Universidade Estadual de Santa Cruz
Profª Ma. Luana Vieira Toledo – Universidade Federal de Viçosa
Prof. Me. Luis Henrique Almeida Castro – Universidade Federal da Grande Dourados
Prof. Me. Luiz Renato da Silva Rocha – Faculdade de Música do Espírito Santo
Profª Ma. Luma Sarai de Oliveira – Universidade Estadual de Campinas
Prof. Dr. Michel da Costa – Universidade Metropolitana de Santos

Prof. Me. Marcelo da Fonseca Ferreira da Silva – Governo do Estado do Espírito Santo
Prof. Dr. Marcelo Máximo Purificação – Fundação Integrada Municipal de Ensino Superior
Prof. Me. Marcos Aurelio Alves e Silva – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de São Paulo
Profª Ma. Maria Elanny Damasceno Silva – Universidade Federal do Ceará
Profª Ma. Marileila Marques Toledo – Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri
Prof. Dr. Pedro Henrique Abreu Moura – Empresa de Pesquisa Agropecuária de Minas Gerais
Prof. Me. Pedro Panhoca da Silva – Universidade Presbiteriana Mackenzie
Profª Drª Poliana Arruda Fajardo – Universidade Federal de São Carlos
Prof. Me. Rafael Cunha Ferro – Universidade Anhembi Morumbi
Prof. Me. Ricardo Sérgio da Silva – Universidade Federal de Pernambuco
Prof. Me. Renan Monteiro do Nascimento – Universidade de Brasília
Prof. Me. Renato Faria da Gama – Instituto Gama – Medicina Personalizada e Integrativa
Profª Ma. Renata Luciane Polsaque Young Blood – UniSecal
Prof. Me. Robson Lucas Soares da Silva – Universidade Federal da Paraíba
Prof. Me. Sebastião André Barbosa Junior – Universidade Federal Rural de Pernambuco
Profª Ma. Silene Ribeiro Miranda Barbosa – Consultoria Brasileira de Ensino, Pesquisa e Extensão
Profª Ma. Solange Aparecida de Souza Monteiro – Instituto Federal de São Paulo
Profª Ma. Taiane Aparecida Ribeiro Nepomoceno – Universidade Estadual do Oeste do Paraná
Prof. Me. Tallys Newton Fernandes de Matos – Faculdade Regional Jaguaribana
Profª Ma. Thatianny Jasmine Castro Martins de Carvalho – Universidade Federal do Piauí
Prof. Me. Tiago Silvio Dedoné – Colégio ECEL Positivo
Prof. Dr. Welleson Feitosa Gazel – Universidade Paulista

Engenharia agrônômica: ambientes agrícolas e seus campos de atuação 3

Bibliotecária: Janaina Ramos
Diagramação: Camila Alves de Cremo
Correção: Mariane Aparecida Freitas
Edição de Arte: Luiza Alves Batista
Revisão: Os Autores
Organizadora: Tamara Rocha dos Santos

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)

E57 Engenharia agrônômica: ambientes agrícolas e seus campos de atuação 3 / Organizadora Tamara Rocha dos Santos. – Ponta Grossa - PR: Atena, 2021.

Formato: PDF

Requisitos de sistema: Adobe Acrobat Reader

Modo de acesso: World Wide Web

Inclui bibliografia

ISBN 978-65-5983-041-1

DOI 10.22533/at.ed.411210305

1. Agronomia. I. Santos, Tamara Rocha dos (Organizadora). II. Título.

CDD 630

Elaborado por Bibliotecária Janaina Ramos – CRB-8/9166

Atena Editora
Ponta Grossa – Paraná – Brasil
Telefone: +55 (42) 3323-5493
www.atenaeditora.com.br
contato@atenaeditora.com.br

DECLARAÇÃO DOS AUTORES

Os autores desta obra: 1. Atestam não possuir qualquer interesse comercial que constitua um conflito de interesses em relação ao artigo científico publicado; 2. Declaram que participaram ativamente da construção dos respectivos manuscritos, preferencialmente na: a) Concepção do estudo, e/ou aquisição de dados, e/ou análise e interpretação de dados; b) Elaboração do artigo ou revisão com vistas a tornar o material intelectualmente relevante; c) Aprovação final do manuscrito para submissão.; 3. Certificam que os artigos científicos publicados estão completamente isentos de dados e/ou resultados fraudulentos; 4. Confirmam a citação e a referência correta de todos os dados e de interpretações de dados de outras pesquisas; 5. Reconhecem terem informado todas as fontes de financiamento recebidas para a consecução da pesquisa.

APRESENTAÇÃO

A “Engenharia Agrônômica: Ambientes Agrícolas e seus Campos de Atuação” é uma obra que apresenta dentro de seu contexto amplas visões que reflete em ambientes agrícolas e seus campos de atuação trazendo inovações tecnológicas e sustentáveis que proporciona em melhorias sociais, ambientais e econômicas para toda comunidade agrária.

A coleção é baseada na discussão científica através de diversos trabalhos que constitui seus capítulos. Os volumes abordam de modo agrupado e multidisciplinar pesquisas, trabalhos, revisões e relatos de que trilham nos vários caminhos da Engenharia Agrônômica.

O objetivo principal foi apresentar de modo agrupado e conciso a diversidade e amplitude de estudos desenvolvidos em inúmeras instituições de ensino e pesquisa do país. Inicialmente são apresentados trabalhos relacionados a sustentabilidade, envolvendo questões agroecológicas, produção orgânica e natural, e suas relações sociais. Em seguida são contemplados estudos acerca de inovações tecnológicas do meio rural, que abrange qualidade de sementes, nutrição mineral, mecanização, genética, dentre outros. Na sequência são expostos trabalhos voltados à irrigação e manejo do solo, envolvendo processos hídricos, sistemas agroflorestais e adubação.

A obra apresenta-se como atual, com pesquisas modernas e de grande relevância para o país. Apresenta distintos temas interessantes, discutidos aqui com a proposta de basear o conhecimento de acadêmicos, mestres, doutores e todos que de algum modo se dedicam pela Engenharia Agrônômica. Abrange todas regiões do país, valorizando seus diferentes climas e hábitos.

Inicialmente são apresentados trabalhos relacionados a sustentabilidade, envolvendo questões agroecológicas, produção orgânica e natural, e suas relações sociais. Em seguida são contemplados estudos acerca de inovações tecnológicas do meio rural, que abrange qualidade de sementes, nutrição mineral, mecanização, genética, dentre outros. Na sequência são expostos trabalhos voltados à irrigação e manejo do solo, envolvendo processos hídricos, sistemas agroflorestais e adubação.

Assim a obra Engenharia Agrônômica: Ambientes Agrícolas e seus Campos de Atuação expõe um conceito bem fundamentado nos resultados práticos atingidos pelos diversos educadores e acadêmicos que desenvolveram arduamente seus trabalhos aqui apresentados de modo claro e didático. Sabe-se da importância da divulgação científica, portanto ressalta-se também a organização da Atena Editora habilitada a oferecer uma plataforma segura e transparente para os pesquisadores exibirem e disseminarem seus resultados.

SUMÁRIO

CAPÍTULO 1..... 1

PRODUTIVIDADE DA ÁGUA DE IRRIGAÇÃO EM UMA REGIÃO SEMIÁRIDA: UM ESTUDO NA BACIA DO SALGADO – CE, BRASIL

José Antônio Frizzone

Verônica Gaspar Martins Leite de Melo

Sílvio Carlos Ribeiro Vieira Lima

Claudivan Feitosa de Lacerda

DOI 10.22533/at.ed.4112103051

CAPÍTULO 2..... 15

CARACTERÍSTICAS HIDROLÓGICAS DE CHUVAS PARA CONSERVAÇÃO DE SOLOS E ÁGUA NA CIDADE DE GOIÁS (GO)

Larissa Santos Castro

Roriz Luciano Machado

Joaquim José Frazão

Cássia Cristina Rezende

Aline Franciel de Andrade

Elizabete Alves Ferreira

Henrique Fonseca Elias de Oliveira

DOI 10.22533/at.ed.4112103052

CAPÍTULO 3..... 34

RECOMENDAÇÃO DE LÂMINAS DE FERTIRRIGAÇÃO COM ÁGUA RESIDUÁRIA DA BOVINOCULTURA APÓS TRATAMENTO EM REATOR UASB

Júlia Camargo da Silva Mendonça Gomes

Camila da Motta de Carvalho

Everaldo Zonta

Henrique Vieira de Mendonça

DOI 10.22533/at.ed.4112103053

CAPÍTULO 4..... 39

IMPLICATIONS OF AGRICULTURAL GYPSUM DOSES IN PHYSICAL-HYDRIC ATTRIBUTES OF A TYPIC HAPLORTOX AND ON ROOT GROWTH AND SOYBEAN PRODUCTIVITY

Francisco de Assis Guedes Junior

Deonir Secco

Luciene Kazue Tokura

DOI 10.22533/at.ed.4112103054

CAPÍTULO 5..... 53

ÁCIDOS FÚLVICOS, HÚMICOS E HUMINA EM LATOSSOLO SOB USO EM SISTEMA AGROFLORESTAL, POUSIO E PRESERVAÇÃO PERMANENTE

Allana Pereira Moura da Silva

Julian Junio de Jesus Lacerda

Caio de Meneses Cabral

DOI 10.22533/at.ed.4112103055

CAPÍTULO 6.....59

CALIBRAÇÃO DO MÉTODO DE DISSIPAÇÃO TÉRMICA NA MEDIDA DO FLUXO DE SEIVA EM PINHÃO-MANSO

Ana Daniela Lopes
Vinicius Melo Rocha
Daniel Haraguchi Santos
Rafael Corradini
José Júnior Severino
João Paulo Francisco
Leonardo Duarte Batista da Silva
Marcos Vinicius Folegatti

DOI 10.22533/at.ed.4112103056

CAPÍTULO 7.....70

CLASSIFICAÇÃO EM PENEIRA DE GRÃOS DO CAFEIEIRO CONILON SOB MANEJO IRRIGADO E SEQUEIRO

Matheus Gaspar Schwan
Pedro Henrique Steill de Oliveira
Jussara Oliveira Gervasio
Joab Luhan Ferreira Pedrosa
Ralph Bonandi Barreiros
Lucas Rosa Pereira
Edvaldo Fialho dos Reis

DOI 10.22533/at.ed.4112103057

CAPÍTULO 8.....80

DESENVOLVIMENTO DE UM SOFTWARE EM PYTHON PARA ESTIMAR A EVAPOTRANSPIRAÇÃO DE REFERÊNCIA ATRAVÉS DO MÉTODO DE THORNTHWAITE

Victor Rodrigues Nascimento
André Luiz de Carvalho
Arthur Costa Falcão Tavares
Guilherme Bastos Lyra
Iêdo Peroba de Oliveira Teodoro
João Pedro dos Santos Verçosa

DOI 10.22533/at.ed.4112103058

CAPÍTULO 9.....88

CONSTRUÇÃO, CALIBRAÇÃO E DESEMPENHO DE LISIMETROS DE PESAGEM PARA DETERMINAÇÃO DA EVAPOTRANSPIRAÇÃO DE CULTURA

Ana Daniela Lopes
Vinicius Melo Rocha
Daniel Haraguchi Santos
Rafael Corradini
José Júnior Severino
João Paulo Francisco
Leonardo Duarte Batista da Silva
Marcos Vinicius Folegatti

DOI 10.22533/at.ed.4112103059

CAPÍTULO 10	100
BALANCE DE MATERIA ORGANICA Y CAPACIDAD DE MINERALIZACIÓN DE NITRÓGENO DE DISTINTOS SUELOS CON FERTILIZACIÓN CONTINUA	
Liliana Vega Jara	
DOI 10.22533/at.ed.41121030510	
CAPÍTULO 11	112
AGREGAÇÃO SOB DIFERENTES PEDOFORMAS EM FLORESTA ESTACIONAL SEMIDECIDUAL, NO SUDESTE DO BRASIL	
Luiz Alberto da Silva Rodrigues Pinto	
Vanessa Aparecida Freo	
Marcos Gervasio Pereira	
Alexandre Santos Medeiros	
Cristiane Figueira da Silva	
Otávio Augusto Queiroz dos Santos	
Renato Siquini de Souza	
DOI 10.22533/at.ed.41121030512	
CAPÍTULO 12	127
USO DE TENSÍÔMETROS NA DETERMINAÇÃO DA RETENÇÃO DE ÁGUA EM DIFERENTES SUBSTRATOS PARA PLANTAS ORNAMENTAIS	
Fátima Cibele Soares	
Giordana Trindade de Abreu	
Jumar Luís Russi	
DOI 10.22533/at.ed.41121030513	
SOBRE A ORGANIZADORA	140
ÍNDICE REMISSIVO	141

CAPÍTULO 1

PRODUTIVIDADE DA ÁGUA DE IRRIGAÇÃO EM UMA REGIÃO SEMIÁRIDA: UM ESTUDO NA BACIA DO SALGADO – CE, BRASIL

Data de aceite: 28/04/2021

Data de submissão: 07/03/2021

José Antônio Frizzone

Universidade de São Paulo, Departamento de
Engenharia de Biosistemas – ESALQ/USP
Piracicaba - SP

Bolsista de Inovação Tecnológica–FUNCAP– CE
Bolsista de Produtividade em Pesquisa - CNPq
<http://lattes.cnpq.br/1938995897164854>

Verônica Gaspar Martins Leite de Melo

Universidade de São Paulo, Departamento de
Engenharia de Biosistemas – ESALQ/ USP
Piracicaba - SP

<http://lattes.cnpq.br/5461315063608561>

Sílvio Carlos Ribeiro Vieira Lima

Secretário Executivo de Agronegócio
SEDET–CE
Fortaleza - CE

<http://lattes.cnpq.br/5215677939309020>

Claudivan Feitosa de Lacerda

Universidade Federal do Ceará
Departamento de Engenharia Agrícola – UFC
Fortaleza – CE

<http://lattes.cnpq.br/4576414337840820>

RESUMO: A bacia do Salgado insere-se em uma região semiárida do estado do Ceará, Brasil. Essa constitui importante região produtora de alimentos e enfrenta restrição na disponibilidade de recursos hídricos. Neste estudo, o desempenho da agricultura irrigada foi analisado utilizando-se critérios

de segurança hídrica, produtiva, econômica e social. Baixos índices de desempenho sempre estiveram associados a inadequação de mais de um indicador de segurança. De uma forma geral os resultados indicaram a necessidade de redução do volume de água aplicado pela irrigação, aumento da produtividade, da renda e de empregos. Culturas ocupando a maior parte da área cultivada (e.g., arroz, banana, cana-de-açúcar, coco verde, goiaba, maracujá, milho verde) requerem volumes elevados de água para irrigação. Para essas culturas, são necessárias intervenções técnicas relativas ao manejo do sistema solo-água-plantas visando a melhoria da produtividade da água. Em condições de fortes restrições hídricas e grande competição pelo uso da água, como é o caso da bacia do Salgado, sugere-se que não sejam dadas prioridades aos cultivos irrigados que apresentem baixo índice de desempenho, por exemplo, inferior a 0,70. O estudo aqui apresentado poderá dar suporte às políticas públicas no âmbito da irrigação e das técnicas agrônomicas necessárias à melhoria do desempenho da agricultura irrigada.

PALAVRAS-CHAVE: Coeficiente de uso consuntivo da irrigação, produtividade física da água, produtividade econômica da água.

IRRIGATION WATER PRODUCTIVITY IN A SEMI-ARID REGION – A CASE STUDY IN THE SALGADO BASIN – CE, BRAZIL

ABSTRACT: The Salgado Basin belongs to the semi-arid region of Ceará State, Brazil. It is an important food producing region that faces constraints of water resources. In this study, the performance of irrigated agriculture was analyzed

based on water, productivity, economic and social security. Low levels of performance always were related to more than one index of security. Overall, results indicated that is necessary to reduce the volume of water for irrigation, to increase yield, incomes, and employment. Crops occupying most of cultivated land (e.g., rice, banana, sugarcane, coconut, guava, passion-fruit, corn), require high volumes of water for irrigation. For these crops, technical interventions related to management of the soil-water-plant system are necessary to improve water productivity. Under severe shortage of water resources and disputes among water users, which applies for the Salgado River Basin, irrigated crops of low performance index (e.g., smaller than 0.70) should not be prioritized. This study may support public policies related to irrigation and agronomical techniques necessary to improve the performance of irrigated agriculture.

KEYWORDS: Irrigation consumptive use coeficiente, physical water productivity, economic water productivity.

1 | INTRODUÇÃO

A bacia do rio Salgado é uma das cinco sub-bacias do rio Jaguaribe e se posiciona na porção meridional do Estado do Ceará. Possui uma extensão de 308 km e drena uma área de 12.623.89 km², o equivalente a 9% do território cearense. Depois da bacia do Baixo Jaguaribe, é uma das mais importantes regiões produtora de alimentos, sob irrigação, do estado do Ceará. Possui baixa capacidade de acumulação de águas superficiais (447.210.000 m³). A disponibilidade de águas subterrâneas é 127.600.758 m³. O clima é do tipo BSW'h' pela classificação de Köppen, quente e semiárido, com grande variabilidade na distribuição espacial das chuvas (INESP, 2009).

Historicamente a escassez hídrica no Estado do Ceará foi justificada apenas por condições eminentemente climáticas. Atualmente, porém, deixou de ser exclusivamente um fator natural para ser, também, consequência da crescente demanda pelos múltiplos usos, dentre os quais a agricultura irrigada, turismo, crescimento populacional e indústria, são dependentes de grandes quantidades de água. Melhorar a gestão dos recursos hídricos na agricultura é objetivo prioritário em todo o mundo (HUANG e ZHANG, 2020).

Os irrigantes estão sob pressão crescente para garantir a segurança alimentar bem como a sustentabilidade ambiental e econômica de longo prazo (KOECH; LANGAT, 2018). A disponibilidade de água afeta diretamente a produção de alimentos e o suprimento suficiente de água é vital para garantir o crescimento das culturas e a sobrevivência do homem (FERNÁNDEZ et al, 2020). Esse desafio é maior nas regiões áridas e semiáridas, onde a escassez é o fator limitante mais importante para a produtividade das plantas. Essas condições podem se tornar mais severas pelo aquecimento global (SUN et al., 2017). Pela falta de recursos hídricos nesses agro-ecossistemas, grande parte das áreas cultivadas não é irrigada e a agricultura é manejada sob condições de sequeiro (HADEBE et al., 2017), com baixa produtividade.

Aumentar a eficiência do uso da água na fazenda requer decisões sábias sobre o sistema de irrigação, a estratégia de irrigação e o método para programar a irrigação, entre outros fatores relacionados ao gerenciamento da água. Desde o início dos anos 2000, a abordagem da produtividade da água tem sido amplamente usada para resolver esse problema. Ele fornece indicadores úteis para a produtividade física da água e o desempenho econômico da irrigação. A análise da literatura, entretanto, mostra confusão no uso dos termos e falta de acordo nas equações (HEYDARI, 2014). Este artigo é focado no uso racional da abordagem de produtividade da água para o irrigante para melhorar a produtividade física e econômica da água em escala de campo, na bacia do rio Salgado, no estado do Ceará.

2 | MATERIAL E MÉTODOS

O coeficiente de uso consuntivo da irrigação (ICUC) é sugerido para definir a fração da água de irrigação aplicada a um campo, fazenda ou projeto que é convertida em vapor ou consumida (transpiração mais evaporação da superfície do solo ou das plantas) (BURT et al. 1997). O são medidas físicas de uma dada tecnologia de irrigação presumindo um nível de manejo e, portanto, não é comparáveis ao termo eficiência de uso de água ou produtividade da água. A fração não consumida é $1 - ICUC$, representa a porção recuperável.

Em qualquer estudo de balanço hídrico de um projeto ou bacia hidrográfica ou ao estimar o impacto de alguma intervenção, deve-se considerar ambos os indicadores, a fração consumida e a não consumida (JENSEN, 2007). O indicador ICUC é apropriado ao considerar a água consumida (evapotranspiração da cultura – ET) na produção do efeito desejado (produção da cultura), mas é um termo inapropriado se considerar a água não consumida como desperdiçada, uma vez que frequentemente essa água é recuperada e reutilizada em escala de bacia hidrográfica (GRAFTON, et al. 2018).

Nos sistemas de produção agrícola a WFP é usada para definir a relação entre produção comercial das culturas e a quantidade de água consumida nesta produção (ET), e tem servido como um indicador para quantificar o impacto dos calendários de irrigação com relação ao manejo da água. Dessa forma, a produção total de biomassa (matéria seca) é transformada em produção comercial da cultura (VAZIFEDOUST et. al. 2008; PERRY et al. 2009) e define-se WFP com respeito à ET (WFP_{ET}), conforme Eq. (1). A WFP_{ET} constitui a chave para avaliação das estratégias de irrigação com déficit (GEERTS e RAES, 2009).

$$WFP_{ET} = \frac{\text{Rendimento comercial da cultura (kg)}}{\text{Evapotranspiração da cultura (m}^3\text{)}} \quad (1)$$

Na escala de campo, o uso de água representado no denominador das Eq. (1) é difícil de ser determinado com precisão. Assim, em algumas situações, outros substitutos para WFP são usados por muitos profissionais de irrigação e, como consequência, resultam diferentes valores. Se a quantidade total de água aplicada [irrigação (IR) + precipitação

efetiva (PE)] é considerada como água consumida pela cultura, então a Eq. (1) pode ser usada para determinar a produtividade física da água (WFP_{IR+PE}) [Eq. (2)]. O denominador da Eq. (2) é um substituto do uso de água para se obter o rendimento comercial correspondente. Sob condições de muito baixa precipitação, como em regiões áridas e semi-áridas, pode-se converter WFP_{IR+PE} em WFP_{IR} (Eq. 3). Nesses casos negligencia-se a variação do armazenamento de água no solo durante o ciclo da cultura, a percolação, a ascensão capilar e o escoamento superficial. Muitos profissionais usam as Eqs. (2) e (3) com a finalidade de identificar diferenças entre os métodos de irrigação e/ou manejo de irrigação.

$$WFP_{IR+PE} = \frac{\text{Rendimento comercial da cultura (kg)}}{\text{Volume de irrigação + precipitação (m}^3\text{)}} \quad (2)$$

$$WFP_{IR} = \frac{\text{Rendimento comercial da cultura (kg)}}{\text{Volume de irrigação (m}^3\text{)}} \quad (3)$$

Observa-se relativo consenso sobre o numerador de WFP ser o rendimento comercial. A biomassa total seca ou fresca ou produto colhido pode ser usado no numerador, expresso em termos físicos ou econômicos. No entanto, como os valores econômicos de diferentes produtos agrícolas não são os mesmos, a produtividade da água deve ser definida economicamente (HEYDARI, 2014). Por outro lado, algumas culturas são de base úmida, outras de base seca, algumas culturas como alfafa e milho podem ser reportadas em ambas as bases e para algumas outras o produto final é mais importante (por exemplo, cana-de-açúcar, beterraba açucareira, arroz em casca, etc.). Já a definição e os componentes do denominador diferem entre os autores. Alguns consideram apenas a água transpirada pela cultura (BOUMAN, 2007), mas a maioria inclui tanto a água evaporada do solo quanto a transpirada pela cultura. Pereira et al. (2012) sugeriram o uso do volume total de água envolvido na produção, isto é, além da ET somam-se a fração de lixiviação quando houver risco de sal na zona radicular e o uso não benéfico de água, ou seja, a água que é percolada, escoada do local de cultivo e derivada pelo vento quando a irrigação é por aspersão (isto é, volume total de água aplicado).

O conceito de produtividade da água pode se referir à produção física ou ao seu valor econômico (RODRIGUES e PEREIRA, 2009; HEYDARI, 2014). Um termo adequado para o último é a produtividade econômica da água (WEP), que se refere à razão entre produtos e insumos em termos monetários. Para culturas com baixos custos de investimento, por exemplo cereais, a produtividade econômica bruta da água de irrigação ($WEPB_{IR}$), que considera a margem bruta (receita bruta menos os custos variáveis) é aceitável [Eq. (4)] (FERNÁNDEZ et al., 2020):

$$WEPB_{IR} = \frac{\text{Margem bruta (\$ ha}^{-1}\text{)}}{\text{Volume de irrigação (m}^3\text{ha}^{-1}\text{)}} \quad (4)$$

em que o denominado representa apenas o uso da água aplicada por irrigação.

No caso de culturas lenhosas e outras culturas que requerem substancial investimento desde o início, a produtividade econômica líquida da água ($WEPL_{IR}$) é um indicador mais adequado (FERNÁNDEZ et al., 2020), pois considera a margem líquida em vez da margem bruta, ou seja, inclui os custos variáveis e os fixos [Eq. (5)]:

$$WEPL_{IR} = \frac{\text{Margem líquida } (\$ \text{ ha}^{-1})}{\text{Volume de irrigação } (\text{m}^3 \text{ ha}^{-1})} \quad (5)$$

Ainda assim, nem $WEPB_{IR}$ nem $WEPL_{IR}$ consideram os custos de oportunidade, definidos como os benefícios perdidos ao longo da vida útil da cultura a uma determinada taxa de juros (FERNÁNDEZ et al., 2020). Uma análise econômica adequada deve considerar os custos de oportunidade. Portanto, a produtividade econômica da água total (WEP_{IR+PE}), definida pela Eq. (6) é recomendada:

$$WEP_{IR+PE} = \frac{\text{lucro } (\$ \text{ ha}^{-1})}{\text{Volume de irrigação} + \text{PE } (\text{m}^3 \text{ ha}^{-1})} \quad (6)$$

Se apenas o volume de irrigação for considerado no denominador, tem-se a produtividade econômica da água de irrigação (WEP_{IR}).

O lucro no numerador da Eq. (6) é definido como a receita bruta menos a soma dos custos variáveis, fixos e de oportunidade. Então WEP_{IR+PE} e WEP_{IR} são adequados para tomar decisões sobre o manejo de irrigação de culturas lenhosas (FERNÁNDEZ et al., 2020). Ressalta-se que o tempo de vida da cultura afeta o valor WEP resultante, devido ao seu impacto nos custos fixos e de oportunidade. Isso é particularmente relevante para pomares de árvores frutíferas. Tanto WEP_{IR+PE} quanto WEP_{IR} são particularmente úteis para irrigantes que precisam tomar decisões sobre como gerenciar a irrigação da maneira mais lucrativa, ou seja, quando a meta de produção é aumentar a lucratividade e não a produtividade física da água. Entretanto, um cálculo preciso do WEP_{IR+PE} e WEP_{IR} não pode ser feito antes do final da colheita, quando a receita e os custos ainda não são conhecidos. A receita é dada pelo rendimento e pelo valor de mercado e, para o cálculo dos custos totais, devem ser conhecidos os custos fixos, variáveis e de oportunidade (ALCON et al., 2013). Isso limita a utilização de WEP_{IR+PE} e WEP_{IR} para a tomada de decisão na irrigação, uma vez que a avaliação econômica deve ser feita antes do início da temporada de irrigação. O desafio é maior quando o valor do rendimento depende da qualidade do produto e quando o preço de alguns insumos, como energia, fertilizantes e defensivos, varia de uma temporada para outra e mesmo durante o período de crescimento.

Indicadores de desempenho da agricultura irrigada são parâmetros importantes para se analisar o impacto da irrigação sobre a produção agrícola, receita líquida e geração de empregos em uma região. Para analisar o desempenho das culturas irrigadas são propostos neste estudo indicadores de desempenho agrupados em quatro classes (Tabela 4), cada uma composta por dois indicadores: (a) segurança produtiva – indicadores: produtividade

da terra (kg ha^{-1}) e produtividade da água (kg m^{-3}), (b) segurança econômica – indicadores: produtividade econômica da terra ($\text{R\$ ha}^{-1}$) e produtividade econômica da água aplicada ($\text{R\$ m}^{-3}$), (c) segurança social – indicadores: quantidade de empregos gerados por unidade de área (empregos ha^{-1}) e por unidade de volume de água aplicada (empregos m^{-3}) e (d) segurança hídrica – quantidade de água utilizada na irrigação por unidade de área ($\text{m}^3 \text{ha}^{-1}$) e ciclo da cultura.

Para formular um índice geral de desempenho da agricultura irrigada (I) foram definidas as seguintes relações adimensionais:

(a) Segurança hídrica: os dois indicadores são:

(a₁) Coeficiente de uso consuntivo da irrigação (ICUC_{ij}):

$$\text{ICUC}_{ij} = \frac{\text{VR}_{ij}}{\text{VA}_{ij}} \quad (7)$$

sendo VR_{ij} o volume líquido de irrigação requerido ($\text{m}^3 \text{ha}^{-1}$) pela cultura *i* na sub-bacia *j*, e VA_{ij} o volume bruto de irrigação aplicado ($\text{m}^3 \text{ha}^{-1}$). Para culturas irrigadas com déficit hídrico o valor de será maior que 1. No entanto, na análise que segue para desempenho das culturas irrigadas, o será assumido no máximo igual a 1.

(a₂) Ciclo da cultura:

Culturas permanentes: $C_i = 0,5$

Culturas temporárias de ciclo longo (ciclo ≥ 180 dias): $C_i = 0,75$

Culturas temporárias de ciclo curto (ciclo < 180 dias): $C_i = 1,0$

sendo C_i o peso atribuído à cultura *i*, referente ao comprimento do ciclo.

(b) Segurança produtiva: os dois indicadores são:

(b₁) Razão de produtividade física da terra (LFPR_{ij}):

$$\text{LFPR}_{ij} = \frac{\text{LFP}_{ij}}{\text{LFP}_{i \text{ máx}}} \quad (8)$$

sendo LFP_{ij} a produtividade física da terra (kg ha^{-1}) da cultura *i* na sub-bacia *j*, e $\text{LFP}_{i \text{ máx}}$ a máxima produtividade física da terra (kg ha^{-1}) observada na bacia para a cultura *i*.

(b₂) Razão de produtividade física da água (WFPR_{ij}):

$$\text{WFPR}_{ij} = \frac{\text{WFP}_{ij}}{\text{WFP}_{i \text{ máx}}} \quad (9)$$

sendo WFP_{ij} a produtividade física da água (kg m^{-3}) da cultura *i* na sub-bacia *j*, e $\text{WFP}_{i \text{ máx}}$ a máxima produtividade física da água (kg m^{-3}) observada na bacia para a cultura *i*.

(c) Segurança econômica: os dois indicadores são:

(c₁) Razão de produtividade econômica da terra (LEPR_{ij}):

$$\text{LEPR}_{ij} = \frac{\text{LEP}_{ij}}{\text{LEP}_{i \text{ máx}}} \quad (10)$$

sendo LEP_{ij} a produtividade econômica da terra ($\text{R\$ ha}^{-1}$) da cultura *i* na sub-bacia

j , e $LEP_{i\text{ máx}}$ a máxima produtividade econômica da terra observada na bacia (R\$ ha⁻¹) para a cultura i .

(c₂) Razão de produtividade econômica da água (WEPR):

$$WEPR_{ij} = \frac{WEP_{i,j}}{WEP_{i\text{ máx}}} \quad (11)$$

sendo $WEP_{i,j}$ a produtividade econômica da água (R\$ m⁻³) da cultura i na sub-bacia j , e $WEP_{i\text{ máx}}$ a máxima produtividade econômica da água (R\$ m⁻³) observada na bacia para a cultura i .

(d) Segurança Social: os dois indicadores são:

(d₁) Razão de número de empregos gerados por unidade de área (LLABR):

$$LLABR_{ij} = \frac{LLAB_{i,j}}{LLAB_{i\text{ máx}}} \quad (12)$$

sendo $LLAB_{i,j}$ o número de empregos gerados por unidade de área (empregos ha⁻¹) pela cultura i na sub-bacia j , e $LLAB_{i\text{ máx}}$ o número máximo de empregos gerados por unidade de área (empregos ha⁻¹) observado na bacia para a cultura i .

(d₂) Razão de número de empregos gerados por unidade de volume de água aplicado (WLABR):

$$WLABR_{ij} = \frac{WLAB_{i,j}}{WLAB_{i\text{ máx}}} \quad (13)$$

sendo $WLAB_{i,j}$ o número de empregos gerados por unidade de volume de água aplicada (empregos m⁻³) pela cultura i na sub-bacia j , e $WLAB_{i\text{ máx}}$ o número máximo de empregos gerados por unidade de volume de água aplicada (empregos m⁻³) observado na bacia para a cultura i .

O índice de desempenho (I) para uma cultura irrigada i na sub-bacia j foi definido da seguinte forma:

$$I_{ij} = \alpha_1 ICUC_{ij} + \alpha_2 ICUC_{ij} + \alpha_3 LFPR_{ij} + \alpha_4 WFPR_{ij} + \alpha_5 LEPR_{ij} + \alpha_6 WEPR_{ij} + \alpha_7 LLABR_{ij} + \alpha_8 WLABR_{ij} \quad (14)$$

sendo α_k os pesos atribuídos pelo gestor a cada razão de segurança de acordo com suas prioridades; $\alpha_1 + \alpha_2 + \dots + \alpha_8 = 1$. Se $\alpha_1 = \alpha_2 = \dots = \alpha_8 = \alpha$, então $\alpha = 1/8$ e I_{ij} corresponde à média aritmética das razões de segurança. O valor de I_{ij} varia entre zero e 1. Quanto mais próximo de 1 melhor é o desempenho da cultura irrigada e, conforme I_{ij} vai reduzindo, significa que uma ou mais razões de segurança estão baixas e a atividade agrícola necessita de alguma intervenção de melhoria. O índice I_{ij} também serve para priorizar as atividades agrícolas irrigadas. Para culturas irrigadas com déficit hídrico obtém-se $ICUC$ maior que 1. Para normalizar I_{ij} entre zero e 1, considerou-se $0 \leq ICUC_{ij} \leq 1$.

Para o cálculo do indicador de produtividade econômica considerou-se a margem

líquida, isto é, da receita bruta subtraíram-se os custos fixos e as variáveis. As informações sobre áreas cultivadas, produtividade física da terra, volume bruto de irrigação aplicado aos cultivos, empregos gerados por unidade de área pelas atividades agrícolas, custos de produção e valor da produção foram obtidas na base de dados da Agência de Desenvolvimento do Estado do Ceará (ADECE, 2018) e Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE, 2017). O estudo de caso foi feito com as informações do ano de 2017.

Utilizou-se o método de Penman-Monteith divulgado no Boletim FAO 56 (ALLEN et al., 1988) para cálculo da evapotranspiração de referência (ET_o). Os coeficientes de cultura (K_c), utilizados para o cálculo da evapotranspiração de cultura (ET_c) foram aqueles divulgados pela FAO 56 adaptados para as condições climáticas da região. Os dados utilizados para o cálculo da ET_o na bacia do Salgado foram obtidos de estações meteorológicas pertencentes ao Instituto Nacional de Meteorologia (INMET), localizadas na região de estudo. O sistema S@I (LIMA et al., 2015) foi o SSD utilizado para a determinação da ET_c nos municípios da bacia. O volume de irrigação requerido pelas culturas (VR) foi estimado com base na evapotranspiração potencial de cultura (ET_c), já que a precipitação pluvial na bacia no ano de 2017 foi muito baixa, isto é, em média 32,7 mm.

3 | RESULTADOS E DICUSSÕES

Na Tabela 1 mostra-se que, em 2017, as 19 culturas irrigadas na bacia do salgado ocuparam uma área irrigada 4.742 ha a cultura da banana ocupou a maior área (34,4%). Observa-se que a cultura do feijão também se destaca com 958 ha irrigados (20,2%). A área total irrigada recebeu um volume bruto de irrigação de 64.977.730 m³, enquanto o volume requerido foi de 44.269.610 m³, resultando num ICUC global de 0,681. As atividades agrícolas geraram uma produção total de 120.321.056 kg, produziram uma receita líquida de R\$ 95.191.188 e geraram 3.429,63 empregos diretos. Três culturas (banana, feijão-caupi e manga) ocupam 63% da área, recebem volume bruto de irrigação de 64,8% do volume total e produzem 57,5% da receita líquida total da bacia. A banana é o produto que rendeu maior receita líquida total para a bacia, entretanto a uva é a cultura que apresenta a maior rentabilidade por unidade de área. De acordo com informações da ADECE (2018) a área irrigada na bacia está distribuída em 21 municípios, tendo o município de Barbalha a maior área irrigada (1.069 ha).

Culturas	Área (ha)	VA (m ³ ha ⁻¹)	VR (m ³ ha ⁻¹)	LFP (kg ha ⁻¹)	LEP (R\$ ha ⁻¹)	Empregos (por ha)
Abacate	16	19.000	7.850	10.000	19.017	0,70
Acerola	50	18.000	9.960	11.500	45.460	1,70
Arroz	57	28.000	10.920	9.528	4.754	0,73
Banana	1.630	18.000	11.950	28.034	24.704	0,54
Batata doce	159	10.490	8.950	25.400	21.856	1,30
Cana-de-açúcar	140	19.000	6.220	59.533	8.807	0,16
Coco	114	15.000	8.470	12.300	11.043	0,26
Feijão-caupi	958	7.500	7.090	3.840	5.410	0,90
Goiaba	106	15.000	7.460	33.000	33.004	0,32
Laranja	84	16.500	9.960	11.250	15.047	0,34
Limão	27	14.000	9.960	9.400	20.578	0,35
Macaxeira	353	7.200	7.970	31.000	17.879	0,36
Mamão	100	15.000	8.460	77.325	33.569	0,55
Manga	397	14.000	9.960	20.475	23.251	0,40
Maracujá	209	14.000	9.950	17.300	23.063	0,38
Melancia	52	12.000	5.810	60.200	12.599	0,70
Milho verde	73	12.000	6.710	3.600	10.566	0,82
Tomate	208	10.000	4.980	82.000	46.540	3,22
Uva	9	17.600	8.470	34.625	86.333	2,19
Total	4.742					

Tabela 1 – Culturas e respectivas áreas cultivadas, volumes brutos de irrigação aplicados (VA), volumes de irrigação requeridos (VR), produtividade da terra (LFP) e receitas líquidas (LEP), na bacia do rio Salgado.

As estimativas de (Tabela 2) feitas aqui são aproximadas porque os volumes brutos de irrigação aplicados às culturas representam informações gerais apresentadas no relatório da ADECE (2018), revelando a necessidade de contabilidade abrangente da água em escala do campo e de bacia hidrográfica. Conforme salienta Burton (1999) a maior restrição para o entendimento sobre o uso da água na agricultura é a dificuldade associada com sua medida e quantificação. Medições e registros de vazão do sistema, de volume aplicado e variáveis de clima são raros e providos de erros potenciais.

Culturas	ICUC	WFP (kg m ⁻³)	WEP (R\$ m ⁻³)	Empregos (por 1000 m ³)	I
Abacate	0,413	0,579	1,001	0,037	0,793
Acerola	0,553	0,639	2,526	0,094	0,724
Arroz	0,390	0,340	0,170	0,026	0,776
Banana	0,664	1,557	1,372	0,030	0,717
Batata doce	0,855	2,426	2,084	0,132	0,982
Cana-de-açúcar	0,327	3,133	0,464	0,008	0,797
Coco verde	0,565	0,820	0,736	0,017	0,674
Feijão-caupi	0,945	0,512	0,721	0,120	0,925
Goiaba	0,497	2,200	2,200	0,021	0,695
Laranja	0,604	0,682	0,912	0,021	0,766
Limão	0,711	0,671	1,470	0,025	0,755
Macaxeira	1,107	4,306	2,483	0,050	0,718
Mamão	0,564	5,155	2,238	0,037	0,802
Manga	0,711	1,463	1,661	0,029	0,845
Maracujá	0,711	1,236	1,647	0,027	0,658
Melancia	0,484	5,017	1,050	0,058	0,785
Milho verde	0,559	0,300	0,881	0,068	0,601
Tomate	0,498	8,200	4,654	0,322	0,845
Uva	0,481	1,967	4,905	0,124	0,860

Tabela 2 – Coeficiente de uso consuntivo da água da irrigação (ICUC), produtividade física da água de irrigação (WFP), produtividade econômica da água de irrigação (WEP), geração de empregos por 1000 m³ de água aplicada e índice de desempenho das culturas irrigadas (I) na bacia do Salgado para $\alpha=1/8$. Ano de 2017.

Entre as 19 culturas irrigadas, apenas 6 (31,6%) apresentaram ICUC superior a 0,70, indicando a necessidade de adoção de técnicas para um manejo racional da irrigação. A cultura da macaxeira, com ICUC superior a 1 indica que a cultura está sendo manejada com déficit de irrigação. Valores muito baixos de ICUC são encontrados para as culturas do arroz e cana de açúcar. O ICUC contabiliza a fração da água total aplicada que é utilizada para usos consuntivos, no caso, especialmente evapotranspiração das culturas. Não são contabilizados aqui outros usos consuntivos como evapotranspiração de plantas daninhas, evaporação da água aspergida nos sistemas de aspersão, evaporação de reservatórios e água exportada com o produto colhido. A fração $1 - ICUC$ representa a água que, de alguma forma, transita para fora da área de cultivo, mas não se perde para a atmosfera na forma de vapor. A água de uso não consuntivo pode ser reutilizada na própria área, ou em outra área de jusante na bacia hidrográfica ou retornar à fonte. Está relacionada com a água que drena abaixo da zona radicular, a água que escoia superficialmente e a que infiltra nos canais (BURT et al., 1997).

Os valores tão baixos de $ICUC$ ilustram problemas típicos de aplicação de água. Esses problemas enfatizam a necessidade de considerar rigorosamente técnicas de manejo da irrigação, seleção de solos aptos ao cultivo sob inundação, projetos adequados dos sistemas, técnicas adequadas de operação dos projetos de irrigação, programa de manutenção dos sistemas de irrigação e treinamento dos irrigantes. Oportunidades para aumentar $ICUC$ são adoção de sistemas de programação ad irrigação baseados na demanda das culturas, uso de programação ad irrigação com déficit, uso de técnicas de manejo e conservação da água do solo que permitam a redução das perdas por evaporação, uso de sistemas de irrigação que minimizam a fração de solo molhado, melhor manutenção dos equipamentos de irrigação e estruturas de condução de água (WALLACE e BATCHELOR, 1997).

Na Tabela 2 são apresentadas as produtividades física e econômica da água para as culturas irrigadas na bacia do salgado, no ano de 2017. Para a produtividade física da água foi considerado volume de água aplicado por irrigação (VA) aos cultivos. Para a produtividade econômica da água considerou-se a receita líquida advinda da produção das culturas. Não foram computados os custos de oportunidade.

A cultura do arroz apresenta LFP (9.528 kg ha^{-1}) relativamente boa. Mas a WFP é baixa ($0,340 \text{ kg m}^{-3}$) por receber um volume bruto de irrigação alto ($28.000 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$). Este valor é inferior ao valor médio $0,43 \text{ kg m}^{-3}$ verificado por Costa et al. (2005) com aplicação de um volume de água $13.760 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$ em solos de textura argilo-siltosa no perímetro irrigado Morada Nova, pertencente à sub-bacia do Baixo Jaguaribe. Observa-se ainda que WEP para o arroz é baixa, em média $R\$ 0,17 \text{ m}^{-3}$, porque a receita líquida por hectare (LEP) advinda do cultivo não é elevada e o volume bruto de irrigação aplicado é alto. Destaca-se ainda uma contribuição social do cultivo do arroz na região apenas regular, gerando durante o ano na bacia, em média, $0,73 \text{ empregos ha}^{-1}$ ou $0,026 \text{ empregos por } 1000 \text{ m}^3$ de água aplicada. Estes valores levaram a um índice global de desempenho (I) regular ($0,776$). O aumento da WFP pode ser conseguido tanto pela redução do volume de água aplicado como pelo aumento da produtividade para a mesma quantidade de água evapotranspirada pela cultura (Coelho et. al. 2015).

O problema se repete com a cultura da cana-de-açúcar, que embora apresente I igual $0,797$ necessita de redução no volume de irrigação aplicado, pois, apresenta o menor $ICUC$ da bacia ($0,327$). Teodoro et al. (2013), conduzindo experimentação de campo no município de Rio Largo – AL, região Nordeste do Brasil, apontam que a produtividade de colmos de cana-planta de $160.000 \text{ kg ha}^{-1}$, utilizando irrigação por gotejamento superficial, pode ser obtida com aplicação de $17.370 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$ de água e 30 kg ha^{-1} de nitrogênio, resultando WFP de $9,22 \text{ kg m}^{-3}$. De acordo com Oliveira et al. (2011), em pesquisa realizada no município de Carpina – PE utilizando sistema de aspersão convencional, a irrigação plena proporcionou maior produtividade física da água, com acréscimo na produção média de colmos de $7,0 \text{ kg m}^{-3}$ em comparação ao regime de sequeiro.

O problema é agravado com as culturas do coco (I = $0,679$), goiaba (I = $0,696$),

maracujá ($I = 0,658$) e milho verde ($I = 0,601$), indicando um desempenho marginal da dessas culturas. Os resultados mostram que são necessárias ações para melhoria expressiva do manejo da irrigação e adoção de práticas agrônômicas que promovam aumento da produtividade da terra e uso de água de irrigação. Em condições de fortes restrições hídricas e grande competição pelo uso da água, como é o caso da bacia do Salgado, sugere-se que não sejam dadas prioridades aos cultivos que apresentem baixos índices de desempenho, por exemplo, inferiores a 0,70. Ou, de outra forma, que seja dado suporte técnico ao produtor rural para melhoria do desempenho da irrigação. O sucesso da aplicação de técnicas agrícolas modernas depende também de ações institucionais que visem estimular a assistência técnica e a difusão do conhecimento, a educação e a formação do irrigante e a promoção de incentivos para o uso eficiente da água e penalidades para o uso ineficiente.

4 | CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

Neste artigo analisou-se desempenho da agricultura irrigada na bacia do rio Salgado, no estado do Ceará. Foram analisados critérios de segurança hídrica, produtiva, econômica e social. Baixos índices de desempenho sempre estiveram associados a inadequação de mais de um indicador de segurança. De uma forma geral os resultados indicaram a necessidade de redução do volume de água aplicado pela irrigação, aumento da produtividade, da renda e de empregos. Várias culturas com importantes áreas cultivadas e, portanto, demandando elevados volume de irrigação, como arroz, banana, cana-de-açúcar, coco verde, goiaba, maracujá e milho verde necessitam de intervenções técnicas relativas ao manejo do sistema solo-água-plantas visando a melhoria da produtividade com menos água aplicada. Em condições de fortes restrições hídricas e grande competição pelo uso da água, como é o caso da bacia do Salgado, sugere-se que não sejam dadas prioridades aos cultivos irrigados que apresentem baixos índices de desempenho, por exemplo, inferiores a 0,70. O estudo aqui apresentado poderá dar suporte às políticas públicas no âmbito da irrigação e das técnicas agrônômicas necessárias à melhoria do desempenho da agricultura irrigada.

REFERÊNCIAS

ADECE – Agência de Desenvolvimento do Estado do Ceará. Estudo para definição de indicadores e critérios de uso da água no setor agropecuário – Estudo das águas: Produto V – Indicadores socioeconômicos das áreas irrigadas – Relatório 05/2018. p.64. 2018.

ALCON, F., MARTÍN-ORTEGA, J., PEDRERO, F., ALARCÓN, J. J., DE MIGUEL, M. D. Incorporating non-market benefits of reclaimed water into cost-benefit analysis: a case study of irrigated mandarin crops in southern Spain. **Water Resour. Manage.**, v.27, n.6, p.1809–1820, 2013.

ALLEN, R.G., PEREIRA, L.S., RAES, D., SMITH, M. Crop Evapotranspiration. Guidelines for Computing Crop Water Requirements. **Irrig. and Drain.** paper 56. FAO, Rome, Italy. 1998.

BOUMAN, B. A. M. A conceptual framework for the improvement of crop water productivity at different spatial scales. **J. Agric. Food Syst. Community Dev.**, v93, p.43–60, 2007. <https://doi.org/10.1016/j.agsy.2006.04.004>.

BURT, C. M., CLEMMENS, A. J., STRELKOFF, T. S., SOLOMON, K. H., BLIESNER, R. D., HARDY, L. A., HOWELL, T. A., EISENHAUER, D. E. Irrigation performance measures: efficiency and uniformity. **J. Irrig. Drain. Eng.**, v.123, n.6, p.423- 442, 1997.

BURTON, M.A.; KIVUMBI, D.; EL-ASKARI, K. Opportunities and constraints to improving irrigation water management: Foci for research. **Agric. Water Manage.**, v.40, n.1, p.37-44, 1999.

COELHO, E. F., SIMÕES, W. L., SANTOS, F. P., MELO, D. M., LIMA, L. W. F. Produtividade e eficiência do uso de água da bananeira caipira sob diferentes densidades de plantio e lâminas de irrigação. **Enciclopédia Biosfera**, v.11, n.22, p.2430-2437, 2015. http://dx.doi.org/10.18677/Enciclopedia_Biosfera_2015_214.

COSTA, R. N. T.; COLARES, D. S.; SAUNDERS, L. C. U.; SUOZA, F. Análise das eficiências de aplicação e de uso da água em cultivo de arroz no perímetro irrigado morada nova, CE. **Irriga**, v.10, n.4, p.388-398, 2005.

FERNÁNDEZ, F. E., ALCON, F., DIAZ-ESPEJO; HERNADEZ-SANTANA, V., CUEVAS, M. V., 2002. Water use indicators and economic analysis for on-farm irrigation decision: A case study of a super high density olive tree orchard. **Agric. Water Manage.**, 237, 106074, 2020. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2020.106074>.

GRAFFTON, R. Q.; WILLIAMS, C. J.; PERRY, C. J.; MOLLE, F.; RINGLER, C.; STEDUTO, P.; UDALL, B.; WHEELER, S. A.; WANG, Y; GARRICK; D.; ALLEN, R. G. The paradox of irrigation efficiency. **Science**, n.361, 6404, p.748-750, 2018. DOI: 10.1126/science.aat9314.

GEERTS, S., RAES, D. Deficit irrigation as an on-farm strategy to maximize crop water productivity. **Agric. Water Manage.**, v.96, p.1275–1284, 2009. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2009.04.009>.

HADEBE, S. T.; MODI, A. T.; MABHAUDHI, T. Drought tolerance and water use of cereal crops: a focus on sorghum as a food security crop in Sub-Saharan Africa. **J. Agr. Crop Sci.**, v. 203, n.3, p. 177–191, 2017. <https://doi.org/10.1111/jac.12191>

HEYDARI, N. Water productivity in agriculture: challenges in concepts, terms and values. **Irrig. and Drain.** v.63, 22–28, 2014. DOI: 10.1002/ird.1816.

HUANG, W.; ZHANG, Q. Selecting the optimal economic crop in minority regions with the criteria about soil and water conservation. **Agricultural Water Management**, v. 241, 106295, 2020. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2020.106295>

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA - IBGE. Levantamento Sistemático da Produção Agrícola, v. 30, n. 12, p. 1-82. Dezembro, 2017.

INSTITUTO DE ESTUDOS E PESQUISAS PARA O DESENVOLVIMENTO DO ESTADO DO CEARÁ - INESP. Caderno Regional da sub-bacia do Salgado. Fortaleza – CE, v. 11, 135 p. 2009.

JENSEN, M. E. Beyond irrigation efficiency. **Irrig. Sci.**, 25 (4), 233-245, 2007. DOI 10.1007/s00271-007-0060-5

KOECH, R., LANGAT, P. Improving irrigation water use efficiency: a review of advances, challenges and opportunities in the Australian context. **Water**, v.10, 1771, 2018. <https://doi.org/10.3390/w10121771>.

LIMA, S. C. R. V., SOUZA, F., FRIZZONE, J.A., CAMARGO, D. C., BELTRÃO JÚNIOR, J.A. NASCIMENTO, A. K. S., 2015. Desempenho do sistema de assessoramento ao irrigante - S@I para a gestão da água em áreas irrigadas: benefícios aos irrigantes e ao distrito. **Revista Brasileira de Agricultura Irrigada**, v.9, n.1, p.1-13, 2015.

OLIVEIRA, E. C. A., FREIRE, F. J., OLIVEIRA, A. C., SIMÕES NETO, D. E., ROCHA, A. T., CARVALHO, L. A. Produtividade, eficiência de uso da água e qualidade tecnológica de cana-de-açúcar submetida a diferentes regimes hídricos. **Pesq. Agropec. Bras.**, v.46, n.6, p.617-625, 2011.

PEREIRA, L.S., CORDERY, I., IACOVIDES, I. Improved indicators of water use performance and productivity for sustainable water conservation and saving. **Agric. Water Manage.**, v.108, p.39–51, 2012. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2011.08.022>.

PERRY, C.; STEDUTO, P.; ALLEL, R.G.; BURT, C.M., 2009. Increasing productivity in irrigated agriculture: Agronomic constraints and hydrological realities. **Agric. Water Manage.**, v.96, p.1517–1524, 2009. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2009.05.005>.

RODRIGUES, G. C., PEREIRA, L. S., 2009. Assessing economic impacts of deficit irrigation as related to water productivity and water costs. **Biosys. Eng.**, v.103, p.536–551, 2009. <https://doi.org/10.1016/j.biosystemseng.2009.05.002>.

SUN, X.G.; SHI, J.; DING, G.J. Combined effects of arbuscular mycorrhiza and drought stress on plant growth and mortality of forage sorghum. **Appl. Soil Ecol.**, v. 119, p. 384–391, 2017. <http://dx.doi.org/10.1016/j.apsoil.2017.07.030>

TEODORO, I., DANTAS NETO, J., SOUZA, J. L., LYRA, G. B., BRITO, K. S., SÁ, L. A., SANTOS, M. A. L., SARMENTO, P. L. V. S. Isoquantas de produtividade da cana-de-açúcar em função de níveis de irrigação e adubação nitrogenada. **Irriga**, v.18, n3, p.387-401, 2013.

VAZIFEDOUST, M.; VAN DAM, J. C.; FEDDES, R. A.; FEIZI, M. Increasing water productivity of irrigated crops under limited water supply at field scale. **Agric. Water Manage.**, v.95, p.89-102, 1998. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2007.09.007>

WALLACE, J.S., BATCHELOR, C.H. Managing water resources for crop production. *Philos. Trans. R. Soc. London Ser. B.*, v.352, n.1356, p.937-947, 1997. <https://doi.org/10.1098/rstb.1997.0073>

ÍNDICE REMISSIVO

A

Agricultura irrigada 1, 2, 5, 6, 12, 14, 59, 79, 88, 98

Água 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 15, 16, 17, 28, 32, 34, 35, 37, 38, 59, 60, 63, 64, 67, 69, 70, 71, 72, 77, 78, 81, 82, 88, 91, 92, 93, 94, 115, 116, 117, 122, 124, 134, 135, 136, 137, 138, 139, 140, 141, 142, 143, 144, 145, 146

Água no solo 4, 28, 67, 81, 88, 91, 94, 134, 137, 138, 139, 145

Alumínio 40, 63, 115, 130

Atributos físico-hídricos 39

C

Capacidade de mineralización de suelos 100

Chuva de projeto 15, 17, 28, 29

Coefficiente de uso consuntivo da irrigação 1, 3, 6

Compartmentalização do carbono orgânico 119, 131

Compostos nitrogenados 34

Condutividade hidráulica 39, 145

D

Déficit hídrico 6, 7, 47, 70, 71, 79

Dissipação térmica 59, 60, 61, 62, 63, 64, 65, 66, 68

E

Economia circular 34

Enchentes 15, 18, 22, 30

Erosão hídrica 15, 16, 17, 25, 32, 33

Estrutura do solo 40

Evapotranspiração 3, 8, 10, 59, 65, 73, 80, 81, 82, 83, 86, 87, 88, 89, 90, 93, 96, 97, 98, 99

Evapotranspiração potencial 8, 80, 81, 83, 86, 87, 98

F

Fator R 15, 16, 17, 18, 22, 29

Fertilización de cultivos 100

Fertirrigação 34, 35, 36, 79

L

Latossolo amarelo 53, 55, 112

Latossolo vermelho distroférico típico 39

M

Manejo da irrigação 11, 12, 71, 72, 75, 80, 81, 87, 89, 90, 145

Manejos irrigados 70

Modelagem 81

N

Necessidade hídrica 81

P

Potencial hídrico 59

Produtividade econômica da água 1, 4, 5, 6, 7, 10, 11

Produtividade física da água 1, 3, 4, 5, 6, 10, 11

Profundidade 36, 53, 56, 57, 90, 112, 115, 116, 122, 137

Python 80, 81, 82

Q

Qualidade do solo 53, 55, 112, 113, 118, 119, 121, 129, 131

Qualidade física 70

R

Recursos hídricos 1, 2, 16

Restrições hídricas 1, 12, 71

Reuso 34

S

Segurança hídrica 1, 6, 12

Solo 1, 3, 4, 11, 12, 16, 17, 21, 25, 28, 29, 30, 31, 32, 33, 34, 35, 36, 37, 38, 39, 40, 45, 46, 47, 53, 54, 55, 56, 57, 58, 59, 63, 64, 65, 67, 69, 72, 81, 82, 88, 90, 91, 92, 94, 96, 100, 109, 112, 113, 114, 115, 116, 117, 118, 119, 121, 122, 124, 126, 127, 129, 131, 132, 133, 134, 135, 136, 137, 138, 139, 140, 141, 144, 145, 146, 147

T

Transpiração 3, 59, 60, 61, 63, 64, 65, 66, 67, 68, 69, 81

V





Vias de formação de agregados 119

Volume de água 1, 6, 7, 11, 12, 135, 137, 141, 143

ENGENHARIA AGRONÔMICA:

Ambientes Agrícolas e
seus Campos de Atuação

3

-  www.atenaeditora.com.br
-  contato@atenaeditora.com.br
-  [@atenaeditora](https://www.instagram.com/atenaeditora)
-  www.facebook.com/atenaeditora.com.br

ENGENHARIA AGRONÔMICA:

Ambientes Agrícolas e
seus Campos de Atuação

3

-  www.atenaeditora.com.br
-  contato@atenaeditora.com.br
-  [@atenaeditora](https://www.instagram.com/atenaeditora)
-  www.facebook.com/atenaeditora.com.br