

# 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 Lívia 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](http://www.atenaeditora.com.br)  
[contato@atenaeditora.com.br](mailto: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

<b>CAPÍTULO 10</b> .....	<b>100</b>
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	
<b>CAPÍTULO 11</b> .....	<b>112</b>
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	
<b>CAPÍTULO 12</b> .....	<b>127</b>
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	
<b>SOBRE A ORGANIZADORA</b> .....	<b>140</b>
<b>ÍNDICE REMISSIVO</b> .....	<b>141</b>

# CAPÍTULO 9

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

Data de aceite: 28/04/2021

Data de submissão: 05/02/2021

### Ana Daniela Lopes

Universidade Paranaense  
Umuarama – PR

<http://lattes.cnpq.br/7007947329837035>

### Vinicius Melo Rocha

Universidade Estadual de Maringá  
Umuarama – PR

<http://lattes.cnpq.br/0048316834651296>

### Daniel Haraguchi Santos

Universidade Estadual de Maringá  
Umuarama – PR

<http://lattes.cnpq.br/5856344844936696>

### Rafael Corradini

Universidade Estadual de Maringá  
Umuarama – PR

<http://lattes.cnpq.br/3435310100180223>

### José Júnior Severino

Universidade Estadual de Maringá  
Umuarama – PR

<http://lattes.cnpq.br/6485627325519360>

### João Paulo Francisco

Universidade Estadual de Maringá  
Umuarama – PR

<http://lattes.cnpq.br/6390892655943052>

### Leonardo Duarte Batista da Silva

Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro  
Seropédica - RJ

<http://lattes.cnpq.br/1665042657360760>

### Marcos Vinicius Folegatti

Escola Superior de Agricultura “Luiz de  
Queiroz” – ESALQ/USP

Piracicaba – SP

<http://lattes.cnpq.br/0610853022324361>

**RESUMO:** A determinação do real consumo hídrico das culturas agrícolas é fundamental para um manejo eficiente da irrigação, nesse sentido, a determinação da evapotranspiração das culturas torna-se peça chave. Dessa forma, objetivou-se a construção e calibração de quatro lisímetros de pesagem no interior de casa de vegetação. Os lisímetros foram constituídos por um vaso de 250 L, com área de 0,75 m<sup>2</sup>. O sistema de pesagem dos lisímetros foi construído utilizando células de carga da marca HBM®, modelo Z6FC3 200kg, sendo utilizadas três células de carga, em disposição triangular, por lisímetro. A calibração foi realizada com 29 massas padrão que foram assumidas como referência, sendo sete de 0,47 kg (0,15 mm), sete de 1,57 kg (0,50 mm), oito de 6,28 kg (2,00 mm) e sete de 15,7 kg (5,00 mm). Os coeficientes angulares encontrados nos diferentes lisímetros apresentaram valores de 305,02; 305,42; 306,35 e 305,85 (kg·(mV·V-1)-1), para os lisímetros 1, 2, 3 e 4, respectivamente. Verificou-se que os lisímetros apresentaram altos valores de coeficiente de determinação após a calibração e baixos erros foram observados, confirmando que o uso de lisímetros de pesagem em casa de vegetação é uma boa opção para determinação da evapotranspiração de cultura.

**PALAVRAS-CHAVE:** Evapotranspiração, agricultura irrigada, conteúdo de água no solo.

## CONSTRUCTION, CALIBRATION AND PERFORMANCE OF WEIGHING LYSIMETERS TO DETERMINE THE EVAPOTRANSPIRATION OF CULTURE

**ABSTRACT:** The determination of the real water consumption of crops is essential for efficient management of irrigation, in this sense, the determination of the evapotranspiration of the crops becomes a key part. Thus, the aim was to build and calibrate four weighing lysimeters inside the greenhouse. The lysimeters were constituted by a 250 L vessel, with an area of 0.75 m<sup>2</sup>. The weighing system of the lysimeters was built using load cells of the brand HBM®, model Z6FC3 200kg, using three load cells, in a triangular arrangement, per lysimeter. Calibration was performed with 29 standard masses that were taken as reference, seven of 0.47 kg (0.15 mm), seven of 1.57 kg (0.50 mm), eight of 6.28 kg (2. Mm) and seven of 15.7 kg (5.00 mm). The angular coefficients found in the different lysimeters showed values of 305.02; 305.42; 306.35 and 305.85 (kg·(mV·V-1)-1), for lysimeters 1, 2, 3 and 4, respectively. It was found that the lysimeters showed high values of determination coefficient after calibration and low errors were observed, confirming that the use of weighing lysimeters in the greenhouse is a good option for determining the culture evapotranspiration.

**KEYWORDS:** Evapotranspiration, irrigated agriculture, soil water content.

### 1 | INTRODUÇÃO

A determinação da evapotranspiração (ET) é fundamental para o correto manejo da irrigação, sendo que a demanda hídrica de uma cultura pode ser obtida com maior precisão utilizando-se lisímetros. As principais vantagens do seu uso estão relacionadas à calibração, que pode ser validada mecanicamente; ao requerimento de bordadura, que é menor quando comparada a outros métodos, como micrometeorológicos, por exemplo; a possibilidade de completa automação e a facilidade de inspeções, pois o sistema é quase totalmente visível (Allen *et al.*, 2011).

Na literatura são descritos diferentes tipos de lisímetros, sendo que o tamanho e o projeto de montagem de cada um são baseados no requerimento específico do estudo e das condições de construção e custos envolvidos (Faria, Campeche e Chibana, 2006). Os lisímetros de pesagem, cujo sistema de medição é baseado em células de carga são considerados os de maior confiabilidade nas medições (Cruz-Blanco *et al.*, 2014), sendo utilizados para calibração dos demais métodos de estimativa de evapotranspiração.

Talvez o maior fator limitante para o emprego de lisímetros, principalmente os de pesagem, são os custos relativamente altos envolvidos em sua construção (Flumignan, 2012), o que fazem com que esses equipamentos sejam utilizados exclusivamente por instituições de ensino e/ou pesquisa. No entanto, a utilização desses equipamentos irão fornecer subsídios para que o manejo da irrigação seja realizado de forma o mais precisa possível, uma vez que como resultado de saída de um lisímetro bem montado e construído são os valores de coeficiente de cultivo (Allen *et al.*, 1998; Allen e Pereira, 2009; Taylor *et al.*, 2014).

É importante destacar que o coeficiente de cultivo de uma determinada cultura diz

respeito às características fenológicas e fisiológicas da cultura em questão (Marin, Jones e Boote, 2017), sendo, portanto o elo de ligação de conceitos físicos, uma vez que o  $K_c$  é determinado por meio da evapotranspiração da cultura e da evapotranspiração de referência, com a biologia da planta. A grande limitação em se fazer o manejo da irrigação por meio da determinação de  $K_c$  está no fato de que o mesmo tem que ser um valor que represente as condições locais de cultivo, sendo o mesmo totalmente dependente das condições meteorológicas decorrentes da estimativa da evapotranspiração de referência.

Essa afirmativa é verdadeira quando (Doorenbos e Pruitt, 1975) afirmaram que existe, obrigatoriamente, a necessidade de calibração dos coeficientes de cultivo para as condições locais, além das determinações serem realizadas ao longo de todos os estádios de desenvolvimento das culturas. Outros pesquisadores já confirmaram essa afirmação (Allen *et al.*, 2011; Payero e Irmak, 2013; Pereira *et al.*, 2003; Silva, Da *et al.*, 2016; Taylor *et al.*, 2014), e quando se pensa em diminuição de riscos nas safras agrícolas principalmente no que diz respeito a culturas que não necessitam de grandes áreas de cultivos, a construção e avaliação de lisímetros para serem utilizados no interior de casas de vegetação se tornam uma realidade. Entender o comportamento das diferentes espécies vegetais, quando submetidas às condições micrometeorológicas no interior de casas de vegetação, se mostra fundamental para essa nova fase da agricultura que podemos viver futuramente.

Dessa forma, o objetivo deste trabalho foi realizar a construção, calibração e avaliação de quatro lisímetros de pesagem operando no interior de uma casa de vegetação.

## 2 | MATERIAL E MÉTODOS

### 2.1 Caracterização da área experimental e do material solo

O experimento estudo conduzido na área experimental do Departamento de Engenharia de Biosistemas da Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz” (ESALQ/USP), em ambiente protegido (casa de vegetação), localizada no município de Piracicaba - SP (latitude 22°43’31”; longitude 47°38’57”; altitude 547 m).

O solo utilizado para preenchimento dos lisímetros foi classificado como sendo um Latossolo Vermelho-amarelo distrófico (Embrapa, 2013), obtido na profundidade de 0,30 m da camada agricultável, proveniente do campus da ESALQ/USP. As propriedades físicas do solo foram determinadas realizando-se análise granulométrica, conforme metodologia proposta por (BOUYOUCOS, 1951): densidade das partículas, utilizando o método do picnômetro e densidade do solo, determinada pelo método da proveta, os quais são recomendados pela (Embrapa, 1997) (Tabela 1).

Camada (cm)	CC	PMP	CAD (mm)	Ds	Dp	PT (%)	Frações granulométricas		
	cm <sup>3</sup> cm <sup>-3</sup>			g cm <sup>-3</sup>			Areia	Silte	Argila
							%		
0-20	0,226	0,104	24,4	1,48	2,65	44,7	75,1	7,8	17,1
20-40	0,234	0,109	25,0	1,49	2,65	46,9	74,5	8,6	17,0

CC – Capacidade de campo; PMP – ponto de murcha permanente; CAD – capacidade de água disponível; Ds – Densidade do solo; Dp – Densidade das partículas; PT – Porosidade Total.

Tabela 1. Caracterização físico-hídrica do solo utilizado para preenchimentos dos lisímetros

O controle de umidade do solo foi realizado por meio da utilização de tensiômetros instalados nas profundidades de 0,10, 0,20 e 0,30 m, com as leituras de tensão sendo realizadas por meio de transdutores de pressão, devidamente calibrados para as condições de operação. A partir dos valores de tensão obtidos, a umidade foi estimada por meio da equação de Van Genuchten (Genuchten, Van, 1980), utilizando os parâmetros de ajustes apresentados na . Os parâmetros de ajuste do modelo foram determinados por meio do software RETC, desenvolvido pelo US Salinity Laboratory – USDA (Genuchten, Van, Leij e Yates, 1991), utilizando os pares de dados obtidos na curva de retenção de água no solo.

Camada (cm)	$\theta_s$ (m <sup>3</sup> m <sup>-3</sup> )	$\theta_r$ (m <sup>3</sup> m <sup>-3</sup> )	$\alpha$ (kPa <sup>-1</sup> )	n	m
0-20	0,4736	0,0928	0,0817	1,4918	0,329669
20-40	0,4737	0,0998	0,0657	1,5326	0,347514

Tabela 2. Valores de umidade de saturação ( $\theta_s$ ) e residual ( $\theta_r$ ) e dos parâmetros empíricos ( $\alpha$ , n e m) do modelo de Van Genuchten, utilizados para estimativa da umidade do solo.

## 2.2 Construção dos lisímetros

Foram construídos quatro lisímetros a partir de vasos com capacidade para 250 L, área de 0,75 m<sup>2</sup>, com sistema de pesagem direta, utilizando-se células de carga que suportavam diretamente todo o peso do sistema. Estes foram preenchidos com camada de pedra brita (em torno de 8 cm), seguida de manta geotêxtil e, por fim, o volume restante foi completado com solo descrito no item 2.1. Dessa forma, considerando que todo o sistema apresentava peso aproximado de 550 kg (vaso preenchido com solo, planta, água, sistema de apoio e drenagem), cada lisímetro foi composto por três células de carga com capacidade nominal para 200 kg, as quais quando combinadas resultaram num total de 600 kg.

O sistema de pesagem dos lisímetros foi construído utilizando células de carga da marca HBM®, modelo Z6FC3 200kg. Conforme especificações da célula de carga, a mesma suporta uma carga máxima de 300 kg sem que haja ruptura em seu mecanismo de pesagem. Construiu-se uma estrutura triangular, fixando-se uma célula de carga em

cada vértice para compor o mecanismo de pesagem. A estrutura foi colocada sobre piso de concreto tomando-se o devido cuidado para que a mesma permitisse que as três células ficassem em nível. Posteriormente, sobre as células foi colocado uma base que serviu de suporte para o acomodamento do vaso.

Para obtenção do sinal de saída das células de carga e a metodologia de ligação no sistema de aquisição de dados, resulta na necessidade de se ligar cada célula de carga em um canal diferencial e uma porta de excitação para conexão com o sistema automático de aquisição de dados, dessa forma optou-se por fazer uma caixa de junção, unindo-se as três células de carga, assim foi possível utilizar apenas um canal diferencial por lisímetro.

### **2.3 Calibração dos lisímetros**

Com base na análise dos dados de solo, e considerando o solo totalmente seco, seriam necessários cerca de 165 L de água para elevar a umidade do solo para além da capacidade de campo, ou seja, preencher os espaços porosos. Desta forma, utilizou-se 175 kg para representar a CAD do solo durante a calibração. Os 175 kg foram divididos em 29 massas padrão que foram assumidas como referência, sendo sete de 0,47 kg (0,15 mm), sete de 1,57 kg (0,50 mm), oito de 6,28 kg (2,00 mm) e sete de 15,7 kg (5,00 mm). Os vasos sobre o lisímetro tiveram sua superfície coberta com lona plástica para evitar a evaporação da água do solo durante o procedimento de calibração. Sabe-se que ventos laterais podem resultar em erros de leituras das células de carga, por exercerem uma força vetorial longitudinal ao lisímetro. No entanto, como os mesmos foram construídos e instalados no interior de casa de vegetação, desprezou-se os efeitos dos ventos laterais na calibração e operação. A disposição das massas durante a calibração foi realizada da maneira mais distribuída possível pela área dos lisímetros, procurando-se não as concentrar somente em um ponto.

A sequência de adição e retirada das massas nos lisímetros foi realizada intercalando-as, sendo adicionadas as massas de nº1 a 29, visando explorar melhor as características das células em cada faixa de utilização das mesmas. Posteriormente estas foram retiradas no sentido inverso. A calibração foi realizada em um lisímetro por vez. A calibração foi realizada em um lisímetro por vez. Na programação feita para o sistema de aquisição de dados foi adicionado uma chave para ligar e desligar a leitura e o armazenamento dos dados. Desta forma, sempre antes de se adicionar ou retirar uma massa, a coleta e armazenamento eram desligadas, para evitar a interferência das oscilações à adição ou retirada das massas.

Após coleta dos dados de calibração, os pares formados pela média do sinal das duas células de carga e a massa acumulada no lisímetro, foram utilizados para ajustar um modelo de regressão da calibração. Para a avaliação do desempenho dos modelos dos lisímetros, obtidos na calibração, na comparação das estimativas, adotou-se os indicadores estatísticos índice de concordância de Willmott “d” (WILLMOTT et al., 1985), índice de

concordância e desempenho “c” (CAMARGO; SENTELHAS, 1997), os coeficientes de correlação de Person (r) e de determinação (R<sup>2</sup>) entre os sinais de saída das células de carga (Ŷ<sub>i</sub>) e os somatórios dos valores das massas padrão (Y<sub>i</sub>), o erro absoluto (EA), o erro médio absoluto (ERA) e a raiz do quadrado médio do erro (RQME).

## 2.4 Evapotranspiração e coeficiente de cultivo

No interior de cada lisímetro foi cultivado a cultura do pinhão manso, sendo que a evapotranspiração da cultura (ET<sub>c</sub>) foi determinada por meio da utilização dos lisímetros de pesagem. Os valores de evapotranspiração foram determinados por meio da contabilização das entradas e saídas de água no sistema lisimétrico. De posse dos dados de evapotranspiração, os valores de coeficiente de cultivo (K<sub>c</sub>) foram determinados de acordo com apresentado em (Allen *et al.*, 1998). Sendo assim, os valores horários de ET<sub>o</sub> foram calculados no programa REF-ET (Pereira *et al.*, 2015) e acumulados para o total diário. Para isso foram utilizados os dados obtidos do monitoramento meteorológico no interior da casa de vegetação realizado por meio da instalação, no centro do experimento, de sensores de radiação global modelo CM3 Kipp & Zonen®; temperatura e umidade relativa do ar – termohigrômetro modelo HMP45C da Vaisala®, com os dados coletados a cada segundo e média a cada quinze minutos (Figura 1B). Para coleta e armazenamento dos dados, utilizou-se um sistema automático de aquisição de dados. Os sensores foram instalados a 2 m de altura. A estimativa da evapotranspiração de referência foi realizada pelo método Penman-Monteith, conforme a padronização disposta em (Snyder e O’Connell, 2007).

## 3 | RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 3.1 Calibração dos lisímetros

Durante a calibração dos lisímetros, realizado à noite, a temperatura do ar variou entre 22,9 e 24,2°C e a umidade relativa entre 66,2 e 72,3%. Por se encontrar em casa de vegetação a velocidade do vento foi considerada nula.

Os coeficientes angulares encontrados nos diferentes lisímetros apresentaram valores de 305,02; 305,42; 306,35 e 305,85 (kg (mV·V<sup>-1</sup>)<sup>-1</sup>), para os lisímetros 1, 2, 3 e 4, respectivamente. A comparação de similaridade dos coeficientes angulares entre pares de retas não mostrou diferenças estatisticamente significativas pelo teste t (p ≤ 0,05).

Considerando-se os altos coeficientes de determinação obtidos (Figura 1), o modelo de regressão linear foi ajustado para relação entre a massa acumulada e a média do sinal de saída das células de carga, evidenciando o comportamento linear existente entre estas variáveis. Entretanto, embora tenha sido comprovada a linearidade, isso não necessariamente indica que os mesmos sejam exatos ou acurados. Esses conceitos, os quais são sinônimos, são diferentes do de linearidade, pois representam a capacidade que

o modelo ajustado tem de determinar o valor verdadeiro da massa. Assim, alguns erros ocorreram entre a massa determinada por estes e a acumulada sobre os mesmos durante a calibração, implicando em diferentes acurácias entre os lisímetros. Estas acurácias são representadas pelo erro padrão da estimativa do modelo de regressão ajustado.

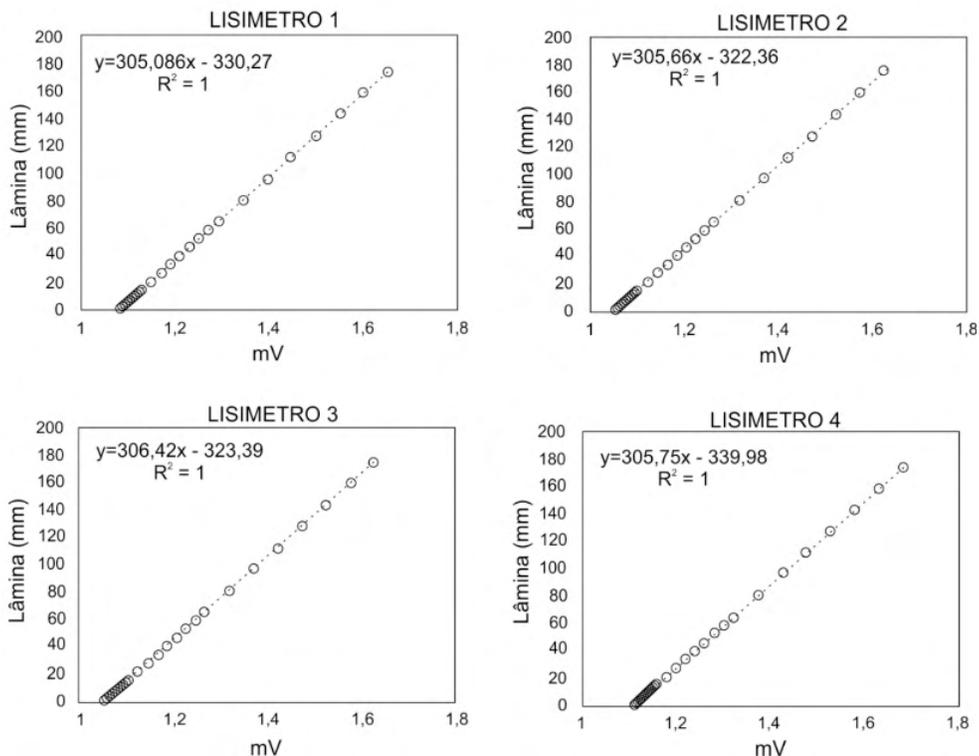


Figura 1. Equações de ajustes dos dados de calibração dos lisímetros de pesagem por meio da adição e retirada das massas padrão

Na calibração de lisímetros sempre espera-se encontrar equações lineares com elevados coeficientes de determinação, uma vez que estas irão resultar em um menor efeito da histerese, equações dessa natureza também foram observadas por (Amaral *et al.*, 2018; Carvalho *et al.*, 2006; Flumignan, 2012; Silva, Da *et al.*, 2016). A histerese diz respeito ao erro que se obtém entre o sinal que é obtido pelo sistema de aquisição de dados para uma mesma quantidade de massa, sempre considerando a adição e a retirada da mesma massa.

A presença da histerese, em alguns pontos da faixa de calibração é inevitável e até aceitável, porém há a necessidade de se realizar a avaliação dos erros, para obtenção da real capacidade do lisímetro em fornecer valores de massa que represente realmente a variação de umidade de água no solo. Para este trabalho, verificou-se que os erros foram

pouco dispersos em torno do zero, sendo observada variação de -0,21 até 0,23 kg, para o lisímetro 1. Valores de erro variando entre -0,42 a 0,57 kg foram observados para o lisímetro 2, para o lisímetro 3 os erros foram de -0,46 a 0,42 kg e valores de erro entre 0,39 a ,48 kg foram verificados no lisímetro 4. As dispersões dos erros em torno do zero podem ser observadas na Figura 2.

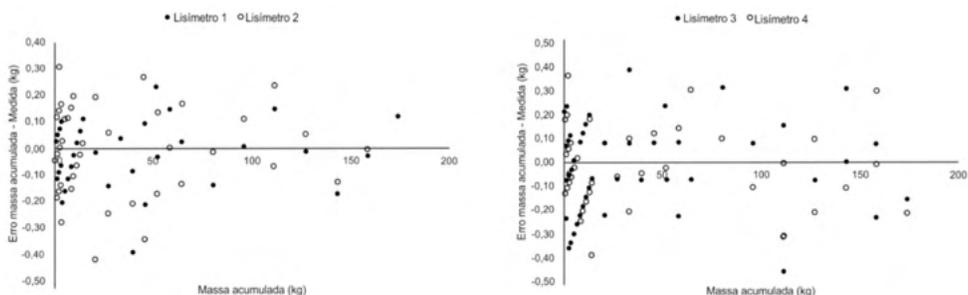


Figura 2. Erros entre a massa acumulada e a massa determinada durante a calibração dos lisímetros.

Os erros encontrados neste trabalho podem ser considerados baixos, o que pode ser comprovado pela análise da Tabela 2 onde estão apresentados o coeficiente de determinação e correlação linear de Pearson, além dos índices de concordância de Willmott e de concordância de desempenho de (Camargo e Sentelhas, 1997), bem como o erro absoluto (EA), erro médio absoluto (ERA) e raiz do quadrado médio do erro (RQME).

Os indicadores de desempenho apresentados na Tabela 2 confirmam que o modelo linear apresentou os melhores ajustes, resultando em baixos valores de EA, ERA e RQME. De acordo com (Janssen e Heiberger, 1995), quanto mais o valor de  $R^2$  e  $r$  se aproximarem de 1,0 e quanto mais os valores de erro (EA, ERA e RQME) se aproximaram de zero, maior é a precisão do modelo ajustado.

Lisímetros	$R^2$	$r$	$d$	$c$	EA (%)	ERA (%)	RQME (%)
1	1,0000	1,0000	0,9970	0,9970	1,6300	0,0016	0,0021
2	1,0000	1,0000	0,9967	0,9966	2,2600	0,0020	0,0026
3	1,0000	1,0000	0,9962	0,9961	3,9800	0,0026	0,0032
4	1,0000	1,0000	0,9967	0,9967	2,7900	0,0021	0,0026

Tabela 3. Valores de coeficiente de determinação ( $R^2$ ), coeficiente de correlação linear de Pearson ( $r$ ), índice de concordância de Willmott ( $d$ ), índice de concordância e desempenho ( $c$ ), erro absoluto (EA), erro médio absoluto (ERA) e raiz do quadrado médio do erro (RQME) obtidos por meio da análise dos dados de calibração dos quatro lisímetros de pesagem

### 3.2 Evapotranspiração e coeficiente de cultivo

Na Figura 3 estão apresentados os valores de evapotranspiração de referência e evapotranspiração da cultura do pinhão manso, obtidos pelo método de Penman-Monteith e por lisímetros, respectivamente, obtidos ao longo de 350 dias de avaliação.

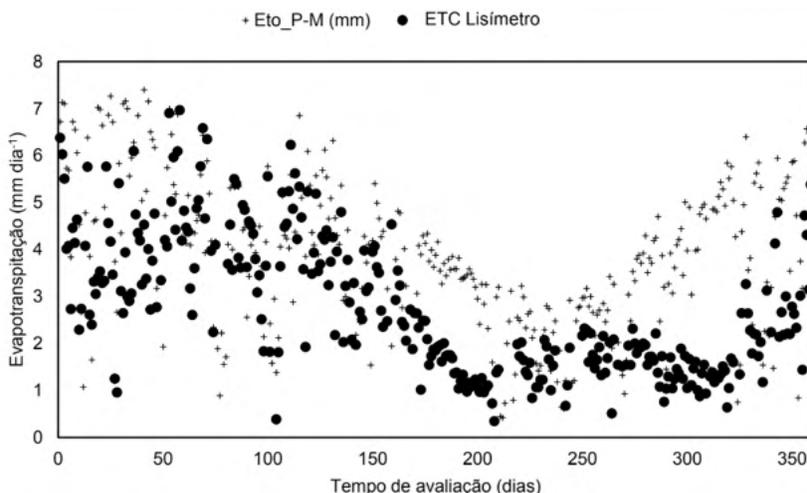


Figura 3. Evapotranspiração da cultura e evapotranspiração de referência, ambas em mm dia<sup>-1</sup>, com os lisímetros em funcionamento por um período de 350 dias.

A ETC e ETo máxima calculada para o período foram de 6,96 e 7,54 mm·d<sup>-1</sup>, respectivamente. Vale ressaltar que o pinhão-manso é uma planta caducifólia, ou seja, ocorre a queda das folhas no inverno, com recuperação das mesmas a partir do mês de setembro. Durante essa fase a evapotranspiração da cultura é praticamente governada pela evaporação do solo. Observando atentamente Figura 3 percebe-se uma diminuição da ETC, a partir do dia 180 após, que se caracteriza pelo início da senescência foliar do pinhão-manso. Após as plantas começarem a formar novos ramos e folhas (período vegetativo), os valores atingiram um patamar variando entre 4 mm·d<sup>-1</sup> até aproximadamente 8 mm·d<sup>-1</sup>.

Os valores de coeficiente de cultivo (kc) médio de 0,75 (Figura 4). Porém, nota-se que no dia 157, foi observado um valor de Kc de 2,37, o que pode representar um erro na medida desse valor, quer seja por dados inconsistentes obtidos na estação meteorológica ou algum erro na obtenção do sinal das células de carga. O que se percebe, é que valores de Kc acima de 2,0 é muito raro de se observar, independente da cultura que se está avaliando (Carvalho *et al.*, 2016; Ruiz-Peñalver *et al.*, 2015; Silva, Da *et al.*, 2016; Taylor *et al.*, 2014).

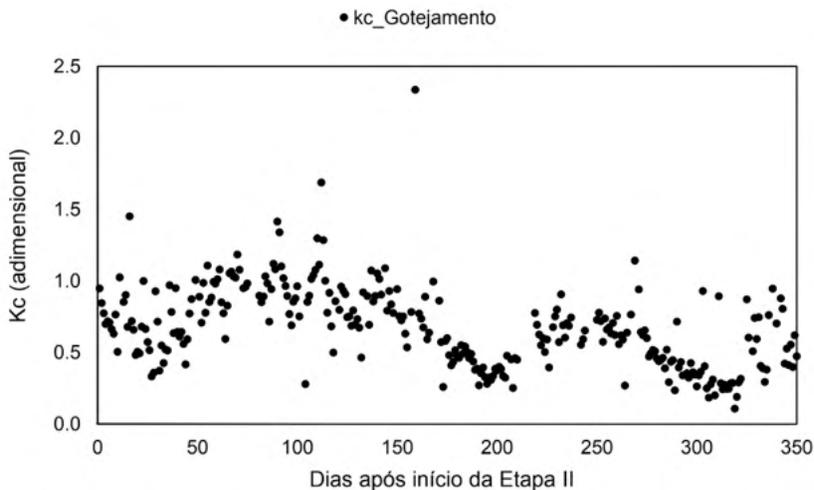


Figura 4. Coeficiente de cultivo ( $K_c$ , adimensional) obtido ao longo do período de avaliação dos lisímetros.

Rajaona; Sutterer; Asch (2012) encontraram valores de  $ET_c$  de  $1,9 \text{ mm}\cdot\text{d}^{-1}$  nos períodos inicial e final e  $5,5 \text{ mm}\cdot\text{d}^{-1}$  no período médio utilizando valores de  $K_c$  adaptados conforme dados encontrados na literatura. Os valores de  $K_c$  encontrados foram de 0,6, 1,2 e 0,4 para os estádios inicial (vegetativo), médio (reprodutivo) e final (senescência), respectivamente. Vale ressaltar que os valores de evapotranspiração são totalmente dependes das condições atmosféricas locais, portanto os períodos de avaliação influenciam nos resultados, o que torna importante a determinação desses valores in loco. Diante disso, o máximo valor de  $ET_o$  obtido por Rajaona; Sutterer; Asch (2012) foi da ordem de  $4,7 \text{ mm}\cdot\text{d}^{-1}$ , ao passo que neste trabalho o máximo valor foi de  $7,54 \text{ mm}\cdot\text{d}^{-1}$ , indicando que as condições de cultivo das plantas de pinhão manso se apresentava diante de uma atmosfera com um potencial muito mais turbulento.

## 4 | CONCLUSÕES

Nas condições em que este estudo foi realizado, pode-se concluir que, os lisímetros de pesagem construídos resultaram em equações de ajustadas que apresentaram alto coeficiente de determinação e correlação de Pearson, com baixos valores de erros verificados, tendo, portanto, se ajustado adequadamente aos dados amostrais. Os baixos erros e o período de avaliação, demonstra que os lisímetros podem ser utilizados, de forma confiável, para a obtenção da evapotranspiração de cultura e, conseqüentemente, de coeficiente de cultivo em culturas cultivadas no interior de casas de vegetação.

## REFERÊNCIAS

- ALLEN; PEREIRA, L. S.; RAES, D.; SMITH, M.; AB, W. Crop evapotranspiration-Guidelines for computing crop water requirements-FAO Irrigation and drainage paper 56. **Irrigation and Drainage**, v. 300, n. 56, p. 1–15, 1998.
- ALLEN, R. A.; PEREIRA, L. S.; HOWELL, T. A.; JENSEN, M. E. Evapotranspiration information reporting: I. Factors governing measurement accuracy. **Agricultural Water Management**, v. 98, n. 6, p. 899–920, 2011.
- ALLEN, R. G.; PEREIRA, L. S. Estimating crop coefficients from fraction of ground cover and height. **Irrigation Science**, v. 28, n. 1, p. 17–34, 2009.
- AMARAL, A. M.; VELLAME, L. M.; TEIXEIRA, M. B.; SOARES, F. A. L.; CAZUZA NETO, A. Construção e calibração de lisímetros de pesagem em ambiente protegido. **Revista Brasileira de Agricultura Irrigada**, v. 12, n. 4, p. 2740–2748, 28 ago. 2018.
- CAMARGO, A. P.; SENTELHAS, P. C. Avaliação do desempenho de diferentes métodos de estimativa da evapotranspiração potencial no Estado de São Paulo, Brasil. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, v. 5, n. 1, p. 89–97, maio 1997.
- CARVALHO, D. F. DE; OLIVEIRA NETO, D. H. DE; FELIX, L. F.; GUERRA, J. G. M.; SALVADOR, C. A. Yield, water use efficiency, and yield response factor in carrot crop under different irrigation depths. **Ciência Rural**, v. 46, n. 7, p. 1145–1150, 5 abr. 2016.
- CARVALHO, D. F. DE; SILVA, L. D. B. DA; FOLEGATTI, M. V.; COSTA, J. R.; CRUZ, F. A. DA. Avaliação da evapotranspiração de referência na região de Seropédica-RJ, utilizando lisímetro de pesagem. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, v. 14, n. 2, p. 108–116, 2006.
- CRUZ-BLANCO, M.; GAVILÁN, P.; SANTOS, C.; LORITE, I. J. Assessment of reference evapotranspiration using remote sensing and forecasting tools under semi-arid conditions. **International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation**, v. 33, p. 280–289, 1 dez. 2014.
- DOORENBOS, J.; PRUITT, W. O. **Crop water requirements crop water requirements**. Rome: FAO, 1975.
- EMBRAPA. Sistema brasileiro de classificação de solos. **Centro Nacional de Pesquisa de Solos: Rio de Janeiro**, p. 20, 2013.
- FARIA, R. T.; CAMPECHE, F. S. M.; CHIBANA, E. Y. Construção e calibração de lisímetros de alta precisão Construction and calibration of high precision lysimeters. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 10, n. 1, p. 237–242, 2006.
- FLUMIGNAN, D. L. **Lisímetros de pesagem direta para o estudo do consumo hídrico do pinhão-manso (Jatropha curcas L.)**. Piracicaba: Universidade de São Paulo, 7 fev. 2012.
- GENUCHTEN, M. T. VAN. A closed-form equation for predicting the hydraulic conductivity of unsaturated soils. **Soil science society of America journal**, v. 44, n. 5, p. 892–898, 1980.
- GENUCHTEN, M. T. VAN; LEIJ, F. J.; YATES, S. R. The RETC code for quantifying the hydraulic functions of unsaturated soils. 1991.

JANSSEN, P. H. M.; HEIBERGER, P. S. C. Calibration of process: oriented models. **Ecological Modelling**, v. 83, n. 1, p. 55–56, 1995.

MARIN, F.; JONES, J. W.; BOOTE, K. J. A stochastic method for crop models: Including uncertainty in a sugarcane model. **Agronomy Journal**, v. 109, n. 2, p. 483–495, 2017.

PAYERO, J. O.; IRMAK, S. Daily energy fluxes, evapotranspiration and crop coefficient of soybean. **Agricultural Water Management**, v. 129, p. 31–43, nov. 2013.

PEREIRA, A. R.; MARIN, Á. R.; ANGELOCCI, L. R.; AUGUSTO, N.; NOVA, V.; SENTELHAS, P. C. DI .. ICULTIES WITH MICROMETEOROLOGICAL METHODS TO ESTIMATE EVAPOTRANSPIRATION IN A SMALL CITRUS ORCHARD 1 Extracted from the MS Thesis of the 2 nd author . Departamento de Ciências Exatas , Esalq / USP , Piracicaba , SP 13418-900 arpereir@carpa.ciagri.u. p. 13–20, 2003.

PEREIRA, L. S.; ALLEN, R. G.; SMITH, M.; RAES, D. Crop evapotranspiration estimation with FAO56: Past and future. **Agricultural Water Management**, v. 147, p. 4–20, 2015.

RAJAONA, A. M.; SUTTERER, N.; ASCH, F. Potential of waste water use for jatropha cultivation in arid environments. **Agriculture (Switzerland)**, v. 2, n. 4, p. 376–392, 2012.

RUIZ-PEÑALVER, L.; VERA-REPULLO, J. A.; JIMÉNEZ-BUENDÍA, M.; GUZMÁN, I.; MOLINA-MARTÍNEZ, J. M. Development of an innovative low cost weighing lysimeter for potted plants: Application in lysimetric stations. **Agricultural Water Management**, v. 151, p. 103–113, 2015.

SILVA, L. D. B. DA; LYRA, G. B.; SILVA, J. B. G.; PINHO, C. F. DE; NASCENTES, A. L.; ALMEIDA, G. V. DE; FOLEGATTI, M. V. Desempenho do método do balanço de energia-razão de Bowen na estimativa da evapotranspiração de referência. **Irriga**, v. 21, n. 3, p. 516–529, 2016.

SNYDER, R. L.; O'CONNELL, N. V. Crop Coefficients for Microsprinkler-Irrigated, Clean-Cultivated, Mature Citrus in an Arid Climate. **Journal of Irrigation and Drainage Engineering**, v. 133, n. 1, p. 43–52, fev. 2007.

TAYLOR, N. J.; MAHOHOMA, W.; VAHRMEIJER, J. T.; GUSH, M. B.; ALLEN, R. G.; ANNANDALE, J. G. Crop coefficient approaches based on fixed estimates of leaf resistance are not appropriate for estimating water use of citrus. **Irrigation Science**, v. 33, n. 2, p. 153–166, 2014.

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

# ENGENHARIA AGRONÔMICA:

Ambientes Agrícolas e  
seus Campos de Atuação

3

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