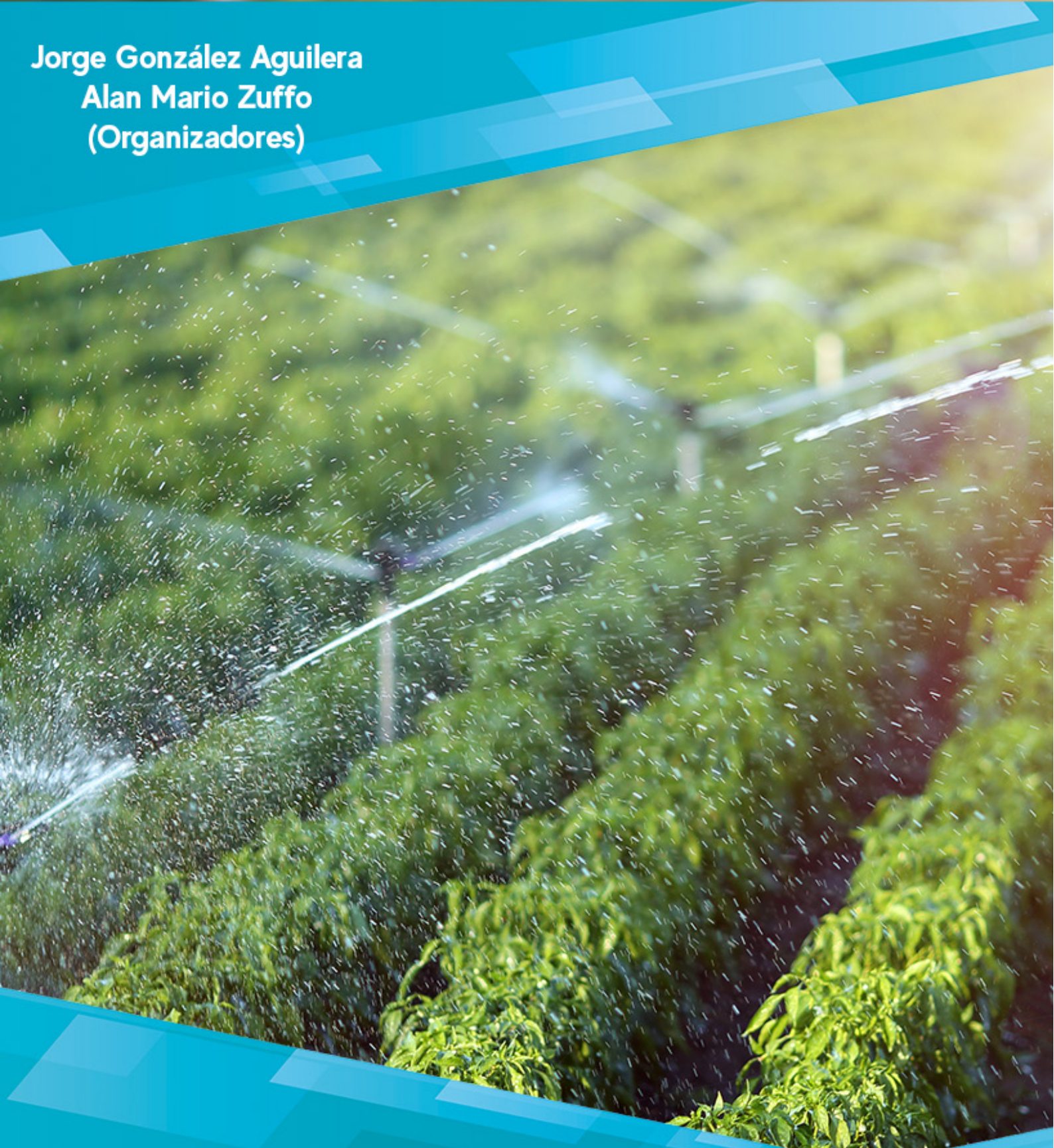


**Jorge González Aguilera
Alan Mario Zuffo
(Organizadores)**



**Ciências Exatas e da
Terra e a Dimensão
Adquirida através da
Evolução Tecnológica 2**

Atena
Editora
Ano 2019

Jorge González Aguilera

Alan Mario Zuffo

(Organizadores)

**Ciências Exatas e da Terra e a Dimensão
Adquirida através da Evolução Tecnológica
2**

**Atena Editora
2019**

2019 by Atena Editora
Copyright © Atena Editora
Copyright do Texto © 2019 Os Autores
Copyright da Edição © 2019 Atena Editora
Editora Executiva: Prof^a Dr^a Antonella Carvalho de Oliveira
Diagramação: Karine de Lima
Edição de Arte: Lorena Prestes
Revisão: Os Autores

O conteúdo dos artigos e seus dados em sua forma, correção e confiabilidade são de responsabilidade exclusiva dos autores. Permitido o download da obra e o compartilhamento desde que sejam atribuídos créditos aos autores, mas sem a possibilidade de alterá-la de nenhuma forma ou utilizá-la para fins comerciais.

Conselho Editorial

Ciências Humanas e Sociais Aplicadas

Prof. Dr. Álvaro Augusto de Borba Barreto – Universidade Federal de Pelotas
Prof. Dr. Antonio Carlos Frasson – Universidade Tecnológica Federal do Paraná
Prof. Dr. Antonio Isidro-Filho – Universidade de Brasília
Prof. Dr. Constantino Ribeiro de Oliveira Junior – Universidade Estadual de Ponta Grossa
Prof^a Dr^a Cristina Gaio – Universidade de Lisboa
Prof. Dr. Deyvison de Lima Oliveira – Universidade Federal de Rondônia
Prof. Dr. Gilmei Fleck – Universidade Estadual do Oeste do Paraná
Prof^a Dr^a Ivone Goulart Lopes – Istituto Internazionele delle Figlie de Maria Ausiliatrice
Prof. Dr. Julio Candido de Meirelles Junior – Universidade Federal Fluminense
Prof^a Dr^a Lina Maria Gonçalves – Universidade Federal do Tocantins
Prof^a Dr^a Natiéli Piovesan – Instituto Federal do Rio Grande do Norte
Prof^a Dr^a Paola Andressa Scortegagna – Universidade Estadual de Ponta Grossa
Prof. Dr. Urandi João Rodrigues Junior – Universidade Federal do Oeste do Pará
Prof^a Dr^a Vanessa Bordin Viera – Universidade Federal de Campina Grande
Prof. Dr. Willian Douglas Guilherme – Universidade Federal do Tocantins

Ciências Agrárias e Multidisciplinar

Prof. Dr. Alan Mario Zuffo – Universidade Federal de Mato Grosso do Sul
Prof. Dr. Alexandre Igor Azevedo Pereira – Instituto Federal Goiano
Prof^a Dr^a Daiane Garabeli Trojan – Universidade Norte do Paraná
Prof. Dr. Darllan Collins da Cunha e Silva – Universidade Estadual Paulista
Prof. Dr. Fábio Steiner – Universidade Estadual de Mato Grosso do Sul
Prof^a Dr^a Girlene Santos de Souza – Universidade Federal do Recôncavo da Bahia
Prof. Dr. Jorge González Aguilera – Universidade Federal de Mato Grosso do Sul
Prof. Dr. Ronilson Freitas de Souza – Universidade do Estado do Pará
Prof. Dr. Valdemar Antonio Paffaro Junior – Universidade Federal de Alfenas

Ciências Biológicas e da Saúde

Prof. Dr. Benedito Rodrigues da Silva Neto – Universidade Federal de Goiás
Prof.^a Dr.^a Elane Schwinden Prudêncio – Universidade Federal de Santa Catarina
Prof. Dr. Gianfábio Pimentel Franco – Universidade Federal de Santa Maria
Prof. Dr. José Max Barbosa de Oliveira Junior – Universidade Federal do Oeste do Pará

Profª Drª Natiéli Piovesan – Instituto Federal do Rio Grande do Norte
Profª Drª Raissa Rachel Salustriano da Silva Matos – Universidade Federal do Maranhão
Profª Drª Vanessa Lima Gonçalves – Universidade Estadual de Ponta Grossa
Profª Drª Vanessa Bordin Viera – Universidade Federal de Campina Grande

Ciências Exatas e da Terra e Engenharias

Prof. Dr. Adélio Alcino Sampaio Castro Machado – Universidade do Porto
Prof. Dr. Eloi Rufato Junior – Universidade Tecnológica Federal do Paraná
Prof. Dr. Fabrício Menezes Ramos – Instituto Federal do Pará
Profª Drª Natiéli Piovesan – Instituto Federal do Rio Grande do Norte
Prof. Dr. Takeshy Tachizawa – Faculdade de Campo Limpo Paulista

Conselho Técnico Científico

Prof. Msc. Abrãao Carvalho Nogueira – Universidade Federal do Espírito Santo
Prof. Dr. Adaylson Wagner Sousa de Vasconcelos – Ordem dos Advogados do Brasil/Seccional Paraíba
Prof. Msc. André Flávio Gonçalves Silva – Universidade Federal do Maranhão
Prof.ª Drª Andreza Lopes – Instituto de Pesquisa e Desenvolvimento Acadêmico
Prof. Msc. Carlos Antônio dos Santos – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro
Prof. Msc. Daniel da Silva Miranda – Universidade Federal do Pará
Prof. Msc. Eliel Constantino da Silva – Universidade Estadual Paulista
Prof.ª Msc. Jaqueline Oliveira Rezende – Universidade Federal de Uberlândia
Prof. Msc. Leonardo Tullio – Universidade Estadual de Ponta Grossa
Prof.ª Msc. Renata Luciane Polsaque Young Blood – UniSecal
Prof. Dr. Welleson Feitosa Gazel – Universidade Paulista

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP) (eDOC BRASIL, Belo Horizonte/MG)	
C569	Ciências exatas e da terra e a dimensão adquirida através da evolução tecnológica 2 [recurso eletrônico] / Organizadores Jorge González Aguilera, Alan Mario Zuffo. – Ponta Grossa, PR: Atena Editora, 2019. – (Ciências Exatas e da Terra e a Dimensão Adquirida Através da Evolução Tecnológica; v. 2) Formato: PDF Requisitos de sistema: Adobe Acrobat Reader Modo de acesso: World Wide Web Inclui bibliografia ISBN 978-85-7247-473-3 DOI 10.22533/at.ed.733191107 1. Ciências exatas e da terra – Pesquisa – Brasil. 2. Tecnologia. I. Aguilera, Jorge González. II. Zuffo, Alan Mario CDD 509.81
Elaborado por Maurício Amormino Júnior – CRB6/2422	

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

APRESENTAÇÃO

A obra “*Ciências Exatas e da Terra e a Dimensão Adquirida através da Evolução Tecnológica vol. 2*” aborda uma publicação da Atena Editora, apresenta, em seus 28 capítulos, conhecimentos tecnológicos e aplicados as Ciências Exatas e da Terra.

Este volume dedicado à Ciência Exatas e da Terra traz uma variedade de artigos que mostram a evolução tecnológica que vem acontecendo nestas duas ciências, e como isso tem impactado a vários setores produtivos e de pesquisas. São abordados temas relacionados com a produção de conhecimento na área da matemática, química do solo, computação, geoprocessamento de dados, biodigestores, educação ambiental, manejo da água, entre outros temas. Estas aplicações visam contribuir no aumento do conhecimento gerado por instituições públicas e privadas no país.

Aos autores dos diversos capítulos, pela dedicação e esforços sem limites, que viabilizaram esta obra que retrata os recentes avanços científicos e tecnológicos nas Ciências Exatas e da Terra, os agradecimentos dos Organizadores e da Atena Editora.

Por fim, esperamos que este livro possa colaborar e instigar mais estudantes e pesquisadores na constante busca de novas tecnologias para a área da Física, Matemática, e na Agronomia e, assim, contribuir na procura de novas pesquisas e tecnologias que possam solucionar os problemas que enfrentamos no dia a dia.

Jorge González Aguilera

Alan Mario Zuffo

SUMÁRIO

CAPÍTULO 1	1
A GESTÃO DA ÁGUA SUBTERRÂNEA NA REGIÃO SEMIÁRIDA DO ESTADO DE PERNAMBUCO: ANÁLISE DO POTENCIAL DE USO	
Margarida Regueira da Costa Alexandre Luiz Souza Borba Fernanda Soares de Miranda Torres	
DOI 10.22533/at.ed.7331911071	
CAPÍTULO 2	7
APLICAÇÃO DA ESTATÍSTICA MULTIVARIADA NO DIAGNÓSTICO DO PROCESSO DE SALINIZAÇÃO EM AÇUDES DO SEMIÁRIDO NORDESTINO, CEARÁ/BRASIL	
José Batista Siqueira Sanmy Silveira Lima	
DOI 10.22533/at.ed.7331911072	
CAPÍTULO 3	18
AQUÍFERO DUNAS-POTENGI: DISPONIBILIDADE E POTENCIALIDADE DAS ÁGUAS EM NATAL – RN	
Melquisedec Medeiros Moreira Newton Moreira de Souza Miguel Dragomir Zanic Cuellar Kátia Alves Arraes	
DOI 10.22533/at.ed.7331911073	
CAPÍTULO 4	27
AS ÁGUAS DO AQUÍFERO ALUVIONAR JAGUARIBE E SUA RELAÇÃO COM O USO/OCUPAÇÃO DO SOLO: ÁREA PILOTO DE SÃO JOÃO DO JAGUARIBE – CEARÁ	
Antônio Flávio Costa Pinheiro Itabaraci Nazareno Cavalcante Alexsandro dos Santos Garcês Rafael Mota de Oliveira Emanuel Arruda Pinho	
DOI 10.22533/at.ed.7331911074	
CAPÍTULO 5	42
CULTURA DE SEGURANÇA EM LABORATÓRIOS DE PESQUISA DA ÁREA QUÍMICA	
Milson dos Santos Barbosa Débora da Silva Vilar Aline Resende Dória Isabelle Maria Gonzaga Duarte Dara Silva Santos Lays Ismerim Oliveira Géssica Oliveira Santiago Santos Luiz Fernando Romanholo Ferreira	
DOI 10.22533/at.ed.7331911075	

CAPÍTULO 6 53

DESENVOLVIMENTO E VALIDAÇÃO DE METODOLOGIA ANALÍTICA PARA DETERMINAÇÃO DE FORMALDEÍDO EM COSMÉTICOS

Helder Lopes Vasconcelos
Andressa Almeida

DOI 10.22533/at.ed.7331911076

CAPÍTULO 7 63

DETERMINAÇÃO DA CURVA-CHAVE DAS CONCENTRAÇÕES DE SEDIMENTOS EM SUSPENSÃO NA BACIA DO RIO QUARAÍ, NA FRONTEIRA OESTE DO RIO GRANDE DO SUL

Mayara Torres Mendonça
Clamarion Maier
Edenir Luís Grimm
Gustavo Henrique Merten
Jainara Fresinghelli Netto
Ricardo Boscaini
Miriam Fernanda Rodrigues
Thais Palumbo Silva
Franciele de Bastos
Raí Ferreira Batista
Suélen Matiasso Fachi

DOI 10.22533/at.ed.7331911077

CAPÍTULO 8 76

DETERMINAÇÃO DE PERÍMETROS DE PROTEÇÃO DE POÇOS DE CAPTAÇÃO EM DIFERENTES SISTEMAS AQUÍFEROS DO ESTADO DE SÃO PAULO

César de Oliveira Ferreira Silva
Manuel Enrique Gamero Guandique

DOI 10.22533/at.ed.7331911078

CAPÍTULO 9 84

DEVELOPMENT OF PROCEDURES FOR CALIBRATION OF METEOROLOGICAL SENSORS. CASE STUDY: CALIBRATION OF A TIPPING-BUCKET RAIN GAUGE AND DATA-LOGGER SET

Márcio Antônio Aparecido Santana
Patrícia Lúcia de Oliveira Guimarães
Luca Giovanni Lanza

DOI 10.22533/at.ed.7331911079

CAPÍTULO 10 93

DIAGNÓSTICO DA QUALIDADE E SAÚDE AMBIENTAL DO MERCADO DO PEIXE, SÃO LUÍS - MARANHÃO

Marcelo Vieira Sodré Barbosa
Ana Carolina Lopes Ozorio
Itapotiarã Vilas Bôas

DOI 10.22533/at.ed.73319110710

CAPÍTULO 11 100

ESTUDO DA SÍNTESE SEM SOLVENTE DE ZEÓLITAS UTILIZANDO DIFERENTES LÍQUIDOS IÔNICOS COMO AGENTES DIRECIONADORES DE ESTRUTURA

Iemedelais Bordin
Victor de Aguiar Pedott
Elton Luis Hillesheim
Rogério Marcos Dallago
Marcelo Luís Mignoni

DOI 10.22533/at.ed.73319110711

CAPÍTULO 12 109

GEOPROCESSAMENTO PARA DELIMITAÇÃO DE APPS E ESTUDO DA PERCEPÇÃO AMBIENTAL NAS MARGENS DO BEIJA-FLOR, MUNICÍPIO DE MAZAGÃO-AP

Kerlency Maria Farias Santos
Rudney Lobato Furtado
Mariano Araújo Bernadino Rocha
Olavo Bilac Quaresma de Oliveira Filho

DOI 10.22533/at.ed.73319110712

CAPÍTULO 13 124

GEOQUÍMICA E QUALIDADE DE ÁGUAS NATURAIS DE NASCENTES DA REGIÃO METROPOLITANA DE CAMPINAS, SÃO PAULO

Rafael Bassetto Ferreira
Wanilson Luiz Silva

DOI 10.22533/at.ed.73319110713

CAPÍTULO 14 138

IMPACTOS POTENCIAIS DOS ROMPIMENTOS DE BARRAGENS NÃO-SEGURAS NO USO DA ÁGUA NA BACIA DO PARAÓPEBA, MINAS GERAIS

Luciana Eler França
Fernando Figueiredo Goulart
Carlos Bernardo Mascarenhas Alves

DOI 10.22533/at.ed.73319110714

CAPÍTULO 15 153

MODELAGEM DE ESTRUTURAS DE CONTENÇÃO DE SOLO REFORÇADO NO SISTEMA TERRAMESH

Taila Ester dos Santos de Souza
Carlos Alberto Simões Pires Wayhs
Alan Donassollo

DOI 10.22533/at.ed.73319110715

CAPÍTULO 16 167

POTENCIALIDADES DOS AQUÍFEROS DA BACIA DO RIO VERDE GRANDE E SUAS RELAÇÕES COM OS DOMÍNIOS CLIMÁTICOS E HIDROGEOLÓGICOS

Estefânia Fernandes dos Santos
Leila Nunes Menegasse Velasquez

DOI 10.22533/at.ed.73319110716

CAPÍTULO 17 182

QUALIDADE DAS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS NO OESTE DE SANTA CATARINA, BRASIL

Janete Facco
Fabio Luiz Carasek
Sival Francisco de Oliveira Junior
Luiz Fernando Scheibe
Manuela Gazzoni dos Passos
Mariana Muniz Blank

DOI 10.22533/at.ed.73319110717

CAPÍTULO 18 197

RAIZ DO CAPIM VETIVER: UMA FONTE ALTERNATIVA PARA A PRODUÇÃO DE CARVÃO ATIVADO

Felipe Coelho Vieira
Alan Rodrigues Teixeira Machado
Marcelo Segala Xavier
Jussara Vitória Reis

DOI 10.22533/at.ed.73319110718

CAPÍTULO 19 210

RELAÇÃO EXISTENTE ENTRE AS CONDIÇÕES SOCIOECONÔMICAS DE UMA REGIÃO DO CERRADO MARANHENSE E OS IMPACTOS AMBIENTAIS OCORRENTES NO LOCAL

Karla Bianca Novaes Ribeiro
Kely Silva dos Santos
Karine Silva Araujo
Mayanna de Kássia Silva Rodrigues
James Werllen de Jesus Azevedo

DOI 10.22533/at.ed.73319110719

CAPÍTULO 20 219

RELEVO COMO FATOR INTENSIFICADOR DAS ONDAS DE CALOR EM ALAGOAS

Dálete Maria Lima de Sousa
Anne Karolyne Pereira da Silva
Rafael Wendell Barros Forte da Silva
João Vitor Benevides de Castro
Francisco de Assis Franco Vieira
David Harley de Oliveira Saraiva

DOI 10.22533/at.ed.73319110720

CAPÍTULO 21 233

RESPOSTAS FISIOLÓGICAS E BIOQUÍMICAS DE MILHO (ZEA MAYS L.) EXPOSTAS A ÁCIDO HÚMICO

Monique Ellen Farias Barcelos
Leonardo Barros Dobbss
Amanda Azevedo Bertolazi
Alessandro Coutinho Ramos
Ian Drumond Duarte
Lívia Dorsch Rocha
Leonardo Valandro Zanetti
Silvia Tamie Matsumoto

DOI 10.22533/at.ed.73319110721

CAPÍTULO 22	247
SUPORTES HÍBRIDOS DE SÍLICA-MONOSSACARÍDEOS: MATERIAIS POTENCIAIS PARA IMOBILIZAÇÃO DE PEROXIDASE RAP - TOYOBO	
Ivan Martins Barreto	
Maria Antônia Carvalho Lima Jesus	
Djalma Menezes De Oliveira	
Ronaldo Costa Santos	
Alini Tinoco Fricks	
Heiddy Márquez Alvarez	
DOI 10.22533/at.ed.73319110722	
CAPÍTULO 23	256
USO E OCUPAÇÃO DA TERRA NA BACIA DO RIO PUNHAÍ, LITORAL NORTE DA BAHIA	
Ricardo Acácio de Almeida	
DOI 10.22533/at.ed.73319110723	
CAPÍTULO 24	263
ADMINISTRAÇÃO: FERRAMENTA DE CONVIVÊNCIA COM O SEMIÁRIDO	
Esmeraldo Bezerra de Melo Junior	
Claudio Jorge Gomes da Rocha Junior	
DOI 10.22533/at.ed.73319110724	
CAPÍTULO 25	275
ORGANIZAÇÃO SOCIAL DOS PRODUTORES DE BANANA DOS MUNICÍPIOS DE PRESIDENTE FIGUEIREDO E RIO PRETO DA EVA, AMAZONAS E PARTICIPAÇÃO DO GOVERNO PARA A SUSTENTABILIDADE DA CULTURA	
Maricleide Maia Said	
Luiz Antonio de Oliveira	
DOI 10.22533/at.ed.73319110725	
CAPÍTULO 26	287
AGROECOLOGIA E RE(EXISTÊNCIAS): CONTRIBUIÇÃO DA AGRICULTURA FAMILIAR DE BASE AGROECOLÓGICA COMO PASSO PARA GARANTIA DA SEGURANÇA ALIMENTAR E NUTRICIONAL EM UM ACAMPAMENTO NO SERTÃO PARAIBANO	
Luymara Pereira Bezerra de Almeida	
Helena Cristina Moura Pereira	
DOI 10.22533/at.ed.73319110726	
CAPÍTULO 27	299
LEVANTAMENTO DE MOSCAS BRANCAS (<i>Bemisia tabaci</i>) NA CULTURA SOJA, EM UM MUNICÍPIO DO NOROESTE DO RS: ANO I	
Isaura Luiza Donati Linck	
Antônio Luis Santi	
Ezequiel Zibetti Fornari	
Luis Felipe Rossetto Gerlach	
Fernanda Marcolan de Souza	
DOI 10.22533/at.ed.73319110727	

CAPÍTULO 28 305

QUANTIFICAÇÃO DE MICRO-ORGANISMOS E CLASSIFICAÇÃO DE SUA ATIVIDADE ENZIMÁTICA
PROTEOLÍTICA E LIPOLÍTICA EM LEITE CRUCAPTADO EM LATICÍNIOS NO MUNICÍPIO DE
PIUMHI-MG

Maria Clara de Freitas Guimarães Santos

Eudoro da Costa Lima Neto

Talitha Oliveira de Rezende

Leonardo Borges Acurcio

DOI 10.22533/at.ed.73319110728

SOBRE OS ORGANIZADORES..... 317

DEVELOPMENT OF PROCEDURES FOR CALIBRATION OF METEOROLOGICAL SENSORS. CASE STUDY: CALIBRATION OF A TIPPING-BUCKET RAIN GAUGE AND DATA-LOGGER SET

Márcio Antônio Aparecido Santana

Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - INPE, Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos, Laboratório de Instrumentação Meteorológica, Metrologia Ambiental
Cachoeira Paulista – SP - Brasil

Patrícia Lúcia de Oliveira Guimarães

Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - INPE, Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos, Laboratório de Instrumentação Meteorológica, Metrologia Ambiental
Cachoeira Paulista – SP - Brasil

Luca Giovanni Lanza

Università degli Studi di Genova - UNIGE, Dipartimento di Ingegneria civile, chimica e ambientale. WMO/CIMO Lead Centre “B. Castelli” on Precipitation Intensity.
Genova, Italy

ABSTRACT: The tipping-bucket rain gauge is often calibrated as a stand-alone instrument. However, the measurement accuracy depends on the associated data-logger as well, especially in case the rainfall intensity is derived from the measurement. This paper reports the calibration of a set comprising the tipping-bucket rain gauge assembly and the associated data-logger. The case study of a specific commercial rain gauge is presented. We conclude that the response time of the data-logger directly affects the

measurement of rainfall intensity and that the greatest contribution to the uncertainty budget may arise from the accuracy of the clock of the data-logger.

KEYWORDS: meteorological instrumentation, rain gauge, calibration, rain intensity, data-logger.

DESENVOLVIMENTO DE PROCEDIMENTOS PARA CALIBRAÇÃO DE SENSORES METEOROLÓGICOS. ESTUDO DE CASO: CALIBRAÇÃO DO CONJUNTO PLUVIÔMETRO DE BÁSCULA E SISTEMA DE AQUISIÇÃO DE DADOS

RESUMO: O pluviômetro basculante é frequentemente calibrado como um instrumento autônomo. No entanto, a precisão da medição também depende do registrador de dados (data-logger) associado, especialmente no caso que a intensidade da chuva é uma derivada da medição. Este artigo relata a calibração de um conjunto que compreende o conjunto de pluviômetro de báscula com o registrador de dados associado. O estudo de caso de um pluviômetro comercial específico é apresentado neste trabalho. Concluímos que o tempo de resposta do data-logger afeta diretamente a medida da intensidade da chuva e que a maior contribuição na análise das incertezas pode surgir da precisão do relógio do data logger.

PALAVRAS-CHAVE: instrumentação meteorológica, pluviômetro, calibração, intensidade de chuva, data-logger.

1 | INTRODUCTION

Precipitation measurements are very important to the Environmental Sciences. A huge range of applications around the world bases on the observation and investigation of typically measured characteristics of precipitation such as the rainfall amount, intensity and duration, besides the frequency of intense rainfall events [Westra et al., 2014; Kidd & Joe, 2007].

There are instruments that simply inform the status of the rain in that moment, i.e. whether it rains or not, as well as there are those that show the distribution of precipitated drop sizes. The most commonly employed instrument for the measurement of rain amount and intensity is the tipping-bucket rain gauge (TBRG). The TBRG is a device that can send a pulse as an output signal to each nominal amount of rainfall collected in a pivoting two-compartment bucket [Liu et al., 2011; Petracca, 2011].

Most automatic rain gauges measure a small amount of rainfall over a relatively short time interval, usually less than one minute. Users of rainfall measurements typically require information of accumulated rainfall for longer time intervals, e.g. the hourly, daily, monthly, and even annual total rain depth [Petracca, 2011; Sene, 2015]. Other very important information is the rainfall intensity that is obtained indirectly using a rain gauge and a data acquisition and processing system.

Using a data acquisition system or a data-logger it is possible to record the instant when the various pulses occur, and thus calculate the rainfall intensity (RI). Usually, the mechanical device of a tipping-bucket rain gauge is calibrated as a stand-alone instrument. This paper shows the calibration procedure of an instrumentation set comprising a commercial tipping-bucket rain gauge and the associated data-logger, thus making it possible to calculate the uncertainty of the RI measurement.

2 | METHOD

Figure 1 shows a classical TBRG. In general, a TBRG opens or closes a contact through a reed-switch sensor, or similar, to each determined volume of precipitated rain, generating a pulse if electrically powered [Santana et al., 2015]. In order to calculate the accumulated rainfall or rainfall intensity, it is necessary to record the pulses and the instants when they occur in a data acquisition system for suitable processing [Stagnaro et al., 2016].

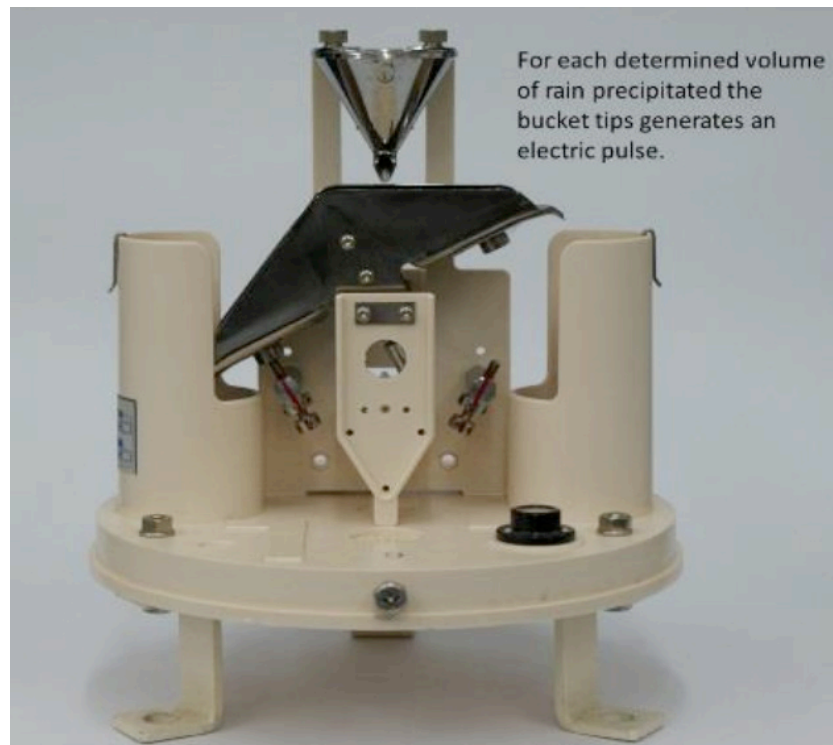


Figure 1 - The TBRG and its measuring principle

Figure 2 shows the set under investigation here, comprising a commercial TBRG, model HD2013, manufactured by Delta Ohm and a commercial data-logger, model CR1000, manufactured by Campbell Scientific as used in a weather station. In the case of TBRGs, at each pulse, the data-logger records the tip and time stamp, i.e. the date and time that pulse occurred. A weather station can also use further sensors to measure other relevant variables. In the case of a rainfall station, the recorded data can be later transmitted using different devices and means of communication. The measured data consist of time stamps of the time of tipping. Depending on the data-logger, it is possible to correct the data and calculate the *RI*, before the transmission.

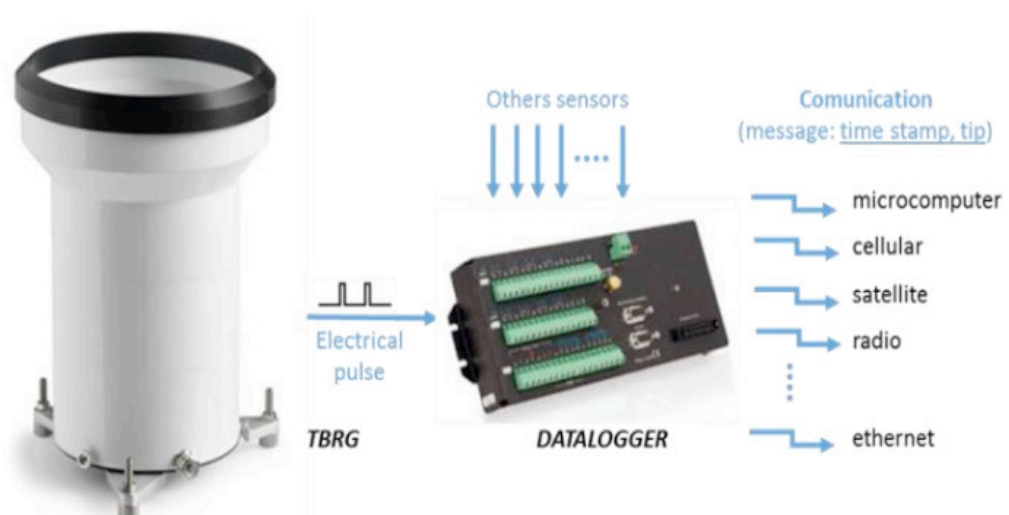


Figure 2 - Schematics of a weather station with rainfall record.

The calibration of a TBRG can be performed by the volumetric (input) or gravimetric (output) methods shown in figure 3 [Santana et al., 2016] and an example of the calibration results is reported in tables 1 and 2. Briefly, the calibration procedure by the input method relies on the indirect comparison to working standards using a peristaltic pump and a data acquisition system, while in the output method the calibration procedure is based on the indirect comparison to the working standards, using a balance and a data acquisition system. A series of fifteen measures are carried out in the verification of the catchment area (here nominally equal to 400 cm²) and five measurements for each calibration point, and the mean values are reported. The expanded uncertainty of measurement (calibration uncertainty) reported equals the combined standard uncertainty multiplied by the coverage factor “k” for a confidence level of 95,45%, and was determined according to EURAMET cg-19 - Guidelines on the determination of uncertainty in gravimetric volume calibration [EURAMET, 2011] and EA-4/02 [European Co-operation for Accreditation, 1999] and ISO / GUM - Guide to the Expression of Uncertainty in Measurement [JCGM, 2008].

Table 1 shows the results of the calibration for a given *RI* using 100 tips (for *RI* around 15 mm.h⁻¹) and table 2 shows the *RI* for a given number of tips, for example 50 tips. The calibration certificate also reported the environmental conditions (air temperature, t_{air} , water temperature, t_{water} , air relative humidity, H_R and atmospheric pressure, P), the diameter d of area of the collector and the measured mean resolution. The measured quantity Q_M is expressed by equation (1), where W_M is the measured mass of water, δ_{water} is the density of water and δ_{air} is the density of air.

$$Q_M = \frac{W_M \cdot [\delta_{water}(t_{water}) - \delta_{air}(t_{air}, P, H_R)]^{-1}}{\pi \left(\frac{d}{2}\right)^2} \quad (1)$$

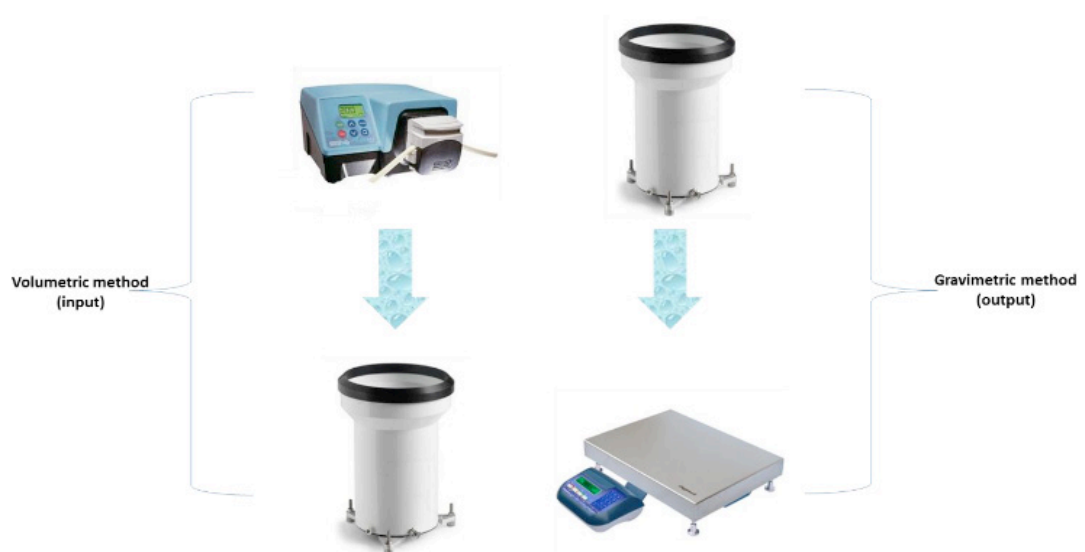


Figure 3 - Calibration methods for a TBRG.

The correction C is given by (2), where Q_N is the nominal quantity.

$$C = \frac{[Q_N - Q_M] \cdot 100}{Q_M} [\%] \quad (2)$$

Number of tips	Nominal Quantity	Measured Quantity	Correction C	Expanded Uncertainty	Coverage factor k
	Q_N [mm]	Q_M [mm]		U [%]	
1	0,20	0,19	5,3	± 4,0	2,00
2	0,40	0,39	2,6	± 2,2	2,03
5	1,00	0,99	1,0	± 1,5	2,23
10	2,00	2,00	0	± 0,41	2,02
20	4,00	4,00	0	± 1,0	2,52
50	10,00	9,96	0,40	± 0,85	2,65
100	20,00	20,01	-0,01	± 0,21	2,52

Table 1. Calibration of quantity for $RI = 12,6$ to $13,6$ mm/h (example)

In this paper, the calibration of the TBRG in conjunction with the data-logger (figure 4B) was performed based on the calibration of the TBRG itself (figure 4(a)). Figure 4(b) shows the RG calibration system obtaining the output signal of TBRG (pulse) and data from the data-logger (tip and timestamp). The RG calibration system consists of a rain simulator, a device for measuring the volume of simulated rainfall and a data acquisition system (data-logger) as well as meters for air temperature, water temperature, air relative humidity, atmospheric pressure and the diameter of the collector. The calibration certificate of the set TBRG/data-logger must also present the results and uncertainties for the rainfall intensity RI , including the corrections to be applied, in compliance with the recommendations of the World Meteorological Organization (WMO) [WMO, 2014].

Calculated RI [mm/h]	Nominal Quantity Q_N [mm]	Measured Quantity Q_M [mm]	Correction [%]	Expanded Uncertainty U [%]	Coverage factor k
26	10,00	9,94	0,60	± 1,1	2,65
52		10,05	-0,50	± 0,72	2,65
72		9,97	0,30	± 0,60	2,52
90		10,04	-0,40	± 0,11	2,13
120		10,04	-0,40	± 0,35	2,52

Measured resolution (average) = 0,20 [mm].

Table 2. Calibration of RI versus 50 tips (example)

3 | RESULTS

For the calibration of the set comprising the TBRG and the data-logger, the Q_M and RI are estimated with their respective uncertainties. The average RI in mm/h is expressed by (3), where Q is the quantity measured in millimeters and t is the time interval, in seconds.

$$RI = Q \cdot t^{-1} \cdot 3600 \quad (3)$$

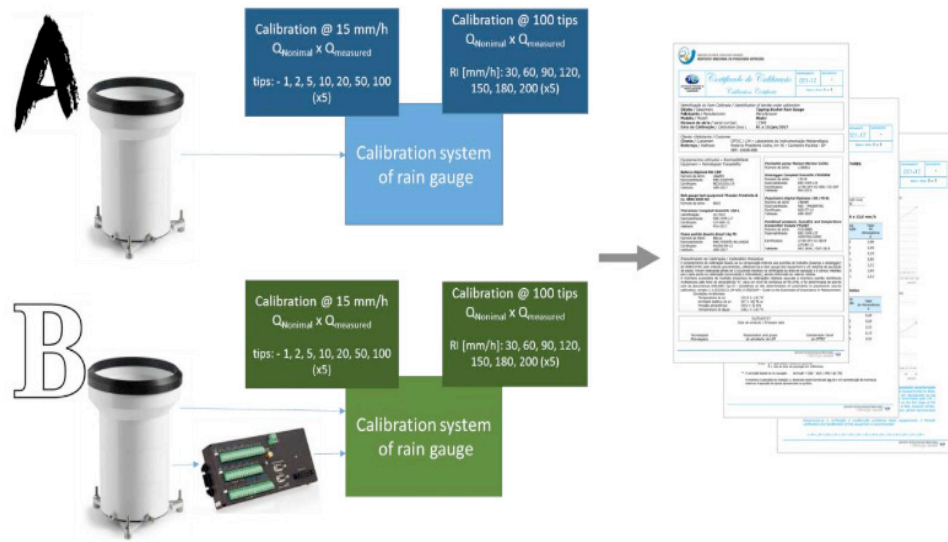


Figure 4 - Setups of calibration: (a) TBRG; (b) TBRG + Data-logger.

In equation (4), n is the number of tips and t_n is the time interval between tips.

$$t = \sum t_n \cdot n^{-1} \quad (4)$$

For the measured quantity Q used in (5), the uncertainty contributions depend on the method used (volumetric or gravimetric) [Santana et al., 2016].

$$RI = \frac{Q}{t} + \delta_{RI_{REP}} \quad (5)$$

For the estimation of the measurement uncertainty of RI , the data-logger used as a standard in the calibration system of the rain gauge must have been calibrated in time and frequency in the pulse channel used for the TBRG signal input under calibration. Indeed, physical and electrical factors affecting the crystal oscillator frequency may influence the stability and accuracy of the data-logger [Zhou et al., 2008].

The measurement uncertainty of RI is obtained through equation (6), where u_{x1} is

the uncertainty of Q , u_{x2} is relative to the calibration certificate of frequency of the data-logger, u_{x3} is due to the specifications of the clock accuracy of the data-logger and u_{x4} is due to the repeatability of the t_n measurements. Equation (7) expresses the relative uncertainty of RI .

$$u(RI) = \left[\sum_{i=1}^4 \left(\frac{\partial RI}{\partial x_i} \right)^2 u^2(x_i) \right]^{1/2} \quad (6)$$

$$u(RI)(\%) = \sqrt{\sum_{i=1}^j u_R(x_i)^2} \quad (7)$$

Tables 3 and 4 show the results of calibration (example) where Q_N is the nominal quantity of rain, RI_N is the nominal rain intensity, Q_M is the measured quantity of rainfall, RI_M is the measured rain intensity, C_{QM} and C_{RI} are the corrections, U_{QM} and U_{RI} are the expanded uncertainties and k is the coverage factor for a probability of coverage of approximately 95,45%.

RI_N [mm/h]	Q_N [mm]	TBRG				TBRG with data-logger			
		Q_M [mm]	C_{QM} [%]	U_{QM} [%]	k	RI_M [mm/h]	C_{RI} [%]	U_{RI} [%]	k
13,00	0,20	0,19	5,3	± 4,0	2,00	12,99	0,08	± 4,7	2,00
	0,40	0,39	2,6	± 2,2	2,03			± 3,3	2,00
	1,00	0,99	1,0	± 1,5	2,23			± 2,8	2,00
	2,00	2,00	0	± 0,41	2,02			± 2,5	2,00
	4,00	4,00	0	± 1,0	2,52			± 2,6	2,00
	10,00	9,96	0,40	± 0,85	2,65			± 2,5	2,00
	20,00	20,01	-0,01	± 0,21	2,52			± 2,5	2,00

Table 3 - Calibration of quantity for $RIN \approx 13,00 \text{ mm.h}^{-1}$ (example)

Q_N [mm]	RI_N [mm/h]	TBRG				TBRG with data-logger			
		Q_M [mm]	C_{QM} [%]	U_{QM} [%]	k	RI_M [mm/h]	C_{RI} [%]	U_{RI} [%]	k
10,00	25,90	9,94	0,60	± 1,1	2,65	25,75	0,58	± 3,6	2,00
	51,43	10,05	-0,50	± 0,72	2,65	51,67	-0,46	± 0,79	2,00
	72,00	9,97	0,30	± 0,60	2,52	71,81	0,26	± 0,66	2,00
	90,00	10,04	-0,40	± 0,11	2,13	90,34	-0,38	± 0,59	2,00
	120,00	10,04	-0,40	± 0,35	2,52	120,49	-0,41	± 0,82	2,00

Table 4 - Calibration of RI versus 50 tips (example)

Measured resolution (average) = 0,20 [mm]

4 | CONCLUSION

The TBRG and data-logger can be calibrated together or separately. When calibration is separately performed, the TBRG should be calibrated in a pluviometry laboratory and the data-logger in a laboratory in the quantity called time and frequency. In the case of set calibration, the calibration must be performed in a pluviometry laboratory, where the rainfall measurand must be simulated and the results for the rainwater amount and the interval of time between tips are indirectly compared to the working standards with metrological traceability evidenced to the SI.

Based on the presented case study, we conclude that the response time of the data-logger directly affects the measurement of rainfall intensity and the greatest contribution of uncertainty may be due to the accuracy of the internal clock of the data-logger. The results showed that the expanded uncertainties for the rainfall intensity R_I are increased from 0,06 to 2,5 % on the expanded uncertainties of amount of rain Q .

This work is the basis for the development of calibration procedures for TBRG and data-logger sets to obtain the amount of rainfall, the calculation of the rainfall intensity and the estimation of its uncertainties and to comply with WMO recommendations.

REFERENCES

EURAMET. 2011. **Guidelines on the Determination of Uncertainty in Gravimetric Volume Calibration**. EURAMET cg-19, Version 2.0 (03/2011). Calibration Guide. EURAMET e.V.: Braunschweig, Germany.

European Co-operation for Accreditation (EA). **EA-4/02 – Expression of the Uncertainty of Measurement in Calibration**. 1999. 79 p. Disponível em: www.european-accreditation.org/n1/doc/ea-4-02.pdf.

JCGM. 2008. **Evaluation of measurement data - Guide to the expression of uncertainty in measurement (GUM)**. BIPM, JCGM 100:2008.

Kidd C and Joe P. **Importance, identification and measurement of light precipitation at mid- to high-latitudes**. Proc. Joint EUMETSAT Meteorological Satellite Conf. and 15th Satellite Meteorology and Oceanography Conf., Amsterdam, Netherlands, EUMETSAT and Amer. Meteor. Soc., 6 pp, 2007.

Liu X C, Gao T C, and Liu L. **A comparison of rainfall measurements from multiple instruments**, *Atmos. Meas. Tech.*, **6**, 1585–1595, 2013.

Petracca M. **Evaluation on accuracy of precipitation data**. EUMETSAT H-SAF Visiting Scientist Report, 2011.

Santana M A A, Guimarães P L O and Lanza L G. **Uncertainty contributions in the calibration of rain gauges**. MMC 2016, Metrology for Meteorology and Climate conference. Madrid, Spain, 2016.
Santana M A A, Guimarães P L O and Lanza L G; Vuerich E. **Metrological analysis of a gravimetric calibration system for tipping-bucket rain gauges**. *Meteorological Applications (Print)*, v. **22**, p. 879-885, 2015.

Sene K. 2013. **Precipitation Measurement**. In: Flash Floods. Springer, Dordrecht.

Stagnaro M, Colli M, Giovanni L L, and Chan P W. **Performance of post-processing algorithms for**

rainfall intensity using measurements from tipping-bucket rain gauges. *Atmos. Meas. Tech.*, **9**, 5699–5706, 2016.

Westra S, Fowler H J, Evans J P, Alexander L V, Berg P, Johnson F, Kendon E J, Lenderink G, and Roberts N M. **Future changes to the intensity and frequency of short-duration extreme rainfall,** *Rev. Geophysics*, **52**, 522–555, 2014.

WMO, “**Guide to Meteorological Instruments and Methods of Observation**”, Provisional 2014 Edition, 2014.

Zhou H, Nicholls C, Kunz T and Schwartz H. **Frequency accuracy & stability dependencies of crystal oscillators.** Carleton University, Ottawa, Ont., Canada. Carleton University, *Systems and Computer Engineering*, Technical Report SCE-08-12, November 2008.

SOBRE OS ORGANIZADORES

Jorge González Aguilera: Engenheiro Agrônomo (Instituto Superior de Ciências Agrícolas de Bayamo (ISCA-B) hoje Universidad de Granma (UG)), Especialista em Biotecnologia pela Universidad de Oriente (UO), CUBA (2002), Mestre em Fitotecnia (UFV/2007) e Doutorado em Genética e Melhoramento (UFV/2011). Atualmente, é professor visitante na Universidade Federal de Mato Grosso do Sul (UFMS) no Campus Chapadão do Sul. Têm experiência na área de melhoramento de plantas e aplicação de campos magnéticos na agricultura, com especialização em Biotecnologia Vegetal, atuando principalmente nos seguintes temas: pre-melhoramento, fitotecnia e cultivo de hortaliças, estudo de fontes de resistência para estres abiótico e biótico, marcadores moleculares, associação de características e adaptação e obtenção de vitroplantas. Tem experiência na multiplicação “on farm” de insumos biológicos (fungos em suporte sólido; Trichoderma, Beauveria e Metharrizum, assim como bactérias em suporte líquido) para o controle de doenças e insetos nas lavouras, principalmente de soja, milho e feijão. E-mail para contato: jorge.aguilera@ufms.br

Alan Mario Zuffo: Engenheiro Agrônomo (Universidade do Estado de Mato Grosso – UNEMAT/2010), Mestre em Agronomia – Produção Vegetal (Universidade Federal do Piauí – UFPI/2013), Doutor em Agronomia – Produção Vegetal (Universidade Federal de Lavras – UFLA/2016). Atualmente, é professor visitante na Universidade Federal do Mato Grosso do Sul – UFMS no Campus Chapadão do Sul. Tem experiência na área de Agronomia – Agricultura, com ênfase em fisiologia das plantas cultivadas e manejo da fertilidade do solo, atuando principalmente nas culturas de soja, milho, feijão, arroz, milheto, sorgo, plantas de cobertura e integração lavoura pecuária. E-mail para contato: alan_zuffo@hotmail.com

Agência Brasileira do ISBN
ISBN 978-85-7247-473-3

