

# **Ciências Exatas e da Terra: Aprendizado, Integração e Necessidades do País 2**

Américo Junior Nunes da Silva  
André Ricardo Lucas Vieira  
(Organizadores)

# **Ciências Exatas e da Terra: Aprendizado, Integração e Necessidades do País 2**

Américo Junior Nunes da Silva  
André Ricardo Lucas Vieira  
(Organizadores)

**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 Cremona

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  
Prof<sup>ª</sup> Dr<sup>ª</sup> Cristina Gaio – Universidade de Lisboa  
Prof. Dr. Daniel Richard Sant’Ana – Universidade de Brasília  
Prof. Dr. Deyvison de Lima Oliveira – Universidade Federal de Rondônia  
Prof<sup>ª</sup> Dr<sup>ª</sup> 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  
Prof<sup>ª</sup> Dr<sup>ª</sup> Ivone Goulart Lopes – Instituto Internazionele 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  
Prof<sup>ª</sup> Dr<sup>ª</sup> Lina Maria Gonçalves – Universidade Federal do Tocantins  
Prof. Dr. Luis Ricardo Fernandes da Costa – Universidade Estadual de Montes Claros  
Prof<sup>ª</sup> Dr<sup>ª</sup> Natiéli Piovesan – Instituto Federal do Rio Grande do Norte  
Prof. Dr. Marcelo Pereira da Silva – Pontifícia Universidade Católica de Campinas  
Prof<sup>ª</sup> Dr<sup>ª</sup> Maria Luzia da Silva Santana – Universidade Federal de Mato Grosso do Sul  
Prof<sup>ª</sup> Dr<sup>ª</sup> Paola Andressa Scortegagna – Universidade Estadual de Ponta Grossa  
Prof<sup>ª</sup> Dr<sup>ª</sup> Rita de Cássia da Silva Oliveira – Universidade Estadual de Ponta Grossa  
Prof. Dr. Rui Maia Diamantino – Universidade Salvador  
Prof. Dr. Urandi João Rodrigues Junior – Universidade Federal do Oeste do Pará  
Prof<sup>ª</sup> Dr<sup>ª</sup> Vanessa Bordin Viera – Universidade Federal de Campina Grande  
Prof. Dr. William Cleber Domingues Silva – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro  
Prof. Dr. Willian Douglas Guilherme – Universidade Federal do Tocantins

#### **Ciências Agrárias e Multidisciplinar**

Prof. Dr. Alexandre Igor Azevedo Pereira – Instituto Federal Goiano  
Prof<sup>ª</sup> Dr<sup>ª</sup> Carla Cristina Bauermann Brasil – Universidade Federal de Santa Maria  
Prof. Dr. Antonio Pasqualetto – Pontifícia Universidade Católica de Goiás  
Prof. Dr. Cleberton Correia Santos – Universidade Federal da Grande Dourados  
Prof<sup>ª</sup> Dr<sup>ª</sup> Daiane Garabeli Trojan – Universidade Norte do Paraná  
Prof<sup>ª</sup> Dr<sup>ª</sup> 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  
Prof<sup>ª</sup> Dr<sup>ª</sup> Girlene Santos de Souza – Universidade Federal do Recôncavo da Bahia  
Prof. Dr. Jael Soares Batista – Universidade Federal Rural do Semi-Árido  
Prof. Dr. Júlio César Ribeiro – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro  
Prof<sup>ª</sup> Dr<sup>ª</sup> Lina Raquel Santos Araújo – Universidade Estadual do Ceará  
Prof. Dr. Pedro Manuel Villa – Universidade Federal de Viçosa  
Prof<sup>ª</sup> Dr<sup>ª</sup> Raissa Rachel Salustriano da Silva Matos – Universidade Federal do Maranhão  
Prof. Dr. Ronilson Freitas de Souza – Universidade do Estado do Pará  
Prof<sup>ª</sup> Dr<sup>ª</sup> 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

Prof<sup>ª</sup> Dr<sup>ª</sup> Anelise Levay Murari – Universidade Federal de Pelotas

Prof. Dr. Benedito Rodrigues da Silva Neto – Universidade Federal de Goiás

Prof<sup>ª</sup> Dr<sup>ª</sup> 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

Prof<sup>ª</sup> Dr<sup>ª</sup> Elizabeth Cordeiro Fernandes – Faculdade Integrada Medicina

Prof<sup>ª</sup> Dr<sup>ª</sup> Eleuza Rodrigues Machado – Faculdade Anhanguera de Brasília

Prof<sup>ª</sup> Dr<sup>ª</sup> Elane Schwinden Prudêncio – Universidade Federal de Santa Catarina

Prof<sup>ª</sup> Dr<sup>ª</sup> Eysler Gonçalves Maia Brasil – Universidade da Integração Internacional da Lusofonia Afro-Brasileira

Prof. Dr. Ferlando Lima Santos – Universidade Federal do Recôncavo da Bahia

Prof. Dr. Fernando Mendes – Instituto Politécnico de Coimbra – Escola Superior de Saúde de Coimbra

Prof<sup>ª</sup> Dr<sup>ª</sup> 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

Prof<sup>ª</sup> Dr<sup>ª</sup> 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

Prof<sup>ª</sup> Dr<sup>ª</sup> Magnólia de Araújo Campos – Universidade Federal de Campina Grande

Prof. Dr. Marcus Fernando da Silva Praxedes – Universidade Federal do Recôncavo da Bahia

Prof<sup>ª</sup> Dr<sup>ª</sup> Maria Tatiane Gonçalves Sá – Universidade do Estado do Pará

Prof<sup>ª</sup> Dr<sup>ª</sup> Mylena Andréa Oliveira Torres – Universidade Ceuma

Prof<sup>ª</sup> Dr<sup>ª</sup> Natiéli Piovesan – Instituto Federaci 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

Prof<sup>ª</sup> Dr<sup>ª</sup> Regiane Luz Carvalho – Centro Universitário das Faculdades Associadas de Ensino

Prof<sup>ª</sup> Dr<sup>ª</sup> Renata Mendes de Freitas – Universidade Federal de Juiz de Fora

Prof<sup>ª</sup> Dr<sup>ª</sup> Vanessa Lima Gonçalves – Universidade Estadual de Ponta Grossa

Prof<sup>ª</sup> Dr<sup>ª</sup> 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. Carlos Eduardo Sanches de Andrade – Universidade Federal de Goiás

Prof<sup>ª</sup> Dr<sup>ª</sup> 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  
Prof<sup>ª</sup> Dr<sup>ª</sup> Érica de Melo Azevedo – Instituto Federal do Rio de Janeiro  
Prof. Dr. Fabrício Menezes Ramos – Instituto Federal do Pará  
Prof<sup>ª</sup> Dra. Jéssica Verger Nardeli – Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho  
Prof. Dr. Juliano Carlo Rufino de Freitas – Universidade Federal de Campina Grande  
Prof<sup>ª</sup> Dr<sup>ª</sup> 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  
Prof<sup>ª</sup> Dr<sup>ª</sup> Neiva Maria de Almeida – Universidade Federal da Paraíba  
Prof<sup>ª</sup> Dr<sup>ª</sup> Natiéli Piovesan – Instituto Federal do Rio Grande do Norte  
Prof<sup>ª</sup> Dr<sup>ª</sup> Priscila Tessmer Scaglioni – Universidade Federal de Pelotas  
Prof. Dr. Takeshy Tachizawa – Faculdade de Campo Limpo Paulista

### **Linguística, Letras e Artes**

Prof<sup>ª</sup> Dr<sup>ª</sup> Adriana Demite Stephani – Universidade Federal do Tocantins  
Prof<sup>ª</sup> Dr<sup>ª</sup> Angeli Rose do Nascimento – Universidade Federal do Estado do Rio de Janeiro  
Prof<sup>ª</sup> Dr<sup>ª</sup> Carolina Fernandes da Silva Mandaji – Universidade Tecnológica Federal do Paraná  
Prof<sup>ª</sup> Dr<sup>ª</sup> Denise Rocha – Universidade Federal do Ceará  
Prof. Dr. Fabiano Tadeu Grazioli – Universidade Regional Integrada do Alto Uruguai e das Missões  
Prof. Dr. Gilmei Fleck – Universidade Estadual do Oeste do Paraná  
Prof<sup>ª</sup> Dr<sup>ª</sup> Keyla Christina Almeida Portela – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Paraná  
Prof<sup>ª</sup> Dr<sup>ª</sup> Miranilde Oliveira Neves – Instituto de Educação, Ciência e Tecnologia do Pará  
Prof<sup>ª</sup> Dr<sup>ª</sup> Sandra Regina Gardacho Pietrobon – Universidade Estadual do Centro-Oeste  
Prof<sup>ª</sup> Dr<sup>ª</sup> 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. Adaylson 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  
Prof. Dr. Alex Luis dos Santos – Universidade Federal de Minas Gerais  
Prof. Me. Aleksandro Teixeira Ribeiro – Centro Universitário Internacional  
Prof<sup>ª</sup> Ma. Aline Ferreira Antunes – Universidade Federal de Goiás  
Prof. Me. André Flávio Gonçalves Silva – Universidade Federal do Maranhão  
Prof<sup>ª</sup> Ma. Andréa Cristina Marques de Araújo – Universidade Fernando Pessoa  
Prof<sup>ª</sup> Dr<sup>ª</sup> Andreza Lopes – Instituto de Pesquisa e Desenvolvimento Acadêmico  
Prof<sup>ª</sup> Dr<sup>ª</sup> Andrezza Miguel da Silva – Faculdade da Amazônia  
Prof<sup>ª</sup> Ma. Anelisa Mota Gregoleti – Universidade Estadual de Maringá  
Prof<sup>ª</sup> 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  
Prof<sup>ª</sup> 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. Christopher Smith Bignardi Neves – Universidade Federal do Paraná  
Prof. Ma. 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. 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  
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  
Prof<sup>ª</sup> Ma. Lillian Coelho de Freitas – Instituto Federal do Pará  
Prof<sup>ª</sup> Ma. Lilians Aparecida Sereno Fontes de Medeiros – Consórcio CEDERJ  
Prof<sup>ª</sup> Dr<sup>ª</sup> 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  
Prof<sup>ª</sup> Ma. Luana Ferreira dos Santos – Universidade Estadual de Santa Cruz  
Prof<sup>ª</sup> Ma. Luana Vieira Toledo – Universidade Federal de Viçosa  
Prof. Me. Luis Henrique Almeida Castro – Universidade Federal da Grande Dourados  
Prof<sup>ª</sup> 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  
Prof<sup>ª</sup> Ma. Maria Elanny Damasceno Silva – Universidade Federal do Ceará  
Prof<sup>ª</sup> Ma. Marileila Marques Toledo – Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri  
Prof. Me. Pedro Panhoca da Silva – Universidade Presbiteriana Mackenzie  
Prof<sup>ª</sup> Dr<sup>ª</sup> Poliana Arruda Fajardo – Universidade Federal de São Carlos  
Prof. Me. Ricardo Sérgio da Silva – Universidade Federal de Pernambuco  
Prof. Me. Renato Faria da Gama – Instituto Gama – Medicina Personalizada e Integrativa  
Prof<sup>ª</sup> 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  
Prof<sup>ª</sup> Ma. Silene Ribeiro Miranda Barbosa – Consultoria Brasileira de Ensino, Pesquisa e Extensão  
Prof<sup>ª</sup> Ma. Solange Aparecida de Souza Monteiro – Instituto Federal de São Paulo  
Prof<sup>ª</sup> Ma. Taiane Aparecida Ribeiro Nepomoceno – Universidade Estadual do Oeste do Paraná  
Prof. Me. Tallys Newton Fernandes de Matos – Faculdade Regional Jaguaribana  
Prof<sup>ª</sup> 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



## Ciências exatas e da terra: aprendizado, integração e necessidades do país 2

**Editora Chefe:** Profª Drª Antonella Carvalho de Oliveira  
**Bibliotecária:** Janaina Ramos  
**Diagramação:** Maria Alice Pinheiro  
**Correção:** Kimberlly Elisandra Gonçalves Carneiro  
**Edição de Arte:** Luiza Alves Batista  
**Revisão:** Os Autores  
**Organizadores:** Américo Junior Nunes da Silva  
André Ricardo Lucas Vieira

### Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)

C569 Ciências exatas e da terra: aprendizado, integração e necessidades do país 2 / Organizadores Américo Junior Nunes da Silva, André Ricardo Lucas Vieira. – Ponta Grossa - PR: Atena, 2021.

Formato: PDF

Requisitos de sistema: Adobe Acrobat Reader

Modo de acesso: World Wide Web

Inclui bibliografia

ISBN 978-65-5706-961-5

DOI 10.22533/at.ed.615211404

1. Ciência. 2. Tecnologia. I. Silva, Américo Junior Nunes da (Organizador). II. Vieira, André Ricardo Lucas (Organizador). III. Título.

CDD 500

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

## 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

O desenvolvimento da ciência e da tecnologia tem acarretado diversas transformações na sociedade contemporânea, refletindo em mudanças nos níveis econômico, político e social. É comum considerarmos ciência e tecnologia motores do progresso que proporcionam não só desenvolvimento do saber humano, mas, também, uma evolução real para o homem.

Sendo assim, precisamos de uma imagem de ciência e tecnologia que possa trazer à tona a dimensão social do desenvolvimento científico–tecnológico, entendido como produto resultante de fatores culturais, políticos e econômicos. Seu contexto histórico deve ser analisado e considerado como uma realidade cultural que contribui de forma decisiva para mudanças sociais, cujas manifestações se expressam na relação do homem consigo mesmo e os outros.

Hoje, estamos vivendo um período, por conta do contexto da Pandemia provocada pelo Novo Coronavírus, onde os olhares se voltam a Ciência e a Tecnologia. Antes de tudo isso acontecer os conhecimentos produzidos em espaços acadêmicos, centros de pesquisa e laboratórios, por exemplo, tem buscado resposta para problemas cotidianos, em busca de melhorar a vida da população de uma forma geral.

É nesse ínterim que este livro, intitulado “Ciências Exatas e da Terra: Aprendizado, Integração e Necessidades do País 2”, em seu segundo volume, reúne trabalhos de pesquisa e experiências em diversos espaços, com o intuito de promover um amplo debate acerca das diversas áreas que o compõe.

Por fim, ao levar em consideração todos esses elementos, a importância desta obra, que aborda de forma interdisciplinar pesquisas, relatos de casos e/ou revisões, reflete-se nas evidências que emergem de suas páginas através de diversos temas evidenciando-se não apenas bases teóricas, mas a aplicação prática dessas pesquisas.

Nesse sentido, desejamos uma boa leitura a todos e a todas.

Américo Junior Nunes da Silva  
André Ricardo Lucas Vieira

## SUMÁRIO

### **CAPÍTULO 1..... 1**

STABILITY EVALUATION OF SEQUENTIAL ESTIMATORS APPLIED TO ORBIT DETERMINATION: SIGMA-POINT AND EXTENDED KALMAN FILTERS

Paula Cristiane Pinto Mesquita Pardal

Rodolpho Vilhena de Moraes

Helio Koiti Kuga

**DOI 10.22533/at.ed.6152114041**

### **CAPÍTULO 2..... 16**

VARIAÇÃO DO NÍVEL DA ÁGUA E DA SUPERFÍCIE POTENCIOMÉTRICA EM POÇOS DE MONITORAMENTO NA ÁREA DE UM ATERRO SANITÁRIO

Willian Fernando de Borba

José Luiz Silvério da Silva

Edner Baumhardt

Éricklis Edson Boito de Souza

Pedro Daniel da Cunha Kemerich

Gabriel D'ávila Fernandes

Mateus Guimarães da Silva

Fernando Ernesto Ucker

**DOI 10.22533/at.ed.6152114042**

### **CAPÍTULO 3..... 30**

DESENVOLVIMENTO E IMPLANTAÇÃO DE UM TERMÔMETRO DE SENSAÇÃO TÉRMICA NO IFSC CAMPUS URUPEMA

Glauco Cardozo

Marcos Roberto Dobler Stroschein

Enzzo Comassetto

**DOI 10.22533/at.ed.6152114043**

### **CAPÍTULO 4..... 33**

DESIGN REGENERATIVO E DIREITO AMBIENTAL: CONSTRUÇÃO DE PONTE PARA A ECONOMIA CIRCULAR

Marcos Paulo Marques Araújo

**DOI 10.22533/at.ed.6152114044**

### **CAPÍTULO 5..... 49**

O QUE ESTAMOS PRODUZINDO DE CONHECIMENTO CIENTÍFICO SOBRE TECNOLOGIA ASSISTIVA NO BRASIL?

Fernanda do Nascimento Maia

Renan Carvalho

Clara Ribeiro

**DOI 10.22533/at.ed.6152114045**

<b>CAPÍTULO 6</b> .....	<b>56</b>
<b>TREINAMENTOS EM REALIDADE VIRTUAL VOLTADOS PARA ORGANIZAÇÕES DE ALTA CONFIABILIDADE</b>	
Diego de Jesus Penaforte Parreiras André Ribeiro de Oliveira	
<b>DOI 10.22533/at.ed.6152114046</b>	
<b>CAPÍTULO 7</b> .....	<b>68</b>
<b>ANÁLISE DA INFLUÊNCIA DAS SIMPLIFICAÇÕES REALIZADAS NAS EQUAÇÕES CINEMÁTICAS DO SATÉLITE CBERS</b>	
Roberta Veloso Garcia Hugo Henrique Valim de Lima Campos Hélio Koiti Kuga	
<b>DOI 10.22533/at.ed.6152114047</b>	
<b>CAPÍTULO 8</b> .....	<b>77</b>
<b>A ENGENHARIA AMBIENTAL NO ESTUDO DA EROSIÃO DE PRAIAS ASSOCIADOS AOS IMPACTOS DAS CONSTRUÇÕES NA ZONA COSTEIRA NO ESTADO DO CEARÁ, BRASIL</b>	
Glacianne Gonçalves de Oliveira Maia Márcio Roberto de Paula da Fonseca Luis de Carvalho Feitosa Neto Lucas Barbosa Fernandes Vitória Lima Tavares	
<b>DOI 10.22533/at.ed.6152114048</b>	
<b>CAPÍTULO 9</b> .....	<b>84</b>
<b>GÊNESE DE LINHAS DE PEDRA ATRAVÉS DE INFERÊNCIAS PALEOAMBIENTAIS NO MÉDIO VALE DO RIO PARAÍBA DO SUL, SUDESTE DO BRASIL</b>	
Heloisa Helena Gomes Coe André Luiz Carvalho da Silva Amanda Pacheco Seixas Igo Fernando Lepsch Mauro Parolin Kita Macario	
<b>DOI 10.22533/at.ed.6152114049</b>	
<b>CAPÍTULO 10</b> .....	<b>103</b>
<b>CARACTERIZAÇÃO DE FOLHAS DE ALUMÍNIO DE USO DOMÉSTICO POR EDXRF</b>	
Carlos Augusto da Mata Bittencourt Junior Joaquim Teixeira de Assis Marcelino José dos Anjos	
<b>DOI 10.22533/at.ed.61521140410</b>	
<b>CAPÍTULO 11</b> .....	<b>110</b>
<b>CARACTERIZAÇÃO BIOMÉTRICA E PRODUTIVA DA VINAGREIRA VERDE COM DIFERENTES ADUBAÇÕES NPK</b>	
Vinícius Junqueira Minjoni	

Luis Felipe Lima e Silva  
José Ricardo Mantovani

**DOI 10.22533/at.ed.61521140411**

**CAPÍTULO 12..... 120**

**MONITORAMENTO DA QUALIDADE DO AR EM AMBIENTES COM FOTOCOPIADORAS  
UTILIZANDO *TRADESCANTIA PALLIDA***

Ana Luisa Santos de Carvalho  
André Búrigo Leite  
Luciano da Silva Lima

**DOI 10.22533/at.ed.61521140412**

**CAPÍTULO 13..... 135**

**REAPROVEITAMENTO DE RESÍDUOS TÊXTEIS PROVENIENTES DO POLO DA MODA  
DO MUNICÍPIO DE NOVA FRIBURGO NO DESENVOLVIMENTO DE COMPÓSITOS DE  
POLIPROPILENO**

Nancy Isabel Alvarez Acevedo  
Rafael Gelson Ismério Cler  
Marisa Cristina Guimarães Rocha

**DOI 10.22533/at.ed.61521140413**

**CAPÍTULO 14..... 148**

**AVALIAÇÃO DA AADIÇÃO DO TALCONAS PROPRIEDADES TÉRMICAS E MORFOLÓGICAS  
DE MISTURAS DE POLIPROPILENO COM ELASTÔMERO TERMOPLÁSTICO**

Carlos Ivan Ribeiro de Oliveira  
Marisa Cristina Guimarães Rocha  
Joaquim Teixeira de Assis  
Ana Lúcia Nazareth da Silva

**DOI 10.22533/at.ed.61521140414**

**CAPÍTULO 15..... 160**

**SOLUÇÃO DE UM PROBLEMA DE MULTICAMADAS DE CONDUÇÃO DE CALOR  
UTILIZANDO O MÉTODO QUADRUPOLO**

Guilherme Ramalho Costa  
José Aguiar dos Santos Júnior  
José Ricardo Ferreira Oliveira  
Gilmar Guimarães

**DOI 10.22533/at.ed.61521140415**

**CAPÍTULO 16..... 167**

**PLANO REAL, UMA MUDANÇA NA SOCIEDADE BRASILEIRA**

Felipe Matheus Rodrigues  
Rita de Cassia Araújo

**DOI 10.22533/at.ed.61521140416**

**CAPÍTULO 17..... 180**

**PREVIDÊNCIA COMPLEMENTAR: A IMPORTANCIA DA PREVIDÊNCIA COMPLEMENTAR**

Bruna Larissa dos Santos Pereira

Rita de Cassia Araujo

**DOI 10.22533/at.ed.61521140417**

**CAPÍTULO 18..... 192**

**O USO DA GEOMETRIA ANALÍTICA NA CONSTRUÇÃO DO GPS**

Raimundo Eugênio da Silva Filho

Iarla Antunes de Matos Arrais

José Augusto Pereira Nogueira

Líliã Santos Gonçalves

Francisco Ronald Feitosa Moraes

**DOI 10.22533/at.ed.61521140418**

**CAPÍTULO 19..... 203**

**A ESSÊNCIA ENTRE A DIVISÃO EUCLIDIANA E A CONGRUÊNCIA MODULAR**

Marcos Garcia de Souza

Paulo Sérgio da Silva Pantoja

**DOI 10.22533/at.ed.61521140419**

**CAPÍTULO 20..... 219**

**ESTÁGIO CURRICULAR SUPERVISIONADO DE OBSERVAÇÃO: CONJECTURANDO SOBRE ESSE ESPAÇO DE FORMAÇÃO**

Lucas Gabriel Gonçalves da Silva

Américo Junior Nunes da Silva

**DOI 10.22533/at.ed.61521140420**

**SOBRE OS ORGANIZADORES ..... 227**

**ÍNDICE REMISSIVO..... 228**

# CAPÍTULO 1

## STABILITY EVALUATION OF SEQUENTIAL ESTIMATORS APPLIED TO ORBIT DETERMINATION: SIGMA-POINT AND EXTENDED KALMAN FILTERS

*Data de aceite: 01/04/2021*

### **Paula Cristiane Pinto Mesquita Pardal**

USP/EEL (University of São Paulo). Estrada Municipal do Campinho, s/n. CEP: 12602-810. Lorena, SP, Brazil.

### **Rodolpho Vilhena de Moraes**

UNIFESP/SJC (São Paulo Federal University), Rua Talim, 330, Vila Nair. CEP: 12231-280. São José dos Campos, SP, Brazil.

### **Helio Koiti Kuga**

DMC/INPE (National Institute for Space Research), Avenida dos Astronautas, 1758, Jardim da Granja, CEP: 12227-010, São José dos Campos, SP, Brazil.

**ABSTRACT:** A comparison between extended and sigma-point Kalman filters, for a real time satellite orbit determination problem, using GPS measurements is presented. Such comparison is based on testing the filters stability for degraded initial conditions. The fundamental subjects for the comparison between the estimators are convergence speed and computational implementation complexity. Based on the analysis of such criteria, the advantages and drawbacks of each estimator are presented. Here, the focus is to analyze each filter convergence behavior in situations where the initial conditions are inaccurate. Concomitantly, another purpose is to understand how these inaccuracies affect the performance of the estimators.

**KEYWORDS:** Sigma-Point Kalman Filter,

Extended Kalman Filter, Algorithm Stability, Orbit Determination.

**RESUMO:** Uma comparação entre os filtros de Kalman estendido e sigma-ponto, para o problema de determinação de órbita e tempo real utilizando medidas GPS, é apresentada. Tal comparação é baseada em testar a estabilidade dos filtros para condições iniciais degradadas. Os elementos fundamentais da comparação entre os estimadores são velocidade de convergência e complexidade da implementação computacional. Baseado na análise de tais critérios, as vantagens e desvantagens de cada algoritmo serão apresentadas. Aqui, o enfoque está em analisar o comportamento de convergência de cada filtro em situações em que as condições iniciais não são precisas. Ao mesmo tempo, outro objetivo é entender como essas incertezas afetam o desempenho dos estimadores.

**PALAVRAS - CHAVE:** Filtro de Kalman Sigma-Ponto, Filtro de Kalman Estendido, Estabilidade de Algoritmo, Determinação de Órbita

## 1 | INTRODUCTION

Here, the extended Kalman filter (EKF) is compared with the nonlinear sigma-point Kalman filter (SPKF) for a real time satellite orbit determination problem, using GPS measurements. The comparison is based on assessing the stability of the filters for purposely degraded initial conditions. The main subjects for the comparison between the estimators are convergence speed, divergence occurrence,



flaws and statistical shortcomings. Based on the analysis of such criteria, the advantages and drawbacks of each estimator are presented.

Here, the orbit of an artificial satellite is determined using real data from the GPS (Global Positioning System) receivers. In orbit determination of artificial satellites, both the dynamic system and the measurements equations are of nonlinear nature. Therefore, one handles a fully nonlinear problem in which the disturbing forces as well as the measurements are not easily modeled. The essence of the orbit determination problem consists of estimating values that completely specify the body trajectory in the space, processing a set of pseudo-range measurements related to the satellite. The more accurate GPS data (phase measurements) are not used here, because the aim is not the search for accuracy, but a comparison of performance under different error levels of initial conditions. Further, the carrier phase measurements demand an algorithm for solving the ambiguity, which could eventually mask the results, misleading the conclusions.

A spaceborne GPS receiver is a powerful means to determine orbits of artificial Earth satellites by providing many redundant measurements which ultimately yields high degree of the observability to the problem. The TOPEX/Poseidon (T/P) satellite is a nice example of using GPS for space positioning. Through an onboard GPS receiver, the pseudo-ranges (error corrupted distance from satellite to each of the tracked GPS satellites) can be measured and can be used to estimate the full orbital state.

The EKF is a widely used real time estimation algorithm for nonlinear systems [1]. It is a nonlinear version of the Kalman filter that generates reference trajectories, updated at each measurement processing, at the corresponding instant. However, the experience from the estimation community has shown that the EKF is difficult to implement, requires some skill to get tuned, depends very much on the closeness of the initial conditions to the truth values, and is only reliable for systems that are nearly linear on the time scale of the filter working updates. Many of these difficulties arise from the linearization needed by the EKF method. Specifically, for the orbit estimation problem, under inaccurate initial conditions and scattered measurements, the EKF implementation can lead to unstable or diverging solutions. Therefore, there is a strong need for a more accurate method than linearization, but that does not be liable to neither the implementation nor additional computational costs of other higher order filtering schemes. To overcome this limitation, the unscented transformation was developed as a technique to propagate mean and covariance information through nonlinear transformations. The SPKF is a new estimator that claims to yield equivalent or better performance than the EKF and elegantly extends to nonlinear systems, without the linearization steps [2, 3, 4]. This algorithm is a new approach to generalize the Kalman filter for nonlinear process and observation models.

In this orbit determination problem, the focus is to analyze each filter stability, in terms of convergence behavior, in situations where the initial conditions are purposefully degraded, introducing since small up to larger errors in the known initial orbit elements. Another aim is

to characterize how such inaccuracies affect the performance of the estimators. Therefore, the EKF (the most widely used estimation algorithm) as well as the SPKF (supposedly the most appropriate estimation algorithm for nonlinear problems) performance evaluation in the real time orbit determination problem is due and justified.

## 2 I THE EXTENDED KALMAN FILTER EKF

The EKF is a nonlinear version of the Kalman filter that generates reference trajectories which are updated at each measurement processing times [1, 5]. Due to the complexity of accurately modeling the nonlinear satellite orbit, the EKF is generally used in works of such nature. The algorithm always provides up to date reference trajectory around the most current available estimate.

Exploiting the assumption that all transformations are quasi-linear, the EKF simply linearizes all nonlinear transformations and to the first order replaces the Kalman filter matrices by their counterpart Jacobian partial derivatives matrices. The EKF consists of cycles of time and measurement updates. Firstly, state and covariance are propagated from one previous instant to a later one, meaning that they are propagated between discrete instants of the system dynamics model. In the sequel, state and covariance are corrected for the later instant corresponding to the measurement time, through the observations model. This method has recursive nature and does not need storage of the measurements previously in large matrices, being therefore well suited for real time processing.

The EKF time update cycle is given by:

$$\begin{aligned} \dot{\bar{\mathbf{x}}}_k &= \mathbf{f}(\hat{\mathbf{x}}_{k-1}) \\ \bar{\mathbf{P}}_k &= \boldsymbol{\Phi}_{k,k-1} \hat{\mathbf{P}}_{k-1} \boldsymbol{\Phi}_{k,k-1}^T + \mathbf{Q}_k \end{aligned} \quad (1)$$

where  $\mathbf{f}$  is a nonlinear vector function modeling the orbit motion,  $\bar{\mathbf{x}}_k$  and  $\bar{\mathbf{P}}_k$  are respectively the propagated state and the covariance for  $t_k$ ;  $\boldsymbol{\Phi}$  is the state transition matrix between  $t_{k-1}$  and  $t_k$ ;  $\mathbf{Q}_k$  is the dynamics noise matrix. It is required the Jacobian matrix ( $\partial \mathbf{f} / \partial \mathbf{x}$ ) for the transition matrix computation which can either be simplified or can be very difficult to obtain.

The equations for the EKF measurement update cycle are:

$$\begin{aligned} \mathbf{K}_k &= \bar{\mathbf{P}}_k \mathbf{H}_k^T (\mathbf{H}_k \bar{\mathbf{P}}_k \mathbf{H}_k^T + \mathbf{R}_k)^{-1} \\ \hat{\mathbf{P}}_k &= (\mathbf{I} - \mathbf{K}_k \mathbf{H}_k) \bar{\mathbf{P}}_k \\ \hat{\mathbf{x}}_k &= \bar{\mathbf{x}}_k + \mathbf{K}_k [\mathbf{y}_k - \mathbf{h}_k(\bar{\mathbf{x}}_k)] \end{aligned} \quad (2)$$

where  $\mathbf{h}_k$  is a nonlinear vector function modeling the measurements;  $\mathbf{H}$  is the corresponding partial derivative matrix  $\left(\frac{\partial \mathbf{h}_k}{\partial \mathbf{x}}\right)$ ;  $\mathbf{K}_k$  is the Kalman gain;  $\hat{\mathbf{P}}$  and  $\hat{\mathbf{x}}$  are the state vector and the covariance updated for the instant  $k$ .

There are some limitations for the EKF. For instance, the linearized transformations are reliable only if the error propagation can be matched with good approximation by a linear function; linearization can be applied only if the Jacobian matrix exists; and obtaining the analytical Jacobian matrices can be a very difficult and error-prone process. Summarizing, linearization, as applied in the EKF, is widely recognized to be inadequate, however other alternatives incur substantial costs in terms of derivation and computational complexity. The sigma-point algorithms via unscented transformation were developed in an attempt to overcome these flaws and offer a feasible and reliable alternative.

### 3 I THE SIGMA-POINT KALMAN FILTER SPKF

If the system dynamics and the observation model are linear, the conventional Kalman filter (KF) is the optimal solution and must be used fearlessly. However, because not rarely, the system dynamics and/or the measurement models are nonlinear, convenient extensions of the KF like the EKF have been used.

The SPKF is a new estimator that allows similar performance than the KF for linear systems and elegantly extends to nonlinear systems, without need of the linearization procedures. This algorithm family is a new approach to generalize the KF for nonlinear process and observation models [3, 4, 6]. A set of weighted samples, the sigma-points, is used for computing mean and covariance of a probability distribution. Such algorithms include the unscented Kalman filter (UKF), which is based on the unscented transformation (UT), a nonlinear transformation for mean and covariance.

The SPKF is a technique claimed to lead to a more accurate and easier to implement filter than the EKF or a second order Gaussian filter. The SPKF approach is described, as follows [2]

1. A set of weighted samples is deterministically calculated, based on mean and covariance decomposition of a random variable.
2. The sigma-points are propagated through the real nonlinear function, using only functional estimation, that is, analytical derivatives are not used to generate the *a posteriori* set of sigma-points.
3. The later statistics are calculated using propagated sigma-points functions and weights. In general, they assume the form of a simple weighted average of the mean and the covariance.

Herein, the UT and the SPKF, i.e., the filter stemming from this transformation, will be described.

### 3.1 The Unscented Transformation UT

Essentially this is a way of calculating the statistics of a random variable that passes through a nonlinear transformation. The UT approach selects a suitable set of points (sigma-points) so that their mean and covariance are  $\bar{\mathbf{x}}$  and  $\mathbf{P}_{xx}$  [3, 4]. The nonlinear function is applied to each point of the set, in turn, to yield a cloud of transformed points. The statistics of the transformed points (mean  $\bar{\mathbf{y}}$  and covariance  $\mathbf{P}_{yy}$ ) can then be calculated to form an estimate of the non linearly transformed mean and covariance.

The sigma-points are carefully and deterministically chosen so that they exhibit certain specific properties, that is, they are not drawn at random like common Monte Carlo methods. Besides, they can be weighted in ways that are inconsistent with the distribution interpretation of sample points like in a particle filter [2, 3].

The  $n$ -dimensional random variable  $\mathbf{x}$ , with  $\bar{\mathbf{x}}$  mean and  $\mathbf{P}_{xx}$  covariance, is approximated by  $2n + 1$  weighted points, the so known sigma-points, given by:

$$\begin{aligned}\chi_0 &= \bar{\mathbf{x}} \\ \chi_i &= \bar{\mathbf{x}} + \left( \sqrt{(n + \kappa) \mathbf{P}_{xx}} \right)_i \\ \chi_{i+n} &= \bar{\mathbf{x}} - \left( \sqrt{(n + \kappa) \mathbf{P}_{xx}} \right)_i\end{aligned}\quad (3)$$

in which  $\kappa \in \mathfrak{R}$ ,  $\left( \sqrt{(n + \kappa) \mathbf{P}_{xx}} \right)_i$  is either the  $i$ -th row or column of the square root matrix of  $(n + \kappa) \mathbf{P}_{xx}$ . The transformation occurs as follows:

1. Transform each point through the nonlinear function to yield the set of transformed sigma-points:

$$\mathbf{y}_i = \mathbf{f}[\chi_i] \quad (4)$$

2. The observations mean is given by the weighted average of the transformed points:

$$\bar{\mathbf{y}} = \sum_{i=0}^{2n} W_i \mathbf{y}_i \quad (5)$$

3. The covariance is the weighted outer product of the transformed points:

$$\mathbf{P}_{yy} = \sum_{i=0}^{2n} W_i [y_i - \bar{y}][y_i - \bar{y}]^T \quad (6)$$

$W_i$  is the weight associated to the  $i$ -th point given by:

$$\begin{aligned} W_0 &= \frac{\kappa}{(n + \kappa)} \\ W_i &= \frac{1}{2(n + \kappa)}, \quad i = 1, \dots, n \\ W_{i+n} &= \frac{1}{2(n + \kappa)}, \quad i = 1, \dots, n \end{aligned} \quad (7)$$

### 3.2 The Unscented Sigma-point Kalman Filter

Using UT, the following steps are processed in the Kalman filter:

1. Predict the new state system and its associated covariance, taking into account the effects of the gaussian white noise process.
2. Predict the expected observation and its residual innovation matrix considering the effects of the observation noise.
3. Predict the cross-correlation matrix.

Figure 1 shows these 3 steps of the UT, changing the EKF, in order to lead to the new filter: the SPKF. These steps are put in order in the EKF with the re-structuring of dynamics, state vector and observations models.

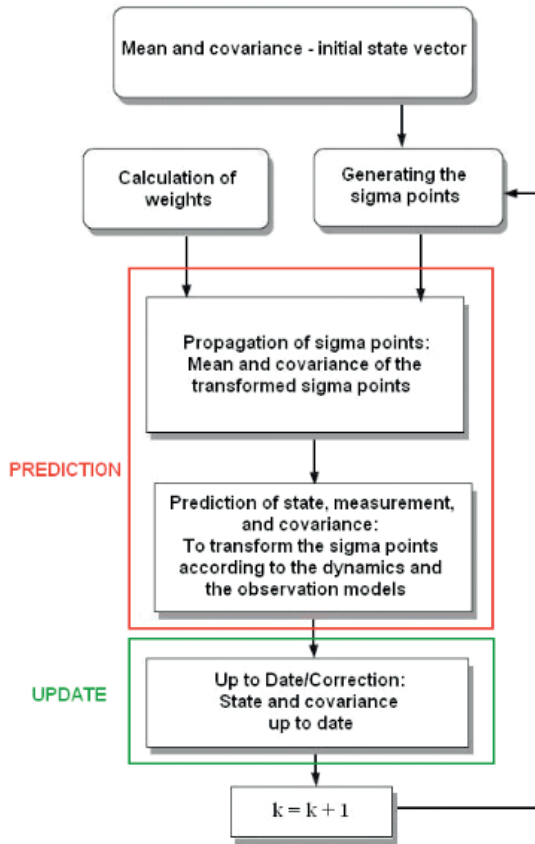


Figure 1. UT merged to the EKF, leading to SPKF

## 4 | THE ORBIT DETERMINATION

The instantaneous orbit determination using GPS satellites is basically a geometric method. In this method, the observer knows the set of GPS satellites position in a reference frame, obtaining its own position in the same reference frame. However sequential orbit determination makes use of the orbit motion model to predict between measurement times and measurement model to update the orbit by processing of GPS measurements. This gives rise to recursive and real time Kalman filter estimator for the orbit determination [5].

### 4.1 The Filter Dynamic Model

In the case of orbit determination via GPS, the ordinary differential equations that represent the dynamic model are in its simplest form given traditionally as follows:

$$\begin{aligned}\dot{\mathbf{r}} &= \mathbf{v} \\ \dot{\mathbf{v}} &= -\mu \frac{\mathbf{r}}{r^3} + \mathbf{a} + \mathbf{w}_v\end{aligned}\quad (8)$$

with variables given in the inertial reference frame. In the equations above,  $r$  is the vector of the position components vector ( $x, y, z$ );  $v$  is velocity vector;  $a$  represents the modeled perturbing accelerations; and  $w_v$  is the white noise vector with covariance  $\mathbf{Q}$ . The GPS receiver clock offset was not taken into account, so as not to obscure the conclusions drawn in this paper due to introduction of clock offset models in the filters. Indeed, the receiver clock offset was beforehand obtained and used to correct the GPS measurements, so that the measurements are free from the receiver clock offset error.

## 4.2 The Force Model

The main disturbing forces of gravitational nature that affect the orbit of an Earth's artificial satellite are: the non-uniform distribution of Earth's mass; ocean and terrestrial tides; and the gravitational attraction of the Sun and the Moon. There are also the non-gravitational effects, such as: Earth atmospheric drag; direct and reflected solar radiation pressure; electric drag; emissivity effects; relativistic effects; and meteorites impacts.

The disturbing effects are in general included according to the physical situation presented and to the accuracy that is intended for the orbit determination. Here we include only a minimum set of perturbations which enable us to assess the performance of both filters, namely geopotential and third body point mass effect of Sun and Moon.

The Earth is not a perfect sphere with homogeneous mass distribution, and cannot be considered as a material point. Such irregularities disturb the orbit of an artificial satellite and the keplerian elements that describe the orbit do not behave ideally. The geopotential function can be given by [8]:

$$U(r, \phi, \lambda) = \frac{\mu}{r} \sum_{n=0}^{\infty} \sum_{m=0}^n \left( \frac{R_T}{r} \right)^n P_{nm}(\sin \phi) (C_{nm} \cos m\lambda + S_{nm} \sin m\lambda) \quad (9)$$

where  $m$  is Earth gravitational constant;  $R_T$  is mean Earth radius;  $r$  is the spacecraft radial distance;  $f$  is the geocentric latitude;  $l$  is the longitude on Earth fixed coordinates system;  $C_{nm}$  and  $S_{nm}$  are the harmonic spherical coefficients of degree  $n$  and order  $m$ ;  $P_{nm}$  are the associated Legendre functions. The constants  $m$ ,  $R_T$ , and the coefficients  $C_{nm}$ , and  $S_{nm}$  determine a particular gravitational potential model.

Another gravitational perturbation source is that due to the Sun and Moon attraction. They are more meaningful at farther distance from Earth. As the orbital variations are of the

same type, be the Sun or the Moon the attractive body, they are normally studied without distinguishing the third body. The luni-solar gravitational attraction mainly acts on node and perigee causing precession of the orbit and on the orbital plane. The general three-body problem model is here simplified to the circular restricted three-body problem, where the orbital motion of a third body (satellite), which mass can be neglected, around two other massive bodies is studied. The motion equations that provide the third body accelerations can be expressed as [9]:

$$\ddot{\mathbf{r}}_3 = -Gm_1 \frac{\mathbf{r}_{13}}{r_{13}^3} - Gm_2 \frac{\mathbf{r}_{23}}{r_{23}^3} \quad (10)$$

where  $\mathbf{r}_{13} = \mathbf{r}_3 - \mathbf{r}_1$ ,  $\mathbf{r}_{23} = \mathbf{r}_3 - \mathbf{r}_2$ , and  $\mathbf{r}_i, i=1,2,3$  correspond to the  $i$ -th body distance vector to the system center of mass.

### 4.3 The Observations Model

The nonlinear equation of the observation model is:

$$\mathbf{y}_k = \mathbf{h}_k(\mathbf{x}_k, \mathbf{t}) + \mathbf{v}_k \quad (11)$$

where, at time  $t_k$ ,  $\mathbf{y}_k$  is the vector of  $m$  observations;  $\mathbf{h}_k(\mathbf{x}_k)$  is the nonlinear function of state  $\mathbf{x}_k$ , with dimension  $m$ ; and  $\mathbf{v}_k$  is the observation errors vector, with dimension  $m$  and covariance  $\mathbf{R}_k$ . For the present application, one only uses the ion-free pseudo-range measurements from the T/P GPS receiver. Also, the receiver clock offset was computed before and used to correct the pseudo-range measurements. Additionally, the nonlinear pseudo-range measurement was modeled according to [7].

## 5 | RESULTS

The tests and the analysis for the extended EKF and the sigma-point SPKF algorithms are presented. To validate and to analyze the methods, real GPS data from the T/P satellite are used. The filter estimated position and velocity are compared with T/P precise orbit ephemeris (POE) from JPL/NASA. The test conditions consider real ion-free pseudo-range data, collected by the GPS receiver onboard T/P, at 60s sampling rate, presenting on average 5 to 6 GPS satellites tracked. The GPS data were previously preprocessed to remove the outliers so they cannot mislead the filters or mask different data rejection policies of each filter. The tests have covered a long (almost a day) period of orbit determination.

The force model includes perturbations due to geopotential up to order and degree



30, with harmonic coefficients from JGM-2 model, and the Sun-Moon gravitational attraction [10, 11]. The pseudo-range measurements were corrected to the first order with respect to ionosphere.

The obtained results are evaluated through error in position components, which represents the difference between the POE reference and the estimated position components, and are after translated to radial, normal, and along-track (RNT) components of T/P orbit fixed system.

The specific interest is on speed convergence and divergence occurrence. In order to analyze these subjects, the approach consists of introducing uncertainties in the accurately known (from POE) initial position, and later, increasing these uncertainties gradually.

The introduced errors vary from 0.1 km to 1,000 km, in powers of 10, and convergence and divergence are investigated. First, one generates for each filter (EKF or SPKF) a tuned filter run with precise known initial conditions and use the results as reference solutions. In this case both have similar performance and agree very well, i.e., error in position and pseudo-range residuals statistics are equivalent, which means that if the initial conditions are accurate, SPKF and EKF show similar convergence patterns as soon as the estimation process starts. Therefore, either one could be used.

Thus, the analysis is based on comparing the errors in position (translated to the orbital RNT components) and the difference in predicted pseudo-range residuals obtained from SPKF and EKF algorithms with the respective reference solutions.

Table 1 shows the analysis for the predicted pseudo-range residuals convergence, which is measured in terms of time span of data processed. The convergence is assumed when the residuals achieve the same statistics of the reference solution residuals. When a small 0.1 km error is introduced, convergence occurs instantaneously after the estimation process starts, for both SPKF and EKF algorithms. For 1 and 10 km errors in initial conditions, SPKF converges again immediately, and long before EKF for the two cases: 2 and 2.5 hours, for 1 and 10 km errors, respectively. For a 100 km error, SPKF needs 2 hours of estimation to reach the convergence zone, and EKF, 12 hours. And, when the largest error of 1,000 km is added, EKF is not able to converge at all, while SPKF still converges after 8 hours.

<b>Errors (km)</b>	<b>SPKF convergence time (h)</b>	<b>EKF convergence time (h)</b>
0.1	0	0
1	0	2
10	0	2.5
100	2	12
1000	8	no convergence observed

Table 1. Pseudo-range residual convergence speed

Table 2 shows the convergence analysis for the position RNT components error, which is again measured in terms of data time of processing. When a small 0.1 km initial position error is introduced, convergence occurs instantaneously after the estimation process starts, for both SPKF and EKF algorithms, in normal and transverse components, and after 0.5 hours in the radial one. For the 1,10, and 100 km errors in initial conditions cases, SPKF converges always before EKF for the three components, as can be checked in Tab.2. And, when the largest error of 1,000 km is tried, EKF does not converge at all, while SPKF still converges although taking longer time (almost half a day).

errors (km)	SPKF convergence time (h)			EKF convergence time (h)		
	R	N	T	R	N	T
0.1	0.5	0	0	0.5	0	0
1	1	0	1	2.5	1	2
10	3.5	0	1	4.5	1	2
100	3.5	1.5	2	8	16	14
1000	5	11	7	no convergence observed	no convergence observed	no convergence observed

Table 2. Error in position convergence speed

Another statistical check is done, in order to confirm that the algorithms effectively reached convergence. The reference pseudo-range residuals statistics are available in the first line of Tab. 3. They are used as the reference values for SPKF and EKF test cases, which statistics are only computed after convergence time. From Tab. 3 it becomes evident that the estimators really reached convergence, since their statistical values remain nearly the same the reference ones.

Errors (km)	SPKF pseudo-range mean $\pm$ std dev (m)	EKF pseudo-range mean $\pm$ std dev (m)
<b>0 (reference)</b>	<b>-1.248 <math>\pm</math> 25.638</b>	<b>-1.238 <math>\pm</math> 25.614</b>
0.1	-1.160 $\pm$ 25.846	-1.154 $\pm$ 28.014
1	-1.037 $\pm$ 26.870	-1.604 $\pm$ 25.721
10	-1.218 $\pm$ 27.410	-0.985 $\pm$ 25.779
100	-1.318 $\pm$ 25.616	-0.994 $\pm$ 36.403
1000	-1.133 $\pm$ 29.220	no convergence observed

Table 3. Pseudo-range residuals mean and standard deviation

In order to depict such findings, Fig. 2 illustrates the reference residuals (accurate initial conditions) behavior, and the 1,000 km error case behavior for both the EKF and the SPKF estimators. It clearly indicates clues of EKF divergence for such a very bad initial

condition.

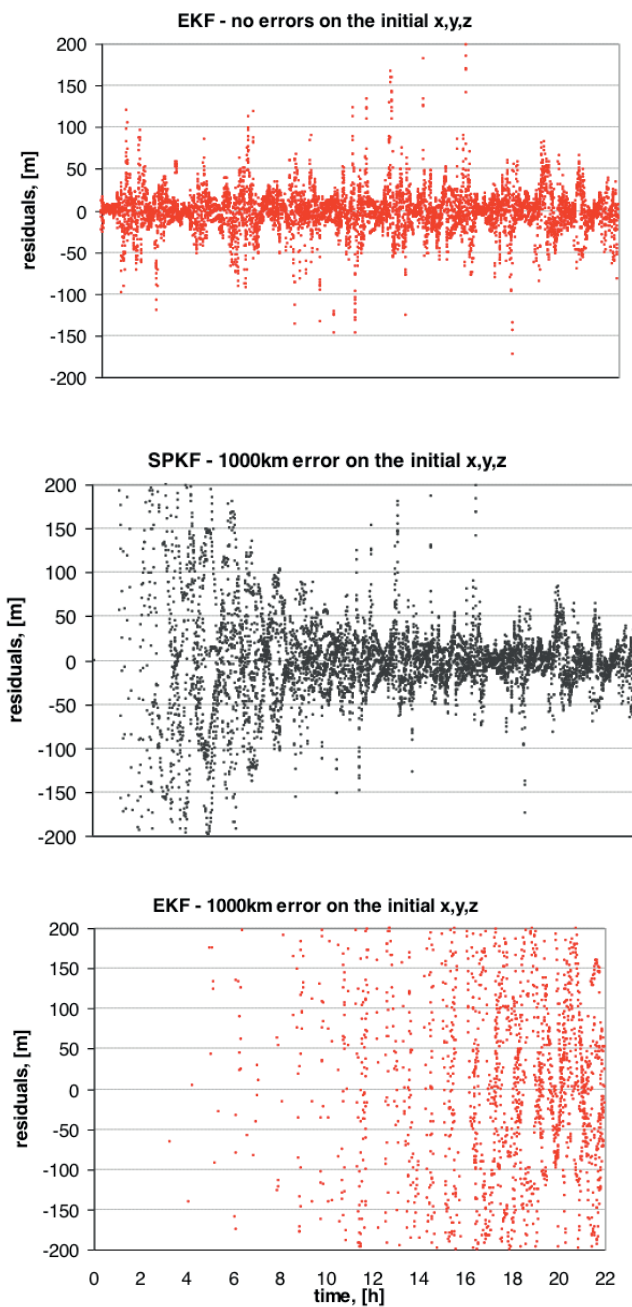


Figure 2. Pseudo-range residuals convergence and divergence behaviors

Proceeding the investigation, Tab. 4 shows RMS position error, where the reference values are again listed in the first row (yellowed). Again, SPKF and EKF resulting RMS errors are only computed after assumed convergence time. For Tab. 4 it is also clear that the estimators really reached convergence, since their RMS values remain nearly close to the reference ones.

<b>errors (km)</b>	<b>SPKF error (m)</b>	<b>EKF error (m)</b>
<b>0 (reference)</b>	<b>21.835</b>	<b>21.628</b>
0.1	21.656	21.090
1	21.376	19.520
10	18.941	20.264
100	18.708	20.074
1000	22.279	no convergence observed

Table 4. Total RMS error in position after convergence

Figure 3 shows the errors in the RNT components for the SPKF and EKF reference cases (accurate initial conditions, left side) and the larger 1,000 km error case results for the EKF and the SPKF estimators (1,000km initial error, right side). It indicates signs of the EKF divergence for such a very bad initial condition while SPKF reaches the convergence zone, although much later than the left side results.

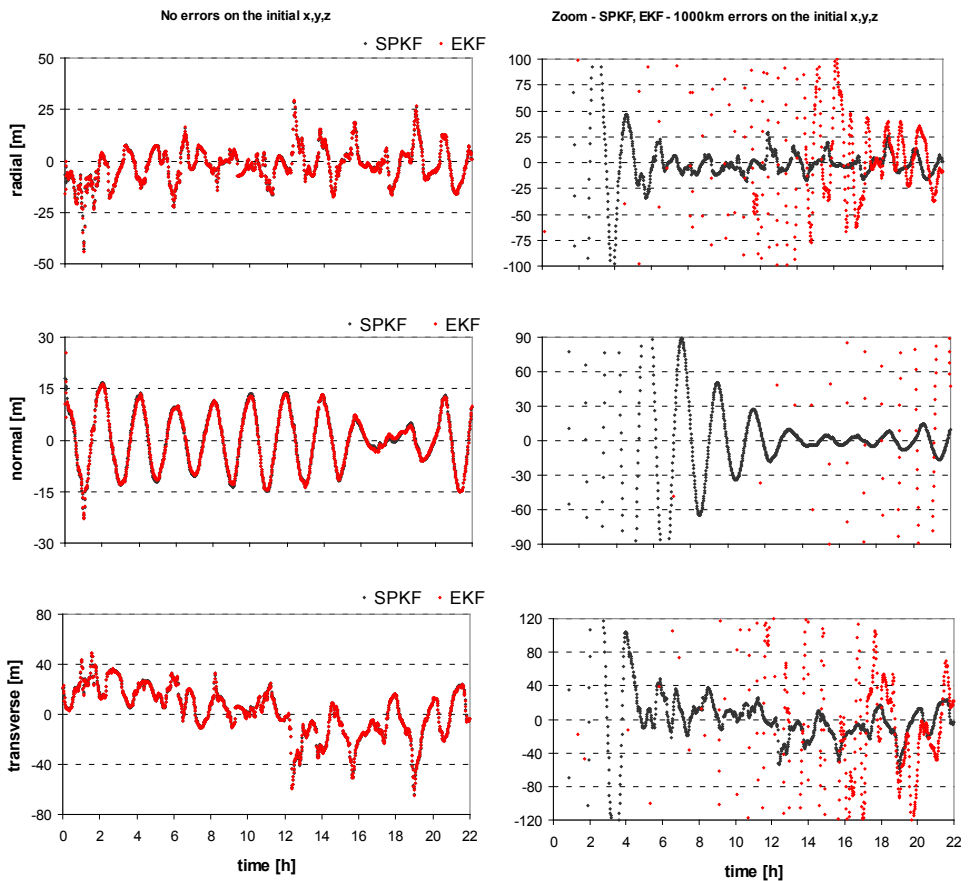


Figure 3. Errors in RNT position components convergence and divergence behaviors

## 6 | CONCLUSIONS

The algorithm stability to erroneous initial conditions of two nonlinear estimators, namely the EKF (Extended Kalman Filter) and SPKF (Sigma-point Kalman Filter) was assessed for a real time satellite orbit determination problem using real GPS measurements. Almost one day of GPS receiver measurements of TOPEX/Poseidon satellite at 60s sampling rate were processed. The emphasis was to characterize each filter convergence behavior in situations where the initial conditions are inaccurate, poor, and degraded, by introducing different levels of errors in the initial position.

Results showed that when small errors in the initial orbit estimates are present, SPKF and EKF yield similar performance compared to the reference solution behavior, with no errors in the initial conditions. As expected, increasing errors decreases the filters performance. As larger is the initial error more difficult is for EKF and SPKF to reach convergence. When SPKF is compared with EKF, in all cases of larger initial errors, the SPKF always attains

convergence first. The rupture threshold for this application in particular was at 1,000 km error case, where the EKF could not converge but SPKF still achieved convergence after a while. Therefore, it is to be said that SPKF is more robust than EKF for degraded initial errors, in this orbit determination application.

## REFERENCES

- [1] Maybeck, P.S., "Stochastic models, estimation, and control". v. 2, Academic Press, NY, 1982.
- [2] van der Merwe, R., "Sigma-Point Kalman Filters for Probabilistic Inference in Dynamic State-Space Models", Ph.D thesis. Oregon Health & Science University, Portland, 2004.
- [3] Julier, S.J.; Uhlmann, J.K., "A new extension of the Kalman filter for nonlinear systems". International Symposium on Aerospace/Defense Sensing, Simulation and Controls. SPIE, 1997.
- [4] Julier, S.J.; Uhlmann, J.K., "Unscented filtering and nonlinear estimation". In: IEEE Transactions on Automatic Control, v. 92, n. 3, 2004. Proceedings... Mar 2004.
- [5] Brown, R.G.; Hwang, P.Y.C., "Introduction to random signals and applied Kalman filtering". 3. ed. New York: John Wiley & Sons, 1985. 502p.
- [6] van der Merwe, R., Wan, E. A., Julier, S.J., "Sigma-point Kalman filters for nonlinear estimation and sensor-fusion - applications to integrated navigation". In: AIAA Guidance, Navigation, and Control Conference and Exhibit, 16-19 Aug. 2004, Rhode Island. Proceedings... Providence: American Institute of Aeronautics and Astronautics, 2004.
- [7] Chiaradia, A.P.M.; Kuga, H.K.; Prado, A.F.B.A., "Single frequency GPS measurements in real-time artificial satellite orbit determination" Acta Astronautica, v. 53, n. 2, p. 123-133, 2003.
- [8] Kaula, W.M., "Theory of Satellite Geodesy". Blaisdell Pub. Co. Waltham, Mass, 1966.
- [9] Prado, A.F.B.A.; Kuga, H.K. (Eds), "Fundamentos de Tecnologia Espacial". São José dos Campos: INPE, 2001. 220 p. ISBN: 85-17-00004-8.
- [10] Pardal, P.C.P.M.; Kuga, H.K.; Vilhena de Moraes, R., "A Discussion Related to Orbit Determination Using Nonlinear Sigma-point Kalman Filter". Mathematical Problems in Engineering, v. 2009, 12 p. Hindawi Publishing Corporation, doi:10.1155/2009/140963.
- [11] Pardal, P.C.P.M.; Kuga, H.K.; Vilhena de Moraes, R., "Comparing the Extended and the Sigma-point Kalman Filters for Orbit Determination Modeling Using GPS Measurements". Proceedings of the 23<sup>rd</sup> International Meeting of the Satellite Division of the Institute of Navigation (ION GNSS 2010). Portland, USA, on publication.

## ÍNDICE REMISSIVO

### A

Acessibilidade 49

Água subterrânea 16, 17, 23, 27, 28

Algorithm Stability 1, 14

Alimentos Funcionais 110

Alumínio 7, 90, 103, 104, 105, 107, 108, 109

Aposentadoria 180, 181, 182, 183, 184, 185, 186, 187

### B

Biomonitoramento 120, 122, 124, 125, 130, 131, 132, 133, 134

### C

Câmbio 167, 170

CBERS-2B 68, 73, 74

Cenário econômico 167

Classe residual 203, 218

CoDesign 33

Compósitos 8, 135, 136, 137, 138, 140, 141, 143, 144, 145, 146, 147, 148, 149, 150, 151, 152, 153, 154, 155, 156, 157, 158

Compósitos Ternários 148, 150

Congruência Modular 9, 203, 204, 210, 213, 218

Consumidor 34, 35, 37, 39, 167, 173, 174, 176

### D

Dados Reais 68, 73, 74, 76

Design de interação 56

Design e tecnologia 49, 56

Design Regenerativo 6, 33, 34, 36, 37, 38, 39, 41, 42, 44, 45, 46

Direito ambiental 6, 33

Divisão Euclidiana 9, 203, 204, 205, 206, 210, 211, 214, 218

### E

Economia circular 6, 33, 34, 36, 41, 42, 43, 44, 45, 46

Elastômero Termoplástico 8, 148, 150, 152, 158, 159

Equação Cinemática 68

Extended Kalman Filter 1, 3, 14

## **F**

Fitólitos 84, 87, 89, 90, 92, 94, 96, 97, 98, 99, 100, 101

Fluorescência de raios X 103

Folhas de Alumínio 7, 103, 104, 105

Fotocopiadoras 8, 120, 121, 122, 123, 124, 126, 127, 128, 129, 130, 131, 132, 133

Função de Transferência 160

## **G**

Geometria Analítica 9, 192, 193, 194

## **H**

Hibiscus sabdariffa L. 110, 111, 118, 119

Hortaliça não convencional 110, 111, 112

## **I**

Inflação 167, 168, 169, 170, 171, 172, 173, 174, 175, 176, 177

## **L**

Linhas de pedra 7, 84, 86, 87, 88, 89, 90, 91, 92, 97, 98, 101

## **M**

Matemática 28, 192, 193, 194, 195, 197, 201, 202, 210, 212, 218, 219, 220, 221, 222, 223, 224, 225, 226, 227

Médio Vale do Rio Paraíba do Sul 7, 84, 88, 98

## **N**

Nível estático 16

Nutrição Humana 110

Nutrição Vegetal 110, 112

## **O**

Orbit Determination 6, 1, 2, 3, 7, 8, 9, 14, 15

Organizações de alta complexidade 56, 58, 59, 61

## **P**

Pesquisa e metodologia do design 49

Planos de Previdência Privada 180, 189

Poliéster 135, 136, 137, 139, 144

Polipropileno 8, 135, 137, 142, 144, 145, 147, 148, 149, 150, 151, 152, 153, 154, 155, 156, 157, 158, 159



políticas públicas 33, 34, 42, 123

Prevenção de acidentes 56

Previdência Complementar Aberta 180, 190

Previdência Complementar Fechada 180

Propriedades 8, 18, 104, 112, 135, 137, 138, 142, 143, 145, 146, 147, 148, 149, 150, 154, 158, 159, 161, 194, 203, 207, 213, 215

## **R**

Realidade virtual 7, 56, 57, 58, 59, 61, 63, 64, 65

Reconstituição Paleoambiental 84

Resíduos sólidos 16, 18, 27, 35, 37, 38, 40, 41, 42, 43, 135

Resíduos têxteis 8, 135, 136, 137, 139, 145, 146

## **S**

Saúde 34, 40, 43, 49, 50, 54, 61, 105, 120, 121, 122, 123, 124, 125, 132, 134, 183

Sensação Térmica 6, 30, 31, 32

Sigma-Point Kalman Filter 1

Sistema Aquífero Serra Geral 16, 18, 28

Sistema de Posicionamento Global 192, 193, 195

Suavizador de Estado 68

## **T**

Talco 8, 148, 149, 150, 151, 152, 153, 154, 155, 156, 157, 158

Taxa Selic 167, 173, 177

Tecnologia Assistiva 6, 49, 50, 51, 54, 55

Termômetro 6, 30, 31, 32


Teste de micronúcleos 120

Tradescantia Pallida 8, 120, 121, 122, 125, 128, 130, 131, 133, 134


Transferência de calor 160, 161, 165

Transformada de Laplace 160

# **Ciências Exatas e da Terra: Aprendizado, Integração e Necessidades do País 2**

[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) 


 **Atena**  
Editora

Ano 2021

# **Ciências Exatas e da Terra: Aprendizado, Integração e Necessidades do País 2**

[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) 