



# Ciências Exatas e da Terra: Conhecimentos Estratégicos para o Desenvolvimento do País 2

Francisco Odécio Sales  
(Organizador)

  
Atena  
Editora  
Ano 2021



# Ciências Exatas e da Terra: Conhecimentos Estratégicos para o Desenvolvimento do País 2

Francisco Odécio Sales  
(Organizador)

**Atena**  
Editora  
Ano 2021

**Editora Chefe**

Profª Drª Antonella Carvalho de Oliveira

**Assistentes Editoriais**

Natalia Oliveira

Bruno Oliveira

Flávia Roberta Barão

**Bibliotecária**

Janaina Ramos

**Projeto Gráfico e Diagramação**

Natália Sandrini de Azevedo

Camila Alves de Cremo

Luiza Alves Batista

Maria Alice Pinheiro

**Imagens da Capa**

Shutterstock

**Edição de Arte**

Luiza Alves Batista

**Revisão**

Os Autores

2021 by Atena Editora

Copyright © Atena Editora

Copyright do Texto © 2021 Os autores

Copyright da Edição © 2021 Atena Editora

Direitos para esta edição cedidos à Atena Editora pelos autores.



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

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

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

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

**Conselho Editorial**

**Ciências Humanas e Sociais Aplicadas**

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

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

Prof. Dr. Antonio Carlos Frasson – Universidade Tecnológica Federal do Paraná

Prof. Dr. Antonio Gasparetto Júnior – Instituto Federal do Sudeste de Minas Gerais

Prof. Dr. Antonio Isidro-Filho – Universidade de Brasília

Prof. Dr. Carlos Antonio de Souza Moraes – Universidade Federal Fluminense  
Prof. Dr. Crisóstomo Lima do Nascimento – Universidade Federal Fluminense  
Profª Drª Cristina Gaio – Universidade de Lisboa  
Prof. Dr. Daniel Richard Sant’Ana – Universidade de Brasília  
Prof. Dr. Deyvison de Lima Oliveira – Universidade Federal de Rondônia  
Profª Drª Dilma Antunes Silva – Universidade Federal de São Paulo  
Prof. Dr. Edvaldo Antunes de Farias – Universidade Estácio de Sá  
Prof. Dr. Elson Ferreira Costa – Universidade do Estado do Pará  
Prof. Dr. Elói Martins Senhora – Universidade Federal de Roraima  
Prof. Dr. Gustavo Henrique Cepolini Ferreira – Universidade Estadual de Montes Claros  
Profª Drª Ivone Goulart Lopes – Istituto Internazionale delle Figlie de Maria Ausiliatrice  
Prof. Dr. Jadson Correia de Oliveira – Universidade Católica do Salvador  
Prof. Dr. Julio Candido de Meirelles Junior – Universidade Federal Fluminense  
Profª Drª Lina Maria Gonçalves – Universidade Federal do Tocantins  
Prof. Dr. Luis Ricardo Fernandes da Costa – Universidade Estadual de Montes Claros  
Profª Drª Natiéli Piovesan – Instituto Federal do Rio Grande do Norte  
Prof. Dr. Marcelo Pereira da Silva – Pontifícia Universidade Católica de Campinas  
Profª Drª Maria Luzia da Silva Santana – Universidade Federal de Mato Grosso do Sul  
Prof. Dr. Pablo Ricardo de Lima Falcão – Universidade de Pernambuco  
Profª Drª Paola Andressa Scortegagna – Universidade Estadual de Ponta Grossa  
Profª Drª Rita de Cássia da Silva Oliveira – Universidade Estadual de Ponta Grossa  
Prof. Dr. Rui Maia Diamantino – Universidade Salvador  
Prof. Dr. Saulo Cerqueira de Aguiar Soares – Universidade Federal do Piauí  
Prof. Dr. Urandi João Rodrigues Junior – Universidade Federal do Oeste do Pará  
Profª Drª Vanessa Bordin Viera – Universidade Federal de Campina Grande  
Profª Drª Vanessa Ribeiro Simon Cavalcanti – Universidade Católica do Salvador  
Prof. Dr. William Cleber Domingues Silva – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro  
Prof. Dr. Willian Douglas Guilherme – Universidade Federal do Tocantins

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

Prof. Dr. Alexandre Igor Azevedo Pereira – Instituto Federal Goiano  
Prof. Dr. Arinaldo Pereira da Silva – Universidade Federal do Sul e Sudeste do Pará  
Prof. Dr. Antonio Pasqualetto – Pontifícia Universidade Católica de Goiás  
Profª Drª Carla Cristina Bauermann Brasil – Universidade Federal de Santa Maria  
Prof. Dr. Cleberton Correia Santos – Universidade Federal da Grande Dourados  
Profª Drª Diocléa Almeida Seabra Silva – Universidade Federal Rural da Amazônia  
Prof. Dr. Écio Souza Diniz – Universidade Federal de Viçosa  
Prof. Dr. Fábio Steiner – Universidade Estadual de Mato Grosso do Sul  
Prof. Dr. Fágner Cavalcante Patrocínio dos Santos – Universidade Federal do Ceará  
Profª Drª Girlene Santos de Souza – Universidade Federal do Recôncavo da Bahia  
Prof. Dr. Jael Soares Batista – Universidade Federal Rural do Semi-Árido  
Prof. Dr. Jayme Augusto Peres – Universidade Estadual do Centro-Oeste  
Prof. Dr. Júlio César Ribeiro – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro  
Profª Drª Lina Raquel Santos Araújo – Universidade Estadual do Ceará  
Prof. Dr. Pedro Manuel Villa – Universidade Federal de Viçosa  
Profª Drª Raissa Rachel Salustriano da Silva Matos – Universidade Federal do Maranhão  
Prof. Dr. Ronilson Freitas de Souza – Universidade do Estado do Pará  
Profª Drª Talita de Santos Matos – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro  
Prof. Dr. Tiago da Silva Teófilo – Universidade Federal Rural do Semi-Árido  
Prof. Dr. Valdemar Antonio Paffaro Junior – Universidade Federal de Alfenas

### **Ciências Biológicas e da Saúde**

Prof. Dr. André Ribeiro da Silva – Universidade de Brasília  
Profª Drª Anelise Levay Murari – Universidade Federal de Pelotas  
Prof. Dr. Benedito Rodrigues da Silva Neto – Universidade Federal de Goiás  
Profª Drª Daniela Reis Joaquim de Freitas – Universidade Federal do Piauí  
Profª Drª Débora Luana Ribeiro Pessoa – Universidade Federal do Maranhão  
Prof. Dr. Douglas Siqueira de Almeida Chaves – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro  
Prof. Dr. Edson da Silva – Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri  
Profª Drª Elizabeth Cordeiro Fernandes – Faculdade Integrada Medicina  
Profª Drª Eleuza Rodrigues Machado – Faculdade Anhanguera de Brasília  
Profª Drª Elane Schwinden Prudêncio – Universidade Federal de Santa Catarina  
Profª Drª Eysler Gonçalves Maia Brasil – Universidade da Integração Internacional da Lusofonia Afro-Brasileira  
Prof. Dr. Ferlando Lima Santos – Universidade Federal do Recôncavo da Bahia  
Profª Drª Fernanda Miguel de Andrade – Universidade Federal de Pernambuco  
Prof. Dr. Fernando Mendes – Instituto Politécnico de Coimbra – Escola Superior de Saúde de Coimbra  
Profª Drª Gabriela Vieira do Amaral – Universidade de Vassouras  
Prof. Dr. Gianfábio Pimentel Franco – Universidade Federal de Santa Maria  
Prof. Dr. Helio Franklin Rodrigues de Almeida – Universidade Federal de Rondônia  
Profª Drª Iara Lúcia Tescarollo – Universidade São Francisco  
Prof. Dr. Igor Luiz Vieira de Lima Santos – Universidade Federal de Campina Grande  
Prof. Dr. Jefferson Thiago Souza – Universidade Estadual do Ceará  
Prof. Dr. Jesus Rodrigues Lemos – Universidade Federal do Piauí  
Prof. Dr. Jônatas de França Barros – Universidade Federal do Rio Grande do Norte  
Prof. Dr. José Max Barbosa de Oliveira Junior – Universidade Federal do Oeste do Pará  
Prof. Dr. Luís Paulo Souza e Souza – Universidade Federal do Amazonas  
Profª Drª Magnólia de Araújo Campos – Universidade Federal de Campina Grande  
Prof. Dr. Marcus Fernando da Silva Praxedes – Universidade Federal do Recôncavo da Bahia  
Profª Drª Maria Tatiane Gonçalves Sá – Universidade do Estado do Pará  
Profª Drª Mylena Andréa Oliveira Torres – Universidade Ceuma  
Profª Drª Natiéli Piovesan – Instituto Federacl do Rio Grande do Norte  
Prof. Dr. Paulo Inada – Universidade Estadual de Maringá  
Prof. Dr. Rafael Henrique Silva – Hospital Universitário da Universidade Federal da Grande Dourados  
Profª Drª Regiane Luz Carvalho – Centro Universitário das Faculdades Associadas de Ensino  
Profª Drª Renata Mendes de Freitas – Universidade Federal de Juiz de Fora  
Profª Drª Vanessa Lima Gonçalves – Universidade Estadual de Ponta Grossa  
Profª Drª Vanessa Bordin Viera – Universidade Federal de Campina Grande  
Profª Drª Welma Emidio da Silva – Universidade Federal Rural de Pernambuco

### **Ciências Exatas e da Terra e Engenharias**

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

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

#### **Linguística, Letras e Artes**

Profª Drª Adriana Demite Stephani – Universidade Federal do Tocantins  
Profª Drª Angeli Rose do Nascimento – Universidade Federal do Estado do Rio de Janeiro  
Profª Drª Carolina Fernandes da Silva Mandaji – Universidade Tecnológica Federal do Paraná  
Profª Drª Denise Rocha – Universidade Federal do Ceará  
Profª Drª Edna Alencar da Silva Rivera – Instituto Federal de São Paulo  
Profª Drª Fernanda Tonelli – Instituto Federal de São Paulo,  
Prof. Dr. Fabiano Tadeu Grazioli – Universidade Regional Integrada do Alto Uruguai e das Missões  
Prof. Dr. Gilmei Fleck – Universidade Estadual do Oeste do Paraná  
Profª Drª Keyla Christina Almeida Portela – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Paraná  
Profª Drª Miraniide Oliveira Neves – Instituto de Educação, Ciência e Tecnologia do Pará  
Profª Drª Sandra Regina Gardacho Pietrobon – Universidade Estadual do Centro-Oeste  
Profª Drª Sheila Marta Carregosa Rocha – Universidade do Estado da Bahia

#### **Conselho Técnico Científico**

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

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

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



Ciências exatas e da terra: conhecimentos estratégicos para o desenvolvimento do país 2

**Bibliotecária:** Janaina Ramos  
**Diagramação:** Camila Alves de Cremo  
**Correção:** Flávia Roberta Barão  
**Edição de Arte:** Luiza Alves Batista  
**Revisão:** Os Autores  
**Organizador:** Francisco Odécio Sales

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

C569 Ciências exatas e da terra: conhecimentos estratégicos para o desenvolvimento do país 2 / Organizador Francisco Odécio Sales. – Ponta Grossa - PR: Atena, 2021.

Formato: PDF

Requisitos de sistema: Adobe Acrobat Reader

Modo de acesso: World Wide Web

Inclui bibliografia

ISBN 978-65-5983-210-1

<https://doi.org/10.22533/at.ed.101212506>

1. Ciências Exatas e da Terra. I. Sales, Francisco Odécio (Organizador). II. Título.

CDD 551.1

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 socioeconômico do País está assentado primordialmente na inovação baseada no seu desenvolvimento científico e tecnológico.

É notado, principalmente nos últimos anos, que há grande necessidade de fortalecimento e expansão da capacidade de pesquisa e de inovação, bem como o aprimoramento dos conhecimentos já adquiridos pela sociedade.

Neste contexto, o E-book “Ciências Exatas e da Terra: Conhecimentos Estratégicos para o Desenvolvimento do País 2” foi composto por uma coletânea de trabalhos relacionados às Ciências Exatas e da Terra que contemplam os mais variados temas ligados ao desenvolvimento.

Os 16 capítulos que constituem a presente obra, elaborados por pesquisadores de diversas instituições de pesquisa, permitem aos leitores analisar e discutir assuntos tais como: importância das ondas eletromagnéticas e transmissão na camada da ionosfera, produção de filmes de polímeros a partir de diferentes complexos para aplicação em células solares, estudo de diferentes metodologias na caracterização de material polimérico, utilização de modelagem numérica na investigação da dispersão de plumas poluentes, aplicação de malhas computacionais para a verificação do transporte de doenças de plantas pelo ar, dentre outros assuntos de relevância para as Ciências Exatas e da Terra.

O organizador e a Atena Editora agradecem aos autores e instituições envolvidas nos trabalhos que compõe a presente obra.

Por fim, esperamos que este E-book possa proporcionar reflexões significativas que contribuam para o aprimoramento do conhecimento e desenvolvimento de novas pesquisas.

Boa leitura!

Francisco Odécio Sales

## SUMÁRIO

### **CAPÍTULO 1..... 1**

A ATRIBUIÇÃO EMINENTE DA GEOGRAFIA NO CONHECIMENTO CIENTÍFICO A PARTIR DA VISÃO INTEGRADORA E HOLÍSTICA NAS ANÁLISES AMBIENTAIS

Matheus Seiji Bonfim Takiuchi

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.1012125061>

### **CAPÍTULO 2..... 7**

A INFLUÊNCIA DA SOJA TRANSGÊNICA À SAÚDE E AO MEIO AMBIENTE

Leandro Moreira Maciel

Lilian Vanussa Madruga de Tunes

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.1012125062>

### **CAPÍTULO 3..... 15**

ANÁLISE DA DISCIPLINA QUÍMICA INORGÂNICA NO CURSO DE LICENCIATURA EM QUÍMICA DAS IES PÚBLICAS NO ESTADO DO AMAZONAS

Pamela Pereira Nunes

Pedro Campelo de Assis Junior

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.1012125063>

### **CAPÍTULO 4..... 20**

CARACTERIZAÇÃO GEMOLÓGICA DAS ESMERALDAS DE PINDOBAÇU/BAHIA-BRASIL

Sirlene Barboza Mendonça

Daniela Teixeira Carvalho de Newman

José Albino Newman Fernández

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.1012125064>

### **CAPÍTULO 5..... 43**

CATALISADORES DE NÍOBIO E TERRAS RARAS PARA A PRODUÇÃO DE BIODIESEL: UMA REVISÃO

Caio Barbosa e Souza

Anderson Felipe Sant'Anna Moreira

Vanessa Santos Antunes

Rosane Aguiar da Silva San Gil

Elizabeth Roditi Lachter

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.1012125065>

### **CAPÍTULO 6..... 57**

COMBATE ÀS PERDAS DE ÁGUA – IMPLEMENTAÇÃO DE POLÍTICAS PÚBLICAS DE CONSERVAÇÃO DA BACIA DO RIO SÃO FRANCISCO

Ana Cândida de Paula Ribeiro e Arruda Campos

Liliane Bonadio Terra

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.1012125066>

**CAPÍTULO 7..... 66**

**CONSIDERAÇÕES RELATIVAS AS DISCIPLINAS DE CADASTRO NAS ENGENHARIAS DE AGRIMENSURA E CARTOGRÁFICA**

Cesar Rogério Cabral  
Everton da Silva  
Markus Hasenack

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.1012125067>

**CAPÍTULO 8..... 79**

**DESENVOLVIMENTO DE FERRAMENTAS DE ANÁLISE DE DISPOSITIVOS MECÂNICOS E ELÉTRICOS QUE EXIBEM COMPORTAMENTO DINÂMICO NÃO LINEAR**

Vinícius Guilherme Esmeraldino Galvão

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.1012125068>

**CAPÍTULO 9..... 93**

**ESTUDOS PEDOLÓGICOS E GEOLÓGICOS: UMA NOVA ABORDAGEM COM IMAGEADORES HIPERESPECTRAIS**

Guilherme Fernando Capristo Silva  
Marcos Rafael Nanni  
Renato Herrig Furlanetto  
Luis Guilherme Teixeira Crusiol  
Everson Cezar  
Cassiele Uliana Facco  
Carlos Antonio da Silva Junior  
José Alexandre Melo Demattê  
Jessica Saldanha Souza  
Taiana Loan de Lima Campos  
Glaucio Leboso Alemparte Abrantes dos Santos  
Marlon Rodrigues

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.1012125069>

**CAPÍTULO 10..... 101**

**ENTREVISTA COMO FERRAMENTA: MAPEAMENTO DO PROCESSO PROJETUAL DE PRODUTOS FEITOS COM RESÍDUOS TÊXTEIS**

Dayane Cabral Ziegler  
Sydney Fernandes de Freitas  
Gisela Costa Pinheiro Monteiro






 <https://doi.org/10.22533/at.ed.10121250610>

**CAPÍTULO 11..... 112**

**MODELAGEM MATEMÁTICA DO PRÉ-TRATAMENTO HIDROTÉRMICO DA PALHA DE CANA-DE-AÇÚCAR CONSIDERANDO A FRAÇÃO RECALCITRANTE DA CELULOSE**

Gustavo Batista  
Martha Suzana Rodrigues dos Santos Rocha  
Cristiane Sanchez Farinas  
Antonio José Gonçalves da Cruz

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.10121250611>

<b>CAPÍTULO 12.....</b>	<b>117</b>
<b>MODIFICAÇÃO DE AMIDO DE BATATA DOCE E MANDIOCA POR TRATAMENTO HIDROTÉRMICO</b>	
Carmen Cecília Gomes Borges Padula Ana Paula Cerino Coutinho	
 <a href="https://doi.org/10.22533/at.ed.10121250612">https://doi.org/10.22533/at.ed.10121250612</a>	
<b>CAPÍTULO 13.....</b>	<b>128</b>
<b>NON-OMNIDIRECTIONAL ANTENNA EFFECTS ON INDOOR CELL PLANNING AT 700 MHZ</b>	
Maria do Carmo de Luna Malheiros Frazão Niedson Almeida Lemos Jefferson Costa e Silva Alfredo Gomes Neto Custódio José de Oliveira Peixeiro	
 <a href="https://doi.org/10.22533/at.ed.10121250613">https://doi.org/10.22533/at.ed.10121250613</a>	
<b>CAPÍTULO 14.....</b>	<b>143</b>
<b>SAÚDE UNIVERSITÁRIA: UM ESTUDO DE CASO EM UMA UNIVERSIDADE DA AMAZÔNIA</b>	
Iranira Geminiano de Melo Célio José Borges Berenice Perpétua Simão Aroní Matos de Oliveira Clarides Henrich de Barba	
 <a href="https://doi.org/10.22533/at.ed.10121250614">https://doi.org/10.22533/at.ed.10121250614</a>	
<b>CAPÍTULO 15.....</b>	<b>152</b>
<b>UTILIZAÇÃO DE UM ALGORITMO GENÉTICO PARA OTIMIZAR TRANSFERÊNCIAS INTERPLANETÁRIAS</b>	
Guilherme Marcos Neves Denilson Paulo Souza dos Santos	
 <a href="https://doi.org/10.22533/at.ed.10121250615">https://doi.org/10.22533/at.ed.10121250615</a>	
<b>CAPÍTULO 16.....</b>	<b>161</b>
<b>VALIDAÇÃO E PROJEÇÃO CLIMÁTICA DO MODELO ETA-HADGEM2-ES PARA O MUNICÍPIO DE CONCÓRDIA, SANTA CATARINA</b>	
Gerson Conceição Claudia Guimarães Camargo Campos Mario Francisco Leal de Quadro	
 <a href="https://doi.org/10.22533/at.ed.10121250616">https://doi.org/10.22533/at.ed.10121250616</a>	
<b>SOBRE O ORGANIZADOR.....</b>	<b>172</b>
<b>ÍNDICE REMISSIVO.....</b>	<b>173</b>

## NON-OMNIDIRECTIONAL ANTENNA EFFECTS ON INDOOR CELL PLANNING AT 700 MHZ

*Data de aceite:* 21/06/2021

*Data de submissão:* 11/06/2021

### **Maria do Carmo de Luna Malheiros Frazão**

Federal Institute of Paraiba (IFPB)  
João Pessoa, Paraiba, Brazil  
<http://lattes.cnpq.br/5407500506133799>

### **Niedson Almeida Lemos**

Federal Institute of Paraiba (IFPB)  
João Pessoa, Paraiba, Brazil  
<http://lattes.cnpq.br/4254784911437366>

### **Jefferson Costa e Silva**

Federal Institute of Paraiba (IFPB)  
João Pessoa, Paraiba, Brazil  
<http://lattes.cnpq.br/7399512856151138>

### **Alfredo Gomes Neto**

Federal Institute of Paraiba (IFPB)  
João Pessoa, Paraiba, Brazil  
<http://lattes.cnpq.br/1403715441701958>

### **Custódio José de Oliveira Peixeiro**

University of Lisbon  
Lisbon, Portugal

**ABSTRACT:** This paper aims to establish a coverage characterization of indoor wireless signals in the 700 MHz frequency band, taking into account the effect of a non-omnidirectional (directive) transmitting antenna. This band was chosen because it has been allocated to be used by the Long Term Evolution (LTE-4G) wireless communication system in Brazil. The simulation results have been obtained using the commercial

software package WinProp<sup>®</sup> based on the ray tracing method. A modification of the propagation model consisting in the use of virtual transmitters positioned at the entrance of environments with non-line-of-sight (NLOS) between transmitter and receiver is proposed. An extensive measurement campaign has been carried out in a school building indoor scenario with long corridors and several types of neighbour rooms. The results obtained have shown a good agreement between simulation and experimental results, therefore providing validation of the proposed simplified model.

**KEYWORDS:** Cell Planning, Indoor Environments, Propagation Measurements, Propagation Models, Ray Tracing Method.

**RESUMO:** Este trabalho tem como objetivo estabelecer uma caracterização da cobertura de sinais sem fio internos na faixa de frequência de 700 MHz, levando em consideração o efeito de uma antena transmissora não omnidirecional (diretiva). Esta banda foi escolhida porque foi alocada para ser usada pelo sistema de comunicação sem fio Long Term Evolution (LTE-4G) no Brasil. Os resultados da simulação foram obtidos usando o pacote de software comercial WinProp<sup>®</sup> baseado no método de traçado de raio. É proposta uma modificação do modelo de propagação que consiste na utilização de transmissores virtuais posicionados na entrada de ambientes sem linha de visão (NLOS) entre transmissor e receptor. Uma extensa campanha de medição foi realizada em um cenário interno de prédio escolar com longos corredores e vários tipos de salas vizinhas. Os resultados obtidos

mostraram uma boa concordância entre os resultados da simulação e os experimentais, fornecendo, portanto, a validação do modelo simplificado proposto.

**PALAVRAS-CHAVE:** Planejamento de Células, Ambientes Internos, Medidas de Propagação, Modelos de Propagação, Método de Rastreamento de Raios.

## 1 | INTRODUCTION

By the end of 2018 there were 7,900 million mobile communication subscribers in the world which is about the same number as for the world population. According to forecasts the number of mobile subscribers will reach 9,100 million by 2021. Although these are already overwhelming figures, they are completely overcome by the mobile traffic that is forecast to increase almost an order of magnitude in the same period [1]. Service providers and the other players of the mobile communications industry are devising ways to cope with this dramatic and challenging increase. New technics and huge investments in the networks are required.

According to the United Nations, the number of people living in urban areas surpassed the number living in rural areas in 2009. This tendency of concentration of the population has been accentuated and it is expected that about 56% of the world population will live in urban settlements in 2020. This figure is forecasted to increase to nearly 70% in 2050 [2]. So, more than half of the mobile communication users already live in urban scenarios and this percentage will enlarge in the future. Moreover, in average, urban populations have better living standards [3]. Therefore, now, but mainly in the future, most of the mobile communication users and traffic will be associated with urban areas. All the players of the mobile communication industry will focus, even more, their attention in urban scenarios.

Small cells is considered a very promising technique to deal with this mobile traffic exponential explosion [4]. Small cells can be used mostly in urban areas, both in indoor and outdoor deployments. However, indoor scenarios seem to be more challenging as a wide variety of environments with different architectural characteristics, such as, offices, shopping malls, hospitals, schools, residential buildings, can be found. Moreover, the list of materials used in the construction is also vast, including, metal, glass, wood, plaster, concrete, brick, and so on. That large number of different situations happens especially in the case of services using the lower part of the frequency spectrum where coverage is potentially larger. The development of propagation models that can be implemented in software tools used in the planning of cellular systems is of crucial importance to the initial planning of a network [5, 6]. Many models have been developed to predict the behaviour of electromagnetic waves in propagation scenarios. Some of them are of general-purpose use but most of them have been tuned to specific environments [7-12].

The aim of this paper is to propose the use of a new technique here designated as “virtual transmitter” to enhance the indoor propagation models implemented in general



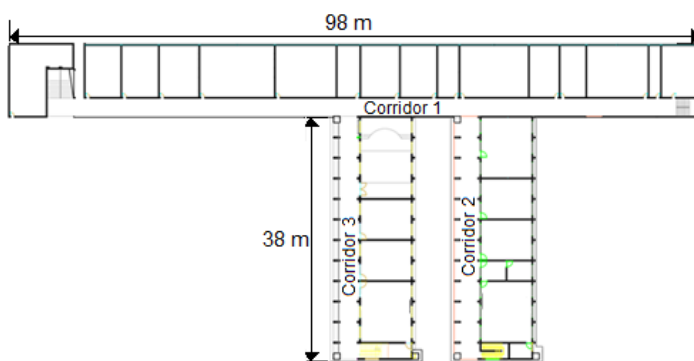
purpose radio propagation prediction software tools [13, 14]. This technique is used in NLOS situations and consists in replacing the real transmitter with an omnidirectional virtual one with adequate location and input power. In such NLOS situations, the signal propagation depends on reflection, refraction, diffraction and scattering of the electromagnetic wave, whose action, individually or together, can cause signal degradation. Moreover, the wave may suffer severe multipath and polarization mismatch in the receiver.

The analysis is performed at the frequency 730 MHz, representative of the frequency band 698-806 MHz, which is reserved for LTE communication systems in Brazil [15]. This so-called 700 MHz band provides good penetration through walls and therefore is particularly adequate for indoor communication systems [8].

The paper is organised in V sections. After this introductory section, the propagation scenario is described in section II. Section III reports the approach used to solve the defined propagation problem, with emphasis on the simulation tool, the experimental setup and the measurement campaign. Simulation and experimental results are compared in section IV. Finally, section V provides the conclusions.

## 2 | PROPAGATION SCENARIO

The scenario chosen corresponds to the ground floor of the electrical engineering building in João Pessoa campus of the Federal Institute of Paraíba (IFPB), Brazil. As shown in Figure 1, the scenario is composed of a 98 m long (and 2.4 m wide) main corridor and two 38 m long (and 3.1 m wide) transversal secondary corridors. There are classrooms and laboratories along the corridors. The floor and the ceiling are made of concrete. The walls are brick made. The distance between floor and ceiling is 3.6 m.



a) Geometry



b) Photo of corridor 1



c) Photo of corridor 2

Figure 1. Propagation scenario.

During class time periods a large number of people move along the corridors and therefore the propagation channel experiences short term (fast) fading. The radio transmitter (TX) is located at the beginning of corridor 1, at a height of 1.5 m.

### 3 | PROBLEM SOLVING APPROACH

The approach consists in using a general purpose radio propagation planning tool to deterministically obtain the received power distribution in each point of the propagation scenario. It is particularly important to evaluate the signal strength along the corridors. A realistic geometrical model of the scenario is imported from AutoCad® and the electromagnetic macroscopic characteristics of the wall, floor and ceiling materials are used.

The non-omnidirectional radiation pattern of the transmit antenna is taken into account. A log-periodic dipole antenna (LPDA), model 3148B from ETS-Lindgren [16], with 5.66 dBi gain, is used. The corresponding H- and E-plane radiation pattern cuts [16] are shown in Figure 2.

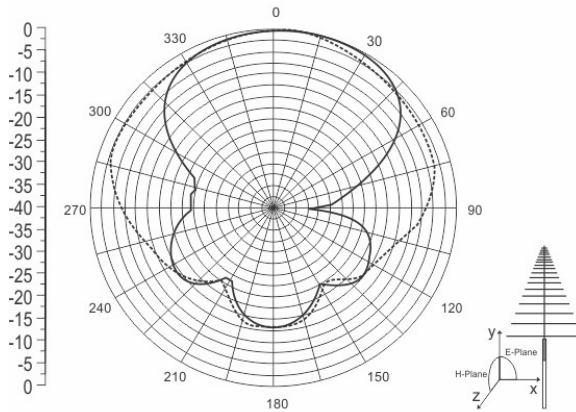


Figure 2. LPDA radiation pattern at 730 MHz, - - - - - H-plane, — E-plane.

There is a line-of-sight (LOS) condition for all the points of corridor 1 and a non-line-of-sight (NLOS) condition for corridors 2 and 3. The software propagation tool is used to obtain the power distribution in the three corridors. For the NLOS situations (corridors 2 and 3) a new “virtual transmitter” technique consisting in the use of a lossless isotropic repeater located at the entrance of the corridor is used. The power received by the virtual lossless isotropic antenna (0 dBi gain) from the real transmitter is re-radiated isotropically. For reference, to evaluate the importance of the multipath in LOS situations and refraction and diffraction in NLOS, the direct-ray power is also calculated.

### A. Simulation tool

The wave propagation and radio network planning software package WinProp<sup>®</sup> from AWE Communications GmbH [17] has been used. This package provides several software tools that can be used in many different scenarios and cellular air interfaces. One of the modules uses prediction models for indoor scenarios. In this case the 2D standard ray tracing has been chosen [17-21]. The user has control over the number of transmitted, reflected and diffracted rays. More rays lead to more accurate solutions but is more demanding in computational resources. In the scenario under analysis a good compromise has been reached with 3 transmitted (refracted) rays, 2 reflected rays and 1 diffracted ray (Figure 3).

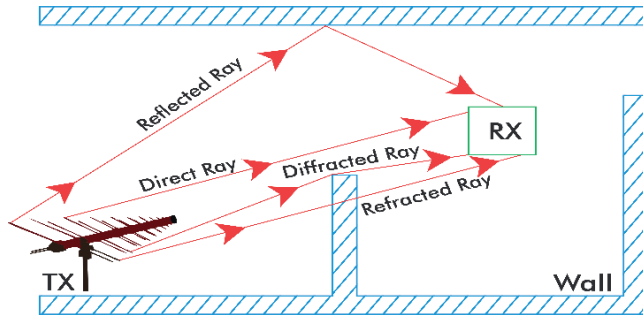


Figure 3. Ray tracing method in an indoor environment.

Ray casting is done from the transmitter using a ray launching scheme with uniform variation of the transmitting angle. The nature of each ray (direct, reflected, refracted, or diffracted) is evaluated and the corresponding signal strength is calculated. The radiation pattern of the transmit antenna has been taken into account by entering in the input data the actual gain corresponding to each transmit angle. For each reception point (pixel) all the contributing rays are added taking into account the corresponding amplitude. For the scenario under analysis (Figure 1) 5720 pixels have been used which corresponds to pixels with  $1.77 \times 1.77 \text{ m}^2$ . The power distribution obtained for the propagation scenario, three corridors and adjacent rooms, is shown in Figure 4. The interference caused by the rays reflected on the walls, on the direct ray, can be observed along corridor 1, where a LOS situation exists. This interference is less intense, in corridors 2 and 3, where a NLOS situation occurs.

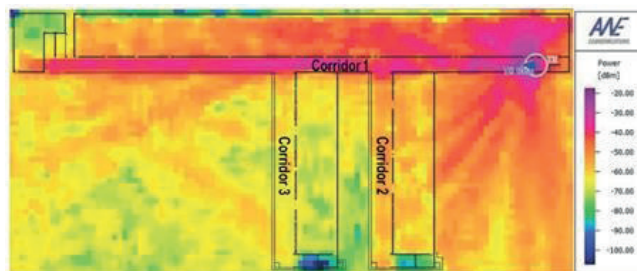


Figure 4. Example of power distribution obtained with the simulation tool.

## B. Experimental setup

The layout of the setup used in the experimental campaign is shown in Figure 5. The equipment used in the measurements is listed in Table 1.

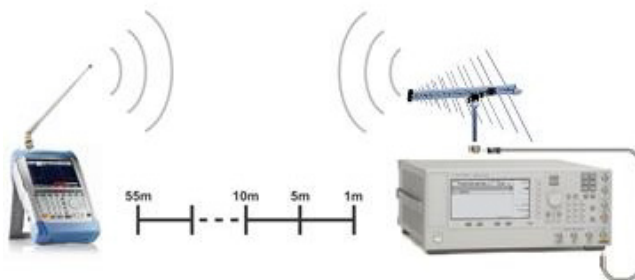


Figure 5. Layout of the setup used in the measurements.

<i>Description</i>	<i>Manufacturer</i>	<i>Model</i>
Signal generator	Agilent Technologies	E8257D
Transmit LPDA	ETS-Lindgren	3148B
Receive antenna	Home made	
Spectrum analyser	Rohde & Schwarz	FSH8
Laptop	Apple	MacBook Pro
Mobile base	Home made	

Table 1. List of equipment used in the measurements

At the transmit side (TX), a signal generator supplied the LPDA antenna with 16 dBm input power at the frequency 730 MHz (CW). For the receive system (RX) a 21 cm long omnidirectional vertical telescopic antenna, connected to a portable spectrum analyser, positioned on a mobile base, has been used. A laptop computer has also been used for data acquisition. Photographs of the fixed transmit station and mobile receive station are shown in Figure 6.

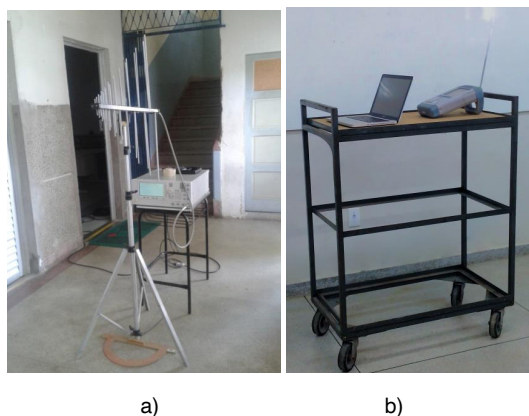


Figure 6. Photographs of the TX and RX terminals, a) TX, b) RX.

### C. Measurement campaign

The signal strength has been measured along the middle line of each of the three corridors at points uniformly separated 5 m. The initial measurement point is 1 m away from the transmitter for corridor 1, and 2 m away from the crossing point with corridor 1, for corridors 2 and 3.

The transmitter azimuthal angle is measured clock wise and the zero corresponds to the LPDA's radiation pattern maximum aligned along the middle line of corridor 1. Eight different equally spaced  $45^\circ$  azimuthal angles have been used, starting with azimuth zero. As shown in Figure 6, vertical polarisation has been used both at transmission and reception.

### D. Space and time averaging

To decrease the space (multipath) and time (fast fading) effects the received power has been averaged from 9 measurement points. As shown in Figure 7, the measurement points correspond to the centre, corners and mid-side points of a 1 m side square aligned along the corridors' axis. The time difference between consecutive measurements was about 15 seconds.

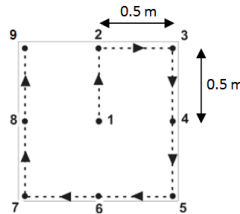


Figure 7. Footprint of the measurement averaging points.

As expected, it can be confirmed in Figures 8 and 9 that the used averaging process provides smoother curves of the received power. Both figures contain results obtained with the TX LPDA aligned with azimuth  $0^\circ$ . Figure 8 corresponds to co-polarised waves, that is, vertical polarisation both at TX and RX, whereas Figure 9 corresponds to cross-polarised waves with horizontal polarization at TX and vertical polarisation at RX.

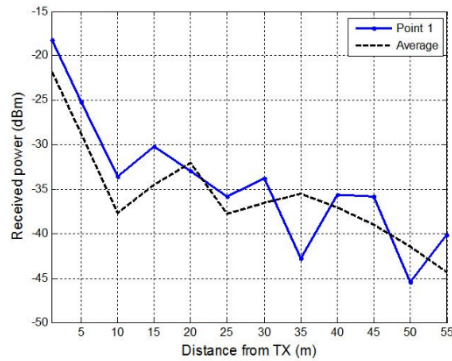


Figure 8. Co-polar single point and 9 points averaged received power along corridor 1.

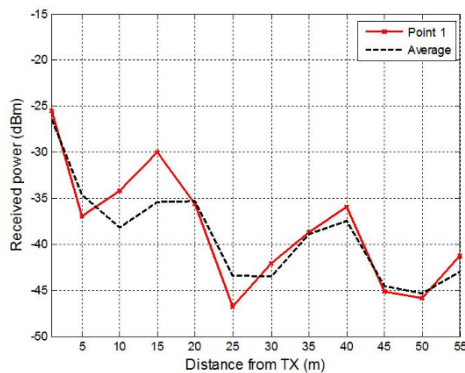


Figure 9. Cross-polar single point and 9 points averaged received power along corridor 1.

Close to the TX terminal, up to approximately 10 m, the co-polarised component is dominant but as the multipath is enhanced the co- and cross-polarised components are quite similar. This clearly confirms the well-known situation verified in indoors scenarios where the polarization of the RX terminal is not an issue.

## 4 | RESULTS

Simulation and experimental results are obtained and presented as a function of the distance along the 3 corridors, for different azimuth alignments of the TX antenna. Two types of simulation results are considered for the NLOS corridors 2 and 3 corresponding to the real transmitter characteristics and to the virtual transmitter ones. For the sake of comparison, simple theoretical results, obtained with the Friis transmission equation, for the direct ray, are also included.

Both non-normalised and normalised received power results are presented. The normalised results allow a clearer interpretation of the pathloss behaviour. As there is no meaningful polarisation discrimination, only vertical polarisation results are shown.

## A. Normalised results

To put in evidence the pathloss behaviour with distance, the theoretical results (simulation and Friis equation) have been normalised so as to match the experimental results for distance equal to 1 m. Again, only vertical polarisation is used both at TX and RX.

Figures 10, 11 and 12 contain the relative received power along corridor 1, 2 and 3, respectively. For each corridor, the TX LPDA is aligned along 8 different azimuthal angles, starting at azimuth  $0^\circ$  and with  $45^\circ$  intervals.

As it can be seen in Figure 10, except when the LPDA is aligned along the azimuthal angle  $270^\circ$  there is a good agreement between simulation and experimental results. The azimuth  $270^\circ$  is very specific because, as it can be seen in Figure 2a, for that orientation of the LPDA there is almost a null of the radiation pattern along the corridor axis, that is, there is (almost) no direct ray. Concerning the curves obtained with the Friis equation, and as already discussed above, the direct ray only does not model adequately the rich multipath environment.

Figures 11 and 12 contain the results obtained for corridors 2 and 3, where there is a NLOS condition. The propagation phenomena occurring in these two corridors, that is transmission, diffraction and reflection are much more complex than in corridor 1 where only a direct ray and reflections at the walls, floor and ceiling exist. As it can be verified, the results obtained for the two corridors are quite similar. Moreover, for corridor 2, the simulation results obtained using the “virtual transmitter” approximation follow much more closely the experimental results than the results obtained directly from the simulator. For corridor 3 the situation is the same except for the LPDA aligned along the azimuthal angles  $180^\circ$  and  $225^\circ$  where the agreement between the results obtained directly from the simulator and the experimental results is slightly better.

Except for a few points, the relative difference between the “virtual transmitter” approximation and experimental results is about 2-3 dB. It can therefore be concluded that, for the specific indoor scenarios considered in this paper, the use of the “virtual transmitter” approximation provides an improvement of the pathloss prediction model.

It seems reasonable to expect that the proposed “virtual transmitter” approximation can be used in more than one step procedure. For instance, the coverage inside a room that exists along corridor 2 (or 3) could be obtained using a second “virtual transmitter” located at the entrance door of that room.



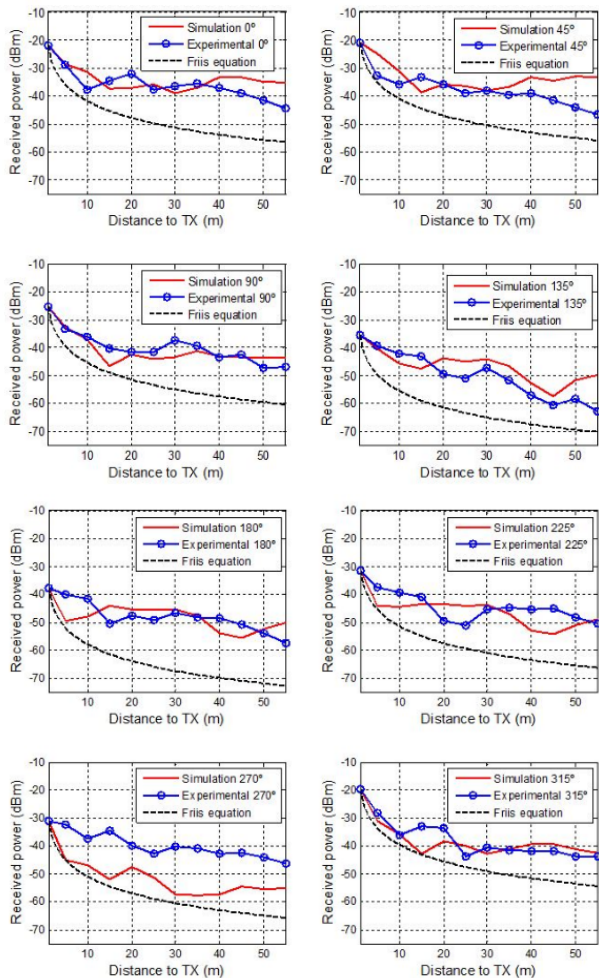


Figure 10. Relative received power along corridor 1 (LOS).

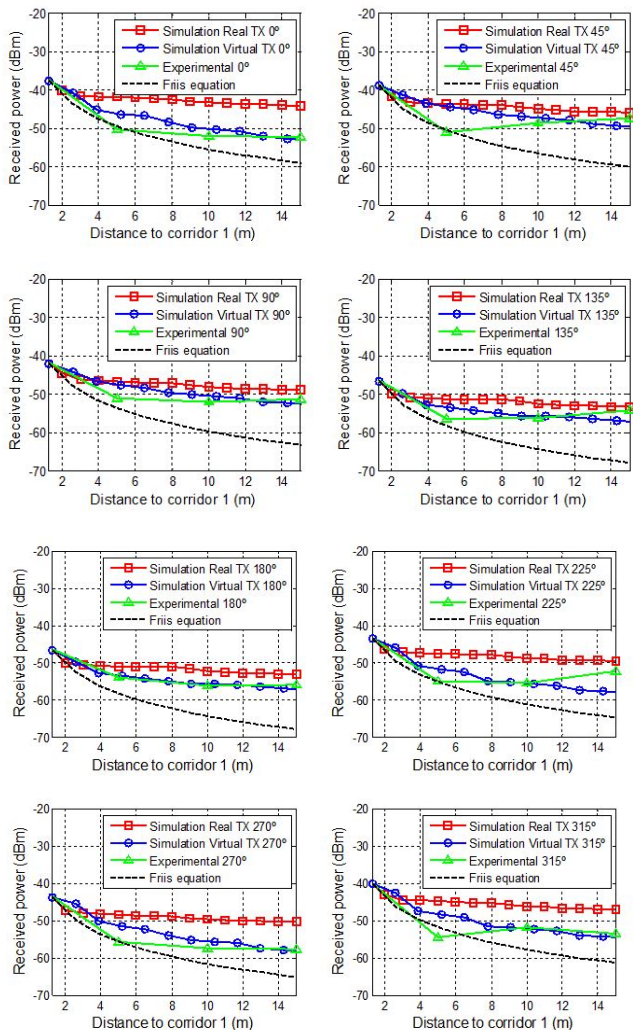


Figure 11. Relative received power along corridor 2 (NLOS).

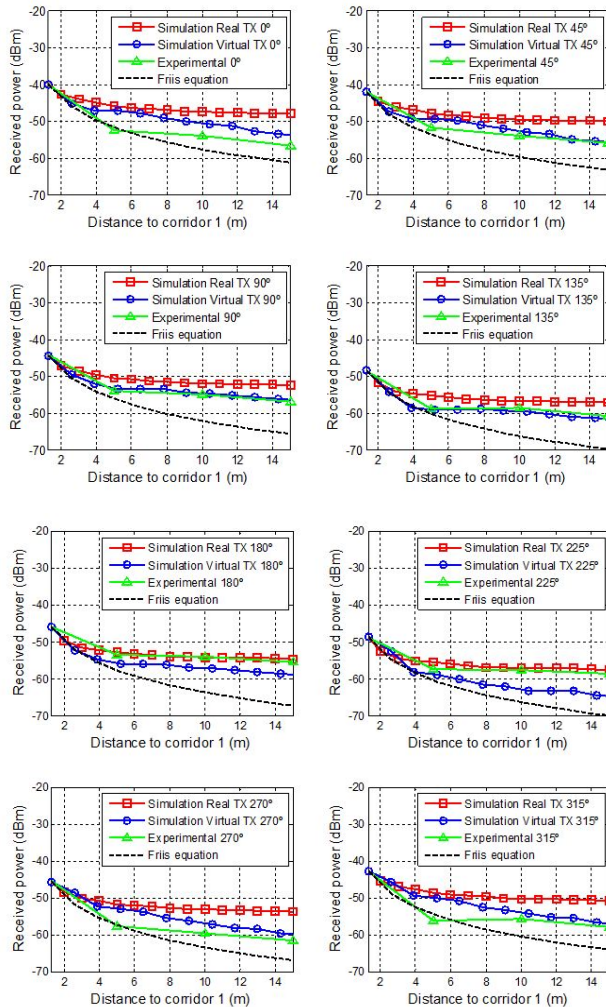


Figure 12. Relative received power along corridor 3 (NLOS).

## 5 I CONCLUSION

The wireless coverage characterisation of an indoor scenario in the 700 MHz frequency band has been presented. This is a very important topic because a worldwide exponential increase in indoor mobile traffic is expected in the coming years and, together with the specific frequency band, is particularly relevant for Brazil where the 700 MHz band has been allocated for 4G LTE mobile communication services.

The effects of the use of a non-omnidirectional (directive) transmit antenna, which is a more effective way to spatially distribute the radiated power, are taken into account. This directive antenna will change the amplitude of the several reflected rays leading to a distinctive multipath behaviour. A specific indoor scenario composed of a one floor school

building with long perpendicular corridors with LOS and NLOS conditions is analysed.

The commercial software package WinProp<sup>®</sup>, based on the ray tracing method, is used in the simulations. For NLOS situations a virtual transmitter approximation is proposed. It consists in using an omnidirectional repeater located at the entrance of the NLOS area to calculate the received power in that area.

An extensive measurement campaign has been carried out at 730 MHz, using a home designed setup, built with commercially available and home-made equipment. The received power has been measured along the 3 corridors, with LOS and NLOS conditions. Both single point and space and time averaged results have been obtained.

A reasonable agreement has been obtained between simulation and experimental results of the received power along the main corridor 1, where a LOS situation exists. Concerning the transversal corridors 2 and 3, where a NLOS is verified, the proposed virtual transmitter approximation leads to an improved agreement between simulation and experimental results. For most of the measurement points the difference between the relative (normalised) received power is less than about 2-3 dB. This good agreement has validated the proposed simplified model.

This proposed virtual transmitter approximation can be used with any software package and, as it simplifies the coverage prediction in NLOS areas, it provides a significant reduction in processing time.

## REFERENCES

- [1] **Ericsson mobility report**. February 2016.
- [2] **Population facts**. United Nations, No. 2014/3, August 2014.
- [3] **World population prospects**. Key findings & advance tables. United Nations. 2015 revision.
- [4] **“Scenarios and requirements for small cell enhancements for E-UTRA and E-UTRAN”**, Tech. Rep. 3GPP 36.932, (V 13.0.0), January 2016.
- [5] T. Nakamura, S. Nagata, A. Benjebbour, and Y. Kishiyama, **“Trends in small cell enhancements in LTE advanced”**, IEEE Communications Magazine, vol. 51, no. 2, pp. 98-105, February 2013.
- [6] **“Study on 3D channel model for LTE”**, Tech. Rep. 3GPP 36.873, (V 12.2.0), June 2015.
- [7] T. K. Sarkar, Z. Ji, K. Kim, A. Medouri, and M. Salazar-Palma, **“A Survey of Various Propagation Models for Mobile Communication”**, IEEE Antennas and Propagation Magazine, vol. 45, no. 3, pp. 51-82, June 2003.
- [8] W. F. Young, C. L. Holloway, G. Koepke, D. Camell, Y. Becquel, and K. A. Remley, **“Radio-wave propagation into large building structures – part 1: CW signal attenuation and variability”**, IEEE Transactions on Antennas and Propagation, vol. 58, no. 4, pp. 1279-1289, April 2010.

- [9] K. A. Remley, G. Koepke, C. L. Holloway, C. A. Grosvenor, D. Camell, J. Ladbury, R. T. Johnk, and W. F. Young, “**Radio-wave propagation into large building structures – part 2: Characterization of multipath**”, *IEEE Transactions on Antennas and Propagation*, vol. 58, no. 4, pp. 1290-1300, April 2010.
- [10] C. Gentile, N. Golmie, K. A. Remley, C. L. Holloway, and W. F. Young, “**A channel propagation model for the 700 MHz band**”, *Proc. IEEE Int. Conf. on Communications*, Cape Town, South Africa, pp. 23-27, May 2010.
- [11] D. W. Matolak, K. A. Remley, C. Gentile, C. L. Holloway, Q. Wu, and Q. Zhang, “**Peer-to-peer urban channel characteristics for two public-safety frequency bands**”, *IEEE Antennas and Propagation Magazine*, vol. 56, no. 5, pp. 101-115, October 2014.
- [12] D. W. Matolak, K. A. Remley, C. Holloway, and C. Gentile, “**Outdoor-to-indoor channel dispersion and power-delay profile models for the 700-MHz and 4.9-GHz bands**”, *IEEE Antennas and Wireless Propagation Letters*, vol. 15, pp. 441-443, 2016.
- [13] N. A. Lemos, “**Characterization of indoor propagation coverage in the 700 MHz band**”, in Portuguese, MSc thesis, Federal Institute of Paraíba, João Pessoa, Brazil, 2015.
- [14] M. C. L. M. Frazão, “**Characterization of indoor propagation coverage in the 700 MHz band, taking into account antenna polarization and non-omnidirectionality**”, in Portuguese, MSc thesis, Federal Institute of Paraíba, João Pessoa, Brazil, 2015.
- [15] Brazil National Telecommunications Agency (ANATEL), **Resolution no. 625**, 11th November 2013, published (in Portuguese) in *Diário Oficial da União*, 2014.
- [16] \_\_\_\_\_. **3148B Log-Periodic Dipole Array**. Available in: <<http://www.ets-lindgren.com/products/antennas/log-periodic-dipole-array/4017/401704>>.
- [17] AWE Communications. **Wave Propagation and Radio Network Planning**. Available in: <<http://www.awe-communications.com/>>.
- [18] S. Y. Seidel and T. S. Rappaport, “**Site-specific propagation prediction for wireless in building personal communication system design**”, *IEEE Transactions on Vehicular Technology*, vol. 43, no. 4, pp. 879–891, November 1994.
- [19] Z. Ji, B-H. Li, et. al., “**Efficient ray-tracing methods for propagation prediction for indoor wireless communications**”, *IEEE Antennas and Propagation Magazine*, Vol. 43, no. 2, pp. 41-49, April 2001.
- [20] J. Oh, M. Thiel, and K. Sarabandi, “**Wave-Propagation Management in Indoor Environments Using Micro-Radio-Repeater Systems**”, *IEEE Antennas and Propagation Magazine*, Vol. 56, no. 2, pp. 76–88, April 2014.
- [21] J-H. Jung, et. al., “**Ray-Tracing-Aided Modeling of User-Shadowing Effects in Indoor Wireless Channels**”, *IEEE Transactions on Antennas and Propagation*, Vol. 62, no. 6, pp. 3412-3416, June 2014.

## ÍNDICE REMISSIVO

### A

Algoritmo genético 152, 155, 156

Amido 117, 118, 119, 120, 121, 123, 124, 125, 126, 127

Análise de incerteza 161

Anelamento 117, 119, 120, 125

Assinatura espectral 94

Avaliação de modelo 161

### B

Bacia do Rio São Francisco 57, 58, 61, 63

Biodiesel 43, 44, 45, 46, 47, 50, 51, 52, 53, 54, 55, 56

### C

Cell planning 128

Celulose recalcitrante 112, 113, 114, 115

Circuito de Chua 79, 81, 84, 87, 88, 89, 91, 92

Classificação dos solos 94

### D

Design e sustentabilidade 101, 107

### E

Economia circular 101, 102, 103, 104, 107

Engenharia de agrimensura e cartográfica 66, 68, 69, 77, 78

Esmeraldas 20, 21, 42

Esterificação 43, 45, 46, 47, 48, 49, 52, 119

### G

Geossistema 1, 2, 3, 5, 6

### I

IMC 143, 145, 146, 147, 148, 149, 150

Inclusões 20, 23, 26, 27, 28, 29, 30, 31, 32, 33, 34, 35, 36, 37, 38, 39, 40, 41, 42

Indoor environments 128, 142

Influências 7, 8, 10, 12, 13

## **L**

Licenciatura em química 15, 16, 17, 19

## **M**

Manobras orbitais 152

Mapeamento digital 94

Matriz curricular 15, 16, 17

Modelagem matemática 112

Mudança climática 161, 162

Multidisciplinariedade 1

## **N**

Nióbio 43, 47, 48, 49, 50, 51, 53, 54, 55

## **O**

Otimização 152, 159

## **P**

Paisagem 1, 2, 3, 4, 5, 6, 100

Palha de cana-de-açúcar 112, 113, 114, 116

Pêndulo duplo 79, 81, 84, 85, 87, 91

Perdas de água 57, 58, 60, 61, 63, 64

Pesquisa e metodologia do design 101

Pindobaçu 20, 21, 22, 23, 28, 41

Políticas públicas 57, 58, 63, 64, 143, 144, 150

Preservação 11, 57, 62, 63, 103

Pré-tratamento hidrotérmico 112, 113, 114, 116

Projeção climática 161

Propagation measurements 128

Propagation models 128, 129, 141

Propriedades físicas 27, 117

## **Q**

Qualidade de vida 143, 144, 146, 150, 151

Química inorgânica 15, 16, 17, 18

## **R**

Ray tracing method 128, 133, 141

Reaproveitamento de resíduos 101

## **S**

Saúde 7, 8, 10, 11, 13, 143, 144, 145, 146, 148, 149, 150, 151

Saúde e meio ambiente 7, 8, 10, 13

Sensor Aisafenix 94

Sistemas caóticos 79, 80, 81, 83

Sistemas não-lineares 79, 81, 92

Soja transgênica 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14

Swing by 152, 153, 154, 155, 156, 159


## **T**





Terras raras 43, 47, 51, 52, 53, 54

Têxteis 101, 102, 104, 105, 106, 107, 108, 110

Transesterificação 43, 45, 46, 47, 48, 49, 50, 51, 52, 54





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

# Ciências Exatas e da Terra: Conhecimentos Estratégicos para o Desenvolvimento do País 2



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

# Ciências Exatas e da Terra: Conhecimentos Estratégicos para o Desenvolvimento do País 2