

A close-up photograph of a hand holding a grey probe, testing a component on a printed circuit board (PCB). The background is blurred, showing other electronic components and a glowing light source. The image is overlaid with a brown, textured diagonal band that contains the text.

Lilian Coelho de Freitas
(Organizadora)

**Engenharia Elétrica
e de Computação:
Atividades Relacionadas com
o Setor Científico e Tecnológico**
4

A black and white photograph showing a hand holding a probe, testing a component on a printed circuit board (PCB). The background is blurred, showing other components and lights on the board. The image is split diagonally by a dark, textured band.

Lilian Coelho de Freitas
(Organizadora)

**Engenharia Elétrica
e de Computação:
Atividades Relacionadas com
o Setor Científico e Tecnológico**
4

Editora Chefe

Profª Drª Antonella Carvalho de Oliveira

Assistentes Editoriais

Natalia Oliveira

Bruno Oliveira

Flávia Roberta Barão

Bibliotecário

Maurício Amormino Júnior

Projeto Gráfico e Diagramação

Natália Sandrini de Azevedo

Camila Alves de Cremona

Karine de Lima Wisniewski

Luiza Alves Batista

Maria Alice Pinheiro

Imagens da Capa

Shutterstock

Edição de Arte

Luiza Alves Batista

Revisão

Os Autores

2020 by Atena Editora

Copyright © Atena Editora

Copyright do Texto © 2020 Os autores

Copyright da Edição © 2020 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.

A Atena Editora não se responsabiliza por eventuais mudanças ocorridas nos endereços convencionais ou eletrônicos citados nesta obra.

Todos os manuscritos foram previamente submetidos à avaliação cega pelos pares, membros do Conselho Editorial desta Editora, tendo sido aprovados para a publicação.

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
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. Eloi Martins Senhora – Universidade Federal de Roraima
Prof. Dr. Gustavo Henrique Cepolini Ferreira – Universidade Estadual de Montes Claros
Profª Drª Ivone Goulart Lopes – Istituto 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
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
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. Urandi João Rodrigues Junior – Universidade Federal do Oeste do Pará
Profª Drª 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
Profª Drª 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
Profª Drª Daiane Garabeli Trojan – Universidade Norte do Paraná
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. 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
Prof^ª Dr^ª Anelise Levay Murari – Universidade Federal de Pelotas
Prof. Dr. Benedito Rodrigues da Silva Neto – Universidade Federal de Goiás
Prof^ª Dr^ª 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^ª Dr^ª Eleuza Rodrigues Machado – Faculdade Anhanguera de Brasília
Prof^ª Dr^ª Elane Schwinden Prudêncio – Universidade Federal de Santa Catarina
Prof^ª Dr^ª Eysler Gonçalves Maia Brasil – Universidade da Integração Internacional da Lusofonia Afro-Brasileira
Prof. Dr. Ferlando Lima Santos – Universidade Federal do Recôncavo da Bahia
Prof^ª Dr^ª 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^ª Dr^ª 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^ª Dr^ª Magnólia de Araújo Campos – Universidade Federal de Campina Grande
Prof. Dr. Marcus Fernando da Silva Praxedes – Universidade Federal do Recôncavo da Bahia
Prof^ª Dr^ª Maria Tatiane Gonçalves Sá – Universidade do Estado do Pará
Prof^ª Dr^ª Mylena Andréa Oliveira Torres – Universidade Ceuma
Prof^ª Dr^ª 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^ª Dr^ª Regiane Luz Carvalho – Centro Universitário das Faculdades Associadas de Ensino
Prof^ª Dr^ª Renata Mendes de Freitas – Universidade Federal de Juiz de Fora
Prof^ª Dr^ª Vanessa Lima Gonçalves – Universidade Estadual de Ponta Grossa
Prof^ª Dr^ª 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. Alexandre Leite dos Santos Silva – Universidade Federal do Piauí
Prof. Dr. Carlos Eduardo Sanches de Andrade – Universidade Federal de Goiás
Prof^ª Dr^ª Carmen Lúcia Voigt – Universidade Norte do Paraná
Prof. Dr. Douglas Gonçalves da Silva – Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia
Prof. Dr. Eloi Rufato Junior – Universidade Tecnológica Federal do Paraná
Prof^ª Dr^ª Érica de Melo Azevedo – Instituto Federal do Rio de Janeiro
Prof. Dr. Fabrício Menezes Ramos – Instituto Federal do Pará
Prof^ª 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
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. 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
Prof. Dr. Fabiano Tadeu Grazioli – Universidade Regional Integrada do Alto Uruguai e das Missões
Prof. Dr. Gilmei Fleck – Universidade Estadual do Oeste do Paraná
Profª Drª Keyla Christina Almeida Portela – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Paraná
Profª Drª Miranilde Oliveira Neves – Instituto de Educação, Ciência e Tecnologia do Pará
Profª Drª Sandra Regina Gardacho Pietrobon – Universidade Estadual do Centro-Oeste
Profª Drª Sheila Marta Carregosa Rocha – Universidade do Estado da Bahia

Conselho Técnico Científico

Prof. Me. Abrãao Carvalho Nogueira – Universidade Federal do Espírito Santo
Prof. Me. Adalberto Zorzo – Centro Estadual de Educação Tecnológica Paula Souza
Prof. Me. Adalto Moreira Braz – Universidade Federal de Goiás
Prof. Dr. Adailson Wagner Sousa de Vasconcelos – Ordem dos Advogados do Brasil/Seccional Paraíba
Prof. Dr. Adilson Tadeu Basquerote Silva – Universidade para o Desenvolvimento do Alto Vale do Itajaí
Prof. Me. Alexsandro Teixeira Ribeiro – Centro Universitário Internacional
Prof. Me. André Flávio Gonçalves Silva – Universidade Federal do Maranhão
Profª Ma. Andréa Cristina Marques de Araújo – Universidade Fernando Pessoa
Profª Drª Andreza Lopes – Instituto de Pesquisa e Desenvolvimento Acadêmico
Profª Drª Andrezza Miguel da Silva – Faculdade da Amazônia
Profª Ma. Anelisa Mota Gregoleti – Universidade Estadual de Maringá
Profª Ma. Anne Karynne da Silva Barbosa – Universidade Federal do Maranhão
Prof. Dr. Antonio Hot Pereira de Faria – Polícia Militar de Minas Gerais
Prof. Me. Armando Dias Duarte – Universidade Federal de Pernambuco
Profª Ma. Bianca Camargo Martins – UniCesumar
Profª Ma. Carolina Shimomura Nanya – Universidade Federal de São Carlos
Prof. Me. Carlos Antônio dos Santos – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro
Prof. 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
Profª Ma. Fabiana Coelho Couto Rocha Corrêa – Centro Universitário Estácio Juiz de Fora
Prof. Dr. Fabiano Lemos Pereira – Prefeitura Municipal de Macaé
Prof. Me. Felipe da Costa Negrão – Universidade Federal do Amazonas
Profª Drª Germana Ponce de Leon Ramírez – Centro Universitário Adventista de São Paulo
Prof. Me. Gevair Campos – Instituto Mineiro de Agropecuária
Prof. Me. Givanildo de Oliveira Santos – Secretaria da Educação de Goiás
Prof. Dr. Guilherme Renato Gomes – Universidade Norte do Paraná
Prof. Me. Gustavo Krahl – Universidade do Oeste de Santa Catarina
Prof. Me. Helton Rangel Coutinho Junior – Tribunal de Justiça do Estado do Rio de Janeiro
Profª Ma. Isabelle Cerqueira Sousa – Universidade de Fortaleza
Profª Ma. Jaqueline Oliveira Rezende – Universidade Federal de Uberlândia
Prof. Me. Javier Antonio Albornoz – University of Miami and Miami Dade College
Prof. Me. Jhonatan da Silva Lima – Universidade Federal do Pará
Prof. Dr. José Carlos da Silva Mendes – Instituto de Psicologia Cognitiva, Desenvolvimento Humano e Social
Prof. Me. Jose Elyton Batista dos Santos – Universidade Federal de Sergipe
Prof. Me. José Luiz Leonardo de Araujo Pimenta – Instituto Nacional de Investigación Agropecuaria Uruguay
Prof. Me. José Messias Ribeiro Júnior – Instituto Federal de Educação Tecnológica de Pernambuco
Profª Drª Juliana Santana de Curcio – Universidade Federal de Goiás
Profª Ma. Juliana Thaisa Rodrigues Pacheco – Universidade Estadual de Ponta Grossa
Profª Drª Kamilly Souza do Vale – Núcleo de Pesquisas Fenomenológicas/UFPA
Prof. Dr. Kárpio Márcio de Siqueira – Universidade do Estado da Bahia
Profª Drª Karina de Araújo Dias – Prefeitura Municipal de Florianópolis
Prof. Dr. Lázaro Castro Silva Nascimento – Laboratório de Fenomenologia & Subjetividade/UFPR
Prof. Me. Leonardo Tullio – Universidade Estadual de Ponta Grossa
Profª Ma. Lillian Coelho de Freitas – Instituto Federal do Pará
Profª Ma. Liliani Aparecida Sereno Fontes de Medeiros – Consórcio CEDERJ
Profª Drª Lívia do Carmo Silva – Universidade Federal de Goiás
Prof. Dr. Lucio Marques Vieira Souza – Secretaria de Estado da Educação, do Esporte e da Cultura de Sergipe
Prof. Me. Luis Henrique Almeida Castro – Universidade Federal da Grande Dourados
Prof. Dr. Luan Vinicius Bernardelli – Universidade Estadual do Paraná
Prof. Dr. Michel da Costa – Universidade Metropolitana de Santos
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. Me. Ricardo Sérgio da Silva – Universidade Federal de Pernambuco

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

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

Editora Chefe: Profª Drª Antonella Carvalho de Oliveira
Bibliotecário Maurício Amormino Júnior
Diagramação: Camila Alves de Cremo
Correção: Vanessa Mottin de Oliveira Batista
Edição de Arte: Luiza Alves Batista
Revisão: Os Autores
Organizadora: Lilian Coelho de Freitas

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)

E57 Engenharia elétrica e de computação: atividades relacionadas com o setor científico e tecnológico 4 / Organizadora Lilian Coelho de Freitas. – Ponta Grossa - PR: Atena, 2020.

Formato: PDF
Requisitos de sistema: Adobe Acrobat Reader
Modo de acesso: World Wide Web
Inclui bibliografia
ISBN 978-65-5706-459-7
DOI 10.22533/at.ed.597200610

1. Engenharia elétrica. 2. Computação. I. Freitas, Lilian Coelho de (Organizadora). II. Título.

CDD 621.3

Elaborado por Bibliotecária Janaina Ramos – CRB-8/9166

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

APRESENTAÇÃO

A Atena Editora apresenta o *e-book* “*Engenharia Elétrica e de Computação: Atividades Relacionadas com o Setor Científico e Tecnológico 3*”. O objetivo desta obra é mostrar aplicações tecnológicas da Engenharia Elétrica e de Computação na resolução de problemas práticos, com o intuito de facilitar a difusão do conhecimento científico produzido em várias instituições de ensino e pesquisa do país.

O *e-book* está organizado em dois volumes que abordam de forma categorizada e interdisciplinar trabalhos, pesquisas e relatos de casos que transitam nos vários caminhos da Engenharia Elétrica e de Computação.

O Volume III tem como foco aplicações e estudos de atividades relacionadas à Computação, abordando temas variados do *hardware* ao *software*, tais como automação e robótica, arquitetura de redes, Internet, computação em névoa, modelagem e simulação de sistemas, entre outros.

O Volume IV concentra atividades relacionadas ao setor elétrico e eletrônico, abordando trabalhos voltados para melhoria de processos, análise de desempenho de sistemas, aplicações na área da saúde, entre outros.

Desse modo, temas diversos e interessantes são apresentados e discutidos, de forma concisa e didática, tendo como base uma teoria bem fundamentada nos resultados práticos obtidos por professores e acadêmicos.

Boa leitura!

Lilian Coelho de Freitas

SUMÁRIO

CAPÍTULO 1..... 1

DESEMPENHO DE ISOLADORES SOB CHUVAS INTENSAS

Darcy Ramalho de Mello

DOI 10.22533/at.ed.5972006101

CAPÍTULO 2..... 15

TRAVESSIA DO RIO AMAZONAS E SUPERAÇÃO DA FLORESTA AMAZÔNICA: PROJETO ESTRUTURAL E DESAFIOS CONSTRUTIVOS

Juliana Nobre de Mello Motta

Roberto Luís Santos Nogueira

Luiz Carlos Mendes

Mariana Souza Rechtman

Renata Cristina Jacob de Jesus

DOI 10.22533/at.ed.5972006102

CAPÍTULO 3..... 27

PIRTUC: 15 ANOS DEPOIS - AVALIAÇÃO DAS AÇÕES DE INSERÇÃO REGIONAL DA UHE TUCURUÍ

Sílvia Maria Frattini Gonçalves Ramos

Rosana dos Santos Brandão

DOI 10.22533/at.ed.5972006103

CAPÍTULO 4..... 41

PLANO DE CORTE MANUAL DE CARGA

Anderson Siqueira Nogueira

Rodrigo Damasceno Souza

Marcelo de Calazans Barcelos

Suellen Karine Braga Vieira

Walmir de Oliveira Campos

DOI 10.22533/at.ed.5972006104

CAPÍTULO 5..... 53

PROCEL RELUZ – ILUMINAÇÃO PÚBLICA E SINALIZAÇÃO SEMAFÓRICA EFICIENTES

Adjeferson Custódio Gomes

Adi Neves Rocha

Fabiano Rodrigues Soriano

Luís Ricardo Cândido Cortes

Taís Mirele Fernandes da Silva

Thiago Luís Campos Rodrigues

DOI 10.22533/at.ed.5972006105

CAPÍTULO 6..... 66

PRODUÇÃO EFICIENTE DE ENERGIA ELÉTRICA UTILIZANDO PAINÉIS FOTOVOLTAICOS COM CUSTO OPERACIONAL REDUZIDO

Igor Ferreira do Prado

Taís Mirele Fernandes da Silva
Marcelo Bento Pisani
Rodrigo Dórea da Silva
DOI 10.22533/at.ed.5972006106

CAPÍTULO 7..... 77

PROGRAMA BRASILEIRO DE ETIQUETAGEM: BREVE PANORAMA

Adjeferson Custódio Gomes
Fabiano Rodrigues Soriano
Fábio Alexandre Martins Monteiro
Luís Ricardo Cândido Cortes
Victor Santos Matos
Vinícius de Souza Andrade Wanderley

DOI 10.22533/at.ed.5972006107

CAPÍTULO 8..... 88

REPRESENTAÇÃO DE MODELOS RACIONAIS NO PROGRAMA ATP

Sergio Luis Varricchio

DOI 10.22533/at.ed.5972006108

CAPÍTULO 9..... 100

**UMA PROPOSTA PARA A IDENTIFICAÇÃO DA ORIGEM DOS FENÔMENOS
VTCDS EM INSTALAÇÕES CONSUMIDORAS SUPRIDAS POR
TRANSFORMADORES DELTA-ESTRELA ATERRADA**

Adrian Ribeiro Ferreira
José Carlos de Oliveira
Paulo Henrique Oliveira Rezende

DOI 10.22533/at.ed.5972006109

CAPÍTULO 10..... 113

**ANÁLISE DO POTENCIAL DE GERAÇÃO FOTOVOLTAICA NO ESTADO DA
BAHIA**

Adjeferson Custódio Gomes
Fabiano Rodrigues Soriano
Giovanna Buscatti Gonçalves
Luís Ricardo Cândido Cortes
Victor Santos Matos
Vinícius de Souza Andrade Wanderley

DOI 10.22533/at.ed.59720061010

CAPÍTULO 11..... 129

**ANÁLISE DA INTEGRAÇÃO HIDRO-SOLAR AUXILIADO POR UM SISTEMA DE
ARMAZENAMENTO DE ENERGIA NA FORMA DE HIDROGÊNIO JUNTO À USINA
HIDROELÉTRICA DE MANSO**

Juarez Corrêa Furtado Júnior
Ennio Peres da Silva
Vitor Feitosa Riedel
Demóstenes Barbosa da Silva

Diogo Oliveira Barbosa da Silva
Ana Beatriz Barros Souza
Hélio Nunes de Souza Filho

DOI 10.22533/at.ed.59720061011

CAPÍTULO 12..... 146

ANÁLISE DE METODOLOGIAS PARA DETECÇÃO DE PERDA DE EXCITAÇÃO EM GERADORES SÍNCRONOS

Mateus Camargo Franco
Eduardo Machado dos Santos
Alex Itczak
Arian Rodrigues Fagundes
Artur Henrique Rodrigues

DOI 10.22533/at.ed.59720061012

CAPÍTULO 13..... 160

DESENVOLVIMENTO DE FUNCIONALIDADES COMPUTACIONAIS PARA ATENDIMENTO DOS NOVOS PROCEDIMENTOS DE REDE PARA ESTUDOS DE DESEMPENHO HARMÔNICO

Cristiano de Oliveira Costa
Sergio Luis Varricchio
Franklin Clement Véliz
Fabiano Andrade Oliveira

DOI 10.22533/at.ed.59720061013

CAPÍTULO 14..... 174

EXTRAÇÃO DE PARÂMETROS DE MÁQUINAS SÍNCRONAS POR MEIO DE SIMULAÇÃO COMPUTACIONAL DE ENSAIO DE CURTO-CIRCUITO

Guilherme Gomes dos Santos
Paulo Sérgio Zanin Júnior

DOI 10.22533/at.ed.59720061014

CAPÍTULO 15..... 188

APRENDIZADO AUTODIDATA DA LÍNGUA INGLESA

Lucas Eid Ramire Gonçalves
Luiz Eduardo Vieira Montanha
Marco Antonio Nagao

DOI 10.22533/at.ed.59720061015

CAPÍTULO 16..... 193

MODELAGEM DE PROCESSOS: UMA PROPOSTA DE MELHORIA PARA A ATUAÇÃO DAS EQUIPES DE SAÚDE DA ATENÇÃO BÁSICA

Ana Carla do Nascimento Santos
Jislane Silva Santos de Menezes
Almerindo Nascimento Rehem Neto
Adriana de Melo Fontes
Gilson Pereira dos Santos Júnior
Jean Louis Silva Santos

Cristiane Oliveira de Santana

DOI 10.22533/at.ed.59720061016

SOBRE A ORGANIZADORA.....	206
ÍNDICE REMISSIVO.....	207

DESENVOLVIMENTO DE FUNCIONALIDADES COMPUTACIONAIS PARA ATENDIMENTO DOS NOVOS PROCEDIMENTOS DE REDE PARA ESTUDOS DE DESEMPENHO HARMÔNICO

Data de aceite: 01/10/2020

Data de submissão: 08/07/2020

Cristiano de Oliveira Costa

Centro de Pesquisas de Energia Elétrica –
CEPEL
Rio de Janeiro – RJ
<http://lattes.cnpq.br/5094272372321272>

Sergio Luis Varricchio

Centro de Pesquisas de Energia Elétrica –
CEPEL
Rio de Janeiro – RJ
<http://lattes.cnpq.br/5825024551486331>

Franklin Clement Véliz

Centro de Pesquisas de Energia Elétrica –
CEPEL
Rio de Janeiro – RJ
<http://lattes.cnpq.br/4574335818761705>

Fabiano Andrade Oliveira

Operador Nacional do Sistema – ONS
Rio de Janeiro – RJ
<http://lattes.cnpq.br/6090559738172527>

Trabalho originalmente publicado no XXIV SNPTEE - Seminário Nacional de Produção e Transmissão de Energia Elétrica, promovido pelo Comitê Nacional Brasileiro de Produção e Transmissão de Energia Elétrica (CIGRE-Brasil).

RESUMO: Neste trabalho é apresentado o desenvolvimento no programa HarmZs do CEPEL de uma interface gráfica extremamente

amigável e flexível, onde é possível a realização dos estudos de acesso de novas instalações à Rede Básica, considerando simultaneamente lugares geométricos (LGs) de admitâncias na forma de setores angulares e de polígonos de n lados, determinados e traçados de acordo com as particularidades de cada um descritas nos Procedimentos de Rede (PR). A flexibilidade da ferramenta, sua facilidade de utilização e velocidade de processamento tornam possíveis análises de sensibilidades mais rigorosas e detalhadas em relação a parâmetros como intervalo harmônico e passo de frequência, utilizados na construção dos LGs. Assim, os usuários e o próprio ONS podem utilizar o programa como ferramenta de aprimoramento dos PR atuais, uma vez que estes tendem a ser dinâmicos de acordo com a evolução do sistema. Além da interface gráfica desenvolvida, serão apresentadas também, de forma didática, suas facilidades através de exemplos de traçados de setores e polígonos utilizando um caso real.

PALAVRAS-CHAVE: Harmônicos, Procedimentos de Redes, HarmZs, Lugares Geométricos, Interface Gráfica.

DEVELOPMENT OF COMPUTATIONAL FEATURES TO MEET THE NEW BRAZILIAN GRID CODE PROCEDURES FOR HARMONIC PERFORMANCE STUDIES

ABSTRACT: This work presents the development in the CEPEL's HarmZs program, a production grade software, of an extremely friendly and flexible graphical interface, where it is possible to carry out harmonic impact studies of new

customer connections to the Brazilian Transmission Grid (BTG), simultaneously considering geometric loci (GL) of admittances in the form of angular sectors and polygons of n sides, determined and plotted according to the peculiarities of each one described in the Brazilian Grid Code Procedures (BGCPs). The tool flexibility, its ease of use and computational speed make possible more rigorous and detailed sensitivity analyzes with respect to parameters such as harmonic interval and frequency step, used in the construction of GL. Thus, users and the Independent System Operator (ISO) itself can use the HarmZs program as a tool to improve the current BGCPs, since they need to be dynamic to follow the electrical system evolution. The graphical interface features will be presented in a didactic way through examples of sector and polygons plots using a real case study.

KEYWORDS: Harmonics, Brazilian Grid Code Procedures, HarmZs program, geometric loci, graphical interface.

1 | INTRODUÇÃO

O Operador Nacional do Sistema Elétrico - ONS, com o intuito de atender às necessidades de melhoria do processo de gerenciamento da emissão de harmônicos, criou uma nota técnica [1] em complemento aos PR – submódulo 2.8 relativo à qualidade de energia elétrica. Esse novo documento procura flexibilizar os PR de forma a atender às constantes reivindicações dos agentes no sentido de tornar a forma de avaliação dos estudos de desempenho harmônico menos conservadora e mais alinhada às normas internacionais de grande relevância técnica.

Dentre as implementações inseridas no novo documento, destaca-se a possibilidade de se utilizar, além dos setores angulares, polígonos de n lados [2] para a representação dos Lugares Geométricos (LGs) de admitâncias do Sistema Interligado Nacional (SIN).

Deve-se observar que os intervalos harmônicos e os passos de frequência sugeridos neste novo documento, que serão utilizados para a determinação e traçado de cada tipo de LG (setor angular ou polígono de n lados), necessários para o cálculo das máximas distorções harmônicas de tensão, são diferentes entre si.

Desta forma, para que o programa HarmZs do CEPEL [3], que é indicado pelo ONS como ferramenta de execução dos estudos de comportamento harmônico, pudesse continuar atendendo plenamente as necessidades dos agentes na realização destes estudos de acesso, a metodologia descrita em [2], para determinação e traçado destes polígonos, foi implementada na versão 3.0 do programa.

Além da implementação do método do polígono de n lados, foi desenvolvida uma interface gráfica extremamente amigável e flexível, onde é possível a realização dos estudos considerando simultaneamente LGs de setores angulares e de polígonos de n lados, determinados e traçados de acordo com as particularidades de cada um

descritas nos PR. Desta forma, o usuário poderá optar pelo LG que lhe for mais conveniente em relação à necessidade de se adotar medidas mitigadoras como a utilização de filtros passivos, sem praticamente nenhum esforço adicional. Por meio desta interface, é possível realizar traçados de LGs de todas as frequências desejadas de uma só vez e de forma bastante automatizada. As grandezas que definem os LGs (módulos e ângulos de admitâncias mínimos e máximos para os setores angulares, e vértices de admitâncias para os polígonos de n lados), bem como as contingências que as geraram, são também apresentadas na interface.

Outra facilidade importante desta interface é a apresentação de todos os resultados de forma tabular, destacando-se na cor vermelha todas as distorções harmônicas individuais (DHI) e totais (DHT) que ultrapassaram os limites adotados nos PR. É também possível exportar todos os resultados obtidos para o Excel para que os usuários possam fazer comparações mais detalhadas e preparar relatórios de forma fácil e rápida.

Neste trabalho, além da interface gráfica desenvolvida, serão apresentadas também, de forma didática, suas facilidades através de exemplos de traçados de setores e polígonos utilizando um caso real.

2 | CONSIDERAÇÕES SOBRE OS PROCEDIMENTOS DE REDE

O método dos lugares geométricos de admitâncias (MLG), adotado nos PR, objetiva determinar majorantes para as distorções harmônicas individuais e total. Portanto, o MLG não pretende obter o valor de uma determinada distorção harmônica para uma determinada topologia de rede, que posteriormente poderia ser verificado por meio de medições, que são fotografias do comportamento harmônico do sistema válidas apenas para os períodos em que foram realizadas estas medições. Neste sentido, são consideradas, para cada harmônico de interesse (do 2° ao 50°), diversas contingências e diversos cenários de carga. Além disto, são consideradas as configurações do Sistema Interligado Nacional (SIN) para o ano de entrada em operação da nova instalação e mais 2 anos à frente. Além das admitâncias geradas por estas diversas topologias, são consideradas também aquelas provenientes de eventuais erros de dados ou de modelos de componentes de rede. Para exemplificar, considere a impedância Z (ou admitância Y) de um circuito RLC paralelo. Obviamente, Z é função de R , L , C e f_h , sendo f_h a frequência harmônica considerada. Note que, neste caso, a maior distorção harmônica de tensão se dá quando $f_h = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}}$ (frequência de ressonância do circuito). Note, também, que considerar uma variação ΔL em L ou uma variação ΔC em C , é equivalente a considerar uma variação Δf_h em f_h . Portanto, para a obtenção destes majorantes, são consideradas diversas variações em f_h . Obviamente, quanto menor o passo Δf_h maiores as chances de

se encontrar a ressonância do circuito RLC em questão. Outro parâmetro que afeta as chances de se encontrar ressonâncias da rede são os valores mínimo e máximo considerados em torno de f_h . Veremos a seguir que para o polígono de n lados, é considerado $f_h - 0,5 f_0$ e $f_h + 0,5 f_0$ com passo $\Delta f_h = 6$ Hz, sendo f_0 a frequência fundamental (60 Hz). No caso do setor anular (ainda aceito nos procedimentos de rede) se considera $f_h - f_0$ e $f_h + f_0$ com passo $\Delta f_h = 60$ Hz (apenas 3 valores de admitância).

Um dos fatores que levam ao conservadorismo do MLG, alegado pelos empreendedores, é que os LGs devem retratar a variação das admitâncias harmônicas do parque (ou qualquer outro tipo de empreendimento) por toda a sua vida útil, estimada em 20 anos. No entanto, por falta de informações sobre as configurações futuras do SIN, apenas 2 anos à frente são considerados. Portanto, tenta-se compensar esta falta de informações utilizando critérios conservadores como, por exemplo, não levando em conta a probabilidade de falta de determinado equipamento e considerando um elevado número de elementos contingenciados. Outro fator é o aumento significativo de harmônicos circulando no SIN, comprovado recentemente pela saída de operação do elo de Ibiúna devido à sobrecarga dos filtros de 3° e 5° harmônicos, onde a corrente gerada pelo elo representava apenas 10% da corrente total dos filtros.

Devido aos fatos acima descritos e que, em menor ou maior grau, a segurança sistêmica do setor elétrico é responsabilidade de todos os agentes, as propostas de mudanças nos PR devem ser feitas baseadas em fortes indícios técnicos. Apesar desta responsabilidade, o aperfeiçoamento contínuo dos PR, tornando-os mais justos e realistas, deve ser objetivo de todos os agentes do setor.

Como explicado anteriormente, os resultados da aplicação dos PR fornecem apenas majorantes para as distorções harmônicas individuais e totais, cujos valores não podem ser verificados por medições. No entanto, a precisão do programa HarmZs pode ser verificada experimentalmente. Esta verificação é importante, pois mostra que os PR utilizam uma ferramenta computacional capaz de representar com aceitável precisão determinadas características das redes elétricas. Em [4] e [5] foram realizadas comparações entre medições e simulações utilizando o programa HarmZs onde pôde-se verificar boa consistência entre os valores comparados. Como exemplo destas comparações, a Figura 1, retirada de [4], cortesia da Eletrobras Eletrosul, apresenta a curva V_{x1} para o 5° harmônico obtido em campanhas de medição na subestação de Livramento 2 230kV, que é o PAC (Ponto de Acoplamento Comum) relativo ao Complexo Eólico de Cerro Chato (propriedade da Eletrobras Eletrosul). Distante aproximadamente 50 km do parque, há a conversora de frequência de Rivera que é despachada ocasionalmente e conseqüentemente é energizada junto com seus filtros, os quais reduzem as distorções no PAC do parque.

De acordo com a BT 468 [6], se os pontos medidos se situarem próximos da reta $|Z_i|$, que representa o módulo da impedância da rede interna do consumidor vista do PAC, então as fontes dominantes de harmônicos, de ordem h , são as existentes no resto do sistema que fluem pelas instalações do consumidor devido à presença de capacitores ou filtros. Por outro lado, se as medições se concentrarem predominantemente próximas da reta $|Z_e|$, que representa a impedância do sistema, então as fontes dominantes, de ordem h , são as fontes existentes no consumidor que fluem pela impedância da rede.

Nesta Figura 1 pode-se reparar a existência de 3 regiões bem distintas na nuvem de pontos V_{xI} . Os pontos da região 1, situados em torno da reta $|Z_i|$, apresentam a condição normal de operação do parque. A região 2 também considera a operação normal do parque eólico, mas com a conversora de Rivera em operação. Os pontos na região 3 ocorrem quando a rede de média tensão do parque e os aerogeradores estão desligados, ficando energizados apenas a LT 230 kV e os transformadores 230/34,5 kV de uso exclusivo dos parques. Note que para cada situação de operação, foi realizada a simulação rede apropriada e calculada a impedância vista da barra do PAC. Os valores simulados são as 3 retas traçadas no gráfico. É fácil observar que os valores de medição tem a tendência de seguir os valores simulados.

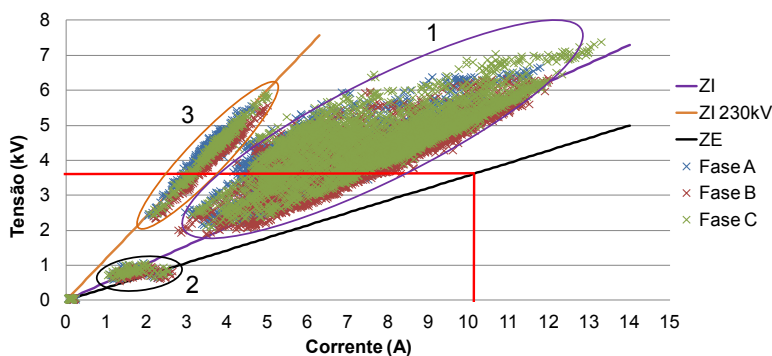


Figura 1 – Curva V_{xI} para o 5º harmônico obtidas para o PAC do Complexo Eólico de Cerro Chato

3 I PRINCIPAIS ALTERAÇÕES NOS PROCEDIMENTOS DE REDE QUE LEVARAM A MUDANÇAS NO PROGRAMA HarmZs

Uma das alterações mais significativas nos PR, descrita em [1] e com implicações no programa HarmZs, foi a possibilidade de representação da rede externa (Rede Básica) por polígonos de “ n ” lados. Esta representação, de acordo com

referências mais recentes [2], [7], se mostrou uma alternativa menos conservadora e aceitável para estudos envolvendo parques eólicos, solares e consumidores livres.

Devido a algumas particularidades do polígono de n lados como, por exemplo, menor conservadorismo na representação da rede externa em relação ao setor angular (circular), o intervalo harmônico e o passo de frequência para o seu traçado foram definidos nos PR de forma distinta aos adotados para o setor angular, objetivando aumentar a margem de segurança desta representação. Desta forma, os limites inferior e superior deste intervalo foram definidos como $(f_{\hat{h}}-0,5 f_0)$ e $(f_{\hat{h}}+0,5 f_0)$, respectivamente. O passo de frequência adotado para o cálculo das impedâncias harmônicas foi $\pm 0,1$ de (ou $\pm 6\text{Hz}$). Esta representação é apresentada na Figura 2.

Cabe lembrar que os limites inferior e superior do intervalo harmônico e o passo de frequência adotados para o traçado dos setores circulares não sofreram alteração nos novos PR, sendo iguais a $(f_{\hat{h}}-f_0)$, $(f_{\hat{h}}+f_0)$ e $\pm f_0$ (ou $\pm 60\text{Hz}$), respectivamente.

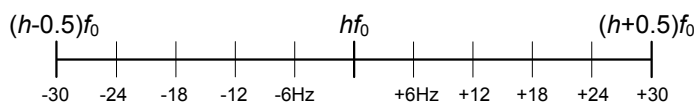


Figura 2 – Intervalo harmônico para traçados de polígonos de admitâncias de “ n ” lados

4 I TRAÇADOS DE LUGARES GEOMÉTRICOS NO PROGRAMA HarmZs

Para a representação dos LGs, sejam eles de impedâncias ou de admitâncias, várias formas geométricas podem ser utilizadas [7]. Tradicionalmente, são escolhidos setores angulares, diagramas de círculo, polígonos, áreas limitadas por retas e arcos de circunferência, etc.

No programa HarmZs, até a versão 2.0.2, era possível traçar diagramas circulares de impedâncias, setores angulares (circulares) de impedâncias e de admitâncias. Podia-se, também, visualizar a nuvem de pontos de impedâncias ou de admitâncias, sendo possível identificar os valores que definiam os limites dos diagramas.

No entanto, todas essas formas geométricas somente podiam ser traçadas utilizando uma interface gráfica onde os LGs eram criados de forma individual, um para cada frequência. Deste modo, o traçado dos LGs para todas as frequências era uma tarefa um tanto quanto trabalhosa considerando-se que, no geral, em estudos de comportamento harmônico, são traçados os LGs para 49 harmônicos (do 2° ao 50°). Essa interface gráfica desenvolvida na versão 2.0.2 do programa HarmZs,

onde ainda não existia a possibilidade de traçado de polígonos, está apresentada na Figura 3.

Cabe lembrar que, embora possa se fazer a representação dos LGs no programa HarmZs por impedâncias ou admitâncias, neste trabalho o foco são os LGs de admitâncias.

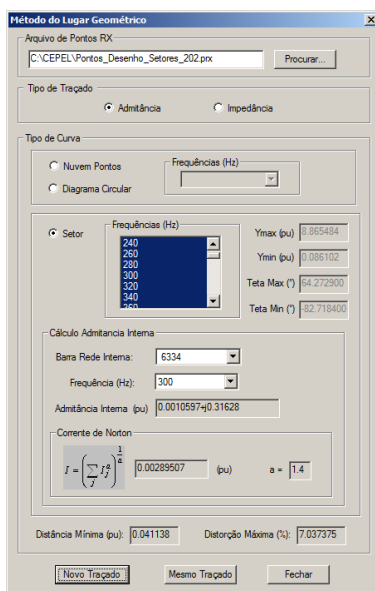


Figura 3 – Interface para traçados de LGs na versão 2.0.2 do programa HarmZs

5 | NOVAS IMPLEMENTAÇÕES NOS TRAÇADOS DE LUGARES GEOMÉTRICOS NO PROGRAMA HarmZs

Para que o programa HarmZs do CEPEL [3], que é indicado pelo ONS como ferramenta de execução dos estudos do comportamento harmônico de novas instalações conectadas à Rede Básica, pudesse continuar atendendo plenamente as necessidades dos agentes na realização destes estudos, a metodologia para determinação e traçado dos polígonos de n lados, adotada nos novos PR [1], foi implementada na versão 3.0 do programa.

A primeira etapa da implementação foi realizada atualizando o diálogo da Figura 3 existente na versão 2.0.2. Neste diálogo foi adicionada a opção de traçado de polígonos de admitâncias, dentre outras opções que serão descritas a seguir. Na Figura 4 é apresentada a interface gráfica atualizada para traçados de LGs. Note que neste diálogo os LGs ainda são traçados de forma individual.

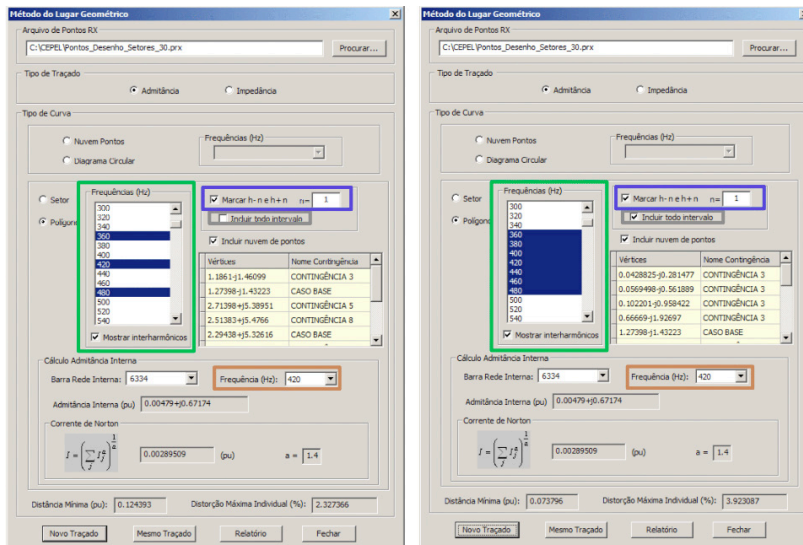


Figura 4 – Nova interface gráfica para traçados de LGs individuais no HarmZs

A seguir será apresentado o procedimento para os traçados dos LGs utilizando-se a nova interface gráfica do programa HarmZs com as implementações criadas para atender os novos PR do ONS. Nas explicações feitas a seguir, os casos utilizados são redes reais referentes a um estudo de comportamento harmônico de um novo acesso a rede básica de uma instalação que possui equipamentos não lineares que injetam harmônicos na rede. A rede interna, representando a instalação que possui conteúdo harmônico, é utilizada no cálculo da corrente de Norton e de sua impedância vista do PAC. A rede externa, que representa as diversas configurações do SIN, é utilizada para calcular as impedâncias harmônicas vistas do PAC que darão origem aos LGs de admitância na forma de setores ou polígonos. A partir destes cálculos envolvendo ambas as redes (interna e externa) são determinadas as máximas distorções harmônicas individuais e total.

A escolha da frequência do LG é feita através da *combobox* “Frequência (Hz)” destacada na cor marrom na Figura 4. Após esta escolha, a frequência selecionada é marcada automaticamente no *frame* “Frequências (Hz)”, destacado na cor verde. As frequências marcadas neste *frame* são as que realmente darão forma ao LG.

Como solicitado pelo ONS nos seus novos PR, é necessária a escolha de um intervalo harmônico para o traçado de setores angulares e de polígonos. Para que os limites deste intervalo sejam escolhidos automaticamente, foi implementada a opção “Marcar h-n e h+n”, evidenciada em tom azul. Note que h representa a ordem da frequência harmônica $f_h = hf_0$ e n o fator multiplicador da ordem da frequência fundamental f_0 (que é igual a 1). Logo $(h-n)$ e $(h+n)$ são equivalentes a $(f_h - nf_0)$ e

$(f_h + n f_0)$ ou a $(h - n) f_0$ e $(h + n) f_0$, respectivamente. Conforme mostrado na Figura 4, é necessário informar o valor do “n”. Dois exemplos de escolha deste valor são informados na Tabela 1. Observa-se que ao ser selecionada esta opção, somente as frequências dos limites inferior $(h - n) f_0$ e superior $(h + n) f_0$, além da frequência $h f_0$, são escolhidas no *frame* “Frequências (Hz)”.

Outra funcionalidade implementada é a opção “Incluir todo intervalo” (destacada na cor cinza) para que todas as frequências existentes entre esses limites sejam selecionadas. Note que, na Figura 4 (a) a opção “Incluir todo intervalo” está desmarcada e somente as frequências 360, 420 e 480 Hz estão selecionadas. Já na Figura 4 (b), a mesma opção está marcada e todo o intervalo, de 360 a 480 Hz, é selecionado.

Cabe lembrar que as frequências apresentadas no *frame* “Frequências (Hz)”, destacado na cor verde, estão de acordo com o passo escolhido no cálculo das impedâncias harmônicas que é feito com a utilização da ferramenta batch [8]. Após a execução dessa ferramenta batch, um arquivo de extensão PRX com os valores das frequências e respectivas impedâncias é criado. Este arquivo PRX é carregado nesta interface gráfica e, a partir da leitura deste arquivo, as frequências harmônicas possíveis são apresentadas na interface gráfica.

De acordo com os novos PR, para o caso do LG escolhido ser o polígono de n lados, o passo de cálculo das impedâncias no batch deve ser de $\pm 0,1$ de f_0 (ou ± 6 Hz). No entanto, como este passo geraria muitas frequências, para que fosse possível visualizar com maior facilidade as seleções nas interfaces gráficas apresentadas neste trabalho, foi escolhido o passo de 20 Hz.

n	$n f_0$ (Hz)	$f_h - n f_0$ (Hz)	$h f_0$ (Hz)	$f_h + n f_0$ (Hz)
0.5 (padrão)	30	390	420	450
1.0 (exemplo)	60	360	420	480

Tabela 1: Valores de h-n e h+n para diferentes valores de n

Note que, para o caso do traçado de polígonos, a opção “Marcar h-n e h+n” deve estar selecionada e o valor do n deve ser igual a 0.5. Como deve ser considerado todo o intervalo entre h-n e h+n, a opção “Incluir todo intervalo” também deverá ser selecionada.

Para o caso de traçado de setores angulares, a opção “Marcar h-n e h+n” deve estar selecionada com o valor do n igual a 1. Como só devem ser consideradas as frequências limites e não todo intervalo, a opção “Incluir todo intervalo” não deve ser selecionada.

É importante observar que no momento de se calcular as impedâncias utilizando a ferramenta batch, deve ser utilizado o passo de frequências igual a 6 Hz, que é o passo necessário para representar os LGs por polígonos de admitâncias. No entanto, os valores de impedâncias calculados com esse mesmo passo podem ser utilizados para a representação por setores angulares, pois somente as frequências limites $h-1$ e $h+1$ serão selecionadas com a não ativação da opção “Incluir todo intervalo”.

Como uma segunda etapa, foi desenvolvida uma nova interface gráfica extremamente amigável e flexível, onde é possível a realização dos estudos considerando simultaneamente LGs de setores angulares e de polígonos de n lados, determinados e traçados de acordo com as particularidades de cada um descritas nos novos PR. Esta interface está apresentada na Figura 5. Observa-se que é possível escolher opções diferentes para setores e polígonos (valor do n na forma $h \pm n$, e inclusão ou não de todo intervalo). Desta forma, o usuário poderá optar pelo LG que lhe for mais conveniente em relação à necessidade de se adotar medidas mitigadoras como a utilização de filtros passivos, sem praticamente nenhum esforço adicional. Por meio desta interface, é possível realizar traçados de LGs de todas as frequências desejadas de uma só vez e de forma bastante automatizada. As grandezas que definem os LGs (módulos e ângulos de admitâncias mínimos e máximos para os setores angulares, e vértices de admitâncias para os polígonos de n lados), bem como as contingências que as geraram, são também apresentadas na interface.

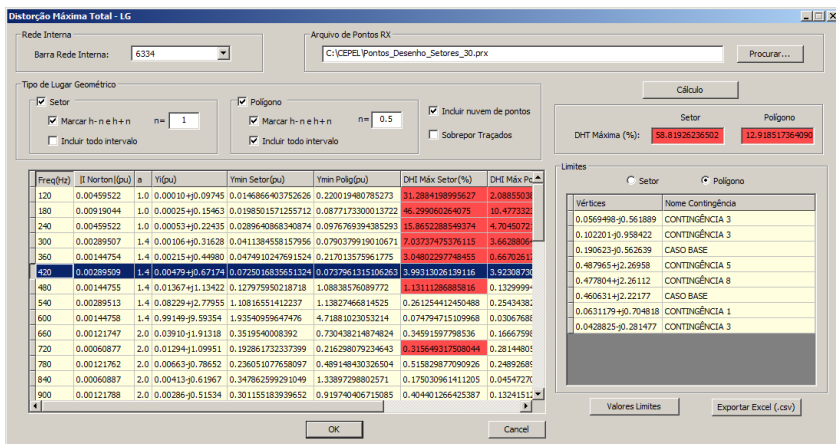


Figura 5 – Traçados de múltiplos LGs no HarmZs

Outra facilidade importante desta interface é a apresentação de todos os

resultados de forma tabular, destacando-se na cor vermelha todas as distorções harmônicas individuais (DHI) e totais (DHT) que ultrapassaram os limites adotados nos PR. O programa permite que estes limites sejam editados conforme modificações nos PR ou caso o usuário queira utilizar outra norma técnica. Estes limites estão apresentados na Figura 6.

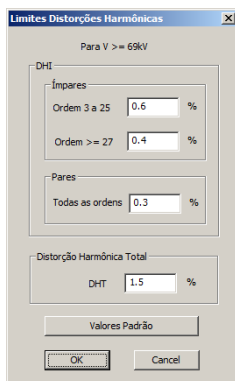


Figura 6 – Diálogo com os valores dos limites adotados para as distorções harmônicas para tensões superiores a 69kV

É também possível exportar todos os resultados obtidos para o Excel para que os usuários possam fazer comparações mais detalhadas e preparar relatórios de forma fácil e rápida. Um exemplo de exportação para o Excel é apresentado na Figura 7.

A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O
1	Freq[Hz]	I Norton[pu]	φ	Ylim[pu]	Ymin Sator[pu]	Ymin Polig[pu]	DHI Máx Sator[%]	DHI Máx Polig[%]	Frequências Sator	Frequências Polígono	Ymax Sator[pu]	Cont_Ymax	Ymin Sator[pu]	Cont_Ymin
2	120	0.0046	1	0.0001+0.0975j	0.0147	0.088	31.2884	5.2534	120 180	120 180	2.466	CASO BASE	0.0907	CONTINGÊNCIA 6
3	180	0.0052	1	0.0001+0.1346j	0.0199	0.0818	46.7931	11.295	180 240 300	120 180 240	8.8605	CONTINGÊNCIA 2	0.0907	CONTINGÊNCIA 6
4	240	0.0048	1	0.0000+0.2244j	0.029	0.0821	15.8652	5.9962	180 240 300	180 240 300	8.8605	CONTINGÊNCIA 2	0.0907	CONTINGÊNCIA 6
5	300	0.0029	1.4	0.0011+0.1363j	0.0411	0.0995	7.0374	2.9108	240 300 360	240 300 360	8.8605	CONTINGÊNCIA 6	0.1701	CONTINGÊNCIA 7
6	360	0.0014	1.4	0.0021+0.4408j	0.0475	0.0955	3.948	2.4443	300 360 420	300 360 420	4.9461	CONTINGÊNCIA 6	0.1237	CONTINGÊNCIA 2
7	420	0.0029	1.4	0.0048+0.6717j	0.0725	0.1244	3.9931	2.3274	360 420 480	360 420 480	6.0343	CONTINGÊNCIA 5	0.1237	CONTINGÊNCIA 2
8	480	0.0014	1.4	0.0137+1.1342j	0.128	0.1318	1.1311	0.4363	420 480 540	420 480 540	6.0343	CONTINGÊNCIA 5	0.1237	CONTINGÊNCIA 2
9	540	0.0029	1.4	0.0219+1.7705j	1.1082	1.1761	0.2613	0.2842	480 540 600	480 540 600	6.0343	CONTINGÊNCIA 5	0.2137	CONTINGÊNCIA 3
10	600	0.0014	1.4	0.0913+3.9355j	1.9354	3.4881	0.0748	0.0204	540 600 660	540 600 660	14.2818	CONTINGÊNCIA 5	0.2789	CONTINGÊNCIA 6
11	660	0.0012	2	0.0391-1.3132j	0.352	0.3685	0.3459	0.3304	600 660 720	600 660 720	14.2818	CONTINGÊNCIA 5	0.2789	CONTINGÊNCIA 6
12	720	0.0006	2	0.0125-1.0995j	0.1309	0.2255	0.1156	0.17	660 720 780	660 720 780	14.2818	CONTINGÊNCIA 5	0.2789	CONTINGÊNCIA 6
13	780	0.0012	2	0.0646-0.7865j	0.2361	0.3398	0.1518	0.5077	720 780 840	720 780 840	8.2484	CONTINGÊNCIA 2	0.9682	CONTINGÊNCIA 4
14	840	0.0006	2	0.0041-0.8187j	0.3479	0.5255	0.175	0.1159	780 840 900	780 840 900	8.2484	CONTINGÊNCIA 2	0.8541	CONTINGÊNCIA 9
15	900	0.0012	2	0.0020-0.1213j	0.2012	0.3381	0.2044	0.3802	840 900 960	840 900 960	7.9484	CASO BASE	0.4616	CONTINGÊNCIA 7
16	900	0.0006	2	0.0021-0.4436j	0.2565	0.2766	0.2175	0.2202	900 960 1020	900 960 1020	4.9575	CASO BASE	0.096	CONTINGÊNCIA 1
17	1020	0.0006	2	0.0017-0.1909j	0.0894	0.0894	0.6815	0.616	960 1020 1080	960 1020 1080	4.9575	CASO BASE	0.096	CONTINGÊNCIA 1
18	1080	0.0003	2	0.0011-0.1505j	0.0523	0.0982	0.362	0.3101	1020 1080 1140	1020 1080 1140	4.9575	CASO BASE	0.096	CONTINGÊNCIA 1
19	1140	0.0006	2	0.0011-0.1184j	0.0464	0.1124	1.3119	0.5424	1080 1140 1200	1080 1140 1200	2.5441	CONTINGÊNCIA 2	0.2868	CONTINGÊNCIA 3
20	1200	0.0003	2	0.0009-0.1292j	0.0425	0.1769	0.7173	0.1723	1140 1200 1260	1140 1200 1260	7.4123	CONTINGÊNCIA 2	0.2868	CONTINGÊNCIA 3
21	1260	0.0006	2	0.0006-0.1705j	0.1442	0.1682	0.2238	0.1556	1200 1260 1320	1200 1260 1320	15.444	CASO BASE	0.4064	CONTINGÊNCIA 4
22	1320	0.0003	2	0.0007-0.2520j	0.1772	0.2879	0.0528	0.106	1260 1320 1380	1260 1320 1380	16.1356	CONTINGÊNCIA 8	0.8213	CONTINGÊNCIA 3
23	1380	0.0006	2	0.0009-0.1281j	0.0628	0.2383	0.9715	0.2562	1320 1380 1440	1320 1380 1440	16.1356	CONTINGÊNCIA 8	0.1936	CONTINGÊNCIA 3
24	1440	0.0003	2	0.0005-0.1222j	0.0803	0.2182	0.8002	0.14	1380 1440 1500	1380 1440 1500	16.1356	CONTINGÊNCIA 8	0.1936	CONTINGÊNCIA 3
25	1500	0.0006	2	0.0005-0.1100j	0.0759	0.2166	0.8052	0.2821	1440 1500 1560	1440 1500 1560	8.7546	CASO BASE	0.1936	CONTINGÊNCIA 3
26	1560	0.0003	2	0.0004-0.1199j	0.3594	0.2376	0.0651	0.1287	1500 1560 1620	1500 1560 1620	4.8215	CASO BASE	0.5379	CONTINGÊNCIA 1
27	1620	0.0006	2	0.0004-0.1876j	0.0885	0.2125	0.6814	0.2448	1560 1620 1680	1560 1620 1680	4.8215	CASO BASE	0.1883	CONTINGÊNCIA 4
28	1680	0.0003	2	0.0006-0.1809j	0.0758	0.1281	0.4042	0.2392	1620 1680 1740	1620 1680 1740	4.8215	CASO BASE	0.1883	CONTINGÊNCIA 4
29	1740	0.0006	2	0.0003-0.1730j	0.0412	0.128	1.489	0.4791	1680 1740 1800	1680 1740 1800	6.2966	CASO BASE	0.1883	CONTINGÊNCIA 4
30	1800	0.0003	2	0.0003-0.1858j	0.1525	0.1564	0.2619	0.1593	1740 1800 1860	1740 1800 1860	6.2966	CASO BASE	0.3117	CONTINGÊNCIA 7
31	1860	0.0006	2	0.0003-0.1591j	0.1048	0.2366	0.1537	0.2668	1800 1860 1920	1800 1860 1920	6.2966	CASO BASE	0.3485	CONTINGÊNCIA 3
32	1920	0.0003	2	0.0003-0.1532j	0.2005	0.2315	0.1537	0.1131	1860 1920 1980	1860 1920 1980	6.9238	CONTINGÊNCIA 7	0.3485	CONTINGÊNCIA 3
33	1980	0.0006	2	0.0003-0.1477j	0.2684	0.268	0.2991	0.2844	1920 1980 2040	1920 1980 2040	11.3818	CASO BASE	0.3485	CONTINGÊNCIA 3
34	2040	0.0003	2	0.0002-0.1425j	0.4877	0.1829	0.0614	0.0777	1980 2040 2100	1980 2040 2100	11.3818	CASO BASE	0.4526	CONTINGÊNCIA 6

Figura 7 – Tabela Excel contendo os dados de traçados de múltiplos LGs no HarmZs

Além de realizar os cálculos das DHIs e DHTs máximas, considerando setores e/ou polígonos, a ferramenta também traça os LGs para todas as frequências automaticamente.

Se o usuário escolher os traçados de setores e polígonos e selecionar a opção “*Sobrepor Traçados*”, as duas formas geométricas serão apresentadas em um mesmo gráfico. Esses traçados sobrepostos podem ser visualizados na Figura 8. Se a opção de sobrepor traçados não for marcada, o programa irá traçar os setores e os polígonos em gráficos diferentes, considerando todas as frequências do estudo.

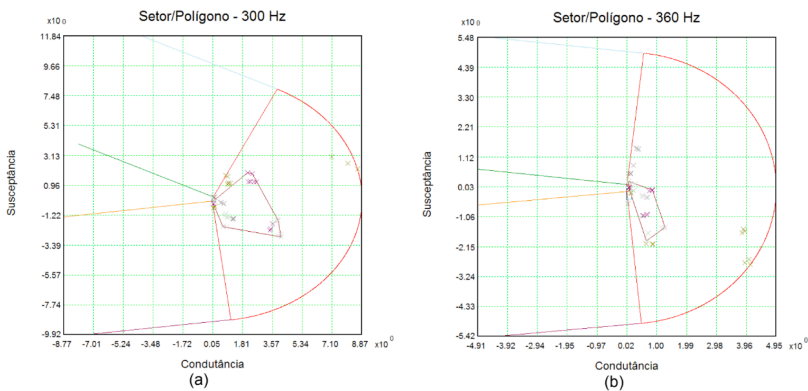


Figura 8 – Traçado sobreposto do polígono e do setor angular para as frequências de 300 e 360 Hz

6 | CONCLUSÃO

O ONS atualizou os PR através da emissão de uma nota técnica [1] com o intuito de atender às necessidades de melhoria do processo de gerenciamento da emissão de harmônicos. Esse novo documento procura flexibilizar os PR de forma a atender às constantes reivindicações dos agentes no sentido de tornar a forma de avaliação dos estudos de desempenho harmônico menos conservadora e mais alinhada às normas internacionais de grande relevância técnica.

Destaca-se, dentre as modificações, a possibilidade de se utilizar nos estudos de acesso de novas instalações à Rede Básica, além dos setores angulares, polígonos de n lados para a representação dos Lugares Geométricos (LGs) de admitâncias do Sistema Interligado Nacional (SIN). Os intervalos harmônicos e os passos de frequência adotados neste novo documento para a determinação e traçado de cada tipo de LG (setor angular ou polígono de n lados), necessários para o cálculo das máximas distorções harmônicas de tensão, são diferentes entre si.

Deste modo, para que o programa HarmZs pudesse continuar atendendo plenamente as necessidades dos agentes na realização destes estudos, a metodologia para determinação e traçado destes polígonos foi implementada na versão 3.0 do programa. Uma interface gráfica extremamente amigável e flexível foi desenvolvida, onde é possível a realização dos estudos considerando simultaneamente LGs de setores angulares e de polígonos de n lados, determinados e traçados de acordo com as particularidades de cada um descritas nos novos PR. Além da visualização dos traçados gráficos dos setores e polígonos, os resultados do estudo são também apresentados no formato de tabelas que podem ser exportadas para o Excel, permitindo que o usuário possa manipular os dados e preparar facilmente relatórios bastante completos.

A flexibilidade da ferramenta, sua facilidade de utilização e velocidade de processamento tornam possíveis análises de sensibilidades mais rigorosas e detalhadas em relação a parâmetros como intervalo harmônico e passo de frequência, utilizados na construção dos LGs. Assim, os usuários e o próprio ONS podem utilizar o programa como ferramenta de aprimoramento dos PR atuais, uma vez que estes tendem a ser dinâmicos de acordo com a evolução do sistema.

REFERÊNCIAS

[1] Instruções para Realização de Estudos e Medições de QEE Relacionados aos Novos Acessos à Rede Básica para Parques Eólicos, Solares e Consumidores Livres - REV.01 - ONS – Operador Nacional do Sistema – www.ons.org.br, abril de 2016.

[2] Franklin Clement Véliz, Sergio Luis Varricchio e Cristiano de Oliveira Costa, “Metodologia para a Representação de Redes Elétricas por Polígonos de Admitâncias para Estudos de Impacto Harmônico”, XXII SNTPEE - Seminário Nacional de Produção e Transmissão de Energia Elétrica, Brasília (DF), 12 a 16 de outubro de 2013.

[3] Cristiano de Oliveira Costa, Sergio Luis Varricchio e Franklin Clement Véliz, “Manual do Usuário da Versão 1.7 do Programa HarmZs”, Relatório Técnico CEPEL, No. DSE 51747 / 2007.

[4] Miguel Pires de Carli, Breno Torres Meyer, Ricardo Penido D. Ross, Alex Jean de Castro Mello, “Harmônicos Resultantes da Conexão de Parques Eólicos com a Rede Elétrica: Análise Conjunta de Medições e Simulações Associadas a um Estudo de Caso”, XXIII SNTPEE - Seminário Nacional de Produção e Transmissão de Energia Elétrica, Foz do Iguaçu (PR), 18 a 21 de outubro de 2015.

[5] Sergio Luis Varricchio, Franklin Clement Véliz, Cristiano de Oliveira Costa e José Roberto Medeiros, “Distribuição de Correntes de 5° Harmônico nas Vizinhanças da SE Ibiúna 345 kV: Comparação entre Simulação e Medição”, XXI SNTPEE - Seminário Nacional de Produção e Transmissão de Energia Elétrica, Florianópolis (SC), 23 a 26 de outubro de 2011.

[6] Technical Brochure 468, "Review of Disturbances Emission Assessment Techniques", Cigré-Cired Working Group C4-109, June 2011.

[7] Guide to the Specification and Design Evaluation of A. C. Filters for HVDC Systems, 1st ed., IEC PAS 62001, 2009.

[8] Cristiano de Oliveira Costa, Sergio Luis Varricchio e Franklin Clement Véliz, "Automatização Computacional de Estudos de Comportamento Harmônico", XI Simpósio de Especialistas em Planejamento da Operação e Expansão Elétrica, Belém (PA), Brasil, 17 a 20 de março de 2009.

ÍNDICE REMISSIVO

A

Ação socioambiental 27

Alternative Transient Program (ATP) 88

Armazenamento de energia elétrica 129, 131, 138, 143, 144

Atenção básica de saúde 193, 201, 203

B

BPMN 193, 194, 195, 197, 198, 204, 205

C

Cálculo estrutural 16

Chuva 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14

Compensações sociais 27

Custo operacional 66, 76

D

Descargas disruptivas 3

Desempenho dielétrico 1, 2, 13

Distribuição de energia 144

E

Eficiência energética 53, 54, 55, 56, 61, 62, 64, 66, 67, 77, 78, 79, 80, 81, 82, 83, 85, 86, 87, 117, 127, 137, 144

Eletrobras 28, 33, 38, 39, 40, 58, 64, 65, 79, 86, 163

Eletronorte 27, 28, 31, 33, 38, 39, 40

Energia solar 66, 67, 68, 73, 76, 114, 115, 116, 127, 128, 136, 139, 141, 145

Energia solar fotovoltaica 66, 76, 127, 128, 136, 139, 141

Envoltórias 146, 148, 151, 152, 153, 154, 155, 156, 157, 183

Extração de parâmetros 174, 183, 184, 186

F

Filtro morfológico 146, 151, 152, 154, 157, 159

Funções de transferência 88, 89

G

Geração de energia 61, 63, 66, 67, 68, 71, 76, 84, 87, 129, 130, 139, 140, 141

Gerador síncrono 146, 149, 150, 153, 159, 187

H

Harmônicos 160, 161, 163, 164, 165, 167, 171, 172

HarmZs 89, 90, 98, 160, 161, 163, 164, 165, 166, 167, 169, 170, 172

Hidrogênio 129, 131, 132, 138, 139, 141, 142, 143, 144

I

Iluminação pública 53, 54, 55, 57, 58, 59, 60, 61, 62, 63, 64, 65

Isoladores 1, 2, 3, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 17

M

Máquina síncrona 147, 148, 149, 152, 174, 175, 177, 178, 179, 181, 182, 183, 184, 185, 186

Modelagem de processos 193, 197

Modelo de acompanhamento 88, 93

Modelos racionais 88, 89, 90

O

Operador nacional do sistema elétrico 41, 133, 143, 161

P

Painéis fotovoltaicos 66, 69, 76, 84, 131, 136, 137, 142

Painéis solares flutuantes 129, 130

Perda de excitação 146, 147, 148, 152, 153, 154, 157, 158, 159

Plano de corte manual de carga 41, 42, 46, 48, 51

Potência ativa 47, 146, 148

Procedimentos de redes 160

Procel Reluz 53, 54, 55, 56, 57, 58, 59, 60, 61, 62, 63, 64, 65

Programa brasileiro de etiquetagem 56, 77, 78, 82, 86, 87

Q

Qualidade da energia 100, 103

R


Reatância 174, 175, 177, 178, 180, 183, 186

S





Sistema interligado nacional 15, 41, 119, 138, 161, 162, 171

U

UHE Tucuruí 27, 28, 29, 30, 31, 32, 33, 37, 38, 39, 40

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

**Engenharia Elétrica
e de Computação:
Atividades Relacionadas com
o Setor Científico e Tecnológico**
4

 www.atenaeditora.com.br
 contato@atenaeditora.com.br
 @atenaeditora
 www.facebook.com/atenaeditora.com.br

**Engenharia Elétrica
e de Computação:
Atividades Relacionadas com
o Setor Científico e Tecnológico**
4