

# Engenharias, Ciência e Tecnologia 4

Luís Fernando Paulista Cotian  
(Organizador)



**Atena**  
Editora  
Ano 2019

**Luís Fernando Paulista Cotian**

(Organizador)

# **Engenharias, Ciência e Tecnologia**

## **4**

Atena Editora

2019

2019 by Atena Editora

Copyright © da Atena Editora

**Editora Chefe:** Profª Drª Antonella Carvalho de Oliveira

**Diagramação e Edição de Arte:** Geraldo Alves e Natália Sandrini

**Revisão:** Os autores

#### Conselho Editorial

- Prof. Dr. Alan Mario Zuffo – Universidade Federal de Mato Grosso do Sul  
Prof. Dr. Álvaro Augusto de Borba Barreto – Universidade Federal de Pelotas  
Prof. Dr. Antonio Carlos Frasson – Universidade Tecnológica Federal do Paraná  
Prof. Dr. Antonio Isidro-Filho – Universidade de Brasília  
Profª Drª Cristina Gaio – Universidade de Lisboa  
Prof. Dr. Constantino Ribeiro de Oliveira Junior – Universidade Estadual de Ponta Grossa  
Profª Drª Daiane Garabeli Trojan – Universidade Norte do Paraná  
Prof. Dr. Darllan Collins da Cunha e Silva – Universidade Estadual Paulista  
Profª Drª Deusilene Souza Vieira Dall’Acqua – Universidade Federal de Rondônia  
Prof. Dr. Eloi Rufato Junior – Universidade Tecnológica Federal do Paraná  
Prof. Dr. Fábio Steiner – Universidade Estadual de Mato Grosso do Sul  
Prof. Dr. Gianfábio Pimentel Franco – Universidade Federal de Santa Maria  
Prof. Dr. Gilmei Fleck – Universidade Estadual do Oeste do Paraná  
Profª Drª Girlene Santos de Souza – Universidade Federal do Recôncavo da Bahia  
Profª Drª Ivone Goulart Lopes – Istituto Internazionele delle Figlie de Maria Ausiliatrice  
Profª Drª Juliane Sant’Ana Bento – Universidade Federal do Rio Grande do Sul  
Prof. Dr. Julio Candido de Meirelles Junior – Universidade Federal Fluminense  
Prof. Dr. Jorge González Aguilera – Universidade Federal de Mato Grosso do Sul  
Profª Drª Lina Maria Gonçalves – Universidade Federal do Tocantins  
Profª Drª Natiéli Piovesan – Instituto Federal do Rio Grande do Norte  
Profª Drª Paola Andressa Scortegagna – Universidade Estadual de Ponta Grossa  
Profª Drª Raissa Rachel Salustriano da Silva Matos – Universidade Federal do Maranhão  
Prof. Dr. Ronilson Freitas de Souza – Universidade do Estado do Pará  
Prof. Dr. Takeshy Tachizawa – Faculdade de Campo Limpo Paulista  
Prof. Dr. Urandi João Rodrigues Junior – Universidade Federal do Oeste do Pará  
Prof. Dr. Valdemar Antonio Paffaro Junior – Universidade Federal de Alfenas  
Profª Drª Vanessa Bordin Viera – Universidade Federal de Campina Grande  
Profª Drª Vanessa Lima Gonçalves – Universidade Estadual de Ponta Grossa  
Prof. Dr. Willian Douglas Guilherme – Universidade Federal do Tocantins

#### Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP) (eDOC BRASIL, Belo Horizonte/MG)

E57 Engenharias, ciência e tecnologia 4 [recurso eletrônico] / Organizador  
Luís Fernando Paulista Cotian. – Ponta Grossa (PR): Atena  
Editora, 2019. – (Engenharias, Ciência e Tecnologia; v. 4)

Formato: PDF

Requisitos de sistema: Adobe Acrobat Reader

Modo de acesso: World Wide Web

Inclui bibliografia.

ISBN 978-85-7247-087-2

DOI 10.22533/at.ed.872193101

1. Ciência. 2. Engenharia. 3. Inovações tecnológicas.  
4. Tecnologia. I. Cotian, Luís Fernando Paulista. II. Série.

CDD 658.5

**Elaborado por Maurício Amormino Júnior – CRB6/2422**

O conteúdo dos artigos e seus dados em sua forma, correção e confiabilidade são de  
responsabilidade exclusiva dos autores.

2019

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.

[www.atenaeditora.com.br](http://www.atenaeditora.com.br)

## APRESENTAÇÃO

A obra “Engenharia, Ciência e Tecnologia” aborda uma série de livros de publicação da Atena Editora. O volume IV apresenta, em seus 29 capítulos, conhecimentos relacionados a Modelagem, Análise e Simulação relacionadas à engenharia de produção nas áreas de Programação Matemática, Decisão Multicriterial e Teoria da Decisão e Teoria dos Jogos.

A área temática de Modelagem, Análise e Simulação trata de temas relevantes para a mecanismos que auxiliam na tomada de decisão, desde a modelagem e simulação até a análise dos resultados envolvendo assuntos relacionados a engenharia. As análises e aplicações de novos estudos proporciona que estudantes utilizem conhecimentos tanto teóricos quanto tácitos na área acadêmica ou no desempenho da função em alguma empresa.

Para atender os requisitos do mercado as organizações precisam levar em consideração a área de sustentabilidade e desenvolvimento sustentável, sejam eles do mercado ou do próprio ambiente interno, tornando-a mais competitiva e seguindo a legislação vigente.

Aos autores dos capítulos, ficam registrados os agradecimentos do Organizador e da Atena Editora, pela dedicação e empenho sem limites que tornaram realidade esta obra, que retrata os recentes avanços científicos do tema.

Por fim, espero que esta obra venha a corroborar no desenvolvimento de novos conhecimentos de Modelagem, Análise e Simulação e auxilie os estudantes e pesquisadores na imersão em novas reflexões acerca dos tópicos relevantes na área de engenharia de produção.

Boa leitura!

Luís Fernando Paulista Cotian

## SUMÁRIO

<b>CAPÍTULO 1</b> .....	<b>1</b>
A UTILIZAÇÃO DE UM SOFTWARE PARA O DIMENSIONAMENTO DE UMA ESTRUTURA METÁLICA	
<i>Douglas Freitas Augusto dos Santos</i>	
<b>DOI 10.22533/at.ed.8721931011</b>	
<b>CAPÍTULO 2</b> .....	<b>11</b>
ALGORITMOS EVOLUTIVOS APLICADOS A OTIMIZAÇÃO OFF-LINE DE UM MAPA COGNITIVO FUZZY DE UM MISTURADOR INDUSTRIAL	
<i>Márcio Mendonça</i>	
<i>Edson Hideki Koroishi</i>	
<i>Lillyane Rodrigues Cintra</i>	
<i>Lucas Botoni de Souza</i>	
<b>DOI 10.22533/at.ed.8721931012</b>	
<b>CAPÍTULO 3</b> .....	<b>19</b>
APLICAÇÕES MATEMÁTICAS EM MEDIDAS AGRÁRIAS: UM CONHECIMENTO ETNOMATEMÁTICO DO HOMEM DO CAMPO CONTEXTUALIZADO COM O CONTEÚDO ESCOLAR	
<i>Deonísio Hul</i>	
<i>Silton José Dziadzio</i>	
<i>Clodogil Fabiano Ribeiro dos Santos</i>	
<b>DOI 10.22533/at.ed.8721931013</b>	
<b>CAPÍTULO 4</b> .....	<b>34</b>
AVALIAÇÃO DOS EFEITOS DA CONEXÃO DE UMA UNIDADE GERADORA DISTRIBUÍDA A UM ALIMENTADOR DE 13,8 KV UTILIZANDO O ATP	
<i>Jaqueline Oliveira Rezende</i>	
<i>Larissa Marques Peres</i>	
<i>Geraldo Caixeta Guimarães</i>	
<i>Marcelo Lynce Ribeiro Chaves</i>	
<b>DOI 10.22533/at.ed.8721931014</b>	
<b>CAPÍTULO 5</b> .....	<b>46</b>
CÁLCULO FRACIONÁRIO APLICADO À GENERALIZAÇÃO DA MODELAGEM MATEMÁTICA DA SECAGEM DE BAGAÇO DE UVA	
<i>Amanda Peruzzo da Motta</i>	
<i>Bruna de Souza Nascimento</i>	
<i>Fernanda Batista de Souza</i>	
<i>Douglas Junior Nicolin</i>	
<b>DOI 10.22533/at.ed.8721931015</b>	
<b>CAPÍTULO 6</b> .....	<b>57</b>
CINÉTICA DE DEGRADAÇÃO TÉRMICA DO BAGAÇO DE CANA	
<i>Edvan Vinícius Gonçalves</i>	
<i>Wardleison Martins Moreira</i>	
<i>Emanuel Souza Barros</i>	
<i>Sérgio Inácio Gomes</i>	
<i>Marcos de Souza</i>	
<i>Luiz Mario de Matos Jorge</i>	
<b>DOI 10.22533/at.ed.8721931016</b>	

**CAPÍTULO 7 ..... 67**

CONTAGEM AUTOMÁTICA DE OVOS DO Aedes Aegypti em palhetas de ovitrampas: um sistema para aquisição e processamento de imagens

*Carlos Diego Franco da Rocha*  
*Ayla Márcia Cordeiro Bizerra*  
*Demétrios Araújo Magalhães Coutinho*  
*Luiz Fernando Virginio da Silva*  
*Michel Santana de Deus*  
*Phablo Márcio de Paiva Souto*

**DOI 10.22533/at.ed.8721931017**

**CAPÍTULO 8 ..... 75**

Controlador fuzzy Mamdani aplicado à navegação autônoma em ambiente desconhecido variante no tempo

*Eduardo Vilela Pierangeli*  
*Jordann Alessandro Rosa Almeida*  
*Marcelo Vilela Pierangeli*

**DOI 10.22533/at.ed.8721931018**

**CAPÍTULO 9 ..... 82**

Controle robusto aplicado em uma viga de material compósito visando atenuação de vibrações

*Camila Albertin Xavier da Silva*  
*Daniel Almeida Colombo*  
*Edson Hideki Koroishi*  
*Albert Willian Faria*

**DOI 10.22533/at.ed.8721931019**

**CAPÍTULO 10 ..... 96**

Estratégias heurísticas para posicionamento de unidades de medição fasorial

*Marcio André Ribeiro Guimaraens*  
*Julio Cesar Stacchini de Souza*  
*Milton Brown Do Coutto Filho*  
*Breno Crespo Zeba*

**DOI 10.22533/at.ed.87219310110**

**CAPÍTULO 11 ..... 109**

Estudo de caracterização e desenvolvimento da urbanização do município de Sousa-PB no período de 1984 a 2016

*Márcia de Lacerda Santos*  
*Thayse Bezerra da Silva*  
*Maria Raiana Almeida Silva*  
*Danielle Leal Barros Gomes*

**DOI 10.22533/at.ed.87219310111**

**CAPÍTULO 12 ..... 116**

Flambagem linear e não-linear utilizando uma análise numérica pelo método dos elementos finitos

*Rodrigo Villaca Santos*  
*Leticia Barizon Col Debella*

**DOI 10.22533/at.ed.87219310112**

**CAPÍTULO 13..... 121**

GEOLOGIA DA SERRA DO CARAÇA: PERFIS REAIS

*Carolina Cristiano Barbosa*  
*Ariadne Duarte Libutti Nuñez*  
*Adriane Abreu Cadar*  
*Alexandre Motta Tunes*  
*Bárbara Alves Oliveira*  
*Ulisses Cyrino Penha*

**DOI 10.22533/at.ed.87219310113**

**CAPÍTULO 14..... 132**

GERENCIAMENTO DE RESERVATÓRIOS DE PETRÓLEO: PREVISÃO DE COMPORTAMENTO ATRAVÉS DA SIMULAÇÃO NUMÉRICA

*Josué Domingos da Silva Neto*  
*Débora Cristina Almeida de Assis*  
*Nayra Vicente Sousa da Silva*  
*Zenilda Vieira Batista*

**DOI 10.22533/at.ed.87219310114**

**CAPÍTULO 15..... 143**

INFLUÊNCIA DA INÉRCIA A TORÇÃO NO MOMENTO FLETOR DE PLACAS MACIÇAS DE CONCRETO

*Leticia Barizon Col Debella*  
*Rodrigo Villaca Santos*

**DOI 10.22533/at.ed.87219310115**

**CAPÍTULO 16..... 149**

METODOLOGIA DE CONTROLE PREVENTIVO BASEADA EM ÁRVORE DE DECISÃO PARA A MELHORIA DA SEGURANÇA ESTÁTICA E DINÂMICA DO SISTEMA INTERLIGADO DA ELETRONORTE

*Ubiratan Holanda Bezerra*  
*João Paulo Abreu Vieira*  
*Werboston Douglas de Oliveira*  
*Daniel Augusto Martins*  
*Dione José Abreu Vieira*  
*Bernard Carvalho Bernardes*  
*Benedito das Graças Duarte Rodrigues*  
*Vilson Castro*

**DOI 10.22533/at.ed.87219310116**

**CAPÍTULO 17 ..... 166**

O WATSON DA IBM

*Eduardo Bruno de Almeida Donato*  
*Amanda Moura Camilo*

**DOI 10.22533/at.ed.87219310117**

**CAPÍTULO 18..... 173**

PROTÓTIPO DE UM PERMEÂMETRO DE CARGA CONSTANTE A PARTIR DA LEI DE DARCY

*Guilherme Medina Cameu*  
*Victor Araujo Figueredo Fischer*  
*Wataru Iwamoto*  
*Rômulo Henrique Batista de Farias*

**DOI 10.22533/at.ed.87219310118**

**CAPÍTULO 19 ..... 178**

SIMULADOS ELETRÔNICOS DO PROCESSO SELETIVO DO IFPR: INSTRUMENTO DE DIVULGAÇÃO E DEMOCRATIZAÇÃO DO ENSINO

*João Henrique Berssanette*  
*Antonio Carlos de Francisco*  
*Fabiane Ferreira*  
*Maria Fernanda Müller Pereira da Silva*

**DOI 10.22533/at.ed.87219310119**

**CAPÍTULO 20 ..... 188**

SOLARIZAÇÃO DO SOLO E BIOFUMIGAÇÃO NA VIABILIDADE DE SCLEROTIUM ROLFSSII

*João Luiz Lopes Monteiro Neto*  
*Roberto Tadashi Sakazaki*  
*Raphael Henrique da Silva Siqueira*  
*Carlos Abanto-Rodríguez*  
*Sonicley da Silva Maia*  
*Rannyonara Oliveira Rodrigues*  
*Lucas Aristeu Anghinoni dos Santos*  
*Beatriz Sayuri Campaner Sakazaki*

**DOI 10.22533/at.ed.87219310120**

**CAPÍTULO 21 ..... 194**

SYNOPTERO: RECONSTRUINDO O MUNDO TRIDIMENSIONAL A PARTIR DO BIDIMENSIONAL

*Lucas Maquedano da Silva*  
*Marcos Cesar Danhoni Neves*  
*Fernanda Tiemi Karia*  
*Gabriel Francischini de Oliveira*  
*Leandro Moraes Azevedo*

**DOI 10.22533/at.ed.87219310121**

**CAPÍTULO 22 ..... 202**

TENDÊNCIAS CLIMATOLÓGICAS DA EVAPOTRANSPIRAÇÃO DE REFERÊNCIA NA REGIÃO SUL DE MINAS GERAIS, BRASIL

*Lucas Rosa de Almeida*  
*Marcelo Vieira-Filho*  
*Sílvia Yanagi*  
*Marcelo Ribeiro Viola*

**DOI 10.22533/at.ed.87219310122**

**CAPÍTULO 23 ..... 217**

TEORIA NA PRÁTICA: SIMULAÇÃO COMPUTACIONAL DAS PRINCIPAIS PARTIDAS DA MÁQUINA DE INDUÇÃO

*Murilo Miceno Frigo*  
*Paulo Irineu Koltermann*

**DOI 10.22533/at.ed.87219310123**

**CAPÍTULO 24 ..... 229**

UM ALGORITMO ITERATED LOCAL SEARCH PARA O STABLE MATCHING PROBLEM APLICADO AO PROBLEMA DE ALOCAÇÃO DE ALUNOS NAS ESCOLAS DA REDE PÚBLICA DE ENSINO

*Robson Vieira de Oliveira*  
*Matheus Correia Teixeira*  
*Marco Antonio Bonelli Junior*

**DOI 10.22533/at.ed.87219310124**



**CAPÍTULO 25 ..... 242**

USO DE IMAGENS SENTINEL - 2A E O ALGORITMO SVM PARA MONITORAR AS APP DE NASCENTES E CURSOS D'AGUA DO RIBEIRÃO MARANHÃO, LAVRAS, MG

*Ester Afonso*  
*Katyanne Conceição*  
*Beatriz Campos*  
*Franklin Inácio*  
*Margarete Volpato*  
*Helena Alves*

**DOI 10.22533/at.ed.87219310125**

**CAPÍTULO 26 ..... 249**

UTILIZAÇÃO DA EVOLUÇÃO DIFERENCIAL EM PROBLEMAS INVERSOS PARA A IDENTIFICAÇÃO DE PARÂMETROS DE UMA VIGA EULER-BERNOULLI

*Rennan Otavio Kanashiro*  
*Edson Hideki Koroishi*  
*Fabian Andres Lara-Molina*

**DOI 10.22533/at.ed.87219310126**

**CAPÍTULO 27 ..... 258**

UTILIZAÇÃO DA TÉCNICA DE VELOCIMETRIA POR IMAGENS DE PARTÍCULAS (PIV) PARA O ESTUDO DO MÓDULO DE ELASTICIDADE DE PAINÉIS DE MADEIRA COMPENSADA

*Eduardo Hélio de Novais Miranda*  
*Rodrigo Allan Pereira*  
*Francisco Carlos Gomes*  
*Roberto Alves Braga Junior*  
*Fernando Pujaico Rivera*  
*Lucas Henrique Pedrozo Abreu*

**DOI 10.22533/at.ed.87219310127**

**CAPÍTULO 28 ..... 264**

UTILIZAÇÃO DO SENSOR PT100 NO ARDUINO PARA CAPTAÇÃO DA TMR

*Mariana Espíndola Vieira*  
*Helena Dufau*  
*Christian Muller*  
*Anderson Ferrugem*  
*Antonio Silva*  
*Rafael Soares*

**DOI 10.22533/at.ed.87219310128**

**CAPÍTULO 29 ..... 269**

DINÂMICA DE ESCOAMENTOS PARTICULADOS EM DUTOS VERTICAIS

*Diego Nei Venturi*  
*Francisco José De Souza*

**DOI 10.22533/at.ed.87219310129**

**SOBRE O ORGANIZADOR ..... 280**

## METODOLOGIA DE CONTROLE PREVENTIVO BASEADA EM ÁRVORE DE DECISÃO PARA A MELHORIA DA SEGURANÇA ESTÁTICA E DINÂMICA DO SISTEMA INTERLIGADO DA ELETRONORTE

### **Ubiratan Holanda Bezerra**

Universidade Federal do Pará - UFPA

bira@ufpa.br

### **João Paulo Abreu Vieira**

Universidade Federal do Pará - UFPA

jpavieira@ufpa.br

### **Werboston Douglas de Oliveira**

Universidade Federal do Amapá – UNIFAP

(wdoliveira@unifap.br)

### **Daniel Augusto Martins**

Universidade Federal do Pará - UFPA

odanielmartins@gmail.com

### **Dione José Abreu Vieira**

Universidade Federal do Pará - UFPA

### **Bernard Carvalho Bernardes**

Universidade Federal do Pará - UFPA

bcbarnardes@ufpa.br

### **Benedito das Graças Duarte Rodrigues**

Eletronorte

benedito.rodrigues@eln.gov.br

### **Vilson Castro**

Eletronorte

vilson.castro@eln.gov.br

pela Universidade Federal do Pará – UFPA, intitulado “Metodologia de Controle Preventivo Baseada em Árvore de Decisão para a Melhoria da Segurança Estática e Dinâmica do Sistema Interligado da Eletronorte”. O projeto resultou num conjunto de aplicativos e serviços para monitoração e suporte à segurança de tensão em tempo real e ao controle preventivo, visando garantir a segurança estática e dinâmica (foco na estabilidade transitória) do sistema elétrico da Eletronorte, por meio da técnica de mineração de dados Árvore de Decisão. A partir dos resultados, foi possível verificar que o uso da árvore de decisão, além de classificar o estado operacional do sistema com boa precisão, facilita significativamente a tarefa do operador, já que ele ficará mais focado no acompanhamento das variáveis realmente críticas de operação para uma determinada configuração topológica do sistema.

**PALAVRAS-CHAVE:** Árvore de decisão, Avaliação da segurança estática e dinâmica, Controle preventivo, SCADA/SAGE, Sistemas elétricos de potência.

**RESUMO:** Este artigo apresenta os resultados do Projeto de P&D suportado financeiramente pela Eletrobras Eletronorte e desenvolvido

“PD-0372-0031/2011 - Metodologia de Controle Preventivo Baseada em Árvore de Decisão para a Melhoria da Segurança Estática e Dinâmica do Sistema Interligado da Eletronorte”; tema: Operação de Sistemas de Energia Elétrica, subtema: Ferramenta de apoio à operação de sistemas elétricos de potência em tempo real; ‘Suporte financeiro: Eletronorte’.

## 1 | INTRODUÇÃO

Devido aos altos investimentos em equipamentos e conseqüente aumento dos custos operacionais necessários para alcançar níveis elevados de confiabilidade, os Sistemas Elétricos de Potência - SEPs não operam permanentemente em estado seguro. Isso representa um desafio aos engenheiros em buscar soluções de projetos que compatibilizem segurança e economia.

Os SEPs são projetados para operar com um menor custo e com uma margem de segurança aceitável para ocorrência de determinadas contingências, sem causar grandes transtornos para os clientes. Contudo, durante sua operação normal ocorrem mudanças nas condições operacionais, que são objeto de permanente monitoramento por parte dos operadores dos centros de operação [1],[2].

O uso de técnicas de aprendizagem de máquinas, tais como, redes neurais, árvores de decisão, máquinas de vetor suporte (SVM) e os mapas auto-organizáveis, vem sendo estudadas como soluções, com bons resultados relatados em [3]-[10]. Estudos realizados off-line servem como base para essas máquinas de aprendizado, por meio de simulação ou de dados históricos para descobrir atributos críticos e inerentes ao SEP, relacionados a um objetivo (atributo alvo).

Desta forma, o conhecimento obtido dessas máquinas de aprendizado pode ser diretamente utilizado para auxílio à tomada de ações preventivas, no sentido de garantir a melhoria da segurança, além de fornecer um modelo de predição rápido para aplicações em tempo real [3]. Esses modelos de predição são alimentados por dados de mediação em tempo real, que podem ser provenientes de sistemas SCADA (Supervisory Control and Data Acquisition) ou PMUs (Phasor Measurements Units). Assim podem ser utilizados em “Wide Area Monitoring Systems- WAMS” e, principalmente em “Wide Area Control Systems - WACS”.

Nesse contexto, este trabalho busca melhorar a segurança operacional por meio da técnica de Árvore de Decisão (AD), que é um algoritmo de classificação de dados, que tem a habilidade de aprender, por meio de exemplos, e classificar registros de um conjunto de dados [11],[12].

O conjunto de dados utilizado é oriundo de buscas nas bases de dados de históricos da Eletrobras Eletronorte, exportados pelo estimador de estados do Sistema Aberto de Gerenciamento de Energia – SAGE, o que permite gerar um modelo de AD que classifica o estado de operação do sistema, fornecendo variáveis e valores críticos que são usados para a melhoria da segurança operacional do SEP.

Os resultados obtidos mostram que o uso de AD, além de classificar o estado operacional do sistema com boa precisão, pode facilitar significativamente a tarefa do operador ao dirigir seu foco para o acompanhamento das variáveis realmente críticas de operação para um determinado instante e configuração topológica do sistema.

## 2 | ÁRVORES DE DECISÃO

As árvores de decisão são algoritmos de classificação de dados no ambiente da chamada Mineração de Dados (*Data Mining*). E tem como uma importante característica a função de particionar de modo recursivo um conjunto complexo de dados, até que cada subconjunto assim obtido contenha apenas os casos de uma única classe possibilitando uma melhor análise. Após a construção da árvore de decisão, os resultados obtidos, são formados por dados organizados de maneira simples e de fácil entendimento e podem servir como importante ferramenta para tomada de decisão [11,12].

As árvores de decisão são construídas baseadas no modelo hierárquico top-down, isto é, do nó raiz em direção às folhas. Embora haja diferenças na forma de realizar os passos, os algoritmos utilizam a técnica dividir para conquistar. Esta técnica está baseada nas sucessivas divisões do problema estudado em vários subproblemas de menores dimensões, até que seja encontrada uma solução mais simples para cada um dos problemas.

Uma árvore de decisão é essencialmente uma série de declarações if-then, que quando aplicados a um registro de uma base de dados, resultam na classificação daquele registro. A Figura 1 representa um exemplo de uma árvore hipotética, e é constituída dos seguintes elementos:

- Raiz: é o nó do topo da árvore.
- Nós: são todos os elementos que estão conectados por ramos;
- Ramos: Ligações entre nós;
- Folhas: são os últimos nós da árvore e representam as classes do conjunto de dados.

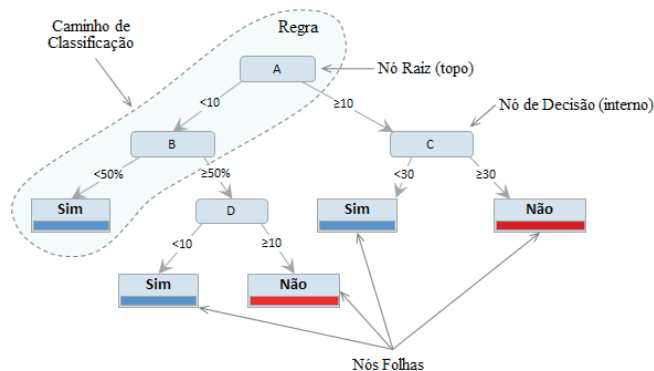


Figura 1. Exemplo de uma árvore de decisão

Resumidamente pode-se afirmar que sobre uma árvore de decisão:

- Cada nó interno representa um teste em um atributo;
- O ramo que sai de um nó interno representa o resultado do teste no atributo;

- A folha da árvore representa um rótulo de classe (*Sim/Não*);
- Uma nova observação é classificada seguindo um caminho na árvore, da raiz até a folha;
- Da análise da estrutura do exemplo da figura 3.1, nota-se que é possível extrair regras do tipo “*if-then*” para uma melhor compreensão e interpretação dos resultados. As regras de decisão seguem de acordo com o trajeto dos nós sucessivos até um nó folha com a sua respectiva classe atribuída e geralmente essas regras são utilizadas juntamente com a árvore, em alguns casos as regras substituem as árvores de decisão. Assim, podem ser derivadas as seguintes regras para o exemplo em questão:
  - *If A < 10 e B < 50% Then Sim.*
  - *If A < 10 e B ≥ 50% e D < 10 Then Sim.*

Devem ser aplicados testes em todos os nós definidos e um conjunto de exemplos, para que seja escolhido o caminho a percorrer na árvore durante o processo de classificação. Os resultados destes testes dependem da natureza dos atributos, que podem ser numéricos, categóricos ou simbólicos. Deve-se utilizar apenas um nó para cada teste, pois, isso torna a árvore bem mais simples.

No caso de aplicações de AD em sistemas de potência, os nós da AD são variáveis elétricas, tais como: tensão, potência ativa, potência reativa. E o nó folha é dado como seguro, caso não haja violação das variáveis e inseguro quando ocorrem violações no sistema.

### 3 | DESENVOLVIMENTO

Os modernos SEPs possuem uma vasta gama de informações providas de seus sistemas de medição, gerando assim bancos de dados que contêm informações de diversas condições operacionais do sistema em geral. Tais dados podem ser tratados pela técnica de mineração, que pode descobrir informações ou associações até então não percebidas pelos engenheiros e operadores da empresa. Assim, esses conhecimentos podem ser muito úteis para o planejamento, a manutenção e outras atividades do setor.

Para alcançar esses objetivos, foi desenvolvida uma série de *scripts* para fazer busca de informações, tratamentos e exportações de dados do SAGE/EMS. Tais *scripts* fornecem os seguintes resultados e serviços:

- Lista de equipamentos ativos no sistema, proveniente do configurador de redes.
- Exportação automática periódica, pelo estimador de estados, dos arquivos no formato PWF do SAGE. Isto é, sem a necessidade do operador agir so-

bre a tela de exportação do Sistema de Análise e Projeto de Redes Elétricas - SAPRE, apresentada na figura 2. Estes arquivos do estimador servirão de casos base (pontos de operação) para gerar uma AD.

- Geração de novos pontos de operação baseados nos casos exportados pelo SAGE, para melhorar a eficiência da Base de Dados (BD) de treino da AD.
- Aplicação de Lista de contingências.
- Execução de simulações dinâmicas.
- Processamento dos relatórios dos programas ANAREDE e plotagens do ANATEM (Análise de Redes Elétricas e Análise de Transitórios Eletromecânicos, respectivamente).
- Criação da AD para avaliação de Segurança Estática (SE) e Segurança Dinâmica (SD).

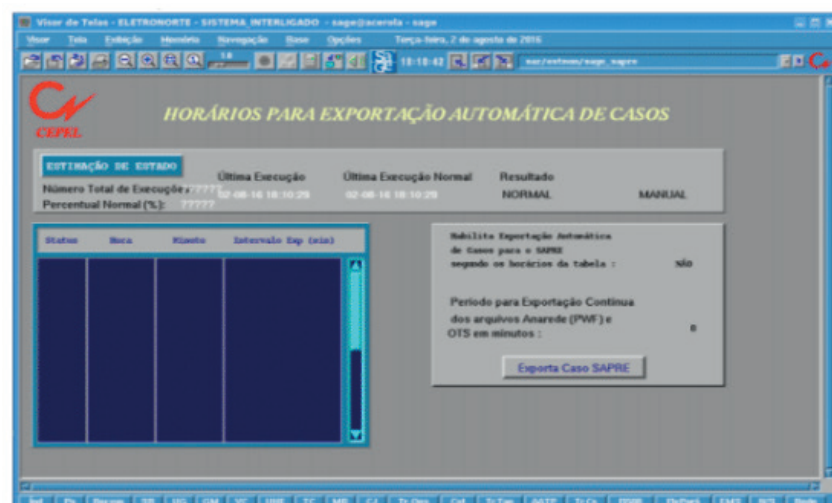


Figura 2. Tela em ambiente SAGE que um dos *scripts* acessa sua função de maneira automática.

É importante salientar que a metodologia proposta apresenta duas etapas: *offline* e tempo real. O processo de criação da BD é realizado de maneira *offline*, sendo esta a tarefa que faz a integração da metodologia com o ambiente SAGE. Isto é, a partir de pontos reais de operação e dados de planejamento ou variações de carga em torno desses pontos reais de operação são criados milhares de casos para treinar a AD.

A figura 3 apresenta o fluxograma dos processos executados *offline*. As fundamentações teóricas podem ser encontradas em trabalhos publicados referentes ao projeto [13]-[17].

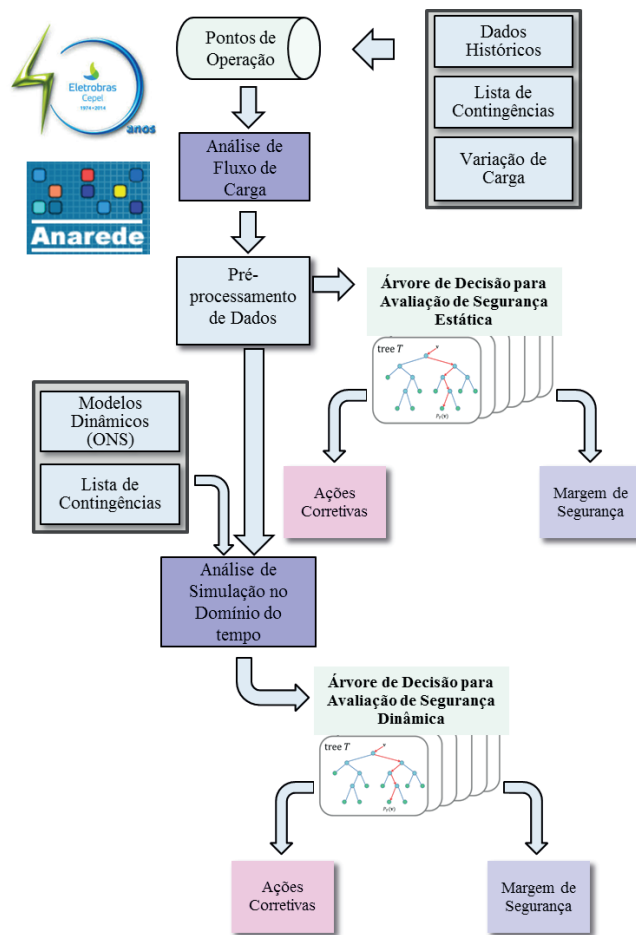


Figura 3. Etapa *offline* para o processo de geração do código da árvore de decisão para fins de avaliação da segurança estática e dinâmica.

A partir dos dados históricos, são gerados novos pontos de operação, com o intuito de emular a variação de carga que pode ocorrer durante um dia normal de operação. Em seguida aplica-se uma lista de contingências nesses pontos de operação previamente criados. A partir desta etapa realiza-se simulações de fluxo de carga para identificar os casos que são seguros ou inseguros para o SEP em estudo. Nesta etapa são tomados dois caminhos, um para a criação da árvore de decisão que irá avaliar a segurança estática e o outro caminho que está relacionado a criação da árvore de decisão de segurança dinâmica após a execução das simulações no domínio do tempo.

Em tempo real, as árvores de decisões criadas avaliam a segurança a partir dos dados do configurador de redes e estimador de estados do SAGE, verificando se os valores das variáveis críticas estimadas (ou medidas) estão dentro da faixa de valores que o modelo de AD encontra para avaliar a segurança do sistema. Dando assim um conjunto menor de variáveis para os operadores monitorarem com maior atenção. A figura 4 apresenta esquematicamente esse funcionamento em tempo real.

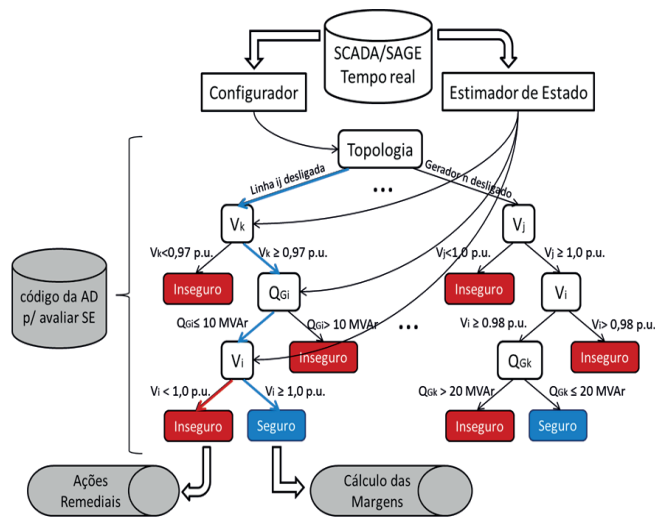


Figura 4. Esquema da Etapa em tempo real - Módulo de avaliação de segurança e de ações de controle preventivo baseado em árvore de decisão

Após a classificação do estado operacional do sistema, pode-se buscar executar ações remediais, no caso violação em alguma variável indicada pela AD ou calcular a margem de segurança se o sistema estiver seguro. A figura 5 ilustra como o processo funciona. Ações de controle preventivo podem ser implementadas de modo que consequências graves sejam evitadas antes que ocorram. A figura 5 ilustra o esquema adotado de ações de controle preventivo baseado em ADs, utilizando o programa FLUPOT.

Neste caso, as ações de controle preventivo serão realizadas somente quando o sistema elétrico ainda está em uma condição de operação normal. Caso alguma contingência crítica seja identificada por meio da avaliação da segurança baseado em ADs, as ações preventivas devem ser implementadas de tal forma que as restrições de segurança oriundas das ADs sejam atendidas.

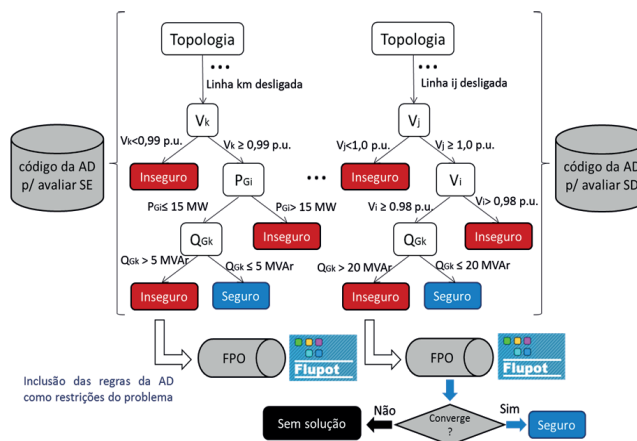


Figura 5. Esquema do Módulo de Ações de Controle Preventivo “Off-line” baseado em árvore de decisão



## 4 | RESULTADOS

Para fins de testes e validação da metodologia são apresentados estudos de casos de avaliação da segurança e do controle preventivo para melhoria da SE e SD do sistema da Eletrobras Eletronorte (regional do Pará), ilustrado em azul na figura 6. As análises apresentam as principais variáveis de controle e seus limites (extraídos das árvores de decisão), que afetam sua segurança.

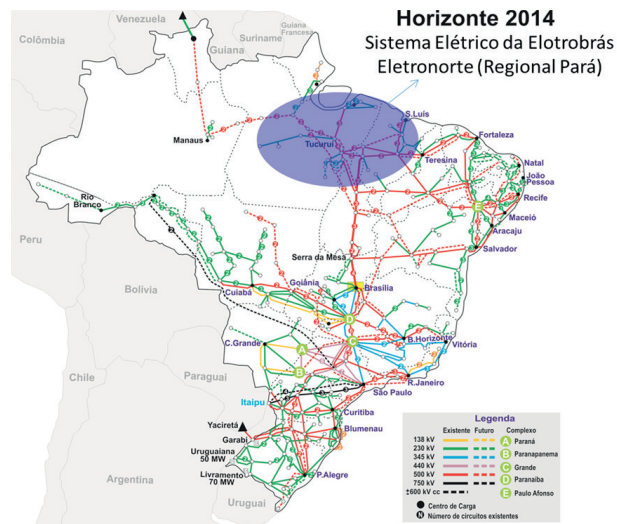


Figura 6. Sistema Elétrico da Eletrobras Eletronorte (Regional do Pará) localizado na área azul

Estudo de Caso de Avaliação da Segurança Estática com Foco na Tensão Operativa - Treino e teste da árvore de decisão com dados reais de um dia de operação

Primeiramente tomou-se arquivos .PWF correspondentes à um dia de operação como modelos de planejamento. Em seguida, uma base de dados foi gerada para posterior criação da árvore de decisão. Foram utilizados 70% dos dados para treino e 30% para teste. Na figura 5 é ilustrado um ramo da árvore da decisão referente à configuração topológica A01. O sistema elétrico operou com essa topologia A01 nos horários de (00:02hs as 02:34hs) e de (09:32hs as 13:27 hs). Para essa topologia A01 foram armazenados 66 arquivos .PWF (dados reais) do dia tomado para teste. Posteriormente, foram simulados 434 casos complementares (novas condições de carregamento em torno dos 66 pontos de operação reais) a fim de totalizar os 500 casos para a topologia A01, bem como para todas as 11 topologias de um dia de operação.

Os atributos selecionados para constar na base de dados fornecida ao algoritmo de AD foram os módulos das tensões nas barras que possuem controle de tensão, as potências ativa e reativa das barras PV, a configuração topológica, e o rótulo (seguro ou inseguro). Como pode ser observado na Figura 7, o nó raiz da árvore decisão é a configuração topológica do sistema. Essa informação é extremamente útil para o operador, de forma a se ater apenas a referida topologia.

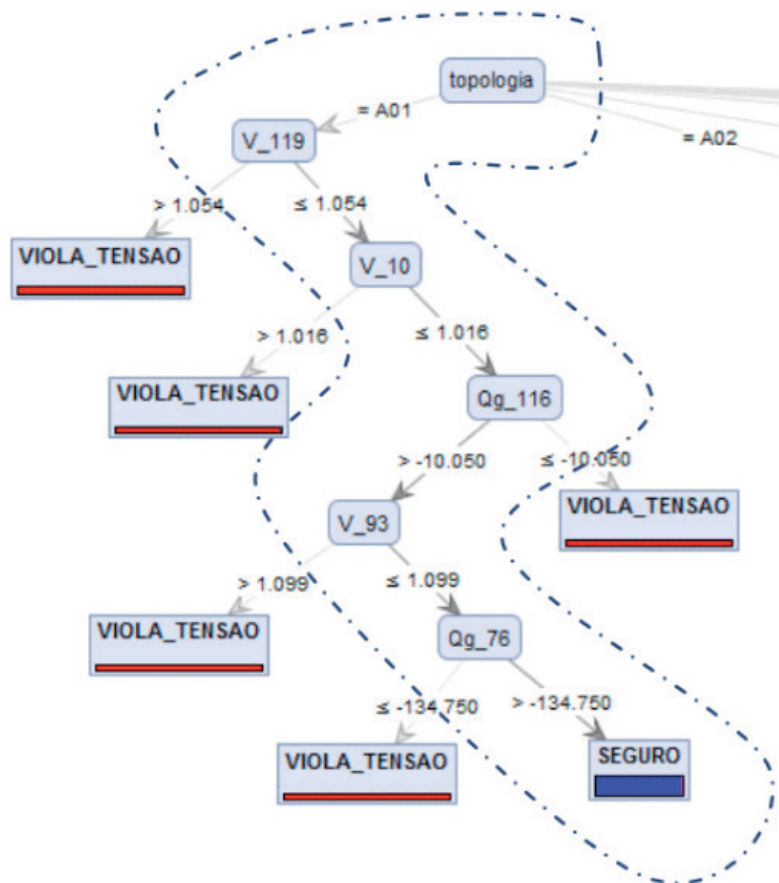


Figura 7. Ramo da árvore de decisão que se refere à topologia A01 do dia 08/11/2013

Pode-se observar na figura 7 que as regras da árvore de decisão circulasdas pelo caminho tracejado em azul, se adotadas, tornam o sistema seguro para a topologia A01. As regras encontradas pelo algoritmo que possuem maior influência com relação à segurança de tensão são por ordem hierárquica: Se  $V_{119} \leq 1,054$  p.u., e  $V_{10} \leq 1,016$  p.u., e  $Qg_{116} > -10$  MVar, e  $V_{93} \leq 1,099$  p.u., e  $Qg_{76} > -134,750$  MVar, então o sistema é seguro. Pode-se notar que esse ramo da árvore de decisão indica um caminho cujas regras devem ser respeitadas para garantir o sistema em um ponto de operação seguro do ponto de vista dos módulos das tensões em todas as barras. Esse aspecto é muito importante, pois essa nova informação referente à topologia A01 do sistema, só propiciada pelo uso da árvore de decisão, facilitará significativamente a tarefa do operador, que por sua vez poderá ficar mais focado no acompanhamento das variáveis realmente críticas de operação.

Outro aspecto importante a ser destacado é o número muito menor de variáveis indicadas pelo ramo da árvore de decisão quando comparado ao número de atributos que pertencem à base de dados que foi fornecida ao algoritmo AD para a construção da árvore de decisão. Isso se deve a uma das características da árvore de decisão que é reduzir dimensionalidade devido ao índice que correlaciona os atributos críticos a segurança de tensão do sistema.

A inteligência contida nas regras desse ramo específico da árvore de decisão pode ser diretamente utilizada para cálculo de margens de segurança de tensão, bem

como em tomada de ações corretivas locais e remotas.

A tabela I apresenta a matriz confusão correspondente à árvore de decisão, a qual foi construída com a finalidade de avaliar a segurança de tensão do sistema elétrico da Eletrobrás Eletronorte (Regional Pará). A base de dados de treino e teste foi obtida a partir de dados relativos à operação do dia 08/11/2013. Pode se observar que a taxa de acerto (*acurácia*) foi de 97,58%, ocorrendo apenas 18 casos que foram preditos como seguro, enquanto que na realidade, trata-se de casos inseguros, ficando a predição da classe seguro com uma precisão de classe de 98,14%. A predição da classe inseguro ficou com uma precisão de 96,76%. Ambas as classes apresentaram excelentes desempenhos de classificação.

Acurácia: 97,58%		Classe Real		
		Seguro	Inseguro	Classe de Precisão
Classe Predita	Seguro	952	18	98,14%
	Inseguro	22	658	96,76%
Classe Recall		97,74%	97,34%	

Tabela I. Matriz confusão da árvore de decisão para fins de avaliação da segurança estática

Após a criação da árvore de decisão, um arquivo .PWF do dia 08/11/2013 no instante 01:18hs foi selecionado para teste e validação das regras determinadas pela árvore de decisão. No referido horário (01:18hs) do dia 08/11/2013 duas violações de tensão foram detectadas nas barras 93 ( $V_{93}=1,102$  p.u.) e ( $V_{118}=1,052$  p.u.), de acordo com o relatório de monitoração de tensão mostrado na figura 8.

```

08-11-13 01:18 - Dados de entrada do Anarede (BASE colbe_ems - CONTEXTO tr)
MONITORACAO DE TENSÃO

X-----X-----X-----X-----X-----X-----X-----X-----X
      BARRA      TENSÃO      VIOLACAO SHUNTBAR SHUNTLIN      SEVERIDADE
      NUM.  NOME  ARE  MIN  MOD.  MAX  (PU)  (Mvar)  (Mvar)
X-----X-----X-----X-----X-----X-----X-----X-----X
      93  TUBR2G23  1  0.900  1.102  1.100  0.002                *
      118 VCBR6  1  0.950  1.052  1.050  0.002  111.00                *

----- IND SEVER.      0.1 -----

```

Figura 8. Relatório de monitoração de tensão fornecido pelo ANAREDE (arquivo .PWF do dia teste)

Para corrigir os módulos das tensões nas barras 93 e 118, ajustou-se o reativo absorvido na barra 119 de -163 MVar para -180 MVar, a fim de reduzir o módulo da tensão na barra 119 para um valor menor que 1,054 p.u. de acordo com a informação contida na primeira variável crítica da árvore de decisão. Em seguida, tanto o módulo da tensão na barra 10 ( $V_{10}=1.012$ ) como potência reativa absorvida na barra 116 ( $Qg_{116}=25.87$ ) não foram ajustados, pois ambos atenderam as regras da árvore. Posteriormente, pela hierarquia das regras, foi realizado um ajuste no módulo da

tensão na barra 93 de 1,102 p.u. para 1,08 p.u., atendendo a regra estabelecida pela árvore de decisão. Por fim, não foi necessário ajustar a potência reativa na barra 76 ( $Qg_{76}=-132$  MVar), de acordo com a última regra da árvore de decisão, pois os resultados mostraram que o sistema já estava dentro dos limites de segurança.

*B. Estudo de Caso de Avaliação da Segurança Estática com Foco na Tensão Operativa - Saída da linha de transmissão IZCO-LT7-0101 (circuito 2) entre as barras 126 e 140*

Os arquivos PWF exportados pelo estimador de estado do SAGE foram utilizados para gerar a base de dados. Outros pontos de operação gerados foram baseados nesses casos pré-determinados.

Como parte da lista de contingências, considerou-se a saída da linha de transmissão (IZCO-LT7-0101) entre as barras 126 e 140 do sistema elétrico da Regional do Pará. Em seguida, a BD gerada foi utilizada para a criação da AD. Foram utilizados 70% dos dados para treino e 30% para teste.

Caso as regras da Árvore de Decisão circuladas pelo caminho tracejado em azul da figura 6 sejam adotadas quando a linha IZCO-LT7-0101 for desligada, o sistema evitará tensões inaceitáveis.

As regras encontradas pelo algoritmo são: Se  $V_{53} \leq 1,044$  p.u., e  $V_{93} \leq 1,10$  p.u., e  $V_{70} > 1,022$  p.u., e  $V_{10} \leq 1,019$  p.u., e  $V_{41} \leq 1,07$  p.u., então o sistema é seguro.

A “inteligência” contida nas regras desse ramo específico da árvore de decisão pode ser diretamente utilizada em tomada de ações preventivas, como o ajuste da injeção/absorção de reativos, ajustando assim um ponto de operação que estaria violando quaisquer umas das variáveis da AD da figura 9.

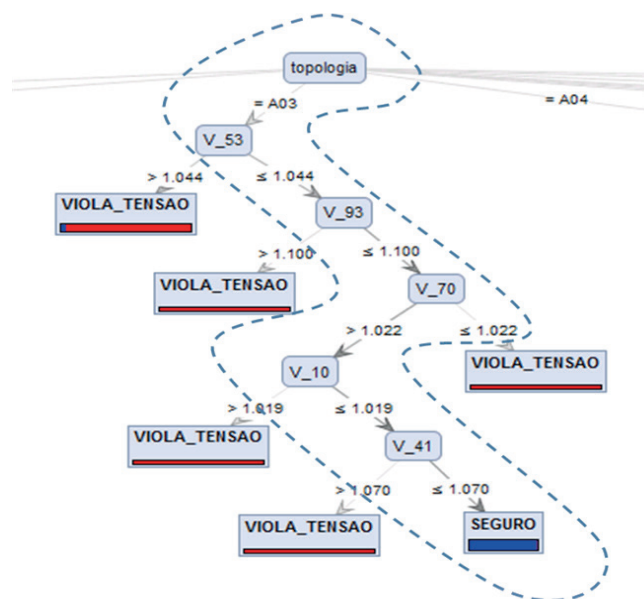


Figura 9. Ramo da árvore de decisão (AD) que se refere à topologia A03 do dia 08/11/2013, considerando a saída da linha de transmissão IZCO-LT7-0101.

A tabela II mostra a matriz confusão correspondente à árvore de decisão, a qual foi construída para fins de auxílio ao controle preventivo, quando a linha IZCO-



compõem as regras da árvore de decisão. Esse aspecto é interessante, pois a priori, sem o auxílio da árvore de decisão, o operador certamente realizaria o ajuste local de reativo em cada barra para corrigir a tensão. Porém, as barras 128 e 45 são do tipo PQ (barra de carga) e não possuem equipamentos com controle de tensão. Nesse caso, o operador teria que tomar outra ação (remota, por exemplo) para corrigir os módulos das tensões nas barras 128 e 45. Supondo ainda que existissem equipamentos com controle de tensão nas barras 128 e 45, seriam necessários três ajustes locais. Porém, com o auxílio da árvore de decisão foi necessário o ajuste de somente duas variáveis ( $V_{53}$  e  $V_{93}$ ), apesar do número de variáveis críticas da árvore ser maior que o número de barras com tensões violadas.

Outro aspecto interessante, é que o caso do dia 08/11 as 05:15hs (com o desligamento da linha IZCO-LT7-0101) representa um cenário de carga leve, com violação de tensão em três barras por sobretensão. Porém, a terceira regra da árvore de decisão, por ordem hierárquica, impõe que o módulo da tensão na barra 70 seja maior que 1,022 p.u. A princípio, aumentar o módulo da tensão em uma barra que possui controle seria uma medida controversa para reduzir a tensão em outras barras, o que não ocorre com o uso de tal regra.

### C. Controle Preventivo com foco na Melhoria da Estabilidade Transitória

Para os mesmos pontos operacionais usados na avaliação estática, associaram-se os dados dinâmicos da rede, utilizados para gerar a base de dados para fins de auxílio ao controle preventivo contra perturbações que pudessem levar o sistema à instabilidade transitória. Em seguida, uma BD foi gerada para posterior criação da árvore de decisão. Foram utilizados 70% dos dados para treino e 30% para teste.

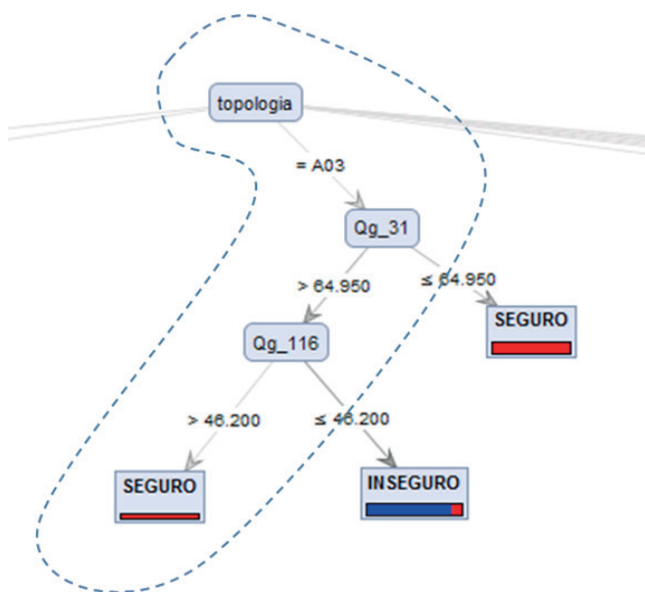


Figura 11.- Ramo da árvore de decisão que se refere à topologia A03 do dia 08/11/2013, para fins de auxílio ao controle preventivo de forma a garantir a estabilidade transitória

A árvore de decisão criada para a avaliação da segurança transitória em situações de grandes perturbações obteve precisão de 97,7% de acerto. A figura 11 apresenta

um ramo dessa árvore que avalia a estabilidade do sistema frente à ocorrência de curto-circuito próximo à linha IZPD-LT7-201. O caminho tracejado em azul contém as regras de decisão encontradas pelo algoritmo, para sejam adotadas de forma a aumentar a margem de estabilidade transitória do sistema, quais sejam: se  $Qg_{31} > 64,95$  MVar, e  $Qg_{116} \leq 46,2$  MVar. Nestas condições o sistema pode ser considerado seguro.

A inteligência contida nas regras desse ramo específico da árvore de decisão pode ser diretamente utilizada em tomada de ações preventivas como o ajuste da injeção/absorção de reativos ou re-despacho da geração, utilizando por exemplo um fluxo de carga ótimo com as variáveis críticas da árvore como as variáveis de controle.

A tabela 5.4 mostra a matriz confusão correspondente à árvore de decisão, a qual foi construída para fins de auxílio ao controle preventivo contra o fenômeno da instabilidade transitória no sistema em caso de ocorrência de um curto-circuito de 100ms próximo à linha IZPD-LT7-201. Os dados utilizados nas etapas de treino e teste correspondem à operação do dia 08/11/2013. Ambas as classes apresentaram excelentes desempenhos de classificação.

Acurácia: 97,70%		Classe Real		
		Seguro	Inseguro	Precisão de Classe
Classe Predita	Seguro	1303	22	98,35%
	Inseguro	16	304	95,00%
Classe Recall		98,76%	93,25%	

Tabela III. Matriz confusão da árvore de decisão para fins de auxílio ao controle preventivo, em caso de desligamento da saída da linha IZCO-LT7-0101

A figura 12 mostra o comportamento dinâmico do sistema elétrico da Eletrobrás Eletronorte (Regional Pará) quando um curto circuito de 100 ms ocorre próximo a linha IZPD-LT7-201, na topologia A03 do dia teste. Os resultados da figura 12 mostram que o sistema seria levado para uma instabilidade transitória, caso estivesse operando em tal cenário operativo.

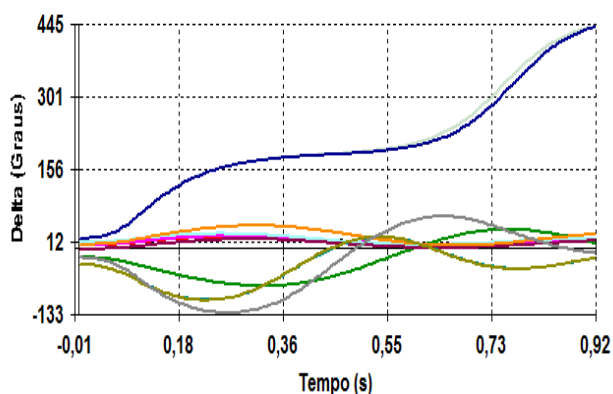


Figura 12. Comportamento dos ângulos dos rotores das máquinas síncronas conectadas ao sistema elétrico da Eletrobrás Eletronorte

Com a finalidade de prevenção contra a instabilidade transitória, verificou-se que a primeira regra da árvore de decisão estava sendo atendida, porém a segunda regra não, por isso o sistema foi iria ser levado à instabilidade. Portanto, um aumento na injeção de reativo na barra 116 de 39,1 MVAR para 59,58 MVAR foi efetuado, de acordo com a segunda da regra da árvore de decisão. Esse ajuste foi necessário para aumentar a tensão na barra 116. Após os ajustes baseados nas regras da árvore de decisão, uma simulação no domínio do tempo foi realizada no programa ANATEM. A figura 13 mostra que o ajuste solicitado pela árvore de decisão iria propiciar a manutenção da estabilidade transitória do sistema, caso ocorresse um curto-circuito próximo à linha IZPD-LT7-201 em determinado patamar de carga da topologia A03 do dia 08/11/2013.

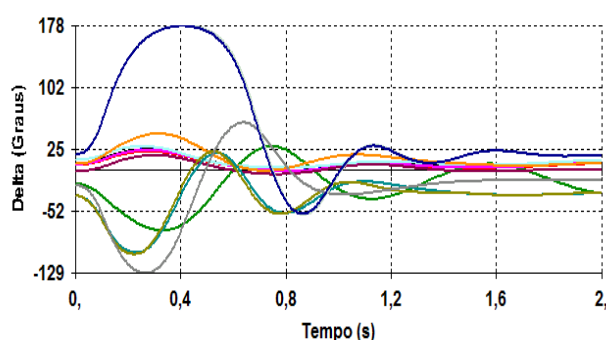


Figura 13 – Comportamento dos ângulos dos rotores das máquinas síncronas conectadas ao sistema elétrico da Eletrobrás Eletronorte, após o ajuste baseado nas regras da árvore de decisão

## 5 | CONCLUSÕES

Os resultados alcançados confirmaram a efetividade dos aplicativos e ferramentas desenvolvidos e indicam um grande potencial para a aplicação no ambiente de operação em tempo real, já que os níveis de acerto foram superiores a 95% nos testes de validação dos métodos baseados em árvore de decisão para suporte à operação em tempo real e ao controle preventivo para melhoria da segurança estática e dinâmica. Os testes foram realizados no sistema elétrico da Eletrobrás Eletronorte (Regional Pará) a partir de dados reais da base de dados do SAGE. Os resultados alcançados até então validam completamente os aplicativos e ferramentas desenvolvidos, e indicam um grande potencial para a aplicação no ambiente de operação em tempo real.

Esta abordagem exibe como ferramenta de auxílio a operação em tempo real dos sistemas elétricos, uma descrição sistêmica, com relação às variáveis críticas que afetam a segurança do sistema elétrico, para cada configuração topológica de operação. Ou seja, estando o sistema operando com uma dada configuração de rede e geração, a ferramenta exibe para o operador as variáveis críticas, cujos limites devem ser respeitados para que o sistema se mantenha seguro. O caráter sistêmico aqui é importante, pois, como ocorreu em muitos dos exemplos testados, o conjunto



de variáveis críticas pode estar distribuído por diversos pontos do sistema elétrico, muitas vezes em locais do sistema que não necessariamente seriam tão evidentes para a operação.

Outro aspecto de destaque é que em um sistema real tem-se um conjunto grande de variáveis a ser analisado simultaneamente para caracterizar a segurança do sistema, o que torna esta tarefa difícil e estressante para o operador. Com a ferramenta aqui proposta este conjunto se reduz significativamente e o operador pode ficar mais focado no acompanhamento das variáveis realmente críticas para a operação.

Por fim, este trabalho, resultado de um projeto de P&D entre a UFPA e Eletrobras Eletronorte que visa implantar o serviço como uma ferramenta adicional regular de operação no Centro de Controle do Estado do Pará. A implantação do serviço será dividida em dois ambientes de software totalmente integrado ao SCADA/SAGE da empresa, para trabalhar de maneira autônoma, isto é, sem necessidade de intervenções dos operadores nos processos. Um ambiente off-line onde, periodicamente, aos arquivos PWF exportados pelo estimador de estado serão acrescentados de alternativas prováveis de alteração topológica e de carga. Este conjunto servirá de base para o treinamento da DT. Em um segundo ambiente, on-line, um procedimento em tempo real, ficará aguardando por uma alteração topológica da rede ou, periodicamente, por uma alteração do estado do sistema, produzirá, de forma humanamente compreensível a AD treinada a cada instante e, dependendo da situação, oferecerá ao operador, na sua console de operação, sugestões operativas na forma de instruções de operação, apontando os pontos críticos que podem conduzir o sistema elétrico à região insegura e as alternativas de manobra ou de ajustes mais importantes para evitar.

## REFERÊNCIAS

K. Morison, L. Wang and P. Kundur, "Power System Security Assessment", IEEE Power & Energy Magazine, September/October, 2004.

Balu, N.; Bertram, T.; Bose, A.; Brandwajn, V.; Cauley, G.; Curtice, D.; Fouad, A.; Fink, L.; Lauby, M.G.; Wollenberg, B.F.; Wrubel, J.N., "On-line power system security analysis". Proceedings of the IEEE, Volume: 80. 1992

R. Diao, V. Vittal, N. Logic, "Design of a real-time security assessment tool for situational Awareness Enhancement in Modern Power Systems" IEEE Trans. Power Syst., vol. 25, no. 2, pp. 957–965, May 2010.

Genc, R. Diao, V. Vittal, S. Kolluri, S. Mandal, "Decision Tree-Based Preventive and Corrective Control Applications for Dynamic Security Enhancement in Power Systems," IEEE Trans. Power Systems, vol. 25, no. 3, pp. 1611–1619, Aug. 2010.

Wehenkel, L. A., Automatic Learning Techniques in Power Systems. Norwell, MA: Kluwer, 1998.

D. Srinivasan C. S. Chang A. C. Liew K. C. bong" POWER SYSTEM SECURITY ASSESSMENT AND ENHANCEMENT USING ARTIFICIAL NEURAL NETWORK", IEEE Catalogue No: 98EX137, 1998.

Kai Sun, Siddharth Likhate, Vijay Vittal, V. Sharma Kolluri, Sujit Mandal: "An Online Dynamic Security Assessment Scheme Using Phasor Measurements and Decision Trees", IEEE TRANSACTIONS ON POWER SYSTEMS, VOL. 22, NO. 4, NOVEMBER 2007

(6). Lin, Yu-Jen , "Prevention of transient instability employing rules based on back propagation based ANN for

series compensation", 2012

(7). Lin, Yu-Jen "Comparison of CART- and MLP-based power system transient stability preventive control", 2013

L. Breiman, J. Friedman, R. Olshen, and C. Stone, Classification and Regression Trees. London, U.K.: Chapman and Hall/CRC, 1984.

J. R. Quinlan , Machine Learning, Springer, Vol.01, Issue 01, 1986.

Gaia, D. S., Bernardes, B. C., Oliveira, W. D., Vieira, J. P. A., Ohana, I., Bezerra, U. H. "Uma Metodologia para Avaliação da Estabilidade Transitória em Tempo Real de Sistemas Elétricos de Potência Usando Árvore de Decisão", SEPOPE, Rio de Janeiro, 2012.

Oliveira, W. D., Gaia, D. S., Monteiro, F., Rodrigues, B. G. D., Vieira, J. P. A., Bezerra, U. H. "Comparação dos Algoritmos C4.5 e MLP aplicados a Avaliação da Segurança Dinâmica e ao Controle Preventivo no Contexto da Estabilidade Transitória", The 10th CLAGTEE, Vina del Mar, 2013.

Rodrigues, B. G. D., Gaia, D. S., Bernardes, B. C., Vieira, D. J. A., Oliveira, W. D., Vieira, J. P. A., Bezerra, U. H., Castro, V. "Monitoramento da Segurança Estática em Tempo Real de Sistemas Elétricos Utilizando Árvore de Decisão", SIMPASE, Belo Horizonte, 2013.

OHANA, I., VIEIRA, J. P. A., BEZERRA, U. H., PARDAUIL, A. A. B. "Técnicas de Mineração de Dados Aplicadas em Sistemas SCADA de Usinas Hidroelétricas". SNPTEE, Brasília, 2013.

Werboston D. Oliveira, João P.A. Vieira, Ubiratan H. Bezerra, Daniel A. Martins, Benedito das G. Rodrigues, Power system security assessment for multiple contingencies using multiway decision tree, Electric Power Systems Research, Volume 148, 2017, Pages 264-272, ISSN 0378-7796,

Agência Brasileira do ISBN  
ISBN 978-85-7247-087-2

