



Projeto de P&D

# Ambiente de Simulação para Planejamento de Termelétricas

## **Relatório Atividades**

### **Descrição:**

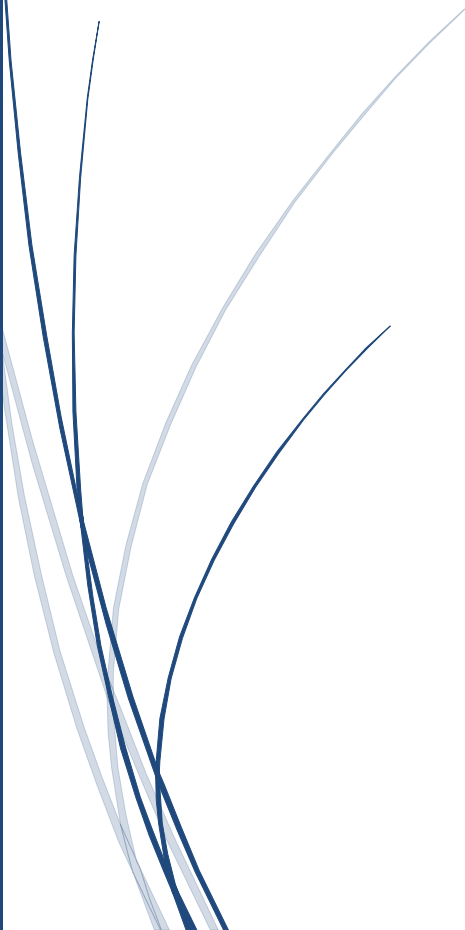
Relatório Final das Atividades Realizadas no Projeto

### **Relatório BORBOREMA**

F01-00 / Revisão 00

### **Código ANEEL**

PD-06471-0118/2018



# Projeto de P&D

Ambiente de Simulação para Planejamento de Termelétricas

Relatório Final

Atividades Realizadas no Projeto

**Relatório BORBOREMA**  
F01-00 / Revisão 00

Relatório Elaborado por:

---

**Germano Lambert-Torres**  
Coordenador do Projeto  
Instituto Gnarus

**Ricardo Schneeweiss de Farias**  
Gerente do Projeto  
Borborema Energética

# Sumário

<b>1</b>	<b>Introdução .....</b>	<b>1</b>
1.1	IDENTIFICAÇÃO DAS ENTIDADES E RESPECTIVAS EQUIPES EXECUTORAS .....	1
1.2	HISTÓRICO DA LINHA DE PESQUISA .....	3
<b>2.</b>	<b>Apresentação do Projeto .....</b>	<b>4</b>
2.1	JUSTIFICATIVA DO DESENVOLVIMENTO DO PROJETO .....	4
2.2	CONTEXTUALIZAÇÃO DA PESQUISA .....	5
2.3	OBJETIVOS DO PROJETO .....	6
2.4	RESULTADOS PRETENDIDOS .....	8
2.5	PALAVRAS-CHAVES .....	9
<b>3.</b>	<b>Etapas Desenvolvidas neste Projeto .....</b>	<b>10</b>
3.1	CRONOGRAMA DE ATIVIDADES .....	10
3.2	DESCRIÇÃO MENSAL DAS ETAPAS .....	12
3.2.1	Etapa 1 - Revisão Teórica do Estado da Arte.....	12
3.2.2	Etapa 2 - Montagem das Estruturas Lógicas (I).....	13
3.2.3	Etapa 3 - Estruturação do Conhecimento das Usinas Termelétricas (I).....	15
3.2.4	Etapa 4 - Desenvolvimento das Interfaces (I) .....	17
3.2.5	Etapa 5 - Testes Intermediários no Pacote Computacional.....	18
3.2.6	Etapa 6 - Montagem das Estruturas Lógicas (II).....	22
3.2.7	Etapa 7 - Estruturação do Conhecimento das Usinas Termelétricas (II) .....	23
3.2.8	Etapa 8 - Desenvolvimento do Módulo de Explicação .....	25
3.2.9	Etapa 9 - Desenvolvimento das Interfaces (II).....	31
3.2.10	Etapa 10 - Testes Finais no Pacote Computacional .....	35
3.2.11	Etapa 11 - Montagem da documentação final .....	35
3.2.13	Etapa 12 - Transferência Tecnológica.....	35
<b>4.</b>	<b>Fundamentação Teórica dos Desenvolvimentos Realizados.....</b>	<b>36</b>
4.1	DESCOBERTA DE CONHECIMENTO EM BASES DE DADOS.....	36
4.1.1	O que é a Descoberta de Conhecimento?.....	36
4.1.2	Estágios Operacionais do Processo da Descoberta de Conhecimento .....	37
4.1.3	Metodologia CRISP-DM.....	39
4.2	LÓGICAS MATEMÁTICAS .....	42
4.2.1	Lógica Fuzzy .....	42
4.2.1.1	Definição de Conjuntos Fuzzy .....	43
4.2.1.2	Intensificadores Linguísticos.....	46
4.2.1.3	Operações e Conjunções .....	47
4.2.1.4	Regras e Mapeamento .....	49
4.2.1.5	Comparação entre o Controle Convencional e o Controle Fuzzy de Processos .....	50
4.2.1.6	Exemplo da Construção de um Conjunto de Regras .....	51
4.2.1.7	O Processo de Controle .....	53
4.2.2	Lógica Paraconsistente .....	57
4.2.2.1	Histórico da Lógica Paraconsistente .....	59

4.2.2.2	Características da Lógica Paraconsistente.....	61
4.2.2.3	Lógica Paraconsistente Anotada - LPA .....	62
4.2.2.4	Aplicações da Lógica Paraconsistente .....	65
4.2.3	Lógica dos Conjuntos Aproximados .....	67
4.2.3.1	Conceitos Fundamentais .....	67
4.2.3.2	Métricas de Conjuntos Aproximados .....	71
4.3	MODELAGEM DO CONHECIMENTO VIA LÓGICA MATEMÁTICA .....	75
4.3.1	Considerações Iniciais.....	75
4.3.2	Princípios Fundamentais .....	76
4.3.3	Lógica Fuzzy na Lógica Matemática .....	79
4.3.4	Lógica de 3 Estados.....	80
4.3.5	Representação do Indefinido na Lógica Fuzzy .....	82
4.3.6	Lógica Paraconsistente na Lógica Matemática .....	83
4.3.7	Outras Considerações .....	90
4.4.	PROCESSO DE ANÁLISE HIERÁRQUICA .....	91
4.4.1.	Considerações Iniciais.....	92
4.4.2.	Elementos Fundamentais.....	94
4.4.3.	Estrutura Hierárquica .....	95
4.4.4	Exemplo Passo a Passo .....	97
4.4.5	Variações no Método AHP .....	101
<b>5.</b>	<b>Contribuições e Originalidade do Projeto .....</b>	<b>104</b>
5.1	ESTUDO DE ANTERIORIDADE.....	104
5.2	CONTRIBUIÇÃO TEÓRICA AO ESTADO-DA-ARTE .....	108
5.2.1	Lógica Paraconsistente Anotada de Dois Valores – LPA2v .....	109
5.2.1.1	Conectivos Lógicos da LPA2v.....	112
5.2.1.2	Proposições Mal-comportadas .....	115
5.2.1.3	Considerações Importantes .....	117
5.2.2	Análise de Inconsistências .....	118
5.2.2.1	Índice de Consistência.....	118
5.2.2.2	Índice de Consistência Aleatória (Randômico).....	119
5.2.2.3	Grau de Inconsistência .....	119
5.2.3	Modelagem do Processo de Tomada de Decisão .....	120
5.3.1.1	Avaliação das Alternativas.....	121
5.3.1.2	Escala Fundamental.....	122
5.3.1.3	Vetor de Ordenação.....	124
5.3.1.4	A Matriz de Avaliação e o Grau de Inconsistência.....	126
5.3	ORIGINALIDADE DOS PRODUTOS DESENVOLVIDOS .....	127
<b>6.</b>	<b>Aplicabilidade e Abrangência do Projeto .....</b>	<b>131</b>
6.1	APLICABILIDADE DOS PRODUTOS DESENVOLVIDOS .....	131
6.1.1	Produto 1: Programa SimUTE - Ambiente de Simulação para Tomada de Decisão em Usinas Termelétricas .....	131
6.1.1.1	Área de Trabalho .....	132
6.1.1.2	Modelo de Decisão.....	136
6.1.1.3	Avaliação e Priorização.....	141
6.2.1.4	Decisão Final e Relatórios.....	146
6.1.2	Produto 2: Ambiente 3D para Auxílio no Planejamento de Usinas Termelétricas .....	150

6.1.2.1	Hardware Utilizado no Desenvolvimento .....	151
6.1.2.2	Ambiente de Simulação para Planejamento Termelétrico .....	159
6.1.2.3	Objetos Manipuláveis .....	173
6.1.3	Produto 3: Ambiente de Análise e Gestão Financeira para Tomada de Decisão em Usinas Termelétricas .....	180
6.1.3.1	Instalação do Programa .....	181
6.1.3.2	Tipos de Usuários .....	182
6.1.3.3	Usuário Padrão .....	183
6.2.3.4	Usuário Integrador .....	188
6.2.3.5	Usuário Administrador .....	195
6.2	TESTES DE FUNCIONALIDADE .....	196
6.2.1	Aplicação Geral do Programa SimUTE .....	197
6.2.2	Aplicação Específica do Programa SimUTE .....	205
6.2.3	Aplicação com Logística Rodoviária .....	216
6.2.4	Aplicação com Logística por Gasodutos .....	220
<b>7.</b>	<b>Contribuições e Relevância do Projeto .....</b>	<b>225</b>
7.1	CONTRIBUIÇÕES E IMPACTOS ECONÔMICOS .....	225
7.1.1	Contribuições e Impactos Econômicos ligados à Produtividade .....	226
7.1.2	Contribuições e Impactos Econômicos ligados à Qualidade do Fornecimento .....	228
7.1.3	Contribuições e Impactos Econômicos ligados à Gestão de Ativos .....	229
7.1.4	Contribuições e Impactos Econômicos ligados ao Mercado de Energia .....	230
7.1.5	Contribuições e Impactos Econômicos ligados à Eficiência Energética .....	231
7.2	CONTRIBUIÇÕES E IMPACTOS TECNOLÓGICOS .....	232
7.2.1	Contribuições e Impactos Tecnológicos relacionados à Infraestrutura Laboratorial .....	232
7.2.2	Contribuições e Impactos Tecnológicos relacionados à Propriedade Industrial .....	235
7.2.3	Contribuições e Impactos Tecnológicos relacionados ao Registro de Programas Computacionais .....	239
7.2.3.1	SimUTE - Ambiente de Simulação para Tomada de Decisão em Usinas Termelétricas .....	239
7.2.3.2	Ambiente 3D para Auxílio no Planejamento de Usinas Termelétricas .....	240
7.2.3.3	Ambiente de Análise e Gestão Financeira para Tomada de Decisão em Usinas Termelétricas .....	241
7.2.4	Contribuições e Impactos Tecnológicos relacionados à Transferência de Conhecimento e à Capacitação Técnica e Tecnológica .....	243
7.3	CONTRIBUIÇÕES CIENTÍFICAS .....	244
7.3.1	Contribuições Científicas relacionadas à Produção Técnico-Científica .....	244
7.3.2	Contribuições Científicas relacionadas à Titulação em Programas de Pós-Graduação .....	246
7.3.2.1	Memorial de Cálculo Implementado no Programa de Realidade Virtual .....	246
7.3.2.2	Cálculo das Tarifas Implementado no Programa de Realidade Virtual .....	251
7.3.2.3	Estrutura das Logísticas .....	253
7.4	CONTRIBUIÇÕES E IMPACTOS SOCIOAMBIENTAIS .....	254
7.4.1	Contribuições e Impactos Socioambientais relacionados aos Riscos e Impactos Ambientais .....	254
7.4.2	Contribuições e Impactos Socioambientais relacionados aos Riscos e Impactos Sociais .....	255

7.4.3	Contribuições e Impactos Socioambientais relacionados ao Desenvolvimento de Novas Atividades Socioeconômicas.....	255
7.4.4	Contribuições e Impactos Socioambientais relacionados aos Benefícios para a Sociedade .....	256
<b>8.</b>	<b>Recursos Empregados e Justificativas .....</b>	<b>258</b>
8.1	RELAÇÃO DOS VALORES DAS RUBRICAS DAS EXECUTORAS.....	258
8.2	CARGA HORÁRIA DOS PESQUISADORES DO PROJETO DAS EXECUTORAS .....	259
8.3	DESPESAS DA RUBRICA MATERIAL DE CONSUMO .....	261
8.4	DESPESAS DA RUBRICA DE MATERIAIS PERMANENTES E EQUIPAMENTOS .....	262
8.5	DESPESAS DA RUBRICA DE SERVIÇO DE TERCEIROS.....	262
8.6	DESPESAS DA RUBRICA DE DIÁRIAS E VIAGENS.....	263
8.7	DESPESAS DA RUBRICA OUTROS .....	264
8.8	RELAÇÃO DAS NOTAS FISCAIS EMITIDAS PELO INSTITUTO GNARUS E IATI .....	267
<b>9.</b>	<b>Razoabilidade dos Custos.....</b>	<b>269</b>
9.1	ESTUDO DE VIABILIDADE ECONÔMICA.....	269
<b>10.</b>	<b>Conclusões.....</b>	<b>272</b>
<b>11.</b>	<b>Anexos .....</b>	<b>279</b>
11.1	PEDIDO DE PATENTE DE INVENÇÃO JUNTO AO INPI .....	279
11.2	REGISTRO DE PROGRAMA COMPUTACIONAL 1 .....	320
11.3	REGISTRO DE PROGRAMA COMPUTACIONAL 2 .....	342
11.4	REGISTRO DE PROGRAMA COMPUTACIONAL 3 .....	353
11.5	SLIDES DO PROCESSO DE TRANSFERÊNCIA TECNOLÓGICA .....	364
11.6	ARTIGO NA BRAZILIAN ARCHIVES OF BIOLOGY AND TECHNOLOGY .....	410
11.7	NOTAS FISCAIS DA RUBRICA MATERIAL DE CONSUMO.....	427
11.8	NOTAS FISCAIS DA RUBRICA SERVIÇOS DE TERCEIROS.....	431
11.9	NOTAS FISCAIS DA RUBRICA VIAGENS E DIÁRIAS.....	442
11.10	NOTAS FISCAIS DA RUBRICA OUTROS .....	454
11.11	NOTAS FISCAIS EMITIDAS PELO INSTITUTO GNARUS .....	457
11.12	NOTAS FISCAIS EMITIDAS PELO IATI .....	479