



Projeto de P&D

Máquina de Inferência para Estimação do Grau de Desgaste de Unidade Motogeradora a partir do Conhecimento de seu Regime de Operação

Relatório Atividades

Descrição:

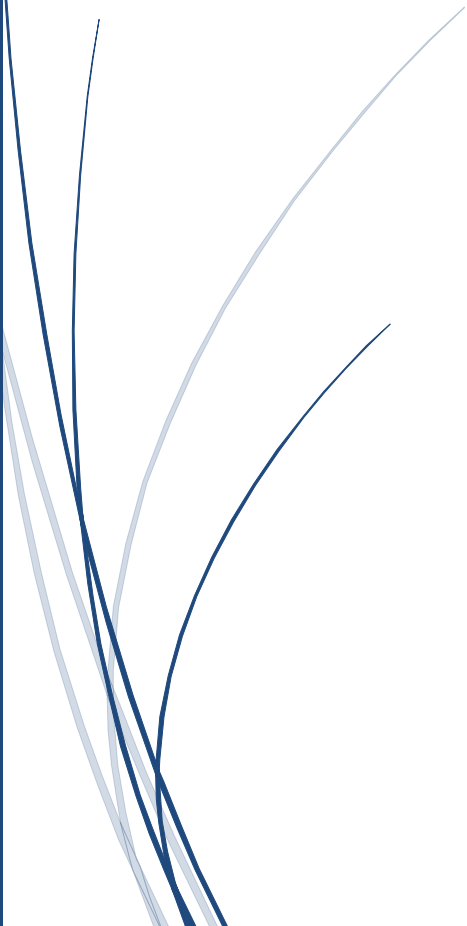
Relatório Final das Atividades Realizadas
no Projeto

Relatório RAESA

F01-00 / Revisão 00

Código ANEEL

PD-05690-0118



Projeto de P&D

Máquina de Inferência para Estimação do Grau de Desgaste de Unidade Motogeradora a partir do Conhecimento de seu Regime de Operação

Relatório Final

Atividades Realizadas no Projeto

Relatório RAESA F01-00 / Revisão 00

Relatório Elaborado por:

Erik Leandro Bonaldi
Coordenador do Projeto
Instituto Gnarus

Sandro Fernandes de Souza
Gerente do Projeto
RAESA

Sumário

1	INTRODUÇÃO.....	1
1.1	IDENTIFICAÇÃO DAS ENTIDADES E RESPECTIVAS EQUIPES EXECUTORAS.....	1
1.2	HISTÓRICO DA LINHA DE PESQUISA.....	3
2.	APRESENTAÇÃO DO PROJETO	5
2.1	OBJETIVO DO PROJETO.....	5
2.2	PALAVRAS-CHAVES.....	5
2.3	JUSTIFICATIVA DO DESENVOLVIMENTO DO PROJETO.....	5
2.4	RESULTADOS PRETENDIDOS E ALCANÇADOS	7
2.5	METODOLOGIA ADOTADA NO PROJETO.....	7
2.6	ESTUDO DE ANTERIORIDADE	8
2.6.1	Base de Projetos da ANEEL.....	8
2.6.2	Banco de Patentes do INPI.....	11
2.6.3	Banco de Patentes dos Estados Unidos da América USPTO	12
2.7	ESTADO-DA-ARTE DA ÁREA DO PROJETO.....	13
2.8	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	15
3.	ETAPAS DESENVOLVIDAS NESTE PROJETO.....	17
3.1	CRONOGRAMA DE ATIVIDADES	17
3.2	DESCRIÇÃO MENSAL DAS ETAPAS.....	19
3.2.1	Etapa 1 - Revisão teórica do estado da arte acerca do tema e estudo das técnicas matemáticas, estatísticas e inteligentes	19
3.2.2	Etapa 2 - Análise estatística para Seleção e Simulação das técnicas matemáticas inteligentes	20
3.2.3	Etapa 3 - Levantamento dos parâmetros disponíveis na usina, seja nos supervisórios, sistemas de monitoramento isolados e relatórios de manutenção.....	21
3.2.4	Etapa 4 - Identificação dos parâmetros indicativos de estresse e sua metodologia de medição	25
3.2.5	Etapa 5 - Identificação dos parâmetros indicativos de desgaste e sua metodologia de medição.....	25
3.2.6	Etapa 6 - Projeto e programação da interface com os supervisórios da planta, sistemas de monitoramento e relatórios de manutenção disponíveis.....	26
3.2.7	Etapa 7 - Desenvolvimento e programação dos algoritmos da máquina de inferência	29
3.2.8	Etapa 8 - Validação da máquina de inferência baseado em dados históricos	37
3.2.9	Etapa 9 - Análise da correlação entre os parâmetros indicativos de estresse e de desgaste.....	49
3.2.10	Etapa 10 - Instalação da máquina de inferência na usina e acompanhamento da performance	56
3.2.11	Etapa 11 - Correções e ajustes necessários	134

3.2.12	Etapa 12 - Montagem da documentação final	143
3.2.13	Etapa 13 - Transferência tecnológica	144
4.	FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA DOS DESENVOLVIMENTOS REALIZADOS.....	145
4.1	APRESENTAÇÃO DA UTE CRISTIANO ROCHA.....	145
4.2	CONCEITOS FUNDAMENTAIS DE ANÁLISE ESTATÍSTICA	151
4.2.1	Conceito de Média Aritmética	151
4.2.2	Desvio Padrão Populacional e Amostral	152
4.2.3	Z-score.....	153
4.2.4	Diagrama de Controle	153
4.2.5	Testes de Normalidade	159
4.2.5.1	Métodos Visuais.....	160
4.2.5.2	Testes Estatísticos	163
4.2.6	Teorema Central do Limite.....	167
4.2.6.1	Demonstração que $E[Z_N] = 0$	169
4.2.6.2	Demonstração que $var[Z_N] = 1$	170
4.2.6.3	Demonstração que $Z_N \rightarrow \mathcal{N}(0,1)$	171
4.3	REGRAS DE NELSON	175
4.3.1	Regra 1	175
4.3.2	Regra 2.....	177
4.3.3	Regra 3.....	178
4.3.4	Regra 4.....	179
4.3.5	Regra 5.....	180
4.3.6	Regra 6.....	181
4.3.7	Regra 7.....	182
4.3.8	Regra 8.....	184
5.	APRESENTAÇÃO DA METODOLOGIA DESENVOLVIDA E IMPLEMENTADA NA UTE CRISTIANO ROCHA	187
5.1	ANÁLISE DESCRITIVA DAS FALHAS	187
5.1.1	Análise do Número de Falhas.....	187
5.1.2	Tempo Médio para Reparo (MTTR).....	195
5.2	ANÁLISE DE MOTIVO DE PARADA.....	198
5.2.1	Motivo de Parada por Motor.....	199
5.2.2	Motivo de Parada por Sistema.....	199
5.3	ANÁLISE DA PERDA DE ENERGIA GERADA.....	200
5.3.1	Perda de Energia por Mês	200
5.3.2	Perda de Energia por Motor	201
5.3.3	Perda de Energia por Mês por Motor.....	201
5.3.4	Perda de Energia por Sistema.....	202
5.3.5	Perda de Energia por Sistema por Motor	202
5.4	HIERARQUIA DE SISTEMAS.....	203
5.5	VARIÁVEIS DISPONÍVEIS NO SUPERVISÓRIO.....	207
5.5.1	Sistemas Comuns	207
5.5.2	Sistemas Motogeradores	216
5.6	VARIÁVEIS SELECIONADAS.....	227
5.6.1	Sistema de Lubrificação	229

5.6.2	Sistema de Arrefecimento	231
5.6.3	Sistema de Ar de Carga	233
5.6.4	Sistema Motogerador	234
5.6.5	Sistema de Gás	236
5.6.6	Temperatura nos Cilindros	237
5.7	ACESSO AO BANCO DE DADOS E SEUS PROTOCOLOS DE COMUNICAÇÃO	246
5.7.1	Medição de Parâmetros via o Supervisório	246
5.7.1.1	Medição via SuiteLink	246
5.7.1.2	Função de Time Stamping	247
5.7.1.3	Função de Flag de Qualidade	247
5.7.1.4	Valores de Status do Servidor de E/S	250
5.7.2	Protocolos de Comunicação via DDE	252
5.7.2.1	FastDDE	253
5.7.2.2	NetDDE	253
5.7.2.3	Configuração do NetDDE no Windows NT	253
5.7.2.4	Compartilhamentos DDE	255
5.7.1	Interface de Tags do Supervisório Intouch	257
5.7.1.1	Interface de Tags	258
5.7.1.2	Tipos de Tags	259
5.7.1.3	Tipos de dados	260
5.7.1.4	Tags de Sistema e Tags de Usuário	261
5.7.1.5	Tags indiretas	262
5.7.1.6	Super Tags	263
5.7.1.7	Tags remotas	263
5.7.2	Servidor de Failover	265
5.7.3	Propriedades das Tags	266
5.7.3.1	Limites de dados	267
5.7.3.2	Deadbands	268
5.7.3.3	Retenção de valor	269
5.7.4	Inventário de Tags	269
5.7.5	Exportação e Importação de Listas de Tags	270
5.7.6	Histórico de Dados	271
5.7.6.1	Estrutura da pasta LGH	272
5.7.6.2	Conteúdo dos arquivos LGH	272
5.7.6.3	Estrutura da pasta CSV	273
5.7.6.4	Dicionário de Tags convertidas	274
5.8	PARÂMETROS INDICATIVOS DE ESTRESSE E DESGASTE	274
5.8.1	Parâmetros Indicativos de Estresse	274
5.8.2	Acumulação dos parâmetros indicativos de Estresse	276
5.8.3	Exemplo de um Modelo para Temperatura	282
5.8.4	Exemplo Ilustrativo	286
5.9	REGRAS DE NELSON ADAPTADAS	291
5.9.1	Regra Adaptada #0	291
5.9.2	Regra Adaptada #1	292
5.9.3	Regra Adaptada #2	293
5.9.4	Regra Adaptada #3	294
5.9.5	Regra Adaptada #4	295
5.9.6	Regra Adaptada #5	296
5.9.7	Regra Adaptada #6	297
5.9.8	Regra Adaptada #7	298
5.10	REGRAS DE NELSON ADAPTADAS NO TEMPO	299
5.11	MELHORIAS PRODUZIDAS APÓS A INSTALAÇÃO DO SISTEMA	301
5.11.1	Matrizes Modelo dos Sistemas	301

5.11.1.1	Sistema de Óleo Lubrificante	302
5.11.1.2	Sistema de Água de Arrefecimento	303
5.11.1.3	Sistema de Óleo Combustível	305
5.11.1.4	Sistema de Turbinas	306
5.11.1.5	Sistema de Ar de Admissão	308
5.11.1.6	Sistema de Mancais	309
5.11.1.6	Sistema de Cilindros	311
5.11.1.7	Sistema de Gases de Exaustão	316
5.11.1.8	Sistema do Gerador	317
5.11.1.9	Sistema de Gás Natural	318
5.11.1.10	Sistema “Outros”	318
5.11.2	Resultados do Histórico 2019	319
5.11.2.1	Resultados do Motor 01	319
5.11.2.2	Resultados do Motor 02	323
5.11.2.3	Resultados do Motor 03	327
5.11.2.4	Resultados do Motor 04	331
5.11.2.5	Resultados do Motor 05	335
5.12	SOFTWARE E SUPERVISÓRIO DESENVOLVIDOS	339
5.12.1	Software da máquina de inferência	339
5.12.1.1	Descrição do Software principal	341
5.12.1.2	Telas do software principal	343
5.12.1.2	Software supervisorio	364
5.12.2	Instalação de Máquina de Inferência	373
5.13	CORREÇÕES E AJUSTES FINAIS	374
5.13.1	Ajustes na metodologia	374
5.13.1.1	Visão Geral da Máquina	375
5.13.1.2	Visão de Sistema	376
5.13.1.3	Visão do Motor por Sistemas	377
5.13.1.4	Cálculo do Grau de Estresse	378
5.13.2	Melhorias no software de Análise de Dados	380
5.13.3	Ajustes no Software Supervisorio	389
6.	CONTRIBUIÇÕES E ORIGINALIDADE DO PROJETO	393
6.1	CONTRIBUIÇÃO AO ESTADO-DA-ARTE	393
6.2	ORIGINALIDADE DO SISTEMA DESENVOLVIDO	394
6.2.1	Inexistência de Produto Similar no Mercado	395
6.2.2	Metodologia de Análise e Modelagem	395
6.2.2.1	Modelo Matricial dos Motores	396
6.2.2.2	Modelo do Sistema de Lubrificação	402
6.2.2.3	Modelo do Sistema de Resfriamento	407
6.2.2.4	Modelo do Sistema de Combustível	410
6.2.2.5	Modelo do Sistema de Compressão de Ar	414
6.2.2.6	Modelo do Sistema de Turbinas	417
6.2.2.2	Aprimoramento da Metodologia	420
6.2.3	Contribuição aos Programas de Manutenção da UTE	421
7.	APLICABILIDADE DO PROJETO	422
7.1	ABRANGÊNCIA DA APLICAÇÃO	422
7.2	TESTES DE FUNCIONALIDADE	422
7.2.1	Simulações Computacionais	423
7.2.2	Testes em Ambiente Controlado de Laboratório	423
7.2.3	Testes com Dados Reais	424

7.3.2.1	Exemplos de Teste Real com Dados de Campo	425
8.	CONTRIBUIÇÕES E RELEVÂNCIA DO PROJETO	431
8.1	CONTRIBUIÇÕES E IMPACTOS ECONÔMICOS	431
8.1.1	Contribuições e Impactos Econômicos ligados à Produtividade.....	431
8.1.2	Contribuições e Impactos Econômicos ligados à Qualidade do Fornecimento.....	433
8.1.3	Contribuições e Impactos Econômicos ligados à Gestão de Ativos	433
8.1.4	Contribuições e Impactos Econômicos ligados ao Mercado de Energia	434
8.1.5	Contribuições e Impactos Econômicos ligados à Eficiência Energética	434
8.2	CONTRIBUIÇÕES E IMPACTOS TECNOLÓGICOS	435
8.2.1	Contribuições e Impactos Econômicos relacionados à Infraestrutura Laboratorial....	435
8.2.2	Contribuições e Impactos Econômicos relacionados à Propriedade Industrial	436
8.2.3	Contribuições e Impactos Econômicos relacionados à Transferência de Conhecimento e à Capacitação Técnica e Tecnológica.....	440
8.3	CONTRIBUIÇÕES CIENTÍFICAS.....	441
8.3.1	Contribuições Científicas relacionadas à Produção Técnico-Científica.....	441
8.3.2	Contribuições Científicas relacionadas à Titulação em Programas de Pós-Graduação	444
8.4	CONTRIBUIÇÕES E IMPACTOS SOCIOAMBIENTAIS	445
8.4.1	Contribuições e Impactos Socioambientais relacionados aos Riscos e Impactos Ambientais.....	445
8.4.2	Contribuições e Impactos Socioambientais relacionados aos Riscos e Impactos Sociais	445
8.4.3	Contribuições e Impactos Socioambientais relacionados ao Desenvolvimento de Novas Atividades Socioeconômicas	446
8.4.4	Contribuições e Impactos Socioambientais relacionados aos Benefícios para a Sociedade.....	447
9.	RECURSOS EMPREGADOS E JUSTIFICATIVAS E ESTUDO DA VIABILIDADE ECONÔMICA	449
9.1	RELAÇÃO DOS VALORES DAS RUBRICAS DAS EXECUTORAS	449
9.2	CARGA HORÁRIA DOS PESQUISADORES DO PROJETO DAS EXECUTORAS.....	449
9.3	DESPESAS DA RUBRICA DE MATERIAL DE CONSUMO	451
9.4	DESPESAS DA RUBRICA DE MATERIAL PERMANENTE E EQUIPAMENTOS	452
9.5	DESPESAS DA RUBRICA DE SERVIÇO DE TERCEIROS	452
9.6	DESPESAS DA RUBRICA DE VIAGENS E DIÁRIAS	453
9.7	DESPESAS DA RUBRICA OUTROS	453
9.8	RELAÇÃO DAS NOTAS FISCAIS EMITIDAS PELO INSTITUTO GNARUS E IATI	455
10.	RAZOABILIDADE DOS CUSTOS E ESTUDO DE VIABILIDADE ECONÔMICA	456
10.1	ESTUDO DE VIABILIDADE ECONÔMICA	456
11.	CONCLUSÕES.....	458

12. ANEXOS	465
12.1 PEDIDO DE PATENTE DE INVENÇÃO JUNTO AO INPI	465
12.2 SLIDES DO PROCESSO DE TRANSFERÊNCIA TECNOLÓGICA	520
12.3 ARTIGO NA REVISTA ENERGIES	548
12.4 ARTIGO NO CONGRESSO THE 13TH LATIN-AMERICAN CONGRESS NON ELECTRICITY GENERATION AND TRANSMISSION – CLAGTEE 2019	566
12.5 ARTIGO NO CONGRESSO 15TH WORLD CONGRESS ON ENGINEERING ASSET MANAGEMENT, WCEAM-2021	574
12.6 EXAME DE QUALIFICAÇÃO DA TESE DE DOUTORADO (PÁGINAS INICIAIS)	585
12.7 DOCUMENTOS DA DISSERTAÇÃO DE MESTRADO EM ANDAMENTO	606
12.8 NOTAS FISCAIS DA RUBRICA MATERIAL DE CONSUMO	625
12.9 NOTAS FISCAIS DA RUBRICA SERVIÇO DE TERCEIROS	632
12.10 NOTAS FISCAIS DA RUBRICA VIAGENS E DIÁRIAS	634
12.11 NOTAS FISCAIS DA RUBRICA OUTROS	643
12.12 NOTAS FISCAIS EMITIDAS PELO INSTITUTO GNARUS	651
12.13 NOTAS FISCAIS EMITIDAS PELO IATI	660