



Projeto de P&D

# Nacionalização de Sistema para Monitoramento da Condição e Otimização da Operação de Motores de Combustão Interna

## **Relatório Atividades**

### **Descrição:**

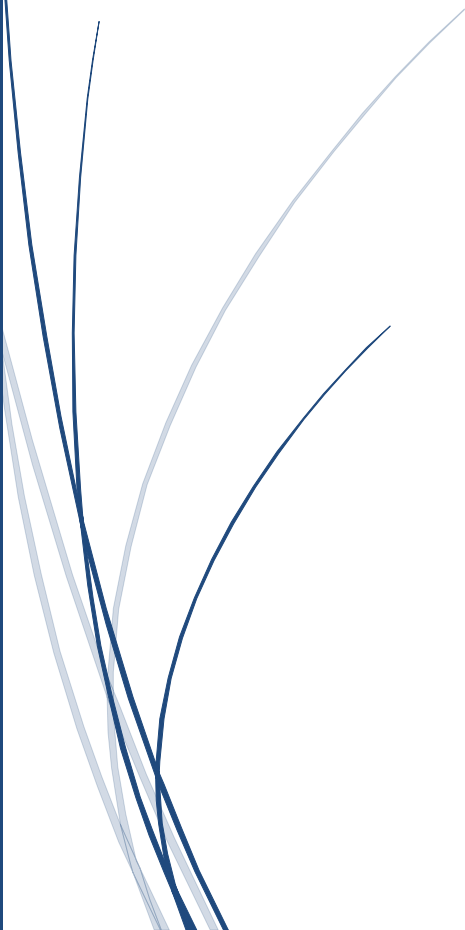
Relatório Final das Atividades Realizadas  
no Projeto

### **Relatório RAESA**

F01-00 / Revisão 00

### **Código ANEEL**

PD-05690-0218



# Projeto de P&D

## Nacionalização de Sistema para Monitoramento da Condição e Otimização da Operação de Motores de Combustão Interna

### 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

<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>5</b>
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 .....	8
2.5	METODOLOGIA ADOTADA NO PROJETO.....	8
2.6	ESTUDO DE ANTERIORIDADE.....	9
2.7	ESTADO-DA-ARTE DA ÁREA DO PROJETO .....	10
2.8	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	13
<b>3.</b>	<b>ETAPAS DESENVOLVIDAS NESTE PROJETO.....</b>	<b>15</b>
3.1	CRONOGRAMA DE ATIVIDADES.....	15
3.2	DESCRIÇÃO MENSAL DAS ETAPAS.....	17
3.2.1	Etapa 1 - Revisão teórica do estado da arte acerca do tema .....	17
3.2.2	Etapa 2 - Especificação do laboratório de testes .....	21
3.2.3	Etapa 3 - Especificação dos transdutores de pressão interna do cilindro, ultrassom e velocidade angular instantânea e aquisição de amostras .....	26
3.2.4	Etapa 4 - Especificação do sistema de aquisição de dados e aquisição de amostras .....	37
3.2.5	Etapa 5 - Montagem do laboratório de testes e integração do sistema de medição.....	38
3.2.6	Etapa 6 - Realização de ensaios, análise dos resultados e comparação com os resultados de equipamentos de mercado .....	51
3.2.7	Etapa 7 - Desenvolvimento de software .....	66
3.2.8	Etapa 8 - Desenvolvimento de hardware.....	78
3.2.9	Etapa 9 - Teste do protótipo em laboratório .....	87
3.2.10	Etapa 10 - Instalação em campo em uma das máquinas da usina .....	97
3.2.11	Etapa 11 - Acompanhamento das medições.....	122
3.2.12	Etapa 12 - Montagem da documentação final .....	133
3.2.13	Etapa 13 - Transferência tecnológica .....	134
<b>4.</b>	<b>ESPECIFICAÇÃO DOS TRANSDUTORES.....</b>	<b>135</b>
4.1	TRANSDUTORES DE PRESSÃO INTERNA DO CILINDRO.....	136

4.2	TRANSDUTOR DE ULTRASSOM .....	142
4.3	TRANSDUTOR DE VELOCIDADE ANGULAR INSTANTÂNEA .....	143
4.4	TRANSDUTOR DE POSIÇÃO INSTALADO NO BALANCIM.....	144
<b>5.</b>	<b>ESPECIFICAÇÃO DO SISTEMA DE AQUISIÇÃO DE DADOS .....</b>	<b>147</b>
5.1	SISTEMA DE AQUISIÇÃO DOS DADOS DO SENSOR DE PRESSÃO.....	147
5.2	SISTEMA DE AQUISIÇÃO DOS DADOS DO SENSOR DE TEMPERATURA .....	149
5.3	SISTEMA DE AQUISIÇÃO DOS DADOS DO ENCODER DE VELOCIDADE INSTANTÂNEA....	150
5.4	SISTEMA DE AQUISIÇÃO DOS DADOS DO SENSOR ULTRASSOM.....	150
5.5	AQUISIÇÃO DOS KITS DE DESENVOLVIMENTO .....	152
5.5.1	Sistema de Aquisição.....	152
5.5.2	Modulo de Comunicação WiFi.....	153
<b>6.</b>	<b>DESENVOLVIMENTO DOS HARDWARES DE AQUISIÇÃO .....</b>	<b>155</b>
6.1	DESCRIÇÃO DO HARDWARE E CIRCUITOS.....	155
6.1.1	Sistema de Aquisição.....	157
6.1.2	Comunicação USB .....	160
6.1.3	Alimentação, Reset e Indicadores .....	162
6.1.4	Transmissão RF e Terminais de Interface.....	164
6.2	DESCRIÇÃO DO PCB .....	165
6.2.1	Camada Superior de Cobre .....	166
6.2.2	Camadas Intermediária 1 e Intermediária 2 .....	167
6.2.3	Camadas Inferior .....	168
6.3	DESENVOLVIMENTO DO HARDWARE CENTRAL .....	169
6.3.1	Esquemático do Hardware Central .....	169
6.3.2	PCB Hardware Central.....	170
<b>7.</b>	<b>CONTRIBUIÇÕES E ORIGINALIDADE DO PROJETO .....</b>	<b>173</b>
7.1	PRODUTOS IMPORTADOS SUBSTITUÍDOS.....	174
7.1.1	Principais Equipamentos Disponíveis no Mercado .....	175
7.1.1.1	MarPrime e MarPrime Ultra.....	175
7.1.1.2	LEMAG ECI.....	177
7.1.1.3	DPI-2 e DPI Type 50 .....	178
7.1.1.4	MDS-4000, MDS-4500 e ALPHABOX.....	179
7.1.1.5	Kistler - Closed Loop Combustion Control.....	180
7.1.1.6	ICON DK-200 .....	180
7.1.1.7	ONO SOKKI DS-3000 .....	181
7.1.1.8	Wärtsilä Intelligent Combustion Monitoring.....	182
7.1.1.6	Análise dos Equipamentos Disponíveis.....	182
7.1.2	Apresentação das Partes do Equipamento Nacionalizado .....	187
7.1.2.1	Sensor de Pressão.....	187
7.1.2.2	Sensor de Velocidade Instantânea.....	191
7.1.2.3	Sensor de Posição das Válvulas .....	192

7.1.2.4	Apresentação do Software Desenvolvido para o Equipamento Nacionalizado .....	193
7.2.1.2	Descrição das Abas .....	196
7.2.1.3	Configuração de Motores .....	200
7.2	ORIGINALIDADE DO EQUIPAMENTO DESENVOLVIDO .....	206
<b>8.</b>	<b>APLICABILIDADE DO PROJETO.....</b>	<b>207</b>
8.1	ABRANGÊNCIA DA APLICAÇÃO.....	207
8.2	TESTES DE FUNCIONALIDADE.....	208
8.2.1	Testes em Ambiente Controlado de Laboratório .....	208
8.2.1.1	Sensor de Pressão e Velocidade .....	208
8.2.1.2	Sensor de Posição das Válvulas .....	215
8.2.1.3	Comparação dos Resultados com Equipamento Importado .....	217
8.2.2	Testes em Campo .....	232
8.2.2.1	Montagem em Campo na RAESA .....	233
8.2.2.2	Resultados obtidos após a Instalação do Sistema em Campo.....	240
8.2.2.3	Melhorias Produzidas com a Instalação de Campo .....	250
8.2.3	Conclusões dos Testes de Funcionalidade .....	251
<b>9.</b>	<b>CONTRIBUIÇÕES E RELEVÂNCIA DO PROJETO.....</b>	<b>253</b>
9.1	CONTRIBUIÇÕES E IMPACTOS ECONÔMICOS.....	253
9.1.1	Contribuições e Impactos Econômicos ligados à Produtividade.....	253
9.1.2	Contribuições e Impactos Econômicos ligados à Qualidade do Fornecimento.....	254
9.1.3	Contribuições e Impactos Econômicos ligados à Gestão de Ativos .....	255
9.1.4	Contribuições e Impactos Econômicos ligados ao Mercado de Energia .....	256
9.1.5	Contribuições e Impactos Econômicos ligados à Eficiência Energética.....	257
9.2	CONTRIBUIÇÕES E IMPACTOS TECNOLÓGICOS.....	257
9.2.1	Contribuições e Impactos Tecnológicos relacionados à Infraestrutura Laboratorial ..	257
9.2.1.1	Unidade de Geração .....	257
9.2.1.2	Cabeçote com tomadas de pressão intracilindro.....	258
9.2.1.3	Sensor de Pressão.....	262
9.2.1.4	Sensor de Velocidade Instantânea.....	263
9.2.1.5	Cabeçote do Motor Wäertsilä .....	263
9.2.1.6	Carga para Unidade Geradora .....	265
9.2.1.7	Sistema de Medição de Pressão Intracilindro de Mercado.....	266
9.2.2	Contribuições e Impactos Tecnológicos s relacionados à Propriedade Industrial .....	267
9.2.3	Contribuições e Impactos Tecnológicos relacionados à Transferência de Conhecimento e à Capacitação Técnica e Tecnológica .....	268
9.3	CONTRIBUIÇÕES CIENTÍFICAS .....	269
9.3.1	Contribuições Científicas relacionadas à Produção Técnico-Científica.....	269
9.3.1.1	Artigo Publicado em Revista Energies .....	269
9.3.1.2	Artigo Publicado em Conferência Internacional.....	270
9.3.2	Contribuições Científicas relacionadas à Titulação em Programas de Pós-Graduação 271	
9.4	CONTRIBUIÇÕES E IMPACTOS SOCIOAMBIENTAIS .....	272
9.4.1	Contribuições e Impactos Socioambientais relacionados aos Riscos e Impactos Ambientais.....	272

9.4.2 Contribuições e Impactos Socioambientais relacionados aos Riscos e Impactos Sociais .....	273
9.4.3 Contribuições e Impactos Socioambientais relacionados ao Desenvolvimento de Novas Atividades Socioeconômicas .....	273
9.4.4 Contribuições e Impactos Socioambientais relacionados aos Benefícios para a Sociedade.....	274

## **10. RECURSOS EMPREGADOS E JUSTIFICATIVAS E ESTUDO DA VIABILIDADE**

### **ECONÔMICA..... 275**

10.1 RELAÇÃO DOS VALORES DAS RUBRICAS DAS EXECUTORAS .....	275
10.2 CARGA HORÁRIA DOS PESQUISADORES DO PROJETO DAS EXECUTORAS .....	276
10.3 DESPESAS DA RUBRICA DE MATERIAL DE CONSUMO .....	277
10.4 DESPESAS DA RUBRICA DE MATERIAL PERMANENTE E EQUIPAMENTOS .....	278
10.5 DESPESAS DA RUBRICA DE SERVIÇO DE TERCEIROS.....	279
10.6 DESPESAS DA RUBRICA DE VIAGENS E DIÁRIAS.....	280
10.7 DESPESAS DA RUBRICA OUTROS .....	280
10.8 RELAÇÃO DAS NOTAS FISCAIS EMITIDAS PELO INSTITUTO GNARUS E IATI.....	282

### **11. RAZOABILIDADE DOS CUSTOS E ESTUDO DE VIABILIDADE ECONÔMICA... 283**

11.1 ESTUDO DE VIABILIDADE ECONÔMICA.....	283
---	-----

### **12. CONCLUSÕES..... 288**

### **ANEXOS..... 295**

ANEXO I – CONSTRUÇÃO E MONTAGEM DO LABORATÓRIO DE MÁQUINAS TÉRMICAS.....	295
I.1 Unidade de Geração .....	296
I.2 Cabeçote com Ponto de Medição de Pressão Intracilindro .....	301
I.3 Peças Sobressalentes do Motor Diesel.....	303
I.4 Medição de Pressão Intracilindro de Mercado .....	304
I.5 Sistema de Aquisição e Processamento .....	307
I.6 Medidor de Grandezas Elétricas LCR .....	311
I.7 Instrumento de Calibração de Pressão .....	312
I.8 Calibrador de Temperatura .....	313
ANEXO II – PARTES DO PEDIDO DE REGISTRO DE DESENHO INDUSTRIAL .....	315
ANEXO III – SLIDES DO PROCESSO FINAL DE TRANSFERÊNCIA TECNOLÓGICA.....	328
ANEXO IV – ARTIGO TÉCNICO PUBLICADO EM REVISTA CIENTÍFICA.....	360
ANEXO V – ARTIGO TÉCNICO PUBLICADO EM CONFERÊNCIA INTERNACIONAL.....	383
ANEXO VI – EXAME DE QUALIFICAÇÃO DA TESE DE DOUTORADO .....	391
ANEXO VI – COMPROVANTES DE DESPESAS .....	401

VII.1 Notas Fiscais da Rubrica Material de Consumo.....	401
VII.2 Notas Fiscais da Rubrica Material Permanente e Equipamento.....	430
VII.3 Notas Fiscais da Rubrica Serviço de Terceiros.....	444
VII.4 Notas Fiscais da Rubrica Viagens e Diárias.....	456
VII.5 Notas Fiscais da Rubrica Outros.....	466
VII.6 Notas Fiscais Emitidas pelo Instituto Gnarus .....	477
VII.7 Notas Fiscais Emitidas pelo IATI.....	484