

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO ESPÍRITO SANTO**  
**DEPARTAMENTO DE INFORMÁTICA**  
**PROJETO DE PESQUISA**

**RPDBCS – Reconhecimento de Padrões de Defeitos em Sistemas de  
Bombeio Centrífugo Submerso**

**1. Introdução**

O Bombeio Centrífugo Submerso (BCS) [2] é um método de elevação artificial muito usado na produção de petróleo e gás e se caracteriza por utilizar uma bomba centrífuga de múltiplos estágios acionada por um motor elétrico. Bombas usadas em BCS pertencem a uma classe de equipamentos utilizados na extração e exploração de petróleo e gás sujeitos a severas condições de trabalho.

Falhas que demandem a parada, manutenção e, eventualmente, substituição desses equipamentos normalmente provocam grandes perdas financeiras em virtude do próprio custo elevado da realização da manutenção e principalmente pela interrupção da produção por um longo período de tempo.

Uma maneira de reduzir os riscos de falha nestes sistemas é realizar uma ampla verificação de seu funcionamento em laboratório antes de sua instalação em campo. Essa verificação é realizada através de um especialista cujo conhecimento foi adquirido ao longo de muitos anos de experiência. Naturalmente, não existem muito especialistas em condições de realizar esse teste com eficácia. Além disso, o conhecimento necessário para realizar essa tarefa não é facilmente ensinado ou transmitido para outros técnicos especializados.

Este projeto visa utilizar técnicas de inteligência computacional [1] para a identificação automática de padrões de defeitos em sistemas de bombeio centrífugo submerso (BCS) durante a fase de teste e aceitação desses sistemas. A metodologia computacional empregada neste projeto será uma adaptação da metodologia desenvolvida pela equipe executora em um projeto de pesquisa anterior que visava o reconhecimento de padrões de falha em motobombas centrífugas horizontais de um estágio [4].

5/

## 2. Objetivos

Este projeto visa utilizar técnicas de inteligência computacional [1] para a identificação de padrões de defeitos em sistemas de bombeio centrífugo submerso (BCS) durante a fase de teste e aceitação desse sistema. O projeto desenvolverá uma metodologia computacional para analisar dados característicos de vibrações de uma bomba centrífuga submersa, coletados em campo durante a fase de teste e aceitação do equipamento, e inferirá automaticamente se esse equipamento se encontra em condições adequadas para ser colocado em operação.

Os objetivos específicos deste projeto incluem:

- Construir, através da análise, tratamento e estruturação de dados históricos, um banco de casos de vibração e falhas em bombas centrífugas submersas;
- Investigar a viabilidade do uso de técnicas de inteligência computacional para a determinação de defeitos em bombas centrífugas submersas a partir da análise de dados de vibrações;
- Criar um modelo computacional adequado para o problema de diagnóstico de falhas em bombas centrífugas submersas;
- Construir um software para diagnóstico automático de falhas em bombas centrífugas submersas durante a fase de teste e aceitação do mesmo através da análise de sinais de vibrações coletados nesta fase.

## 3. Relevância Técnico-Científica

O Bombeio Centrífugo Submerso [2] é um método de elevação artificial muito usado na produção de petróleo e gás e se caracteriza por utilizar uma bomba centrífuga de múltiplos estágios acionada por um motor elétrico. Sistemas de bombeio centrífugo submerso submarino vêm sendo implantados, com graus adequados de confiabilidade e desempenho, em campos marginais situados em águas profundas. Para estas aplicações, foram projetados e desenvolvidos vários sistemas capazes de bombear grandes volumes de petróleo e gás, a grandes

6/10

profundidades na plataforma continental do Brasil, considerando grandes variações na composição gás-líquido.

BCSs pertencem a uma classe de equipamentos utilizados na extração e exploração de petróleo e gás sujeitos a severas condições de trabalho. Elevadas pressões, elevadas temperaturas, trabalho em presença de meios agressivos, vazões muito elevadas e necessidade de trabalho diuturno são condições críticas para qualquer máquina. Adicione-se a isso o agravante desses equipamentos serem instalados na superfície do solo marinho abaixo de grandes lâminas d'água. Essas regiões são inóspitas para a instalação e manutenção de qualquer equipamento. Falhas que demandem a parada, manutenção e, eventualmente, substituição desses equipamentos normalmente provocam grandes perdas financeiras em virtude do próprio custo elevado da realização da manutenção e principalmente pela interrupção da produção por um longo período de tempo.

Uma maneira de reduzir os riscos de falha nestes sistemas é realizar uma ampla verificação de seu funcionamento em laboratório antes de sua instalação em campo. Sistemas BCS são construídos por um pequeno grupo de fabricantes de equipamentos que possuem laboratórios adequados (em alguma parte do mundo) para a análise do funcionamento de um sistema BCS. Assim, quando um novo sistema BCS está presumivelmente pronto para ser entregue para instalação em campo, é enviado um especialista para o laboratório de análise da empresa fabricante para realizar o teste de aceitação do equipamento. Para realizar essa análise o especialista demanda que sejam instalados dezenas de acelerômetros ao longo de diferentes pontos do sistema BCS e que sejam coletados dados de sinais de vibração por períodos longos (por exemplo, 72 horas). De posse desses dados, o especialista utiliza ferramentas computacionais para análise do espectro de vibração desses sinais. Com base nessa análise ele pode considerar o equipamento como em condição adequada para instalação e aceitar a sua entrega ou pode rejeitar o equipamento demandando que sejam feitas alterações no mesmo. Esse processo se repete até que o equipamento seja considerado apto a ser instalado em campo.

5/10

Enquanto esse procedimento é bastante eficaz para reduzir o risco de falha em sistemas BCS instalados em campo, ele apresenta um inconveniente para a empresa: são muito raros os especialistas em condições de realizar esse teste com eficácia. Tipicamente, o conhecimento necessário para realizar essa tarefa é alcançado ao longo de muitos anos de experiência e não é facilmente ensinado ou transmitido para outros técnicos especializados. Esse tipo de conhecimento é chamado de conhecimento tácito por que não é passível de verbalização e, por consequência, de ser ensinado.

Assim, a empresa se torna muito dependente dos especialistas capazes de realizar esse teste. Isso é inconveniente porque a indisponibilidade do mesmo (por motivo de férias, doença ou aposentadoria) pode prejudicar o negócio atrasando cronogramas ou, até pior, fazendo que técnicos menos capacitados acabem aceitando equipamentos em condições inadequadas para funcionamento. Além disso, se a indisponibilidade dos especialistas for definitiva, levará alguns anos até que um novo especialista adquira experiência suficiente para exercer esta tarefa com efetividade.

O ideal para a empresa é que esse conhecimento especializado seja despersonalizado e incorporado ao conhecimento corporativo da instituição. Um sistema computacional capaz de reconhecer padrões de defeitos em sistemas BCS cumpriria esse papel auxiliando aos técnicos a analisarem os dados de vibração coletados durante o teste e a identificar situações nas quais o equipamento não se encontra em condições adequadas. Para utilizar técnicas de aprendizado automático [3] para construir esse sistema é necessário ter disponível uma quantidade significativa de dados a partir dos quais se possa extrair as assinaturas (sinais característicos) dos defeitos. Há uma disponibilidade de uma grande massa de dados brutos obtidos dos vários testes de sistemas BCS feitos nos últimos anos. Esses dados poderão ser utilizados para se efetivar o aprendizado.

A metodologia computacional empregada neste projeto será uma adaptação da metodologia desenvolvida pela equipe executora para reconhecimento de padrões de falha em motobombas centrífugas horizontais de um estágio [4]. Neste trabalho

foi desenvolvida uma metodologia computacional baseada em técnicas de inteligência computacional (tais como, técnicas de extração e seleção de características, aprendizado de classificadores e combinação de classificadores) capaz de reconhecer padrões de 8 tipos diferentes de defeitos.

A adaptação dessa metodologia para o problema de reconhecimento de defeitos em sistemas BCS é um trabalho árduo de pesquisa pois será influenciado pelas características estruturais e de funcionamento dos sistemas BCS e da qualidade, quantidade e tipo de dados disponibilizados para a realização do aprendizado. Ambas, características do domínio e natureza dos dados, são substancialmente diferentes daquelas utilizadas quando do desenvolvimento da metodologia. Trata-se, portanto de uma iniciativa que envolve pesquisa e inovação em área de interesse para a indústria do petróleo.

#### **4. Metodologia**

A metodologia de pesquisa utilizada envolverá o estudo e especificação detalhada do problema, revisão dos trabalhos existentes na literatura sobre técnicas de inteligência computacional para detecção de falhas em equipamentos e análise de vibração em sistemas BCS. Será proposta uma metodologia computacional visando automatizar o processo de detecção de falhas em sistemas BCS baseada em análise dos sinais de vibração coletados durante o teste do sistema.

Essa metodologia será implementada em um sistema computacional para verificação experimental. Com dados históricos de análise de vibração de testes executados no passado, será montado um grande banco de dados para treinamento, teste e avaliação de classificadores criados a partir da aplicação da metodologia proposta.

A metodologia proposta será confrontada experimentalmente com metodologias frequentemente utilizadas para a resolução de problemas de detecção de falhas em equipamentos.

#### **5. Equipe Executora**

**Tabela-1. Equipe**

Nome	Titulação	Instituição	Tipo	Área de Especialização
Flávio Miguel Varejão	Doutor	DI/UFES	Bolsista	Inteligência Computacional
Thomas Walter Rauber	Doutor	DI/UFES	Bolsista	Inteligência Computacional
Alexandre Loureiros	Doutor	DE/UFES	Bolsista	Estatística
A ser definido	Mestre	DI/UFES	Celetista	Ciência da Computação
A ser definido	Técnico	DI/UFES	Celetista	Administração
A ser definido	Mestrando	DI/UFES	Bolsista	Informática
A ser definido	Graduando	DI/UFES	Bolsista	Ciência ou Engenharia de Computação
A ser definido	Graduando	DI/UFES	Bolsista	Ciência ou Engenharia de Computação
A ser definido	Graduando	DI/UFES	Bolsista	Ciência ou Engenharia de Computação
A ser definido	Graduando	DI/UFES	Bolsista	Ciência ou Engenharia de Computação

## 6. Resultados Esperados

Esse projeto prevê como resultados esperados:

1. Desenvolvimento de uma metodologia computacional para detecção automática de falhas em sistemas BCS a partir da análise de sinais de vibração.
2. Desenvolvimento de um software que implemente a metodologia desenvolvida.
3. Uma dissertação de mestrado em informática.
4. Quatro projetos de Iniciação Científica de alunos dos cursos de graduação em Ciência ou Engenharia da Computação.
5. Artigos científicos a serem publicados em conferências e revistas.

## 7. Etapas e Cronograma Físico:

10/10

O projeto deverá ser executado em 08 (oito) etapas compostas de uma ou mais atividades, conforme apresentado a seguir e na Tabela 2.

### **Etapas 1- Aquisição de Conhecimento**

- 1.1 - Estudo das principais propriedades da estrutura e operação de sistemas de bombeio centrífugo submerso.
- 1.2 - Estudo dos principais tipos de defeitos que podem ocorrer e quais características dos sinais de vibração podem ser relevantes para a identificação destes defeitos.
- 1.3 - Realização de sessões de aquisição de conhecimento com os especialistas no domínio para identificar quais características podem ser obtidas dos sinais de vibração e como podem ser usadas para reconhecimento de padrões de defeito.

### **Etapas 2 – Coleta, Análise, Organização e Tratamento de Dados Históricos**

- 2.1 - Obtenção junto a Petrobrás dos sinais de vibração coletados nos testes de sistemas BCS nos últimos anos.
- 2.2 - Análise desses dados para determinar sua natureza (quantidade, qualidade e tipo) e avaliar o seu poder de discriminação para reconhecer padrões de defeitos.
- 2.3 - Organização dos Dados em um banco de dados estruturado para possibilitar a rápida recuperação e o tratamento dos dados.
- 2.4 - Transformação dos dados no banco de dados para que se ajustem ao formato requerido pelas técnicas de inteligência computacional.

### **Etapas 3 – Desenvolvimento de Metodologia Computacional**

- 3.1 - Elaboração dos métodos e algoritmos utilizados para Extração e Seleção de Características.
- 3.2 - Elaboração dos métodos e algoritmos utilizados para Construção de Classificadores.
- 3.3 - Elaboração dos métodos e algoritmos utilizados para Combinação de Classificadores.

3.4 - Elaboração dos métodos e algoritmos utilizados para Validação da Metodologia.

#### **Etapa 4 – Projeto de Arquitetura Computacional**

4.1- Modelagem da Arquitetura das Camadas do Sistema (Persistência de Dados, Reconhecimento de Padrões e Interface com Usuário) e suas interfaces.

4.2- Modelagem da Interface Gráfica com o Usuário

4.3- Modelagem dos Módulos das Camadas de Persistência de Dados e Reconhecimento de Padrões

#### **Etapa 5 – Implementação de Sistema de Reconhecimento de Padrões**

5.1 - Implementação dos Módulos da Camada de Persistência de Dados

5.2 - Implementação dos Módulos da Camada de Reconhecimento de Padrões

#### **Etapa 6 – Validação da Metodologia**

6.1 - Carregamento dos Dados no Sistema de Reconhecimento de Padrões

6.2 - Treinamento do Sistema de Reconhecimento de Padrões

6.3 - Avaliação de Desempenho da Metodologia

6.4 - Realização de Testes de Integração e Ajustes na Metodologia

#### **Etapa 7 – Implementação da Interface com Usuário do Sistema**

7.1 - Implementação dos Módulos da Camada de Interface com o Usuário

7.2 - Integração com o Sistema de Reconhecimento de Padrões

7.3 - Testes de Integração e Aceitação pelo Usuário e Ajustes

#### **Etapa 8 – Finalização do Projeto**

8.1 - Redação e Submissão de Artigos Científicos

8.2 - Elaboração da Documentação do Sistema e Manual do Usuário em formato word ou pdf.

8.3 - Transferência de Tecnologia através de curso sobre a utilização do Sistema ministrado para pessoal designado pela Petrobrás.

8.4- Redação de Relatórios Semestrais de Acompanhamento e Relatório Técnico Final

#### **Tabela-2. Cronograma físico**



12/10

Etapas	Atividades	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
		Etapa 1	1.1	█	█	█																			
1.2			█	█	█	█																			
1.3	█		█	█	█	█																			
Etapa 2	2.1	█	█	█	█	█																			
	2.2		█	█	█	█	█																		
	2.3		█	█	█	█	█	█																	
	2.4																								
Etapa 3	3.1			█	█	█	█	█	█	█	█	█	█												
	3.2				█	█	█	█	█	█	█	█	█	█											
	3.3										█	█	█	█											
	3.4											█	█	█											
Etapa 4	4.1					█	█	█	█							*									
	4.2										█	█	█	█	█	█	█	█							
	4.3																								
Etapa 5	5.1										█	█	█	█											
	5.2										█	█	█	█	█	█	█	█	█						
Etapa 6	6.1														█	█									
	6.2																█	█	█	█	█				
	6.3																	█	█	█	█	█			
	6.4																					█	█	█	█
Etapa 7	7.1														█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█
	7.2																					█	█	█	█
	7.3																					█	█	█	█
Etapa 8	8.1				█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█
	8.2															*						█	█	█	█
	8.3																						█	█	█
	8.4					█	█					█	█						█	█				█	█

## 8. Referências

[1] Rezende, S.O. (ed.) Sistemas Inteligentes – Fundamentos e Aplicações, Editora Manole, 2003.

[2] Takacs, G. Electrical Submersible Pumps Manual – Design, Operations and Maintenance, Elsevier Inc., 2009.

13/

- [3] Bishop, C. M. Pattern Recognition and machine learning. Berlin: Springer, 2007.
- [4] Wandekokem, E. W.; Mendel, E.; Fabris, F.; Valentim, M.; Varejão, F. M.; Rauber, T. W.; Batista, R. J.; Diagnosing multiple faults in oil rig motor pumps using support vector machine classifier ensembles. Integrated Computer-Aided Engineering, 18, pp. 61-74, 2011.
- [8] Survey Sampling, L. Kish, Editora Wiley, NY, 1965.

Vitória, 08 de agosto de 2011

  
Flávio Miguel Varejão

Professor Associado III  
Departamento de Informática