



## **DESENVOLVIMENTO DE UM SISTEMA DE INSTRUMENTAÇÃO E MONITORAMENTO PARA UM LOOP DE CORROSÃO-EROSÃO**

### **César Loschi de Paulo**

Universidade Federal de Uberlândia – Av. João Naves de Ávila, 2121  
cesarloschi@mecanica.ufu.br

### **Camila Monteiro Formoso**

camilaformoso@mecanica.ufu.br

### **Juliano Oséias de Moraes**

ltm-jomoraes@mecanica.ufu.br

### **Vera Lúcia Donizeti Sousa Franco**

vlfranco@ufu.br

### **Sinésio Domingues Franco**

ltm-sdfranco@ufu.br

**Resumo:** *A necessidade da busca por novos materiais que diminuam os gastos em manutenção dos dutos utilizados na extração de petróleo, levou ao desenvolvimento de um sistema de análise de desgaste por corrosão-erosão. A estrutura deste sistema consiste de tubos circulares metálicos nos quais haverá a circulação de petróleo e, nas regiões de teste, injeção de abrasivos. Para viabilizar e automatizar este processo, foi desenvolvido um sistema responsável pela leitura dos sensores, para verificação e monitoramento de parâmetros de ensaio, e pelo controle da rotação do motor que promove a circulação do petróleo na tubulação. Através de testes em laboratório pôde-se verificar a eficácia do programa de aquisições que, aliado à instrumentação do equipamento, possibilitou a completa automação do processo.*

**Palavras-chave:** *Desgaste por corrosão-erosão, instrumentação, controle, automação.*

## **1. INTRODUÇÃO**

Nos diversos segmentos da indústria, componentes e equipamentos são constantemente expostos à erosão e a ambientes corrosivos. Devido à ação combinada da erosão e da corrosão, válvulas do tipo *choke* utilizadas na produção de óleo apresentam uma vida útil bastante curta nas suas sedes, carcaças e *plugs* (Paes, M.T.P).

Devido à relativamente fácil substituição desses elementos, isso tem sido tolerado. Todavia, com a exploração de petróleo em águas profundas, a freqüente substituição de componentes de exploração torna o processo extremamente caro. Desta forma, a otimização de materiais para esses componentes apresenta um elevado potencial de redução de custos no processo produtivo. A esse tipo de componente se somam todos os elementos de bombeamento e transporte do fluido (“tês”, curvas, curvas, reduções, etc.) (Ahlen, C.H., et al, 1997)

Uma das abordagens desse estudo, visando a otimização dos materiais, pode ser feita através de um circuito fechado de bombeamento, conhecido como *loop* de teste, onde parâmetros de escoamento e condições de desgaste são monitorados.

Este trabalho apresenta o princípio de funcionamento do sistema de aquisição e monitoramento de sensores para um *loop*, bem como a apresentação dos componentes utilizados na instrumentação e as estratégias de controle sobre o motor e o inversor de frequência utilizados no sistema.

## 2. PRINCÍPIO DE FUNCIONAMENTO DO LOOP

O *loop* consiste em um equipamento formado por tubulações com diâmetro de 4" por onde circula um fluido (água do mar e petróleo) em alta velocidade. O desenho esquemático do circuito principal do *loop* pode ser visualizado na Figura 1.

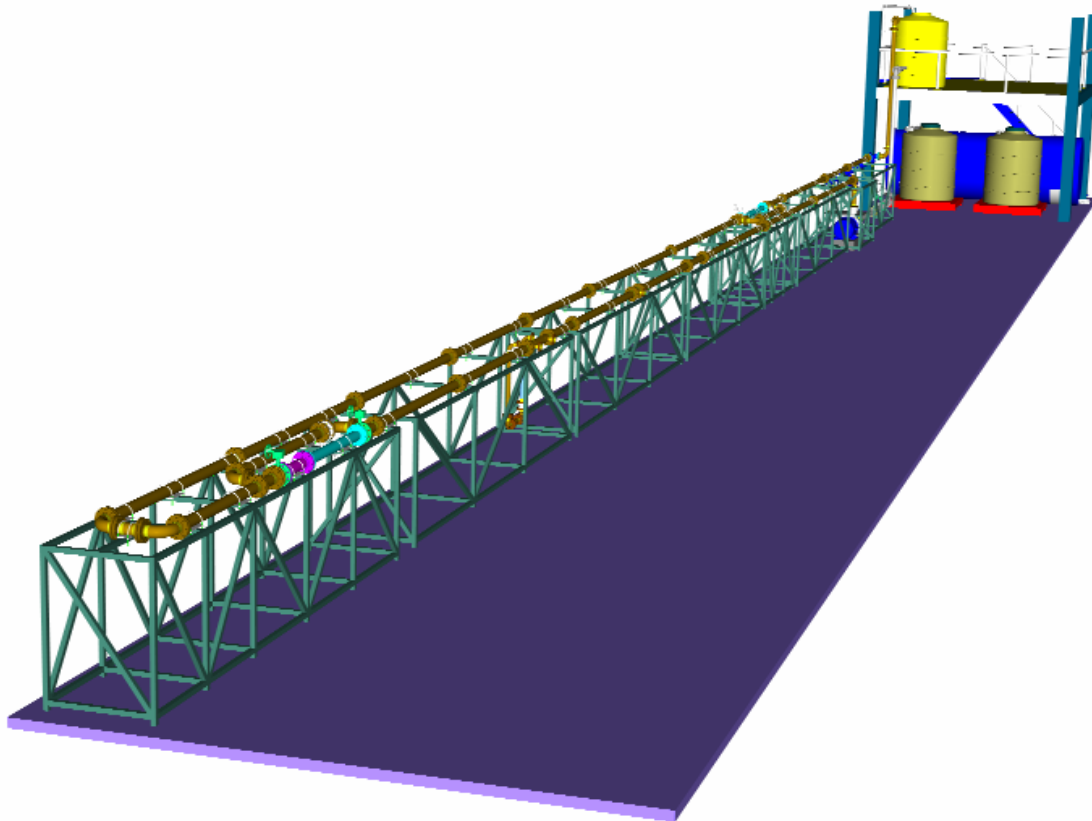


Figura 1: Circuito principal do Loop

A abordagem do *loop* também se mostra eficiente quanto ao estudo do ângulo de incidência das partículas. Podem ser simulados ângulos rasantes e condições de curvas. Além disso, em tubulações com diâmetros internos superiores a quatro polegadas (aproximadamente 100 mm), o escoamento multifásico experimenta padrões diferentes dos verificados em tubulações de diâmetros menores (Chen, Y. et al, 2000 e Hong, T. et al, 2001).

O bombeamento é feito através de uma bomba centrífuga acionada por um motor de indução de 100cv, o qual será controlado por um inversor de frequência. Ao longo do circuito do *loop* foram instalados instrumentos de medição, cujos sinais serão adquiridos através de um programa, possibilitando a leitura dos parâmetros de teste ao longo dos ensaios.

## 3. SENSORES UTILIZADOS

Foi utilizado o *software LabView®*, versão 8.0, para o desenvolvimento de um programa responsável pela leitura e monitoramento dos dados de instrumentação e pelo controle da frequência de rotação do motor que promoverá a circulação de petróleo. Além deste, está sendo utilizado o *software Starter®*, que é o responsável pela parametrização do inversor de frequência *Siemens MM440* utilizado para controlar o motor.

Para a aquisição dos dados referentes às leituras feitas pelo *LabView*®, foi utilizada uma placa NI PCI-6221, de resolução 16 bits, 250 KS/s, da *National Instruments*. As portas analógicas desta placa operam em nível de tensão contínua (DC), de -10 volts a +10 volts, e as portas digitais operam em nível TTL (0 volt a 5 volts).

Os sensores de instrumentação adquiridos para realização do processo foram sensores de vazão, pressão, temperatura e pH, os quais são mostrados na Figura 2.

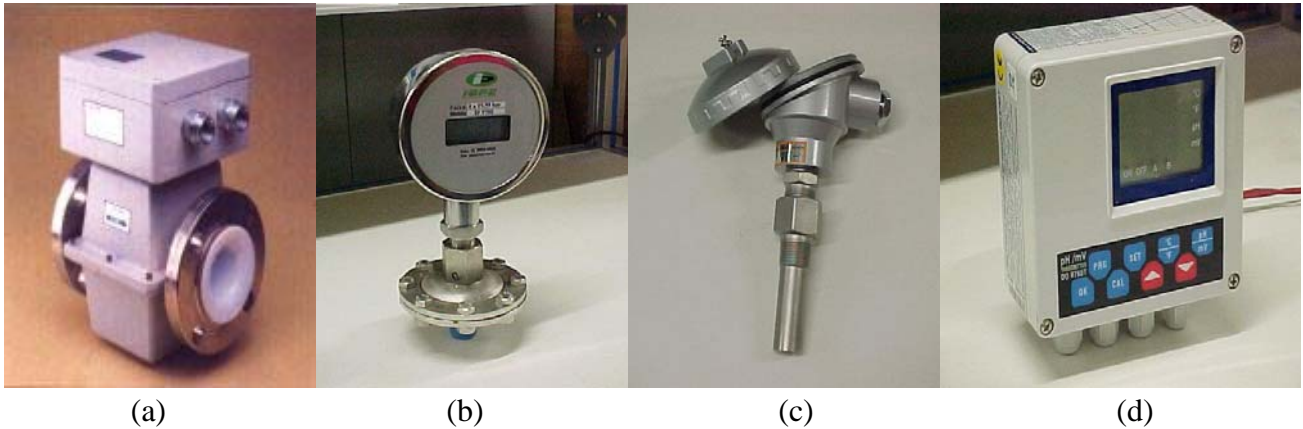


Figura 2: (a) Sensor de vazão MAG 600; (b) sensor de pressão IP 9700; (c) Termopar PT-100; (d) Transmissor de pH e temperatura DO 9765T

Para monitoramento da vazão durante o processo, será utilizado o sensor MAG 600 da Nykon Dwyler, ilustrado na Figura 2 – (a), de pressão máxima  $10 \text{ kgf/cm}^2$  e faixa de vazão de 0,9 a 1000 litros/h. Para leituras de pressão será utilizado o IP 9700 (Figura 2 – (b)), de 0 a 20 bar, da Iope. O sensor PT100 da Exacta, ilustrado na Figura 2 – (c) será utilizado para verificar a temperatura. As leituras de pH serão obtidas a partir do sensor P250C da Provitec.

A indicação das leituras de pH e temperatura não será realizada diretamente pelos sensores, e sim pelo transmissor DO 9765T da Impac, ilustrado na Figura 2 – (d).

## 4. MÉTODOS DE AQUISIÇÃO E CONTROLE

### 4.1. Estrutura do Painel de Operação

A interface do programa desenvolvido em *LabView*® para monitoramento dos sensores e controle da frequência de rotação do motor pode ser visualizada na Figura 3 a seguir. Nela estão contidos os dados de entrada necessários para o início do processo, bem como a indicação de todos os sensores monitorados e *status* do motor.

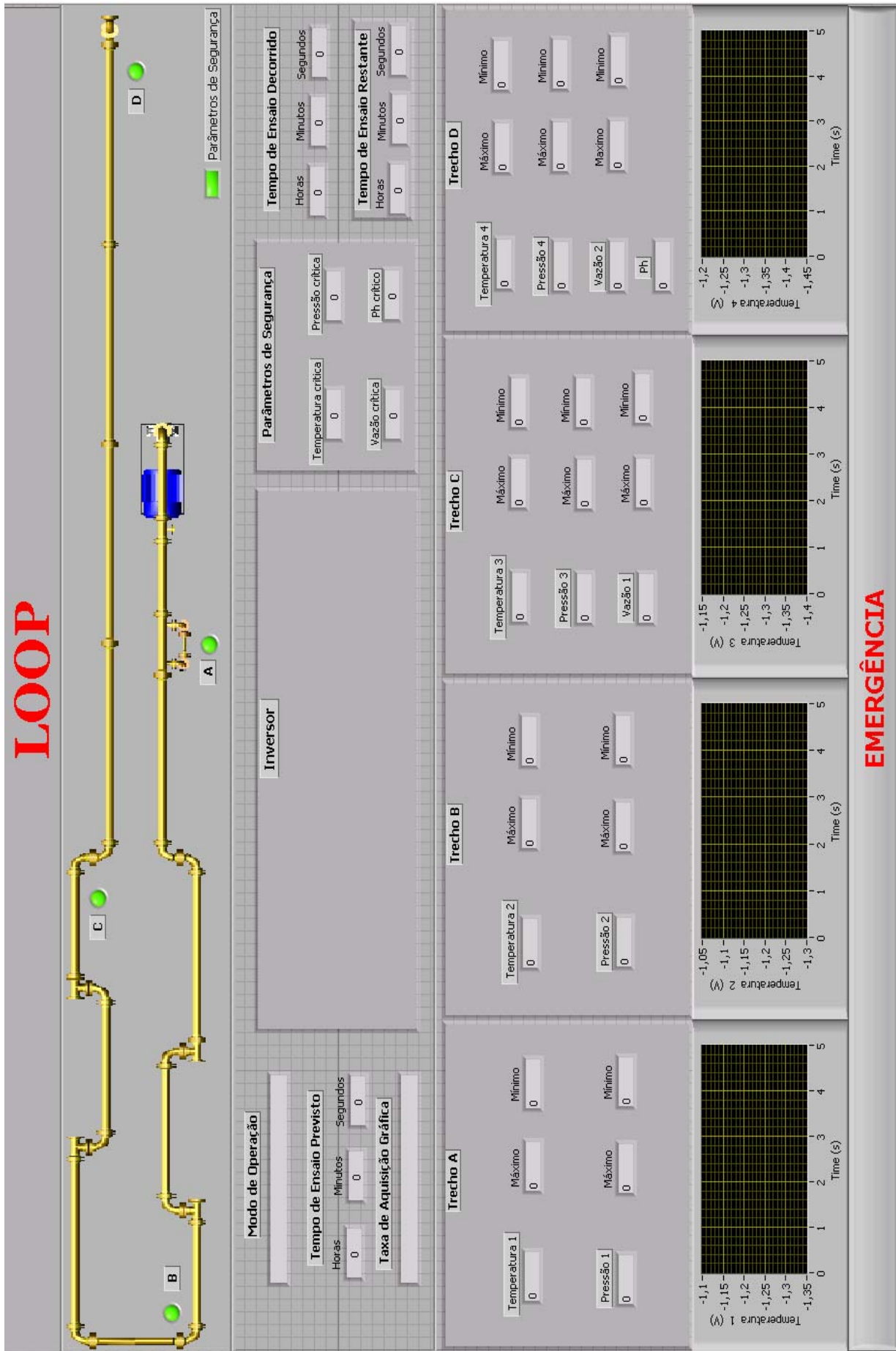


Figura 3: Interface geral do programa

Na parte superior da interface, pode-se observar um esquema do circuito do *loop*. Os *led's* que estão distribuídos ao longo da figura indicam, quando acesos, a região de monitoramento da estrutura que está sendo visualizada durante o ensaio. Em princípio, haverá duas regiões de teste e quatro regiões de monitoramento. Assim, será possível monitorar todos os sensores em um trecho e comparar sua variação entre trechos. Para habilitar ou desabilitar a imagem do trecho monitorado, basta clicar no *led* correspondente a qualquer momento do ensaio sem acarretar, no entanto, em nenhum prejuízo ou atraso à aquisição de dados. Além destes, há o *led* referente ao monitoramento dos Parâmetros de Segurança.

Visando aumentar a segurança do processo de ensaio foi idealizado estabelecer os Parâmetros de Segurança, que também estão indicados na interface. Estes são os valores máximos que os sensores podem indicar antes de parar o programa e desligar o motor. Como o *software LabView®* não dispunha de um recurso que armazenasse como padrão os valores dados como entrada pelo operador, foi implementado o chamado “Arquivo de Segurança”, o qual contém os Parâmetros de Segurança. Desta forma, quando o operador configurar ou modificar estes parâmetros, um arquivo será gerado e salvo no disco rígido. No ensaio subsequente, o programa terá, necessariamente, que carregar este arquivo para iniciar o processo. Caso não o encontre, uma mensagem de erro será mostrada indicando que não foi possível carregar este arquivo e assim, um novo será gerado.

Abaixo do circuito do *loop* encontram-se os parâmetros de entrada, a caixa de monitoramento do inversor de frequência e motor e a caixa dos Parâmetros de Segurança. Como parâmetros de entrada, foram definidos o Tempo de Ensaio Previsto, a Taxa de Aquisição Gráfica – que será o intervalo de tempo necessário para que os gráficos desenhem um novo ponto e armazenem um novo valor de todos os sensores no banco de dados –, o Modo de Operação – que indica a possibilidade de executar um ensaio normal ou importar dados salvos anteriormente de outros ensaios para estudos pertinentes –, e dois relógios, sendo que o primeiro indica o Tempo de Ensaio Decorrido, e o segundo indica o Tempo de Ensaio Restante. O controle do inversor de frequência encontra-se em fase de desenvolvimento. O controle da frequência de trabalho do motor será feita diretamente pelo *LabView®*. Está definido, porém que na caixa Inversor terá um indicador da frequência de rotação do motor e quão longe está da frequência que se deseja. O operador deverá fazer a parametrização do inversor via Starter e antes de executar o programa em *LabView®*. A parametrização do inversor não será feita diretamente pelo programa devido à existência de um protocolo de comunicação entre o inversor e o computador, cuja depuração foge dos objetivos deste projeto.

Logo abaixo, estão todos os sensores monitorados pelo programa distribuídos em quatro trechos da estrutura, e o gráfico *temperatura vs tempo* correspondente a cada trecho que é o parâmetro que se julga o mais importante e crítico do ensaio. Há também a indicação dos valores máximo e mínimo registrados até o momento de todos os sensores, exceto o de pH por não apresentar variação considerável.

Assim que o programa é iniciado, telas serão mostradas sucessivamente para que o operador possa digitar os dados de entrada. Essas telas serão mostradas de tal forma que possibilite com que todos os dados necessários para o funcionamento do programa sejam digitados pelo operador, evitando assim que o programa seja executado sem algum parâmetro definido. Além disso, é possível a alteração dos parâmetros de segurança, sendo esta opcional.

Durante o funcionamento do programa, a aquisição será feita de tal forma que todos os sensores indiquem uma leitura a cada segundo. Contudo, os valores que serão salvos no banco de dados são referentes à média desses valores durante cada intervalo de tempo, de acordo com a Taxa de Aquisição Gráfica.

## 4.2. Estrutura do Painel de Dados Importados

A Figura 4 ilustra o painel que contém as informações de ensaios anteriores importados do banco de dados.

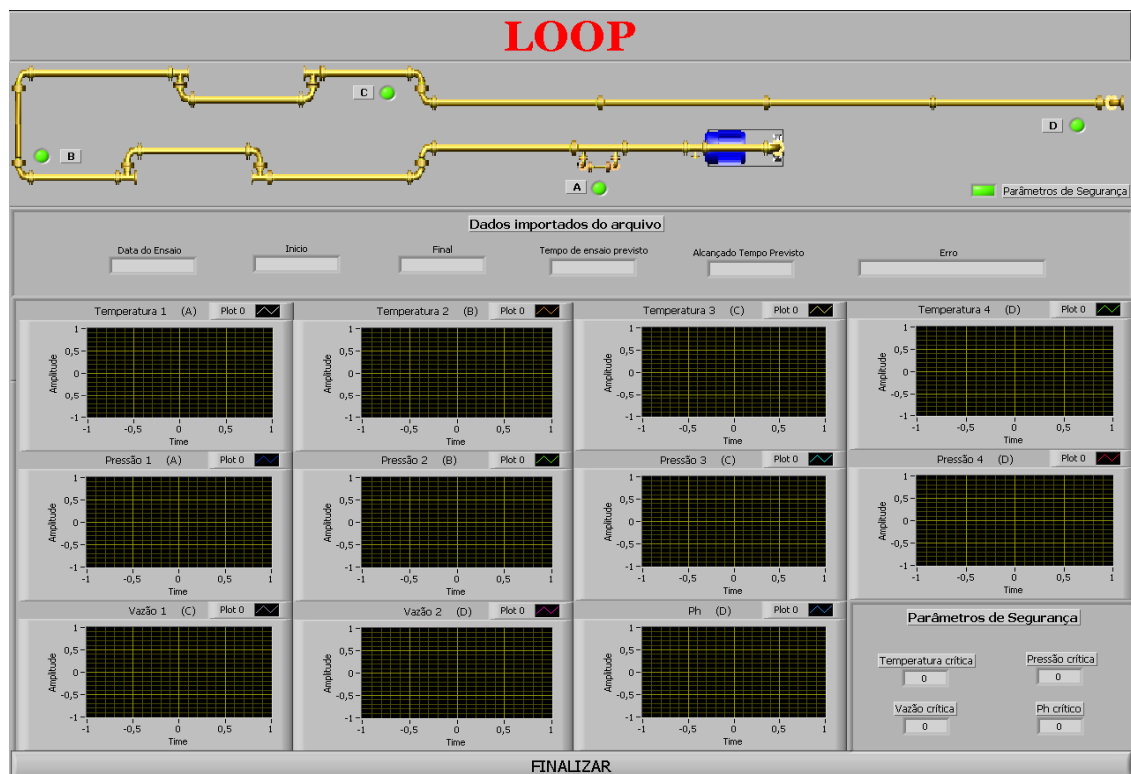


Figura 4: Interface da tela Importar Dados de Arquivo

A tela apresenta dados como a Data de Realização do Ensaio, Hora de Início e Fim, o Tempo de Ensaio Previsto e algum possível erro no ensaio. Além destes, há a indicação dos Parâmetros de Segurança, de uma tecla para finalizar o programa e, através de gráficos para facilitar análises, a variação de todos os sensores ao longo do tempo.

### 4.3. Critérios de Parada

O programa de monitoramento e controle do *Loop* poderá ser automaticamente interrompido caso alguma das condições seguintes acontecer durante um ensaio:

- Caso o operador aperte a tecla virtual de emergência localizada na parte inferior da tela (vide figura 3);
- Caso algum sensor indique valores acima do Valor de Segurança correspondente;
- Caso o Tempo de Ensaio Previsto seja alcançado.

Se o programa parar durante o ensaio, uma mensagem será exibida indicando o motivo pelo qual o programa parou e, se for o caso, qual sensor excedeu o valor de segurança.

Ao final do programa, independentemente da ocorrência de erros, uma opção de salvar os dados do ensaio em arquivo será disponibilizada.

### 4.4. Fluxo de Informações

O Fluxo de Informações pode ser visualizado na figura 5 a seguir.

As informações relacionadas ao ensaio trafegam da seguinte maneira: os dados adquiridos pelos sensores, através das entradas analógicas +10 volts e -10 volts da placa PCI 6221, são transmitidos ao programa, o qual calcula a média dos valores por unidade de tempo e armazena no banco de dados. A média destes valores é analisada em tempo real e, caso ultrapasse o valor definido pelos Parâmetros de Segurança ou caso o Tempo de Ensaio Previsto seja alcançado, a aquisição de dados é encerrada e os sinais analógicos são enviados pelo programa ao inversor de frequência, o qual irá parar a frequência de rotação do motor, e então o programa é encerrado.

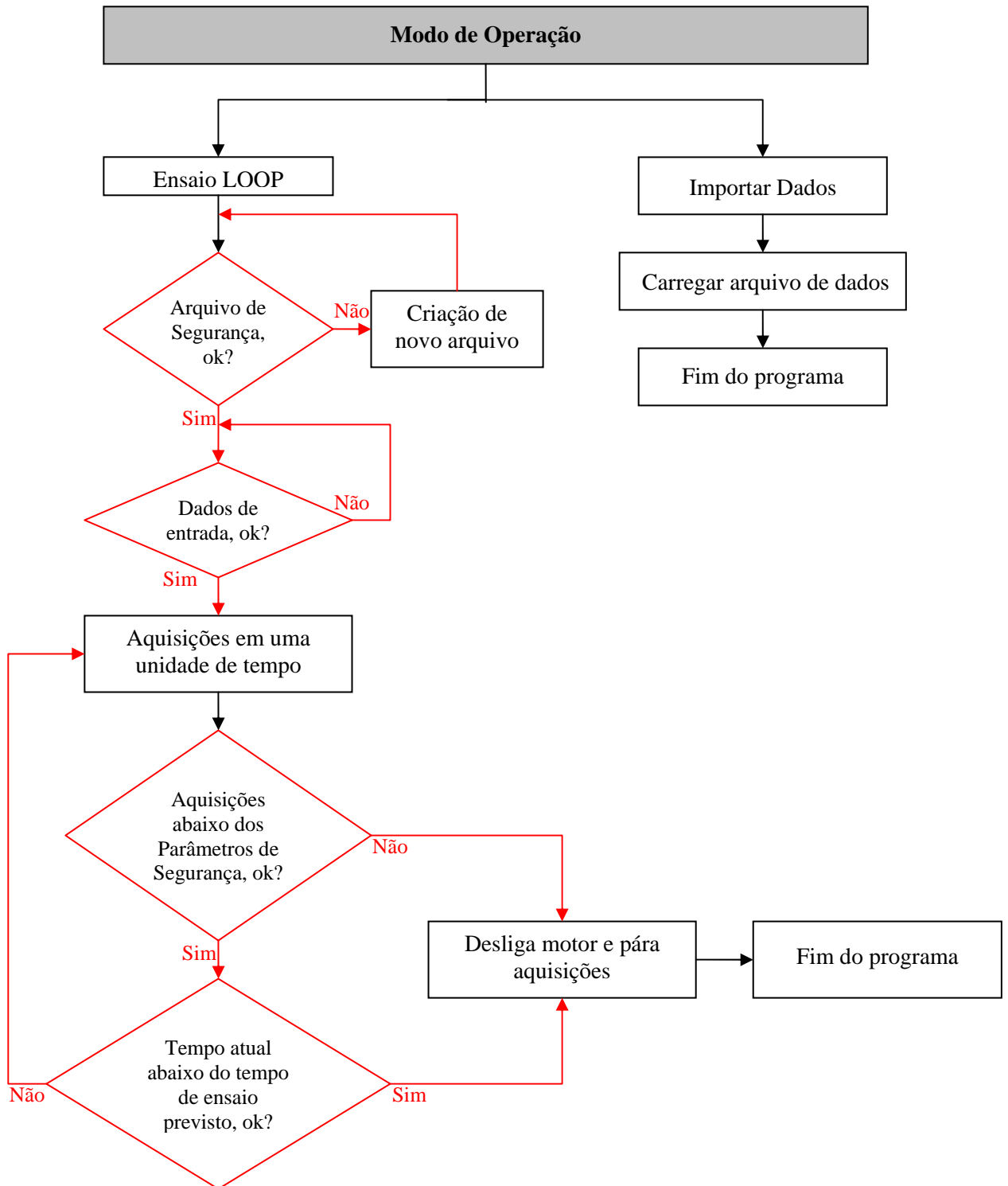


Figura 5: Fluxograma do software

## 5. RESULTADOS E DISCUSSÕES

O sistema de monitoramento e leitura dos sensores foi devidamente testado e apresentou todos os resultados previstos durante a programação. Testes feitos com baterias de corrente contínua simulam o efeito dos sensores e mostram a eficácia do programa desenvolvido. Tanto as leituras, que foram feitas corretamente, quanto o sistema de segurança – parar o programa quando algum sensor indicar valores extremos, quando o tempo de ensaio se esgotar ou quando o operador abortar o ensaio –, funcionam conforme o previsto.

O equipamento encontra-se em fase de construção e alguns tópicos estão sendo desenvolvidos para integrar e tornar o sistema de controle funcional. Estão sendo desenvolvidas estratégias para obter o controle da frequência de rotação do motor via micro-computador, realizar a parametrização do inversor de frequência via Starter e integrar o controle do motor ao sistema de segurança do projeto. A efetiva introdução das aquisições utilizando os sensores será realizada posteriormente à definição de outros parâmetros de projeto referentes a aspectos construtivos do equipamento.

## 6. CONCLUSÕES

O desenvolvimento de um *loop* torna possível simular situações de desgaste erosivo, corrosivo, e uma possível sinergia entre os mecanismos de degradação.

A instrumentação do equipamento possibilita uma melhor avaliação e controle de variáveis do processo e a aquisição desses valores no tempo é uma ferramenta essencial para análise do processo e dos resultados.

Testes realizados com baterias simularam em laboratório a leitura dos dados dos sensores pelo programa, e mostraram que o sistema de aquisição do *loop* e o sistema de segurança relacionado aos sensores funcionam corretamente.

## 7. AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à Petrobras pelo apoio financeiro.

## 8. REFERÊNCIAS

- Ahlen, C.H., Bardal, E. Marken, L. and Solem, T., 1997, "New Ceramic-Metallic Materials for Choke Valves in Oil Production", Proceedings of the Eurocorr, Trondheim Norway.
- Chen, Y., Hong, T., Gopal, M. and Jepson, W.P., 2000, "EIS studies of a corrosion inhibitor behavior under multiphase flow conditions", Corrosion Science 42, pp 979-990.
- Hong, T., Jepson, W.P., 2001 "Corrosion inhibitor studies in large flow loop at high temperature and high pressure", Corrosion Science 43, pp 1839-1849.
- Paes, M.T.P., comunicações pessoais e seminários apresentados pelo mesmo.

# DEVELOPMENT OF AN INSTRUMENTATION AND MEASURING SYSTEM FOR A CORROSION-EROSION FLOW

### **César Loschi de Paulo**

Federal University of Uberlândia – 2121, João Naves de Ávila Avenue  
cesarloschi@mecanica.ufu.br

### **Camila Monteiro Formoso**

camilaformoso@mecanica.ufu.br

### **Juliano Oséias de Moraes**

ltm-jomoraes@mecanica.ufu.br

### **Vera Lúcia Donizeti Sousa Franco**

vlfranco@ufu.br

### **Sinésio Domingues Franco**

ltm-sdfranco@ufu.br



**Abstract:** *The searching necessity for new materials, to reduce maintenance expenses on ducts used in oil extracting, became an incentive to the development of a system, able to analyze the corrosion-erosion wearing. The structure of this system consists in circular metallic pipes in which oil will pass by and abrasive materials will be injected on test regions. To turn this process automatized, a system responsible for measuring and controlling the rotation speed from the motor was developed. The efficiency of the program was verified through tests, making possible the complete automation of the process.*

**Keywords:** *corrosion-erosion wearing, instrumentation, control, automation.*