

4. DESCRIÇÃO DO EXPERIMENTO

Um dos objetivos principais deste estudo é contribuir para o melhor entendimento dos processos envolvidos na interação entre um pig e um depósito de parafina durante uma operação de remoção do depósito. Para tanto, foi projetada e montada no Laboratório de Termociências da PUC-Rio uma seção de testes onde pigs pudessem ser movimentados através de tubos contendo depósitos de parafina produzidos sob condições controladas. Os resultados obtidos, apesar de não reproduzirem fielmente as complexas condições de campo, permitiram que fossem testados os modelos de previsão de força para remoção de depósitos disponíveis na literatura e ainda não verificados experimentalmente.

4.1. Seção de Testes

De uma maneira geral, a seção de testes foi formada por um tubo de aço de 6 polegadas de diâmetro interno, no interior do qual foram produzidos depósitos de parafina de espessura controlada. Os pigs selecionados para os testes foram puxados por sobre o depósito por meio de um cabo de aço tracionado por um guincho. Células de carga foram utilizadas para registrar a força exercida pelos pigs durante os testes.

Foi construída uma estrutura metálica na qual foram fixados o tubo de 6 polegadas, as células de carga e o guincho elétrico usado para puxar o cabo de aço que movimentava os pigs.

A seguir a seção de testes construída é descrita com detalhes.

4.1.1. Estrutura de Sustentação

A estrutura de sustentação construída é apresentada esquematicamente na Figura 15. A base da estrutura de sustentação era formada por cantoneiras de aço de 3 polegadas. Na sua parte superior foi fixada uma calha feita de cantoneira de 6 polegadas na qual eram apoiados os tubos.



Figura 15 – Desenho esquemático da seção de testes

Os tubos eram devidamente posicionados sobre uma calha de aço horizontal e presilhas de aço mantinham o conjunto de tubos preso à calha. A calha de aço foi dotada de dois eixos com rolamentos que permitiam o deslizamento axial da mesma com mínimo atrito por sobre uma base de aço formada por cantoneiras, conforme mostrado na Figura 16.



Figura 16 – Estrutura de sustentação

4.1.2. Tubos de teste de 6 polegadas

Devido a dificuldade de se encontrar no mercado um tubo de aço inox com diâmetro de 6 polegadas, foi utilizado um tubo de aço carbono AISI1020. A face interna desse tubo foi brunida para uma dimensão de 152,4 mm (6 polegadas) de diâmetro interno para evitar problemas como ovalização. A face externa foi pintada para evitar problemas de corrosão. O tubo original foi dividido em três partes iguais com 1,0 m de comprimento cada uma. Nas extremidades dos tubos foram usinados encaixes tipo “macho e fêmea” para garantir a concentricidade e o perfeito encaixe. As medidas finais são mostradas na Figura 17.

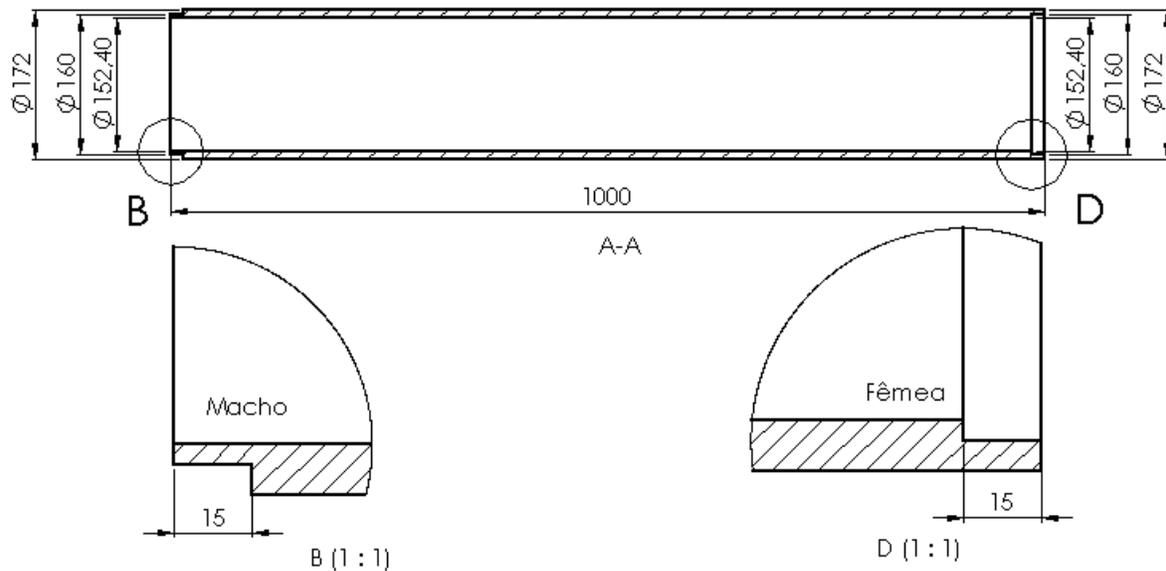


Figura 17 – Dimensões finais dos tubos de 6 polegadas

O primeiro tubo de 6 polegadas era o tubo guia de entrada, por onde iniciava-se a passagem dos pigs. O segundo tubo servia para a deposição da parafina. O terceiro tubo era o tubo guia de saída, no qual estava posicionada uma placa de aço que transmitia a força a ser medida para as

células de carga, conforme mostrado na Figura 18. A opção pela utilização de tubos encaixados formando um tubo maior, foi feita para facilitar o processo de fundição de parafina para produção dos depósitos no interior do tubo central (segundo tubo).

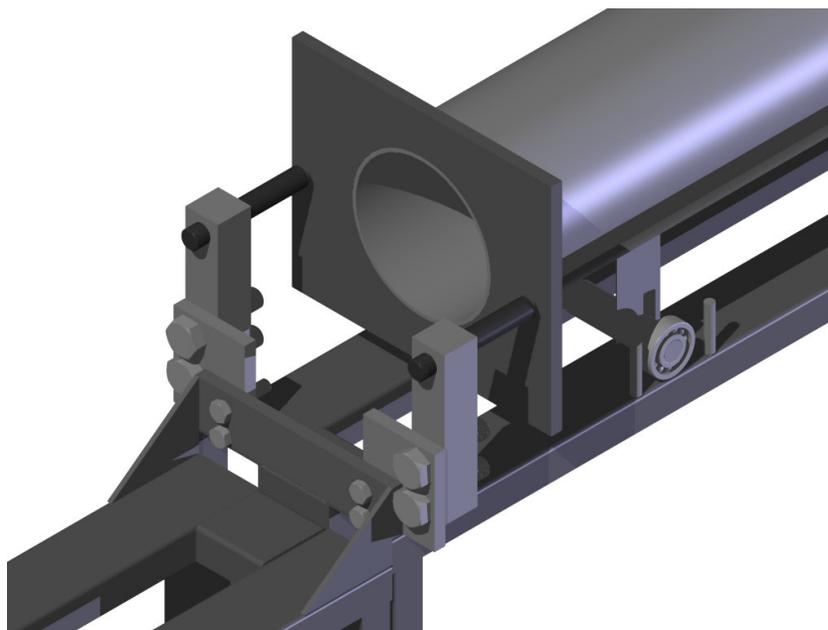


Figura 18 – Contato entre a chapa de aço e as células de carga

4.1.3. Guincho elétrico

Durante os testes os pigs se movimentavam no interior dos tubos ao serem puxados por um cabo de aço. Para o acinamento desse cabo foi instalado na estrutura de sustentação um guincho elétrico, posicionado após a saída do terceiro tubo, conforme mostrado na Figura 19.



Figura 19 – Guincho elétrico

O guincho elétrico utilizado nos ensaios era o modelo GT12-20T de fabricação HiPull, com uma capacidade de carga de 2 toneladas e transmitia para o cabo o movimento de numa velocidade de 4,8 cm/s.

Além do guincho, após a saída do terceiro tubo foram também posicionados dois roletes de polipropileno, que serviam para centralizar o cabo de aço no tubo de 6 polegadas. A Figura 20 mostra o guincho e os roletes de polipropileno.



Figura 20 – Guincho elétrico com roletes de polipropileno

4.2. Sistema de aquisição de dados

Foi utilizado um sistema básico de aquisição de dados integrado National, composto por uma placa modelo AT-MIO-16E-10 de 12 bits e 16 canais, um PC-Pentium 2 e Windows 98, conforme Figura 21. Foi utilizado também um filtro passa-baixa digital com o objetivo de eliminar os ruídos acima de 60 Hz.

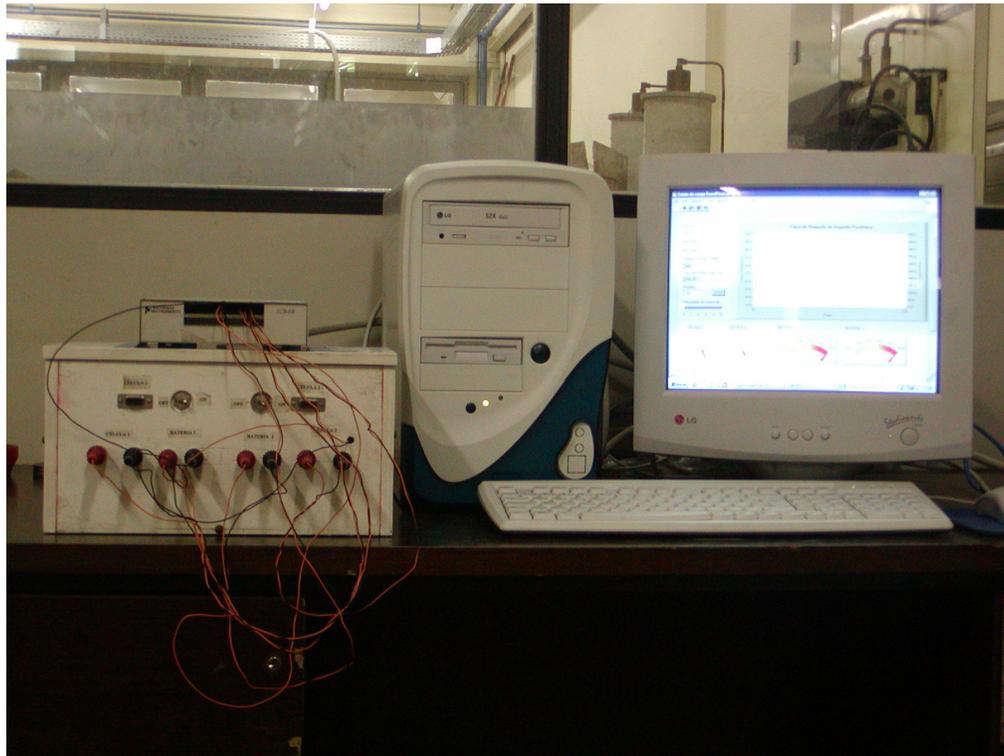


Figura 21 – Sistema de aquisição de dados

4.2.1. Software Labview

Para aquisição de dados foi utilizado o software Labview (Laboratory Virtual Instrument Engineering Workbench) que usa uma linguagem de programação chamada G, que possui diretivas como PASCAL e C, mas ao invés de utilizar comandos na forma de texto para gerar as linhas de código,

usa uma linguagem de programação gráfica, ou seja, o programa é feito na forma de um diagrama de blocos.

Utilizando uma estrutura de programação orientada pelo fluxo de dados e hierárquica, o Labview torna simples a implementação de sistemas complexos que englobem aquisição e manipulação de dados ou ainda o controle de equipamentos através do computador. Além disso, o Labview inclui diversas bibliotecas compostas por componentes contendo funções para aplicações específicas (algoritmos de análise estatística, processamento e geração de sinais, etc).

Qualquer programa feito em Labview é chamado de instrumento virtual (Virtual Instrument – VI) já que sua aparência e operação assemelham-se às de instrumentos reais.

As Figuras 22 e 23 apresentam respectivamente o painel frontal Labview e o diagrama de blocos Labview utilizados na realização do presente trabalho.

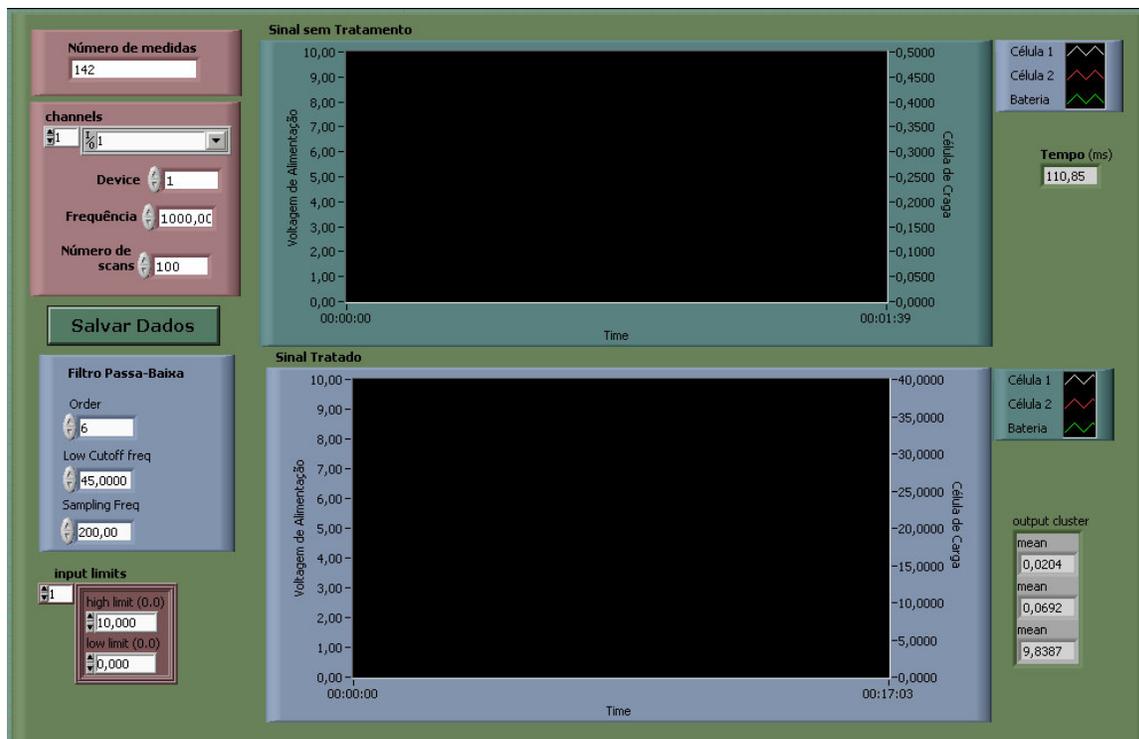


Figura 22 - Painel frontal Labview utilizado nos experimentos

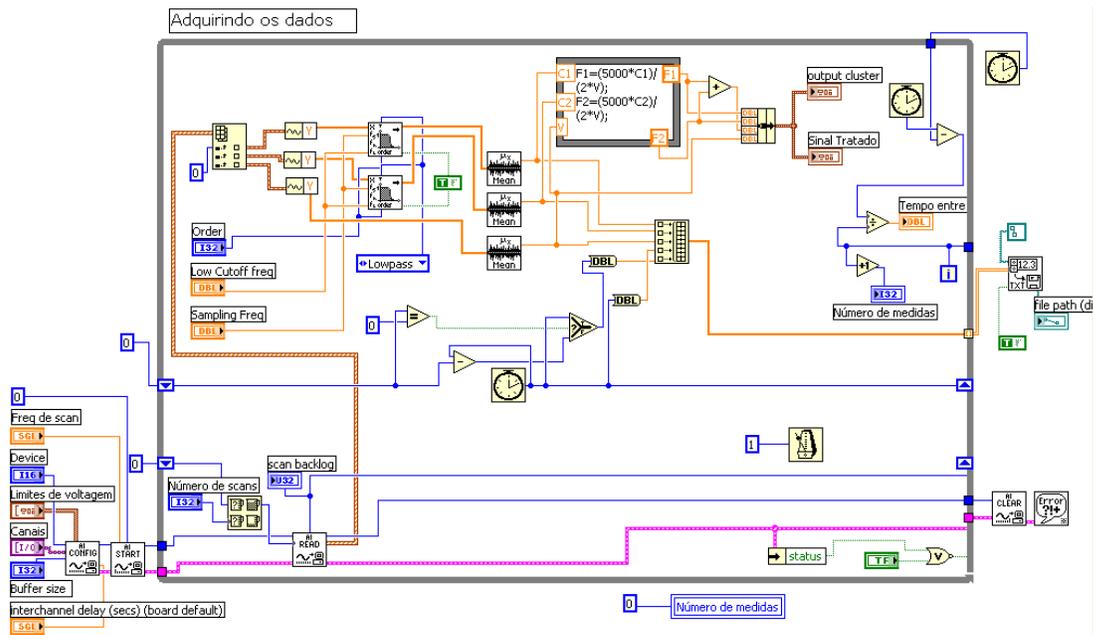


Figura 23 - Diagrama de blocos Labview utilizado nos experimentos

4.2.2. Células de carga

O sistema concebido para a medição da força exercida pelos Pigs sobre os tubos foi composto por duas células de carga modelo I-5T fabricadas pela Alfa Instrumentos, e com fundo de escala de 5 toneladas. As duas células de carga foram instaladas conforme apresentado no detalhe da Figura 24.

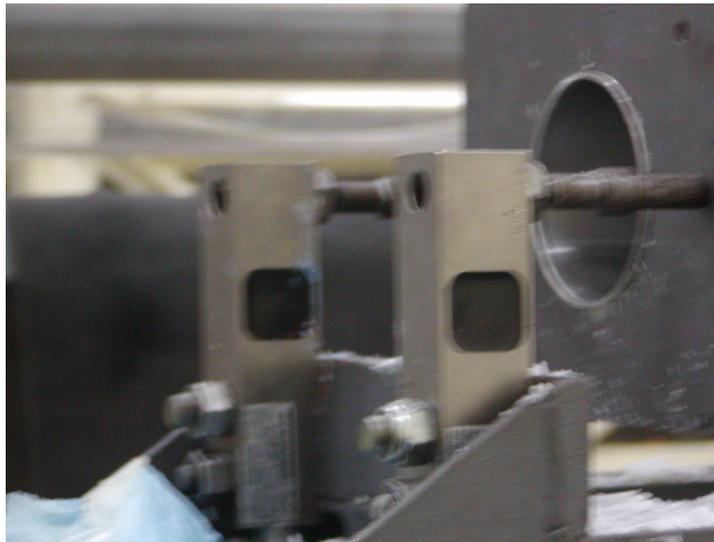


Figura 24 – Células de carga utilizadas nos experimentos

Os sinais elétricos provenientes das células eram lidos pelo sistema de aquisição de dados desenvolvido especialmente para o experimento, descrito anteriormente.

Foi utilizado um amplificador de sinal desenvolvido no laboratório, composto por uma fonte simétrica de +10/-10V que alimentava dois amplificadores operacionais de precisão, nos quais era obtido um ganho de 500 vezes. As células de carga também eram alimentadas pela fonte simétrica. A utilização do amplificador de sinal foi necessária para possibilitar a leitura dos menores sinais de força pela placa de aquisição empregada, tendo em vista sua resolução de 12 bits, correspondendo a uma resolução

da ordem de 2,4 mV. A Figura 25 apresenta o esquema do amplificador montado.

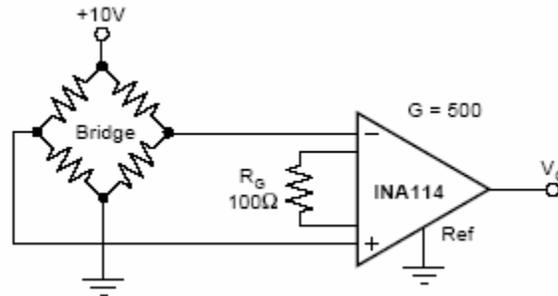


Figura 25 – Esquema do circuito elétrico do amplificador

Conforme dito anteriormente, a aquisição e o processamento dos sinais das forças em cada célula de carga foram implementados utilizando-se *software Labview*. Nesse programa, além das funções de aquisição e armazenagem dos sinais, foi implementado um filtro passa-baixa digital com o objetivo de eliminar os ruídos acima de 60 Hz. A frequência de aquisição dos sinais utilizada foi de 10 kHz. Os dados de força eram adquiridos durante 100 ms, filtrados e a média dos valores obtidos era calculada. Uma nova amostragem era então efetuada. Com essa frequência de aquisição e a velocidade constante de puxada do Pig igual a 4,8 cm/s era possível adquirir-se uma leitura de força a cada 5 mm de deslocamento dos Pigs ao longo dos tubos de teste.

4.3. Sistema para deposição de parafina

A deposição da camada de parafina no interior dos tubos de teste é uma etapa importante dos experimentos realizados. Seria desejável que o depósito de parafina no interior dos tubos se aproximasse ao máximo das características dos depósitos de campo. Para tanto, era necessário reproduzir em laboratório os processos de deposição que ocorrem no interior dos dutos de produção. Porém, a tentativa de reproduzir depósitos em laboratório através de processos semelhantes aos que ocorrem no campo certamente geraria camadas depositadas com características mecânicas variáveis, o que inviabilizaria o alcance do principal objetivo deste trabalho que é o estudo da interação de pigs com depósitos de parafina. Por isso, optou-se por produzir depósitos com características controladas e reprodutíveis, feitos à partir de parafina comercial, e que permitissem uma formação de depósitos com espessura controlada e uniforme no interior do tubo de 6 polegadas.

A parafina empregada nos testes era da marca Vetec, com ponto de fusão entre 56 e 58 °C misturada com óleo Spindle, numa proporção em peso de 20% de óleo para 80% de parafina. A parafina era triturada, misturada ao óleo na proporção acima e aquecida até sua fusão completa.

Os depósitos de parafina foram produzidos através de um processo de fundição da parafina em um molde. O dispositivo projetado e construído para produção dos depósitos é apresentada de forma esquemática na Figura 26.

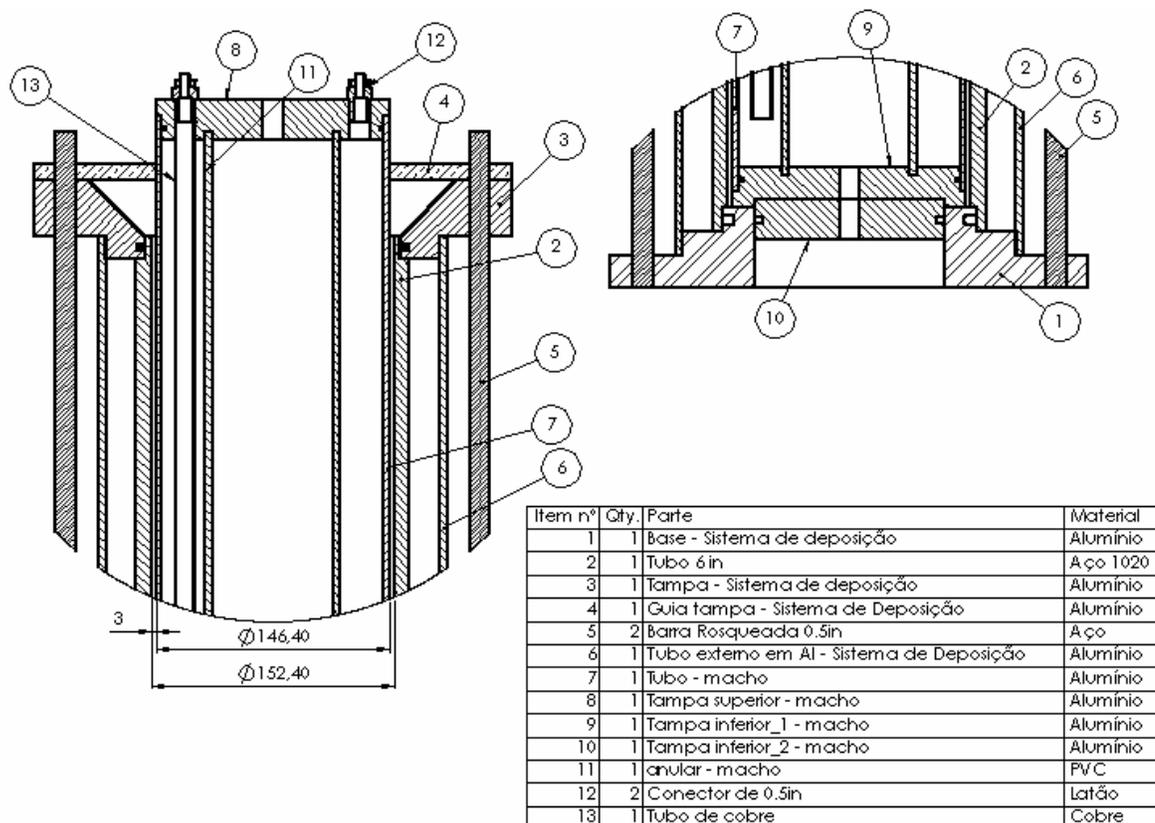


Figura 26 – Desenho do dispositivo para deposição de parafina

O tubo de aço onde a parafina seria depositada (2) era encaixado em uma base de alumínio (1) na posição vertical; um tubo de alumínio de diâmetro maior (6) era posicionado externamente ao tubo de aço (2); uma tampa do sistema de aquisição em alumínio (3) era posicionada na parte superior do conjunto; uma tampa guia em alumínio (4) era posicionada acima da outra tampa e todo o conjunto era fixado através de dois tirantes de aço (5) apertado com porcas; um tubo macho de alumínio (7) era posicionado no interior do tubo de aço de forma a produzir um espaço anular que seria preenchido com parafina através de um processo de fundição. Variando-se o diâmetro do tubo interno de alumínio, produzia-se depósitos na parede interna do tubo de aço com espessuras diferentes. Para os testes conduzidos neste trabalho foi utilizado um tubo macho que produzia depósitos de parafina com espessura de 3,0 mm.

Após a montagem do conjunto, enquanto a parafina a ser depositada era fundida dentro de uma panela de alumínio aquecida por um aquecedor elétrico, circulava-se água quente no espaço anular entre o tubo externo de alumínio e o tubo de aço, e no interior do tubo macho de alumínio. Esse aquecimento era feito no intuito de se evitar o resfriamento muito rápido da parafina vertida, caso esta entrasse em contato com superfícies não aquecidas previamente, sem que todo o espaço anular tivesse sido ainda preenchido, o que dificultaria a formação de um depósito uniforme. O aquecimento da água para essa finalidade era feito por um aquecedor elétrico de 5400 W de potência.

Após a fundição completa da parafina, a mesma era vertida através de furos existentes na tampa guia de alumínio, preenchendo todo o espaço anular entre o tubo de aço e o tubo macho de alumínio.

Em seguida, circulava-se água resfriada a cerca de 12 °C no espaço anular entre o tubo externo de alumínio e o tubo de aço, e no interior do tubo macho de alumínio. Esse resfriamento era feito no intuito de acelerar o processo de solidificação da parafina que havia sido vertida no interior do tubo de aço. A água utilizada era resfriada circulando internamente em duas serpentinas de cobre instaladas dentro de uma caixa de isopor contendo cerca de 80 kg de gelo misturado com água. A água resfriada a cerca de 12 °C circulava com um vazão de 5,0 litros/min, por um tempo aproximado de 45 minutos.

Após esse tempo, o passo seguinte era circular água quente apenas no interior do tubo macho, visando facilitar sua retirada. O aquecimento da água para essa finalidade era feito pelo aquecedor elétrico de 5400 W de potência.

Para fins de redução de peso, foi colocado um tubo de PVC (item nº 11 da Figura 26) dentro do tubo macho de alumínio (item nº 7 da Figura 26) formando um anular. Com isso foi possível diminuir a quantidade de água no interior do tubo macho de alumínio, facilitando a sua retirada.

Ao final do processo de deposição, o tubo macho era removido com a utilização de uma talha manual, conforme mostrado na Figura 27. Todo o dispositivo para deposição era desmontado e o tubo de aço de 6 polegadas contendo o depósito de parafina era retirado, sendo em seguida posicionado na seção de testes para a realização dos testes de passagem de pigs para remoção de parafina. As Figuras de 27 a 32 apresentam fotografias ilustrando a desmontagem do dispositivo para deposição utilizado nos experimentos.



Figura 27 – Dispositivo para deposição de parafina

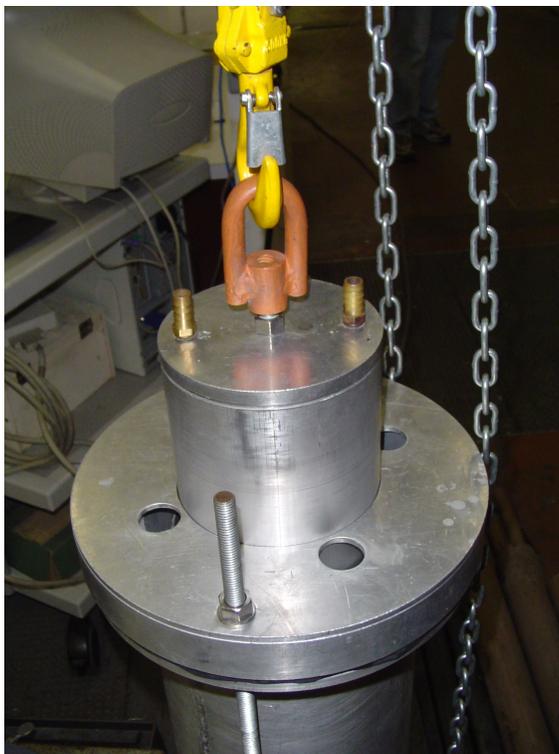


Figura 28 – Retirada do tubo macho com a talha manual



Figura 29 – Retirada do tubo macho com a talha manual



Figura 30 – Detalhe da desmontagem do dispositivo para deposição de parafina

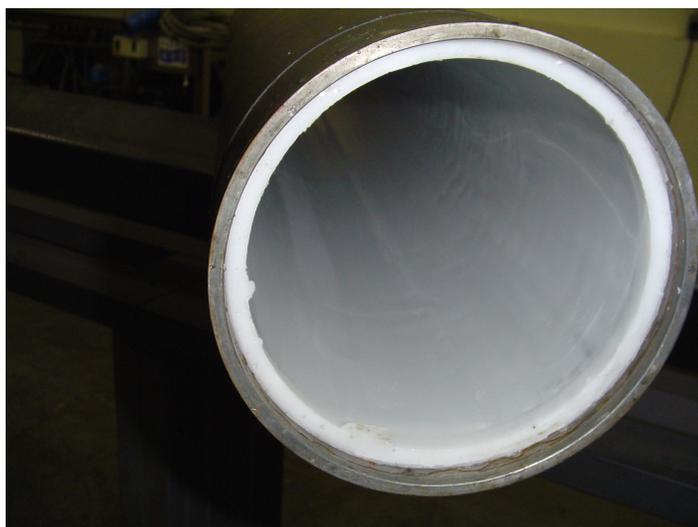


Figura 31 – Detalhe do tubo com depósito de parafina



Figura 32 – Posicionamento do tubo com depósito na seção de teste

4.4. Procedimentos para testes

Um dos pontos considerados importantes na execução dos experimentos foi a adoção de procedimentos cuidadosamente pré-estabelecidos, visando possibilitar a comparação dos resultados obtidos nos diversos testes.

Neste capítulo são apresentados os procedimentos adotados durante os dois diferentes tipos de testes executados neste trabalho:

- testes para determinação dos casos base;
- testes para remoção de parafina.

4.4.1. Testes para determinação dos casos base

Neste trabalho adotou-se uma metodologia de testes semelhantes à apresentada por Wang et al (2001). Os primeiros testes visaram a medição das forças de contato existentes entre cada pig testado e a parede do tubo – casos base – sem que houvesse parafina depositada na interior do tubo.

Definiu-se que a taxa de aquisição seria de 1000 leituras/s. Dessa forma, a cada 1 segundo seriam processadas 1000 amostras para se gerar uma média que seria registrada num arquivo em formato “txt”.

Nesses testes adotou-se o seguinte procedimento:

- 1- Limpeza interna dos três tubos de 6 polegadas visando remover possíveis impurezas aderidas à parede. Essa limpeza foi realizada com estopa embebida em clorofórmio.
- 2- Após a limpeza com clorofórmio, as paredes internas dos tubos eram lubrificadas esfregando-se parafina manualmente. Esse

procedimento foi adotado por melhor representar as condições encontradas nos tubos no campo, normalmente lubrificados com o produto por eles transportado.

- 3- Posicionamento e encaixe dos tubos na estrutura de sustentação.
- 4- Passagem de um cabo de nylon no interior dos tubos e fixação desse cabo no cabo de aço.
- 5- Destramento das engrenagens do guincho elétrico e puxada manual do cabo de nylon para passagem do cabo de aço no interior do tubo.
- 6- Travamento das engrenagens do guincho elétrico.
- 7- Retirada do cabo de nylon e fixação do pig na extremidade do cabo de aço.
- 8- Abertura da tela principal do software Labview.
- 9- Acionamento do guincho para posicionamento do pig no início do tubo de entrada. Era importante que um operador observasse de perto a entrada do pig no tubo, guiando-o manualmente, de modo a evitar possíveis danos no pig durante sua entrada no tubo.
- 10- Início da aquisição de dados.
- 11- Acionamento do guincho elétrico para a puxada do pig no interior do tubo a uma velocidade constante de 4,8 cm/s. Durante a operação eram aqisitados os dados da força exercida pelo cabo de aço no pig, medidos pelas células de carga.
- 12- Desligamento do guincho elétrico após a saída do pig.

Além do procedimento acima, periodicamente a carga da bateria das células de carga deveria ser checada. Caso a carga atingisse valores inferiores a 9,3 V as baterias deveriam ser recarregadas.

4.4.2. Testes para remoção de parafina

Após a realização de testes para determinação dos casos base, seguiram-se os testes com remoção de parafina, adotando-se uma metodologia de testes semelhantes à apresentada no trabalho de Wang et al (2001).

Conforme havia sido feito para os testes base, definiu-se que a taxa de aquisição seria de 1000 leituras/s. Dessa forma, a cada 1 segundo seriam processadas 1000 amostras para se gerar uma média que seria registrada num arquivo em formato “txt”.

Antes desses testes, executava-se a deposição de parafina no segundo tubo de 6 polegadas, conforme procedimento apresentado anteriormente no item 4.3.

Nos testes de remoção de parafina adotou-se o seguinte procedimento:

- 1- Pesagem inicial do tubo central contendo parafina depositada utilizando uma balança digital.
- 2- Posicionamento e encaixe dos tubos na estrutura de sustentação
- 3- Passagem de um cabo de nylon no interior dos tubos e fixação desse cabo no cabo de aço. A passagem do cabo de nylon era feita com todo o cuidado visando evitar danos ao depósito de parafina.
- 4- Destravamento das engrenagens do guincho elétrico e puxada manual do cabo de nylon para passagem do cabo de aço no interior do tubo.
- 5- Retirada do cabo de nylon e fixação do pig na extremidade do cabo de aço.
- 6- Inicialização do software Labview e do sistema de aquisição de dados.

- 7- Acionamento do guincho para posicionamento do pig no início do tubo de entrada. Era importante que um operador observasse de perto a entrada do pig no tubo, guiando-o manualmente, de modo a evitar possíveis danos no pig durante sua entrada no tubo.
- 8- Início da aquisição de dados.
- 9- Acionamento do guincho elétrico para a puxada do pig no interior do tubo a uma velocidade constante de 4,8 cm/s. Durante a operação eram adquiridos os dados da força exercida pelo cabo de aço no pig, medidos pelas células de carga.
- 10- Desligamento do guincho elétrico após a saída do pig.
- 11- Após o final do teste era feita nova pesagem do tubo. A diferença entre o peso inicial medido antes do teste e o peso final equivalia à massa de parafina removida na passagem.

A Figuras 33, 34 e 35 ilustram uma passagem de um pig para remoção de parafina realizada durante os testes.



Figura 33 – Posicionamento do pig no aparato experimental

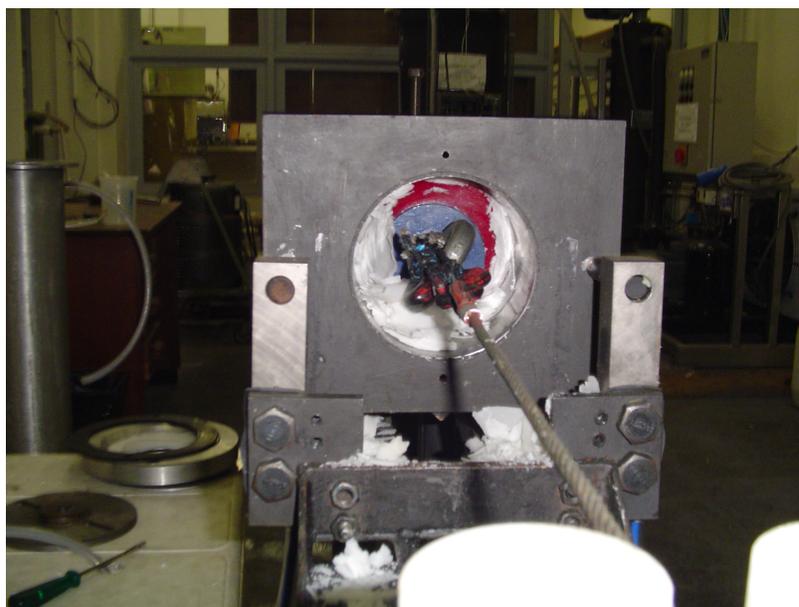


Figura 34 – Puxada do pig num teste de remoção

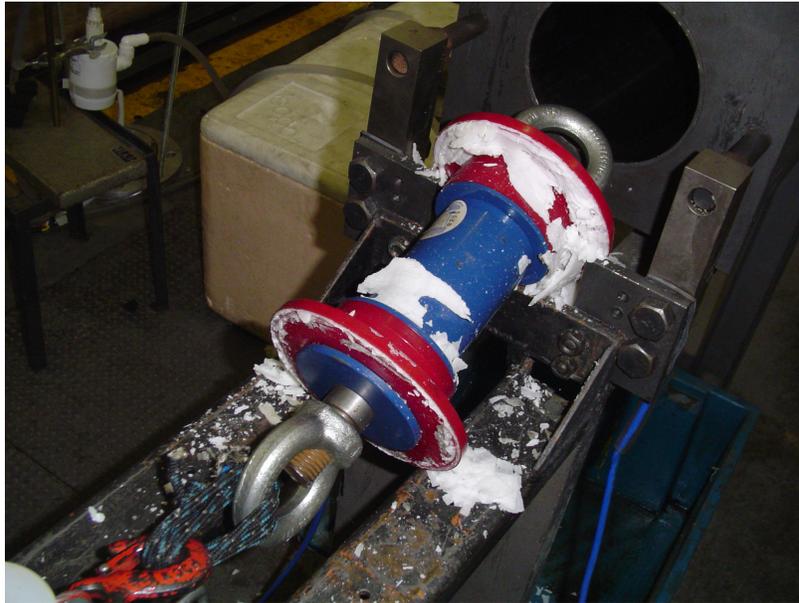


Figura 35 – Saída do pig da seção de teste

Os dados aquisitados na primeira passagem do pig deveriam mostrar qual seria a força exercida por aquele pig para quebrar o depósito de parafina. Após essa primeira passagem, caso nem toda a parafina depositada tivesse sido removida, nova passagem seria feita, repetindo-se todo o procedimento descrito acima. Novas passagens poderiam ser feitas até que toda a parafina pudesse ser removida. A cada passagem poderia ser conhecida a eficiência de remoção apresentada pelo pig através da comparação entre o peso inicial e o peso final do tubo central.

Após a remoção total da parafina que havia sido depositada o tubo central era novamente limpo com clorofórmio. Em seguida, nova deposição seria feita e todo o teste seria repetido visando verificar a repetibilidade dos resultados.