



UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE
CENTRO DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA QUÍMICA
LABORATÓRIO DE REFERÊNCIA EM DESSALINIZAÇÃO

AÉCIO BARBOSA SOUSA

TÍTULO DO PROJETO:

AVALIAÇÃO DOS SENSORES DE PRESSÃO E VAZÃO
EM UM SISTEMA DE DESSALINIZAÇÃO PILOTO VIA
OSMOSE INVERSA

Campina Grande – PB

Outubro – 2004

**AVALIAÇÃO DOS SENSORES DE PRESSÃO E VAZÃO
EM UM SISTEMA DE DESSALINIZAÇÃO PILOTO VIA
OSMOSE INVERSA**

AÉCIO BARBOSA SOUSA

Dissertação apresentada ao curso de Mestrado em Engenharia
Química da Universidade Federal de Campina Grande, em
cumprimento às exigências para obtenção do título de mestre.

Área de Concentração: **Operações de Processos**

Orientador: **Prof. Kepler Borges França (Ph.D)**

Campina Grande – PB

Outubro – 2004



S725a
2004

Sousa, Aécio Barbosa

Avaliação dos sensores de pressão e vazão em um sistema de dessalinização piloto via osmose inversa/ Aécio Barbosa Sousa. – Campina Grande: UFCG, 2004. 160p.: il.

Dissertação (Mestrado em Engenharia Química).
UFCG/CCT/DEQ.
Inclui Bibliografia.

1. Dessalinização - água 2. – Sensores –
Dessalinização 3. Osmose Inversa - Dessalinização

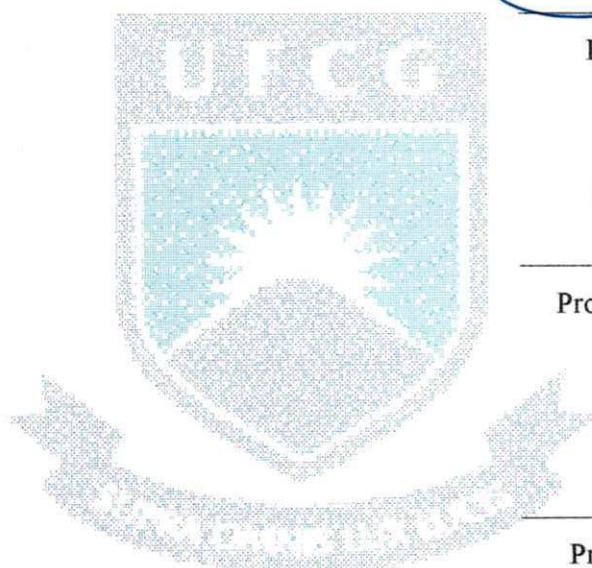
CDU: 628.165

**AVALIAÇÃO DOS SENSORES DE PRESSÃO E VAZÃO
EM UM SISTEMA DE DESSALINIZAÇÃO PILOTO VIA
OSMOSE INVERSA**

AÉCIO BARBOSA SOUSA

Dissertação aprovada em ____ / ____ / ____

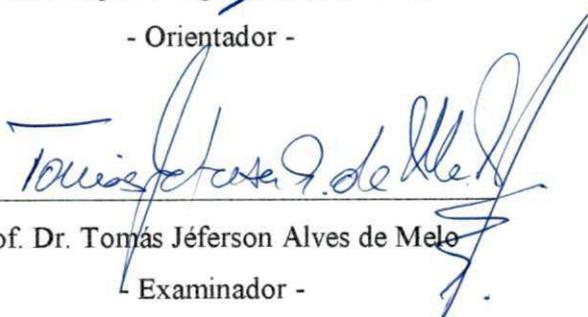
BANCA EXAMINADORA





Prof. Kepler Borges França (Ph.D.)

- Orientador -



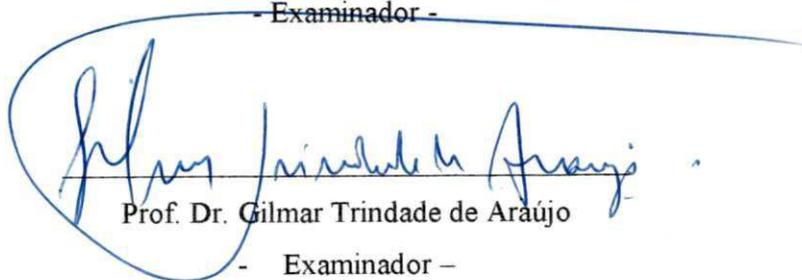
Prof. Dr. Tomás Jeferson Alves de Melo

- Examinador -



Prof. Dr. Luís Gonzaga S. Vasconcelos

- Examinador -



Prof. Dr. Gilmar Trindade de Araújo

- Examinador -

Campina Grande – PB

Outubro – 2004

Agradecimentos

A Deus, que em todo caminhar de minha vida sempre pôs sua mão sobre meus passos e me encorajou em momentos de grandes espinhos. A ele minha maior gratidão e amor.

Ao Prof. Kepler Borges França, que confiou em mim, dando-me a oportunidade de ser seu orientando, como profissional soube ser orientador e de forma especial um grande amigo.

Aos meus pais, Arlindo e Concebida, que nunca mediram esforços para realização dos meus sonhos e que são o alicerce da minha vida.

A minha esposa Edvânia, por compreender todos os momentos de ausência, dando o apoio necessário e compartilhando grandes momentos.

Aos meus irmãos, Aérton, Anselmo e Alberto, que sempre me deram carinho e apoio em todas as horas.

Aos meus familiares, sobrinha, minha avó, tios, cunhadas e em especial a minha nova família, minha sogra, meu sogro e cunhados.

Aos Professores: Dr^a Laura , Msc. Marconi , Dr. Hélio que aceitou o trabalho em conjunto, orientando-me, sem o qual, não teríamos caminhado com sucesso.

As amigas, Daniele, Bianca, Shéfora, Márcia Liane, Juliana, e aos amigos Elói, René, Ranieri, Bruno, Tiago e Osman que souberam valorizar uma verdadeira amizade e por estarem ao meu lado e compartilharem de grandes dificuldades e vitórias.

A Coordenação do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Química, na pessoa do Prof. Dr. Luis Gonzaga Sales Vasconcelos e o Prof. Dr. Romildo Pereira Brito, as secretárias, Maria José Bezerra e Maricé Pereira, pelo profissionalismo e dedicação aos alunos.

Aos professores do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Química, que passaram seus conhecimentos durante as disciplinas.

A minha turma de pós-graduação, onde compartilhamos dificuldades e expectativas, a Andaraí, Alexandre, Angélica e Florêncio pelos grandes trabalhos em equipe.

A todos os companheiros do LABDES, alunos de graduação e pós-graduação, pelo companheirismo.

Ao Laboratório de Ensaio Materiais (DEMA), nas pessoas da Prof^a. Dr^a. Laura e a Doutoranda Wilma.

Ao Laboratório de Ensaio Mecânicos do Departamento de Engenharia Mecânica na pessoa do Prof. Msc. Marconi.

Ao Fundo de Recursos Hídricos (CT-hidro) do CNPq pelo auxílio financeiro.

A todos que de certa forma contribuíram na realização desta pesquisa.

Mensagem

“Quanto mais alto subimos,
maior será a visibilidade,
quanto maior a
responsabilidade, maior o
impacto das ações.
Comparativamente, quanto
mais avançado for o estudo,
mais difícil será o exame”

Inelde Fernandes

RESUMO

Este trabalho tem o objetivo de desenvolver e avaliar o comportamento de sensores de pressão e vazão de baixo custo em sistemas de dessalinização via osmose inversa. Através de um sistema hidráulico de pressão foram estudados os seguintes parâmetros: controle de temperatura, relação do diâmetro do extensômetro e sua placa de protetora, fixação do extensômetro e obtenção da melhor função resposta. Os sensores de vazão foram avaliados em um sistema de dessalinização piloto em função das pressões aplicadas no sistema. Para ambos os casos, os sinais dos sensores de pressão e vazão foram comparados com dados obtidos de instrumentos analógicos durante o processo. O erro médio sensor de vazão foi 1,27% em relação aos resultados obtidos com o do mesmo tipo, todavia comerciais. Quanto ao erro do sensor de pressão foi de 0,30% e 0,51% para películas de 1 mm 3 mm respectivamente.

Palavras-chave: Dessalinização, sensores, osmose inversa

ABSTRACT

This work has the objective to develop and to evaluate the pressure and flow meter sensors of the low cost for desalination system by inverse osmosis. Through a pressure hydraulic system were studied the following parameters: temperature control, relation ship of the diameter of the extensometer and his protecting plate, fixation of the extensometer and obtaining of the best function answer. The flow meter sensors were evaluate in a system of pilot desalination as a function of the applied pressures. For both cases, the signs of the sensor of pressure and flow meter they were compared with obtained data of analogical instruments during the process. The average error of the flow meter sensor was of 1,27% in relation to the results obtained with the one of the same of the same type, though commercial. For the pressure sensor the error was 0,30% and 0,51% to the films of 1 mm and 3 mm respectively.

Key-work: Desalination, sensors, inverse osmosis

SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS	i
LISTA DE TABELAS	ii
SIMBOLOGIA.....	iii
CAPÍTULO I – INTRODUÇÃO.....	1
1.1. Objetivos.....	3
1.2. Justificativa	3
CAPÍTULO II – REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	4
2.1. Propriedades mecânicas.....	4
2.2. Testes mecânicos e dinâmicos.....	5
2.2.1. Teste de tração.....	5
2.2.1a. Propriedades elásticas.....	6
2.2.1b. Propriedades Plásticas.....	8
2.2.2 – Teste de fadiga.....	11
2.2.1a. Curva S-N.....	13
2.3. Polímeros.....	14
2.3.1 – Propriedades e características do poliestireno (PS).....	16
2.4. Extensiometria.....	18
2.4.1. Extensômetro elétrico de resistência.....	19
2.4.2. Resistência Elétrica.....	22
2.4.3. Extensômetro do tipo diafragma.....	24
2.4.4. Princípio de funcionamento e uso junto ao elemento elástico.....	27
2.5. Dessalinização via osmose inversa.....	29
2.5.1. Osmose inversa (OI).....	30
2.5.2. Fatores que influenciam nas condições de operação do processo de dessalinização.....	33
2.5.3. Processos de Separação com membranas (PSM)	39
CAPÍTULO III –METODOLOGIA	42
3. Materiais e Métodos.....	42
3.1. 1ª Etapa (Metodologia I).....	42

3.1.1. Confecção do corpo de prova polimérico.....	43
3.2. 2ª Etapa (Metodologia II).....	44
3.2.1. Confecção do corpo de prova para teste de fadiga.....	44
3.2.2. Materiais I.....	46
3.3. 3ª Etapa (Metodologia III).....	46
3.3.1. Acoplamento do extensômetro e sua estrutura de proteção ao circuito elétrico - sensores.....	46
3.3.2. Materiais II.....	49
3.4. 4ª Etapa (Metodologia IV).....	50
3.4.1. Construção do Sistema Hidráulico de Pressão (SHP) e Implantação dos sensores.....	50
3.4.2. Materiais III.....	51
3.5. 5ª Etapa (Metodologia V).....	51
3.5.1. Desenvolvimento dos sensores vazão no Sistema de Dessalinização Piloto - SDP.....	51
3.5.2. Materiais IV.....	53
3.6. 6ª Etapa (Metodologia VI).....	54
3.6.1. Implantação dos sensores de pressão e vazão no Sistema de Dessalinização Piloto - SDP.....	54
3.6.2. Materiais V.....	57
CAPÍTULO IV – RESULTADOS E DISCUSSÕES	58
4. Resultados e Discussão.....	58
4.1. 1ª Etapa: Resultados e Discussões dos testes mecânicos de tração.....	58
4.1.1. Comparação entre os resultados apresentados pelo polímero-01 e pelo polímero-02.....	59
4.1.2. Resultados e discussões dos testes de fadiga.....	62
4.2. 2ª Etapa: Resultados dos ensaios no Sistema Hidráulico de Pressão (SHP).....	67
4.2.1. Estudo do comportamento ideal do sensor de pressão no SHP.....	67
4.3. 3ª Etapa: Resultados dos ensaios dos sensores implantados no Sistema de Dessalinização Piloto (SDP).....	75
4.3.1. Resultados dos testes com os sensores de pressão no SDP.....	75
4.3.2. Função resposta dos sensores de pressão a partir da tensão aplicada após condicionamento de sinal.....	78

4.3.3. Resposta dos sensores de pressão comerciais.....	84
4.3.4. Comparação dos sensores de pressão desenvolvidos pelo LABDES e os sensores comerciais utilizados como referência via telemetria.....	85
4.3.5. Resultados dos testes com os sensores de vazão no SDP.....	88
4.3.6. Comparação do sensor de vazão desenvolvido pelo LABDES com dois ímãs e o sensor comercial.....	93
4.3.7. Comportamento do sensor de vazão desenvolvido pelo LABDES com quatro ímãs.....	96
4.3.8. Comparação do sensor de vazão desenvolvido pelo LABDES com quatro ímãs e o sensor comercial via telemetria.....	100
4.3.9. Diferença do custo total da fabricação dos sensores de pressão e vazão confeccionados no LABDES em comparação aos sensores comerciais.....	102
CAPÍTULO V – CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	105
5.1. Conclusões.....	105
5.1.1. 1ª Etapa: Estudos mecânicos e dinâmicos do Poliestireno.....	105
5.1.2. 2ª Etapa: Desenvolvimento dos sensores de pressão e vazão.....	106
6. Sugestões para pesquisas futuras.....	108
CAPÍTULO VI – REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	109
ANEXOS 01 (Dados tabelados).....	116
ANEXOS 02 (Manuais de Instruções).....	126

LISTA DE FIGURAS

Figura 01 – Esquema do corpo de prova antes e após esforços mecânicos	6
Figura 02 – Comportamento elástico linear	7
Figura 03 – Comportamento elástico não-linear.....	7
Figura 04 – Propriedades elásticas dos materiais.....	8
Figura 05 – Comportamento das regiões de deformações	9
Figura 06 – Diagrama do comportamento das regiões de deformações.....	9
Figura 07 – Caracterização das tensões cíclicas	13
Figura 08 – Caracterização do comportamento tensão-número de ciclos	14
Figura 09 – Comportamento do polímero após variação de temperatura	15
Figura 10 – Extensômetro tipo diafragma.....	20
Figura 11 – Gráfico da distribuição de tensão.....	21
Figura 12 – Roseta com 4 extensômetros para transdutor de pressão tipo diafragma	22
Figura 13 – Célula de carga (“ <i>Load cell</i> ”) que é utilizado em balança	22
Figura 14 – Roseta com 4 extensômetro para medida de tensão residual	22
Figura 15 – Diagrama do strain-gauge.....	23
Figura 16 – Extensômetro do tipo diafragma PA-09-364-CA-350-S.....	24
Figura 17 – Processo de fluência da osmose da solução menos concentrada para a mais concentrada com a diluição da mesma, (B) logo após equilíbrio osmótico, (C) aplica-se uma pressão contrária, realizando a osmose inversa	31
Figura 18 – Figura que demonstra o comportamento do fluido	37
Figura 19 – Esquema básico de funcionamento de uma membrana	40
Figura 20 – Elemento de membrana em espiral para processo de OI	41
Figura 21 – Esquema do corpo de prova	43
Figura 22 – Forças atuantes no teste de tração	44
Figura 23 – Face frontal do material polimérico	47
Figura 24 – Extensômetro com terminal de ligação	48
Figura 25 – Esquema do Sistema Hidráulico de Pressão (SHP)	50

Figura 26a– Fluxograma do processo de desenvolvimento do sensor de vazão confeccionado no LABDES.....	53
Figura 26b– Rotâmetro comercial do tipo rotor-X adotado como referência	53
Figura 27– Sistema de monitoração de dessalinizadores	56
Figura 28a – Caracterização das funções senoidais para 66% da Força total de ruptura.....	63
Figura 28b – Caracterização das funções senoidais para 50% da Força total de ruptura.....	63
Figura 28c – Caracterização das funções senoidais para 40% da Força total de ruptura.....	63
Figura 28d – Caracterização das funções senoidais para 30% da Força total de ruptura.....	64
Figura 29– Variação da tensão em função do número de ciclos para o polímero-02 onde o número de ciclos é dado em uma multiplicação de ordem 10^5 para 5 Hz.....	66
relação à Resistência na borda e no centro (15kgf/cm^2 e 20kgf/cm^2).....	68
Figura 30 – Média do comportamento dos sensores frente a diferentes gradientes de pressão no segundo teste (26°C - 70°C).....	68
Figura 31 – Comportamento de R_bordas diante a pressão exercida em cada ponto.....	69
Figura 32 – Comportamento de R_centro diante a pressão exercida em cada ponto.....	69
Figura 33 – Média do comportamento dos sensores frente a diferentes gradientes de pressão em cada ponto (26°C - 30°C).....	70
Figura 34 – Fotografia do acoplamento extensômetro-placa-suporte.....	70
Figura 35 – Comportamento da pressão em R_bordas com o tempo de 1 hora em cada ponto.	71
Figura 36 – Comportamento da Pressão em R_centro com o tempo de 1 hora em cada ponto.	71
Figura 37 – Média do comportamento dos sensores frente a diferentes gradientes de pressão em 1 hora de operação em cada ponto (26°C - 30°C).....	72
Figura 38 – Comportamento desejado para R_centro e R_borda durante aplicação de cargas.....	72

Figura 39 – Fotografia do acoplamento extensômetro-placa-suporte-encapsulamento	73
Figura 40 – Comportamento das Resistências no ponto 01 do sensor referente à borda (Rborda_1) e o centro (Rcentro_1) com o tempo de 20 e 10 min de operação em cada ponto diante diferentes gradientes de pressão	74
Figura 41 – Comportamento das Resistências no ponto 02 do sensor referente à borda (Rborda_2) e o centro (Rcentro_2) com o tempo de 20 e 10 min de operação em cada ponto diante diferentes gradientes de pressão	74
Figura 42 – Media do Comportamento das Resistências no ponto 01 do sensor, referente à borda (Rborda_1) e o centro (Rcentro_1) com o tempo de 20 e 10 min de operação em cada ponto(26°C-30°C).....	75
Figura 43 – Comportamento das Resistências no ponto 01 do sensor referente à borda (R_borda1) e o centro (R_centro1) com o tempo de 30 e 5 min de operação em cada ponto.....	76
Figura 44 – Comportamento das Resistências no ponto 02 do sensor referente à borda (R_borda2) e o centro (R_centro2) com o tempo de 30 e 5 min de operação em cada ponto.....	76
Figura 45 – Media do Comportamento das Resistências no ponto 01 do sensor, referente à borda (Rborda_1) e o centro (Rcentro_1) com o tempo de 30 e 5 min de operação em cada ponto (26°C-30°C).....	77
Figura 46 – Comportamento da tensão diante pressão aplicada após 75 minutos de operação para elementos elásticos com espessura 1 mm.....	79
Figura 47 – Médias dos comportamentos das tensões diante pressão de operação exercida para elementos elásticos com espessuras de 1 mm.....	80
Figura 48 – Linearização dos pontos de pressão acima de 1 kgf/cm ² dos sensores de pressão com elementos elásticos de espessuras 1 mm	81
Figura 49 – Comportamento da tensão diante pressão aplicada após 60 minutos de operação para elementos elásticos com espessura 3 mm.....	82
Figura 50 – Médias dos comportamentos das tensões diante pressão de operação exercida para elementos elásticos com espessuras de 3 mm.....	83
Figura 51 – Linearização dos pontos de pressão acima de 2 kgf/cm ² dos sensores de pressão com elementos elásticos de espessuras 3 mm	83

Figura 52 – Linearização dos pontos de pressão do sensor comercial adotado como referência.....	85
Figura 53 – Acompanhamento e comparação via telemetria das respostas dos sensores confeccionados no LABDES e os sensores comerciais na saída dos filtros (P2).....	86
Figura 54 – Acompanhamento e comparação via telemetria das respostas dos sensores confeccionados no LABDES e os sensores comerciais na saída das membranas (P4)	87
Figura 55 – Comportamento da vazão de permeado diante uma pressão exercida no SDP utilizando a água de chuva.....	89
Figura 56 – Comportamento da frequência diante uma pressão exercida no SDP utilizando água de chuva	90
Figura 57 – Resposta do rotâmetro da relação entre frequência e vazão de permeado no SDP utilizando água de chuva.....	90
Figura 58 – Comportamento da vazão de permeado diante uma pressão exercida no SDP utilizando água de chuva	91
Figura 59 – Comportamento da frequência diante uma pressão exercida no SDP utilizando água de chuva	92
Figura 60 – Resposta do rotâmetro da relação entre frequência e vazão de permeado no SDP utilizando água de chuva.....	92
Figura 61 – Comparação do comportamento da vazão de permeado entre o hidrômetro, sensor comercial e o sensor LABDES diante uma pressão exercida no SDP com a água de chuva	94
Figura 62 – Resposta do rotâmetro da relação entre frequência e vazão de permeado após correção do erro na inclinação.....	95
Figura 63 – Observação do comportamento turbulento no SDP através de ensaios com a água de torneira (Pressão de 5 kgf/cm ²)	96
Figura 64 – Observação do comportamento turbulento no SDP através de ensaios com a água de torneira (Pressão de 10 kgf/cm ²).....	96
Figura 65 – Comportamento e intervalo dos valores máximos e mínimos do fator de conversão do rotâmetro utilizado no permeado (Rot-01).....	97
Figura 66 – Resposta do rotâmetro adotado para o permeado sendo observada a relação entre frequência e vazão utilizando quatro ímãs.....	98

Figura 67 – Comportamento e intervalo dos valores máximos e mínimos do fator de conversão do rotâmetro utilizado no concentrado (Rot-03).....	99
Figura 68 – Resposta do rotâmetro adotado para o concentrado sendo observada a relação entre frequência e vazão utilizando quatro imãs.....	99
Figura 69 – Resposta do Rot-03 e dos rotômetros comerciais adotados para o concentrado sendo observado o seu comportamento no ensaio diante o tempo de trabalho.....	100
Figura 70 – Resposta do Rot-01 e dos rotômetros comerciais adotados para o permeado sendo observado o seu comportamento no ensaio diante o tempo de trabalho.....	101

CAPITULO I

1. INTRODUÇÃO

O Laboratório de Referência em Dessalinização (LABDES) da Universidade Federal de Campina Grande, juntamente com a Secretaria de Recursos Hídricos do Ministério do Meio Ambiente através do Programa Água Boa, investiu no processo de dessalinização via osmose inversa para atender comunidades com carência de água de boa qualidade a partir de águas salobras e salinas de poços tubulares existentes nas regiões semi-áridas do Nordeste. Independentes aos benefícios sociais oferecidos às comunidades contempladas, diversos tipos de problemas são enfrentados com os equipamentos instalados no campo: a falta de capacitação de operação, monitoração e manutenção. Como consequência disso, a membrana dos equipamentos tem apresentado um tempo de vida útil menor do que 3 anos, o que ocasiona o aumento do custo de manutenção dos dessalinizadores. É essencial que os equipamentos tenham uma boa manutenção para aumentar a sua vida útil no mínimo 5 anos, produzindo água de boa qualidade.

Uma forma de solucionar este problema é através da realização de atividades de gerenciamento remoto com o auxílio dos sensores instalados em um Sistema de Dessalinização Piloto (SDP). Portanto, a fase inicial deste projeto está focada na fabricação de sensores que irão compor o sistema de automação de baixo custo para os dessalinizadores.

Foram realizados vários testes em diferentes tipos de lâminas poliméricas, que tem como função principal, servir como estrutura de proteção dos sensores acoplados ao SDP. Os polímeros, por sua vez, se enquadram na faixa de pressão hidráulica que os dessalinizadores operam no campo. O material polimérico escolhido após alguns testes mecânicos e dinâmicos serão analisados através de suas resposta às influências externas, sejam elas de natureza reversível ou irreversível. As características mecânicas dos polímeros serão relatadas em tabelas. Dentre elas, tem-se:

- Tensão de Ruptura (Frágil ou Dúctil);
- Resistência à Tração (Razão entre a força de tensão e a área inicial);
- Módulo de Young (Módulo de Elasticidade medido em fase elástica);

Os testes de fadiga (esforço cíclico aplicado ao material) e de tração/compressão serão realizados na máquina do Servohidráulica MTS e na máquina Sistema tração/compressão Loyd 10k respectivamente.

Estudada esta faixa de confiança do material e sabendo-se a sua fase elástica e plástica, o material polimérico conjuga-se a um extensômetro e um circuito elétrico (sensores de pressão) – (donde estes terão a função de transmitir sinais dentro de intervalos de tempos pré-estabelecidos junto a um computador embarcado), o qual passará por efeitos de diferentes gradientes de pressão, sendo testado no Sistema Hidráulico de Pressão (SHP). Além de que, os sensores confeccionados em âmbito do Laboratório de Referência em Dessalinização (LABDES) são comparados aos outros comerciais (referência) a título de avaliar seus desempenhos e o desenvolvimento do microcontrolador. Os testes foram realizados juntamente com os membros do Departamento de Engenharia Elétrica da UFCG.

Após conclusão das etapas citadas, poder-se-á monitorar o sistema de dessalinização à distância, ou seja, via telemetria e criar um banco de informações das variáveis de medidas do sistema.

A parte central do trabalho se encontra no meio de comunicação via modem para enviar os dados de operação do dessalinizador para um computador gerente. Essa etapa com o auxílio de um programa e dos sensores possibilitou gerenciar as informações dirigidas para um programa de manutenção preventiva do sistema de dessalinização.

O programa de computador foi testado com as seguintes variáveis de medidas: pressão de entrada e saída nos elementos de filtros, pressão de entrada e saída nos elementos de membranas, vazão do permeado e concentrado e as condições limites de operação. A idéia é monitorar a distância os sistemas em função resposta das perturbações com auxílio dos sensores de baixo custo. O software consiste em um banco dados de todos os poços que se encontram instalados os sistemas de dessalinização. O programa possui todas as informações pertinentes ao dessalinizador, tais como: pressão e vazão com sensores desenvolvidos pelo LABDES a baixo custo, temperatura, pH, análises físico química, profundidade, tipo de revestimento, etc., oferece também condições de mostrar que tipo de equipamento (dessalinizador) se encontra operando no local, número e tipo de membranas, fabricante, etc. Além de enriquecer o software com todas as equações que regem o processo de dessalinização como todo, para que possamos estudar os fenômenos intrínsecos que ocorrem durante a dessalinização, como

por exemplo, o desenvolvimento da concentração de polarização na superfície da membrana em função da qualidade da água.

1.1. OBJETIVOS

A presente proposta visa realizar um dos objetivos do projeto intitulado, Aumento da Vida Útil de Sistemas de Dessalinização no Campo: Análise, Manutenção e Monitoração Remota, aprovado no último CTHIDRO 01/2001- CNPq, o qual apresenta em sua planilha a solicitação de colaboradores/alunos de mestrado. Nesse sentido os objetivos do plano de trabalho para o aluno são os seguintes:

1. Desenvolver um sistema de automação de baixo custo para os dessalinizadores.
2. Monitorar o sistema de dessalinização via telemetria.
3. Criar um banco de informações das variáveis de medidas do sistema.
4. Através de um "software" gerenciar as informações dirigidas para um programa de manutenção preventiva.

1.2. JUSTIFICATIVA

Esta fase do projeto consiste em desenvolver um sistema de monitoração remota composto de sensores e um computador embarcado, o qual fará parte do Sistema de Dessalinização Piloto (SDP). Então, com o desenvolvimento desta fase e incorporando-se a fase I e III, dever-se-á amenizar os problemas relacionados com o curto tempo de vida útil das membranas, cooperando com a funcionalidade dos sistemas de dessalinização via telemetria a baixo custo.

CAPITULO II

2. REVISÃO BILIOGRÁFICA

2.1 - PROPRIEDADES MECÂNICAS

Todos os campos da tecnologia, especialmente aqueles referentes à construção de máquinas e estruturas, estão intimamente ligados aos materiais e às suas propriedades. Tomando como base às mudanças que ocorrem nos materiais, essas propriedades podem ser classificadas em dois grupos: físicos e químicos.

Entre as propriedades físicas, destacam-se as propriedades mecânicas, que se referem à forma como os materiais reagem aos esforços externos, apresentação de deformação ou ruptura (Mecânica dos Ensaio de Materiais, 1997).

As propriedades mecânicas compreendem a resposta dos materiais às influências mecânicas externas, manifestadas pela capacidade de desenvolverem deformações reversíveis e irreversíveis, e resistirem à fratura. Essas características são geralmente avaliadas por meio de ensaios, que indicam dependências tensão-deformação, que, todavia são insuficientes para descrever os materiais poliméricos, também a nível molecular. Assim, as características dos polímeros, que se refletem nas suas propriedades mecânicas, podem ser quantificadas através de métodos cujo empirismo é contrabalançando pelo rigor das condições, estabelecidas nas normas técnicas. As propriedades mecânicas mais importantes decorrem de processos onde há grandes relaxações moleculares, como relaxação sob tensão, escoamento sob peso constante e histerese.

Essas relaxações dependem muito da temperatura, da capacidade de desenvolver deformações reversíveis pronunciadas, que são maiores em elastômeros, bem como da íntima correlação entre processos mecânicos e químicos, os quais se influenciam mutuamente de modo substancial (Mano, 1991).

Existem vários critérios para classificar os ensaios mecânicos, são eles:

- Ensaio destrutivo: são aqueles que deixam algum sinal na peça ou corpo de prova submetido ao ensaio, mesmo que não fique inutilizado (tração, fadiga, etc.);
- Ensaio não destrutivo: são aqueles que após realização não deixam nenhuma marca ou sinal, por consequência, nunca inutilizam a peça ou corpo de prova (ultra-som, radiologia industrial, etc.).

Dentre as propriedades mecânicas dos materiais, existem duas propriedades que estão intrinsecamente ligadas às características de todos os ensaios dos materiais: as propriedades elásticas e as propriedades plásticas.

2.2 – TESTES MECÂNICOS E DINÂMICOS

A determinação das propriedades mecânicas dos materiais é obtida por meio de ensaios mecânicos, realizados no próprio produto ou em corpos de prova de dimensões e formas especificadas, segundo procedimentos padronizados por normas brasileiras e estrangeiras (Mecânica dos Ensaio de Materiais, 1997).

Existem vários ensaios mecânicos, onde a realização dos mesmos depende da necessidade do trabalho em questão. Dentre os experimentos mecânicos apresentados neste tem-se: teste de tração (ASTM D-882, ASTM D-638, ASTM D 412, 1988) e fadiga (ASTM D-671, 1988), assim com segue:

2.2.1 – TESTE DE TRAÇÃO

O ensaio de tração consiste em submeter o material a um esforço que tende a alongá-lo até a ruptura. Geralmente, o ensaio é realizado num corpo de prova de formas e dimensões padronizadas, para que os resultados obtidos possam ser comparados e reproduzidos. Este corpo de prova é fixado numa máquina de ensaio que aplica esforços crescentes na sua direção axial, sendo medidas as deformações correspondentes por

intermédio de um aparelho especial. Os esforços ou cargas são medidos na própria máquina de ensaio e o corpo de prova é levado até a sua ruptura. A aplicação da força axial de tração num corpo preso produz uma deformação no corpo, isto é, aumenta o seu comprimento com a diminuição da área, como mostra o esquema abaixo:

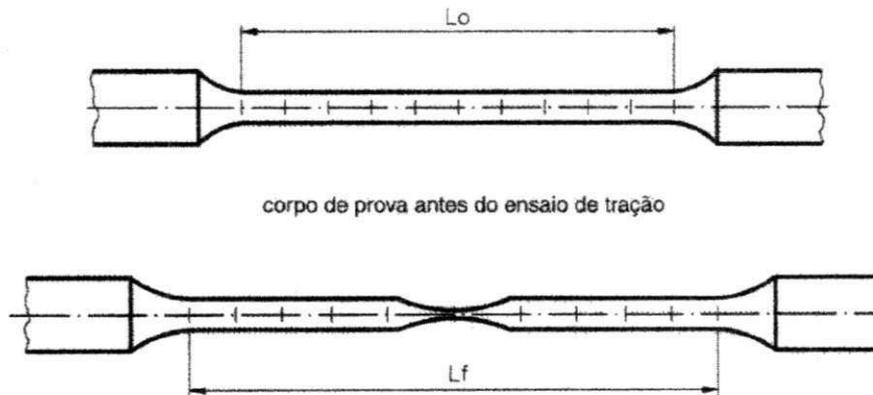


Figura 01: Esquema do corpo de prova antes e após esforços mecânicos

(Fonte: Mecânica dos Ensaios de Materiais, 1997)

As deformações sofridas pelo material, são uniformemente distribuídas em todo o seu corpo, pelo menos até ser atingida uma carga máxima próxima do final do ensaio e, como é possível fazer com que a carga cresça numa velocidade lenta durante todo o teste, o ensaio de tração permite medir satisfatoriamente a resistência do material e obter medições precisas da variação dessa deformação em função da tensão aplicada. Essa variação é determinada pelo traçado da curva tensão-deformação, a qual pode ser obtida diretamente pelo equipamento ou por pontos (Junior et al., 2002).

Há dois tipos de deformações, que se sucedem quando o material é submetido a uma força de tração: a elástica e a plástica.

2.2.1a - PROPRIEDADES ELÁSTICAS

As propriedades elásticas são características importantes da resistência dos materiais. O corpo de prova é estendido a uma velocidade padrão constante até a sua

ruptura (ASTM D 412). A deformação elástica é instantânea, reversível (volta às dimensões originais) e possui uma variação de volume. A deformação elástica pode ser linear, isto é, a deformação é proporcional à tensão aplicada ou não linear (Beer et al., 1995).

Diante estas informações, a característica mecânica dos materiais é mais bem observada se tomarmos como análise as seguintes Leis:

- Lei de Hooke – A deformação é proporcional à tensão, onde na prática isto não ocorre frequentemente, pois a mesma nem sempre é linear;
- Módulo de Elasticidade ou de Young (E) – É uma constante de proporcionalidade entre tensão (τ) e deformação (ε). É uma medida da rigidez do material. Quanto maior for o módulo, menor será a deformação elástica resultante da aplicação de uma tensão e mais rígido será o material.

$$E = \frac{\tau}{\varepsilon} \quad (\text{Módulo de Elasticidade}) \quad (01)$$

$$\text{onde } \varepsilon = \frac{\Delta l}{l_0} \quad (\text{Deformação}) \quad (02)$$

onde E é o Módulo de Elasticidade (kgf/cm^2), τ é a tensão (kgf/cm^2), ε é deformação sofrida pelo material (%), Δl é a variação do comprimento do material (cm) e l_0 é o comprimento inicial do material (cm).

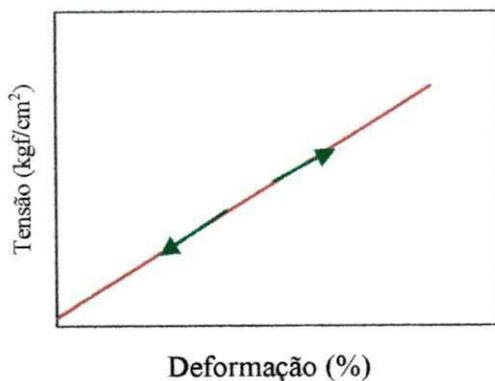


Figura 02: Comportamento elástico linear

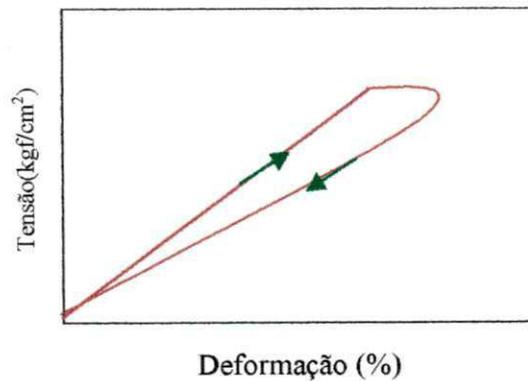


Figura 03: Comportamento elástico não-linear

Para um melhor entendimento, é bastante observar a Figura 04 e acompanhar diante todos os passos o comportamento dos materiais:

- A resistência à tração é avaliada pela carga aplicada por unidade de área no momento da ruptura (Figura 4 A);
- O alongamento representa aumento percentual do comprimento da peça sob tração, no momento da ruptura (Figura 4 B);
- O módulo de elasticidade ou módulo de Young é medido pela razão entre a tensão e a deformação, dentro do limite elástico, em que a deformação é totalmente reversível e proporcional à tensão. (Figura 4 C). Os módulos a 100%, 200% e 300% utilizados para caracterizar os elastômeros, e descrevem não o módulo real, mas a tensão necessária para produzir deformações de 100%, 200% e 300%. A resistência à tração e o alongamento na ruptura podem ser correlacionados quantitativamente com a estrutura do polímero;
- Extensão posterior do polímero acarreta deslizamento das macromoléculas com o rompimento de ligações secundárias entre cadeias adjacentes, podendo resultar em deformações permanentes. (Figura 4 D).

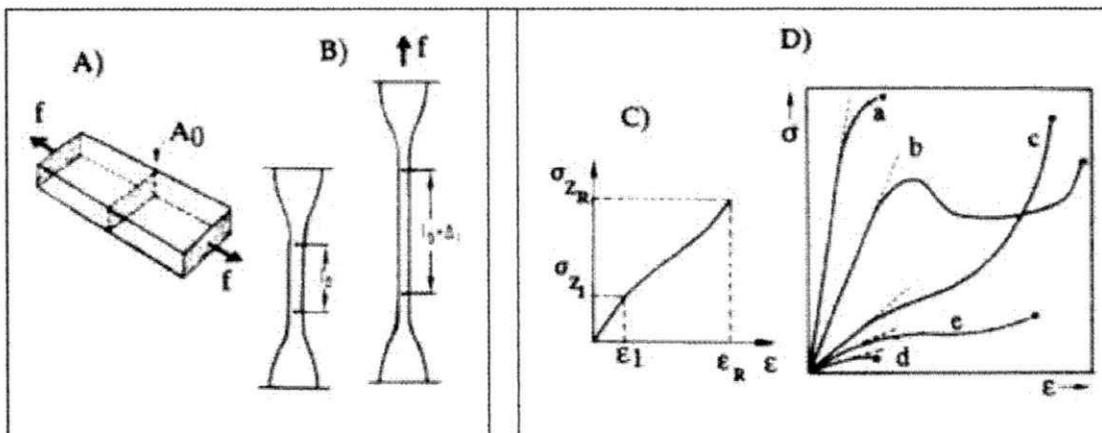


Figura 04: Propriedades elásticas dos materiais

2.2.1b - PROPRIEDADES PLÁSTICAS

É uma propriedade permanente, isto é, uma vez cessados os esforços, o material não recupera a deformação elástica, mas fica com uma deformação residual plástica, não voltando mais a sua forma original.

Inicialmente os materiais possuem uma deformação elástica. No entanto, acima de um determinado valor começam a ocorrer escorregamentos entre os átomos dos materiais.

A deformação plástica se dá por escorregamento e pelo deslocamento relativo dos átomos e moléculas (planos cristalinos). Além de ocorrer acima de determinada carga, é instantânea, irreversível e não ocorre mudança de volume.

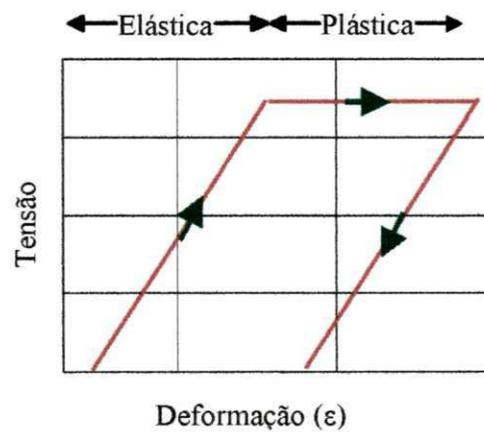


Figura 05: Comportamento das regiões de deformações

Ou

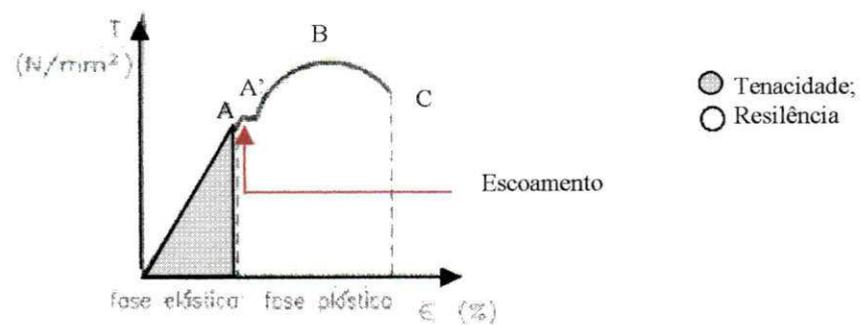


Figura 06: Diagrama do comportamento das regiões de deformações

A Figura 05 e a Figura 06 mostram o comportamento e as propriedades mecânicas a serem avaliadas após a realização de qualquer teste de tração realizado (Mecânica dos Ensaios de Materiais, 1997), onde:

- Diagrama tensão deformação: É um diagrama típico da Figura 06, onde mostra a relação da força aplicada e as deformações ocorridas durante o ensaio. Portanto, se analisando o diagrama passo a passo, é possível conhecer todas as outras propriedades mecânicas;
- Limite elástico: Note que foi marcado um ponto **A** no final da reta do gráfico, denominado limite elástico. O limite elástico recebe este nome porque, se o ensaio for interrompido antes deste ponto e a força de tração for retirada, o corpo volta a sua forma original;
- Módulo de elasticidade: É a medida da rigidez do material. Então, quanto maior for o módulo, menor será a deformação elástica resultante da aplicação de uma tensão e mais rígido será o material;
- Limite de proporcionalidade: É o ponto representado no gráfico por **A'**, onde a deformação deixa de ser proporcional à carga aplicada. Na prática coincide com o limite de elasticidade;
- Escoamento: É o início da fase plástica, quando ocorre deformação permanente no material sem que haja aumento de carga, mas com aumento de velocidade de deformação;
- Limite de Resistência (LR): após o escoamento ocorre o encruamento, que é o endurecimento causado pela quebra dos grãos que compões o material quando deformados a frio. Nesta fase a tensão começa a subir até atingir o valor máximo Limite de Resistência (ponto **B** no gráfico).

$$LR = F_{\max}/S_0 \quad (03)$$

Onde LR é o Limite de Resistência (N/cm²), F_{\max} é a força máxima aplicada (N) e S_0 é a área da força aplicada (cm²).

- Energias de Ruptura: podem ser duas:

Quanto à energia absorvida:

- a) Resilência – Energia absorvida por um material até sua ruptura em deformação;
- b) Tenacidade - Energia absorvida por um material até seu limite elástico.

Quanto a formas de Ruptura:

- a) Ruptura Frágil – Ocorre sem que o material sofra deformações plásticas significativas;
- b) Ruptura Dúctil - Ocorre quando o material sofre deformações plásticas (ruptura avisada).

Principais Equações mecânicas:

$$A) \tau = \frac{F}{A_0} \quad (04)$$

onde τ é a Resistência à tensão do material, F é a força de tensão e A_0 é a área inicial da secção reta. Sabendo-se que a tração atua sobre a área da secção transversal do material. Tem-se assim uma relação entre essa força aplicada e a área do material que está sendo exigida, denominada tensão.

$$B) \text{Alongamento} = \frac{\Delta L}{L_0} \quad (05)$$

onde ΔL é a variação de comprimento e L_0 o comprimento inicial.

C) Características dos materiais:

- a) Material duro quebradiço
- b) Material duro e resistente
- c) Material elástico
- d) Material macio e fraco
- e) Material macio e resistente

2.2.2 – TESTE DE FADIGA

Além dos resultados adquiridos com os ensaios de tração, o material poderá o falhar, ou seja, romper, pois cada material quando submetido a esforços (tensões) possui

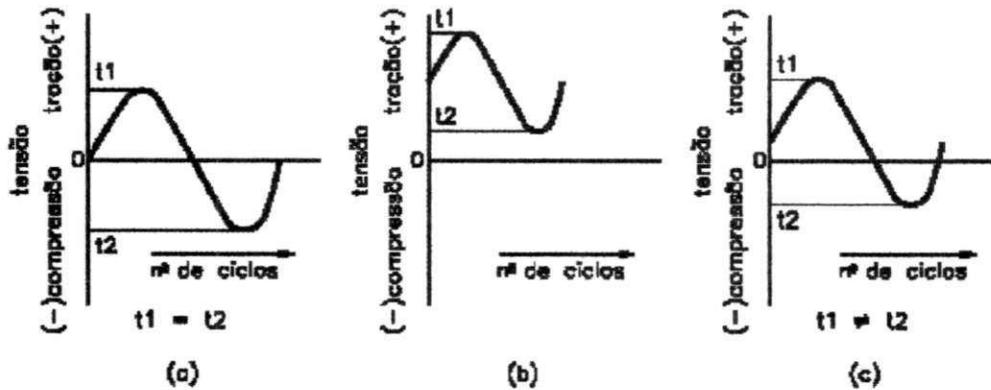
um tempo de vida útil. Estes esforços são chamados de fadiga ou flexão dinâmica. Portanto a fadiga é determinada e obtida a partir de esforços cíclicos repetidos que ocasiona a ruptura do componente onde a força tensorial é menor que a resistência mecânica.

$$\tau < R_{mec} \quad (06)$$

Este esforço cíclico afeta vários os tipos de materiais seja ele concreto, polímeros, metais e cerâmicas (exceto as vítreas). Sob fadiga um material rompe embora seja submetida a tensões muito inferiores a sua tensão de ruptura. Este fenômeno ocorre devido à propagação de defeitos (microfissuras), que a cada ciclo de carga aumentam de tamanho, reduzindo a secção resistente e aumentando a tensão atuante.

A ruptura por fadiga começa a partir de uma trinca (nucleação) ou pequena falha superficial, que se propaga ampliando seu tamanho, devido às sollicitações cíclicas. Quando a trinca aumenta de tamanho o suficiente para que o restante do material não suporte mais o esforço que está sendo aplicado, a peça se rompe repentinamente. A fratura por fadiga é típica: geralmente apresenta-se fibrosa na região de propagação da trinca e cristalina na região da ruptura repentina (Kawaguchi et al., 2004).

A tensões cíclicas mais comuns são caracterizadas por funções senoidais, onde os valores de tensões são representados no eixo das ordenadas e o número de ciclos no eixo das abscissas. As tensões de tração são representadas como positivas e as tensões de compressão como negativas. A figura a seguir apresenta três tipos de ciclos de tensões (ASTM D-671, 1988):



- (a) Tensão Reversa;
 (b) Tensão Repetida (campo de tração);
 (c) Tensão Repetida (campo de tração e compressão).

Figura 07: Caracterização das tensões cíclicas

2.2.2a - CURVA S-N

A caracterização final do ensaio de fadiga, geralmente é apresentado numa curva tensão-número de ciclos, ou simplesmente curva S-N. O S vem da palavra inglesa “stress”, que quer dizer tensão, e N representa o número de ciclos. Supondo que, para uma certa solitação de flexão S1 o corpo de prova se rompa em um certo número de ciclos N1, e para uma solitação S2 se rompa em N2 ciclos, e assim por diante, pode-se construir o diagrama S-N, com a tensão no eixo das ordenadas e o número de ciclos no eixo das abscissas.

Observando a curva obtida, nota-se que, à medida que se diminui a tensão aplicada, o corpo de prova resiste a um maior número de ciclos. Nota-se, também, que diminuindo a tensão a partir de um certo nível em que a curva se torna horizontal, o número de ciclos para o rompimento do corpo de prova torna-se praticamente infinito. Esta tensão máxima, que praticamente não provoca mais a fratura por fadiga, chama-se limite de fadiga ou resistência à fadiga do material considerado (Beer et al., 1995).

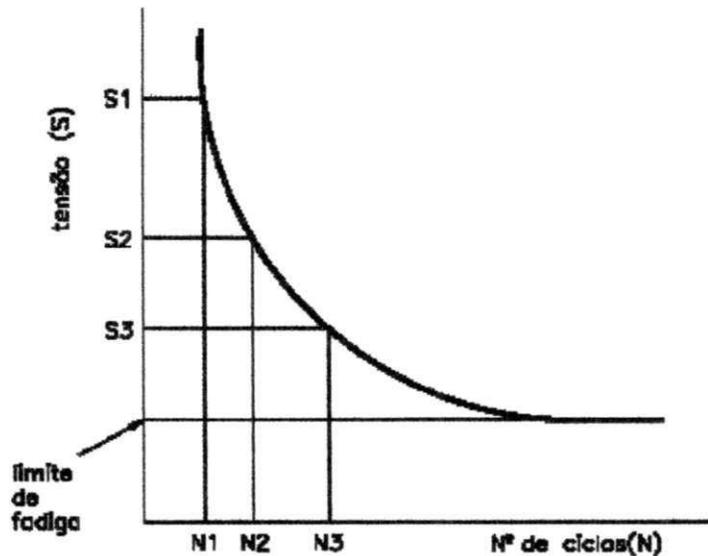


Figura 08: Caracterização do comportamento tensão – número de ciclos

2.3 – POLÍMEROS

Os polímeros são macromoléculas naturais ou sintéticas, de altos pesos moleculares, formados por encadeamento de unidades moleculares fundamentais e ligados covalentemente, chamadas monômeros. Dependendo da natureza química dos monômeros e da técnica empregada para a polimerização, os polímeros podem exibir diferentes tipos de arquiteturas. Os mais comuns são os de estrutura linear, ramificada ou em rede.

Existem dois tipos de polímeros: os homopolímeros (somente uma espécie de monômero está presente na estrutura do polímero) e os copolímeros (diferentes espécies de monômeros são empregadas na estrutura do polímero). Polímeros biológicos fundamentam a existência da vida, e existem desde o surgimento da primeira célula na superfície da terra. Além dos polímeros naturais ou biológicos, que têm sido empregados pelo homem desde os mais remotos tempos: asfalto era utilizado em tempos pré-bíblicos e mais atualmente a borracha (extraída do látex) âmbar já era conhecido pelos gregos e a goma pelos romanos (Callister, 2002).

Em sua estrutura, os polímeros exibem dois tipos de morfologia no estado sólido: o amorfo e o semicristalino. Em um polímero amorfo, as moléculas estão orientadas aleatoriamente e estão entrelaçadas - lembram um prato de “spaghetti” cozido. Os polímeros amorfos são, geralmente, transparentes. Nos polímeros semicristalinos, as moléculas exibem um empacotamento regular, ordenado, em determinadas regiões. Como pode ser esperado, este comportamento é mais comum em polímeros lineares, devido a sua estrutura regular.

Devido às fortes interações intermoleculares, os polímeros semicristalinos são mais duros e resistentes; como as regiões cristalinas espalham a luz, estes polímeros são mais opacos. O surgimento de regiões cristalinas pode, ainda, ser induzido por um “esticamento” das fibras, no sentido de alinhar as moléculas. Logo abaixo, está ilustrado um diagrama de volume versus temperatura para dois polímeros: um amorfo e um semicristalino. Em baixas temperaturas, as moléculas de ambos os polímeros vibram com baixa energia; eles estão “congelados” em uma situação do estado sólido conhecida como “estado vítreo”. Com o aquecimento do polímero, as moléculas vibram com mais energia e uma transição ocorre: do estado vítreo para o estado borrachoso. Neste estado, o polímero possui um maior volume, uma maior dilatação térmica e maior elasticidade. O ponto onde esta transição ocorre é conhecido como temperatura de transição vítrea, e está denotado no gráfico como T_g .

Quando aquecidos, os polímeros podem vir a derreter. A temperatura de fusão dos polímeros é indicada, no diagrama, como T_m . No estado líquido, os polímeros podem ser fundidos e moldados, por exemplo. Somente alguns polímeros podem ser derretidos, e são chamados de termoplásticos (Revista eletrônica do Departamento de Química, 2004).

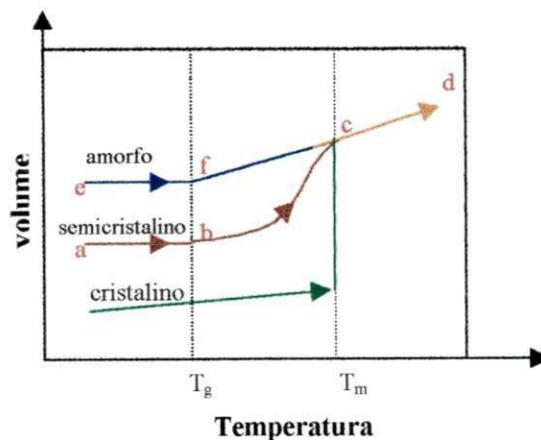


Figura 09: Comportamento do polímero após de temperatura (Callister et al., 2002)

O polietileno obtido a partir do etileno e o polipropileno, polímero do propeno, são cristalinos, translúcidos e termoplásticos (substâncias que mudam de forma sob a ação do calor, permitindo tratamento em moldagem pelo método mecânico) além de serem sintéticos. São usados em revestimentos, embalagens, peças moldáveis e na fabricação de recipientes, na indústria têxtil e para fazer objetos moldáveis. Suas moléculas podem ser compostas de 50.000 a 200.000 monômeros.

O polibutadieno, o poliisopreno e o policloropreno são de grande importância na fabricação de borrachas sintéticas. Alguns polímeros são vítreos e transparentes à temperatura ambiente, além de serem termoplásticos. É o caso do poliestireno (PS), que pode ser tingido de qualquer cor e é usado na fabricação de brinquedos e outros objetos de plástico.

2.3.1 – PROPRIEDADES E CARACTERÍSTICAS DO POLIESTIRENO (PS)

O Poliestireno (PS) é um termoplástico amorfo, obtido por meio da polimerização do monômero de estireno, utilizado pela indústria transformadora de plásticos, principalmente nos processos de injeção, extrusão e termoformagem. Comercialmente é oferecido em dois tipos: o poliestireno cristal (PS) e o alto impacto (PSAI). O PSAI, obtido por meio da dispersão de uma fase borracha na matriz de poliestireno, é um material rígido, opaco, de boa resistência ao impacto e alongamento (ACEPE). As diferenças básicas entre os dois tipos de poliestireno são:

- **Poliestireno cristal:** Homopolímeros amorfos, duros, com brilho e elevado índice de refração. Pode receber aditivos lubrificantes para facilitar processamento. Usado em artigos de baixo custo;
- **Poliestireno de alto impacto (PSAI ou HIPS – “high-impact polystyrene”):** contém de 5 a 10% de Elastômeros (borracha), que é incorporado através de mistura mecânica ou diretamente no processo de polimerização, através de enxerto na cadeia polimérica. Obtém-se desse modo uma blenda. Muito usado na fabricação de utensílios domésticos (gavetas de geladeira) e brinquedos.

Sabendo-se que alguns polímeros tais como o poliestireno (PSAI), além de serem vítreos, são termoplástico e possuem propriedades características de dureza. O

poliestireno de alto impacto é semicristalino opaco e amarelado, mistura física de BR ou BR grafitizado com estireno (BR e borracha natural). É considerado o poliestireno do futuro. É empregado na fabricação de descartáveis, embalagens, eletroeletrônicos, brinquedos, acessórios para móveis e saltos de calçados. Trata-se de um novo tipo de poliestireno que possui certa diferença dos poliestirenos (PS). Os seus grupos fenil são unidos na corrente do polímero em seus lados formando uma corrente de espinha dorsal do polímero. O PSAI é semicristalino e possui uma temperatura de transição vítrea (T_g) igual 100°C e uma temperatura de fusão (T_m) igual à 230°C .

É composto de correntes com propriedades borrachudas que tem a função de aumentar suas propriedades mecânicas. Portanto, pode-se comprovar que o PSAI é um copolímero do estireno e butadieno que absorve mais energia na fase elástica que o poliestireno normal. Isto o faz mais forte e capaz de realizar testes mecânicos de impactos mais duros sem quebrar do que o poliestireno regular (maior segurança). Este material é chamado poliestireno de alto impacto ou PSAI (Macro Gallery, 2003).

Diante estas características associadas ao material, podemos resumir dentre as vantagens gerais deste material: Leve (de $1,04 \text{ g/cm}^3$ a $1,07 \text{ g/cm}^3$), o que facilita seu manuseio e aplicação, possui estabilidade térmica excelente (deformável próximo de 100°C), atóxico, baixo custo, cola com perfeição, quase inexistente a fase plástica, possui espessuras de 0,14 mm a 10 mm, resistente à ação de fungos, bactérias, insetos e roedores, bons isolantes térmico, impermeável a gases e líquidos, durável: sua vida útil em construções é superior a 50 anos (ACEPE), versátil e ambientalmente correto, reciclável, quimicamente inerte, hidrofóbico, resistência mecânica e ao envelhecimento, rigidez, baixa condutibilidade térmica (Mano, 1991).

Existem algumas propriedades relevantes do poliestireno, que devem ser enfatizadas se o mesmo forem utilizados na aplicação de esforços físicos, químicos e em exposição de alguns ambientes específicos, são elas:

- Exposição a altas temperaturas: O PSAI não tem limite na exposição a baixas temperaturas; a temperatura mínima de utilização corresponde à da liquefação dos gases componentes do ar contido nas células. No entanto, como todos os plásticos, o PS tem um limite superior de exposição à temperatura. Este limite varia em função do tempo de exposição à temperatura e das cargas a que o PSAI estará sujeito. A temperatura máxima do PSAI poderá ultrapassar os 100°C em exposições muito curtas, baixando para $80\text{-}85^\circ\text{C}$ em situações de exposição prolongada com a aplicação de cargas

elevadas. Com a aplicação de temperaturas mais elevadas a estrutura celular do PSAI começa a fundir, causando a perda de espessura e das propriedades isolantes;

- Dilatação térmica: O PSAI, como qualquer material, dilata e contrai em função da variação da temperatura a que estiver sujeito;

- Propriedades mecânicas: é um elemento com características especiais: alta resistência à compressão, à vibração mecânica, resistência ao impacto, resistência à tração, rigidez e baixa condutibilidade térmica. Quanto maior sua massa volumétrica maior será sua resistência a esses esforços mecânicos (ACEPE – Associação do Poliestireno Estireno Expandido, 2004)

2.4 – EXTENSIOMETRIA

O conceito de transdutores e instrumentação encontram-se intrinsecamente ligados a extensimetria, devido associação de instrumentos especiais (transdutores) que possibilita a medição de pressão, tensão, força, etc. Esta linha de pesquisa distingue-se pela pesquisa, projeto, desenvolvimento, implementação, caracterização e aferição de transdutores (sensores e atuadores) utilizados em aplicações científicas, comerciais, industriais e médicas. Estes transdutores podem ser sensores (força, torque e pressão, temperatura, deslocamento e aceleração, fluxo, viscosidade, e umidade) e atuadores (acionadores de válvulas, motores de passo, motores de relutância chaveados, motores de corrente contínua sem escovas, motores síncronos, motores lineares, motores planares, rotativos de curso limitado e motores ultrasônicos). As aplicações comerciais, industriais, laboratoriais e médicas de transdutores são muito grandes; novas técnicas e novos materiais têm favorecido a criação de novos transdutores, mais baratos e eficientes, possibilitando o uso mais generalizado destes dispositivos em plantas industriais, tornando a automação do processo produtivo mais eficiente e economicamente viável (Arhak et al., 1995; Silva, 1998).

Portanto, a extensometria é uma técnica utilizada para a análise experimental de tensões e deformações em estruturas mecânicas e de alvenaria. Estas estruturas apresentam deformações sob carregamento ou sob efeito da temperatura. É importante conhecer a extensão destas deformações e muitas vezes precisam ser monitoradas

constantemente, o que pode ser feito de diversas formas. Algumas são os relógios comparadores, os detectores eletrônicos de deslocamento, por camada frágil, por fotoelasticidade e por extensômetros. Dentre todas, o extensômetros, do inglês medidor de deformação, é um dos mais versáteis métodos.

Anteriormente, os extensômetros mais usados eram os extensômetros de fio, mas hoje já existem vários tipos de extensômetros como, por exemplo, o de lâmina (“metal-foil strain-gauges”). Estes extensômetros, são idênticos aos de fio, cujo a diferença básica está no processo de fabricação, em que se usa uma finíssima lâmina de uma liga resistiva, da ordem de 3 a 10 μm , recortada por processo de máscara fotosensitiva corroida com ácido (idêntico ao processo de fabricação de circuito impresso). As vantagens destes tipos de extensômetros sobre os de fios, além da versatilidade de fabricação, é que possui uma área maior de colagem, e em consequência disto, diminui a tensão no adesivo, obtendo-se assim uma deformação mais lenta e uma histerese bem menor. Outra vantagem é o da dissipação térmica, bem melhor que nos de fio, possibilitando desta maneira circuitos mais sensíveis, uma vez que o nível de excitação do extensômetro depende da dissipação térmica do mesmo (Portnoi, 2003).

2.4.1 –EXTENSÔMETRO ELÉTRICO DE RESISTÊNCIA

O extensômetro elétrico de resistência é um elemento sensível que transforma pequenas variações de dimensões em variações equivalentes de sua resistência elétrica (França, 2001). Possui a propriedade de medir e registrar o fenômeno da deformação como sendo uma grandeza elétrica. O extensômetro associado a instrumentos especiais (transdutores) possibilita a medição de pressão, tensão, força, etc.

Entre as principais características do extensômetro pode-se resumir em: alta precisão de medida, baixo custo, excelente resposta dinâmica, excelente linearidade, fácil instalação, pode ser utilizado em água, em atmosfera de gás corrosivo e, possibilita efetuar medidas à distância.

Os tipos de extensômetros elétricos disponíveis no mercado podem ser classificados de acordo com os materiais utilizados como elemento resistivo, os materiais utilizados como base e a configuração de grade.

Neste caso, em especial, o material utilizado como elemento resistivo é o extensômetro de fio resistivo, colados em um suporte, o qual serve para transmitir as deformações da peça em estudo, para o fio, que constitui o elemento sensível, e também deve isolar eletricamente este fio. Inicialmente os extensômetros de fio, eram constituídos de fios enrolados em uma bobina achatada, devido a falta de uniformidade dos fios de diâmetros menores que 0,025 mm, necessários para obter extensômetros de alta resistência elétrica e tamanho menor que 6 mm. Com o avanço da tecnologia de fabricação de fios muito finos, foi possível fabricar extensômetros de pequenos tamanhos, com o fio disposto em forma de “zig-zag” em um plano.

De acordo com a configuração de grade o extensômetro é um modelo especial do tipo diafragma. Este tipo possui quatro extensômetro sobre uma mesma base, sensíveis a deformação em duas posições diferentes. É utilizado para transdutores de pressão (Martinelli, 1998).



Figura 10: Extensômetro tipo diafragma
(excelsensores, 2004)

Para uma escolha correta do extensômetro devem-se observar três fatores importantes:

- Dimensão do extensômetro:

Refere-se ao comprimento de grade, que é a sua parte sensível. É a consideração mais importante a ser feita, pois o extensômetro deve ser colado na parte de maior deformação. De acordo com a Figura 11, é possível ver a distribuição ao redor de um ponto de elevada concentração de tensão e também o erro cometido na medição da deformação devido a utilização de um extensômetro de dimensão maior do que a região de concentração de tensão.

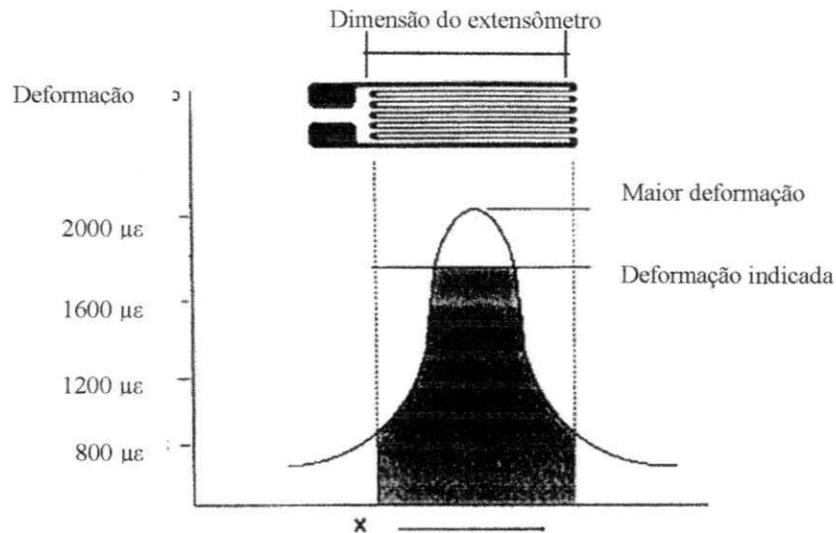


Figura 11: Gráfico da distribuição de tensão

(Fonte: Euler, 1998)

- Geometria da grade:

A grade do extensômetro (elemento resistivo) deve ser posicionada de tal modo que a direção de deformação principal coincida com a direção da grade. Para o caso de deformação em uma só direção, utiliza-se o extensômetro simples. Quando conhecidas duas direções principais, utilizamos o extensômetro denominado de roseta de dois elementos. Quando as direções principais de deformação não são conhecidas utiliza-se a roseta com três extensômetros que aplicados a um ponto, permite que se determine as amplitudes das deformações principais e a direção que elas ocorrem. Para transdutores existem extensômetros especiais com modelos de grade que ficam posicionadas na direção da deformação principal.

- Tipo de extensômetro:

A escolha do tipo de extensômetro refere-se a sua aplicação, onde são avaliadas: medidas de deformações estáticas e dinâmicas (materiais resistentes à fadiga), temperatura de operação, limite de deformação, capacidade de corrente de excitação e autocompensação de temperatura.

Neste caso estuda-se o limite de deformação, onde existem na prática extensômetros para alongamento de até 10%, mas os mais comuns são para 2% de deformação. Esta propriedade depende de liga do filamento e dos materiais de base e sua colagem e, ainda, da própria fixação do extensômetro (Euler, 1998).

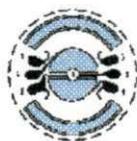


Figura 12: Roseta com 4 extensômetros para transdutor de pressão tipo diafragma

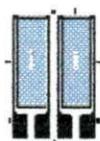


Figura 13: Célula de carga (“Load cell”) que é utilizado em balança.



Figura 14: Roseta com 4 extensômetros para medida de tensão residual.

(Fonte: TECHN MEASURE, 12/04/2003)

2.4.2 –RESISTÊNCIA ELÉTRICA

Outro fator importante estudado para uma melhor confecção do extensômetro partiu dos estudos observados em 1856 William Thomson, ou conhecido como Lord Kelvin. Este cientista apresentou resultados experimentais envolvendo a resistência elétrica do cobre e ferro quando submetidos a estresse, onde foram obtidos resultados consistentes diante a relação entre resistência elétrica e algumas propriedades físicas de um condutor, segundo a equação:

$$R = \rho.L/A \quad (07)$$

onde R é a resistência elétrica (Ohms), ρ é a constante de condutividade, L é o comprimento do condutor (cm) e A é a área da seção transversal deste (cm²). A resistência é diretamente proporcional ao comprimento e inversamente proporcional à área da seção transversal.

Quando uma barra metálica é esticada, ela sofre um alongamento em seu comprimento e também uma diminuição do volume onde há atuação das forças,

resultado da diminuição da área da seção transversal desta barra. A resistência elétrica da barra metálica **umenta** quando esta barra é esticada, também resultado da diminuição da área da seção transversal e do aumento do comprimento da barra. Da mesma maneira, quando a barra é comprimida, a resistência **diminui** devido ao aumento da área transversal e diminuição do comprimento. Estes experimentos mostram a importância do controle da temperatura em qualquer sistema que utilize o extensômetro como transdutor de sinais para efeito de resposta, pois dependendo do material usado como elemento elástico, poderá haver influência no resultado.

Foram realizados novos experimentos que mostraram algumas aplicações práticas da descoberta de Kelvin. Chegando-se as primeiras utilizações de um fio resistivo para medições de estresse em 1931, e mais tarde, pela primeira vez, utilizou-se fios metálicos colados à superfície de um corpo de prova para medida de deformações. Esta experiência deu origem aos extensômetros que são utilizados atualmente (Portnoi, 2003). A partir de 1950, o processo de fabricação de extensômetros adotou o método de manufaturar finas folhas ou lâminas contendo um labirinto ou grade metálica, colado a um suporte flexível feito geralmente de epóxi (Figura 15). As técnicas de fabricação de circuitos impressos são usadas na confecção dessas lâminas, que podem ter configurações bastante variadas e intrincadas.

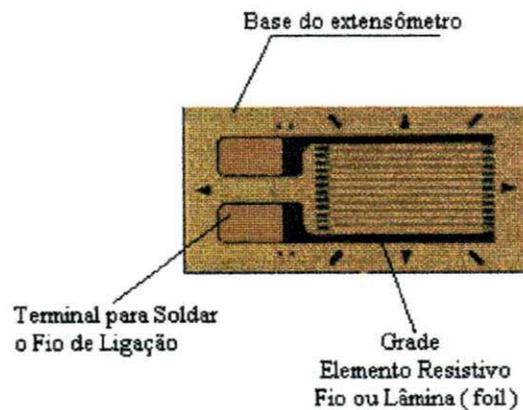


Figura 15: Diagrama do extensômetro

(Fonte: Portnoi, 2003)

2.4.3 –EXTENSÔMETRO DO TIPO DIAFRAGMA

São quatro extensômetros conforme mostra a Figura 12 sobre uma mesma base, sensíveis a deformações em duas posições diferentes e o mesmo é utilizado para transdutores de pressão. A base do extensômetro pode ser de: poliamida, epóxi, fibra de vidro reforçada com resina fenólica, baquelita, poliéster, papel e outros. O elemento resistivo pode ser confeccionado de ligas metálicas tais como Constantan, Advance, Nicromo V, Karma, Níquel, Isoelatic e outros.

O extensômetro do tipo diafragma pode ser confeccionado também com elemento semicondutor, que consiste basicamente de um pequeno e finíssimo filamento de cristal de silício que é geralmente montado em suporte de epóxi ou fenólico.

As características principais dos extensômetros elétricos de diafragma semicondutores são a sua grande capacidade de variação de resistência em função da deformação e seu alto valor do fator do extensômetro. Para os extensômetros metálicos a maior variação de resistência é devida às variações dimensionais, enquanto que nos de semicondutor a variação é mais atribuída ao efeito piezo-resistivo.

Para um extensômetro ideal, o fator de extensômetro deveria ser uma constante, e de maneira geral os extensômetros metálicos possuem o fator de extensômetro que podem ser considerados como tal. Nos extensômetros semicondutores, entretanto, o fator do extensômetro varia com a deformação, numa relação não linear. Isto dificulta quando da interpretação das leituras desses dispositivos. Entretanto é possível se obter circuitos eletrônicos que linearizem esses efeitos. Atualmente, os extensômetros semicondutores são bastante aplicados quando se deseja uma saída em nível mais alto, como em células de cargas, acelerômetros e outros transdutores. Os extensômetros do tipo diafragma mais utilizado é:

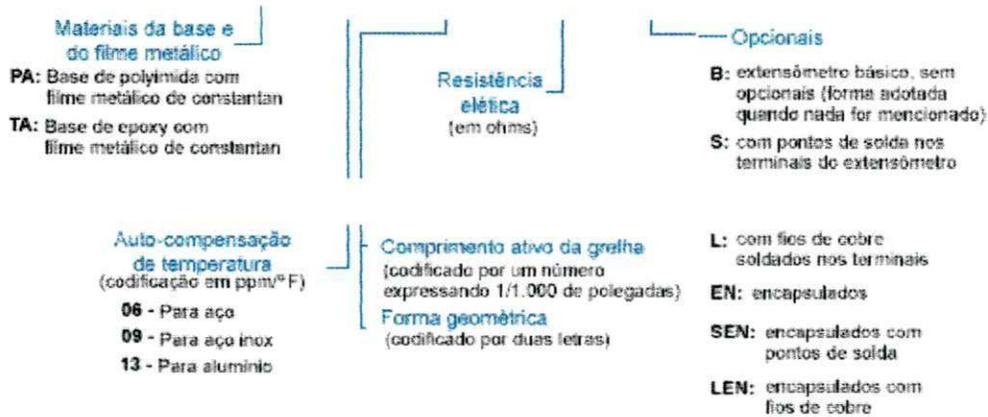


Figura 16: Extensômetro do tipo diafragma PA-09-364-CA-350-S

(Fonte: Excelsensores, 2004)

As especificações do extensômetro do tipo diafragma segundo a excel sensores, tem diferentes tipos de sistemas de codificação. Esta codificação é feita por um conjunto de letras e números que identifica o extensômetro, conforme suas características.

PA - 06 - 125AA - 350 - SEN



O uso dos extensômetros de resistência é relativamente simples: eles são colocados no objeto cujas deformações se pretende medir. Quando um "filme" é deformado mecanicamente, entre outros aspectos, ocorre uma variação de comprimento, implicando numa mudança da resistência elétrica. Usando-se uma cola adequada de modo que a deformação da peça seja integralmente transmitida para o elemento resistivo (extensômetro), pode-se "calibrar" a variação relativa de resistência em função da deformação relativa (ϵ) da peça (no regime elástico). Define-se o "gauge factor" (fator do extensômetro) para um comportamento linear da seguinte forma (Arhak et al., 1995; Alvito, 2002):

Fator do extensômetro (K)= Varição relativa de resistência elétrica

Deformação relativa (ϵ)

ou

$$K = \left(\frac{\Delta R}{R} \right) \cdot \left(\frac{L}{\Delta L} \right) \quad (08)$$

onde, $(\Delta R/R)$ é variação relativa de resistência e $(\Delta L/L)$ é a deformação relativa (ϵ).

Quando o comportamento da variação relativa de resistência em função da deformação relativa (ϵ) da peça não é linear, tem-se uma expressão mais geral, relacionando deformação mecânica com resistência elétrica R de um condutor cilíndrico, de comprimento L , diâmetro da secção reta D e de resistividade ρ , pode ser assim descrita:

a) De acordo com a Equação 07 e sabendo-se que trata-se de um cilindro de área da base (área de atuação das forças) igual à $\pi \cdot D^2/4$, têm-se:

$$R = \rho \cdot L/A = \rho \cdot (L/(\pi D^2/4)) = 4\rho L/\pi D^2 \quad (09)$$

b) Quando o condutor é deformado, cada uma das variáveis (ρ , L , D) muda. Diferenciando a expressão 09 em função de cada variável, tem-se:

$$\frac{dR}{dL} = \frac{4\rho}{\pi \cdot D^2}; \quad \frac{dR}{d\rho} = \frac{4L}{\pi \cdot D^2}; \quad \frac{dR}{dD} = \frac{-8 \cdot \rho \cdot L}{\pi \cdot D^3}; \quad (10)$$

Assim:

$$dR = \left(\frac{4 \cdot \rho \cdot dL}{\pi \cdot D^2} \right) + \left(\frac{4 \cdot L \cdot \rho \cdot d\rho}{\pi \cdot D^2} \right) - \left(\frac{8 \cdot L \cdot \rho \cdot dD}{\pi \cdot D^2} \right) \quad (11)$$

Dividindo (11) por $R = 4\rho L/\pi \cdot D^2$, vem:

$$\frac{dR}{R} = \left(\frac{dL}{L} \right) + \left(\frac{d\rho}{\rho} \right) - 2 \cdot \left(\frac{dD}{D} \right) \quad (12)$$

Dividindo a expressão (12) por dL/L , vem:

$$\frac{\left(\frac{dR}{R} \right)}{\left(\frac{dL}{L} \right)} = 1 + \frac{\left(\frac{d\rho}{\rho} \right)}{\left(\frac{dL}{L} \right)} - 2 \cdot \frac{\left(\frac{dD}{D} \right)}{\left(\frac{dL}{L} \right)} \quad (13)$$

Mas, $dL/L =$ deformação relativa (axial) $= \epsilon_l$ $dD/D =$ deformação relativa (transversal)

$= \epsilon_t =$ coeficiente de Poisson $= -dD/D = -\epsilon_t \cdot dL/L \cdot \epsilon_l$.

Com o coeficiente de Poisson $= \nu = -\epsilon_t/\epsilon_l$

Portanto,

$$K = 1 + 2.\nu + (dp/\rho) / (dL/L) \quad (14)$$

Onde ν é o coeficiente de Poisson do material utilizado como Elemento Elástico e as expressões $(1 + 2.\nu)$ representa a parcela de influência devido a fatores geométricos e $(dp/\rho) / (dL/L)$ mostra a influência do material no valor de K (Zaro et al, 2003).

2.4.4 – PRINCÍPIO DE FUNCIONAMENTO E USO JUNTO AO ELEMENTO ELÁSTICO

Na sua forma mais completa, o extensômetro elétrico é um resistor composto de uma finíssima camada de material condutor, depositado então sobre um composto isolante. Este é então colado sobre a estrutura em teste com auxílio de adesivos como epóxi ou cianoacrilatos. Pequenas variações de dimensões da estrutura são então transmitidas mecanicamente ao extensômetro, que transforma essas variações em variações equivalentes de sua resistência elétrica (por esta razão, os extensômetros são definidos como transdutores).

A seleção do extensômetro apropriado para determinada aplicação é influenciada pelas características seguintes: material da grade metálica e sua construção, material do suporte isolante, material do adesivo, tratamento e proteção do medidor e configuração. O design dos extensômetros incorpora várias funcionalidades como alto fator de medição, alta resistividade, insensibilidade à temperatura, alta estabilidade elétrica, alta resistência mecânica, facilidade de manipulação, baixa histerese, baixa troca termal com outros materiais e durabilidade. A sensibilidade à temperatura é um ponto fundamental no uso de extensômetros, e freqüentemente o circuito de medição contém um compensador de temperatura.

Da mesma forma, o tipo de adesivo usado para fixar o extensômetro à estrutura a ser monitorada é de suma importância. O adesivo deve transmitir as variações mecânicas com o mínimo de interferência possível, por isso deve ter alta resistência

mecânica, alta resistência ao cisalhamento, resistência dielétrica e capacidade de adesão, baixa restrições de temperatura e facilidade de aplicação.

Quanto ao elemento elástico pelo qual o extensômetro elétrico tipo diafragma é acoplado, devem possuir alguns fatores considerados que influenciam o seu dimensionamento, são eles:

- Capacidade nominal (Cn) – refere-se à capacidade máxima de trabalho. O fator de segurança a ser adotado deverá ser próximo de quatro. Então a tensão de trabalho do elemento elástico deverá ser a tensão de ruptura do material utilizado na confecção do elemento elástico dividido por quatro;
- Construção em uma só peça – deve-se confeccionar o elemento elástico em uma só peça para evitar problemas de histerese e não linearidade;
- Proteção para sobrecarga – o maior problema que ocorre com os transdutores é a sobrecarga. Por isso o transdutor deverá ser projetado para suportar sobrecargas de até 150% da capacidade nominal;
- De fácil usinagem e instalação no extensômetro – Para reduzir custos o projeto do elemento elástico deverá levar em consideração a facilidade de usinagem e de instalação dos extensômetros, o que torna mais ágil a construção;
- Frequência natural – Quando o transdutor é utilizado em sistemas de medição dinâmico é necessário que a frequência natural do elemento elástico seja bem maior que a frequência a ser medida;
- Distribuição uniforme de deformação nos extensômetros – Os extensômetros dos transdutores que podem ser em número de 4, 8, 12 ou 16 são associados em circuito de ponte (“Wheastone”) completa e é interessante que sofram deformações idênticas, embora de sentido contrário, para se obter uma saída linear;

- Insensível a cargas excêntricas – O transdutor ideal é o que é sensível a forças que atuam somente em um sentido não medindo carregamento excêntricos;
- Insensível a variações térmicas – O transdutor não sofrerá influências devido a variações de temperatura;
- Impermeabilização – Este fator tem grande influência na vida da instalação do extensômetro, portanto deve-se ter a certeza que não haja baixa isolamento e que esteja ausente a umidade evitando um curto circuito entre os terminais (Euler, 1998).

Cálculo da espessura do elemento elástico:

Segundo Euler, para os cálculos da espessura do elemento elástico do diafragma tem-se a seguinte expressão:

$$e^2 = \frac{0,82.P.R_0^2.(1-\nu^2).10^3}{V_0.E} \quad (15)$$

onde e é a Espessura do diafragma do elemento elástico, P é a Pressão exercida no sistema (kgf/cm^2), R_0 é o Raio do diafragma (mm), ν é o Coeficiente de Poisson do material utilizado como elemento elástico, V_0 é a Sensibilidade para a capacidade nominal (mV/V) e o E é o Módulo de Young ou o Módulo de Elasticidade do material (kgf/cm^2).

2.5 – DESSALINIZAÇÃO VIA OSMOSE INVERSA

Hoje na natureza são encontrados inúmeros poços de águas salobras com grande quantidade de sais nela dissolvidos. A água dita salobra é a proveniente de poços com uma salinidade bem menor do que a água do mar, mas ainda acima do limite de potabilidade e de uso doméstico (Ferreira Filho, 1992).

Para combater estes problemas e levar estas águas salobras a potabilidade, criou-se o processo de dessalinização de águas. Então, a dessalinização de águas é um

processo de retirada de sais contidos em águas salobras e salinas para que a mesma atinja os padrões de potabilidade.

Há vários processos que viabilizam a dessalinização da água, tais como: Destilação Convencional, Destilação Artificial, Eletrodialise e Osmose Inversa, além da evaporação (processo é simples e barato, mas exige enormes tanques) e o congelamento (uso impróprio devido às séries de dificuldades técnicas e do alto custo).

De todos os processos de dessalinização o mais primoroso é o de **osmose inversa**, que além de tornar a água potável, ainda elimina bactérias, fungos, vírus, etc. Assim, o processo de dessalinização tem se difundido, seus custos vêm decrescendo e sendo colocados até o alcance do indivíduo, viabilizando muitos processos antes impensáveis. Mas o que é osmose inversa? (Sousa, 2003).

2.5.1 – OSMOSE INVERSA (OI)

Osmose é uma palavra adicionada aos nossos dicionários desde o final do século XIX. A palavra vem do grego (osmós) e significa "impulso". A osmose ocorre quando duas soluções salinas de concentrações diferentes encontram-se separadas por uma membrana semipermeável. Neste caso, a água (solvente) da solução menos concentrada tenderá a passar para o lado da solução de maior salinidade. Com isto, esta solução mais concentrada, ao receber mais solvente, se dilui, num processo impulsionado por uma grandeza chamada pressão osmótica, até que as duas soluções atinjam concentrações iguais (Joyce et al., 2001).

Então, a osmose é um fenômeno natural que ocorre quando duas soluções, de concentrações diferentes (exemplo: água pura e água salobra) são separadas por uma membrana semipermeável. A osmose inversa nada mais é do que a inversão desse sentido de fluxo, mediante aplicação de uma pressão maior do que a pressão osmótica natural. Neste caso, a membrana permitirá apenas a passagem de solvente (água pura), restando boa parte do soluto (sais dissolvidos) (Almeida, 2003).

A água obtida pelo processo de Osmose Inversa resulta em uma água ultrapura por um processo de comprovada confiabilidade. O processo de osmose inversa obedece aos seguintes procedimentos:

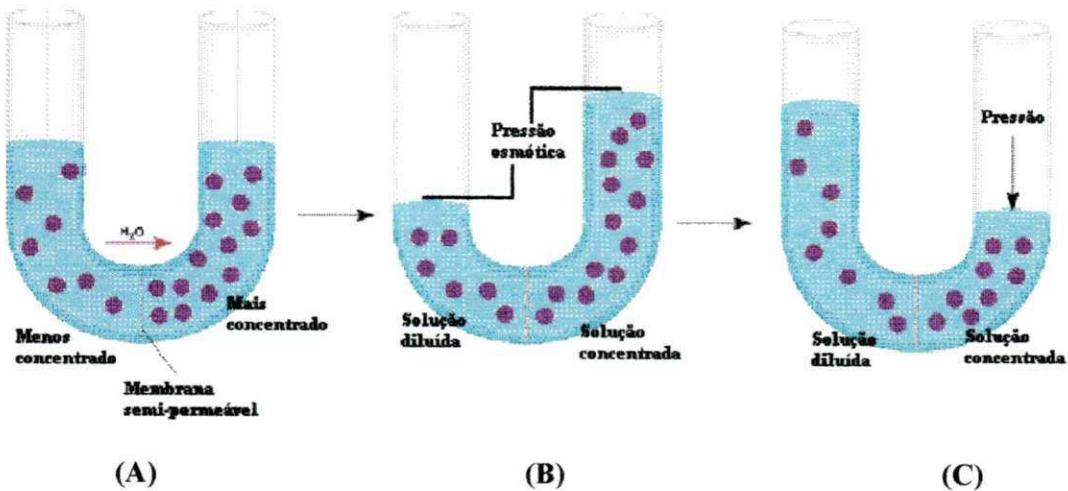


Figura 17: (A) Processo de fluência da osmose da solução menos concentrada para a mais concentrada com a diluição da mesma, (B) logo após equilíbrio osmótico, (C) aplica-se uma pressão contrária, realizando a osmose inversa (Fonte: Kerr et al., 2001).

- Vantagens e aplicações da Osmose Inversa:

VANTAGENS:

- Possui baixo custo de investimento;
- 75% de rendimento de água purificada;
- 99% de redução de sais minerais, bactérias e partículas;
- Baixo consumo energético;
- Facilidade de construção, operação e manutenção;
- Necessidade de pequenos espaços;
- Processo contínuo;

APLICAÇÕES:

- Dessalinização de águas salobras;
- Dessalinização de águas do mar;
- Produção de água ultrapura para indústrias eletrônicas;
- Tratamento de efluentes industriais;

- Aplicações médicas, e/ou farmacêuticas e cosmética;
- Indústria de alimentos;

A OI é utilizada para dessalinizar águas salinas, salobras e de superfície, utilizando membranas semipermeáveis sintéticas. A principal função das membranas é a rejeição de sais, que depende de importantes fatores de estudo e controle para que haja um baixo custo, tais como: temperatura, pressão, pH, concentração de sal e rendimento (Schneider e Tsutiya, 2001), tais dependências podem ser vistas através da Figura 16.

- Pressão osmótica:

A pressão osmótica é função da concentração de sais e do tipo das moléculas orgânicas contidas na água de alimentação. Quanto maior for a concentração da solução, maior será o valor da pressão osmótica dessa solução (Brandt et al., 1992). Ela pode ser calculada pela equação de Van't Hoff:

$$\pi = \sum_{i=1}^i v_i \cdot c_i \cdot RgT \quad (16)$$

onde: π : pressão osmótica da solução iônica (kgf/cm²); v_i : nº de íons formados na dissociação do soluto; c_i : concentração molar do soluto (mol/L); Rg : constante dos gases (kgf.L/cm²mol.K) e T : temperatura (K).

A determinação da concentração de todos os íons em solução é demorada e cara. Na prática, a pressão osmótica pode ser aproximada a partir da concentração total de sais (totais de sólidos dissolvidos):

$$\pi = k_{os} Rg \cdot c_{STD} \quad (17)$$

onde k_{os} : constante osmótica; Rg : constante de gases (kgf.L/cm²mol.K) e c_{STD} é a concentração de sólidos totais dissolvidos. O fator k_{os} varia entre 0,0063 e 0,0115 (Ko e Guy, 1998).

2.5.2 – FATORES QUE INFLUENCIAM NAS CONDIÇÕES DE OPERAÇÃO DO PROCESSO DE DESSALINIZAÇÃO

Como visto anteriormente, durante a operação de um sistema de osmose inversa, as condições de operação tais como a pressão, a temperatura, pH, a recuperação do sistema e a concentração de alimentação podem variar, causando variações na produtividade e na qualidade de água do produto.

- Pressão:

A pressão aplicada deve superar a pressão osmótica da solução para separar os sais da água (Figura 16). Na prática, a pressão de operação deve superar também a resistência da membrana, a resistência da zona de polarização de concentração e a resistência interna do equipamento. As pressões de operação reais são, portanto, mais elevadas do que a pressão osmótica da solução.

As faixas de pressão de operação das membranas, para diferentes tipos de água tratada estão indicada na Tabela 01.

Tabela 01: Faixas de pressão de operação de sistemas de osmose inversa para águas com diferentes níveis de salinidade (Fonte: Schneider e Tsutiya, 2001).

Tipo de água	Faixa de salinidade STD (mg/L)	Recuperação (%)	Pressão de operação (kgf/cm ²)
salobra	Até 10.000	Até 80	5,00 a 20,00
marinha	10.000 – 100.000	≤ 40	51,00 a 71,00
salmora	> 100.000	≤ 20	-

STD = Sólidos totais dissolvidos

Hoje em dia, existem vários equipamentos para medir pressão exercida no sistema, dentre eles têm-se os manômetros analógicos e digitais, utilizados em maiores escalas nos processos de dessalinização.

- Temperatura:

Outro grande fator de influência nas condições de operação no processo de dessalinização é a temperatura. A temperatura da água tem importância por sua influência sobre outras propriedades, tais como: acelera reações químicas, reduz a solubilidade dos gases, acentua a sensação de sabor e odor entre vários outros fatores.

Por exemplo, uma diminuição da temperatura de alimentação de 4°C (8°F) causará uma diminuição no fluxo de permeado de aproximadamente 10%. Este é, entretanto, um fenômeno normal (Dow Latin América, 1996). Para avaliar eficazmente o desempenho do sistema, é necessário comparar o desempenho nas mesmas condições. Conseqüentemente é necessário converter os dados operacionais obtidos em circunstâncias reais a uma série de circunstâncias padrão selecionadas, normalizando desse modo os dados do desempenho (Huiting et.al, 2001).

Devido a todos estes fatores, se tornar necessário um controle maior na variação de temperatura do sistema.

- Potencial Hidrogeniônico:

O Potencial Hidrogeniônico (pH) é usado universalmente para expressar a intensidade de uma condição ácida ou alcalina de uma solução. Mede a concentração de íon hidrogênio ou sua atividade, importante em cada fase do tratamento, sendo referida freqüentemente na dessalinização.

É através do pH que se torna possível observar o risco de formação de precipitados de carbonato de cálcio, ou seja, se Índice de Saturação de Langelier (ISL) em águas salobras e o Índice de Estabilidade de Stiff e Davis (S&DSI) em águas de salinidades altas está na faixa de aceitação do sistema. Quando é feita correção de pH ou adição de anti-incrustante, os valores de ISL e S&SDI devem ficar abaixo dos valores estipulados para esses tratamentos, geralmente entre 1 e 1,5 (Schneider e Tsutiya, 2001).

Tabela 02: Valores limites para o ISL e S&DSI (Ning e Netwig, 2002).

	Hydranautics	Permasep	FilmTec
ISL e S&DSI, água sem inibidor de incrustação	< - 0,2	< 0,0	< 0,0
ISL e S&DSI, água com inibidor SHMP*	≤ 0,5	< 1,0	< 1,0
ISL e S&DSI, água com inibidor orgânico	≤ 1,8	< 2,3	< 1,8

- SHMP = inibidor de incrustação a base de hexametáfosfato de sódio

Em função do pH, podem estar presentes na água os seguintes tipos de alcalinidade:

pH de 11,0 a 9,4 - Alcalinidade de hidróxidos e carbonatos;

pH de 9,4 a 8,3 - Carbonatos e bicarbonatos;

pH de 8,3 a 4,6 - Somente bicarbonatos;

pH de 4,6 a 3,0 - Ácidos minerais.

- Vazão:

É uma variável de suma importância, pois é através dela que se torna possível observar a eficiência do sistema de dessalinização, ou seja, é através de um balanço do sistema que se pode saber o quanto se produz de permeado e o quanto está se colocando no rejeito. Além de saber o comportamento do sistema de acordo com o tempo, se permanente (propriedades do fluido e sua velocidade não variam no tempo, num dado ponto do escoamento, podendo variar de ponto a ponto) ou não-permanente (as propriedades do fluido e sua velocidade variam no tempo, num dado ponto do escoamento, podendo variar também de ponto a ponto). A Equação 18 apresenta o balanço de massas, em regime permanente, para um sistema de dessalinização.

$$Q_a C_a = Q_c C_c + Q_p C_p \quad (18)$$

onde: Q_a : vazão de alimentação (m^3/h); C_a : concentração de sais dissolvidos na corrente de alimentação (mg/L); Q_p : vazão do produto (m^3/h); C_p : concentração de sais dissolvidos na corrente de produto (mg/L); Q_c : vazão do concentrado (m^3/h) e C_c : concentração de sais dissolvidos na corrente de concentrado (mg/L).

Entretanto, outro ponto importantíssimo para estudo deste parâmetro na dessalinização é o aparelho de medição de vazão; tais como: rotâmetros analógicos e digitais do tipo pistão rotativo, pás giratórias, disco nutante e outros utilizados em maiores escalas nos processos de dessalinização. Estes estão sendo substituídos por sensores do tipo tubo medidor que são projetados obedecendo ao “efeito hall” e que podem ser acoplados a um microcontrolador para geração de um efeito resposta digital. Quanto ao efeito hall, segundo Santos em 2003, do ponto de vista formal, é impossível tratar cargas elétricas em movimento sem levar em consideração a existência do campo magnético. Por outro lado, havendo um campo magnético em determinada região do

espaço, este exercerá uma força sobre uma carga em movimento. Existem duas formas básicas de criação de um campo magnético: a primeira trata-se do campo de um ímã permanente e a segunda forma tem a ver com o campo criado por uma carga em movimento; trata-se do campo criado por uma corrente elétrica. Portanto, não importa, para o momento, qual a fonte de criação, o que importa é que dado um campo magnético exerce uma força sobre uma carga em movimento.

Existem alguns pontos que influenciam no comportamento da vazão no sistema, onde um dos principais é o tipo de escoamento dentro do tubo. Os escoamentos podem ser classificados da seguinte forma:

I) Quanto à direção da trajetória:

Laminar: as linhas de corrente formam como “lâminas” paralelas que escoam em baixa velocidade, onde as camadas de fluido são consideradas deslizantes uma sobre as outras. No escoamento laminar as partículas do fluido movem-se em camadas ou lâminas segundo uma trajetória reta e paralela. As perdas variam linearmente com a velocidade.

Transição: é um período considerado instável quando uma certa perturbação provoca aparição de flutuações aleatórias do escoamento turbulento. Este período é considerado como Reynolds crítico.

Turbulento: as linhas de corrente formam pequenos turbilhões (vórtices) ao longo do escoamento, geralmente em altas velocidades. Este escoamento é descrito com flutuações irregulares, embora o escoamento laminar possui também movimentos moleculares irregulares, mas macroscopicamente bem ordenado. O escoamento turbulento é caracterizado pela existência de variações rápidas da velocidade e trajetórias irregulares (Shames, 1923).

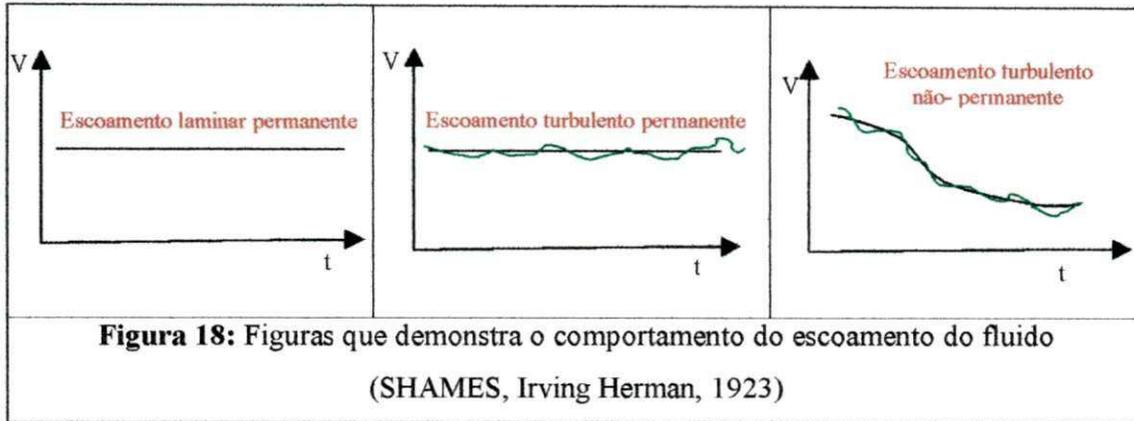
II) Quanto à variação no tempo:

- **permanente:** as propriedades do fluido e sua velocidade não variam no tempo, num dado ponto do escoamento, podendo variar de ponto a ponto;
- **não permanente:** as propriedades do fluido e sua velocidade variam no tempo, num dado ponto do escoamento, podendo variar também de ponto a ponto;

III) Quando à variação da trajetória:

- **uniforme:** numa dada trajetória em todos os pontos a velocidade é constante no intervalo de tempo considerado, podendo variar de uma trajetória para outra;

- **variado:** os diversos pontos da trajetória não apresentam velocidade constante no intervalo de tempo considerado (Bennet et al., 1978).



- Rejeição:

Uma grande variedade de fatores influencia a rejeição de solutos por membranas: dimensões do soluto, morfologia dos componentes retidos pela membrana, tamanho dos poros da membrana, propriedades químicas da solução a ser filtrada. A eficácia de processos de separação é geralmente medida pelo parâmetro denominado rejeição (RS) (Wiesner e Buckley, 1996):

$$RS = \left(1 - \frac{C_p}{C_a}\right) * 100 \quad (19)$$

Onde: C_a : concentração inicial de sais dissolvidos na corrente de alimentação (mg/l);
 C_p : concentração de soluto na corrente de permeado (mg/L).

A rejeição de sais indica a efetividade de remoção de sais e outras espécies químicas pela membrana, possuindo valores que variam de 90% a 99,8% para a maioria dos íons existentes na água. (Hydranautics, 2002).

- Razão de recuperação:

A razão de recuperação do sistema refere - se à razão da água de alimentação convertida em água purificada e depende de vários fatores, como a formação de incrustação na superfície das membranas, a pressão osmótica e a qualidade da água de alimentação do sistema.

O nível de recuperação de um sistema é definido conforme descrito logo mais na Equação 20:

$$r = \frac{Q_p}{Q_a} * 100 = \frac{Q_p}{Q_p + Q_c} * 100 \quad (20)$$

Onde: r: razão de recuperação (%); Q_p : vazão do produto (m^3/h); Q_a : vazão de alimentação (m^3/h) e Q_c : vazão do concentrado (m^3/h).

- Concentração de sal no concentrado:

A recuperação máxima em qualquer instalação de osmose inversa, depende dos sais presentes na água de alimentação. Com o aumento do nível de recuperação do sistema, mais água é convertida em produto. Isto reduz o volume da água a ser rejeitado e, conseqüentemente, aumenta o valor da concentração de sais dissolvidos na corrente do rejeito, assim como a possibilidade de sua precipitação na superfície da membrana.

A concentração de sais dissolvidos na corrente do concentrado pode ser obtida a partir do balanço de massa da utilizando a Equação 18, conforme mostra a seguinte equação:

$$C_a \cdot Q_a = C_p \cdot Q_p + C_c \cdot Q_c \Rightarrow C_c = \frac{C_a \cdot Q_a - C_p \cdot Q_p}{Q_c}$$

Dividindo toda equação por Q_a e sabendo que $Q_c = Q_a - Q_p$, teremos:

$$C_c = \frac{C_a \cdot Q_a - C_p \cdot Q_p}{Q_c} \Rightarrow C_c = \frac{\left(\frac{C_a \cdot \cancel{Q_a}}{\cancel{Q_a}} \right) - \left(\frac{C_p \cdot Q_p}{Q_a} \right)}{\left(\frac{\cancel{Q_a}}{\cancel{Q_a}} - \frac{Q_p}{Q_a} \right)}$$

Onde $Q_p / Q_a = R$, logo:

$$C_c = \frac{C_a - C_p \cdot r}{1 - r} \quad (21)$$

Onde: C_c : concentração de sais dissolvidos na corrente do concentrado (mg/L); C_a : concentração de sais dissolvidos na corrente de alimentação (mg/L) e r : nível de recuperação do sistema (%) (Sousa, 2003).

- Depósitos de materiais incrustantes:

As incrustações podem ser entendidas como todo o material em suspensão na água e que se deposita na superfície da membrana. Podem ser classificadas por quatro categorias: depósitos inorgânicos (“scaling”), colóides (“fouling” coloidal), sólidos em suspensão e material biológico (“biofouling”) (Amjad, 1992).

Os colóides podem ser de origem mineral ou orgânica, e tendem a coagular e se aglomerar na área próxima à superfície da membrana depositando-se nela. Os sólidos em suspensão são partículas maiores de origens diversas e que tem tendência a se depositar. O depósito orgânico de origem biológica é constituído por fungos e bactérias e apresenta maiores problemas porque estão presentes em praticamente todas as águas e normalmente se multiplicam em determinadas condições.

Os depósitos inorgânicos (“scalings”) são sais normalmente solúveis na água e que precipitam e se cristalizam na superfície das membranas. Isso é facilmente entendido quando verificamos que na área externa próxima à membrana a concentração de sais é bem superior à concentração do sal na água de entrada, podendo atingir o limite de solubilidade e assim precipitando (Sousa, 2003).

Já o material biológico (“biofouling”) é definido como o acúmulo, crescimento e/ou depósito de biomassa na superfície da membrana, ocasionando problemas operacionais. O depósito de material biológico pode provocar os seguintes efeitos nos sistemas de OI: redução do fluxo de operação das membranas, aumento da pressão diferencial e da pressão de alimentação, biodegradação da membrana, aumento da passagem de sal, aumento no consumo de energia (Vrouwenvelder e Kooij, 2001).

2.5.3 – PROCESSOS DE SEPARAÇÃO COM MEMBRANAS (PSM)

Uma membrana pode ser definida como um filme fino sólido que separa duas soluções e que atua como barreira seletiva para transporte de componentes destas soluções, quando aplicado algum tipo de força externa (Figura 17), essa força pode ser:

pressão, sucção ou potencial elétrico. Após a passagem pela membrana o líquido é denominado permeado. Nos processos de separação com membranas não ocorre transformação química ou biológica de componentes durante a filtração (Schneider e Tsutiya, 2001).

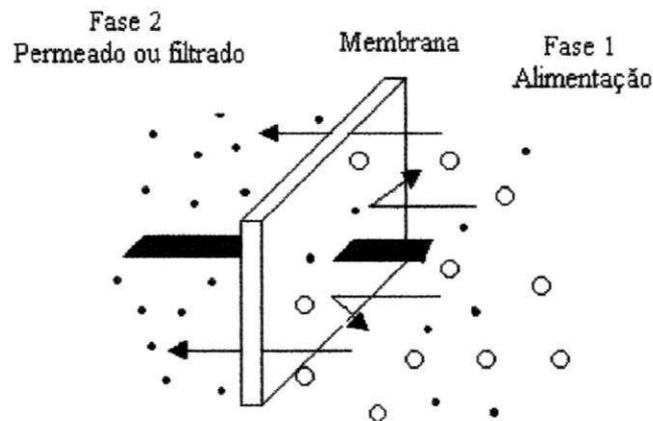
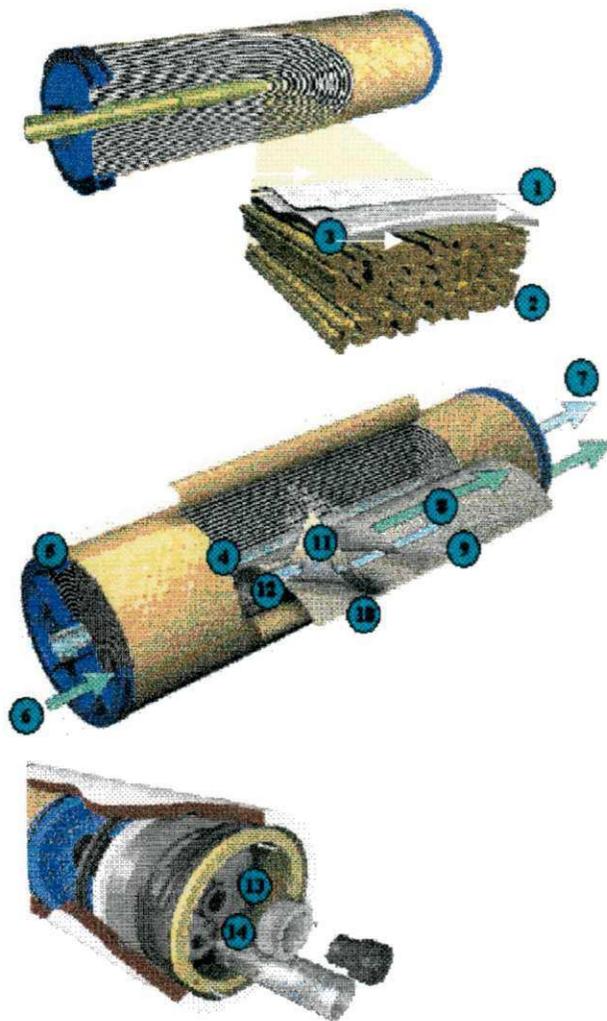


Figura 19: Esquema básico de funcionamento de uma membrana
(Fonte: Aptel e Buckley, 1996).

A tecnologia de membranas é um marco tecnológico que se tornou comercialmente viável nos últimos 20 anos. Os processos de separação por membranas atingiram o “status” de processos comerciais, apresentando uma série de vantagens que os permitem competir com as técnicas clássicas de separação (Habert et al., 1997).

Dentro das vantagens da utilização da OI podemos citar: seletividade, separação de termolábeis, baixo custo de produção de água, baixo consumo de energia comparado a processos de destilação (Sousa, 2003). Os sistemas são modulares e os dados para o dimensionamento de uma planta podem ser obtidos a partir de equipamentos pilotos operando com módulos de membrana de mesma dimensão daqueles utilizados industrialmente. Além disso, a operação dos equipamentos com membranas é simples e não precisa de mão de obra especializada e intensiva (Habert et al., 1997).

A desvantagem da OI é a sensibilidade das membranas a incrustações através de sólidos suspensos, CaCO_3 , CaSO_4 e BaSO_4 e a sua degradação através de compostos oxidantes como o cloro ou óxido de cloro.



- 1 – Membrana ultrafina
- 2 – Estrutura porosa de suporte
- 3 – Tecido fino poroso
- 4 – Tubo perfurado coletor de permeado
- 5 – Anel de proteção antitelescópica
- 6 – Alimentação
- 7 – Permeado
- 8 – Fluxo no canal de alimentação
- 9 – Vedação do canal de permeado
- 10 – Membrana
- 11 – Espaçador do canal de permeado
- 12 – Fluxo de permeado
- 13 – Saída do permeado
- 14 – Saída do concentrado

Figura 20: Elemento de membrana em espiral para processo de OI

(Fonte: Glegg, 2000)

CAPITULO III

3. MATERIAIS E MÉTODOS

Este capítulo apresenta as etapas da metodologia aplicada no desenvolvimento do trabalho:

3.1 - 1ª ETAPA (METODOLOGIA I)

3.1.1 – CONFECÇÃO DO CORPO DE PROVA PARA TESTE DE TRAÇÃO

Como descrito no Capítulo II deste, o material escolhido para utilização como estrutura de agregação do extensômetro e os sensores elétricos para medidas de pressão foi o poliestireno de alto impacto (PSAI). Foram realizados testes padronizados que simulam esforços mecânicos e dinâmicos para que se tenha uma idéia da maior carga a ser aplicada no material e que o mesmo não alcance a histerese. De acordo com a “American Society for Testing and Materials” (ASTM) de 1998, se estabeleceu todo o condicionamento em termos de dimensões, acabamento, velocidade, quantidade de corpos de provas para se obter uma média dos resultados. Os procedimentos foram os seguintes:

- 1- Confeccionaram-se quatro corpos de prova a partir de uma placa do polímero-01 comercial (amostras adquiridas no LABDES), projetados nas seguintes dimensões: 0.199 cm a 0.201 cm de espessura, 1.268 cm a 1.486 cm de largura e 6cm de comprimento;
- 2- A área de concentração e atuação das forças deve possuir 60% do diâmetro nominal do corpo de prova;
- 3- Observou-se a temperatura ambiente próxima ao corpo de prova para que o mesmo não ultrapassasse a faixa de $23 \pm 2^{\circ}\text{C}$ (ASTM, D-638);
- 4- Os resultados foram automaticamente registrados em um computador embarcado ao sistema de ensaio;
- 5- Os resultados obtidos foram utilizados para estudar o comportamento da tensão em função da deformação com o objetivo de avaliar o comportamento e a

- característica do material, bem como o intervalo em que se encontra o início do seu escoamento;
- 6- De mesma forma do procedimento 1, foram confeccionados novos corpos de provas de um polímero-02 com diferentes especificações características (adquiridas em outro estabelecimento e fornecidas ao LABDES), projetados nas seguintes dimensões que variavam entre: 0.199 cm a 0.201 cm de espessura, 1.268 cm a 1.486 cm de largura (diâmetro retangular) 3we 6cm de comprimento;
 - 7- Repetiu-se os procedimentos de 2 à 4 e comparou-se os resultados.

3.1.1 – Confeção do corpo de prova polimérico

Segundo os passos indicados no item 01 citado do tópico anterior para confecção do corpo, deve-se chegar a um resultado semelhante Figura 21 exposta logo abaixo:

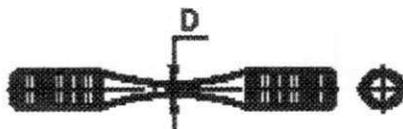


Figura 21: Esquema do Corpo de Prova

De acordo com a Figura 21, o acabamento dos corpos de prova usados nos ensaios tem que possuir igual diâmetro (**D**), pois como se trata de um experimento que utiliza mais de um corpo para se ter uma média do seu valor, isso interferiria nos resultados causando uma falsa resposta. Portanto, o corpo de prova deve ser bem usinado e ter bom acabamento superficial, para minimizar os focos de tensões que venham a propagar trincas no local afetado e não prejudicar os resultados do ensaio.

As formas e as dimensões do corpo de prova variam de fabricante para fabricante do equipamento utilizado. O ambiente onde é feito o ensaio também é padronizado (Mecânica dos Ensaios de Materiais, 1997). Na Figura 22, está especificada a forma em que o mesmo deve ser testado para ensaios de tração e a direção para onde às forças está atuando (direção axial).

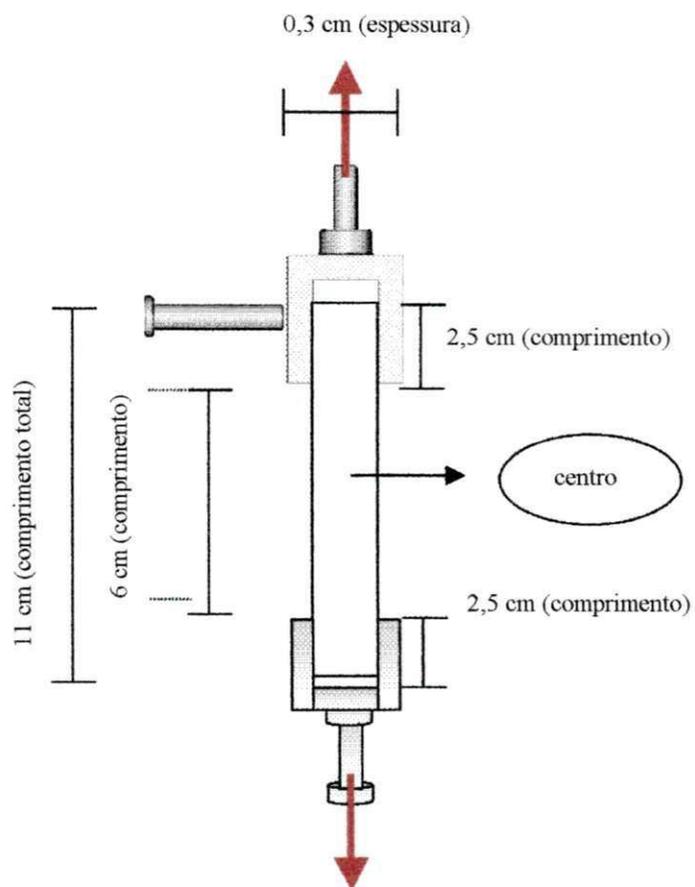


Figura 22: Forças atuantes no teste de tração

3.2 - 2ª ETAPA (METODOLOGIA II)

3.2.1 – CONFEÇÃO DO CORPO DE PROVA PARA TESTE DE FADIGA

De acordo com os primeiros testes mecânicos, é possível tomar como base o polímero de maior tensão de ruptura para enfrentar os testes de esforços cíclicos.

Para que seja realizado este ensaio, deve-se primeiro efetuar o cálculo da força necessária para que haja a ruptura no material. Para a realização destes cálculos temos a seguinte equação:

$$F_t = \tau_R A \quad (22)$$

Onde,

F_t = força total para ruptura (kgf);

τ_R = tensão de ruptura do material (kgf/cm²);

A = área da secção que irá sofrer esforços (cm²).

Sabendo-se do valor da força necessária para a ruptura, a força utilizada para a carga de inicialização dos testes de esforços cíclicos é de 50 % da força total de ruptura (F_t), chamada de tensão limite de resistência do corpo. Logo abaixo se tem um resumo dos procedimentos a se seguir:

- 1- Usinou-se no mínimo três corpos de prova do polímero-02 (mais adequado) para ensaio em cada carga, perfazendo um total de doze corpos de prova do polímero-02 (amostras adquiridas no LABDES), projetados nas seguintes dimensões: 0.2 cm de espessura, 2 cm de largura (diâmetro retangular) e 6 cm de comprimento;
- 2- A área de concentração e atuação das forças deve possuir 60% do diâmetro nominal do corpo de prova;
- 3- Primeiramente, determinou-se a tensão limite de resistência do corpo polimérico que equivale a 50% da tensão de ruptura;
- 5- Observou-se a temperatura do corpo de prova para que o mesmo não ultrapassasse a faixa de $23 \pm 2^\circ\text{C}$ e a umidade relativa de 2%;
- 6- Adotou-se uma frequência de 5Hz (ciclos por segundos) (ASTM, D-671);
- 7- Realizou-se entre dois a três ensaios em cada ponto, onde são utilizados 66% (carga inicial), 50%, 40% e 30% de sua tensão limite de resistência (Mecânica dos Ensaio de Materiais, 1997);
- 8- Obtiveram-se resultados tabelados e plota-se um gráfico de tensão versus número de ciclos, que tem a finalidade de mostrar uma maior visão do comportamento e da característica do polímero.

3.2.2 – MATERIAIS I

Os materiais e componentes utilizados na fase de preparação, ensaio e escolha do material foram os seguintes:

- amostras de polímeros;
- Serra metálica;
- Lima para madeira;
- Garra metálica;
- Esmério de bancada;
- lixa nº 80 e 100;
- paquímetro analógico Mitutoyo (0-6 in);
- Máquina Loyd LR 10K tração/Compressão;
- Máquina Servohidráulica MTS para fadiga;
- Computador

3.3 - 3ª ETAPA (METODOLOGIA III)

3.3.1 – ACOPLAMENTO DO EXTENSÔMETRO E SUA ESTRUTURA DE PROTEÇÃO AO CIRCUITO ELÉTRICO – SENSORES DE PRESSÃO

O principal segredo de qualquer reposta confiável retirada do extensômetro está no seu processo de colagem. Havendo um acompanhamento do procedimento correto e tomando algumas precauções básicas no momento da colagem do extensômetro junto ao suporte polimérico, o efeito de resposta dos sensores será bem mais confiável.

Portanto, para que haja um bom desempenho, os solventes mais utilizados são: “Cloretene NU”, “Freon TF” e álcool isopropílico, mas qualquer outro solvente pode ser utilizado desde que não venha reagir com o material.

Para uma operação ideal, a sua superfície polimérica é moldada com uma lixa de maneira a obter os riscos de grãos desordenados para maior aderência do adesivo.

Logo após, marca-se a orientação de colagem do extensômetro na posição exata utilizando um riscador bem leve. Depois de marcada a posição, faz-se novamente uma limpeza com o solvente, de maneira a deixar a superfície em condições visíveis de ausência de matérias estranhas. Esta operação é feita utilizando a gaze embebida em solvente, friccionando várias vezes em uma única direção na superfície, como se vê logo abaixo:

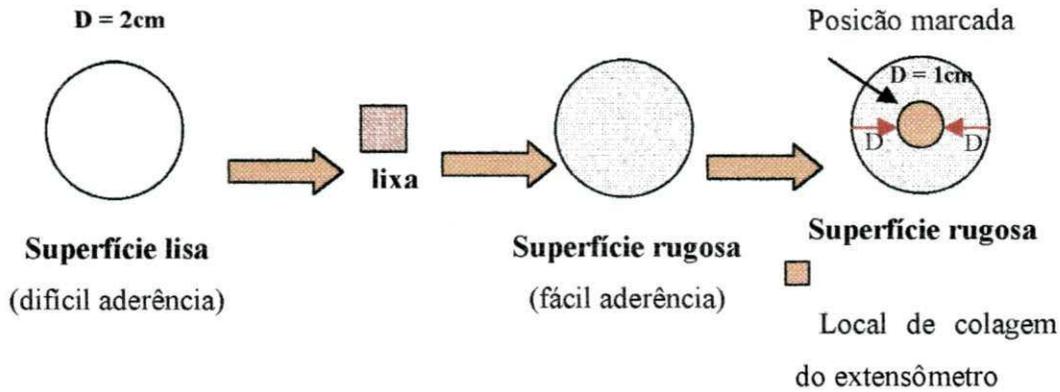


Figura 23: Face frontal do material polimérico

Imediatamente, aplica-se um preparador de superfície composto a base de ácido fosfórico 0,01 N (Condicionador), com o objetivo de remover pequenas oxidações. A sua aplicação é feita novamente com gaze.

Em seguida aplica-se um neutralizador composto a base de amoníaco 0,01 N, para neutralizar a solução ácida do condicionador. A escolha do adesivo é tão importante quanto a escolha do extensômetro e deverá ser feita em função do tipo de medição que se pretende efetuar. O tipo de adesivo utilizado foi o Epóxi para alta temperatura, no qual é curado à temperatura ambiente durante 24 horas.

Com o auxílio de uma pinça, sem tocar com os dedos no extensômetro, foi fixado o mesmo na superfície demarcada e preso a uma fita adesiva. Logo após, levanta-se a fita adesiva junto ao extensômetro e aplica-se o adesivo epóxi na parte inferior da superfície do extensômetro.

Por fim, o adesivo e o extensômetro requerem durante a cura uma pressão sobre eles a fim de eliminar o excesso de adesivo e as bolhas de ar que por ventura possam formar. Para a aplicação da pressão sobre o extensômetro coloca-se sobre a mesmo uma manta de Teflon e em seguida uma almofada de borracha de silicone, prende-se tudo novamente com uma fita adesiva e aplica uma pressão usando um grampo tipo C com mola de compressão.

Após todo este ritual de escolha do tipo de extensômetro, adesivo e sua colagem, é necessário fazer um teste das condições elétricas do extensômetro com o auxílio do ohmímetro com escala até 500 MΩ, pois só se consegue perceber uma má colagem do extensômetro com um ohmímetros de alta sensibilidade. Percebendo-se tal fato o extensômetro deve ser removido.

extensômetro, formando assim, o circuito de medição da pressão exercida (sensores de pressão), como se vê na Figura 24. Daí, estes fios são ligados a um sistema de aquisição de dados, que no presente momento tem o objetivo de armazenar dados em um computador acoplado ao mesmo. Este componente de aquisição de dados será mais tarde substituído por um computador embarcado (microcontrolador PIC16F877), que terá mesma função no SDP. Os fios que devem ser ligados ao extensômetro ao terminal de ligação (data acquisition), não devem ficar esticados para evitar o seu rompimento com esforços mecânicos.

Este dispositivo final é adotado como resposta no Sistema Hidráulico de Pressão (SHP).

3.3.2 – MATERIAIS II

Os materiais utilizados para o acoplamento do material polimérico ao extensômetro foram os seguintes:

- Limas finas e bastardas;
- Esmeril;
- Lixas 180 e 220;
- Estação de solda;
- Mascaras cirúrgica;
- Data acquisition;
- Condicionador;
- Pinça;
- Teflon;
- Fita adesiva;
- Neutralizador;
- Luvas cirúrgicas;
- Solvente para eliminar resíduos oleosos;
- Fio de cobre de nº 40;
- Cola de silicone;
- Gaze;
- Adesivo Epóxi;
- Grampo tipo C com mola de compressão;
- Borracha de silicone;
- Multímetro em escala 20 MΩ;

Então, testa-se primeiramente a resistência do extensômetro com o valor fornecido pelo fabricante. Como se trata de um extensômetro de diafragma do tipo Excel PA-09-364CA-350-S o valor teórico do Fator de Sensibilidade é $K = 2,1$, resistência nominal de 350 Ohms e sendo solicitada uma deformação de 1 micro-strain (2%), sua variação de resistência será igual à 0,0002 Ohms (Excelsensores, 2003).

Em seguida mede-se o isolamento entre o extensômetro e a peça onde está colado (Material Elástico), isto se faz com a ponta do ohmímetro ligado em uma das pernas do extensômetro e outra na ponta da peça. Com os seguintes valores de resistência, temos suas seguintes conclusões:

CASO 1: $R > 350 \Omega$ = valor desejado;

CASO 2: $100 < R < 350 \Omega$ = o extensômetro poderá ser usado com alguma ressalva;

CASO 3: $R < 100 M\Omega$ = o extensômetro deve ser substituído.

Para estes testes devem-se usar aparelhos com tensão de no máximo 20 V e ter a certeza que não haja umidade (Euler, 1998).

Constatado que a resistência de isolamento é superior a $350 M\Omega$, liga-se os fios, que podem ser feitos diretamente dos terminais do extensômetro ou por intermédio de pontes de ligação, que consiste em terminais colados na própria peça como se ver logo a seguir:

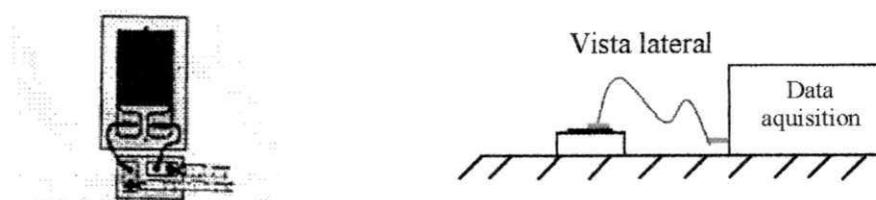


Figura 24: Extensômetro com terminal de ligação

(A ilustração foi extraída do folheto técnico da Micromeasurements [8])

Após toda esta preparação do tipo de extensômetro, colagem, adesivo e os testes das condições elétricas do extensômetro chega-se ao ponto de ligação da estrutura montada de extensômetro-polímero no circuito elétrico. O fio utilizado para soldagem do circuito à estrutura é o fio de cobre de nº 40, cujo diâmetro é próximo a um fio de cabelo. Então, com a ajuda da estação de solda, estes fios são acoplados ao

3.4 - 4ª ETAPA (METODOLOGIA IV)

3.4.1 – CONSTRUÇÃO DO SISTEMA HIDRÁULICO DE PRESSÃO (SHP) E IMPLANTAÇÃO DOS SENSORES

Para a construção do sistema hidráulico de pressão (SHP), elaborou-se um “layout” do local que será feito os ensaios com os respectivos equipamentos a ser utilizado. Após a sua construção, simulam-se ensaios do que possa acontecer no Sistema de Dessalinização Piloto (SDP), submetendo assim, os sensores de pressão a esforços mecânicos e dinâmicos resultando em respostas desejadas e no tempo real.

- Construção do Sistema Hidráulico de Pressão (SHP):

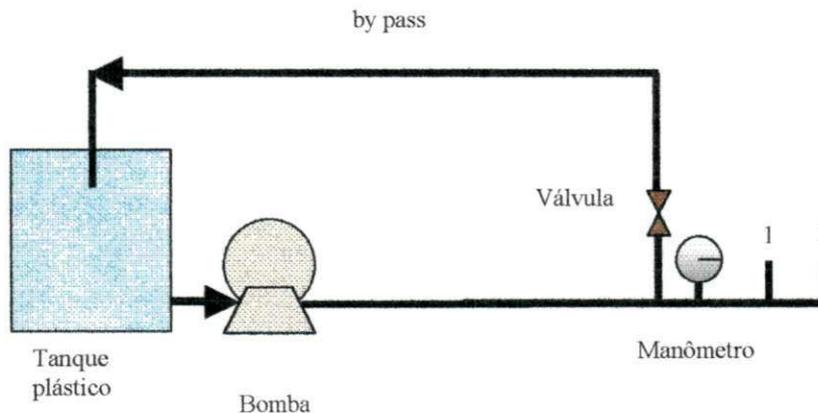


Figura 25: Esquema do SHP

Inicialmente, preenche o tambor até aproximadamente 40 litros (cerca de 95% de sua capacidade), com a intenção de se ter uma maior quantidade de água, pois como se trata de um sistema composto de um “by pass”, logo o sistema precisará de maior tempo de trabalho para que a água não aumente sua temperatura, fato indesejável no sistema. Este fator sofre fácil alteração devido à bomba ser de alta pressão e o seu processo de refluxo ser muito rápido. Em um espaço de tempo determinado, deve-se ajustar o manômetro nos devidos pontos de pressão que serão trabalhados no SDP e no campo. Em paralelo devem ser observadas as respostas enviadas pelo extensômetro ao equipamento de aquisição de dados (data acquisition) ligado ao computador.

Os pontos 1 e 2 da Figura 23, correspondem aos pontos onde estão inseridos os sensores comercial de alta precisão (americano) e o produzido no Laboratório de

Referência em Dessalinização (LABDES) respectivamente. A finalidade da implementação dos dois sensores em mesma corrente é para que seja possível a sua comparação e após algumas bateladas de ensaios chegar-se a conclusões de sua eficácia.

Portanto, o SHP possui uma válvula que regula a pressão de teste em conjunto com o “by pass”. Esse sistema será utilizado para testes das películas poliméricas junto ao extensômetro do tipo diafragma no intuito de ser implementado no SDP, no qual sofrerão algumas bateladas com diferentes tipos de águas salobras, pressões e vazões.

3.4.2 – MATERIAIS III

O SHP é composto dos seguintes itens:

- Tanque plástico de 50 litros;
- Motor-bomba de alta pressão;
- Manômetros glicerinado de 35 kgf / cm²;
- Tubo de cpvc de 22 mm (marca tigre) de alta pressão;
- Válvula manual;
- Data Aquisition/Switch Unit 34970.

3.5 - 5ª ETAPA (METODOLOGIA V)

3.5.1 – DESENVOLVIMENTO DOS SENSORES DE VAZÃO NO SISTEMA DE DESSALINIZAÇÃO PILOTO - SDP

Analogamente à Mecânica dos Sólidos e a Cinemática dos Fluidos que estuda o movimento dos fluidos, onde o escoamento é qualquer simples alteração na forma inicial do fluido, sob ação de esforço tangencial. O escoamento também pode ser chamado de “fluidez” sem se importar com as causas que provocam este efeito (Welty et al., 1984). Como a vazão é uma variável que está intimamente ligada ao escoamento presente no sistema, é importante termos uma noção sobre qual o tipo de escoamento presente no sistema quanto à direção da trajetória (laminar, transição ou turbulento), quanto à variação no tempo (permanente ou não-permanente) e quanto à variação da trajetória (uniforme ou variada).

Neste sentido, para a aplicação e confecção dos sensores de vazão (rotâmetros) desenvolvidos no LABDES, foi escolhido um rotâmetro bastante utilizado hoje em indústrias químicas, petroquímicas, alimentares, mecânicas, além de serem bastante comuns em laboratórios e no tratamento de águas, denominado de sensor de fluxo com rotor-X. Trata-se de um sensor de vazão volumétrica de alta precisão utilizado para medição do fluxo do sistema. Este sensor é considerado de baixo custo e obedece ao efeito hall (Fischer, 2004).

O sensor de fluxo com rotor-X deverá ser composto por uma tubulação de cpvc projetada individualmente para cada rotâmetro, uma hélice em forma de um rotor-X, um pino metálico, dois ou quatro ímãs que geram um efeito hall e fios ligados a um sensor de hall do tipo Hall ICs DN6851.

O sensor de hall do tipo Hall ICs DN6851 é um semicondutor de circuito integrado que faz uso do efeito hall. Este sensor está designado para operar com uma alternância magnética e com uma tensão de voltagem especificada. A voltagem a ser aplicada ao campo está numa faixa de 3,6 V a 16 V, com uma operação de campo magnético alternada e equipada em sua saída com um resistor típico de 27 kOhms. Para a sua aplicação deve-se levar em conta a velocidade do sensor, posição do sensor e rotação do sensor (Panasonic, 2002). A faixa de operação de sua temperatura se encontra entre -40°C e 85°C e o seu fluxo de operação magnética varia entre -30 mT a 30 mT .

O rotâmetro deve ser implantado no SDP nas correntes de saída do rejeito e na corrente de saída do permeado juntamente com os rotâmetros comerciais. Os rotâmetros devem ser ligados inicialmente a um aparelho que tenha a função de transmitir ondas magnéticas de frequência (osciloscópio). O sensor de hall irá captar frequências adquiridas pelos ímãs, e através de uma ligação de seus sensores, enviar ao osciloscópio para serem computados os respectivos valores. Com o manuseio destes resultados, é possível fazer uma calibração mais precisa e observar a linearidade dos rotâmetros, comparar os resultados entre o rotâmetro comercial e do LABDES, bem como as suas funções respostas e seus erros.

Em termos gerais, temos na Figura 26a o um fluxograma que descreve os passos adotados para que o rotâmetro seja incorporado ao SDP.

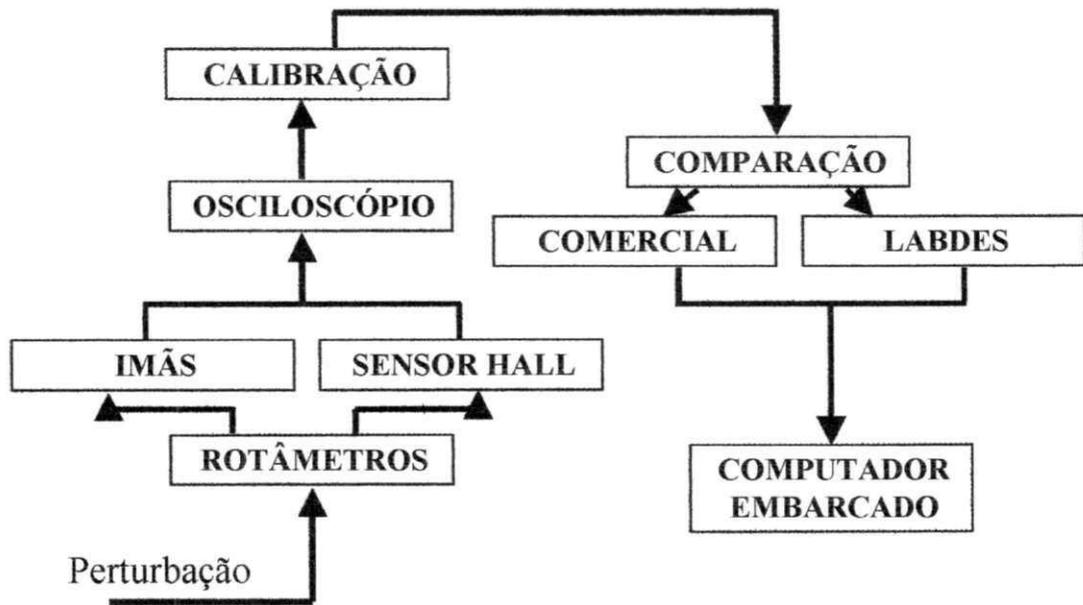


Figura 26a: Fluxograma do processo de desenvolvimento do sensor de vazão confeccionado no LABDES

Na Figura 26b temos um uma foto do rotômetro comercial utilizado como referência:



Figura 26b: Rotômetro comercial do tipo rotor-X adotado como referência
(Manual de instrução no anexo II)

3.5.2 – MATERIAIS IV

O rotômetro confeccionado pelo LABDES é composto dos seguintes itens:

- Tubo de cpvc de 22 mm (marca tigre);
- Luva de cpvc de 22 mm para 28 mm (marca tigre);
- Tê de cpvc de 28mm (marca tigre);

- Tubo de cpvc de 22 mm (marca tigre) de alta pressão;

3.6 - 6ª ETAPA (METODOLOGIA VI)

3.6.1 –IMPLANTAÇÃO DOS SENSORES DE PRESSÃO E VAZÃO NO SISTEMA DE DESSALINIZAÇÃO PILOTO - SDP

Após vários testes realizados em um Sistema Hidráulico de Pressão em menor escala, deve-se iniciar ensaios com os sensores no Sistema de Dessalinização Piloto (SDP) projetado para simular turbulências e alterações nos fatores que possam vir a acontecer e influenciar o sistema. Com estas simulações, torna-se possível monitorar e o controlar em tempo real e à distância (via telemetria) todas as variáveis que o influenciam no sistema.

Para captar respostas retiradas dos sensores e enviadas pelo microcontrolador, é necessário entender o funcionamento do Sistema de Dessalinização Piloto (SDP) e, principalmente, conhecer as variáveis de controle desse sistema. Além disso, é importante o conhecimento das equações do processo de dessalinização via osmose inversa para incrementá-las ao programa gerente e uma normalização do sistema a partir dos dados enviados pelo computador embarcado. Em paralelo, deve-se obter uma boa confiabilidade e condicionamento para envio de resposta dos sensores de pressão, vazão, controlador de pH e sensor de temperatura para realização de sua operação.

Portanto, para montagem do SDP e realização dos testes empíricos, temos a seguinte metodologia: os sensores elétricos de pressão e vazão confeccionados no LABDES e os sensores de temperatura e controlador de pH comerciais devem ser incorporados ao SDP. O SDP é composto dos seguintes componentes principais: Um tanque de 250 litros para alimentação do sistema, uma bomba de auxílio, três elementos de filtros de acetato de celulose melamínica de 5 μm , uma bomba de alta pressão de 1,5 CV de 1750 rpm monofásica, três elementos de membranas do tipo BW30-4040, três vasos de alta pressão 40”(1 metro), dois rotâmetros de vazão (permeado e concentrado), quatro sensores de pressão (entrada e saída da bomba e entrada e saída da membrana), um quadro elétrico de comando, um sensor de temperatura e um controlador de pH e acessórios (uma estrutura metálica, quatro válvulas de esfera de controle de vazão, um tanque de 40 litros para solução anti-incrustante, etc.).

Os manômetros (sensores de pressão) do SDP são usados para a medição da pressão na entrada e na saída dos filtros e das membranas. Já os rotâmetros servem para informar a quantidade de água pura e de rejeito que o dessalinizador venha a produzir (**Tabela 03**).

O desenvolvimento do sistema de monitoração consiste, principalmente, em monitorar os manômetros e os rotâmetros, pois são eles que mostram algum alarme caso algo não esteja funcionando adequadamente. A temperatura e o pH da solução que alimenta o sistema de dessalinização também são monitorados devido a grande influência dessas variáveis no desempenho do SDP.

Tabela 03: Variáveis de Medidas

P1 (kgf/cm ²)	Pressão de entrada dos elementos de filtros
P2 (kgf/cm ²)	Pressão de saída dos elementos de filtros
P3 (kgf/cm ²)	Pressão de entrada dos elementos de membranas
P4 (kgf/cm ²)	Pressão de saída dos elementos de membranas
Q1 (LPM)	Vazão da água dessalinizada
Q2 (LPM)	Vazão do concentrado (rejeito)
T (°C)	Temperatura de alimentação das membranas
pH	Potencial hidrogeniônico da alimentação

As condições de alarme adotadas para o monitoramento são as seguintes:

1. Quando a pressão de entrada (P1) e de saída (P2) dos filtros apresentar uma diferença maior do que 10% da diferença de operação inicial;
2. Quando a pressão de entrada (P3) e de saída (P4) das membranas apresentar uma diferença que ultrapassa 15% do valor de operação inicial;
3. Em função do monitoramento dos itens 1 e 2 as vazões do permeado e do concentrado também serão monitoradas;
4. Quando a temperatura da alimentação das membranas atingir 45 °C.

Todos os sensores e o controlador de pH estão incorporados ao microcontrolador (computados embarcado) que por sua vez, envia os dados de resposta para o moldem_01 junto ao quadro elétrico de comando no Sistema de Dessalinização piloto. Este moldem_01 está programado para comunicar-se e enviar todos os dados coletados pelo microcontrolador para o moldem_02 que está acoplado ao módulo de gerência com monitoração remota em um microcomputador no qual foi implementado com a

linguagem de programação JAVA, da Sun Microsystems™, e de acordo com a prototipagem evolutiva, ou seja, a cada avanço do projeto foi feita uma demonstração e uso por parte do cliente para que o mesmo possa sugerir melhorias e novos requisitos (Almeida, 2002).

O sistema de monitoração remota de dessalinizadores pode ser explicado como mostra a Figura 27. O dessalinizador possui um conjunto de sensores que enviam os valores das variáveis de medidas através do computador embarcado. O computador embarcado armazena e analisa as medidas de pressão, vazão, temperatura e pH, verificando se os valores estão na condição de alarme e, em seguida, as envia para a máquina servidor através da linha telefônica. Na máquina servidor é verificado novamente a ocorrência de alarme e, em seguida, os valores são armazenados no banco de dados. Através de páginas web, o servidor disponibiliza todos os dados armazenados no banco de dados na Internet. Dessa forma, o gerente pode monitorar os dessalinizadores de qualquer parte do mundo.

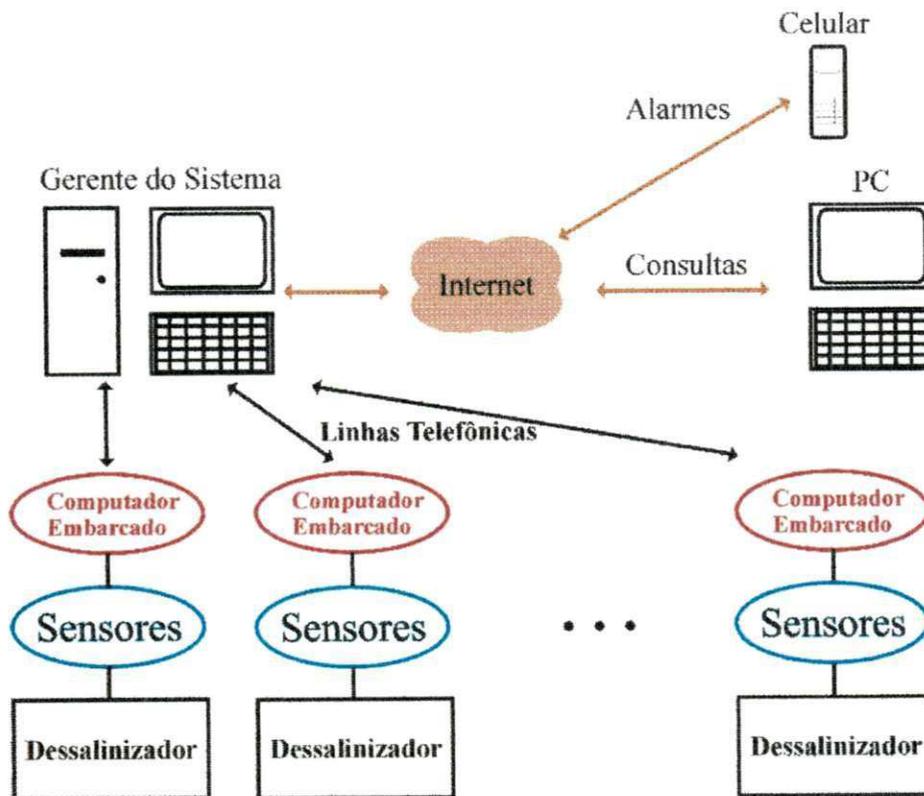


Figura 27: Sistema de monitoração de dessalinizadores

3.6.2 – MATERIAIS IV

Os componentes que compõe o SDP são:

- Um tanque de 250 litros;
- Três elementos de filtros de acetato de celulose melamínica de 5 μm ;
- Bomba de alta pressão de 1,5 CV de 1750 rpm monofásica;
- Elementos de membranas do tipo BW30-4040
- Vasos de alta pressão 40”(1 metro);
- Sensores de vazão, pressão, temperatura;
- Um quadro elétrico de comando;
- Um controlador de pH;
- Uma estrutura metálica;
- Válvulas de esfera de controle de vazão;
- Um tanque de 40 litros para solução anti-incrustante;
- Placa de PVC para parte frontal;
- Displays digitais.

CAPITULO IV

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 – 1ª ETAPA: RESULTADOS DOS TESTES MECÂNICOS DE TRAÇÃO

Sabendo-se que alguns polímeros tais como o poliestireno de alto impacto (**PSAI**), além de serem vítreos, termoplásticos, possuem alta resistência à compressão, à vibração mecânica, resistência ao impacto, resistência à tração, rigidez e baixa condutibilidade térmica. De acordo com os dados apresentados na Tabela 05 e na Tabela 06, no anexo 01, encontram-se todos os valores médios dos testes mecânicos realizados com o polímero-01 e com o polímero-02.

Portanto, de acordo com os dados experimentais apresentados na Tabela 05 e na Tabela 06, as amostras dos polímeros possuem algumas vantagens que levam a escolha dos mesmos para realização do trabalho. Com as vantagens anteriormente citadas, pode-se observar que os polímeros possuem características marcantes como: hidrofóbico, grande dureza e de fase elástica, além de serem leves e fabricado em baixo custo de energia.

Observando a Tabela 05 e Tabela 06 da amostra em análise, tanto o polímero-01 como o polímero-02 possuem uma boa rigidez para sua aplicação. O fator de diferenciação dos materiais é o módulo de Young, onde quanto maior o módulo de Young (medida da rigidez do material), menor será sua deformação elástica (Beer et al., 1995).

Conforme os dados relacionados na tabela estatística no anexo 01, pertencentes aos polímeros, tem-se que:

- Polímero-01:

Módulo de Young:

$$E = 8261,02 \pm 500 \text{ (kgf/cm}^2\text{)} \text{ ou } 810,13 \pm 60 \text{ (MPa)}$$

Resistência à tração na ruptura (Força tensorial):

$$(RT) = 131,85 \text{ kgf/cm}^2 = 12,93 \text{ MPa}$$

Alongamento no escoamento é de aproximadamente 4,5 %

- Polímero-02:

Módulo de Young (E):

$$E = 14015,9 \pm 700 \text{ (kgf/cm}^2\text{)} \text{ ou } 1374,5 \pm 80 \text{ (MPa)}$$

Resistência à tração na ruptura (Força tensorial):

$$(RT) = 209,57 \text{ kgf/cm}^2 = 20,55 \text{ MPa}$$

Alongamento no escoamento é de aproximadamente 20,75 %

4.1.1 - COMPARAÇÃO ENTRE OS RESULTADOS APRESENTADOS PELO POLÍMEROS-01 E DO POLÍMERO-02

A partir dos dados obtidos com os testes mecânicos e diante a análise dos valores do módulo de Young, resistência à tração, alongamento e as tensões de ruptura apresentadas na Tabela 05 e Tabela 06 observa-se que o polímero-01 possui maiores vantagens diante o polímero-02, tais como: menor rigidez, em consequência menor módulo de Young. Por este motivo, ocorrerá uma maior fase elástica em seu corpo, possuindo maior dificuldade para adquirir a histerese e entrar na fase plástica. O material ao entrar nesta fase possuirá curtíssimo tempo de vida (Mecânica dos Ensaios de Materiais, 1997). Mas, existem alguns fatores importantíssimos para o acoplamento deste polímero como elemento elástico do extensômetro elétrico do tipo diafragma com 4 rosetas. Trata-se de algumas considerações segundo Euler (1998), como: Capacidade nominal (Cn), proteção para sobrecarga (ps) e a

distribuição uniforme de deformação no extensômetro (Du). Quanto ao cálculo do seu valor nominal e da proteção para sobrecarga será utilizada a tensão de ruptura e a distribuição uniforme de deformação no extensômetro será utilizada a deformação ao qual será proporcionada transversalmente e radialmente. Nesse sentido temos:

- Polímero-01:

Capacidade nominal (Cn)

$$Cn = \frac{\tau_R}{4} = \frac{121,35}{4} = 30,34 \text{ kgf/cm}^2 \text{ em cada ponto de resistência do extensômetro.}$$

Proteção para sobrecarga (ps)

$$ps = (30,34) + (30,34).(1,5) = 75,85 \text{ kgf/cm}^2$$

Distribuição uniforme de deformação no extensômetro (Du)

$$Du = \frac{\text{Alongamento}}{4} = \frac{4,75}{4} = 1,19\% \text{ em cada ponto de resistência do extensômetro.}$$

- Polímero-02:

Capacidade nominal (Cn)

$$Cn = \frac{\tau_R}{4} = \frac{177,19}{4} = 44,30 \text{ kgf/cm}^2 \text{ em cada ponto de resistência do extensômetro.}$$

Proteção para sobrecarga (ps)

$$ps = (44,30) + (44,30).(1,5) = 110,75 \text{ kgf/cm}^2$$

Distribuição uniforme de deformação no extensômetro (Du)

$$Du = \frac{\text{Alongamento}}{4} = \frac{20,75}{4} = 5,19\% \text{ em cada ponto de resistência do extensômetro.}$$

Como descrito anteriormente, o polímero-01 tem melhor comportamento mecânico possuindo maior fase elástica, mas em contrapartida, não poderá ser utilizado como elemento elástico. O polímero-01 não apresenta a confiabilidade necessária, segundo Euler (1998), em sua distribuição uniforme de deformação no extensômetro, além de possuir menor resistência à tração. O polímero-02 apesar de menor fase elástica, é um material que atende as especificações de elemento elástico, com maior resistência à tração (maior capacidade nominal nos pontos) e melhor distribuição uniforme de deformação no extensômetro, mostrando assim, uma melhor confiabilidade a não danificação. A deformação ao qual será proporcionada transversalmente e radialmente deverá sofrer comportamentos idênticos, embora de sentidos contrários, para se obter uma saída linear. Avaliando estes dados e sabendo do acoplamento do polímero como elemento elástico, observa-se um melhor comportamento do polímero-02.

A partir da Equação 15 e utilizando o polímero-02, é possível calcular a espessura do elemento elástico utilizado como diafragma de estrutura do extensômetro elétrico em variadas pressões. Considerando que o coeficiente de Poisson (ν) do poliestireno é 0,33 (3D-Cam, 2003), a sensibilidade de capacidade nominal (V_0) 2,1 mV/V e o raio do extensômetro 4,125 mm (dado fornecido pela Excelsensores). Para os diferentes pontos de pressão de operação (P) no sistema de dessalinização piloto foi montada a Tabela 04 no anexo 01.

Como as pressões de entrada (P1) e de saída (P2) dos filtros estão em uma faixa de operação de 1,0 kgf/cm² até 5,0 kgf/cm², o polímero utilizado possui uma espessura de 2mm, ou seja, uma confiança de 18% a mais da espessura indicada. Já em relação à pressão de entrada (P3) e de saída (P4) das membranas, suas faixas de operação será de 5,0 kgf/cm² até 20 kgf/cm², e portanto o polímero utilizado, possui uma espessura de 3 mm, ou seja, uma confiança de 3% a mais da espessura indicada.

4.1.2 - RESULTADOS E DISCUSSÃO DOS TESTES DE FADIGA

Para a realização dos testes de fadiga, é preciso que se leve em conta os dados de esforços mecânicos de tração aplicado ao polímero-02, conforme Tabela 06 no anexo 01. Dentre as considerações dos mesmos, para efeito dos cálculos da carga inicial aplicada ao material, aplica-se o valor da tensão de ruptura média (τ_R) à Equação 04 como se vê logo abaixo:

$$\tau_R = 177,19 \text{ kgf/cm}^2 = 1,77 \text{ kgf/mm}^2$$

$$F_t = \tau_R \cdot A \Rightarrow F = (1,77) \cdot 27$$

$$A \approx 27 \text{ mm}^2$$

$$F_t = 47,8 \text{ kgf}$$

Em posse dos resultados e segundo Beer et al. (1995) a carga de inicialização dos testes para os esforços cíclicos é de 50 % da carga total. Partindo deste valor, foram realizados testes em diferentes percentagens para se obter uma carga de maior confiabilidade.

- Ondas senoidais

Para a realização dos testes na máquina Servohidráulica, levou-se em conta a seguinte percentagem de carga: 66%, 50%, 40% e 30%. Como foi observado, o valor inicial do teste não absorve o valor inicial de 50% da tensão de ruptura, mas sim 66%. Esta estimativa parte do princípio de que a Máquina Servohidráulica MTS é de grande porte, ou seja, tem grande perfeição em materiais que possuem testes iniciais em termos de toneladas. Portanto, quanto mais elevado o valor inicial do experimento, melhor será sua precisão. Em relação ao valor final estipulado (30%), também se deve ao mesmo motivo do valor da carga aplicada em relação à máquina realizada, nos mostrando assim o maior tempo de vida útil do material e não o seu tempo de vida infinita.

Para melhor efeito da faixa de operação da máquina e para a sua calibração, as tensões cíclicas foram dispostas por uma função senoidal, onde os valores de tensões são representados no eixo das ordenadas e o número de ciclos no eixo das abscissas. As tensões

de tração são representadas como positivas e as tensões de compressão como negativas. Conforme mostra os ensaios abaixo:

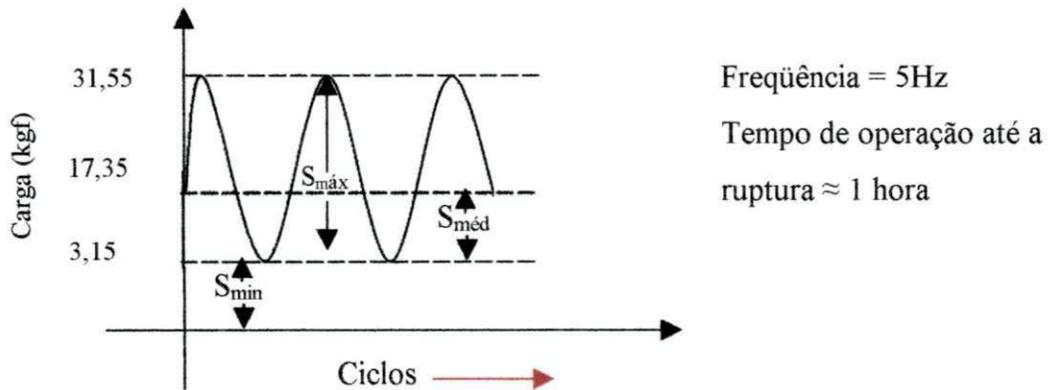


Figura 28a: Caracterização das funções senoidais para 66% da Força total de ruptura

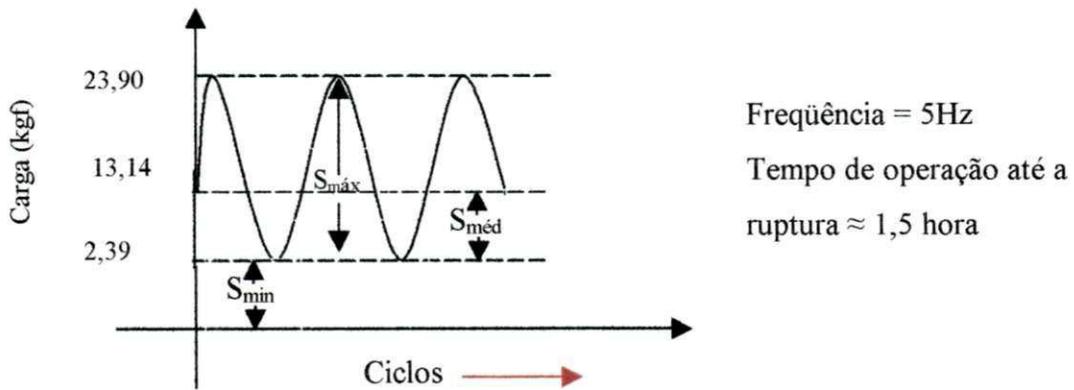


Figura 28b: Caracterização das funções senoidais para 50% da Força total de ruptura

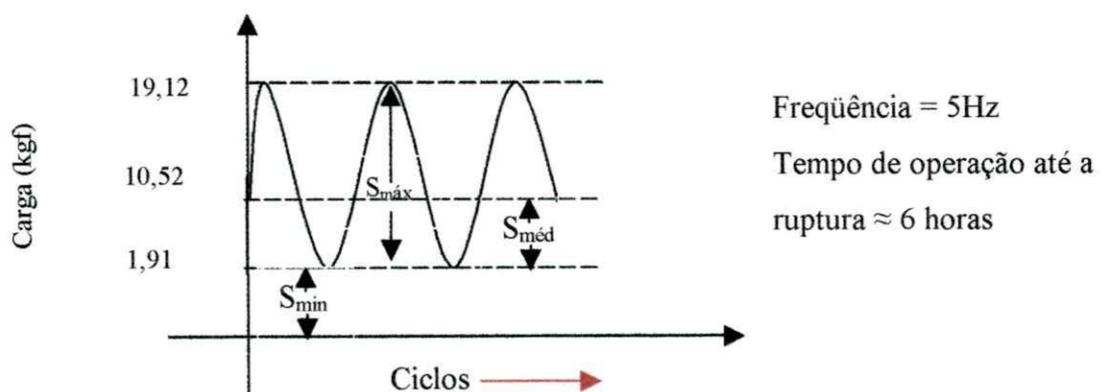


Figura 28c: Caracterização das funções senoidais para 40% da Força total de ruptura

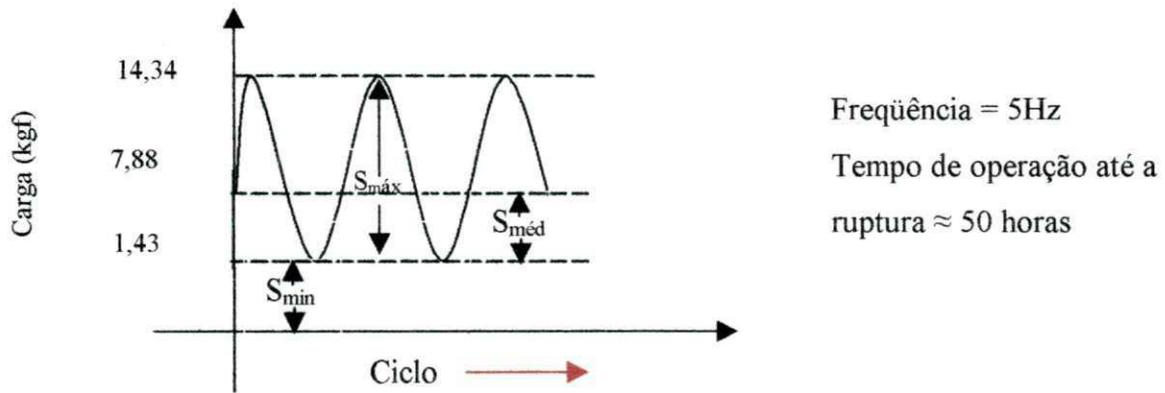


Figura 28d: Caracterização das funções senoidais para 30% da Força total de ruptura

Percebe-se de acordo com as ondas senoidais anteriormente expostas e de acordo com a Figura 07, que em nossos ensaios o tipo de tensão adotado foi o tipo b (tensão repetida com o campo de tração). Então, diante estes resultados de tensão máxima ($S_{m\acute{a}x}$), tensão média ($S_{m\acute{e}d}$) e tensão mínima ($S_{m\acute{i}n}$), de acordo com a precisão da máquina, foi plotado o gráfico que mais se aproxima de seu tempo de vida infinita. Os valores comumente utilizados são os resultados máximos (caso utilizado) ou médios.

- Curva S-N

Sabendo-se que o fenômeno da fadiga é uma falha que ocorre após longo período em serviço dos componentes estruturais submetidos a tensões cíclicas (Junior et al., 2002), percebe-se à dimensão da importância de seu estudo. No caso dos polímeros é importante sua avaliação, pois o mesmo não possui tempo prolongado de fase plástica (irreversível), ou seja, sua propagação de trinca além de ser microscopia, ocorre em fração de segundos (Kawaguchi et al., 2004).

Como análise dos testes realizados através de esforços dinâmicos e cíclicos, existem algumas considerações importantes que devem ser enfatizadas, tais como: a função ou utilização dos polímeros é de caráter estrutural de proteção dos sensores, fazendo-se necessário o estudo de vida infinita neste material ou o maior tempo de vida do material. Outro fator importante que não nos propiciou a esta determinação foi devido a Máquina

Servohidráulica MTS para fadiga ser de grande sensibilidade em esforços abaixo de 14 kg de força, ou seja, poderia nos causar uma imprecisão.

Portanto sabendo-se que os sensores de diafragma suportam uma deformação de aproximadamente 2% (Euler, 1998) e que o polímero em estudo chegou-se a uma deformação de aproximadamente 20% (dez vezes o utilizado). Resta analisar o quanto de esforço o mesmo suportará para que seja implantado ao Sistema Hidráulico de Pressão (SHP), para pressões até 25 kgf/cm².

Tabela 07: Porcentagens de Cargas testadas e ciclos correspondentes

Tensões	Ciclos	Observações	Média (ciclos)
116,94 kgf/cm ² (66% τ_R)	22.600	-	22.533
	22.500	-	
	22.500	-	
88,60 kgf/cm ² (50% τ_R)	22.800	-	22.863
	22.900	-	
	22.890	-	
70,88 kgf/cm ² (40% τ_R)	68.000	-	69.000
	(47.100)	Rompimento do corpo na garra	
	70.000	-	
	69.000	-	
53,16 kgf/cm ² (30% τ_R)	(626.700)	Queda de energia, favorecendo alterações na máquina operante.	167.967
	164.800	-	
	194.700	-	
	913.500	Ponto excluído	
	144.400	-	

Fazendo uso da Tabela 07, tem-se a Figura 28, onde é possível descrever a curva de tensão em função da deformação do material (curva S-N). Tendo conhecimento destas informações, utilizou-se uma faixa de esforço entre $53,16 \text{ kgf/cm}^2$ (14,34 kgf) e $116,94 \text{ kgf/cm}^2$ (31,55 kgf), possibilitando uma grande margem confiança nos resultados, sem perder tanta sensibilidade na máquina. Então, com o auxílio da Curva S-N, observa-se que o polímero-02 se enquadra ao papel de estrutura dos sensores, possuindo um grande tempo de 50 horas de jornada de trabalho, com esforços consecutivos e com uma frequência de 5 Hz. Em função dos resultados, sabe-se que nestas condições o número de ciclos médio é de 167.967.

Diante destes resultados finais, e sabendo-se que as especificações no SHP mostra uma pressão máxima de 30 kgf/cm^2 e uma frequência abaixo de 1 Hz, pode-se deduzir que o polímero-02 possui boa eficiência em relação as especificações, e que o mesmo terá uma maior vida útil, chegando-se à no mínimo 839.835 ciclos por segundos (no caso de 1 Hz). Além de trabalhar abaixo do seu limite de resistência.

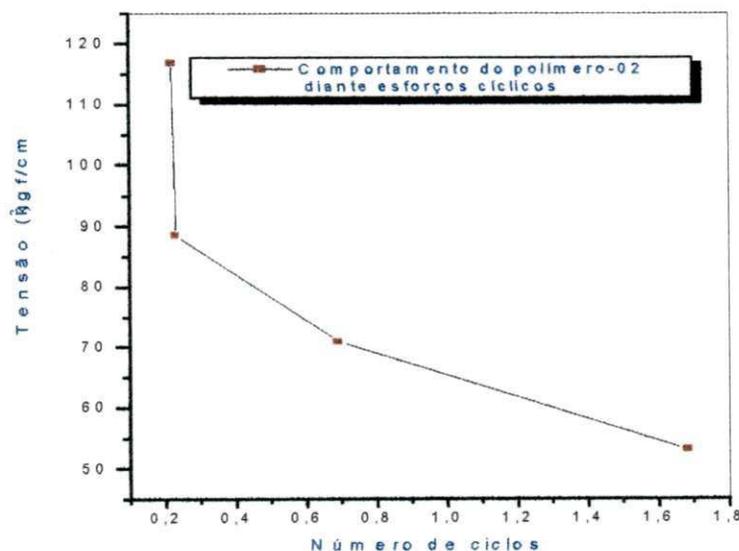


Figura 29: Variação da tensão em função do número de ciclos para o polímero-02 onde o número de ciclos é dado em uma multiplicação de ordem 10^5 para 5Hz.

4.2 – 2ª ETAPA: RESULTADOS DOS ENSAIOS NO SISTEMA HIDRÁULICO DE PRESSÃO (SHP)

4.2.1 – ESTUDO DO COMPORTAMENTO IDEAL DO SENSOR DE PRESSÃO NO SHP:

Com a construção do SHP foram observados os comportamentos não só da estrutura de proteção, mas também, do extensômetro quanto à deformação e dos circuitos elétricos (sensores) quanto aos sinais de resistência tanto no centro (R_{centro}) como nas borda (R_{bordas}) correspondente às pressões aplicadas e o tempo que os sinais se posta constante frente a diferentes gradientes de pressão.

Os ensaios foram realizados em quatro fases de importantes descobertas com pressões que variam de 0 kgf/cm^2 à 20 kgf/cm^2 , onde os mesmos se dividem em:

FASE 01: Controle de temperatura no SHP

Esta necessidade de controle foi observada no início dos testes no SHP, onde no primeiro ensaio os sensores foram monitorados durante aproximadamente 7 horas de trabalho com o efeito de diferentes gradientes de pressão operando em uma faixa de tempo de 2 horas cada ponto. Os comportamentos individuais mostraram uma definição constante em resposta dos valores de resistência elétrica em cada uma das pressões exercidas tanto em relação ao centro (R_{centro}) como nas borda (R_{bordas}) da estrutura, com exceção dos resultados obtidos em 20 kgf/cm^2 . Então, é feita a análise geral das médias e das deformações proporcionadas transversalmente e radialmente para avaliar se houve uma saída linear, conforme mostra a Figura 30.

A Figura 30 mostra respostas constantes em relação à pressão de 20 kgf/cm^2 . A curva apresentou dois picos de respostas em R_{centro} com 356 Ohms e 358 Ohms e R_{borda} com 352,8 Ohms (menor que 15 kgf/cm^2) e 354 Ohms, na primeira e segunda hora de operação respectivamente. Este fato se dá em função do volume de água disponível (40 litros), que obteve um aumento de temperatura de 26°C para 70°C em 1 hora de trabalho.

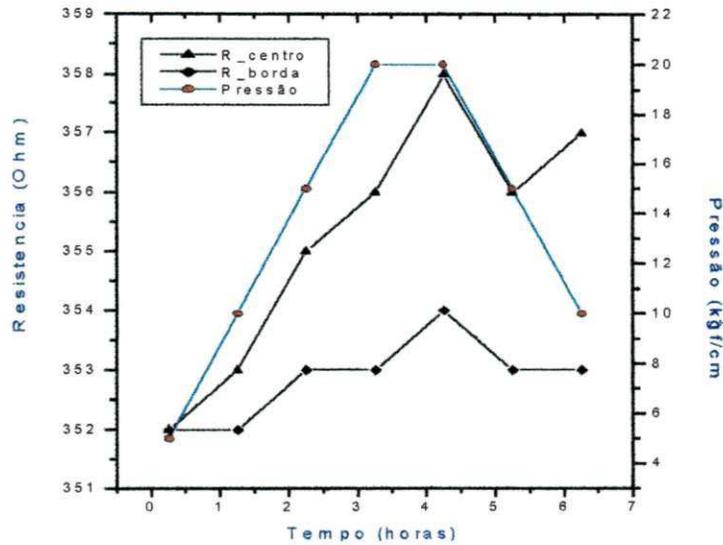


Figura 30: Média do comportamento dos sensores frente a diferentes gradientes de pressão no segundo teste (26°C - 70°C).

Segundo a Associação Industrial de Poliestireno (ACEPE) e a Macro gallery o poliestireno não possui limite para baixas temperaturas, mas como todos os plásticos, o poliestireno de alto impacto (PSAI) tem um limite superior de exposição à temperatura e cargas. Portanto com este aumento da temperatura no ensaio o PSAI sofreu uma maior deformação, não chegando a sua temperatura de transição vítrea ($T_g = 100^\circ\text{C}$), mas logo após voltou ao seu comportamento inicial. No caso do extensômetro não houve o mesmo comportamento, pois o mesmo possui um limite de deformação de aproximadamente 18% inferior ao do polímero. Além de que, segundo Euler (1998), os transdutores não sofrerão influências devido a variações de temperatura.

FASE 02: Relação do diâmetro do extensômetro e placa de proteção

Verificada a primeira fase do trabalho, parte-se para a segunda etapa dos ensaios com o objetivo de otimizar e confiabilizar ainda mais os resultados obtidos. Esta etapa visa observar a função resposta do comportamento da resistência no centro (R_{centro}) e da resistência nas bordas do material (R_{borda}) em relação ao local de atuação das forças exercidas no material polimérico em conjugação ao extensômetro e sensores utilizados.

Entretanto, temos os seguintes resultados observados nos ensaios realizados:

Teste 02:

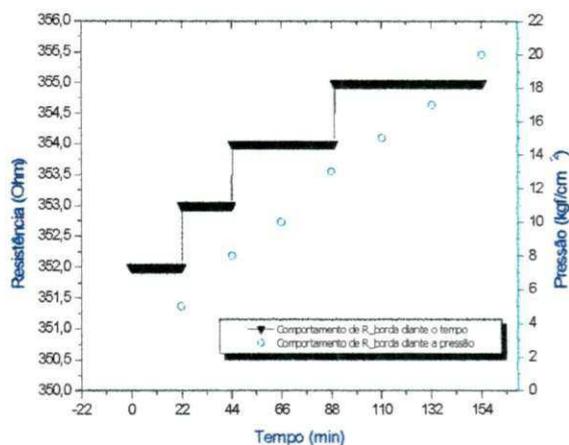


Figura 31: Comportamento de R_bordas diante a pressão exercida em cada ponto.

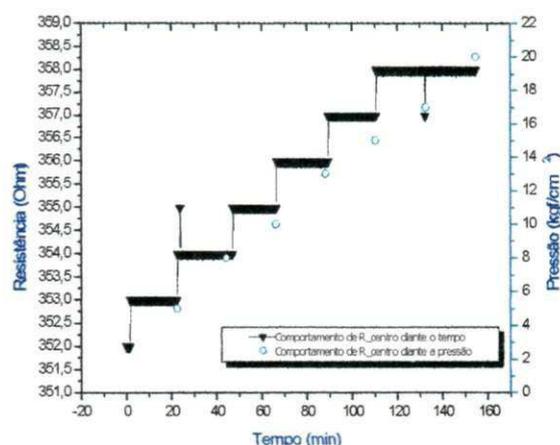


Figura 32: Comportamento de R_centro diante a pressão exercida em cada ponto.

De acordo com os resultados apresentados na fase 02, pode-se perceber também em decorrente a primeira fase, que as respostas, ou melhor, os comportamentos individuais das resistências de R_centro e R_borda frente aos diferentes gradientes de pressão foram praticamente constantes em cada ponto, de acordo com a Figura de 31 e Figura 32.

A Figura 33 mostra um aumento gradativo da resistência ao passo que se aumenta a pressão exercida no sistema até a pressão de 15 kgf/cm². A partir deste ponto a 20 kgf/cm² observa-se uma constante para R_centro e de 12 kgf/cm² à 20 kgf/cm² em R_borda. Como justificativa deste resultado, observou-se que tanto o acoplamento da união de cpvc (suporte) ao qual a estrutura polimérica estava projetada quanto à própria estrutura, possuía maior diâmetro que a estrutura do extensômetro de diafragma ligado aos sensores.

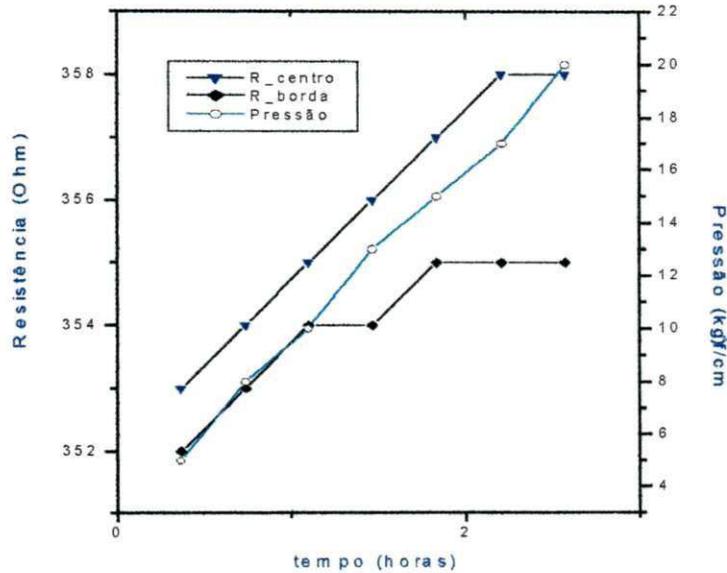


Figura 33: Média do comportamento dos sensores frente a diferentes gradientes de pressão em cada ponto ($26^{\circ}\text{C} - 30^{\circ}\text{C}$).

A Figura 34 mostra uma melhor visualização das discussões aqui mencionadas através de uma fotografia do acoplamento polímero-extensômetro-união:

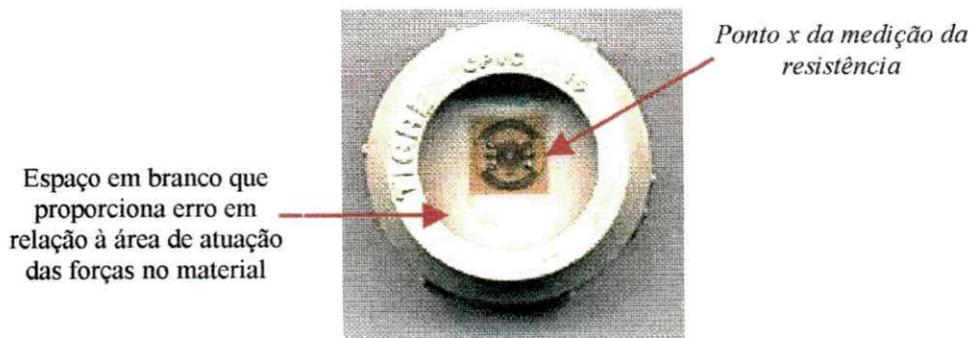


Figura 34: Fotografia do acoplamento extensômetro-placa-suporte

Portanto, conclui-se parcialmente que a medição de resposta observada nos ensaios anteriores são respostas de resistências centrais e resistências em um certo ponto x próximas ao centro.

FASE 03: Fixação do acoplamento extensômetro-placa-suporte

Esta fase revela que o processo de flexibilidade do suporte de cpvc e a do poliestireno se assemelham e as mesmas acompanham os mesmos processos de esforços e respostas.

Observa-se nas Figura 35 e Figura 36 a mesma resposta da fase 02, salvo que a cada ponto de pressão exercida, há um resultado diferente correspondente.

Em detrimento aos resultados obtidos na fase 03, percebe-se que a resposta equivocada e retificada obtida na fase 02, não seria a solução única, ou seja, além da área de atuação das forças no acoplamento, as resistências R_{centro} e R_{borda} continuam mostrando comportamentos semelhantes, conforme a Figura 37.

Teste 03:

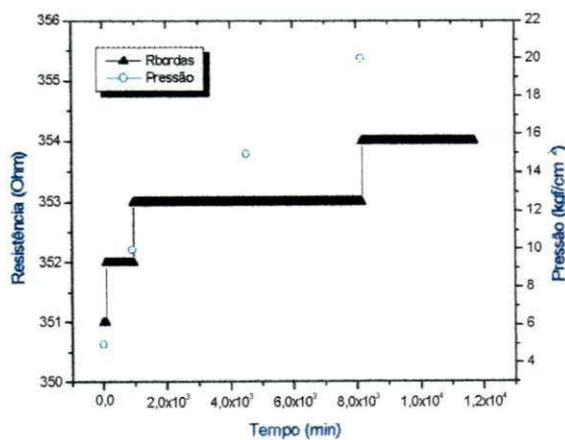


Figura 35: Comportamento da Pressão e R_{bordas} com o tempo de 1 hora em cada ponto.

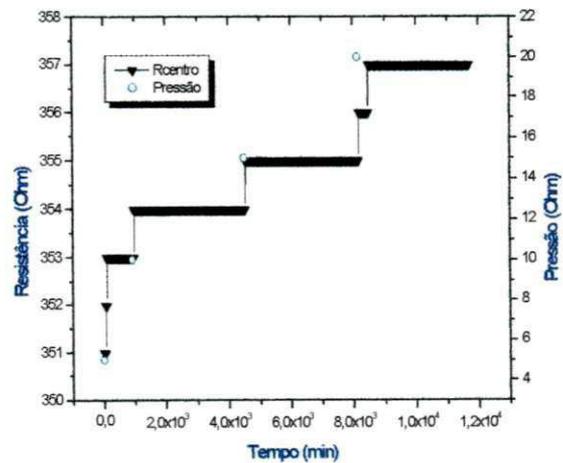


Figura 36: Comportamento da Pressão e R_{centro} com o tempo de 1 hora em cada ponto.

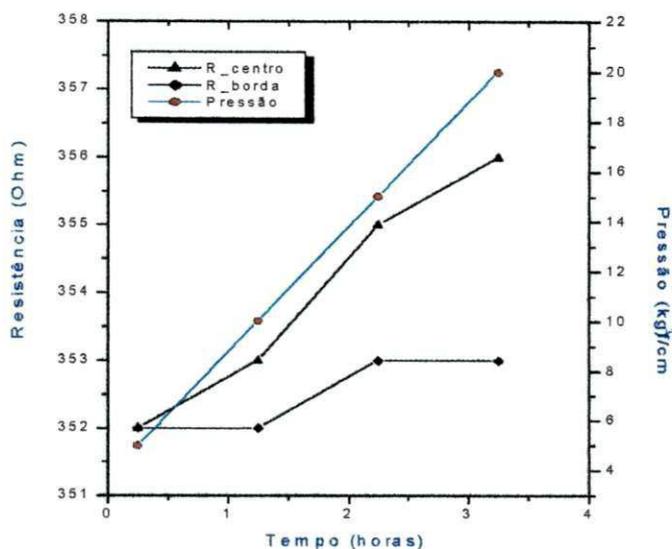


Figura 37: Média do comportamento dos sensores frente a diferentes gradientes de pressão em 1 hora de operação em cada ponto (26°C - 30°C).

Segundo mostram os experimentos observados, conclui-se que o acoplamento polímero-extensômetro-união possui uma flexibilidade que se assemelham, acompanhando os mesmos processos de esforços e respostas. Portanto, houve a necessidade de criar um encapsulamento que atendesse o comportamento descrito na Figura 38.

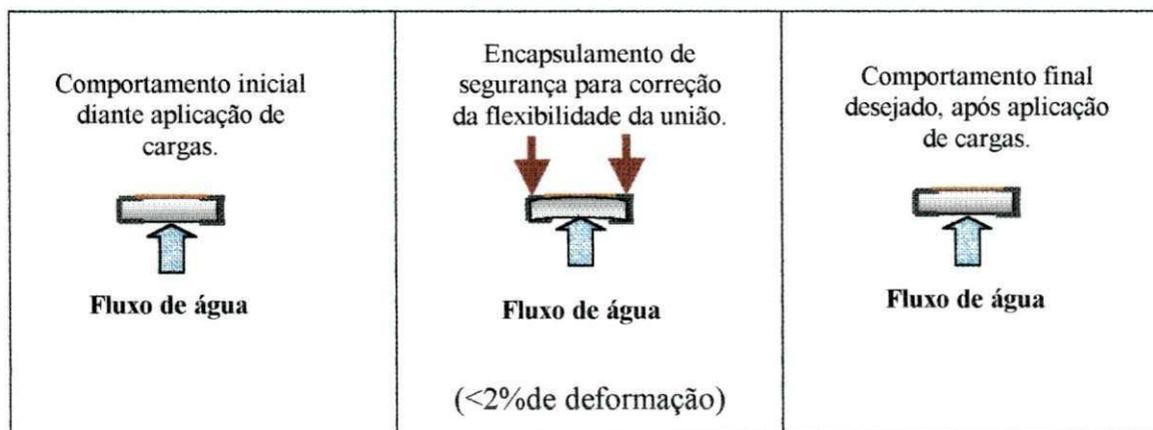


Figura 38: Comportamento desejado para R_centro e R_borda durante aplicação de cargas.

FASE 04: Desenvolvimento da melhor função resposta

Diante de toda a evolução e de todos os fatos observados, confeccionou-se um novo acoplamento polímero-extensômetro-união, onde foi implementado um encapsulamento metálico para melhor otimização dos resultados de R_{borda} .

A Figura 39 ilustra uma melhor visualização das discussões aqui mencionadas através de uma fotografia do encapsulamento:

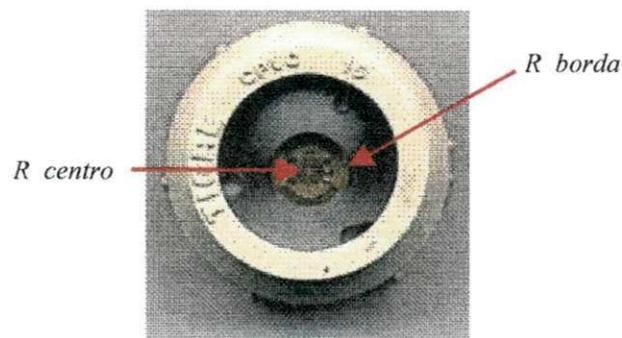


Figura 39: Fotografia do acoplamento extensômetro-placa-suporte-encapsulamento.

Por fim, chega-se à resposta desejada, onde após a aplicação de esforços com valores diferentes, ou seja, em pressões diferentes, o “Data acquisition” efetua a leitura das resistências elétricas pertencentes ao extensômetro, enviando em seguida os dados coletados ao computador o qual encontra-se fisicamente acoplado.

As Figuras 40 e 41 descrevem o comportamento adequado para se obter uma linearidade dos resultados. As deformações proporcionadas transversalmente e radialmente ao material, apesar de contrárias, possuem comportamentos idênticos nos dois pontos de resistências de borda e resistências de centro (Manual Prático: Instrumentação e Extensometria – Módulo II de 1998).

Logo, tem-se experimentalmente:

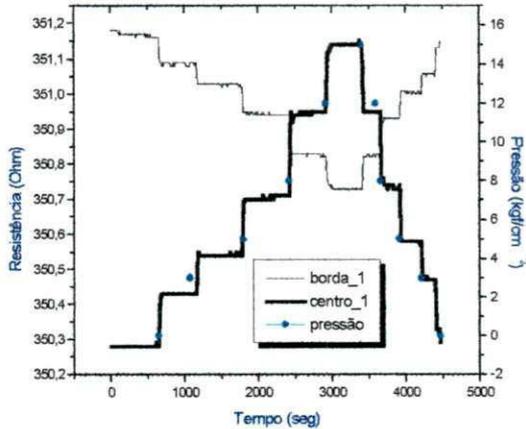


Figura 40: Comportamento das Resistências no ponto 01 do sensor referente à borda (R_{borda_1}) e o centro (R_{centro_1}) com o tempo de 20 e 10 min de operação em cada ponto diante diferentes gradientes de pressão.

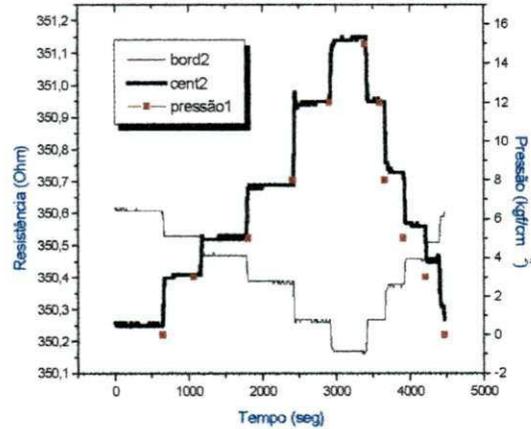


Figura 41: Comportamento das Resistências no ponto 02 do sensor referente à borda (R_{borda_2}) e o centro (R_{centro_2}) com o tempo de 20 e 10 min de operação em cada ponto diante diferentes gradientes de pressão.

Ao plotar a Figura 42, observa-se que à medida que R_{borda} vai diminuindo com o aumento da pressão exercida, a resistência R_{centro} adquire valores contrários em tempos e pressões iguais. Perante a Figura 42, com um comportamento e resposta correta em tempo real, resta ao sensor ser incorporado ao sistema de dessalinização para novos testes em maiores vazões e tempo de trabalho.

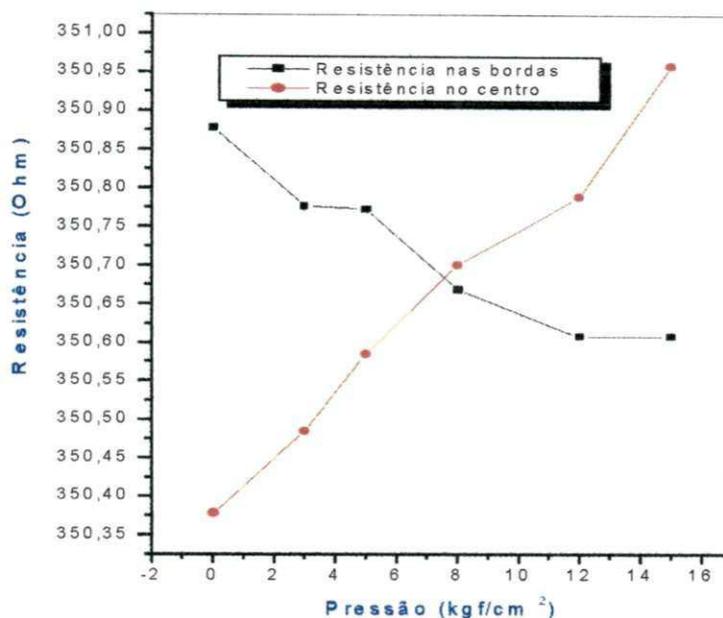


Figura 42: Média do Comportamento das Resistências no ponto 01 do sensor, referente à borda (Rborda_1) e o centro (Rcentro_1) com o tempo de 20 e 10 min de operação em cada ponto (26°C - 30°C).

4.3 – 3ª ETAPA: RESULTADOS DOS ENSAIOS DOS SENSORES IMPLANTADOS NO SISTEMA DE DESSALINIZAÇÃO PILOTO (SDP)

4.3.1 – RESULTADOS DOS TESTES COM OS SENSORES DE PRESSÃO NO SDP

Sabendo-se do desempenho alcançado no SHP, os sensores de pressão foram acoplados ao SDP, onde serão submetidos às pressões de até 20 kgf/cm², a qual será a faixa de operação do mesmo no campo.

Estes esforços, diferentemente dos enfrentados anteriormente, sofrerão não só a influência do parâmetro pressão (P), mas também do fator temperatura (T) mencionado no item na fase 01 e o fator Vazão (Q) e todas as variáveis de influência no sistema de dessalinização.

Na Figura 43 e na Figura 44, o comportamento da estrutura sensorial novamente adquire respostas contrárias em tempos e pressões reais. Reforçando ainda mais a afirmativa de seu comportamento esperado.

Por fim, em conclusões parciais tem-se que os sensores de pressão tipo diafragma confeccionado no LABDES, em termos de análise e respostas enviadas ao computador, mostra uma boa confiabilidade em seus dados experimentais. Restando então, converter os resultados em termos de tensão para que possa ser comparado aos resultados enviados pelo sensor comercial (referência).

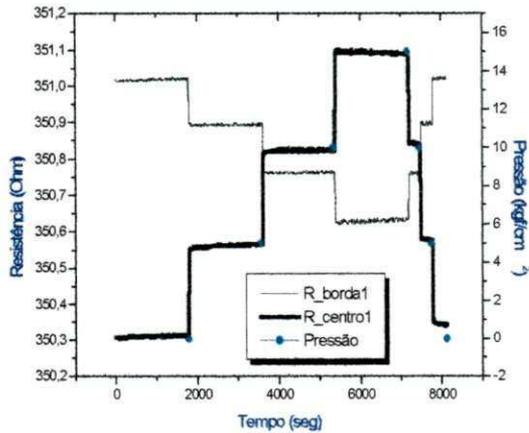


Figura 43: Comportamento das Resistências no ponto 01 do sensor referente à borda (R_borda1) e o centro (R_centro1) com o tempo de 30 e 5 min de operação em cada ponto.

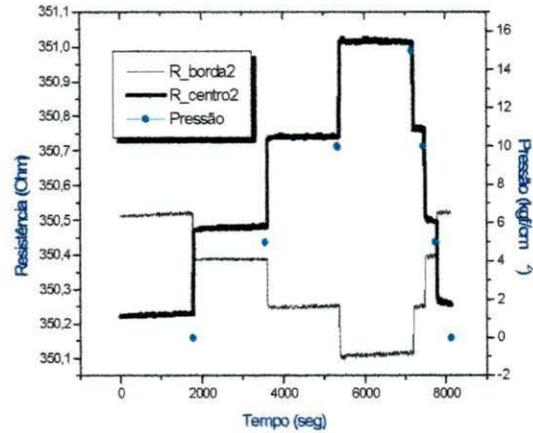


Figura 44: Comportamento das Resistências no ponto 02 do sensor referente à borda (R_borda2) e o centro (R_centro2) com o tempo de 30 e 5 min de operação em cada ponto.

A Figura 45 mostra uma avaliação média dos resultados obtidos na Figura 43 e Figura 44.

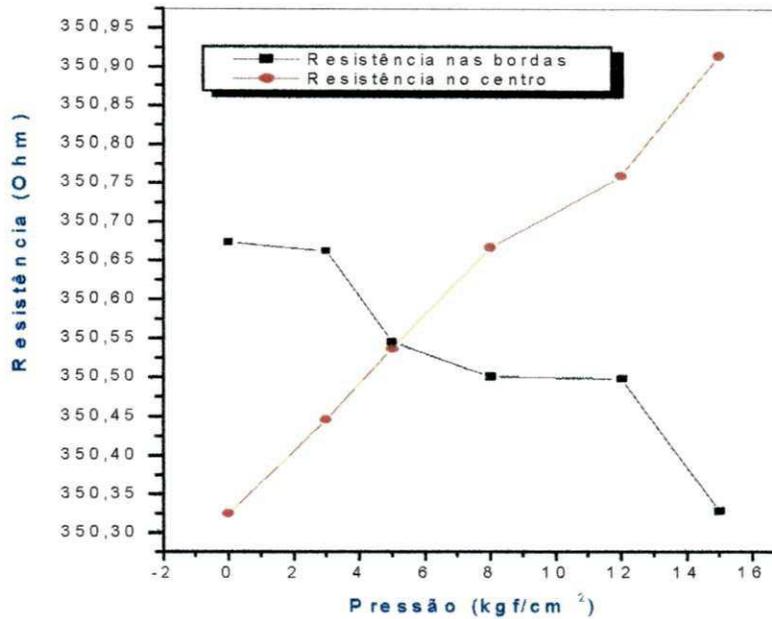


Figura 45: Média do Comportamento das Resistências no ponto 01 do sensor, referente à borda (Rborda_1) e o centro (Rcentro_1) com o tempo de 30 e 5 min de operação em cada ponto (26°C - 30°C).

Esta conversão para tensão é necessária para que seja possível analisar apenas uma variável, ao invés das quatro previamente obtidas (resistências do extensômetro). Para tanto, utiliza-se a configuração da “ponte de wheastone”, na qual será aplicada uma diferença de potencial elétrico fixa, resultando como saída à diferença de potencial variável que dependerá da variação das quatro resistências, em consequência da pressão aplicada. A diferença de potencial mensurada no extensômetro, mediante aplicação de pressão é da ordem de mV, fato que justifica a utilização de um circuito condicionador (*MAX 1455*) – (manuais de instrução estão no anexo II) para se obter um melhor desempenho e precisão. Para isso, foi utilizado um programa em linguagem C usando o compilador CCS desenvolvido especificamente para microcontroladores da família PIC da microchip (Silva et al., 2003).

4.3.2 – FUNÇÃO RESPOSTA DOS SENSORES DE PRESSÃO A PARTIR DA TENSÃO APLICADA APÓS CONDICIONAMENTO DE SINAL

De acordo com os dados obtidos, observou-se que o sensor apresentou um ganho relativamente pequeno para a faixa de pressão aplicada. Nesse sentido, com o objetivo de amplificar o sinal de saída do extensômetro elétrico, foi introduzido um circuito condicionador do tipo Max 1455, conforme mencionado no item 4.31. Este condicionador foi programado em mesma linguagem C, utilizando o compilador CCS instalado no microcontrolador PIC16F877 (manual de instrução estão no anexo II), localizado no SDP. O ganho proporcionado chega a atingir 1000 vezes o valor real. Um outro motivo que levou a escolha deste condicionador foi devido ao mesmo ser considerado como um sistema inteligente, tem dimensões otimizadas em relação aos outros amplificadores e possui um compensador de temperatura, assim, não deixando que a variação de temperatura altere o resultado dos dados monitorados através da condução térmica dos fios.

A tabela 04 apresenta variação de espessura do elemento elástico adequada para ser utilizada em função de uma dada pressão. Este estudo foi realizado com auxílio da Equação 15 e visa cooperar na escolha da faixa de pressão a ser utilizada com menor margem de risco. Considerando que o SDP opera com a água do Riacho de Santo Antônio (alta concentração de aproximadamente 15.000 ppm de sal), foi observado que a espessura do elemento elástico de 1 mm e 3 mm foram as mais adequadas para o desenvolvimento do sensores com faixas de operação entre 0 kgf/cm² e 2,0 kgf/cm² e 5 kgf/cm² e 20 kgf/cm² respectivamente.

Com o acompanhamento dos comportamentos das pressões aplicadas e suas variações após algumas perturbações no sistema, foi observada uma função degrau semelhante as respostas ocorridas com as resistências de centro e de bordas (Figura 43 e Figura 44). Este ensaio foi realizado como intuito de observar se o comportamento da tensão sofria alterações lineares à medida que se aumenta a pressão de operação.

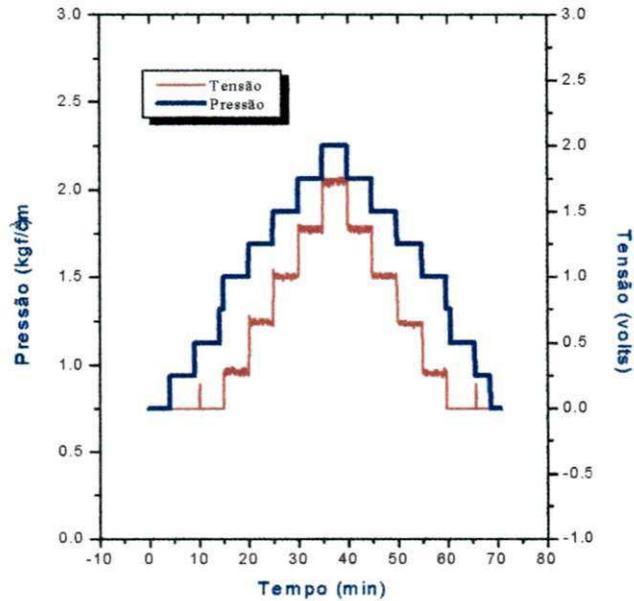


Figura 46: Comportamento da tensão diante pressão aplicada após 75 minutos de operação para elementos elásticos com espessuras de 1mm.

Na Figura 46 é observado que aumentando a pressão de operação aumenta a tensão gerada pelo os sensores elétricos. Além de que, observando o comportamento de subida e descida do sensor, a resposta da tensão adquire características idênticas, ou seja, no intervalo de início do teste até 30 minutos tem-se um degrau crescente e de mesmo comportamento que no intervalo de 30 minutos a 75 minutos no degrau decrescente.

Com o objetivo de encontrar a equação a partir do ponto de deformação, foi traçada a curva da Figura 47, a partir dos dados da Tabela 15, a qual se encontra no anexo 01.

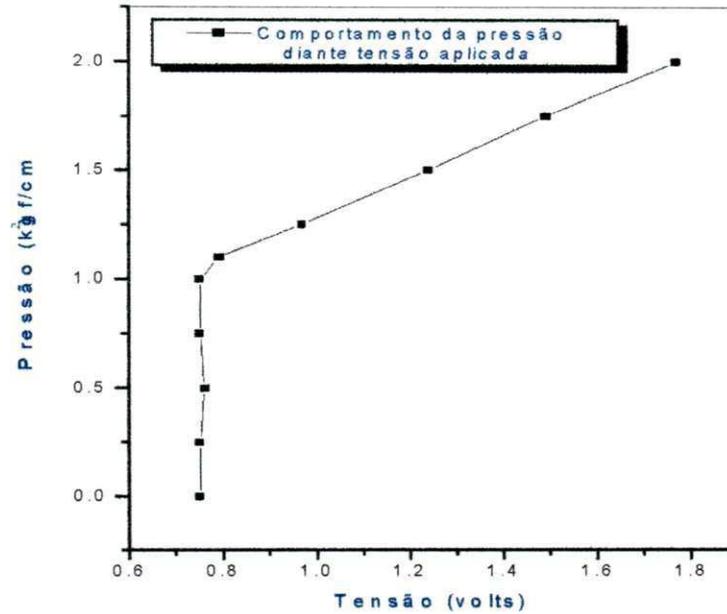
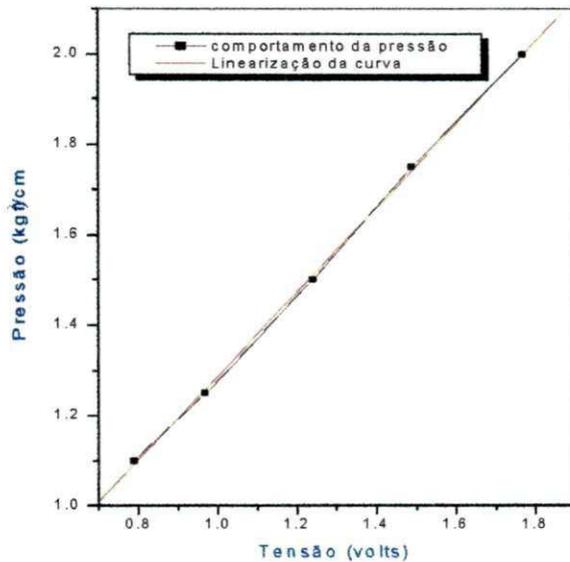


Figura 47: Médias dos comportamentos das tensões diante pressões de operação exercida para elementos elásticos com espessuras de 1 mm.

A Figura 47 mostra que o elemento elástico sofreu deformações mecânicas e por conseguinte elétricas a partir de pressões maiores que $1,0 \text{ kgf/cm}^2$. Antecedendo a este ponto, o elemento elástico não sofre qualquer comportamento da pressão. Após este ponto de pressão o sensor adquire uma linearidade em todos os pontos de sua faixa de operação, ou seja, entre $1,1 \text{ kgf/cm}^2$ e $2,0 \text{ kgf/cm}^2$.

Com o auxílio do software Origin 6.0, foi possível determinar a linearidade dos pontos de operação e conseguir a equação linearizada da curva, conforme mostra a Figura 48.

**ELEMENTO ELÁSTICO – 1mm****EQUAÇÃO DA REGRESSÃO LINEAR:**

$$Y = B.X + A$$

$$Y = 0.92836.X + 0.35769$$

Parâmetro	Valor	Erro	
A	0.35769	0.01675	
B	0.92836	0.01288	
R	SD	N	P
0.99971	0.01013	5	<0.0001

Figura 48: Linearização dos pontos de pressão acima de 1 kgf/cm² dos sensores de pressão com elemento elástico de espessura 1mm.

Para implementação no programa inserido no PIC16F877 localizado no SDP, foi calculado um fator de conversão médio de tensão em pressão (fP1) igual a 1,25 (kgf)/(volts).(cm²) e um fator de conversão médio de pressão em tensão (fT1) de 0,83 (volts).(cm²)/ (kgf), onde foram incorporados nesta média os pontos pertinentes à linearidade da figura.

Em relação às pressões P3 (entrada das membranas) e P4 (saída das membranas) como especificado na Tabela 04 no anexo 01, relacionado à água em análise, é necessitada uma pressão que varia entre 15 kgf/cm² e 20 kgf/cm². Portanto, foram realizados testes com sensores possuindo espessura de 3 mm em seu elemento elástico. Após tal constatação, foram realizados testes igualmente aos sensores com 1 mm de película elástica e observado o comportamento da tensão diante perturbações provocadas em função do tempo, conforme Figura 49.

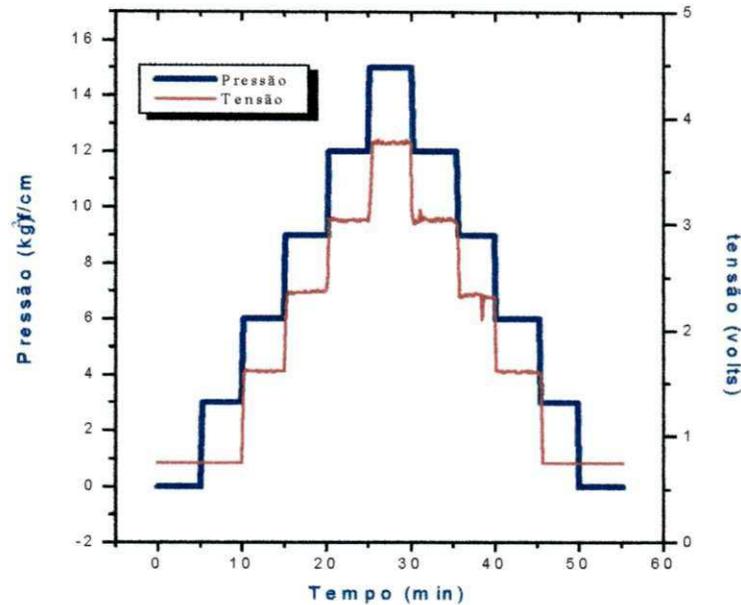


Figura 49: Comportamento da tensão diante pressão aplicada após 60 minutos de operação para elementos elásticos com espessuras de 3mm.

A Figura 49 mostra uma função degrau com mesmo perfil da anterior, com respostas de tensão em função da pressão aplicada, ou seja, aumentando-se a pressão no sistema por consequência a tensão no transdutor de pressão aumentará. Os testes foram realizados com aumentos na pressão de operação nos intervalos de 0 kgf/cm² a 15 kgf/cm², e também, foram realizados testes em um percurso contrário nos intervalos entre 0 kgf/cm² e 15 kgf/cm². Para os sensores possuindo elemento elástico com espessura de 3 mm, os comportamentos de subida e de descida foram idênticos. Este fato possibilita maior confiabilidade no processo de calibração dos sensores confeccionados no LABDES.

Para conversão do sensor de pressão produzido no LABDES foi traçada a Figura 50, onde se levaram em consideração as médias pontuais das pressões de acordo com a Tabela 16 no anexo 01.

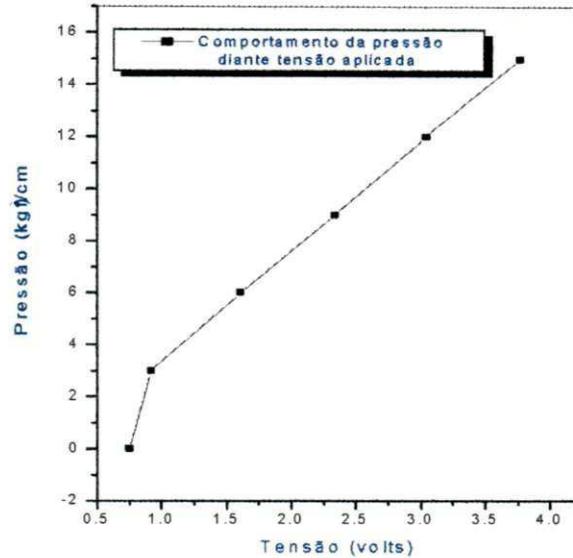
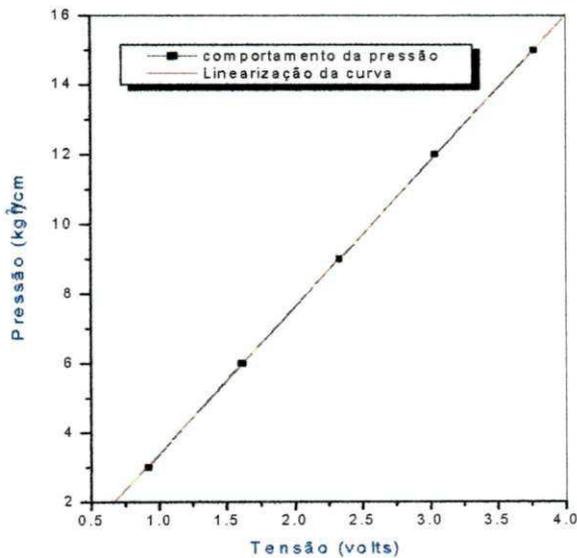


Figura 50: Médias dos comportamentos das tensões diante pressões de operação exercida para elementos elásticos com espessuras de 3 mm.

Na Figura 50 torna-se possível perceber que as variações mecânicas e elétricas se iniciam acima de 2,0 kgf/cm², onde a acima deste ponto à curva tende a possuir características linear. A partir destes pontos foi traçada a Figura 51, linearizada e obtida a sua equação característica.



EXTENSÔMETRO – 3 mm

EQUAÇÃO DA REGRESSÃO LINEAR:

$Y = B.X + A$
 $Y = 4.20722 .X - 0.82806$

Parâmetro	Valor	Erro	
A	-0.82806	0.05684	
B	4.20722	0.02234	
R	SD	N	P
0.99996	0.05037	5	<0.0001

Figura 51: Linearização dos pontos de pressão acima de 2 kgf/cm² dos sensores de pressão com elemento elástico de espessura 3mm.

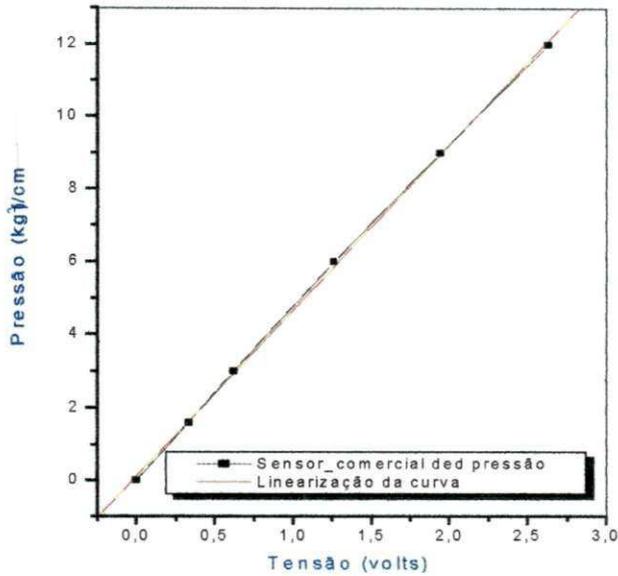
Como foi visto na Figura 51, o gráfico possui uma boa regressão linear, ou seja, a figura possui uma linearidade confiável para que seja possível a calibração do sensor de pressão com espessura de base polimérica de 3 mm. Com esta afirmação e para a implementação no programa inserido no PIC16F877 do SDP, foi calculado um fator de conversão médio de tensão em pressão ($fP3$) igual a $3,75 \text{ (kgf)/(volts).(cm}^2\text{)}$ e um fator de conversão médio de pressão em tensão ($fT3$) igual a $0,27 \text{ (volts).(cm}^2\text{)/(kgf)}$, onde foram incorporados nesta média os pontos pertinentes à linearidade da figura.

4.3.3 – RESPOSTA DOS SENSORES DE PRESSÃO COMERCIAIS

Os sensores comerciais utilizados no SDP foram tomados como fontes de referências. A saída dos dados já possui resultados condicionados e com uma tensão variando entre 12 volts e 24 volts.

De acordo com a Figura 52, os sensores comerciais utilizados em P1, P2, P3 e P4 possui uma boa linearização em sua calibração com um coeficiente de regressão linear de 0,99977, ou seja, bem próximo de 1. Portanto, este sensor poderá ser adotado como referência para que seja comparado a eficiência e ao poder de envio de sinal em tempo real dos sensores confeccionados pelo LABDES.

Para se traçar à Figura 52 foi novamente utilizado o software Origin 6.0. Então, a figura possibilita observar e analisar a linearização da curva, adquirir uma equação que descreva o perfil e o comportamento da tensão frente a perturbações na válvula de pressão e através da Tabela 13, no anexo 01, calcular o fator de conversão de tensão em pressão para que seja possível uma comparação entre os desenvolvidos no LABDES e o comercial. Portanto, o cálculo do fator de conversão experimental de tensão em pressão (fPc) é $4,73 \text{ (kgf)/(cm}^2\text{).(volts)}$ e o cálculo do fator de conversão experimental de pressão em tensão (fTc) é $0,21 \text{ (cm}^2\text{).(volts)/(kgf)}$.



EQUAÇÃO DA REGRESSÃO LINEAR:

$$Y = A + B * X$$

Parâmetro	Valor	Erro	
A	0,11298	0,07183	
B	4,56078	0,04925	
R	SD	N	P
0,99977	0,11123	6	<0,0001

Equação da reta:

$$y = 4,56078.x + 0,11298$$

Figura 52: Linearização dos pontos de pressão do sensor comercial adotado como referência.

4.3.4 – COMPARAÇÃO DOS SENSORES DE PRESSÃO DESENVOLVIDOS PELO LABDES E OS SENSORES COMERCIAIS UTILIZADOS COMO REFERÊNCIA VIA TELEMETRIA

A comparação realizada entre os sensores de pressão comercial e os sensores de pressão confeccionados pelo LABDES foi realizada via telemetria. Este monitoramento remoto foi acompanhado através de um computador gerente que possui um banco de dados para monitorar n dessalinizadores, não necessitando uma consulta presencial no local de instalação, para se afirmar um diagnóstico. Os dados são enviados para o sistema gerente via modem, onde os sensores de pressão e vazão estão sendo confeccionados pelo LABDES, em baixo custo de fabricação, e mesma eficiência. O software utilizado para visualizar o processo comparativo foi o Microsoft Excel 2000.

A Figura 53 mostra uma comparação da pressão exercida no SDP, em seu processo de operação utilizando a água de Riacho de Santo Antonio, adquirindo dados pertinentes a Tabela 17 no anexo 01. Esta pressão adquiriu um valor real em torno de 1,40 kgf/cm² na saída dos filtros (P2) e foi monitorada no intervalo de uma semana de trabalho. De acordo com a Tabela 04, no anexo 01, a película utilizada para esta faixa de pressão

possui a espessura de 1 mm, sendo acoplada ao transdutor de pressão. Então se observou pequena oscilação nos sensores desenvolvidos no LABDES que variam de $1,40 \text{ kgf/cm}^2$ a $1,41 \text{ kgf/cm}^2$, e em relação ao sensor comercial que não possui nenhuma variação durante uma semana de trabalho. O sensor implantado em P2 no SDP adquiriu um erro de 0,71% em relação ao comercial. Todos estes dados foram enviados em tempo real.

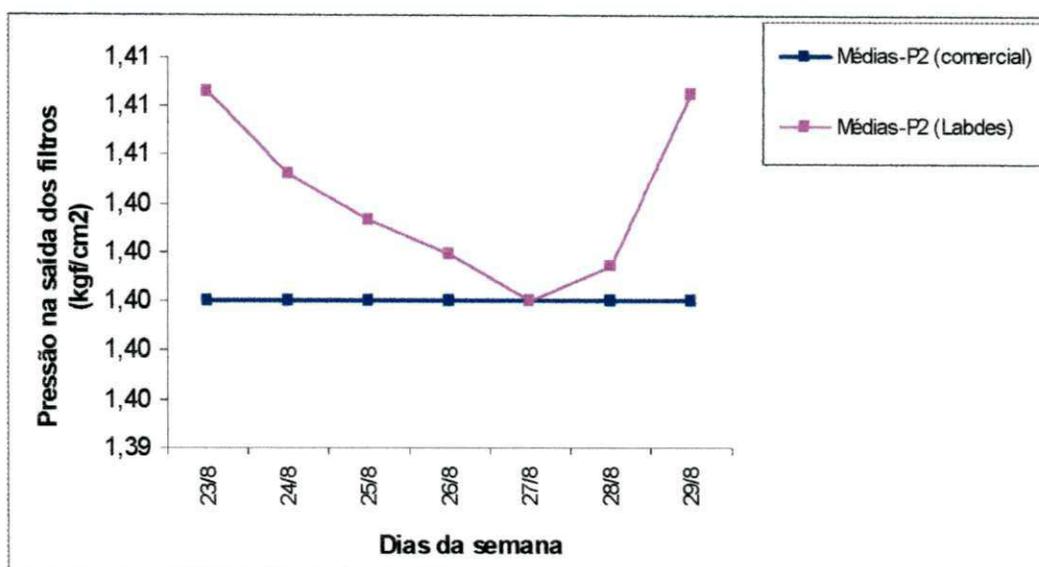


Figura 53: Acompanhamento e comparação via telemetria das respostas dos sensores confeccionados no LABDES e os sensores comerciais na saída dos filtros (P2).

A Figura 54 mostra uma comparação, final e real, da pressão exercida no SDP em seu processo de operação utilizando a água de Riacho de Santo Antonio, onde foram utilizados os resultados adquiridos na Tabela 18, no anexo 01. Esta pressão adquiriu um valor real variando entre $16,2 \text{ kgf/cm}^2$ e $16,7 \text{ kgf/cm}^2$, na saída das membranas (P4), e foi monitorada no intervalo de uma semana de trabalho. Fazendo uso novamente da Tabela 04, para esta faixa de pressão foi utilizada uma película de 3mm de espessura. O software utilizado para visualizar o processo comparativo foi o Microsoft Excel 2000.

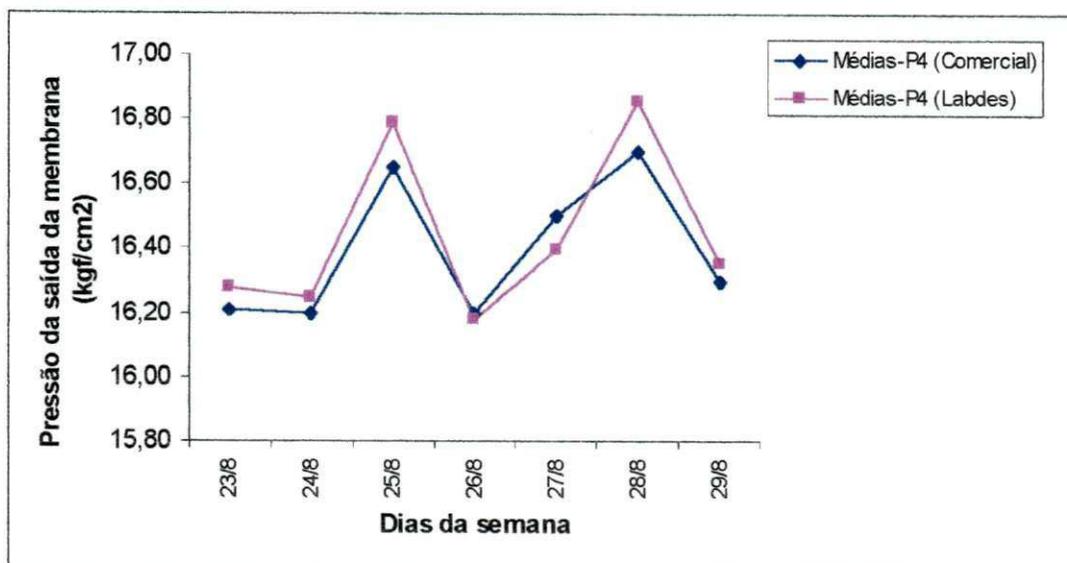


Figura 54: Acompanhamento e comparação via telemetria das respostas dos sensores confeccionados no LABDES e os sensores comerciais na saída das membranas (P4).

Considerando como referência os sensores comerciais, os sensores confeccionados pelo LABDES possuem um erro de 0,94%, em seu máximo, e de 0,33% em seu mínimo durante uma semana de operação no SDP. Então, tanto no monitoramento via telemetria quanto no que diz respeito aos alarmes pertencentes ao computador gerente, o sensor confeccionado pelo LABDES adotado em P4 conseguiu operar com confiabilidade e com envio de sinais em tempos reais.

As oscilações pertinentes aos sensores tanto comerciais quanto os confeccionados pelo LABDES, é devido ao sistema possuir um fluxo variado, aumento de incrustações na membrana, aumento de temperatura no sistema, geração de *fouling* e *biofouling* e muitos outros fatores que influenciam no processo de dessalinização. Por este motivo foram dadas margens de oscilações com alarmes amarelos (10%) e vermelhos (15%), no software instalado no computador gerente, que possibilitam monitorar, a distância, os valores enviados pelo sensor de pressão.

Por fim, o sensor de pressão confeccionado pelo LABDES possui uma boa eficiência e uma boa linearidade, sendo até mais linear que os comerciais, envia dados em tempos reais e acima de tudo possui um processo de fabricação de baixo custo e com facilidade de adquirir os seus componentes.

Avaliando todas as vantagens de fabricação dos sensores aqui descritas, os sensores de pressão confeccionados pelo LABDES possui mesma confiabilidade que os comerciais além da vantagem de ser de baixo custo.

4.3.5 – RESULTADOS DOS TESTES COM OS SENSORES DE VAZÃO NO SDP

Como relatado anteriormente, um importante parâmetro de análise em qualquer sistema de dessalinização é a vazão. Mas, de acordo com o plano de trabalho e sabendo do custo pelo qual se encontra no comércio, o sensor de vazão torna-se um item de alta necessidade e de grande preço. Pensando nestes motivos, o Laboratório de Referência em Dessalinização (LABDES), está desenvolvendo um sensor de vazão de baixo custo que envia resposta em frequência a um computador embarcado (microcontrolador).

Como os impulsos de leitura do osciloscópio (aparelho utilizado para resposta do sensor comercial) estão medidos em termos de frequência, houve a necessidade de implementação de um programa no microcontrolador que gerasse dados de leitura imediata em termos de vazão (L/min). Portanto, para que os resultados experimentais tomassem formas de vazão, utilizou-se um hidrômetro comum para que pudesse ser possível a comparação das respostas do sensor de referência (comercial).

Então, com a utilização deste método é possível obter o cálculo do fator de conversão experimental de frequência em vazão (f), onde o mesmo tem como objetivo calibrar, ou melhor, converter os resultados dos ensaios de Hz em L/min. Para utilização destes artificios, foram utilizados os seguintes formulários:

- a) Cálculo do Permeado produzido no ensaio:

$$Q_{_ALIMENTAÇÃO} = Q_{_PERMEADO} + Q_{_CONCENTRADO} \quad (23)$$

- b) Conversão das vazões utilizadas:

$$1 \text{ L/min} = 60 \text{ L/h} = 1440 \text{ L/dia} \quad (24)$$

- c) Cálculo do fator de conversão experimental de frequência em vazão (f):

$$f = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{F}{Q} \quad \text{em} \quad \frac{(Hz).(L)}{\text{min}} \quad (25)$$

onde, n = número de pontos estudados devido a pressão exercida;

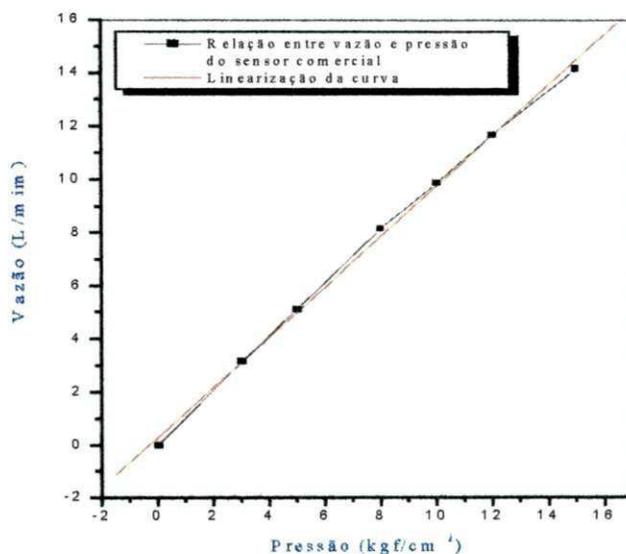
F = Frequência (Hz);

Q = Vazão (L/min)

A Tabela 08 e a Tabela 09 no anexo 01, mostram respectivamente os resultados experimentais obtidos do rejeito (concentrado) e do permeado do sensor comercial. As conversões foram feitas utilizando a Equação 23 e Equação 24. Então, com os dados tabelados foi possível chegar ao resultado do fator de conversão de frequência em vazão (f) para o sensor de referência utilizando como fonte à Equação 25. Através deste procedimento torna-se possível uma calibração no programa desenvolvido no microcontrolador.

- Sensores de Referência (Comercial)

Com os dados fornecidos pela Tabela 08 e a Tabela 09 no anexo 01, foram traçados a Figura 55, a Figura 56 e a Figura 57, com o objetivo de encontrar a função resposta de cada variável, suas equações correspondentes e analisar a linearidade dos seus pontos para que seja comparado com o rotâmetro confeccionado pelo LABDES.



EQUAÇÃO DA REGRESSÃO LINEAR:

$$Y = A + B * X$$

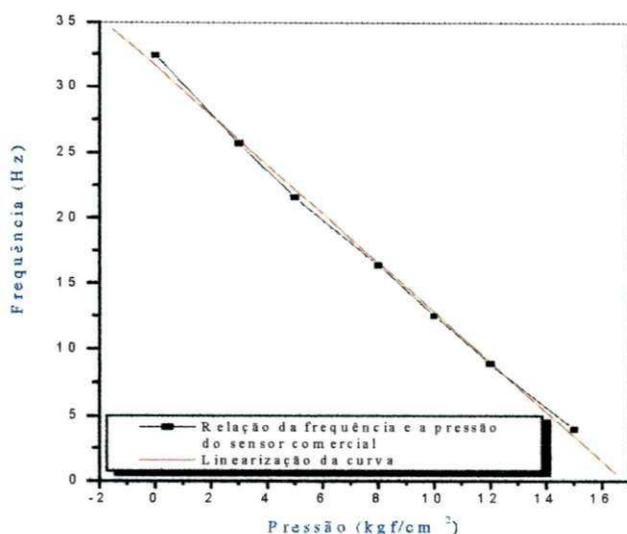
Parâmetro	Valor	Erro
A	0,28933	0,17259
B	0,94594	0,01918

R	SD	N	P
0,99897	0,24687	7	<0.0001

Equação da reta linearizada:

$$y = 0,94594.x + 0,28933$$

Figura 55: Comportamento da vazão de permeado diante de uma pressão exercida no SDP utilizando a água de chuva



EQUAÇÃO DA REGRESSÃO LINEAR:

$$Y = A + B * X$$

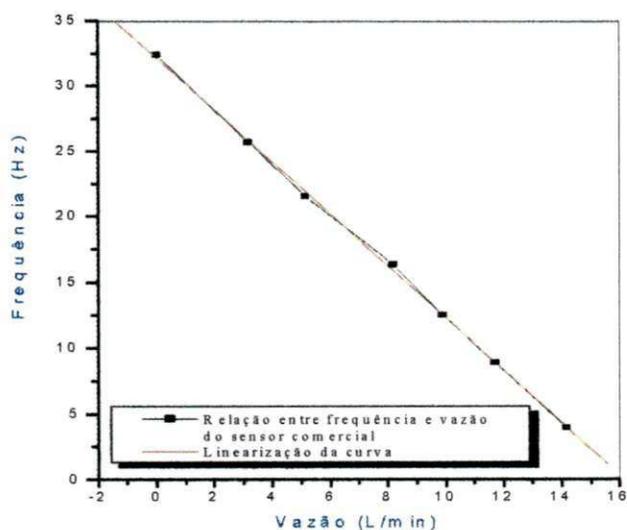
Parâmetro	Valor	Erro
A	31,62197	0,38297
B	-1,8822	0,04255

R	SD	N	P
-0,99872	0,5477	7	<0.0001

Equação da reta linearizada:

$$y = -1,8822.x + 31,62197$$

Figura 56: Comportamento da frequência diante uma pressão exercida no SDP utilizando água de chuva.



EQUAÇÃO DA REGRESSÃO LINEAR:

$$Y = A + B * X$$

Parâmetro	Valor	Erro
A	32,19593	0,21148
B	-1,98954	0,02414

R	SD	N	P
-0,99963	0,2942	7	<0.0001

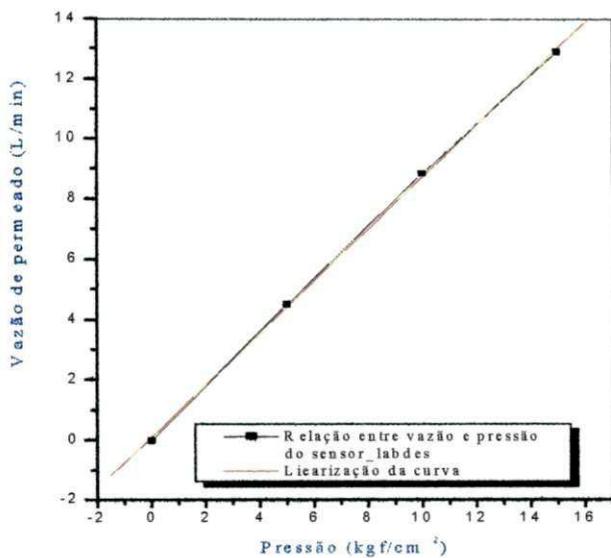
Equação da reta linearizada:

$$y = -1,98954.x + 32,19593$$

Figura 57: Resposta do rotômetro da relação entre frequência e vazão de permeado no SDP utilizando água de chuva.

Sensores de vazão desenvolvidos pelo LABDES

Utilizando os mesmos procedimentos experimentais, aplicados ao sensor comercial, foram feitos ensaios com os sensores desenvolvidos no LABDES, para que se possa encontrar um novo fator f e novamente recalibrar o programa desenvolvido no microcontrolador para uma futura comparação e confiabilidade. Com o auxílio da Tabela 10 e da Tabela 11 foram traçadas a Figura 58, Figura 59 e Figura 60, com mesmos objetivos do rotâmetro comercial.



EQUAÇÃO DA REGRESSÃO LINEAR:

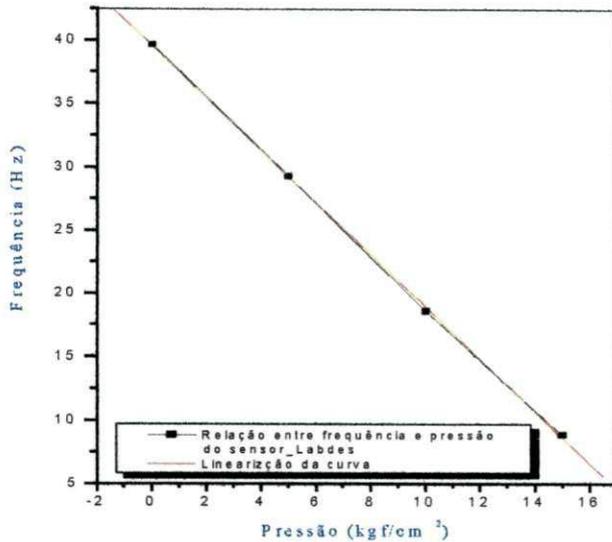
$$Y = A + B * X$$

Parâmetro	Valor	Erro	
A	0,0981	0,12367	
B	0,86122	0,01322	
R	SD	N	P
0,9998	0,1478	4	2,3556E-4

Equação da reta:

$$y = 0,86122.x + 0,0981$$

Figura 58: Comportamento da vazão de permeado diante uma pressão exercida no SDP utilizando água de chuva.



EQUAÇÃO DA REGRESSÃO LINEAR:

$$Y = A + B * X$$

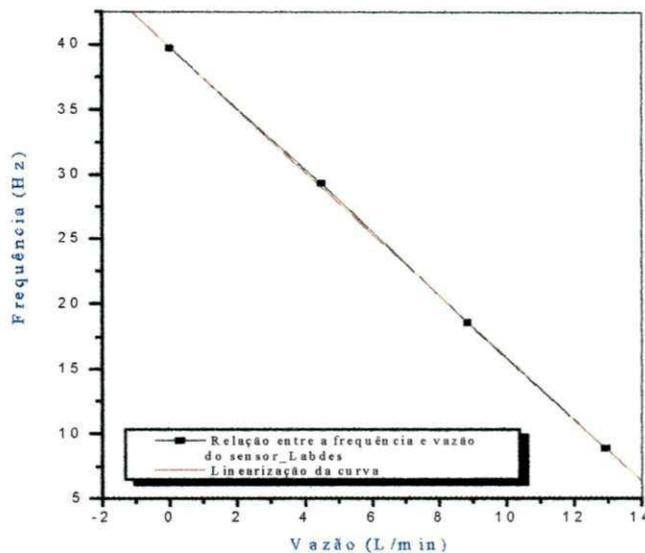
Parâmetro	Valor	Erro
A	39,587	0,28222
B	-2,0625	0,03017

R	SD	N	P
-0,9998	0,3373	4	2,1392E-4

Equação da reta linearizada:

$$y = -2,0625.x + 39,587$$

Figura 59: Comportamento da Frequência diante uma pressão exercida no SDP utilizando água de chuva



EQUAÇÃO DA REGRESSÃO LINEAR:

$$Y = A + B * X$$

Parâmetro	Valor	Erro
A	39,82016	0,18658
B	-2,39459	0,02293

R	SD	N	P
-0,9999	0,22088	4	<0.0001

Equação da reta linearizada:

$$y = -2,39459.x + 39,82016$$

Figura 60: Resposta do rotâmetro da relação entre frequência e vazão de permeado no SDP utilizando água de chuva

Com o auxílio do Microsoft Origin 6.0, foi estabelecido uma série de equações de retas que tenha por objetivo a determinação em qualquer ponto de pressões, frequências e vazões possivelmente utilizadas e suas prováveis respostas.

No primeiro ensaio, com os resultados observados na Tabela 09 no anexo 01, a Figura 55, a Figura 56 e a Figura 57 do sensor comercial, foi observada uma linearidade dos dados absorvidos e através das curvas foram obtidas as equações de retas de regem tais figuras. Em um segundo ensaio, utilizou-se a Tabela 11 no anexo 01 para traçar a Figura 58, a Figura 59 e a Figura 60 do sensor desenvolvido no LABDES, e também se constatou a uma linearidade em suas equações. Com esta observação, foi montada uma nova tabela utilizando as respectivas funções de respostas com suas equações, Tabela 12 no anexo 01, para que haja uma comparação das duas respostas.

Após tais procedimentos, tornou-se possível a determinação e a utilização da Equação 25 para a determinação do fator de conversão experimental de frequência em vazão (f) do sensor comercial e do sensor produzido pelo LABDES que são respectivamente 1,99 e 2,54 Hz.L/min aproximadamente.

Estes fatores foram incrementados ao programa desenvolvido no microcontrolador, possibilitando obter a sua leitura no “display” em termos de vazão.

4.3.6. COMPARAÇÃO DO SENSOR DE VAZÃO DESENVOLVIDO PELO LABDES COM DOIS IMÃS E O SENSOR COMERCIAL

Já estando programado o microcontrolador, tomou-se às equações das retas obtidas e foi traçada a Figura 61, com maiores e mais próximos números de pontos possíveis, tendo como objetivo obter o erro adquirido nos ensaios para que seja corrigido diretamente no programa.

Um outro objetivo foi observar a possibilidade de se considerar o sensor comercial como sensor de referência. Para isto foram feitos testes, em paralelo, usando um hidrômetro comum residencial em mesma corrente do processo e medindo sua vazão em um determinado tempo. Por fim, traçou um gráfico que mostrasse o comportamento dos dois sensores junto ao hidrômetro e assim ter a certeza que o sensor comercial pudesse ser usado

como sensor de referência e, que a diferença de resposta do sensor_LABDES em todos os pontos são iguais.

Portanto, logo adiante temos as respectivas equações adquiridas nos ensaios e o gráfico comparativo:

- Equação linearizada da Vazão x Pressão do permeado do sensor _LABDES

$$y = 0,86122.x + 0,0981$$

- Equação linearizada da Vazão x Pressão do permeado do sensor _comercial:

$$y = 0,94594.x + 0,28933$$

- Equação linearizada da Vazão x Pressão do permeado do hidrômetro

$$y = 0,94518.x + 0,2009$$

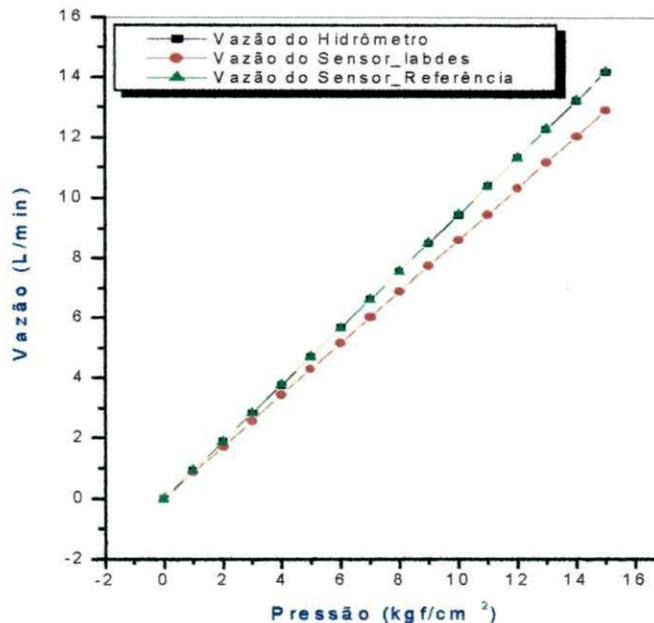
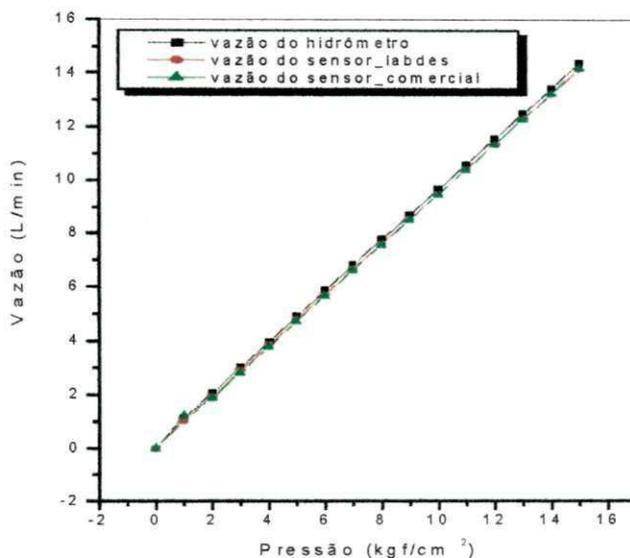


Figura 61: Comparação do comportamento da vazão de permeado entre o hidrômetro, sensor comercial e o sensor_LABDES diante uma pressão exercida no SDP com a água de chuva.

Primeiramente, conclui-se que o sensor comercial usado pode ser considerado como um sensor de referência, pois de acordo com o gráfico, os seus pontos estão justapostos aos

pontos pertencentes ao hidrômetro comum usado, mostrando sua linearidade, confiabilidade e seu bom desempenho. Em relação ao sensor confeccionado no LABDES, observou-se um erro de 8,88%, em relação à inclinação da reta, que descreve o sensor de referência (hidrômetro), mostrando de acordo com sua linearidade, uma facilidade no processo de correção do microcontrolador, onde os pontos acima da pressão de 0 kgf/cm² mostra um erro em torno de $\pm 2\%$.

Após o ajuste da sua inclinação, utilizou-se a Tabela 13 no anexo 01, e foi traçada a Figura 62 para uma melhor visualização de sua correção junto ao software do microcontrolador e utilizando uma nova equação para descrever o comportamento do sensor LABDES.



Equação de correção do sensor LABDES:

$$y = 0,9377.x + 0,0981$$

Figura 62: Resposta do rotâmetro da relação entre frequência e vazão de permeado após ajustar do erro na inclinação

Na Figura 62, o efeito hall está sendo gerado por dois ímãs, podendo então, adotar quatro ímãs para aumentar o seu campo magnético e minimizar os erros. Um motivo que tornou a mostragem dos resultados, na tela, instável em suas casas decimais foi o SDP possuir seu sistema turbulento. Portanto, para comprovar esta afirmação, Shames em 1973 sugeriu em suas análises dos escoamentos, acompanhar as médias do sistema em cada ponto em tempos diferentes. Então, foram realizados testes em dois pontos diferentes:

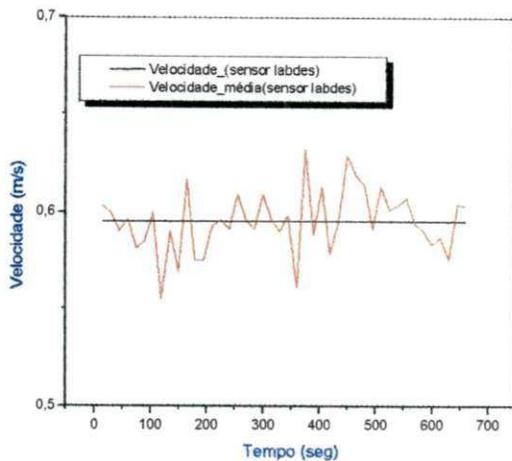


Figura 63: Comportamento turbulento no SDP através de ensaios na pressão de 5 kgf/cm².

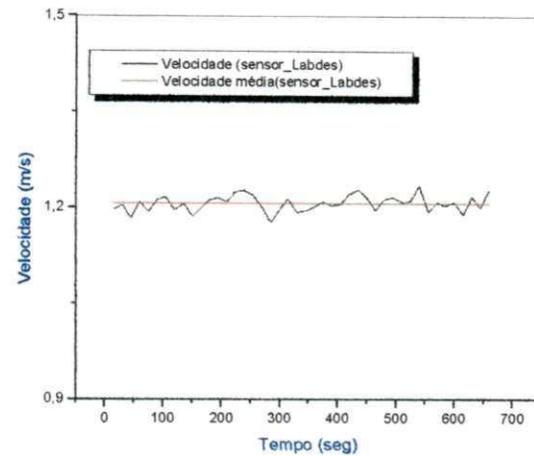


Figura 64: Comportamento turbulento no SDP através de ensaios na pressão de 10 kgf/cm².

De acordo com a Figura 63 e a Figura 64, o SDP possui uma velocidade média oscilando em torno de $\pm 3\%$. Segundo Irving H Shames, os gráficos obtidos no SDP são característicos de um sistema com escoamento turbulento permanente.

4.3.7. COMPORTAMENTO DO SENSOR DE VAZÃO DESENVOLVIDO PELO LABDES COM QUATRO IMÃS

Os sensores de vazão com quatro imãs desenvolvidos pelo LABDES foram classificados com a codificação **Rot - X** atribuído pelo próprio laboratório.

Os rotâmetros são diferenciados em função de sua calibração, mesmo apresentando uma estrutura física semelhante. O motivo desta afirmação foi devido a sua aplicação que leva em conta a velocidade do sensor, posição do sensor e rotação do sensor, além da distância entre o sensor hall e os imãs (Panasonic, 2002).

Foram realizados vários testes de calibração dos rotâmetros, onde foram escolhidos os rotâmetros: Rot-01 para a corrente de permeado e Rot-03 para a corrente do concentrado

no SDP, pois esses sensores de vazão possuem fatores de regressão linear (R) mais próximos de 1, mostrando maior linearidade dos dados. Utilizando a Tabela 20, foi possível traçar a Figura 65 e a Figura 66 com os dados experimentais e observar a linearidade do fator de conversão de frequência em vazão e o comportamento às variações de frequência para o Rot-01.

O verdadeiro fator de conversão médio de frequência em vazão (f), foi obtido pelo Rot-01 com quatro imãs confeccionados pelo LABDES foi: 5,11 Hz.L/min aproximadamente. Como se observa na Figura 65 houve pouca oscilação dos valores do f individual, nos mostrando maior confiabilidade ao utilizarmos a sua média. As oscilações observadas nos valores do f individual alcançaram erros em relação a sua média de 8,41% em relação ao fator máximo (f_{max}) e 6,46% em relação ao fator mínimo (f_{min}) aproximadamente.

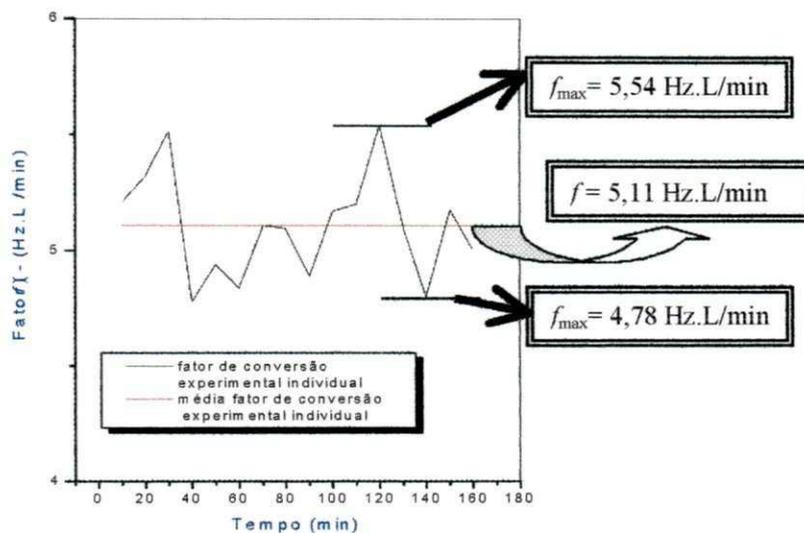
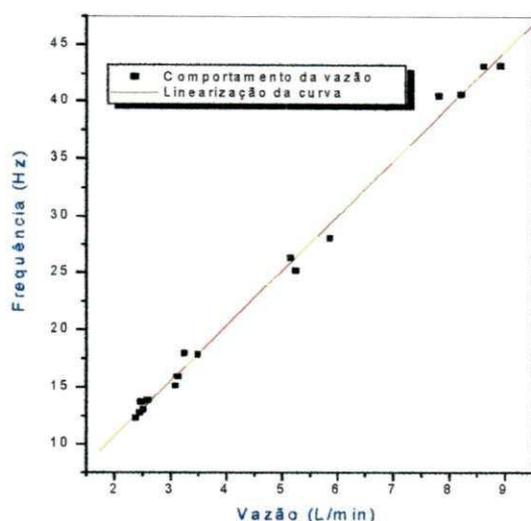


Figura 65: Comportamento e intervalo dos valores máximos e mínimos do fator de conversão do rotômetro utilizado no permeado (**Rot-01**).

**Rot-01**

EQUAÇÃO DA REGRESSÃO LINEAR:

$$Y = A + B * X$$

$$Y = 4,82539.X + 1,03088$$

Parâmetro	Valor	Erro	
A	1,03088	0,4711	
B	4,82539	0,08943	
R	SD	N	P
0,9976	0,85011	16	<0.0001

Figura 66: Resposta do rotâmetro adotado para o permeado sendo observada a relação entre frequência e vazão utilizando quatro ímãs.

Em relação ao rotâmetro utilizado para o concentrado, Rot-03, o seu fator de regressão possui melhor resposta, adquirindo melhor linearidade para os dados. Na Figura 67, é possível observar novamente pouca variação em relação ao seu fator de conversão individual diante sua média. Com a Tabela 19, foi traçada a Figura 67 para observar esta afirmação e, a Figura 68, para a calibração e obtenção da função que caracterize a resposta do sensor a função impulso gerada pelo efeito hall dos ímãs e o sensor Hall ICs DN6851 conectados ao osciloscópio.

O verdadeiro fator de conversão médio de frequência em vazão (f) obtido pelo Rot-03 com quatro ímãs confeccionados pelo LABDES foi: 4,40 Hz.L/min aproximadamente. Como se vê na Figura 67 houve pouca oscilação dos valores do f individual, mostrando maior confiabilidade ao utilizar-se a sua média, pois sua discrepância em relação ao fator máximo (f_{max}) está próximo a 1,3%, em relação ao fator mínimo (f_{min}) de 2,0% aproximadamente.

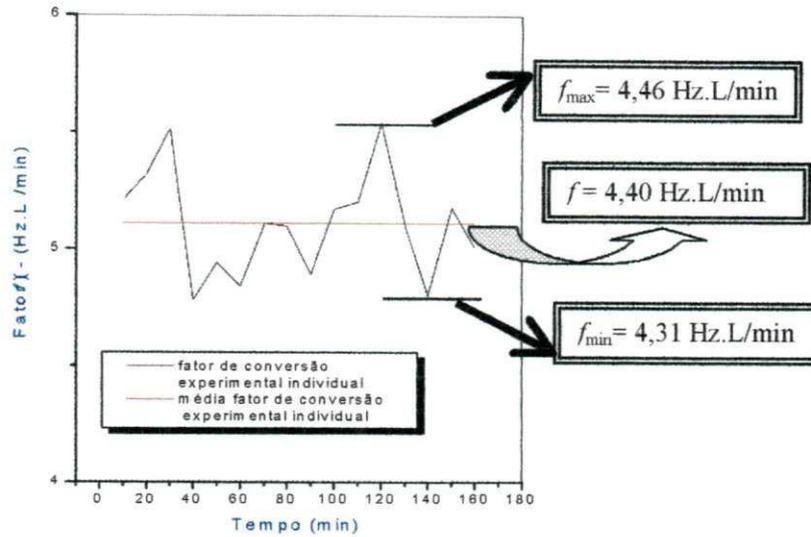
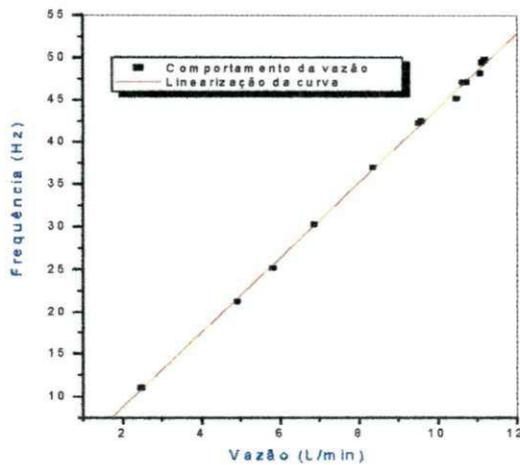


Figura 67: Comportamento e intervalo dos valores máximos e mínimos do fator de conversão do rotômetro utilizado no concentrado (**Rot-03**)



Rot-03

EQUAÇÃO DA REGRESSÃO LINEAR:

$$Y = A + B * X$$

$$Y = 3,51615.X - 5,93607$$

Parâmetro	Valor	Erro	
A	-5,93607	0,434	
B	3,51615	0,04777	
R	SD	N	P
0,99936	0,46608	13	<0.0001

Figura 68: Resposta do rotômetro adotado para o concentrado sendo observada a relação entre frequência e vazão utilizando quatro ímãs.

4.3.8. COMPARAÇÃO DO SENSOR DE VAZÃO DESENVOLVIDO PELO LABDES COM QUATRO IMÃS E O SENSOR COMERCIAL VIA TELEMETRIA

A comparação realizada entre os sensores de vazão comercial e os sensores de vazão confeccionados pelo LABDES foi realizada via telemetria. Semelhante aos sensores de pressão, este monitoramento remoto foi acompanhado através de um computador gerente, que possui um banco de dados para monitorar n dessalinizadores não necessitando uma consulta presencial no local de instalação para um possível diagnóstico. A água utilizada nos ensaios foi proveniente de um poço situado em Riacho de Santo Antonio (município paraibano) e os seus dados foram enviados para o sistema gerente via modem.

Fazendo uso da Tabela 19 e da Tabela 20, foram traçadas as Figura 69 e 70, respectivamente. A Figura 69 mostra um erro máximo de 2,97% e um erro mínimo de 0,0%, adquirido nos últimos ensaios. A Figura 69 mostra que o Rot-03, utilizado no concentrado, possui baixos erros devido ao concentrado possuir uma alta vazão, fazendo-se concluir que o Rot-03 possui maior precisão em elevadas vazões. Outro fato importantíssimo observado foi que a medida que o tempo de ensaio aumentou (periodicidade), o Rot-03 apresentou melhores e mais confiáveis valores em relação aos comerciais, como visto nos dias 25/08 a 31/08, em uma semana de trabalho.

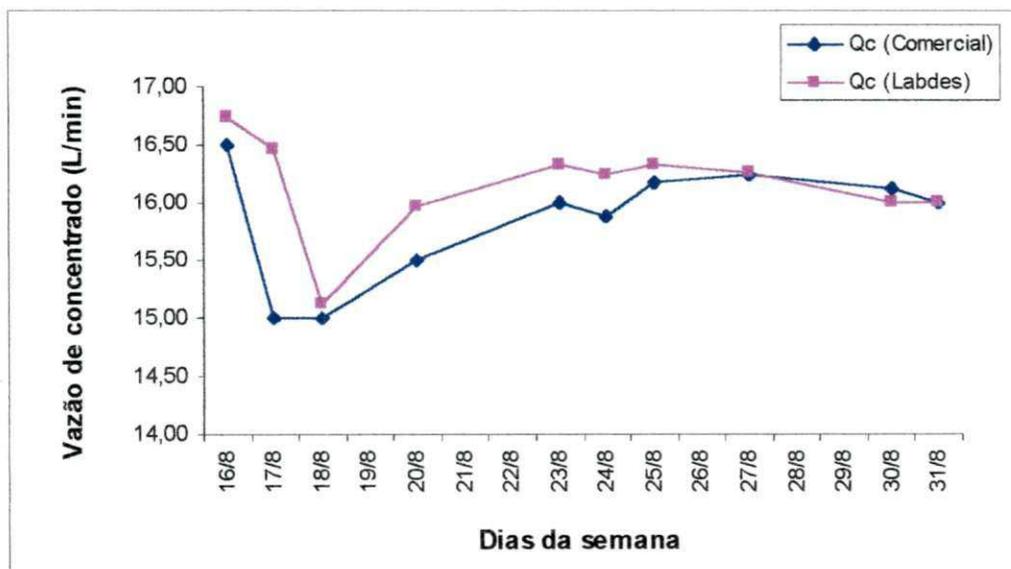


Figura 69: Resposta do Rot-03 e dos rotômetros comerciais adotados para o concentrado sendo observado o seu comportamento no ensaio diante o tempo de trabalho

A Figura 70 mostra o Rot-01 adotado no permeado sendo analisado o tempo de trabalho e o seu comportamento frente às influências no interior do tubo. O Rot-01 adquiriu resultados mais próximos aos comerciais no início dos ensaios (16/08-18/08) e após uma semana de trabalho, ou melhor, a partir do dia 26/08. Estes resultados intermediários mostram que os rotômetros adotados no LABDES possui melhores comportamentos e mais confiáveis acima de 4 L/min, isto é, abaixo deste limite de vazão ocorre uma imprecisão nas respostas. Como visto na Tabela 20 no anexo 01 e na Figura 70, o Rot-01 possui um erro máximo de 39,49% (vazão menor que 4 L/min) e um erro mínimo de 0,0%.

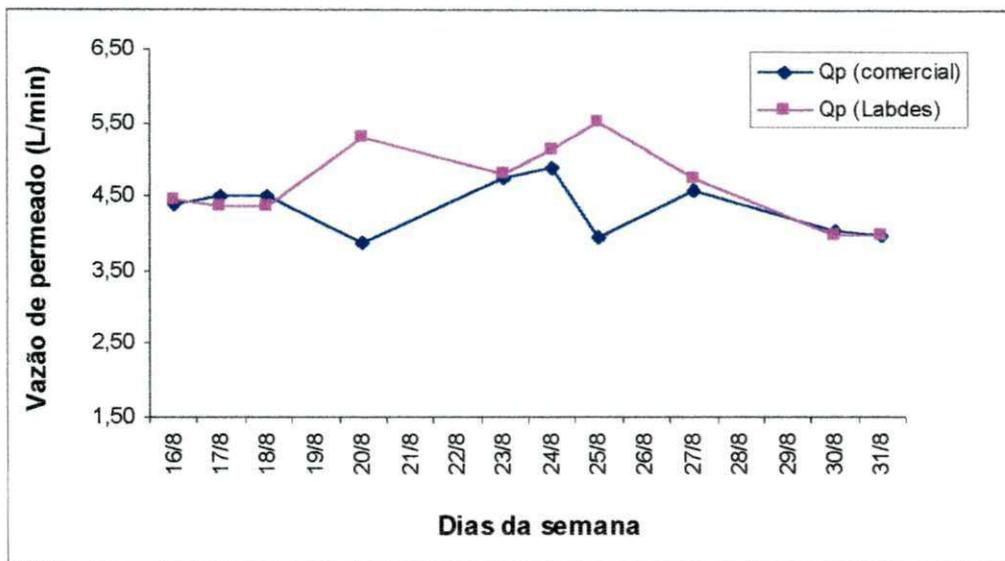


Figura 70: Resposta do Rot-01 e dos rotômetros comerciais adotados para o permeado sendo observado o seu comportamento no ensaio diante o tempo de trabalho

Por fim, levando-se em consideração menores variação dos fatores, geração do efeito Hall através de impulsos em menores intervalos de tempo e menor ocupação de memória, os rotômetros confeccionados no LABDES possui bom desempenho desde que trabalhe nas especificações e faixas de operação estabelecidas. Estes fatos mostram a necessidade do estudo do comportamento interno do tubo para confecção de manuais de utilização.

4.3.9. DIFERENÇA DO CUSTO TOTAL DA FABRICAÇÃO DOS SENSORES DE PRESSÃO E VAZÃO CONFECIONADOS NO LABDES EM COMPARAÇÃO AOS SENSORES COMERCIAIS

Como o foco principal do trabalho é a desenvolvimento e a avaliação de sensores confeccionados no LABDES quanto ao seu desempenho, comparação aos comerciais e seu custo, na próxima planilha estará descrito todo o processo de fabricação dos sensores confeccionados no LABDES e o total de custos e diferenças dos componentes que os qualificam e os tornam de baixo custo. Neste sentido, os sensores serão avaliados para que sejam adotados nos futuros sistemas de dessalinização a serem projetados tanto no semi-árido como em todo território nacional.

Sensor de Pressão Comercial			
ITENS	QUANTIDADE	CUSTO UNITÁRIO (RS)	CUSTO PARCIAL (RS)
Sensor de pressão comercial MARKARE	4	800,00	3.200,00

Sensor de Pressão confeccionado no LABDES			
ITENS	QUANTIDADE	CUSTO UNITÁRIO (RS)	CUSTO PARCIAL (RS)
Extensômetro	4	44,50	178,00
Peça de PSAI	4	0,19	0,76
Suporte metálico	8	0,84	6,72
Parafusos	16	0,25	4,00
Condicionador de sinal (MAX 1455)	10	4	40,00
Eletrônicos	4	3,00	12,00
Circuito impresso	4	10,00	40,00
Custo do suporte cpvc	4	3,00	12,00
TOTAL			293,48

Cálculo da Diferença de Custo Sensorial de Pressão (DCSP)

$$\text{DCSP} = (\text{Custo do sensor de pressão comercial}) - (\text{Custo do sensor de pressão LABDES})$$

$$\text{DCSP} = 3.200,00 - 293,48$$

$$\text{DCSP} = \text{R\$ } 2.906,52$$
Sensor de Vazão Comercial

ITENS	QUANTIDADE	CUSTO UNITÁRIO (RS)	CUSTO PARCIAL (RS)
Sensor de vazão comercial MARKARE	2	750,00	1.500,00

Sensor de Vazão confeccionado no LABDES

ITENS	QUANTIDADE	CUSTO UNITÁRIO (RS)	CUSTO PARCIAL (RS)
Sensor Hall ICs DN6851	2	45,00	90,00
Peça metálica	2	0,83	1,67
Suporte metálico	8	0,84	6,72
Eletrônicos	2	0,25	0,50
Tê de cpvc (28 mm)	1	4,40	4,40
Bico de mangueira de 1/2	4	0,25	1,00
Tubo de cpvc (28 mm)	1	14,00	14,00
TOTAL			118,29

Cálculo da Diferença de Custo Sensorial de Vazão (DCSQ)

$$\text{DCSQ} = (\text{Custo do sensor de vazão comercial}) - (\text{Custo do sensor de vazão LABDES})$$

$$\text{DCSQ} = 1.500,00 - 118,29$$

$$\text{DCSQ} = \text{R\$ } 1.381,71$$
Cálculo da Diferença de Custo Sensorial (DCS)

$$\text{DCS} = \text{DCSP} + \text{DCSQ}$$

$$\text{DCS} = (2.906,52) + (1.381,71)$$

$$\text{DCS} = \text{R\$ } 4.288,23$$

De acordo com a planilha, os sensores confeccionados no LABDES possuem além de certas vantagens no seu desenvolvimento, uma grande margem de economia se

projetados em mesmas qualificações do SDP, cerca de **R\$ 4.288,23** a menos que os sensores encontrados comercialmente. Finalizando assim, o processo de avaliação sensorial e os cálculos das Diferenças de custo sensorial (DCS).

CAPITULO V

5.1. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Como o presente trabalho teve como objetivo desenvolver e avaliar um sistema de monitoração remoto composto de sensores de baixo custo aplicados ao sistema de dessalinização via osmose inversa, é possível concluir que:

5.1.1. 1ª ETAPA: ESTUDOS MECÂNICOS E DINÂMICOS DO POLIESTIRENO

1. Como a função do poliestireno é servir de estrutura de proteção do extensômetro elétrico e, como material de resposta às influências mecânicas de pressão exercida no sistema, conclui-se que o poliestireno-02 escolhido possui especificações mais adequadas as funções, tais como: apresenta boa resistência à temperatura ($T_g = 100^\circ\text{C}$), confiabilidade em sua faixa de operação quanto à resistência à tração devido ao mesmo ser mais rígido e possuir menor fase elástica, maior capacidade nominal em relação a cada ponto do extensômetro a ser agregado e uma confiabilidade de sobrecarga maior que 150%.
2. Sabendo-se também, que para cada faixa de pressão operação há uma espessura adequada do poliestireno. O material poderá ser utilizado junto à estrutura sensorial utilizando o seu limite de resistência sem que haja comportamentos que o leve à histerese e chegue à ruptura por sobrecarga. Em consequência destes fatos, haverá um maior tempo de vida do material, em ordem de 10^5 ciclos por segundos com uma frequência de 5Hz. Considerando que no sistema de dessalinização a frequência natural será bem menor que a frequência adotada no ensaio, segundo a literatura, pode ser considerado como tempo de vida infinita do material. Então, o PSAI poderá ser utilizado como material de agregação do transdutor de pressão (extensômetro) para transformação das deformações mecânicas em elétricas.

5.1.2. 2ª ETAPA: DESENVOLVIMENTO DOS SENSORES DE PRESSÃO E SENSORES DE VAZÃO

1. Através das quatro fases realizadas neste trabalho em relação às resistências de centro e bordas do extensômetro, conclui-se que existem fatores que necessitam de controle na realização dos ensaios com o extensômetro do tipo diafragma, tais como: propriedades físicas e químicas da estrutura de proteção, espessura da estrutura, resistência da estrutura e características do extensômetro adotado.
2. De acordo com o comportamento dos sensores de pressão, tem-se uma resposta linear. Os comportamentos transversais e radiais são idênticos, mas com sentidos contrários. Portanto, se obtém um fator de sensibilidade constante e linear (2%), facilitando a aquisição dos dados. O mesmo poderá operar com uma margem de segurança de 150% em suas deformações pontuais, segundo a distribuição uniforme de deformação no extensômetro junto ao elemento elástico. Além de possuir baixos erros (0,94% em seu máximo), em relação aos sensores de referência e uma melhor linearidade. Por fim, o extensômetro atua como um bom transdutor de pressão, enviando dados em tempo real das deformações mecânicas convertidas em deformações elétricas ao microcontrolador, e o mesmo se encarrega de enviar os dados via telemetria ao computador gerente, o qual armazena todos os dados colhidos em um banco de dados.
3. O sensor de vazão (rotâmetro do tipo tubo medidor de rotor-X) atingiu os resultados esperados quanto ao seu desenvolvimento. O rotâmetro conseguiu gerar um campo magnético e exercer uma força sobre uma carga em movimento, criando uma resposta de impulsos em termos de frequência semelhante ao rotâmetro comercial. Em relação ao rotâmetro possuindo dois ímãs para geração do efeito hall, o mesmo gerou um erro variando de 1,23% a 14,47% em altas vazões, necessitando de uma correção de 8,88% em sua inclinação da reta, além de uma certa modificação no software do gerente. Levando-se em conta o baixo custo de fabricação, menor tomada de memória, a sua linearidade, geração de maiores impulsos em menores espaços de tempo foi adotado rotômetros de quatro ímãs. Em relação aos sensores comerciais, operando em sua faixa de operação, estes rotômetros apresentaram poucas discrepâncias, cerca de 2,97% em seu erro máximo. Outro modo de observar sua eficiência de envio de sinais e

confiabilidade está na descrição do seu comportamento perante equações lineares e através do erro inferido ao seu fator f_{max} de 1,3% e f_{min} de 2,0% para o Rot-03 e um f_{max} de 8,41% e 6,46% em relação ao f_{min} para o Rot-03. Diante tais conclusões, conseguiu-se chegar a resultados satisfatórios em relação ao uso do rotâmetro tipo tubo medidor de rotor-X confeccionado pelo Labdes.

4. Como processo final de análise, os sensores confeccionados no Labdes além de possuírem vantagens no seu desenvolvimento, possui uma grande margem de economia se projetados nas mesmas qualificações do SDP, cerca de **RS 4.288,23** a menos que os sensores encontrados comercialmente.

CAPITULO VI

6. SUGESTÕES PARA PESQUISAS FUTURAS

Com o objetivo de aprimorar o estudo e no sentido da melhoria do trabalho realizado, seguem-se as seguintes perspectivas para trabalhos futuros:

1. Realizar estudos no processo de degradação química do PSAI, observar as influências da temperatura no conjunto PSAI- extensômetro, ou seja, máximo de deformação permissível ao PSAI sem ultrapassar a sensibilidade do extensômetro.
2. Estudar o tempo de vida útil dos sensores de pressão e de vazão para diferentes tipos de fluidos.
3. A luz das equações da engenharia (fenômenos de transporte, operações unitárias), estudar o comportamento do fluido no interior do tubo.

CAPITULO VII

7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS:

ALMEIDA, Ester P. de (Março de 2003). *Comparação de dois Sistemas de Dessalinização via osmose inversa e os efeitos da limpeza química dos elementos*, Tese de Mestrado (LABDES- SRH/MMA) - PIBIC/CNPq, Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande, Brasil.

ALMEIDA, D.R. (2002) Desenvolvimento do Módulo de Gerência Distribuída de Dessalinizadores com Capacidade de Monitoração Remota. Relatório de Iniciação Científica PIBIC/CNPq, Universidade Federal da Paraíba, Campina Grande, Brasil.

ALVÍTO, PAULO. *Utilização de Extensômetros para Medição da Força Aplicada Numa Viga Encastrada*. Escola Superior de tecnologia, Instrumentação I: Engenharia de Automação, Controle e Instrumentação, trabalho de laboratório nº 04, Setúbal, Portugal, pp. 01-03, 2002.

AMJAD, Z., *Reverse Osmose: Membrane Technology, water Chemistry & Industrial Applications*, Van Nostrand-Reinhold, New York, 1992.

APTEL, P. and BUCKEY, C. A. *Categories of membrane operations*, In: *water Treatment Membrane Processes* (MALLEVIALLE, J.; ODENDAAL, P. E. & WIESNER, M. R., eds.) pp. 2.1-2.24. McGraw Hill, New York, 1996.

ARHAK, K.I., RAY A.K.; COLLINS, D.G. and ANSARI, F. *An analysis of polimeric thick-film resistors as pressure sensors*. *Sensors and atuadores*, vol.49, pp. 41-45, 1995.

BEER, FERDINAND P. JR e E. R. JOHNSTON (1915). *Resistência dos Materiais*. 3ª edição. Revisão e tradução Celso Pinto Moraes. São Paulo: Editora Mc Graw Hill Ltda, pp. 01-80, 1995.

BENNET, C.O. e MYERS, E. *Fenômenos de transporte quantidade de movimento, calor e massa*, São Paulo, Ed. McGraw- Hill do Brasil, 1978.

BRANDT, D.C., LEITNER, G.F and LEITNER,W.E. *Reverse osmosis membrane states of the art*, In Zahid Amjad (ed.), *Reverse Osmosis – Membrane Technology, Water Chemistry and Industrial Applications*, Van Nostrand-Reinhold, New York, 1992.

Curso Profissionalizante: *Mecânica dos Ensaaios de Materiais*. Fundação Roberto Marinho, Editora Globo, Rio de Janeiro, RJ, pp. 17-29 e 108-113, 1997.

FILHO, J. Ferreira. *Cartilha da água*, São Paulo, SP, 1992;

FRANÇA, K. B. *Aumento da Vida Útil de Sistemas de Dessalinização no Campo: Análise, Manutenção e Monitoração Remota*, projeto aprovado no último CTHIDRO 01/2001- CNPq, sob o número 9897255760200776.

GEORGE FISCHER SIGNET, INC. *Manual de Instruções*. El Monte, CA 91731-2882, USA, 2004.

HABERT, A. C., BORGES, C. P. e NÓBREGA, R. *Processos de separação com membranas*, Escola Piloto em Engenharia Química, COPPE/UFRJ – Programa de Engenharia Química, 1997.

HUITING, H.; KAPPELHOF, J.W.N.M. and BOSKLOPPER, Th.G. J. *Operation of NF/RO plant: from reactive to proactive*. *Desalination*, vol. 139, pp.183-189, 2001.

HYDRANAUTICS. *Technical Service Bulletin*, 2002.

JOYCE, A.; LOUREIRO, D.;RODRIGUES, C. and CASTRO, S. *Small reverse osmosis units Pvsystems for water purification in rural places*. *Desalination*, vol137, pp. 39-44, 2001.

JR., CALLISTER D.WILLIAM. *Ciência e Engenharia de Materiais (Uma Introdução)*. Editora LIC, 5ª edição, Rio de Janeiro, RJ, 2002.

JR, EULER BARRETO. *Manual Prático: O extensômetro elétrico de resistência*, Ilha Solteira, SP: 1998.

JUNIOR, CLÁUDIO et al. *Dispositivos para ensaios de tração uniaxial em correntes e cordoalhas de aço. Caracterização dos materiais*. LapMAT (Laboratório Interdisciplinar de Materiais), Departamento de Engenharia Mecânica - Centro Tecnológico, Publicação da Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, SC, 2002.

KAWAGUCHI T.; NISHIMURA H.; ITO K.; SORIMACHI H.; KURIYAMA T. and NARISAWA I. *Impact fatigue properties of glass ber-reinforced thermoplastics*. Composites Science and Technology, vol. 64, pp. 1057–1067, 2004.

KERR, T. J. and McHALE, B. B. *Applications in general microbiology: A laboratory manual*. 6th ed., Hunter Textbooks Inc., Winston-Salem, 2001

KO, A. and GUY, D. B. *Brackish and seawater desalting*. In: Reverse Osmosis Technology: applications for high purity water production (PAREKH, B. S. ed.), Marcel Dekker inc., New York, pp. 185-278, 1998.

MACRO GALLERY, Enciclopédia em CD-Rom dos polímeros, 2003.

MANO, ELOISA BIASOTTO. *Polímeros como materiais de Engenharia*. Editora Edgard Blucher Ltda, São Paulo, SP, pp. 61-69, 1991.

MARTINELLI, D. A. O. *Contribuição ao Emprego de Extensômetros Elétricos de Resistência no Estudo de Estruturas* - Publicação da USP, E. E. São Carlos, São Paulo, SP, 1998.

PACKARD, HEWLETT. *Practical Strain Gauge Measurements – Application Notes* 290 – 1, 1998.

PANASONIC DN6851 HALL ICs. *Application Notes: Manual de Instruções*. Washington, USA, 2002.

R.L. E S. E. REED. *Strain Gauge – Users' Handbook – Society for Experimental Mechanics, Inc. – SEM*, 1998.

SANTOS, C.A. DOS. Programa de Apoio à Pesquisa em Educação a Distância. PAPED - Linha 2/2003, MEC – CAPES. *Eletricidade, Magnetismo & Física Moderna, Campo Magnético – Capítulo 08*, Instituto de Física da Universidade Federal do Rio Grande do Sul – UFRS, 2004.

SATTAMINI LUIZ E LUCIO. *Sistemas de osmose inversa, AQUANET – Engenharia de aplicações em dessalinização – Manual técnico*, 1999.

SCHNEIDER, R. P. e TSUTIYA, M. T., *Membranas filtrantes para o tratamento de água, esgoto e água de reuso*. ABES, 1ª ed, São Paulo, 2001.

SHAMES, Irving Herman (1923). *Mecânica dos fluidos – análise de escoamento*. Volume 2. Revisão e tradução Mauro O.C. Amorelli. São Paulo: Editora Edgard Blücher, Brasília, INL pp. 253-258, 1983.

SILVA, DAURO RIBEIRO. *Instrumentação para Ensaio de Estruturas – Medidas de Deformações e Deslocamentos – Publicação da USP, E. E. São Carlos, São Paulo, SP*, 1998.

SILVA, A.C.R. DA, FARIA G.C. DE and MARRANGHELLO N. *Deformation measurements with microcontroller using communication interface*. V Induscon, Universidade Estadual Paulista – UNESP, Ilha Solteira, paper code: 017, 2002.

SOUSA, SHEFORA E. H. de (Março de 2003). *Normalização de Sistemas de Dessalinização via Osmose Inversa*, Tese de Mestrado (LABDES- SRH/MMA) - PIBIC/CNPq, Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande, Brasil.

VROUWENVELDER, J.S. and KOOIJ, D. Van der, *Diagnosis, prediction and prevention of biofouling of NF and RO membranes*. *Desalination*, vol. 139, pp.65-71, 2001.

WELTY,J.R., WICKS,C.E. and WILSON,R.E. *Fundamentals of moment, Heat, and Mass Transfer* . Third edition.,John wiley & Sons, 1984 .

WIESNER, M. R. and APTEL, P. *Mass transport and permeate flux and fouling in pressure-driven processes*. In: *Water Treatment Membrane Processes* (MALLEVIALLE, J., ODENDAAL, P.E. & WIESNER, M.R., eds), pp. 4.1-4.30. McGraw-Hill, New York, 1996.

Sites:

ACEPE – *Associação do Poliestireno Estireno Expandido*, 2004 (http://www.acepe.pt/eps/eps_prop_mec.asp, acesso em 05/01/2004).

CESOL HP. **Osmose Inversa (OI)** [online]. Disponível na Internet via URL: <http://www.geocities.com/CollegePark/Bookstore/8237/osmose/osmose.htm>. Arquivo capturado em 10/12/2003.

3D-Cam, Inc. Nordhoff St. Chatsworth, CA 91311. Disponível na Internet via URL: <http://www.3d-cam.com/materials/polystyrene.asp>. Arquivo capturado em 12/04/2003.

EXCEL SENSOR – Ind. Com. e Exportações Ltda. Itatuba, Embú, SP. Disponível na Internet via URL: www.excelsensor.com.br. Arquivo capturado em 10/01/2004.

GLEGG. Disponível na Internet via URL: <http://www.glegg.com>. Arquivo capturado em 2000.

ISOCEL - Isolantes térmicos e acústicos, enchimento e impermeabilização. São Paulo. Disponível na Internet via URL: <http://www.isocel.net/isopor.htm>. Arquivo capturado em 15/08/2003.

PORTNOI, MARCOS. **Strain Gauges** [online]. Disponível na Internet via URL: http://locksmith.orcishweb.com/academic_files/extensometria.html#_Toc511736064. Arquivo capturado em 12/04/2003.

Revista eletrônica do Departamento de Química. *A era dos plásticos: QMCWeb*. Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, SC. Disponível na Internet via URL: <http://qmc.ufsc.br/qmcweb/artigos/polimeros.html#>. Arquivo capturado em 05/01/2004.

STYRON A-TECH POLYSTYRENE. Design Tools (Design Guide), Poisson's Ratio. Disponível na Internet via URL: <http://www.dow.com/styron/design/guide/poisson.htm>. Arquivo capturado em 12/04/2003.

TECHNI MEASURE. **Strain Gauges** [online]. Disponível na Internet via URL: <http://www.techni-measure.co.uk/>. Arquivo capturado em 12/04/2003.

ZARO, MILTON A. et al. ENG 03353 - Medições Mecânicas, Aula 12- Sensores III: Força e Deslocamento (parte I), Universidade Federal do Rio Grande do Sul, UFRS, 2001. Disponível na Internet via URL: <http://www.ufrgs.br/lmm/index4.htm/>. Arquivo capturado em 12/04/2003.

Disponível na Internet via URL: <http://www.convert-me.com/en/>. Arquivo capturado em 06/02/2003.

Normas gerais:

American Society for Testing and Materials. *Tensile Testing of Thin Plastic Sheeting*, ASTM D-882, Philadelphia, EUA, 1988.

American Society for Testing and Materials. *Tensile Testing of Plastics*, ASTM D-638, Philadelphia, EUA, 1988.

American Society for Testing and Materials. *Flexural Fatigue of Plastics by Constant-Amplitude-of-Force*, ASTM D-671, Philadelphia, EUA, 1988.

American Society for Testing and Materials. *Rubber Properties in Tension*, ASTM D-671, Philadelphia, EUA, 1988.

CAPITULO VIII

8. ANEXOS 01

Tabela 04: Variação da espessura do elemento elástico em função da pressão aplicada, obedecendo a equação 15, utilizando a água de Riacho de Santo Antônio

P (kgf/cm²)	e (mm)		P (kgf/cm²)	e (mm)		P (kgf/cm²)	e (mm)
0,25	0,32		2,75	1,08		10,25	2,08
0,50	0,46		3,00	1,13		10,50	2,11
0,75	0,56		3,25	1,17		10,75	2,13
1,00	0,65		3,50	1,22		11,00	2,16
1,25	0,73		3,75	1,26		11,25	2,18
1,50	0,80		4,00	1,30		11,50	2,20
1,75	0,86		4,25	1,34		11,75	2,23
2,00	0,92		4,50	1,38		12,00	2,25
2,25	0,97		4,75	1,42		12,25	2,27
2,38	1,00		5,00	1,45		12,50	2,30
2,50	1,03		5,25	1,49		12,75	2,32
			5,50	1,52		13,00	2,34
			5,75	1,56		13,25	2,37
			6,00	1,59		13,50	2,39
			6,25	1,62		13,75	2,41
			6,50	1,66		14,00	2,43
			6,75	1,69		14,25	2,45
			7,00	1,72		14,50	2,47
			7,25	1,75		14,75	2,50
			7,50	1,78		15,00	2,52
			7,75	1,81		15,25	2,54
			8,00	1,84		15,50	2,56
			8,25	1,87		15,75	2,58
			8,50	1,89		16,00	2,60
			8,75	1,92		16,25	2,62
			9,00	1,95		16,50	2,64
			9,25	1,98		16,75	2,66
			9,50	2,00		17,00	2,68
			9,75	2,03		17,25	2,70
			10,00	2,06		17,50	2,72
						17,75	2,74
						18,00	2,76
						18,25	2,78
						18,50	2,80
						18,75	2,81
						19,00	2,83
						19,50	2,87
						19,75	2,89
						20,00	2,91
						21,30	3,00

4.1.3 – RESULTADOS DOS TESTES DE TRAÇÃO

Tabela 05: ESTATÍSTICA DOS DADOS EXPERIMENTAIS (polímero – 01)

	Máximo	Mínimo	Média	Mediana	Coefficiente de Variância (%)	Desvio padrão	confiança
Comprimento calibrado(cm)	6,00	6,00	6,00	6,00	0,00	0,00	
Largura (cm)	1,99	1,99	1,99	1,99	0,00	0,00	
Espessura (cm)	0,201	0,199	0,201	0,20	0,00	0,00	
Área (cm ²)	0,39	0,39	0,39	0,39	0,00	0,00	
Velocidade (cm/min)	5,00	5,00	5,00	5,00	0,00	0,00	
Ruptura	-	-	-	-	-	-	100%
Rigidez (kgf/cm)	567,81	485,70	537,33	558,48	6,83	36,71	
Módulo de Young (kgf/cm ²)	8729,58	7467,27	8261,02	8586,21	6,83	564,31	
Carga máxima (kgf)	53,82	50,07	51,46	50,48	3,27	1,68	
Força tensorial (kgf/cm ²)	137,91	128,30	131,85	129,34	3,27	4,30	
Deformação máxima (%)	2,9561	2,6095	2,8010	2,8374	5,13	1,46	
Carga de ruptura (kgf)	48,93	45,18	47,36	47,98	3,37	1,59	
Tensão de ruptura (kgf/cm ²)	125,37	115,75	121,35	122,94	3,37	4,07	
Deformação na ruptura (%)	6,1527	3,5276	4,7534	4,5801	22,69	1,0787	

A =(L).(e)

L = largura

e = espessura

Tabela 06: ESTATÍSTICA DOS DADOS EXPERIMENTAIS (polímero – 02)

	Máximo	Mínimo	Média	Mediana	Coefficiente de Variância (%)	Desvio padrão	confiança
Comprimento calibrado(cm)	6,00	6,00	6,00	6,00	0,00	0,00	
Largura (cm)	1,486	1,268	1,356	1,345	6,25	0,084819	
Espessura (cm)	0,201	0,198	0,199	0,199	0,50	0,00098	
Área (cm ²)	0,296	0,251	0,270	0,268	6,49	0,00175	
Velocidade (cm/min)	5,00	5,00	5,00	5,00	0,00	0,00	
Ruptura	-	-	-	-	-	-	100%
Rigidez (kgf/cm)	707,98	552,61	631,82	614,55	8,14	51,44	
Módulo de Young (kgf/cm ²)	14754,27	13130,88	14015,99	14190,37	3,90	546,93	
Carga máxima (kgf)	63,91	50,62	56,68	56,23	7,62	4,32	
Força tensorial (kgf/cm ²)	219,16	200,46	209,57	209,96	2,92	6,119	
Deformação máxima (%)	2,9378	2,0128	2,4707	2,3567	13,52	0,333	
Carga de ruptura (kgf)	51,62	45,42	47,83	46,98	4,66	2,23	
Tensão de ruptura (kgf/cm ²)	186,57	169,18	177,19	179,89	3,27	5,791 ²	
Deformação na ruptura (%)	30,187	14,139	20,750	19,487	27,70	5,7469	

4.3 – RESULTADOS DOS ENSAIOS COM O ROTÂMETRO

Sensores Comerciais (Rotômetros Comerciais)

Tabela 08: Médias do Concentrado				
Pressão (kgf/cm²)	Frequência (Hz)	Vazão (L/min)	Vazão (L/h)	Vazão (L/dia)
0	32,405	16,167	970	23280
3	25,750	13,000	780	18720
5	21,588	11,050	663	15912
8	16,375	8,000	480	11520
10	12,556	6,292	377,5	9060
12	aprox. 8,9467	4,500	270	6480
15	aprox. 3,9763	2,000	120	2880

Cálculo do verdadeiro fator de conversão de frequência em vazão
 fator (f) = **1,988155561**

Tabela 09: Médias do permeado				
Pressão (kgf/cm²)	Frequência (Hz)	Vazão (L/min)	Vazão (L/h)	Vazão (L/dia)
0	32,405	0,000	0	0
3	25,750	3,167	190	4560
5	21,588	5,117	307	7368
8	16,375	8,167	490	11760
10	12,556	9,875	592,5	14220
12	aprox. 8,9467	11,667	700	16800
15	aprox. 3,9763	14,167	850	20400

Sensores de vazão desenvolvidos pelo Labdes (Rotômetros desenvolvidos pelo Labdes)

Tabela 10: Médias do concentrado				
Pressão (kgf/cm²)	Frequência (Hz)	Vazão conc. (L/min)	Vazão conc. (L/h)	Vazão conc. (L/dia)
0	39,684	16,199	971,910	23325,840
5	29,326	11,708	702,480	16859,520
10	18,5675	7,368	442,050	10609,200
15	8,895	3,292	197,520	4740,480

Cálculo do verdadeiro fator de conversão de frequência em vazão
 fator (f) = **2,544208602**

Tabela 11: Médias do permeado

Pressão (kgf/cm²)	Frequência (Hz)	Vazão (L/min)	Vazão (L/h)	Vazão (L/dia)
0	39,684	0,000	0,000	0,000
5	29,326	4,491	269,430	6466,320
10	18,5675	8,831	529,860	12716,640
15	8,895	12,907	774,390	18585,360

Tabela 12: Tabela condicionada aos dados das equações linearizadas

Pressão (kgf/cm²)	Média_hidrômetro (L/min)	Média_labdes (L/min)	Média_com (L/min)
0,0	0,0	0,0	0,0
1,0	1,146	0,959	1,235
2,0	2,091	1,821	2,181
3,0	3,036	2,682	3,127
4,0	3,982	3,543	4,073
5,0	4,927	4,404	5,019
6,0	5,872	5,265	5,965
7,0	6,817	6,127	6,911
8,0	7,762	6,988	7,857
9,0	8,708	7,849	8,803
10,0	9,653	8,710	9,749
11,0	10,598	9,572	10,695
12,0	11,543	10,433	11,641
13,0	12,488	11,294	12,587
14,0	13,433	12,155	13,532
15,0	14,379	13,016	14,478

Tabela 13: Tabela de correção em 8,88% na inclinação do sensor_labdes

Pressão (kgf/cm²)	Média hidrômetro (L/min)	Média_labdes (L/min)	Média_ref. (L/min)	Erro (%)
0,0	0,000	0,000	0,000	0,00
1,0	1,154	1,038	1,235	10,09
2,0	2,099	1,975	1,892	5,90
3,0	3,045	2,913	2,838	4,32
4,0	3,990	3,851	3,784	3,48
5,0	4,935	4,789	4,730	2,97
6,0	5,880	5,726	5,676	2,62
7,0	6,825	6,664	6,622	2,36
8,0	7,770	7,602	7,568	2,17
9,0	8,716	8,539	8,513	2,02
10,0	9,661	9,477	9,459	1,90
11,0	10,606	10,415	10,405	1,80
12,0	11,551	11,352	11,351	1,72
13,0	12,496	12,290	12,297	1,65
14,0	13,442	13,228	13,243	1,59
15,0	14,387	14,166	14,189	1,54

Sensores de pressão comerciais adotados como referencia

Tabela 14: Médias dos ensaios realizados com sensores de pressão comerciais

Pressão (kgf/cm²)	Tensão (VDC)	Fator (fPc) – (kgf/cm².V)	Fator (fTc) – (cm².V/ kgf)
0	0,00	0,00	0,00
1,6	0,33	4,85	0,21
3	0,62	4,84	0,21
6	1,26	4,76	0,21
9	1,95	4,62	0,22
12	2,61	4,60	0,22

$$\left(fPc = \frac{P}{T} \right) \quad \text{e} \quad \left(fTc = \frac{T}{P} \right)$$

Sensores de pressão desenvolvidos pelo Labdes

Tabela 15: Médias dos ensaios realizados com sensores de pressão possuindo espessura de 1 mm

Tensão(VDC)	Pressão (kgf/cm ²)	Tempo (min)	Fator (fP1) (kgf/cm ² .V)	Fator (fT1) (cm ² .V/ kgf)
0,75	0,00	5,00	0,00	-
0,75	0,25	10,00	0,33	3,01
0,76	0,50	15,00	0,66	1,51
0,75	0,75	20,00	1,00	1,00
0,75	1,00	25,00	1,32	0,75
0,79	1,10	30,00	1,39	0,72
0,97	1,25	35,00	1,29	0,77
1,24	1,50	40,00	1,21	0,83
1,49	1,75	45,00	1,18	0,85
1,77	2,00	50,00	1,13	0,88

$$\left(fP1 = \frac{P}{T} \right) \quad e \quad \left(fT1 = \frac{T}{P} \right)$$

Tabela 16: Médias dos ensaios realizados com sensores de pressão possuindo espessura de 3 mm

Tensão(VDC)	Pressão (kgf/cm ²)	Tempo (min)	Fator (fP3) (kgf/cm ² .V)	Fator (fT3) (cm ² .V/ kgf)
0,75	0,00	5,00	0,00	-
0,92	3,00	10,00	3,27	0,31
1,61	6,00	15,00	3,73	0,27
2,34	9,00	20,00	3,84	0,26
3,04	12,00	25,00	3,94	0,25
3,77	15,00	30,00	3,98	0,25

$$\left(fP3 = \frac{P}{T} \right) \quad e \quad \left(fT3 = \frac{T}{P} \right)$$

Tabela 17: Média dos dados comparativos dos sensores de pressão-Labdes e os sensores comerciais em P2

dia da semana	Médias-P1 (Comercial) (kgf/cm ²)	Médias-P1 (Labdes) (kgf/cm ²)	Erro (%)
23/ago	1,40	1,41	0,61
24/ago	1,40	1,41	0,37
25/ago	1,40	1,40	0,24
26/ago	1,40	1,40	0,14
27/ago	1,40	1,40	0,00
28/ago	1,40	1,40	0,10
29/ago	1,40	1,41	0,61

Tabela 18: Média dos dados comparativos dos sensores de pressão-Labdes e os sensores comerciais em P4

dia da semana	Médias-P4 (Comercial) (kgf/cm ²)	Médias-P4 (Labdes) (kgf/cm ²)	Erro (%)
23/ago	16,21	16,28	0,41
24/ago	16,20	16,25	0,31
25/ago	16,65	16,79	0,84
26/ago	16,20	16,18	0,11
27/ago	16,50	16,40	0,62
28/ago	16,70	16,86	0,94
29/ago	16,30	16,35	0,33

Tabela 19: Médias dos dados comparativos dos sensores de vazão-Labdes e os sensores de vazão-comercial no concentrado (Rot-03)

dia da semana	Qc (comercial)-(L/min)	Qc(Labdes)-(L/min)	ERRO (%)
16/ago	16,50	16,73	1,42
17/ago	15,00	16,47	9,81
18/ago	15,00	15,12	0,80
20/ago	15,50	15,96	2,97
23/ago	16,00	16,33	2,05
24/ago	15,88	16,24	2,33
25/ago	16,18	16,32	0,91
27/ago	16,23	16,26	0,14
30/ago	16,13	16,00	0,78
31/ago	16,00	16,00	0,00

Tabela 20: Médias dos dados comparativos dos sensores de vazão-Labdes e os sensores de vazão-comercial no permeado (Rot-01)

dia da semana	Qp (comercial)-(L/min)	Qp (Labdes)- (L/min)	ERRO (%)
16/ago	4,40	4,46	1,36
17/ago	4,50	4,36	3,01
18/ago	4,50	4,37	2,84
20/ago	3,88	5,31	36,73
23/ago	4,75	4,80	1,13
24/ago	4,88	5,14	5,33
25/ago	3,95	5,51	39,60
27/ago	4,60	4,74	3,04
30/ago	4,05	4,00	1,23
31/ago	4,00	4,00	0,00

MANUAIS DE INSTRUÇÕES



Low-Cost Automotive Sensor Signal Conditioner

MAX1455

General Description

The MAX1455 is a highly integrated automotive analog sensor signal processor for resistive element sensors. The MAX1455 provides amplification, calibration, and temperature compensation that enable an overall performance approaching the inherent repeatability of the sensor. The fully analog signal path introduces no quantization noise in the output signal while enabling digitally controlled trimming with integrated 16-bit digital-to-analog converters (DACs). Offset and span are also calibrated using 16-bit DACs, allowing sensor products to be truly interchangeable.

The MAX1455 architecture includes a programmable sensor excitation, a 16-step programmable-gain amplifier (PGA), a 768-byte (6144-bits) internal EEPROM, four 16-bit DACs, an uncommitted op amp, and an on-chip temperature sensor. In addition to offset and span compensation, the MAX1455 provides a unique temperature compensation strategy that was developed to provide a remarkable degree of flexibility while minimizing testing costs.

The MAX1455 is available in the form, 16-pin SSOP and TSOP packages.

Customization

Maxim can customize the MAX1455 for high-volume dedicated applications. Using our dedicated cell library of more than 2000 sensor-specific function blocks, Maxim can quickly provide a modified MAX1455 solution. Contact Maxim for further information.

Applications

- Pressure Sensors and Transducers
- Piezoresistive Silicon Sensors
- Strain Gauges
- Resistive Element Sensors
- Accelerometers
- Humidity Sensors
- MI and GMI Sensors

Outputs

- Balance Voltage Output
- Programmable Output Clip Limits

A detailed Functional Diagram appears at end of data sheet.

Secure-Lock is a trademark of Maxim Integrated Products, Inc.

Features

- ◆ Provides Amplification, Calibration, and Temperature Compensation
- ◆ Selectable Output Clipping Limits
- ◆ Accommodates Sensor Output Sensitivities from 5mV/V to 40mV/V
- ◆ Single-Pin Digital Programming
- ◆ No External Trim Components Required
- ◆ 16-Bit Offset and Span Calibration Resolution
- ◆ Fully Analog Signal Path
- ◆ PRT Bridge Can Be Used for Temperature-Correction Input
- ◆ On-Chip Lookup Table Supports Multipoint Calibration Temperature Correction
- ◆ Fast 3.2kHz Frequency Response
- ◆ On-Chip Uncommitted Op Amp
- ◆ Secure-Lock™ Prevents Data Corruption

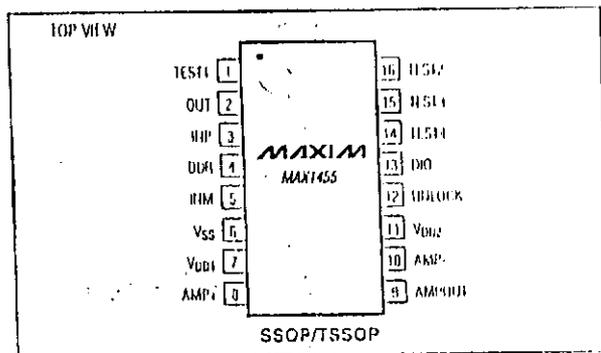
Ordering Information

PART	TEMP. RANGE	PIN-PACKAGE
MAX1455EUE*	-40°C to +85°C	16 TSOP
MAX1455AUE*	-40°C to +125°C	16 TSOP
MAX1455EAE	-40°C to +85°C	16 SSOP
MAX1455AAE	-40°C to +125°C	16 SSOP
MAX1455C/D	-40°C to +85°C	Dico**

*Future product—contact factory for availability.

**Dico are tested at $T_A = +25^\circ\text{C}$, DC parameters only.

Pin Configuration



Maxim Integrated Products

For pricing, delivery, and ordering information, please contact Maxim/Dallas Direct! at 1-888-629-4642, or visit Maxim's website at www.maxim-ic.com.

Low-Cost Automotive Sensor Signal Conditioner

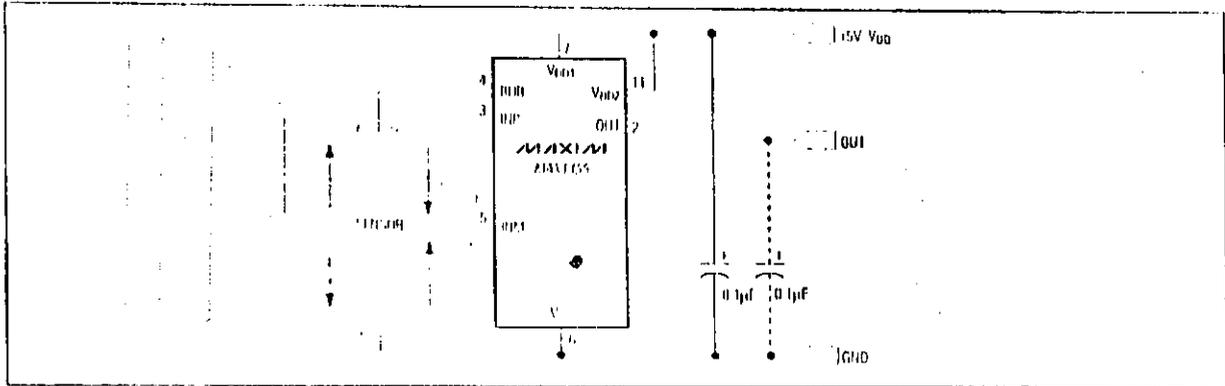


Figure 2 Basic Automotive Output Configuration

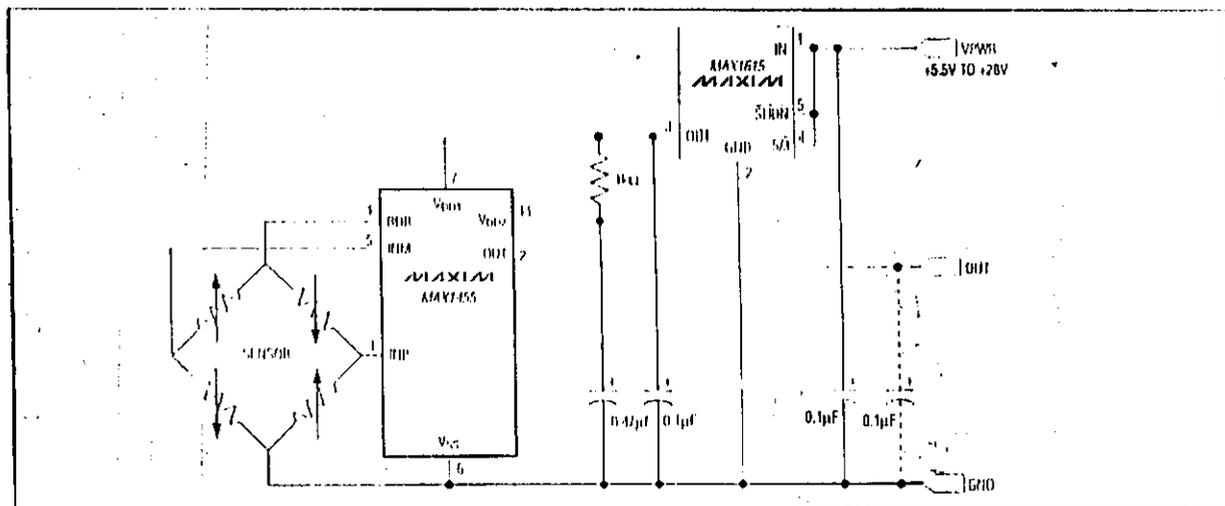


Figure 3 Basic Nonautomotive Output Configuration

- Registers ODAC and FSODAC are refreshed from the temperature indexed EEPROM locations.

Normal Operation, Continuous Refresh:

- The MAX1455 has been calibrated, the Secure-Lock byte has been set (CL [7:0] = FFhex), and UNLOCK is low.
- Power is applied to the device.
- The POR functions have been completed.
- The temperature index timer reaches a 1ms time period.
- Registers CONFIG, OTCDAC, and FSOTCDAC are refreshed from EEPROM.

- Registers ODAC and FSODAC are refreshed from the temperature indexed EEPROM locations.

Calibration Operation, Registers Updated by Serial Communications:

- The MAX1455 has not had the Secure-Lock byte set (CL [7:0] = 00hex) or UNLOCK is high.
- Power is applied to the device.
- The POR functions have been completed.
- The registers can then be loaded from the serial digital interface by use of serial commands. See the section on serial I/O and commands.



PIC16F87X

28/40-Pin 8-Bit CMOS FLASH Microcontrollers

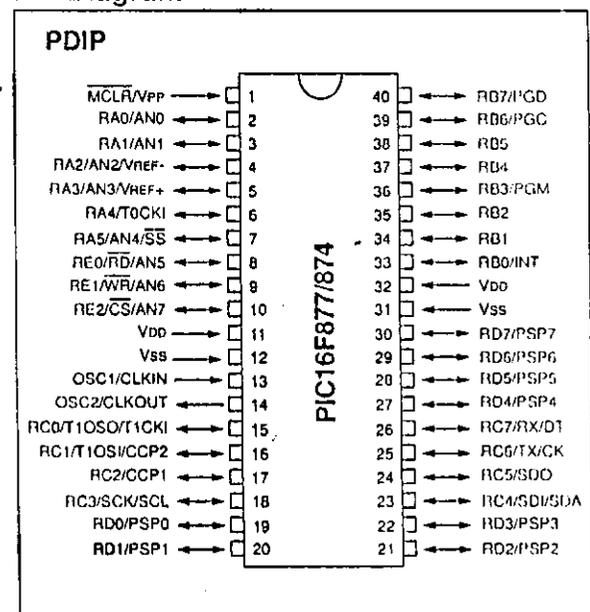
Devices Included in this Data Sheet:

- PIC16F873
- PIC16F876
- PIC16F874
- PIC16F877

Microcontroller Core Features:

- High performance RISC CPU
- Only 35 single word instructions to learn
- All single cycle instructions except for program branches which are two cycle
- Operating speed: DC - 20 MHz clock input
DC - 200 ns instruction cycle
- Up to 8K x 14 words of FLASH Program Memory,
Up to 368 x 8 bytes of Data Memory (RAM)
Up to 256 x 8 bytes of EEPROM Data Memory
- Pinout compatible to the PIC16C73B/74B/76/77
- Interrupt capability (up to 14 sources)
- Eight level deep hardware stack
- Direct, indirect and relative addressing modes
- Power-on Reset (POR)
- Power-up Timer (PWRT) and
Oscillator Start-up Timer (OST)
- Watchdog Timer (WDT) with its own on-chip RC
oscillator for reliable operation
- Programmable code protection
- Power saving SLEEP mode
- Selectable oscillator options
- Low power, high speed CMOS FLASH/EEPROM
technology
- Fully static design
- In-Circuit Serial Programming™ (ICSP) via two
pins
- Single 5V In-Circuit Serial Programming capability
- In-Circuit Debugging via two pins
- Processor read/write access to program memory
- Wide operating voltage range: 2.0V to 5.5V
- High Sink/Source Current: 25 mA
- Commercial, Industrial and Extended temperature
ranges
- Low-power consumption:
 - < 0.6 mA typical @ 3V, 4 MHz
 - 20 µA typical @ 3V, 32 kHz
 - < 1 µA typical standby current

Pin Diagram

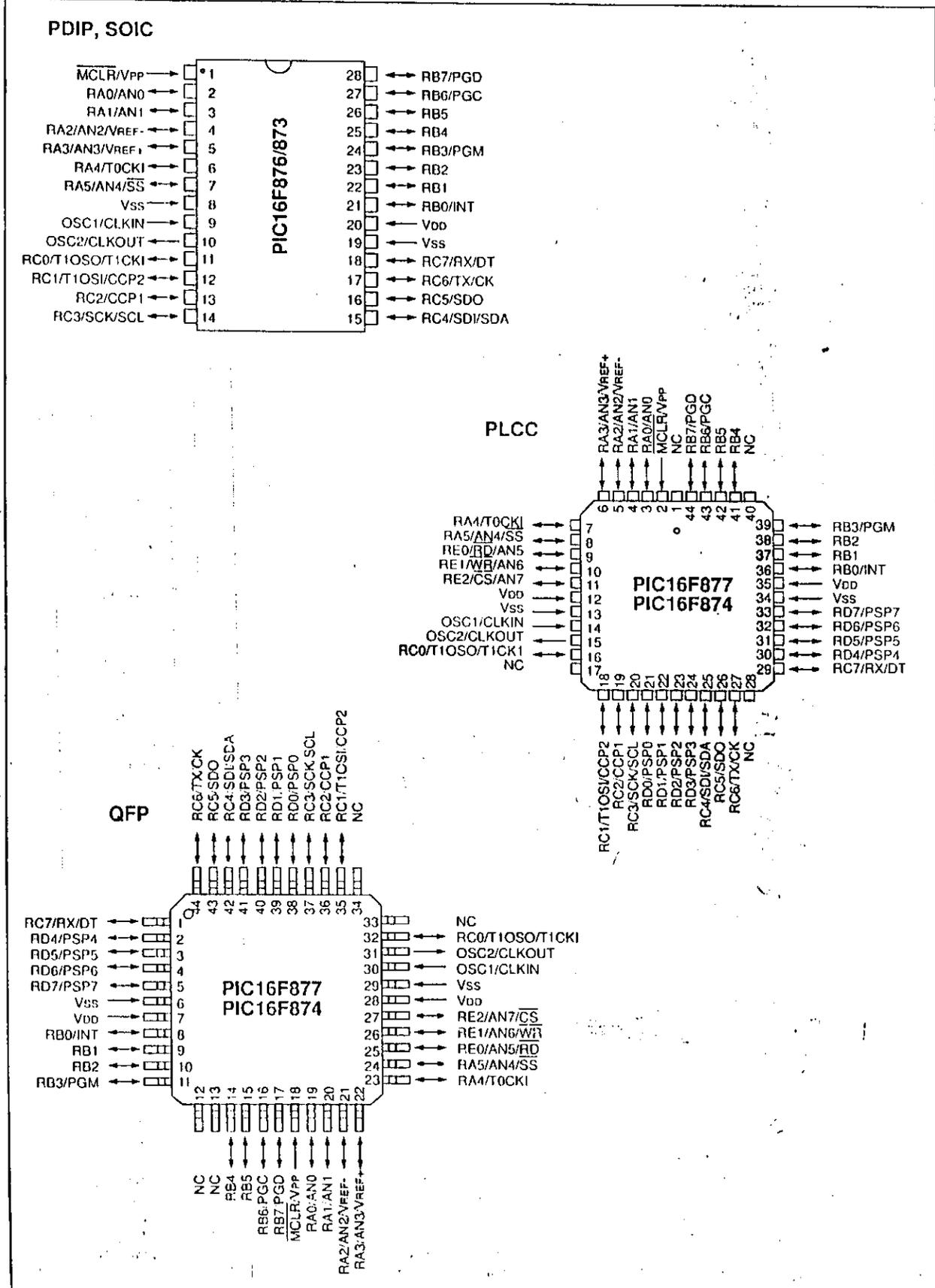


Peripheral Features:

- Timer0: 8-bit timer/counter with 8-bit prescaler
- Timer1: 16-bit timer/counter with prescaler,
can be incremented during SLEEP via external
crystal/clock
- Timer2: 8-bit timer/counter with 8-bit period
register, prescaler and postscaler
- Two Capture, Compare, PWM modules
 - Capture is 16-bit, max. resolution is 12.5 ns
 - Compare is 16-bit, max. resolution is 200 ns
 - PWM max. resolution is 10-bit
- 10-bit multi-channel Analog-to-Digital converter
- Synchronous Serial Port (SSP) with SPI™ (Master
mode) and I²C™ (Master/Slave)
- Universal Synchronous Asynchronous Receiver
Transmitter (USART/SCI) with 9-bit address
detection
- Parallel Slave Port (PSP) 8-bits wide, with
external RD, WR and CS controls (40/44-pin only)
- Brown-out detection circuitry for
Brown-out Reset (BOR)

PIC16F87X

Pin Diagrams



PIC16F87X

Key Features PICmicro™ Mid-Range Reference Manual (DS33023)	PIC16F873	PIC16F874	PIC16F876	PIC16F877
Operating Frequency	DC - 20 MHz			
RESETS (and Delays)	POR, BOR (PWRT, OST)	POR, BOR (PWRT, OST)	POR, BOR (PWRT, OST)	POR, BOR (PWRT, OST)
FLASH Program Memory (14-bit words)	4K	4K	8K	8K
Data Memory (bytes)	192	192	368	368
EEPROM Data Memory	128	128	256	256
Interrupts	13	14	13	14
I/O Ports	Ports A,B,C	Ports A,B,C,D,E	Ports A,B,C	Ports A,B,C,D,E
Timers	3	3	3	3
Capture/Compare/PWM Modules	2	2	2	2
Serial Communications	MSSP, USART	MSSP, USART	MSSP, USART	MSSP, USART
Parallel Communications	—	PSP	—	PSP
10-bit Analog-to-Digital Module	5 input channels	8 input channels	5 input channels	8 input channels
Instruction Set	35 instructions	35 instructions	35 instructions	35 instructions

+GF+ SIGNET 2536/3-8512-XX Sensor para Baixas Vazões

PORTUGUESE

3 2536 (P) 01
REV. 01 (08/2010)

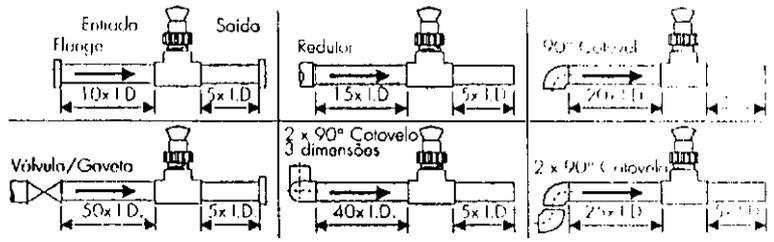


INFORMAÇÕES IMPORTANTES SOBRE SEGURANÇA

1. Nunca retire o sensor de vazão de uma tubulação pressurizada.
2. Nunca exceda a especificação máxima e mínima de temperatura/pressão.
3. Nunca faça instalações sem seguir o manual de instruções (veja o manual do sensor).
4. Use sempre óculos e máscaras de proteção durante a instalação/serviço.
5. Nunca modifique a construção do produto.
6. A falta no seguimento das informações de segurança pode resultar em sérios danos pessoais.

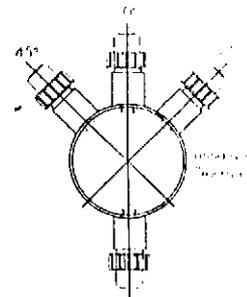
1. Posição do Acessório

Recomendações de trechos retos mínimos, a montante e a jusante do sensor.

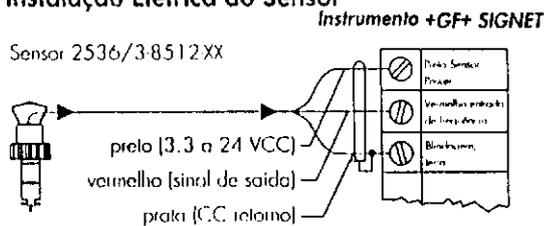


2. Posição de Montagem do Sensor

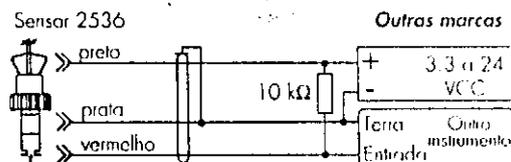
- Posição horizontal: Monte o sensor na posição vertical (0°) para obter uma performance geral melhor. Montar o sensor a um ângulo de 45° quando notar a presença de bolhas. Não montar na base do tubo quando notar a presença de sedimentos no fluido.
- Posição vertical: O sensor deve ser montado apenas em linhas com fluxo de baixo para cima.



3. Instalação Elétrica do Sensor



- Utilize cabo de 2 fios isolados para extensões de cabo até 300 m
- Manter a blindagem na junção do cabo.
- Para conectar com +GF+ SIGNET Inteltek-Pro use os parâmetros do cartão de entrada do 2535.
- Utilize seu manual do instrumento para detalhes específicos de ligação



- Necessita resistor (recomenda-se 10 kΩ).
- Utilize cabo de 2 fios isolados para extensões de cabo até 300 m
- Manter a blindagem na junção do cabo.

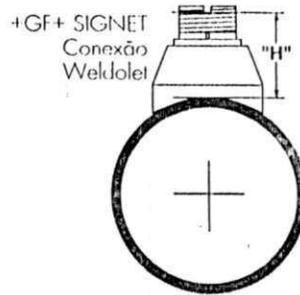
4. Conexões +GF+ SIGNET

Tipo	Descrição
	<ul style="list-style-type: none"> • Nas versões de 1/2" a 4" • Instalação por colagem • PVC ou CPVC
	<ul style="list-style-type: none"> • 2" a 4", furo no tubo de 1-7/16" • 6" a 8", furo no tubo de 2-1/4" • Alinhe os selos do acerto com as da cunha durante a montagem • Tubos acima de 8", utilize abraçadeira de laço
	<ul style="list-style-type: none"> • 2" a 4", furo no tubo de 1-7/16" • Acima de 4", furo no tubo de 2-1/4" • Tubos acima de 12", perfilado especial
	<ul style="list-style-type: none"> • 2" a 4", furo no tubo de 1-7/16" • Acima de 4", furo no tubo de 2-1/4" • Retirar o anel antes de soldar • Instalação somente por soldados habilitado • Tubos acima de 12", perfilado especial
	<ul style="list-style-type: none"> • Nas versões 1/2" a 2" • Montagem em linhas de tubos com taxa

Tipo	Descrição
	<ul style="list-style-type: none"> • Cunha de plástico métrica • Para tubos DN 65 a 200 mm • Necessário um furo no tubo de 30mm de diâmetro • Alinhe os selos do acerto com os da cunha
	<ul style="list-style-type: none"> • Conexão métrica tipo Wafer • Para tubos DN 65 a 200 mm • Siga as instruções de montagem recomendadas.
	<ul style="list-style-type: none"> • Conexão união métrica • Para tubos DN 15 a 50 mm • Siga as instruções de montagem recomendadas.

5. Dimensões H

O insert que está contido na conexão Weldolet DEVE ser retirado antes do processo de soldagem. Quando for reinstalada, é importante que esta peça seja rosqueada à altura apropriada (dimensão "H").



ENGLISH		ENGLISH	
Weldolet código	Dimensão "H" milímetros	Weldolet código	Dimensão "H" milímetros
CS4W020	60,45	CR4W020	60,45
CS4W025	59,18	CR4W025	59,18
CS4W030	58,92	CR4W030	58,92
CS4W040	58,42	CR4W040	58,42
CS4W050	78,48	CR4W050	78,48
CS4W060	75,18	CR4W060	75,18
CS4W080	69,34	CR4W080	69,34
CS4W100	139,19	CR4W100	139,19
CS4W120	133,35	CR4W120	133,35
CS4W140	129,54		
CS4W160	123,19		
CS4W180	116,84		
CS4W200	111,25		

6. Instalação do Sensor Standard

1. Lubrificar os anéis de vedação do sensor com lubrificante de silicone (ex. Pasta de silicone GE nº G632 ou equivalente). Não usar lubrificante à base de petróleo, pois irão danificar os anéis de borracha.

2. Utilizando um movimento alternado/de torção, abaixe o sensor até a conexão, certificando-se de que a seta de direção esteja apontando para a direção do fluxo, veja Figura A.

3. Rosqueie parcialmente a capa do sensor, depois gire o sensor até que o ressalto de alinhamento esteja ajustado no entalhe de encaixe. **Aperte firme com as mãos a capa do sensor.** Não utilize ferramenta na capa do sensor ou nas rosca da tampa e/ou do flange de adaptação, pois poderão ser danificados, veja Figura B.

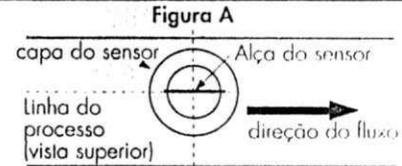


Figura B

7. Fatores-K

O Fator-K corresponde ao número de pulsos que são gerados pelo sensor para cada unidade de volume medida de fluido que passa. São apresentados para galão americano e em litros. Por exemplo num tubo de 1 polegada, o rotor gera 352.435 pulsos por galão de fluido que passa pelo rotor. Os Fatores-K são listados para tubos até 12 polegadas. Para tubos acima de 12 polegadas, consulte o seu distribuidor +GF+ SIGNET.

Tubo/Bola	Acessório +GF+ Signet Tipo	---Fator-K---	Galão EUA	Litros
T em PVC SCH 80 para Tubo em PVC SCH 80				
1/2 Pol.	PV8T005	991.706	262.010	
3/4 Pol.	PV8T007	545.142	144.027	
1 Pol.	PV8T010	352.435	93.114	
1 1/4 Pol.	PV8T012	172.184	45.812	
1 1/2 Pol.	PV8T015	112.852	31.137	
2 Pol.	PV8T020	66.739	17.633	
2 1/2 Pol.	PV8T025	42.994	11.359	
3 Pol.	PV8T030	26.652	7.041	
4 Pol.	PV8T040	15.006	3.964	
T em CPVC SCH 80 para Tubo em CPVC SCH 80				
1/2 Pol.	CPV8T005	991.706	262.010	
3/4 Pol.	CPV8T007	545.142	144.027	
1 Pol.	CPV8T010	352.435	93.114	
1 1/4 Pol.	CPV8T012	172.184	45.812	
1 1/2 Pol.	CPV8T015	112.852	31.137	
Cunha em PVC SCH 80 para Tubo em PVC SCH 80				
2 Pol.	PV8S020	66.739	17.633	
2 1/2 Pol.	PV8S025	42.994	11.359	
3 Pol.	PV8S030	26.652	7.041	
4 Pol.	PV8S040	15.006	3.964	
5 Pol.	PV8S060	8.325	2.199	
8 Pol.	PV8S080	5.016	1.325	
Cunha em PVC SCH 80 para Tubo em PVC SCH 40				
2 Pol.	PV8S020	54.700	14.452	
2 1/2 Pol.	PV8S025	37.159	9.817	
3 Pol.	PV8S030	23.697	6.261	
4 Pol.	PV8S040	13.456	3.555	
6 Pol.	PV8S060	7.459	1.971	
8 Pol.	PV8S080	4.529	1.197	
T em Aço Carbono para Tubo SCH 40				
1 1/2 Pol.	CS4T005	756.000	199.236	
1 3/4 Pol.	CS4T007	438.690	115.902	
1 Pol.	CS4T010	286.784	75.768	
1 1/4 Pol.	CS4T012	121.218	32.026	
1 1/2 Pol.	CS4T015	91.139	24.079	
2 Pol.	CS4T020	54.468	14.391	
T em Aço Inox para Tubo SCH 40				
1/2 Pol.	CR4T005	734.200	193.976	
3/4 Pol.	CR4T007	412.100	108.877	
1 Pol.	CR4T010	252.700	66.764	
1 1/4 Pol.	CR4T012	128.120	33.849	
1 1/2 Pol.	CR4T015	77.320	20.478	
2 Pol.	CR4T020	45.280	12.095	
T em Ferro Galvanizado sobre Tubo SCH 40				
1 Pol.	IR4T010	213.009	56.277	
1 1/4 Pol.	IR4T012	127.746	33.751	
1 1/2 Pol.	IR4T015	94.401	24.941	
2 Pol.	IR4T020	59.420	15.699	
Weldolets em Aço Carbono sobre Tubo SCH 40				
2 1/2 Pol.	CS4W025	37.600	9.934	
3 Pol.	CS4W030	24.340	6.431	
4 Pol.	CS4W040	13.920	3.678	
5 Pol.	CS4W050	10.860	2.869	
6 Pol.	CS4W060	7.520	1.987	
8 Pol.	CS4W080	4.340	1.147	
10 Pol.	CS4W100	2.760	0.729	
12 Pol.	CS4W120	1.940	0.513	
Weldolets em Aço Inox sobre Tubo SCH 40				
2 1/2 Pol.	CR4W025	37.600	9.934	
3 Pol.	CR4W030	24.340	6.431	
4 Pol.	CR4W040	13.920	3.678	
5 Pol.	CR4W050	10.860	2.869	
6 Pol.	CR4W060	7.520	1.987	
8 Pol.	CR4W080	4.340	1.147	
10 Pol.	CR4W100	2.760	0.729	
12 Pol.	CR4W120	1.940	0.513	
Abraçadeiras em Ferro SCH 80 sobre Tubo SCH 80				
2 Pol.	IR8S020	64.720	17.099	
2 1/2 Pol.	IR8S025	42.480	11.223	
3 Pol.	IR8S030	26.420	6.980	
4 Pol.	IR8S040	14.700	3.884	
5 Pol.	IR8S050	12.180	3.218	
6 Pol.	IR8S060	8.440	2.230	
8 Pol.	IR8S080	4.900	1.295	
10 Pol.	IR8S100	3.060	0.808	
12 Pol.	IR8S120	2.160	0.571	
Abraçadeiras em Ferro SCH 80 sobre Tubo SCH 40				
2 Pol.	IR8S020	53.640	14.172	
2 1/2 Pol.	IR8S025	37.600	9.934	
3 Pol.	IR8S030	23.220	6.135	
4 Pol.	IR8S040	13.260	3.503	
5 Pol.	IR8S050	11.040	2.917	
6 Pol.	IR8S060	7.240	1.913	
8 Pol.	IR8S080	4.400	1.162	
10 Pol.	IR8S100	2.800	0.740	
12 Pol.	IR8S120	1.980	0.523	
Brazolets em Cobre/Bronze sobre Tubo SCH 40				
2 1/2 Pol.	BR4B025	37.600	9.934	
3 Pol.	BR4B030	24.340	6.431	
4 Pol.	BR4B040	13.920	3.678	
5 Pol.	BR4B050	10.860	2.869	
6 Pol.	BR4B060	7.520	1.987	
8 Pol.	BR4B080	4.340	1.147	
10 Pol.	BR4B100	2.760	0.729	
12 Pol.	BR4B120	1.940	0.513	
T em Bronze sobre Tubo SCH 40				
1 Pol.	BR4T010	213.009	56.277	
1 1/4 Pol.	BR4T012	127.746	33.751	
1 1/2 Pol.	BR4T015	94.401	24.941	
2 Pol.	BR4T020	59.420	15.699	
Tubo em Cobre com Acessórios em Cobre				
1/2 Pol. SK K	CUKT005	917.844	242.495	
1/2 Pol. SK L		858.217	226.742	
3/4 Pol. SK K	CUKT007	428.270	113.149	
3/4 Pol. SK L		385.737	101.912	
1 Pol. SK K	CUKT010	256.430	67.439	
1 Pol. SK L		241.639	63.841	
1 1/4 Pol. SK K	CUKT012	126.437	33.600	
1 1/4 Pol. SK L		120.932	32.152	
1 1/2 Pol. SK K	CUKT015	115.620	30.560	
1 1/2 Pol. SK L		112.030	29.598	
2 Pol. SK K	CUKT020	63.385	16.846	
2 Pol. SK L		61.735	16.420	

Fórmula de Conversão:
1 Galão Americano = 0,003785 metros cúbicos

Tubos DIN Fatores-K

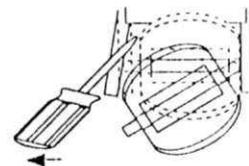
Tubo Bola	Acessório Signet Tipo	---FATOR-K---			Tubo Bola	Acessório Signet Tipo	---K-FACTOR---		
		Galão LUA	litros	Código			Galão LUA	litros	Código
Acessórios em Polipropileno (DIN/ISO e B5 e ANSI)					Acessórios em PVC (DIN/ISO) Sistema Métrico				
DN 15	PPAT005	952 870	251 749	198 150 522	DN 15	PVMT005	972 366	256 999	198 150 522
DN 20	PPAT007	561 100	148 771	198 150 523	DN 20	PVMT007	485 691	128 120	198 150 523
DN 25	PPAT010	291 604	77 042	198 150 524	DN 25	PVMT010	297 274	78 540	198 150 524
DN 32	PPAT012	169 222	44 709	198 150 525	DN 32	PVMT012	170 249	44 980	198 150 525
DN 40	PPAT015	103 897	27 450	198 150 526	DN 40	PVMT015	103 269	27 450	198 150 526
DN 50	PPAT020	60 289	16 060	198 150 527	DN 50	PVMT020	59 500	15 279	198 150 527
DN 65	PPAT025	41 498	10 964	198 150 560	DN 65	PVMT025	34 923	9 285	198 150 560
DN 80	PPAT030	26 286	7 077	198 150 561	DN 80	PVMT030	24 981	6 599	198 150 561
DN 100	PPAT040	12 415	4 601	198 150 562	DN 100	PVMT040	16 275	4 300	198 150 562
DN 125	PPAT050	10 168	2 686	198 150 563	DN 150	PVMT060	8 176	2 169	198 150 563
DN 150	PPAT060	7 312	1 932	198 150 564	DN 200	PVMT080	4 088	1 080	198 150 564
DN 200	PPAT080	3 995	1 055	198 150 565					
Acessórios em PVDF (DIN/ISO e B5 e ANSI)									
DN 15	SPAT005	827 257	218 562	198 150 529					
DN 20	SPAT007	482 852	129 424	198 150 530					
DN 25	SPAT010	283 554	74 915	198 150 531					
DN 32	SPAT012	158 588	41 822	198 150 532					
DN 40	SPAT015	86 980	22 980	198 150 533					
DN 50	SPAT020	50 385	13 312	198 150 534					
DN 65	SPAT025	36 133	9 545	198 150 521					
DN 80	SPAT030	24 715	6 530	198 150 522					
DN 100	SPAT040	16 120	4 259	198 150 523					
DN 125	SPAT050	8 862	2 341	198 150 524					
DN 150	SPAT060	6 454	1 705	198 150 525					
DN 200	SPAT080	4 072	1 076	198 150 526					

8. Informações para Pedido

3.25 Standard Sensor de Banca Variável						Kit de Montagem Integral					
Inclui os Acessórios em Vácuo						Kit de Montagem Integral					
Peça nº	Invólucro	Fixo em	Rotor em	Diâmetro do tubo	Código	Peça nº	Descrição	Peça nº	Descrição	Peça nº	Descrição
3.25.16.P0	Polipropileno	Titânio	PVDF (paraf)	0.5" até 4.0" pol	198 B40 143	3.B011	Kit do Sensor de montagem Integral com rotor EPE 1.02	198 B40 143	Kit do Sensor de montagem Integral com rotor EPE 1.02	198 B40 143	Kit do Sensor de montagem Integral com rotor EPE 1.02
3.25.16.P1	Polipropileno	Titânio	PVDF (paraf)	5.0" até 8.0" pol	198 B40 144	3.B011 D	Kit do Sensor de montagem Integral com rotor EPE 1.02 D	198 B40 144	Kit do Sensor de montagem Integral com rotor EPE 1.02 D	198 B40 144	Kit do Sensor de montagem Integral com rotor EPE 1.02 D
3.25.16.P2	Polipropileno	Titânio	PVDF (paraf)	10" até 36" pol	198 B40 145						
3.25.16.V0	PVDF (natural)	Hastelloy C	PVDF (natural)	0.5" até 4.0" pol	198 B40 146						
3.25.16.V1	PVDF (natural)	Hastelloy C	PVDF (natural)	5.0" até 8.0" pol	198 B40 147						
3.25.16.10	PVDF (natural)	PVDF (natural)	PVDF (natural)	0.5" até 4.0" pol	198 B40 149						
Acessórios						Acessórios					
Peça nº	Material	Código	Peça nº	Material	Código	Peça nº	Material	Código	Peça nº	Material	Código
3.25.16.120	PVDF (paraf)	198 B20 052	M1546.1	Titânio	198 B01 1B2	3.B512.P0	Polipropileno	PVDF (paraf)	3.25.16.120	PVDF (paraf)	198 B20 052
3.25.16.121	PVDF (natural)	198 B20 054	M1546.2	Hastelloy C	198 B01 1B3	3.B512.P1	Polipropileno	PVDF (paraf)	3.25.16.121	PVDF (paraf)	198 B20 054
			M1546.3	Inóxido	198 B20 014	3.B512.V0	PVDF (natural)	Hastelloy C			
			M1546.4	Aço Inox 316	198 B20 015	3.B512.10	PVDF (natural)	PVDF (natural)			
			P5154.5	Cerâmico	198 B20 016						
			3.25.16.121	PVDF (natural)	198 B20 054						
				+ Rotor							
Peça nº	Material	Código	Peça nº	Descrição	Código						
12.20.00.21	Vacuum [w1]	198 B01 1B6	P31542.2	Capa do Sensor, PP	198 B40 232						
12.24.00.21	FRP	198 B20 096	P31536	Tampa, PP	198 B40 201						
12.28.00.21	Estat	198 B20 007	P31536.2	Tampa, PVDF	198 B40 202						
				com capa Standard							

9. Procedimento para a Troca do Rotor

- Para retirar o rotor, introduza uma pequena chave de fenda entre o rotor e a orelha do sensor.
- Cure a lâmina da chave para flexionar a orelha para fora, o suficiente para retirar uma ponta do rotor e o pino. **Não** flexione a orelha mais do que o necessário! Se ela quebrar o sensor não tem mais conserto.
- Instale o novo rotor introduzindo uma ponta do pino no furo, depois flexione a orelha oposta o bastante para encaixar o rotor no lugar.



10. Especificações

Características

Variação de vazão: 0.1 até 6 m³/s
 Incerteza: ±1% do fundo da escala
 Repetibilidade: ±0.5% do fundo da escala

Variação de aplicação:

- Sensor 2536: 15 até 900 mm
- Sensor 3-8512-XX: 15 até 200 mm

Comprimento do Cabo (2536): 7.6 m podendo ser alongado para 300 m, com uma extensão

Tipo do Cabo: 2 condutores par-torcido com blindagem (Belden 8451)

Materiais

Corpo do Sensor: Disponível em vários termoplásticos. Veja seção 8 para maiores detalhes.

Elétrico

Voltagem: 3.3 até 24 VCC regulado

Corrente: <1.5 mA @ 3.3 - 6 VCC

Tipo de saída: transistor coletor aberto, receptor

Corrente de saída: 10 mA máx.

Condições do Fluido

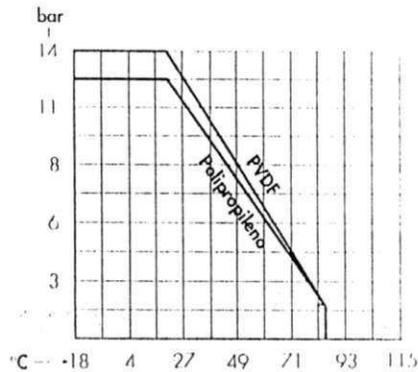
limites de pressão/temperatura

Corpo de Polipropileno:

- 12.5 bar máx. @ 20 °C
- 1.7 bar máx. @ 85 °C

Corpo de PVDF:

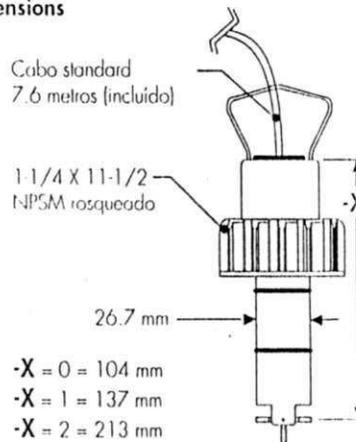
- 14 bar máx @ 20 °C
- 1.7 bar máx @ 85 °C



Padrões de Qualidade

- CE
- Produzido sob ISO 9001

2536 Dimensions



O último dígito (X) no número da peça do sensor representa o comprimento geral do sensor

+GF+ SIGNET

Sales Offices:

USA George Fischer, Inc., 2882 Dow Avenue, Tustin, CA 92780/USA, Tel. (714) 731-8800, Fax (714) 731-6201
Switzerland Georg Fischer Rohrleitungssysteme AG, P.O. Box 671, CH-8201 Schaffhausen/Switzerland, Tel. 052/631 1111, Fax 052/631 2830
Singapore George Fischer Pte. Ltd., 15 Kaki Bukit Road 2, KB Warehouse Complex, Singapore 1441, Tel. 65/747 0611, Fax 65/747 0577
Japan Yubata George Fischer, 2-47 Shikitsuhigashi, 1-Chome, Naniwa-Ku, Osaka, 556-91 Japan, Tel. 816/648 2545, Fax 816/648 2565
China George Fischer Ltd., Rm 1503, Business Residence Bldg. of Asia Plaza, 2-3 Bldg. No. 5th Qu Anzhenxili, Chaoyang Qu, Beijing 100029, P.R. China, Tel. 86/10 6443 0577, Fax 86/10 6443 0578
Australia George Fischer Pty. Ltd., Suite 3, 41 Stamford Road, Oakleigh, Victoria 3166, Australia, Tel. 61/3 9568 0966, Fax 61/3 9568 0968

Signal Scientific Company, 3401 Aerojet Avenue, El Monte, CA 91731-2882 U.S.A., Tel. (626) 571-2770, Fax (626) 573-2057

GEORGE FISCHER +GF+ Piping Systems
 32536 0001/1/134/98, Português

© Signal Scientific Company 1996



Printed in U.S.A.

INTRODUÇÃO.....	Pag 3
CARACTERÍSTICAS GERAIS.....	Pag 3
INSTALAÇÃO.....	Pag 4
LIGAÇÃO.....	Pag 5
CALIBRAÇÃO.....	Pag 7
DIMENSÕES.....	Pag 8
GARANTIA.....	Pag 9

MTP-101

Manual de Instruções, V (07/03)



MARKARE

INTRODUÇÃO

Construído totalmente em aço inoxidável.

O Transmissor de Pressão MTP 101 foi designado para trabalhar com pressões em processo agressivo e normal.

Sua construção baseia-se em um sensor Piezoresistivo em estado sólido (C.I.), um Semicondutor em miniatura é responsável pela saída em milivolts proporcional à pressão aplicada. Este sensor é protegido por um diafragma em silicone ou em aço inoxidável 316.

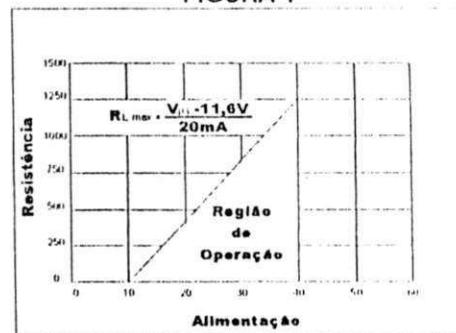
Seu circuito eletrônico é responsável pela conversão de mV para corrente 4 à 20mA ou 0-10 Vcc e compensação de temperatura ambiente.

Cada transmissor é testado por horas em temperatura caracterizadas para seu correto funcionamento.

CARACTERÍSTICAS GERAIS

Saída	4 à 20mA ou 0 à 10Vcc;
Alimentação	12 à 36 Vcc
Precisão	0,5% do Span
Temp. Ambiente	0 à 40°C
Temp. Processo	0 à 80°C
Tempo de resposta	100 uS
Resistência de Carga	1,2 K ohms
Conexão ao Processo	¼" \ ½" \ ¾" \ 1" NPT ou BSP

FIGURA 1



Fonte de Alimentação X Carga

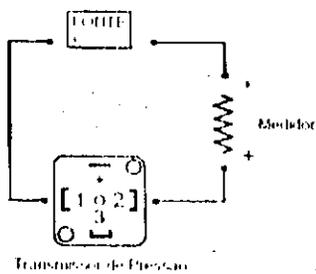
INSTALAÇÃO

Deve ser instalado de acordo com manômetros convencionais, respeitando-se a temperatura da caixa de trabalho.

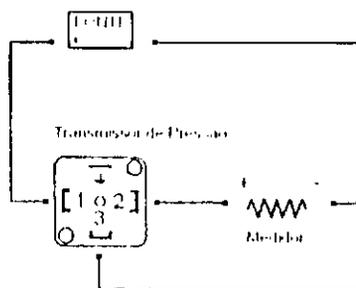
Atenção, verificar a tensão de alimentação definida na etiqueta do equipamento.

LIGAÇÃO

2 Fios



3 Fios



CALIBRAÇÃO

O equipamento já é ajustado de fábrica, caso necessite de nova calibração, proceda da seguinte maneira:

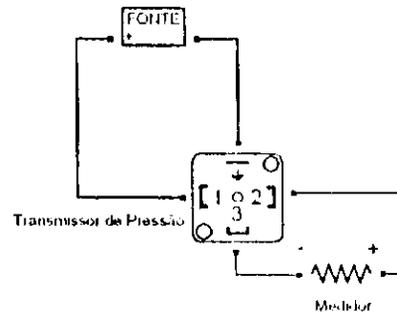
Instrumentos utilizados:

- 1 Multímetro Digital;
- 1 Resistor de Carga 250 OHMS
- 1 Fonte de Alimentação 24VCC

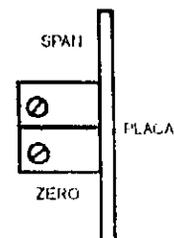
- 1) Faça as conexões e ligações descritas na instalação Pág 4 e 5;
- 2) Retire o conector Macho preso por 2 parafusos na carcaça do transmissor para acessar os trimpots de ajuste;
- 3) Aplique a pressão correspondente à ZERO na entrada;
- 4) Ajuste o ZERO para se conseguir 4mA ou 0 Vcc;
- 5) Aplique a pressão que corresponde ao SPAN na entrada;
- 6) Ajuste o SPAN para se conseguir 20mA ou 10 Vcc e repita os itens 3, 4, 5 e 6 até que se obtenha as condições desejadas;

Feche corretamente e o equipamento estará calibrado.

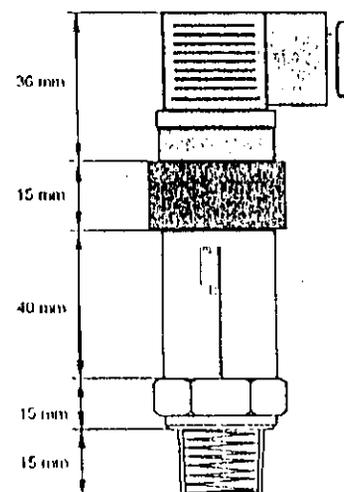
4 Fios



LOCALIZAÇÃO DOS TRIMPOTS



DIMENSÕES



Prof. Dr. Kepler B. França
Coordenador do Laboratório de
Referência em Dessalinização

MTP-101

TERMO de GARANTIA

A Markare Equipamentos garante seus produtos contra defeitos de fabricação por um período de 12 meses (não estão inclusos materiais descartáveis), a partir da data de faturamento.

Estão excluídas da garantia calibra-ções, pois os mesmos são de recomendação do próprio Manual de Instruções

O equipamento perderá sua garantia caso ocorra alguns dos seguintes itens:

- 1-Violação do Equipamento;
- 2-Acidentes;
- 3-Manuseio incorreto;
- 4-Equipamentos instalados incorretamente;
- 5-Equipamentos submetidos a maus tratos
- 5-Em caso de equipamentos que envolva pressão,

a Markare não se responsabiliza por rompimento de célula de carga, isto ocorre quando superada a pressão em 2 vezes a nominal do aparelho.

Em qualquer caso, a Markare Equipamentos se responsabilizará até o valor da solução dos problemas encontrados, que terminará logo após o último dia do termo de garantia.

O equipamento com defeito deve ser enviado para o endereço abaixo, sendo que as despesas decorrentes deste envio correm por conta do cliente.

MTP-101

MARKARE EQUIPAMENTOS
RUA DOM FRANCISCO AQUINO CORREA, 15
CEP 13075-080
TEL.: (019) 3241-7381 FAX: (019) 32414557
BAIRRO VILA NOVA - CAMPINAS - S.P.
EMAIL: markare@markare.com.br