

Substituição de Anéis de

Vedação de PTFE

por

Anéis de bronze (CuAl) com

adição de Sn superficial.

INTRODUÇÃO

A indisponibilidade de um equipamento pode trazer vários prejuízos para uma unidade de produção, dependendo da sua função no processo os transtornos podem ser ainda maiores.

As falhas em materiais podem ocorrer devido:

- Seleção inadequada de materiais;
- Erro de operação;
- Erro de projeto;
- Exigência altos desempenhos;
- Mudança de cenário operacional;

INTRODUÇÃO

Tal seleção consiste em analisar vários critérios antes de definir o material, por isso antes da aplicação do mesmo devemos caracterizar principalmente as condições de serviço, uma vez que essas irão ditar as propriedades que o material deve possuir.

O PTFE é considerado um polímero de engenharia com alta resistência química e baixo coeficiente de atrito. Pois apresenta baixa resistência ao deslizamento, o que leva a falha dos componentes desenvolvidos com esse material.

INTRODUÇÃO

Em contra partida o bronze com adição de estanho possui propriedades favoráveis ao cenário requerido pelo sistema de vedação da bomba alternativa.

O bronze foi tratado termoquimicamente com estanho (Sn) sob uma temperatura de 150°C , e após inserido como parte integrante do sistema de vedação de uma bomba alternativa de deslocamento positivo.

BOMBA DE DESLOCAMENTO POSITIVO/ALTERNATIVA

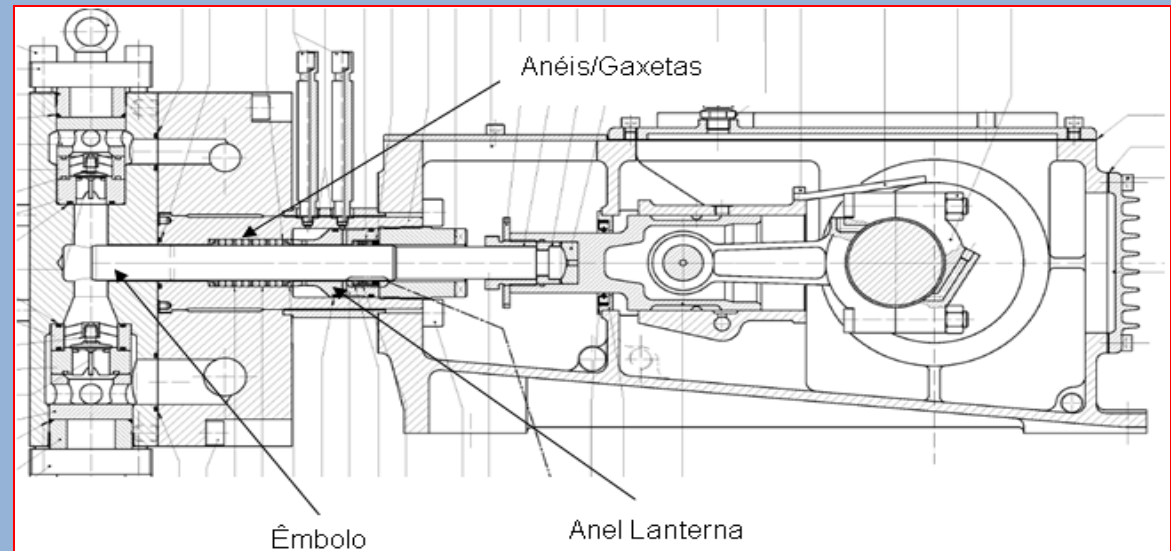
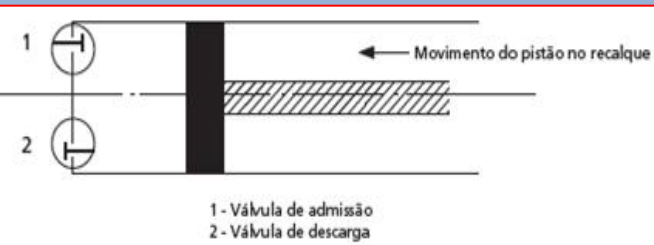
As bombas volumétricas também conhecidas como bombas de deslocamento positivo, são equipamentos mecânicos utilizados para o transporte de um líquido, de um ponto de menor energia para outro de maior energia. Produz pressões elevadas com baixa velocidade.

As bombas alternativas envolvem um movimento intermitente de um pistão no interior de um cilindro. Isso resulta no escoamento de um volume fixo a cada golpe do pistão.

O movimento de admissão produz uma de pressão no interior do cilindro, em função da aceleração do fluido e das perdas de carga na válvula, com isso a válvula de admissão (1) se abre, permitindo o enchimento do cilindro pelo líquido que se encontra a uma pressão maior.

BOMBA DE DESLOCAMENTO POSITIVO/ALTERNATIVA

Durante esse movimento, a válvula de descarga (2) permanece fechada pela diferença de pressão. No curso do movimento de descarga, o elemento bombeador (pistão ou êmbolo) empurra o líquido para fora do cilindro através da válvula de descarga (2), enquanto a válvula de admissão (1) mantém-se fechada. É importante ressaltar que as válvulas de admissão e descarga são atuadas pela diferença de pressão, entre a linha de processo e o interior da bomba .



A FALHA DO POLIMERO

- Deformação do PTFE;
- Desgaste;
- Fusão;

O Polímero não suportava a temperatura e pressão da temperatura dentro da caixa de vedação da Bomba.



COMPONENTES DO SISTEMA VEDAÇÃO EM PTFE



Anel guia danificado



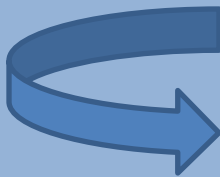
Sistema de Vedação Original



Anéis e gaxetas deformadas

OCORRÊNCIA DE FALHAS

A parte mais afetada foi os anéis de PTFE do sistema de vedação da bomba, totalizando 16 falhas. Sendo que 9 falhas foram registradas no ano de 2013 e 7 falhas registradas no ano de 2014. Essas falhas ocorreram ao longo dos 12 meses de cada ano.

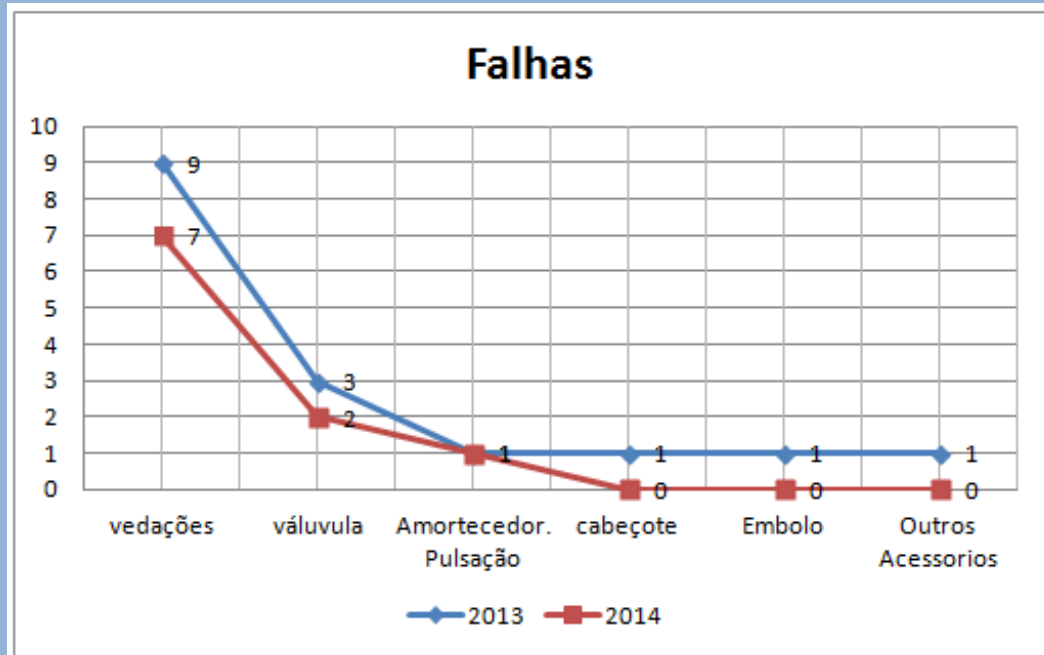


Modificar ordens PM: Lista ordens								
Ordem Operações								
Dt. referência	Ordem sup.	Ordem	Texto breve	Status do sistema	Status usuário	Nota	Tp.	CenTrabRes
02.01.2013		2010403863	XV-1233014 - REPARO DE VALVULA	ENCE CONF IMPR CAPC NOLQ	SIMP	5864571	ZM01	110INS02
01.02.2013		2008810402	LG-1233002A - bóia deformada	ENCE CONF IMPR CAPC KKMP NOLQ	SIMP	5043977	ZM01	110INS02
15.02.2013		2010150788	B-1233001B: BOMBA C/VAZAMENTO EXCESSIVO	ENCE CONF CAPC IMPA MOME MatC NOLQ	SIMP ANEX PMAU	5957060	ZM01	110MEC02
15.03.2013		2009506034	Manutenção mecânica na válvula manual	ENCE CONF CAPC KKMP NOLQ	SIMP	5545637	ZM01	110MEC02
15.04.2013		2010384203	REPARAR VALVULA	ENCE CONF IMPR CAPC KKMP NOLQ	SIMP ANEX	6103034	ZM01	110INS02
07.05.2013		2010640807	LV-1233001A - VERIFICAR/SANAR VAZAMENTO	ENCE CONF IMPR CAPC KKMP NOLQ	SIMP ANEX PPRO	6277674	ZM01	110MEC02
06.06.2013		2010524439	PIT-1233020 - VERIFICAR/REPARAR DISPLAY	ENCE CONF IMPR CAPC KKMP NOLQ	SIMP ANEX	6161590	ZM01	110INS02
15.07.2013		2009974985	VERIFICAR CALIBRAÇÃO DO LIT-1233005A	ENCE CONF IMPR CAPC KKMP NOLQ	SIMP ANEX	5678806	ZM01	110INS02
27.07.2013		2010722325	LV-1233001B- VERIFICAR/SANAR VAZAMENTO	ENCE CONF IMPR CAPC KKMP NOLQ	SIMP ANEX	6334047	ZM01	110INS02
16.10.2013		2011091312	Reparar Instrumento LG-1233002A	LIB CNPA IMPR CAPC MATF MOME NOLQ	JMPD TRIA ANEX FMAT FTRP PMAU	6535199	ZM01	110INS02

OCORRÊNCIA DE FALHAS

A indisponibilidade da bomba, ocasionada pelo sistema de vedação gerou um custo para a unidade de produção de R\$757.226,19.

OCORRÊNCIA DAS FALHAS



API-674

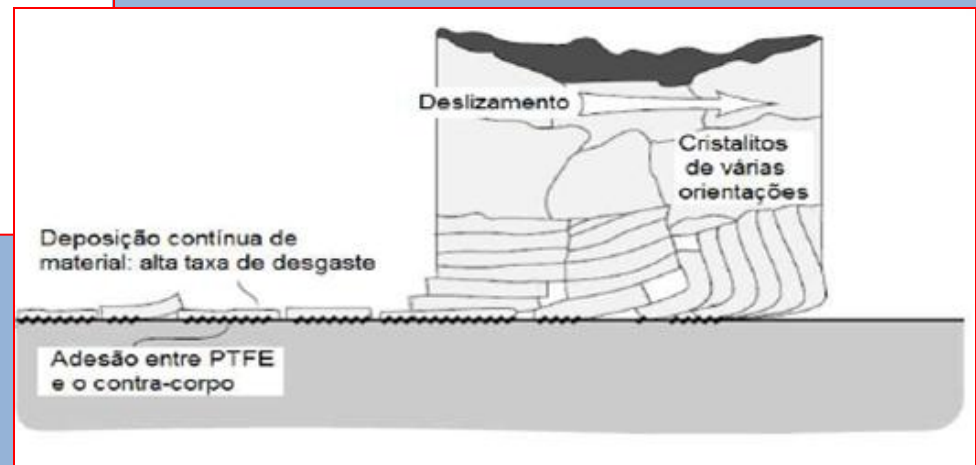
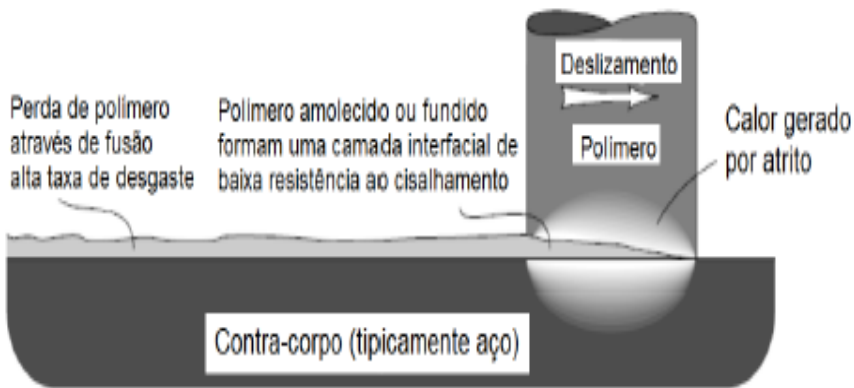
Itens	Vida útil (meses)
Gaxetas/Anéis	4 a 12
Válvulas	9 a 24
Válvulas de assento	9 a 24
Êmbolos	12 a 36

DESGASTE POR FUSÃO

A baixa condutividade térmica e baixo ponto de fusão dos materiais poliméricos, durante o processo de deslizamento está passivo de alcançar temperaturas no contato suficientes para causar amolecimento e até fusão do material. Nestas condições, uma fina camada de material polimérico é transferida e fica presa ao contra-corpo, o qual não sofre danos, pois sendo normalmente de material metálico, apresenta temperatura de fusão muito acima da temperatura do contato. O Mecanismo de desgaste por fusão em polímeros causado por elevadas temperaturas de contato alcançadas durante o deslizamento.

DESGASTE POR FUSÃO

Este tipo de desgaste está fortemente relacionado com a temperatura do contato e a severidade da condição imposta no deslizamento, sendo a ultima dependente de parâmetros como pressão de contato e velocidade de deslizamento, que podem ocorrer fusões localizadas no material polimérico durante o deslizamento.



DESGASTE POR FUSÃO

O atrito do polímero é influenciado por dois mecanismos, deformação e aderência. Durante o deslizamento polímero-metal a deformação envolve dissipação de energia em volta da zona de contato. Na aderência também acontece o mesmo processo, originando na quebra de ligações poliméricas e conseqüentemente ligação do polímero com a superfície oposta.

O calor gerado pelo atrito resulta em amolecimento do polímero ou fusão.

CARACTERÍSTICAS PTFE

A estrutura do PTFE é extremamente diferente em relação aos outros polímeros. O átomo de flúor é muito maior que o átomo de hidrogênio e como resultado, a cadeia não é tão longa, possuindo um formato espiralado. A inércia química do PTFE é excelente devido a sua estrutura química, porém as alterações na estrutura podem ocorrer durante o processamento, ou por fusão, gerando perda das propriedades em alta temperatura. Entretanto, o **PTFE tem algumas limitações, possui baixa resistência mecânica e baixa resistência abrasiva**. O material é muito utilizado em aplicações em mancais e selos, portanto **o material apresenta baixa resistência ao desgaste por deslizamento, chegando a falhar prematuramente.**

O PRODUTO

Devido várias ocorrências de falhas no sistema de vedação da Bomba foi desenvolvido o :

Anel de Bronze com Sn na Superfície.



JUSTIFICATIVA PARA ESCOLHA DO BRONZE

O material polimérico em contato provoca aumento da temperatura causando desgaste por fusão devido à baixa condutividade térmica e podendo agravar sua situação quando o mesmo opera em situações adversas onde as aplicações exigem altas temperaturas e altas pressões .

JUSTIFICATIVA PARA ESCOLHA DO BRONZE

O PTFE não suportava, uma pressão e temperatura média respectivamente de 115°C e 3.019 psi. Com base nessas informações a Tabela , a seguir, lista a pressão e temperatura dos resultados de ensaio obtido por Bento, conforme a norma ASTM D 695 que retrata deformação do PTFE à 23°C com cargas de 500psi, 100psi e 2000 psi.

JUSTIFICATIVA PARA ESCOLHA DO BRONZE

Propriedade	Método de Teste	Unidade	PTFE Modificado	PTFE Convencional
Resistência a Tração na Ruptura	ASTM D 4894	psi	4500	4500
Alongamento na Ruptura	ASTM D 4894	%	450	375
Deformação sobre carga (creep) 23°C 500 psi 1000 psi 2000 psi	ASTM D 695	%	0.2 0.4 3.2	0.7 1.0 8.2
Deformação sobre carga (creep) - DMA 1000 psi a 25°C 500 psi a 100°C 200 psi a 200°C	ASTM D 695	%	5.3 5.4 3.6	6.7 8.5 6.4
Vazios	FTIR	%	Moldagem por Compressão: 0 a 0.5	Moldagem por Compressão: 0 a 1.5 Extrusão RAM: 1.0 a 5.0

JUSTIFICATIVA PARA ESCOLHA DO BRONZE

O bronze como é utilizado principalmente em mancais deslizantes com cargas, resistente a tensões cíclicas ou alternadas, apresentam resistência a desgastes, resistência à corrosão e são tratáveis termicamente. O material é comumente usado em sistemas de vedação, pois o mesmo promove auxílio fundamental na vedação atua no interior da caixa de vedação como suporte para que as gaxetas não deformem sobre altas pressões, evitando que elas sejam extrudadas e o estanho colabora nessa integração com a lubrificação do material.

CARACTERÍSTICAS DOS MATERIAIS BRONZE / ESTANHO

O **Bronze** de alumínio é uma liga excelente sob o ponto de vista de resistência à fadiga por isso é empregada nos casos em que prevalecem tensões cíclicas ou alternadas. O material tem alta capacidade de manter ductilidade em altas e baixas temperaturas. O bronze é usado em bombas, válvulas, rotores, mancais, guias de assentos de válvulas. Possui boa **resistência mecânica**, e **boa resistência à abrasão e baixo coeficiente de fricção contra aço**.

O **Estanho** é um metal é altamente dúctil, de aparência branco-prateada é atacado por ácidos fortes. O ponto de fusão é 232°C. O material possui baixa resistência mecânica e elevada resistência à corrosão. O estanho protege o aço contra corrosão e age como lubrificante quando o aço passa entre superfícies. A adição de estanho ao cobre a liga pode influenciar diretamente em suas características como: **aumento do limite elástico e aumento de ductilidade**.

OBJETIVO

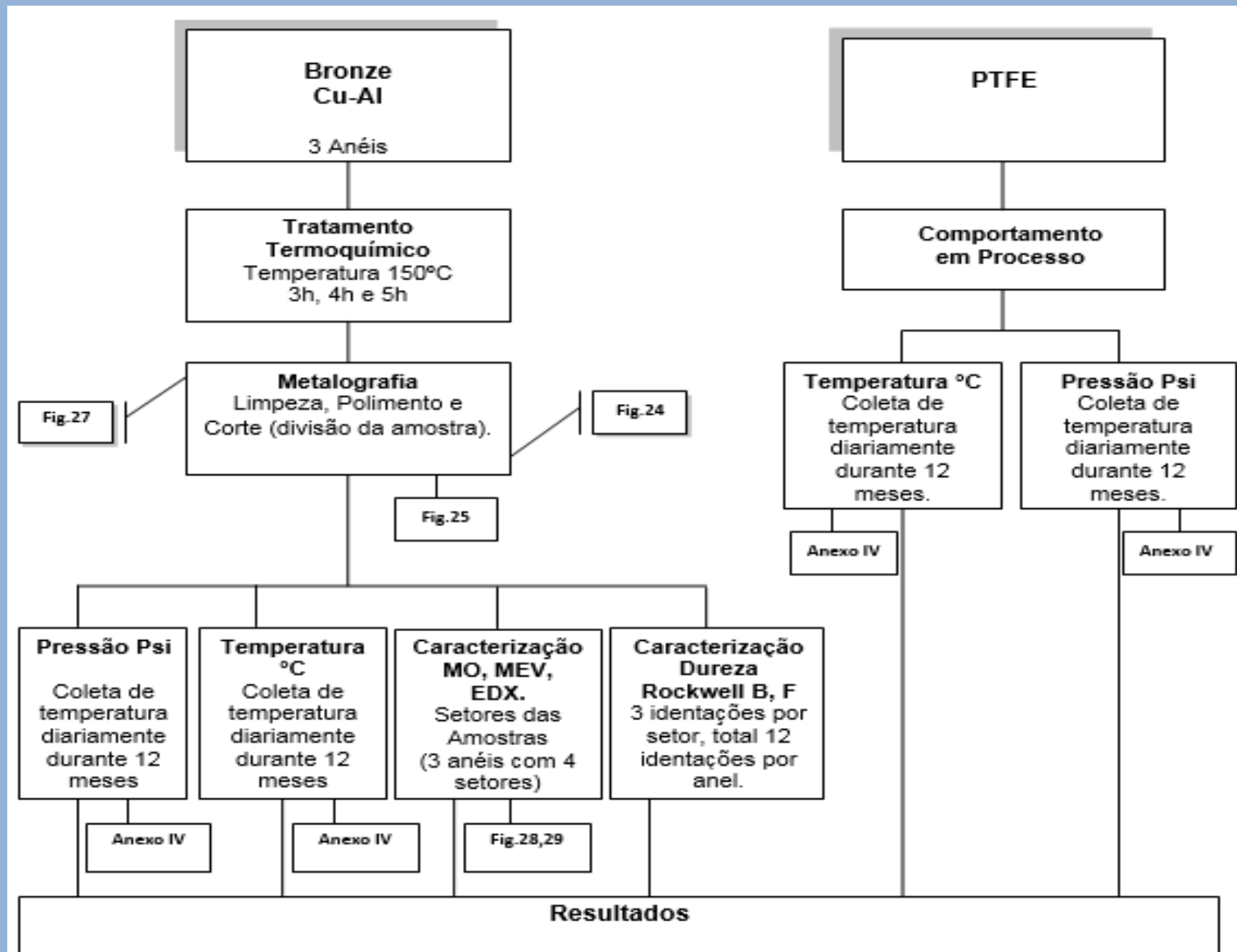
O estudo tem como objetivo:

- Investigar o desempenho dos anéis de bronze com Sn;
- Verificar o comportamento dos anéis em altas temperaturas e pressão;
- Analisar sua estrutura após o tratamento termoquímico.

METODOLOGIA

Para realização do estudo foram utilizados pesquisa bibliográfica de seleção de materiais, ensaios de dureza, microscopia óptica (MO), análise de microscopia eletrônica (MEV), análise de EDX e monitoramento da pressão e temperatura.

ETAPAS DE PROCESSAMENTO E CARACTERIZAÇÃO



DIFUSÃO

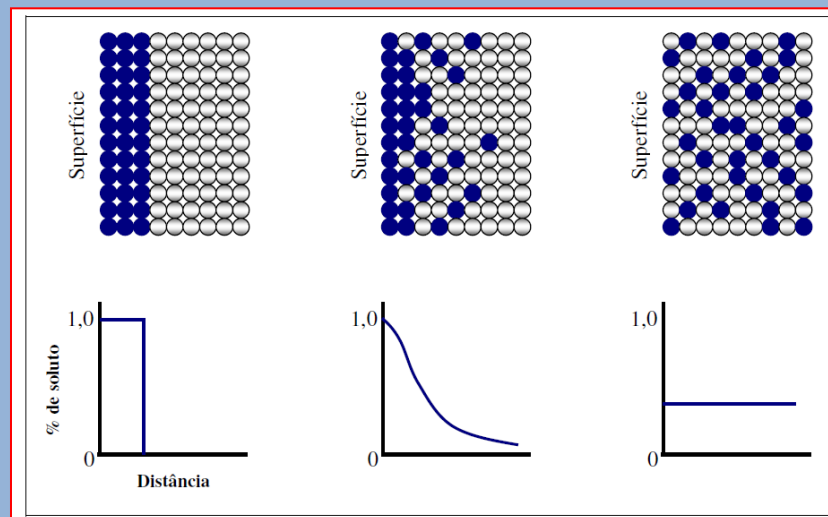
Difusão é o transporte de matéria no estado sólido, provocado pela temperatura e pelo gradiente de concentração, portanto o mecanismo é marcado pelo movimento de uma região de alta concentração para outra de baixa concentração.

A maioria das situações práticas de difusão é em estado não estacionário. Nesse estado o fluxo de difusão e o gradiente de concentração em algum ponto particular num sólido variam com o tempo, resultando um acúmulo ou decréscimo (esgotamento) das espécies difusoras.

DIFUSÃO

Para descrever a difusão em estado não estacionário unidimensional, é utilizado a equação diferencial parcial conhecida por LEI DE FICK.

A equação diferencial da segunda LEI DE FICK significa obter funções que relacionem a composição em função da **distância** e do **tempo** para uma dada **temperatura**.



TRATAMENTO TERMOQUÍMICO

Antes da realização do processo de difusão, os anéis foram preparados na seguinte ordem:

- 1º Identificação das amostras;
- 2º Aplicação de pasta de enxofre: Para retirar a película de óxido do material e ajudar na aderência do estanho;
- 3º Imersão dos anéis no estanho: As amostras foram colocadas em recipientes e receberam camadas de estanho na parte inferior e superior;
- 4º Tratamento termoquímico. O Forno foi ligado uma hora antes do início de inserção das amostras para homogeneização da temperatura. Após atingido a temperatura de 150°C, foram introduzidas todas as amostras no forno;
- 5º Retirada e Limpeza. A primeira amostra foi retirada do forno em 3 horas, a segunda em 4 horas e a terceira e última em 5 horas de tratamento . Depois de 12 horas de resfriamento as amostra foram retiradas dos recipientes e removido o excesso de pó de estanho.

TRATAMIENTO TERMOQUÍMICO



RESULTADOS (TEMPERATURA E PRESSÃO)

Para acompanhamento da temperatura dos materiais em operação foram utilizados transmissores de temperatura e de pressão, nos quais são parte integrante do processo da Bomba alternativa.

Para coletas das variáveis foi utilizado **PI**, o sistema possui conexão direta com os equipamentos e a sua é função monitorar e armazenar as condições operacionais dos equipamentos da planta. O sistema coletou informações diariamente no período de 34 meses do PTFE e do Bronze.

TEMPERATURA x PRESSÃO

2013

PTFE		
Media Mensal	Pressão(psi)	Temp (°C)
JAN	3.106	133
FEV	3.022	119
MAR	3.033	121
ABR	2.958	109
MAI	3.027	111
JUN	2.993	112
JUL	3.131	142
AGO	3.023	109
SET	3.037	113
OUT	2.903	100
NOV	3.112	119
DEZ	2.882	101

Temp. média
3.019 psi -115°C

2014

PTFE x Bronze		
Status inicio do dia	Pressão(psi)	Temp (°C)
JANEIRO	3009	104
FEVEREIRO	2913	102
MARÇO	2983	103
ABRIL	2913	100
MAIO	2990	105
JUNHO	0	0
JULHO	3004	102
AGOSTO	3022	116
SETEMBRO	3073	113
OUTUBRO	2813	90
NOVEMBRO	0	0
DEZEMBRO	2823	93

Temp. média
2.462 psi - 85°C

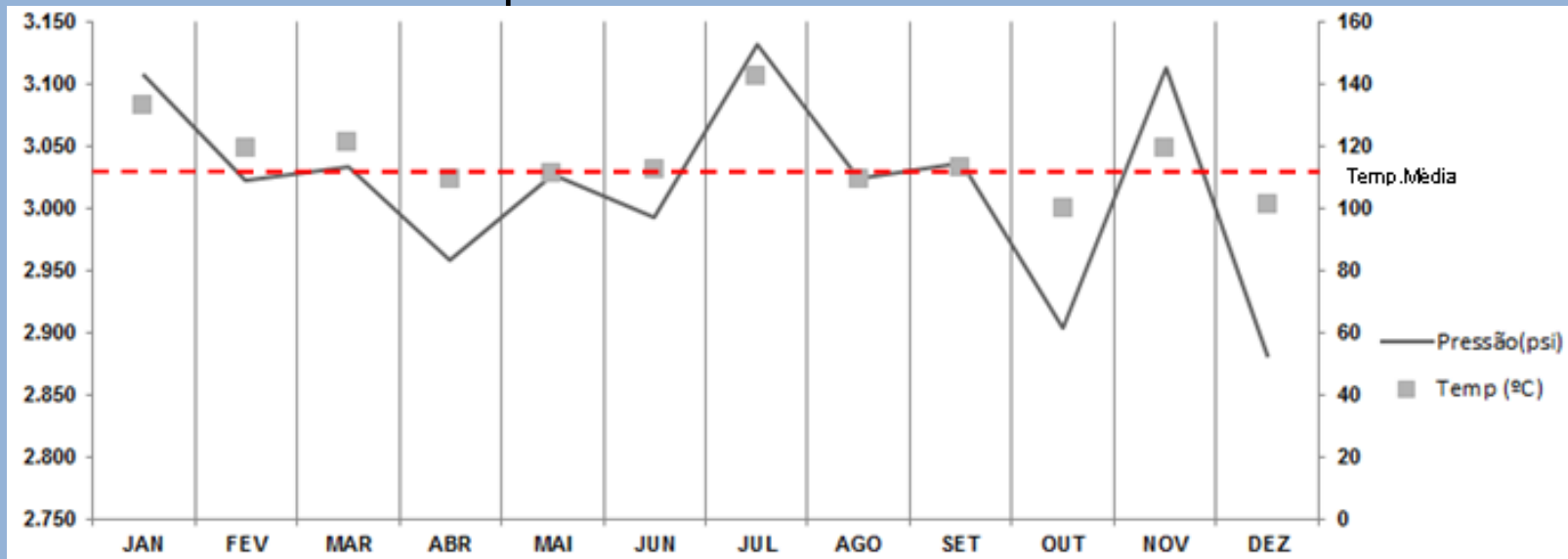
2015

Bronze		
Mês	Pressão(psi)	Temp (°C)
JANEIRO	2.848	99
FEVEREIRO	3.003	97
MARÇO	2.897	86
ABRIL	2.930	97
MAIO	3.014	104
JUNHO	2.828	88
JULHO	2.916	95
AGOSTO	3.036	105
SETEMBRO	2.903	90
OUTUBRO	2.877	84

Temp média 2.925
psi -94°C

COMPARAÇÃO DA TEMPERATURA X PRESSÃO

A Figura aponta o acompanhamento das temperaturas e pressões sobre o polímero ao longo de 12 meses, deixando evidente que a temperatura média atingida foi de 115°C e a pressão média foi de 3.019 psi.



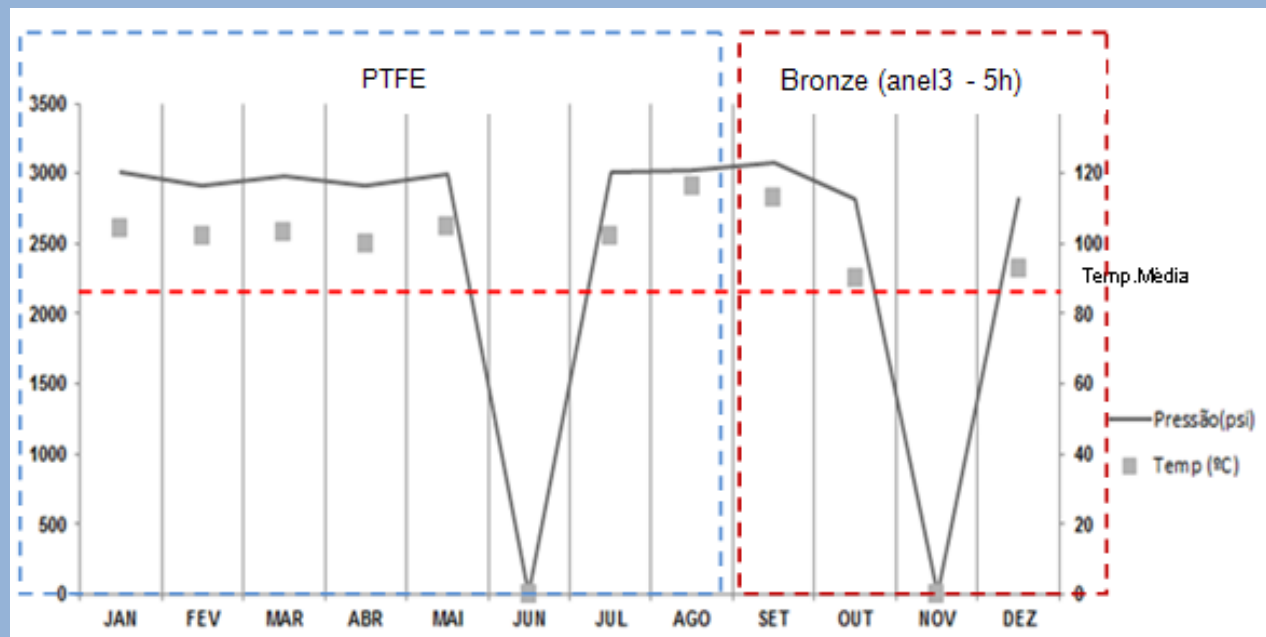
Temperaturas e Pressões Coletadas do PTFE - 2013.

COMPARAÇÃO DA TEMPERATURA X PRESSÃO

A situação do material agrava-se com aumento da pressão e da temperatura. Esses fatores foram cruciais no comportamento do PTFE, pois o aumento da pressão no interior da caixa de vedação proporciona um aumento de temperatura e aumento da deformação no polímero. A situação tende a piorar com velocidade e o contato dos materiais, pois o calor gerado não consegue ser dissipado, resultando em aumento da deformação do polímero e fusão.

COMPARAÇÃO DA TEMPERATURA X PRESSÃO

Em setembro de 2014 o anel de bronze tratado termoquimicamente no período de 5 horas com estanho foi instalado. A temperatura e pressão mínima ficaram em torno de 90°C e 2.813 psi, a temperatura e a pressão máxima atingiram 113°C e 3.073 psi. No mês de junho e novembro não foram registrados temperatura e pressão, pois o equipamento estava fora de operação.



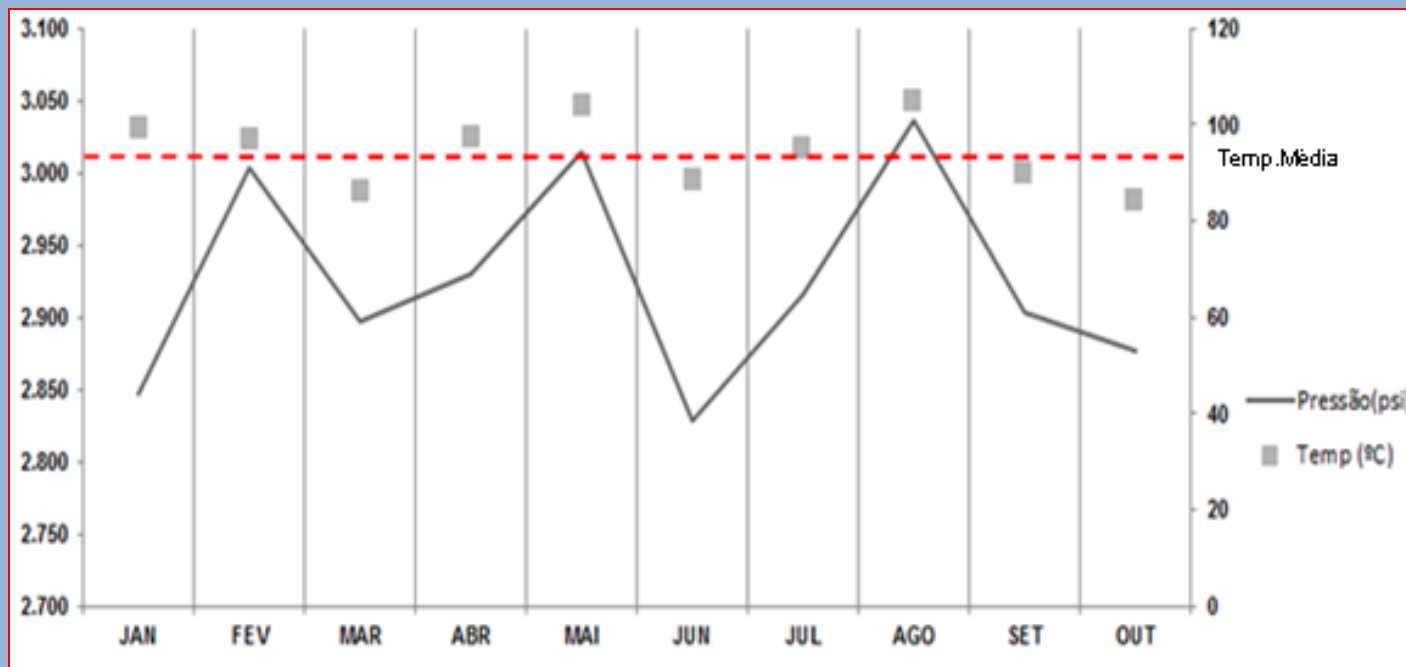
Temperaturas e Pressões Coletadas do PTFE e Bronze 2014

COMPARAÇÃO DA TEMPERATURA X PRESSÃO

A Figura, a seguir, exibe os resultados de 2015 obtidos do bronze tratado por 5 horas. A temperatura e pressão média com a instalação do anel bronze tratado foram de 94°C e 2.925 psi, diferente do apresentado pelo PTFE em 2013 que a temperatura e pressão média ficaram em torno de 116°C e 3.016 psi.

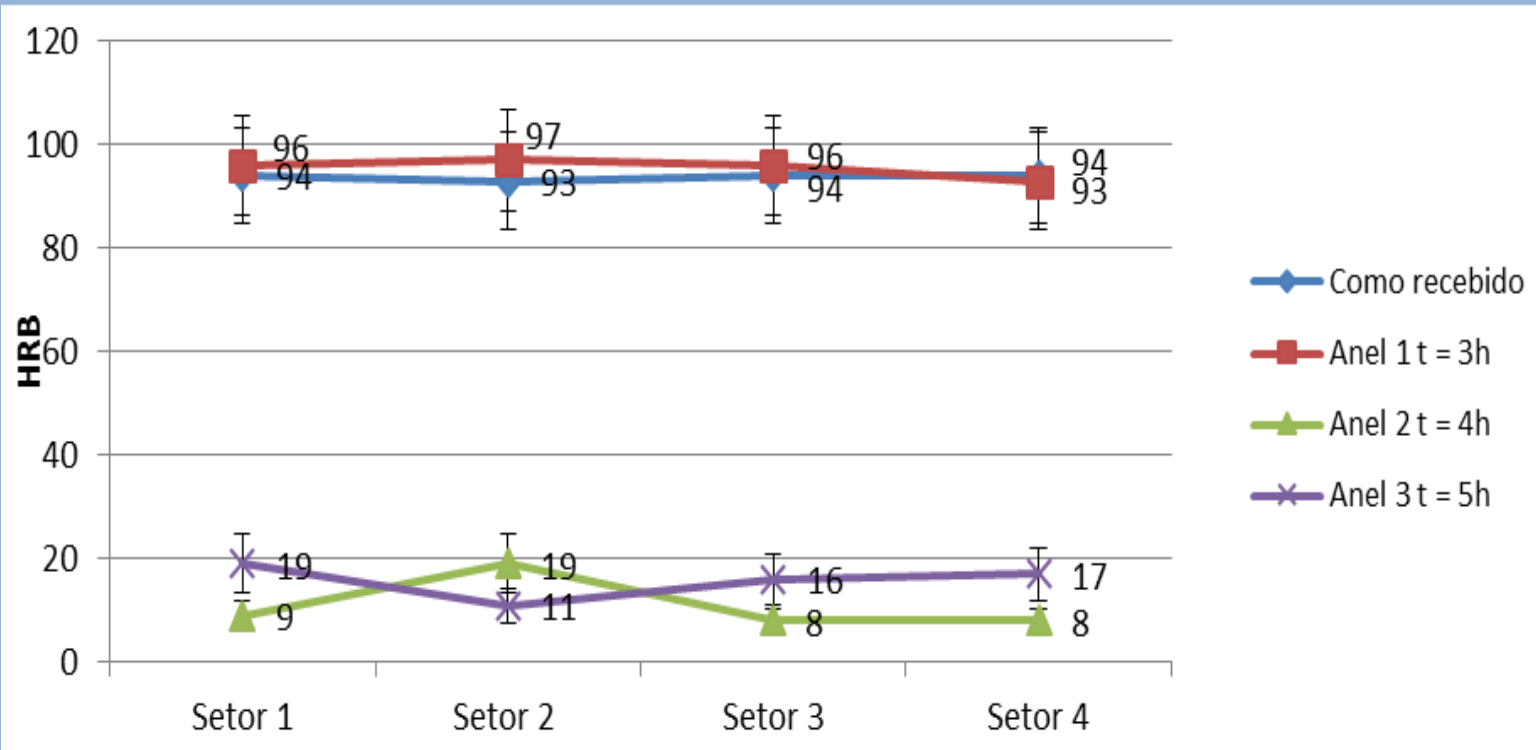
O bronze comportou positivamente, pois apresentou uma reação diferente do polímero, não deformou sob altas pressões e temperaturas, colaborando no processo de dissipação de calor no interior do sistema de vedação.

COMPARAÇÃO DA TEMPERATURA X PRESSÃO



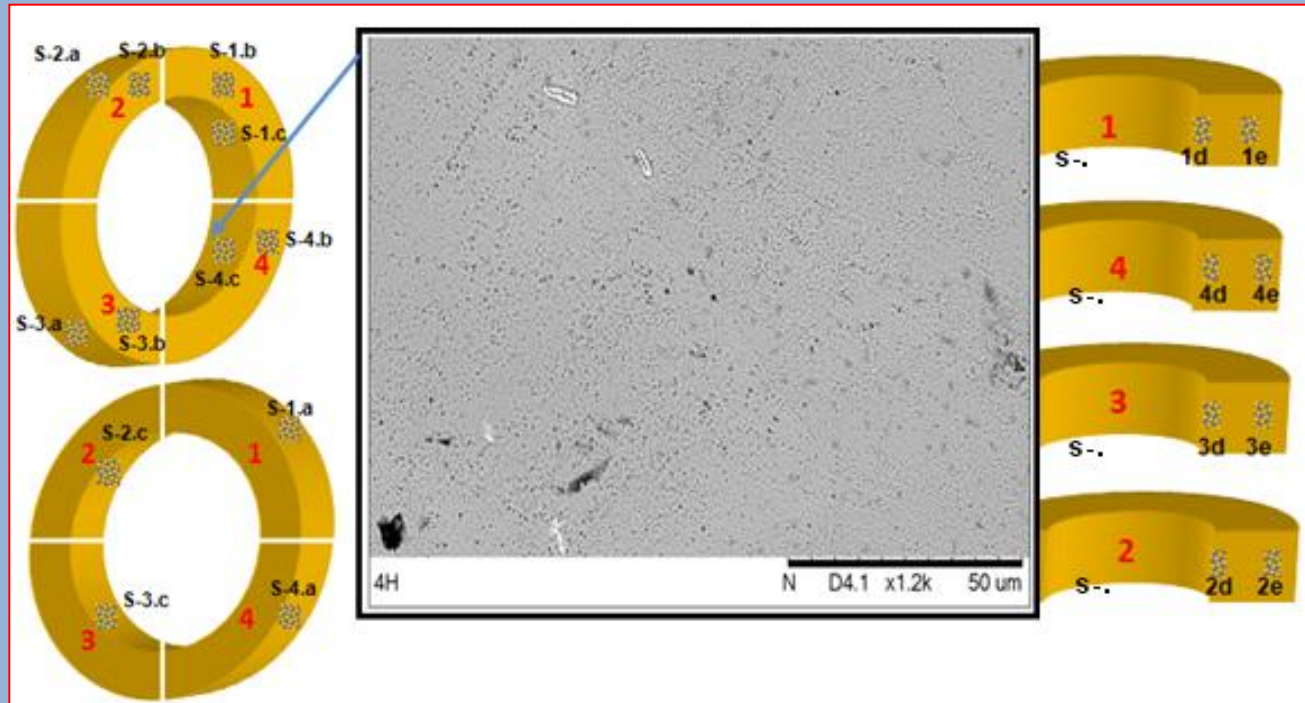
Temperaturas e Pressões Coletadas do bronze 2015.

DUREZA (ROCKWELL)



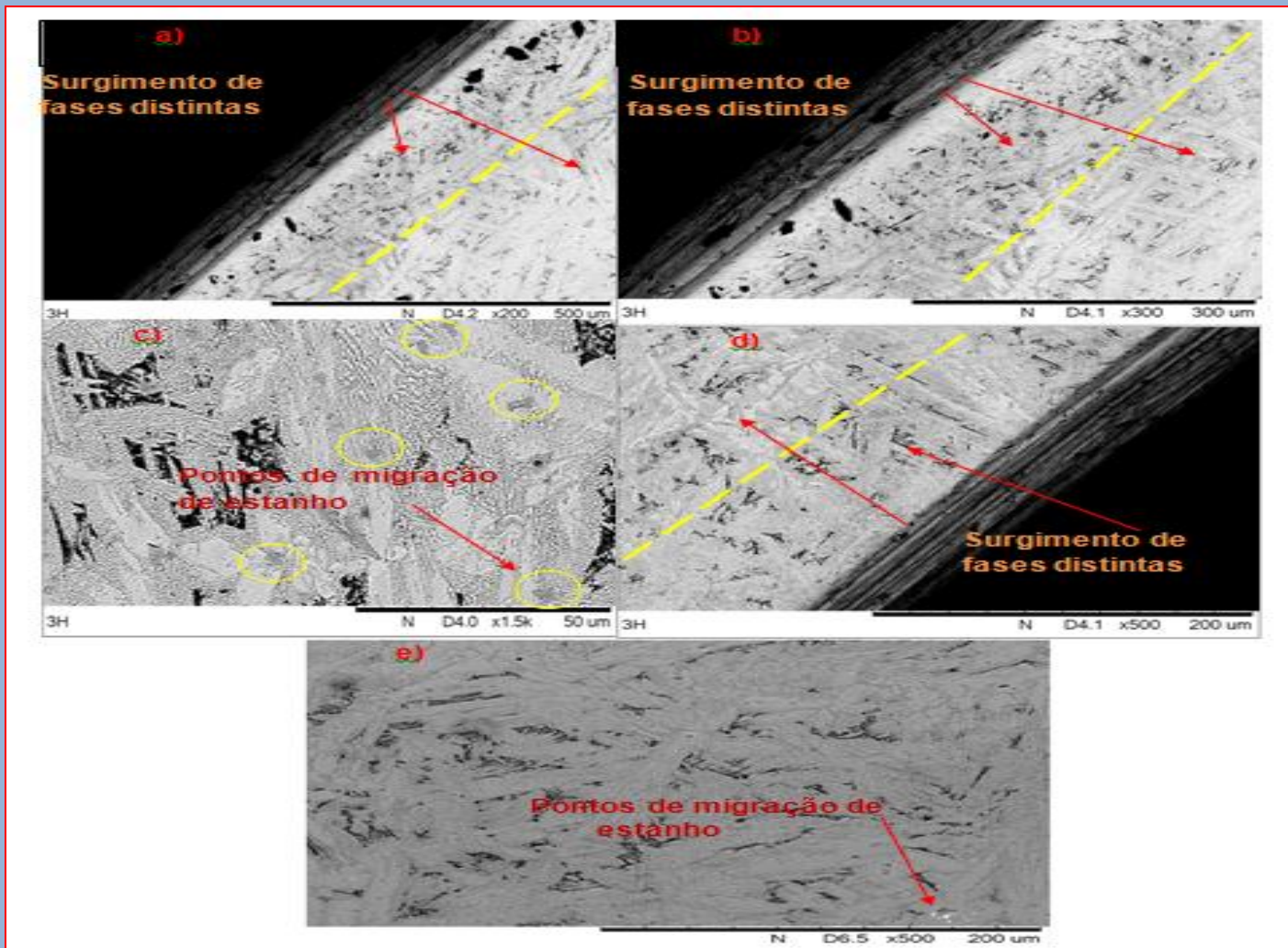
MICROSCOPIA (EDS)

As imagens obtidas por microscopia eletrônica serão apresentadas a seguir, para isso, os anéis de bronze 1, 2 e 3 foram divididos em setores para análise de suas microestruturas.



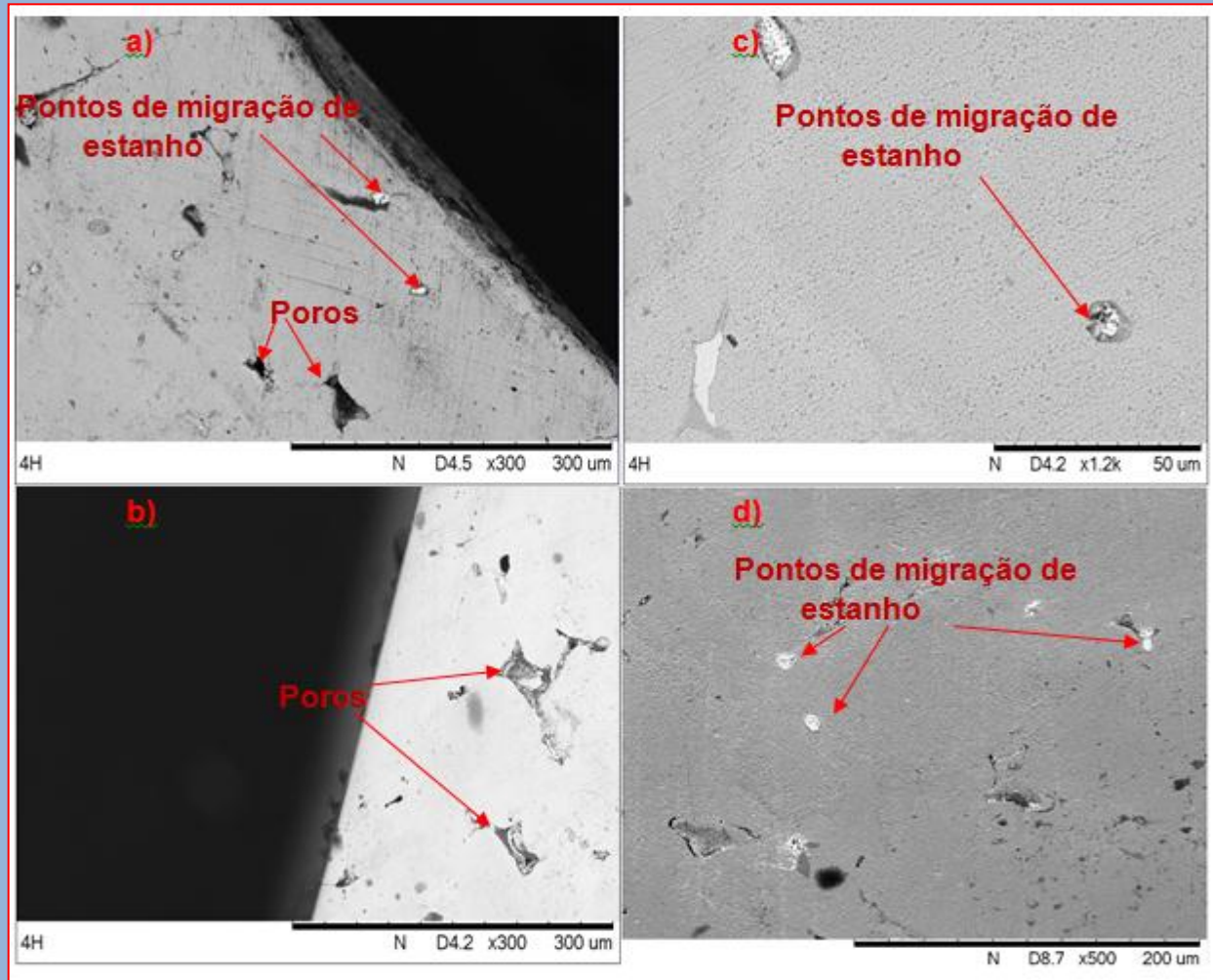
MICROSCOPIA (EDS)

Anel 1 – 3h a,b- B.externa, c- Centro, d- B.Interna, e-Transversal



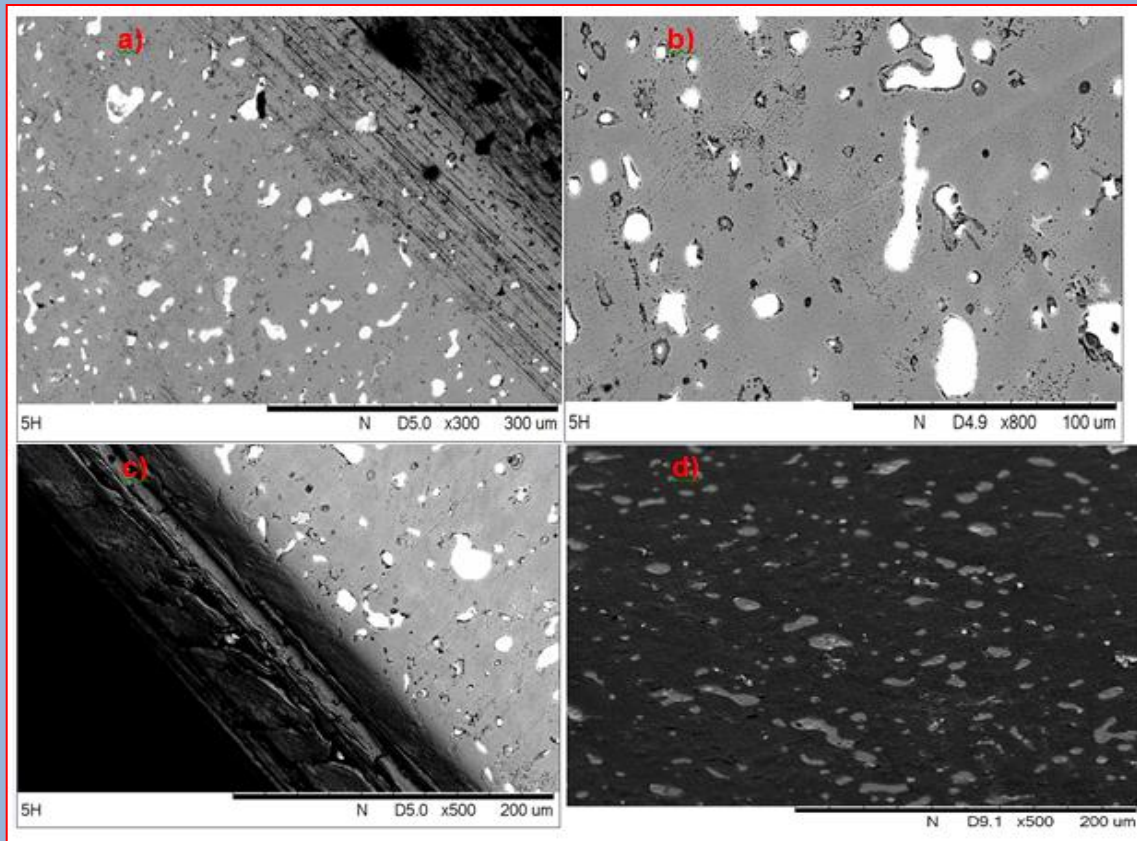
MICROSCOPIA (EDS)

Anel 2 – 4h a- B.externa, b- B.interna, c- Centro, d.-Transversal.



MICROSCOPIA (EDS)

Anel 3 – 5h a- B.externa, b- Centro, c- B.interna, d.-Transversal.



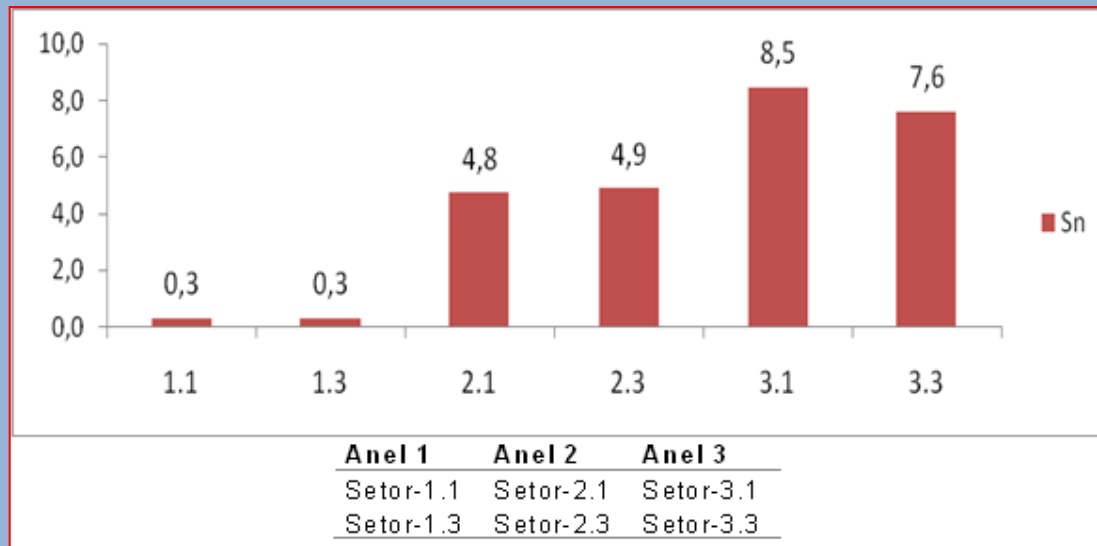
O tratamento no período de 5 horas ajudou no gradiente de concentração do estanho na superfície do bronze conforme lei de Fick.

TEOR DO ESTANHO NOS SETORES DOS ANÉIS

O fluxo de difusão e o gradiente de concentração em algum ponto particular num sólido variam com o tempo, resultando um acúmulo ou decréscimo (esgotamento) das espécies difusoras. A tabela retrata o processo de concentração em diferentes tempos no processo de difusão.

		ANEL 1 = 3H		ANEL 2 = 4H		ANEL 3 = 5H	
	RECEBIDO	1.1	1.3	2.1	2.3	3.1	3.3
Cu	66,3	73,1	73,1	71,7	71,3	84,2	85,7
Al	18,7	11,8	11,0	0,4	0,0	0,7	7,6
Fe	4,5	4,6	4,6	0,0	0,9	0,0	0,0
Mn	1,7	1,7	1,7	0,0	0,0	0,0	0,1
Ni	5,6	6,0	6,1	0,7	0,6	0,6	0,6
Sn		0,3	0,3	4,8	4,9	8,5	7,6

TEOR DO ESTANHO NOS SETORES DOS ANÉIS



Conforme a Lei de Fick, observa-se que no período de três horas de tratamento não houve um valor de migração de estanho significativo nos setores do anel 1, apenas 0,3%. Já no período de quatro horas nota-se um aumento entre 4,8 a 4,9% de concentração do estanho nos setores do anel 2. Após cinco horas o gradiente de concentração aumenta quase o dobro de estanho em relação aos setores do anel 3 ficando entre 7,6 à 8,5 %.

CUSTO E PRODUTIVIDADE

A redução do desempenho de um equipamento traz a diminuição da qualidade e da produtividade e pode ser evitada com melhorias no processo de manutenção que garantam a eficiência do equipamento.

Diante disso o fator econômico foi o ponto crucial para o processo de substituição dos anéis do sistema de vedação da bomba, pois além do aumento de disponibilidade, proporcionou redução de custo. A Tabela a seguir, lista o histórico anual da bomba, exibindo um comparativo da situação antes e após a instalação do anel de bronze.

CUSTO E PRODUTIVIDADE

Ano	Disponibilidade(dias)	Indisponibilidade(dias)	TMEF(dias)	Falha em vedações	Custo Reais
2013	165	195	18	9	R\$ 517.258,48
2014	215	145	30	7	R\$ 239.967,71
2015	300	0	-	0	R\$ -
					R\$ 757.226,19

Observa-se que no ano de 2013 quando o sistema de vedação era composto pelo PTFE, a taxa de indisponibilidade da bomba era de 195 dias, com um TMEF de 18 dias, nesse período a bomba gerou um custo de R\$ 517.258,48 referente as falhas ocorridas no sistema de vedação

COMPONENTES DO SISTEMA VEDAÇÃO EM BRONZE



Anéis de Bronze



CONCLUSÃO

Após as análises realizadas concluiu-se que o presente estudo demonstrou ser eficaz para avaliar as falhas provocadas pelo o anel de polímero no sistema de vedação. O PTFE quando operava em pressões e temperaturas altas, sofria deformação. Essa deformação gerada pela alta temperatura proporcionava perda de materiais quando o mesmo em contato como pistão da bomba. A perda de material e a deformação levou polímero alcançar altos níveis temperatura, provocando a fusão do PTFE.

Com a instalação do anel 3 os resultados foram positivos, o material obteve bom desempenho durante as altas pressões e temperaturas. O bronze durante a operação não sofreu deformações sob altas pressões e temperaturas, devido possuir característica positiva como: boa resistência mecânica, baixo coeficiente de fricção contra aço, resistência à fadiga e dissipação de calor.

CONCLUSÃO

Além dessas características abordadas, o bronze passou por um processo de difusão com pó de estanho nos períodos de três, quatro e cinco horas com a temperatura 150°C . Foi observado que os anéis tratados termicamente com estanho no período de quatro e cinco horas de tratamento, foram suficientes para o estanho distribuir em sua superfície. Esses resultados foram comprovados no ensaio de dureza, pois o anel tratado por cinco horas ficou 80% mais macio em comparação ao o anel 1. A concentração do estanho colaborou na auto lubrificação do bronze, devido o estanho também agir como lubrificante.

CONCLUSÃO

O anel 3 está em operação no sistema de vedação da bomba desde setembro de 2014 e o ganho obtido através da substituição do polímero para o metal “bronze” até o atual momento é grande como: redução da indisponibilidade do equipamento e redução do custo de manutenção.

Devido esses resultados informados do anel 3 de bronze tratado pelo processo de difusão, fica evidente a resistência do bronze como parte integrante do sistema de vedação da bomba.