

---

# LABORATÓRIO DE TRIBOLOGIA - UFRJ

Histórico, Infraestrutura, Resultados

---

Sylvio Jose Ribeiro de Oliveira

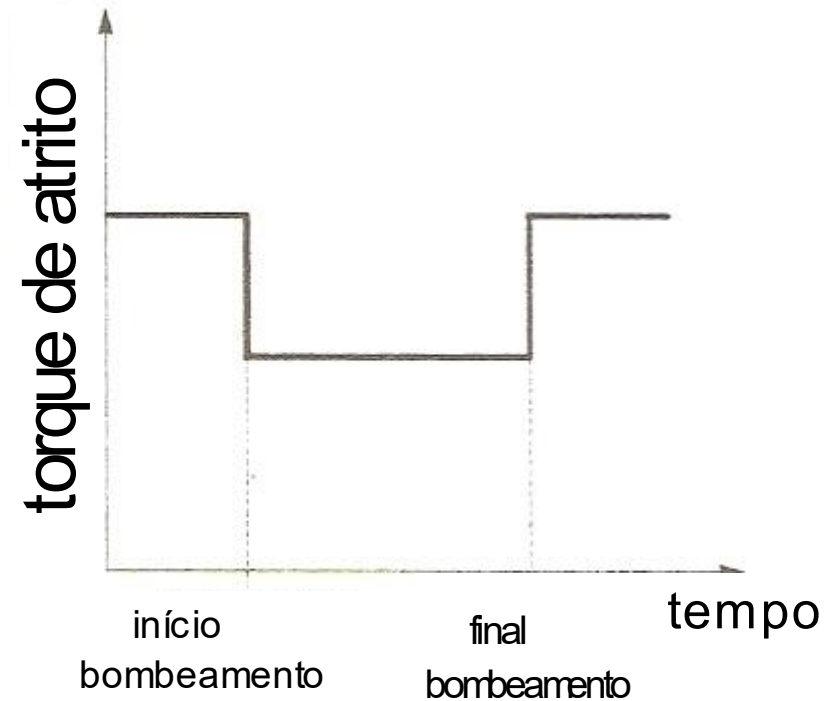
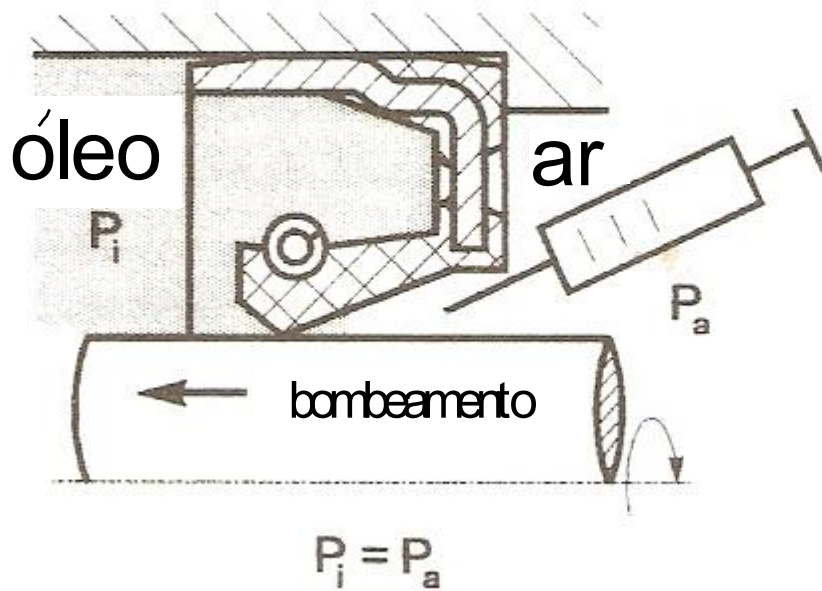
2020

---

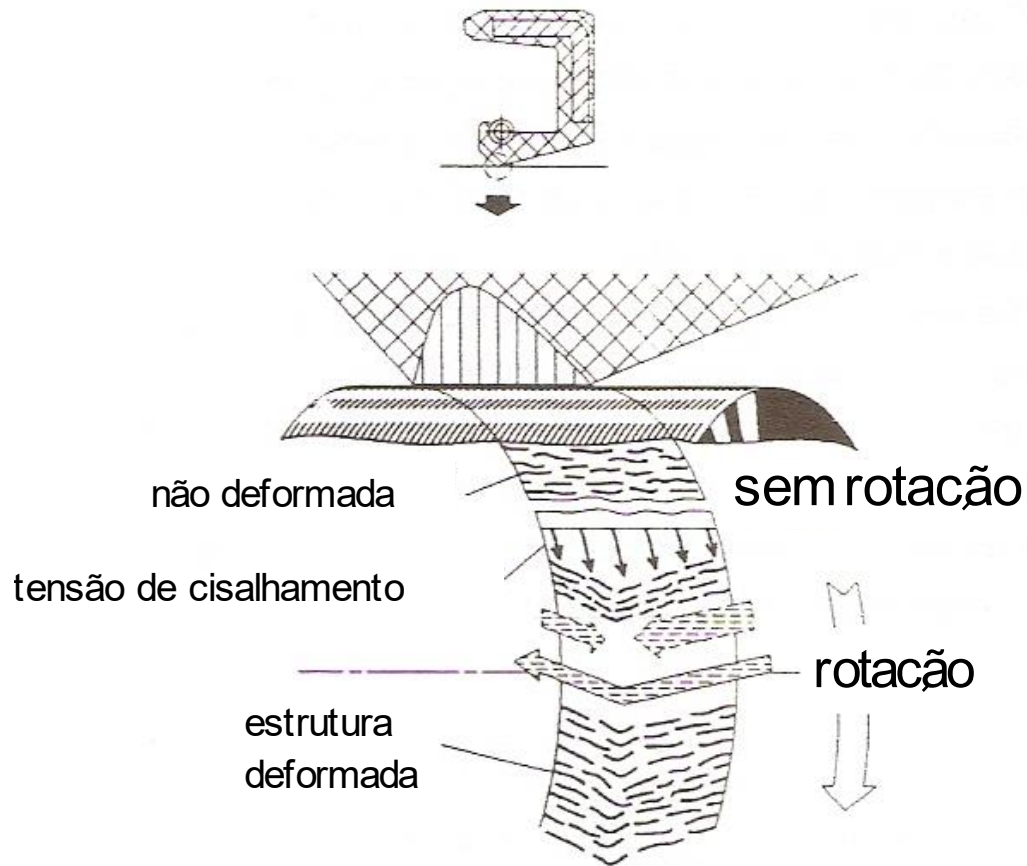
# Sumário do Conteúdo do Tema

- Investigação com retentores, selos mecânicos
- Projeto e construção de máquinas de ensaios
- Projeto e construção do Laboratório de Tribologia
- Desenvolvimento de metodologias para a investigação do comportamento tribológico de lubrificantes e aditivos

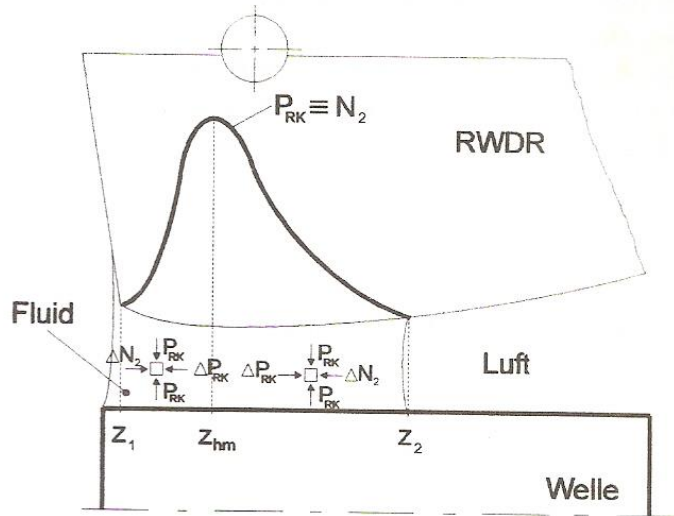
# Bombeamento em retentores



# Hipótese da Deformação Superficial [1]



# Hipótese da Viscoelasticidade [1]



$$\Delta P_{RK} = \Delta N_2$$

Equilíbrio

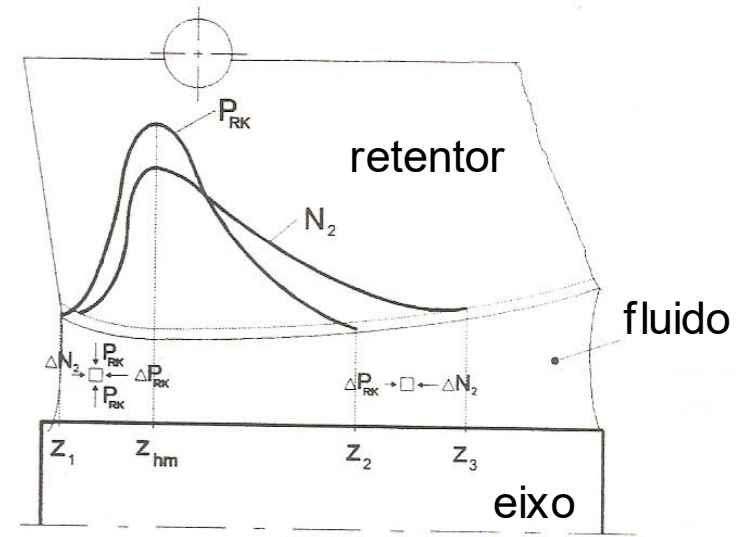
$$h(z) = \left( \frac{v_2(z)}{P_{RK}(z)} \right)^{1/2} U$$

$h$  = espessura de filme

$v_2$  = segunda tensão normal

$P_{RK}$  = distribuição de pressão do retentor

$U$  = velocidade da superfície do eixo



$$\Delta P_{RK} > \Delta N_2$$

$$\Delta N_2 > \Delta P_{RK}$$

Bombeamento

$$\dot{m} = \pi d U^2 \frac{\rho v_2}{\eta} \phi$$

$\dot{m}$  = vazão mássica

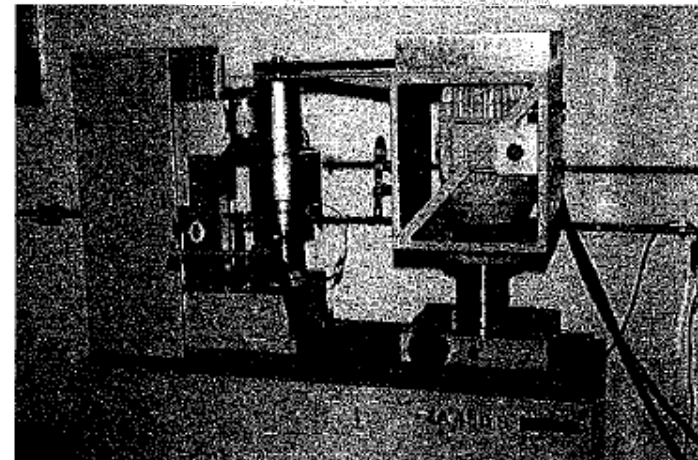
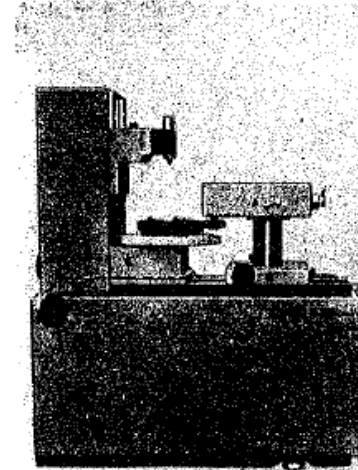
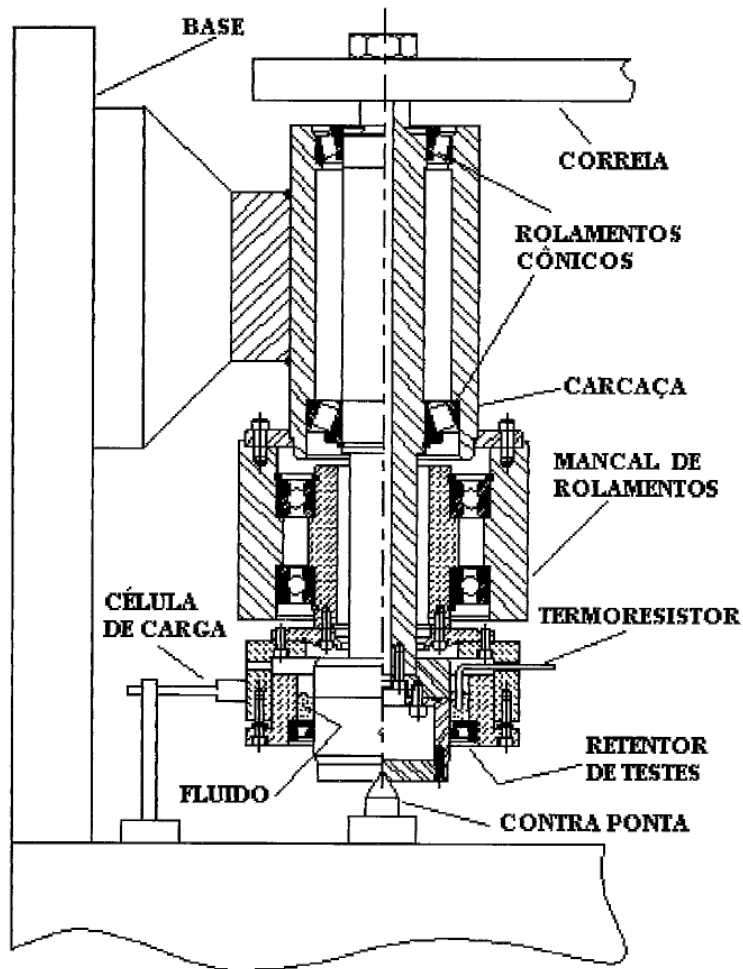
$d$  = diâmetro do eixo

$\rho$  = massa específica

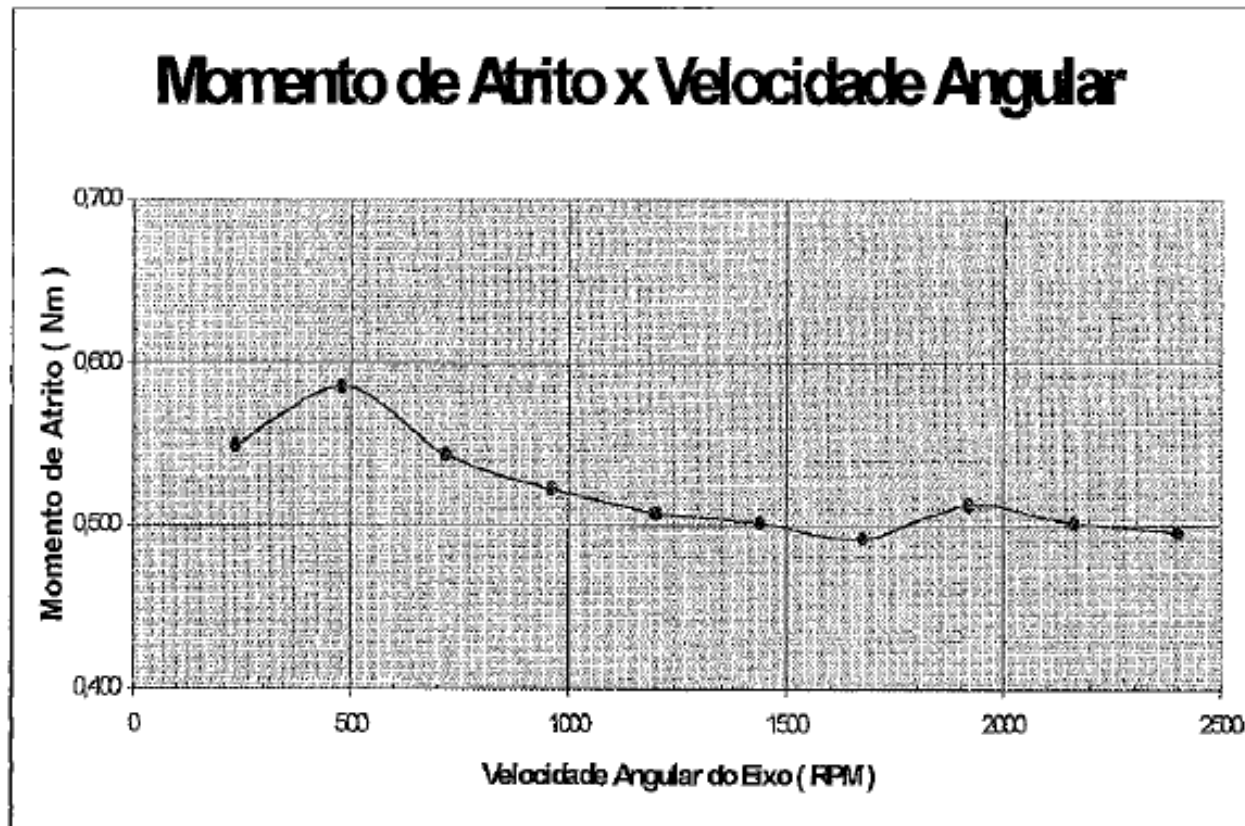
$\eta$  = viscosidade dinâmica

$\phi$  = função de forma do retentor

# Banco de testes de retentores[2]

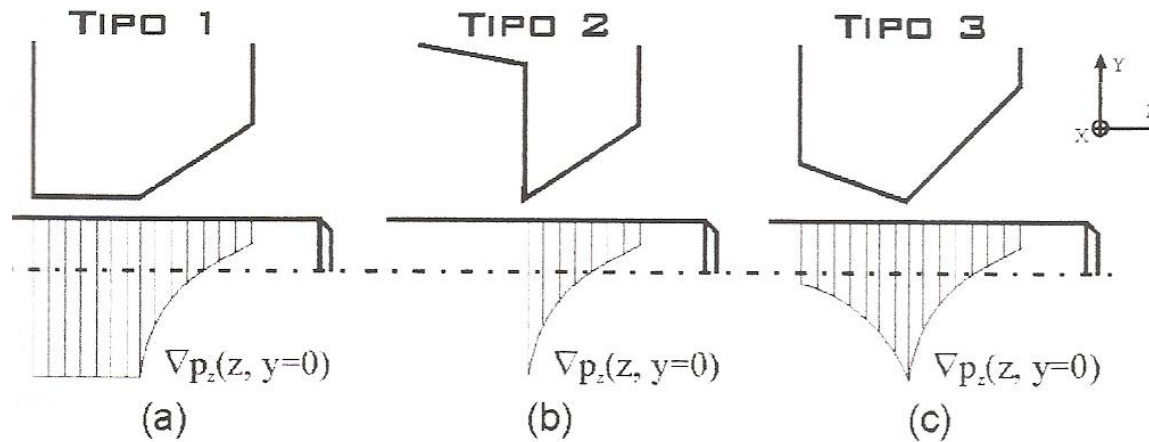
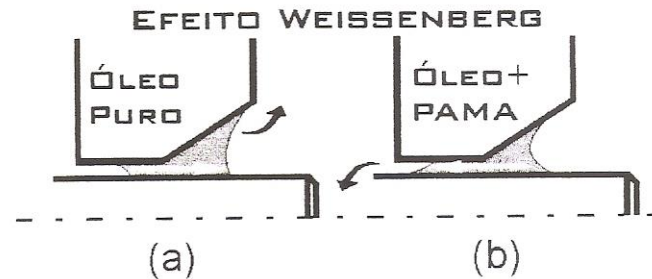


# Medição de momento de atrito [2]



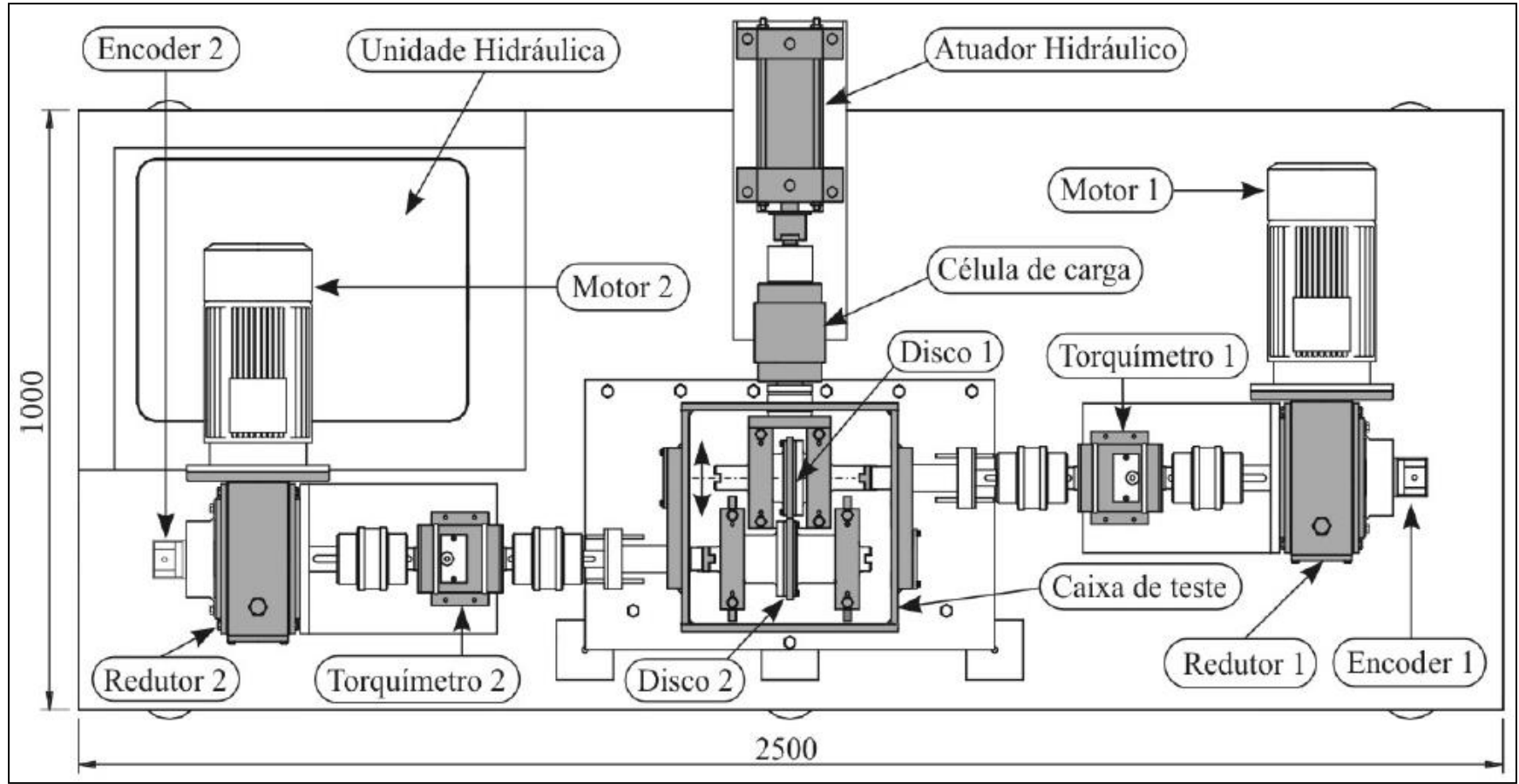


# Investigação com selos rígidos [3]

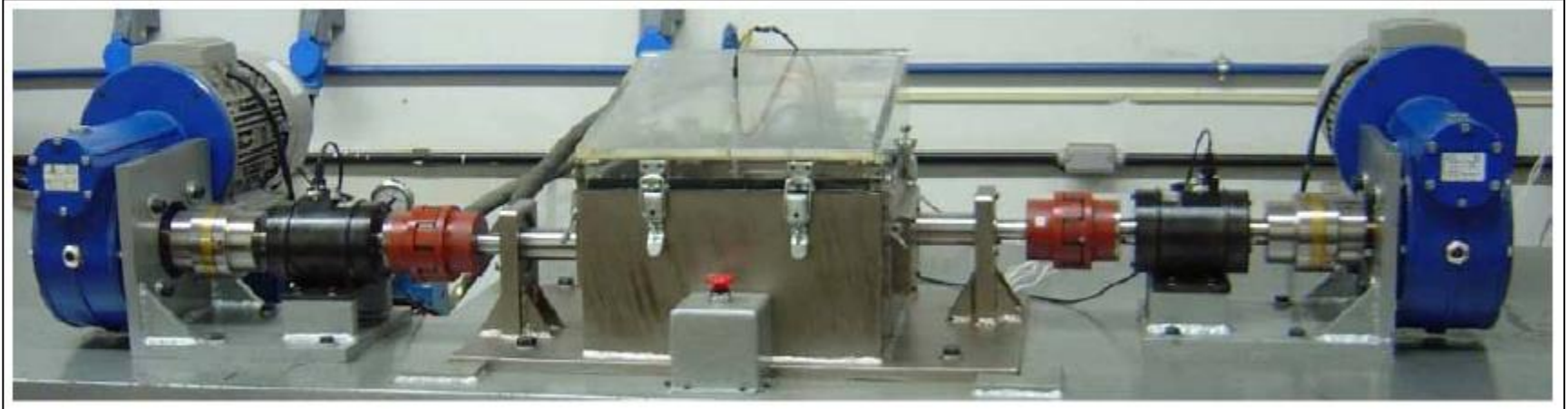




# Máquina Disco-Disco



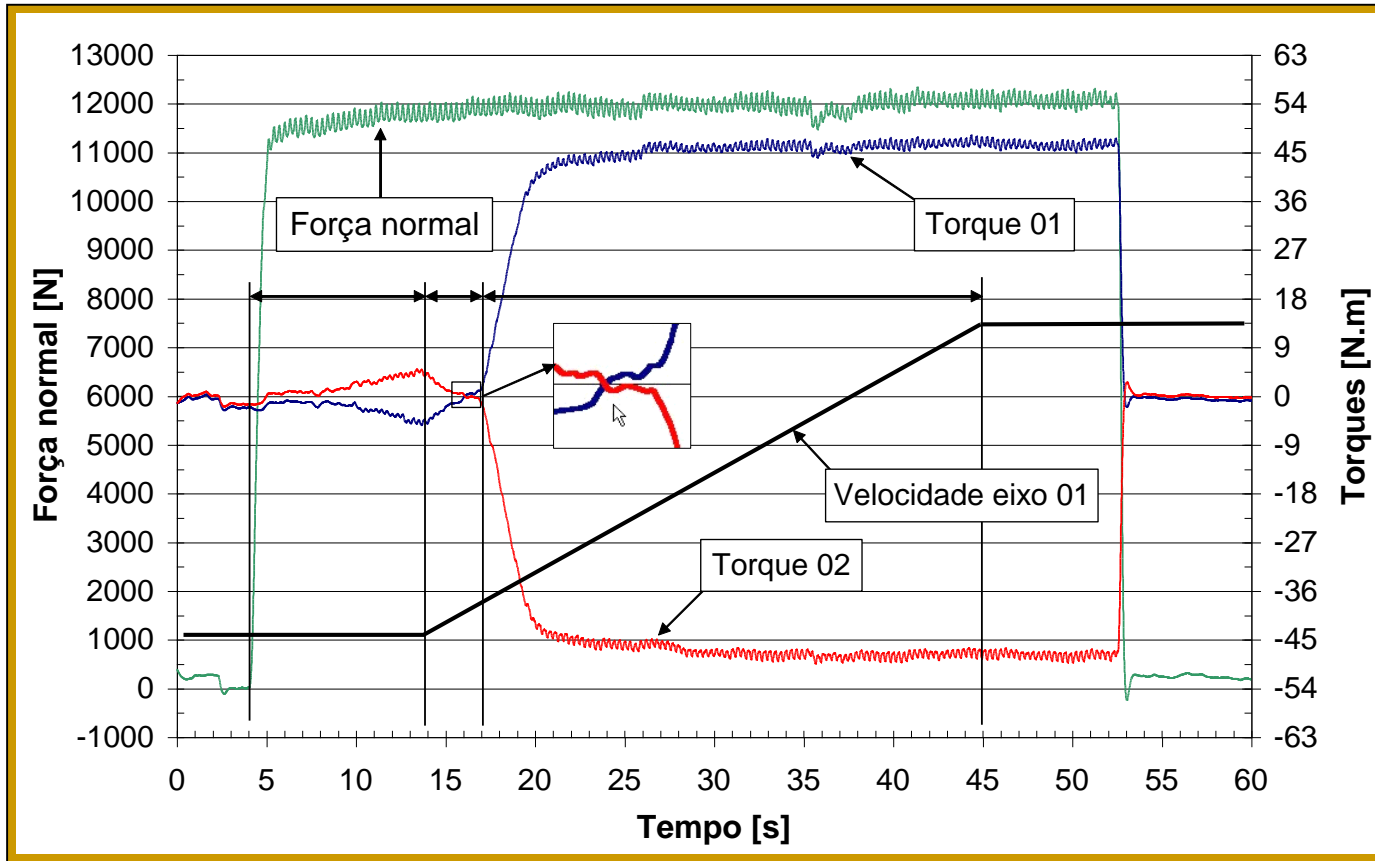
# Especificações de Operação



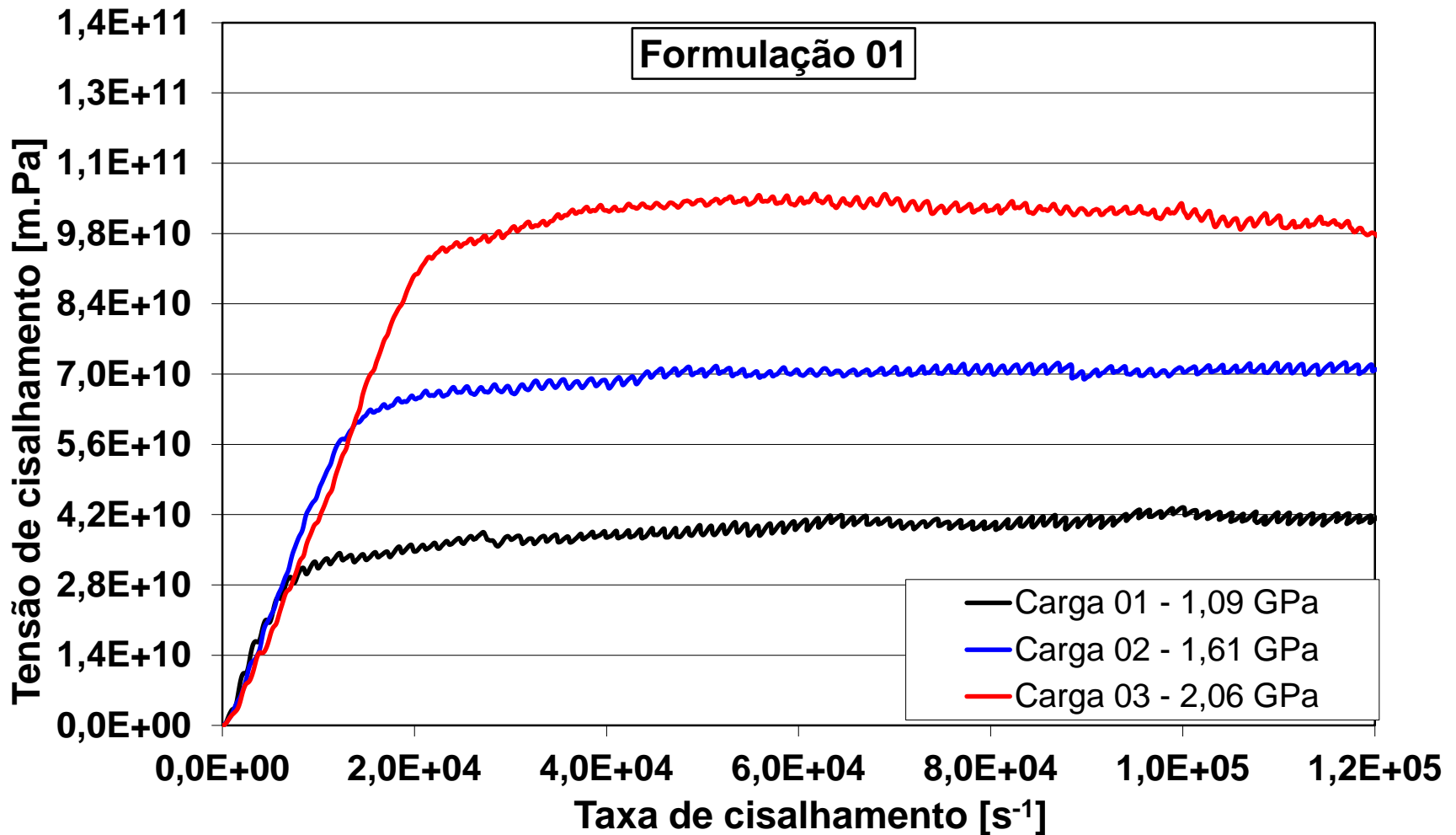
## ■ *Condições operacionais:*

- *Máxima velocidade de rolamento = 3 m/s*
- *Máxima pressão de contato de Hertz (linha de contato) = 3,72 GPa*
- *Máxima pressão de contato de Hertz (semi-elíptico) = 10,86 GPa*

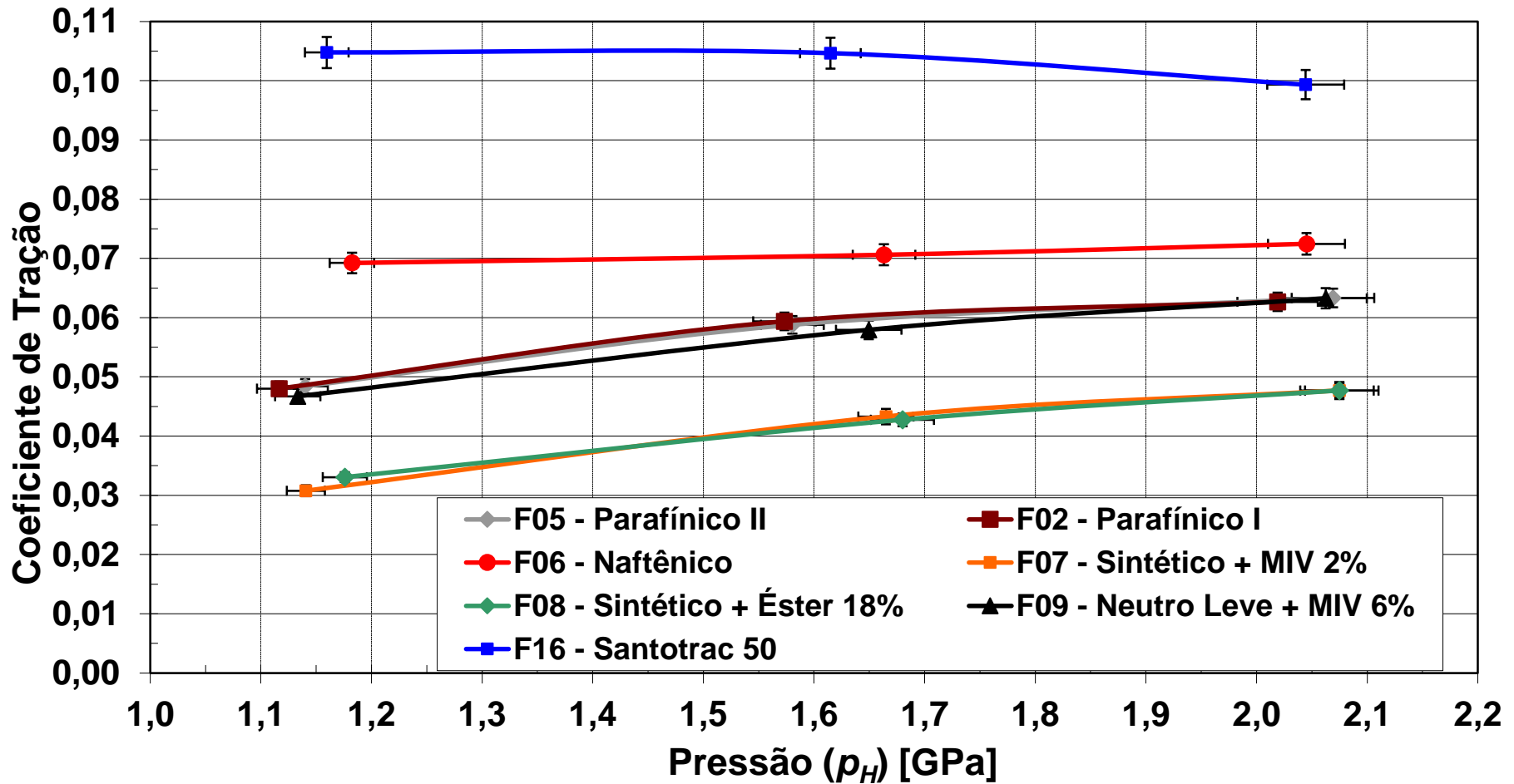
# Medição de Coeficiente de Tração (Disco-Disco) [4]



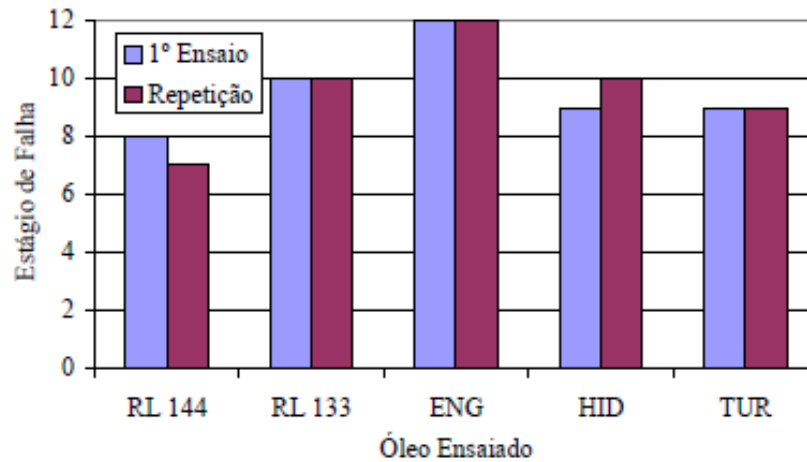
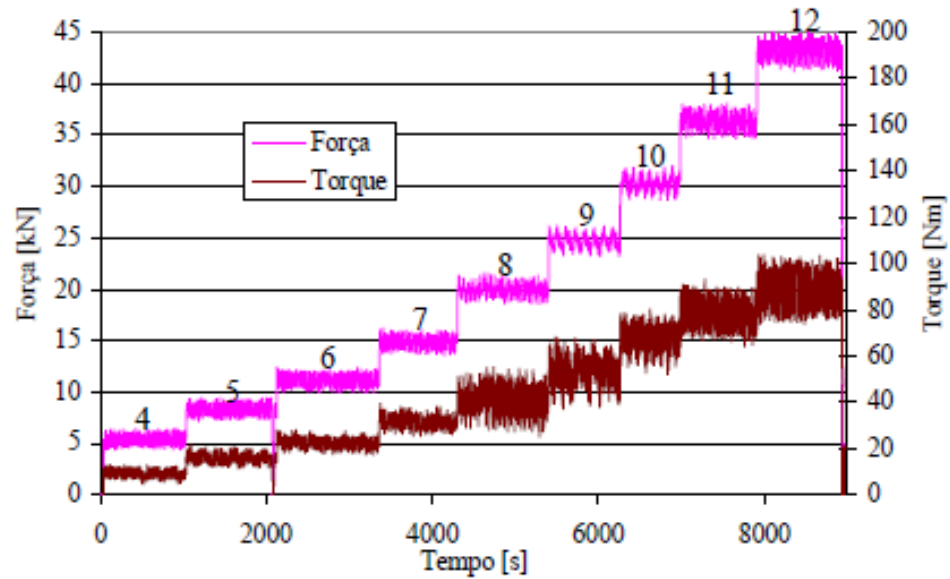
# Medição de Coeficiente de Tração (Disco-Disco) [4]



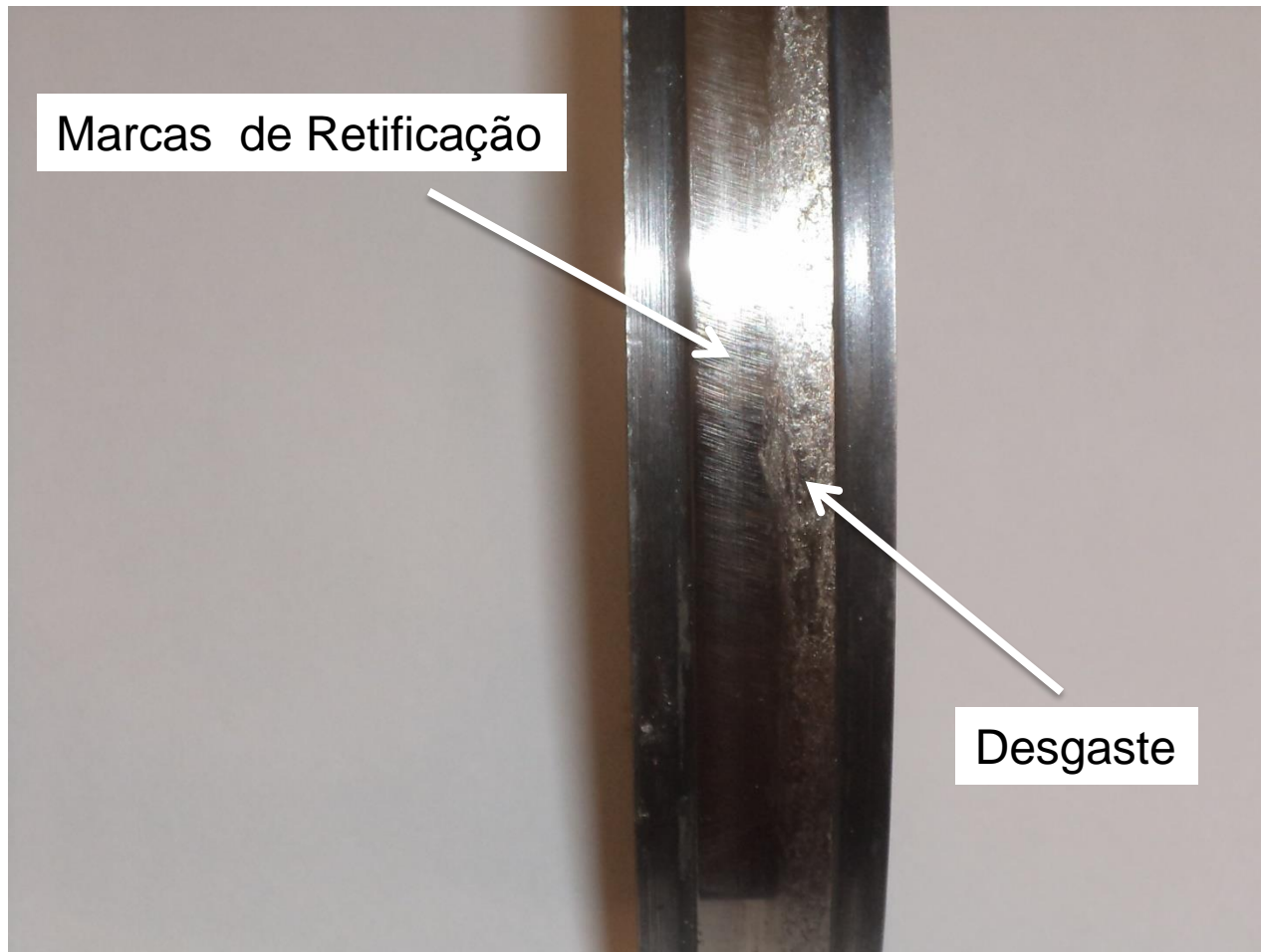
# Medição de Coeficiente de Tração (Disco-Disco) [4]



# Máquina Disco-Disco simulando FZG [5]

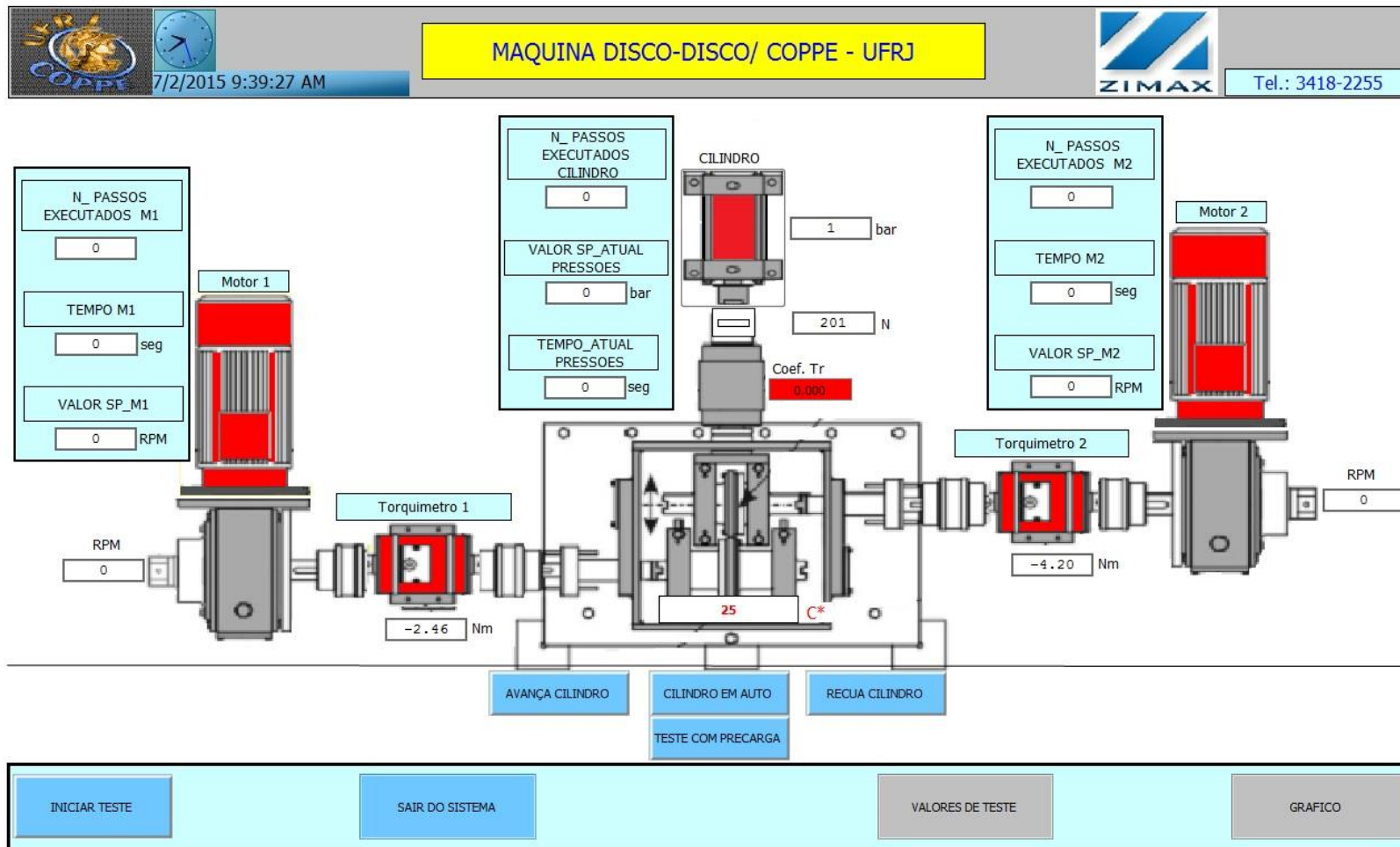


# Disco com desgaste após rompimento do filme EHD





# Tela de Automação da Máquina Disco-Disco

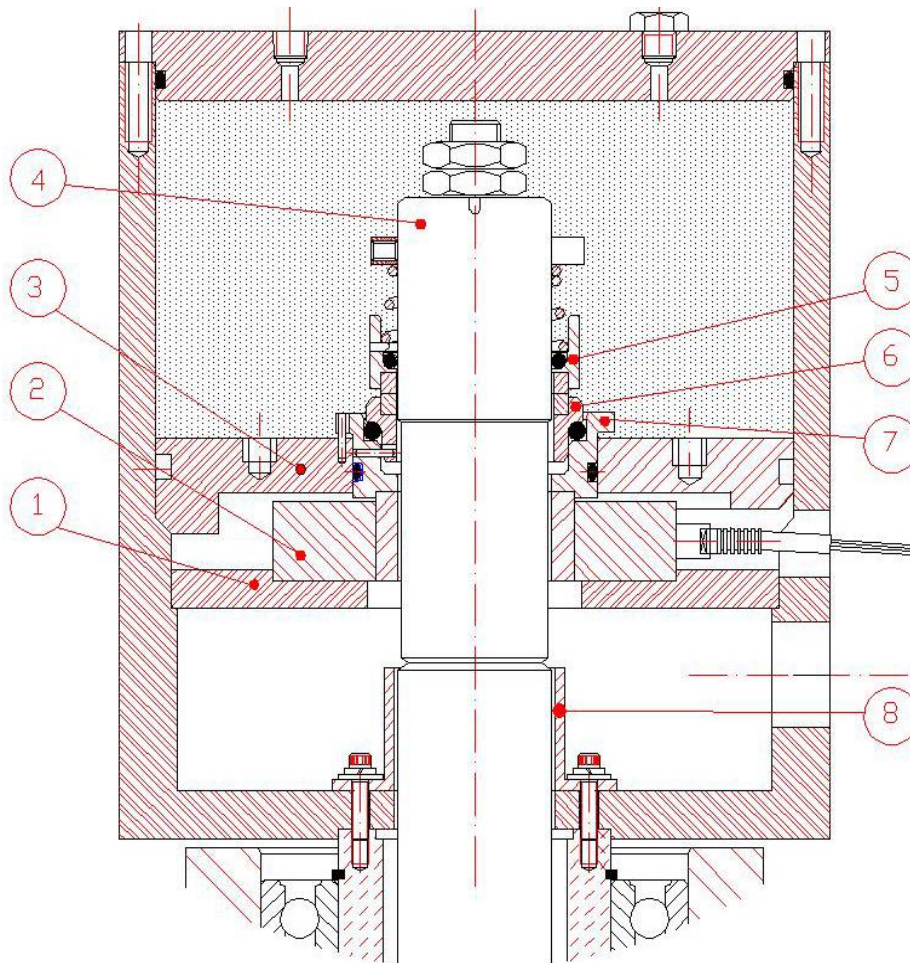


# Tela de automação da Máquina Disco-Disco-Setup

NÚMERO DE PASSOS		VALORES PARA TESTE											
1		T-RAMPA s		30	T-RAMPA s		30						
TEMPO DE TESTE (seg)		VEL DO MOTOR 1 (rpm)				VEL DO MOTOR 2 (rpm)				PRESSÃO DO CILINDRO (bar)			
PASSO 1	240	PASSO 1	80	PASSO 1	120	PASSO 1	110						
PASSO 2	30	PASSO 2	50	PASSO 2	120	PASSO 2	120						
PASSO 3	20	PASSO 3	45	PASSO 3	45	PASSO 3	80						
PASSO 4	60	PASSO 4	100	PASSO 4	100	PASSO 4	100						
PASSO 5	30	PASSO 5	191	PASSO 5	350	PASSO 5	40						
PASSO 6	30	PASSO 6	191	PASSO 6	350	PASSO 6	45						
PASSO 7	30	PASSO 7	191	PASSO 7	350	PASSO 7	50						
PASSO 8	30	PASSO 8	191	PASSO 8	350	PASSO 8	55						
PASSO 9	30	PASSO 9	191	PASSO 9	350	PASSO 9	100						
PASSO 10	30	PASSO 10	191	PASSO 10	350	PASSO 10	155						
PASSO 11	30	PASSO 11	191	PASSO 11	350	PASSO 11	185						
PASSO 12	30	PASSO 12	191	PASSO 12	350	PASSO 12	220						
PASSO 13	0	PASSO 13	0	PASSO 13	0	PASSO 13	0						
PASSO 14	0	PASSO 14	0	PASSO 14	0	PASSO 14	0						
PASSO 15	0	PASSO 15	0	PASSO 15	0	PASSO 15	0						
PASSO 16	0	PASSO 16	0	PASSO 16	0	PASSO 16	0						
PASSO 17	0	PASSO 17	0	PASSO 17	0	PASSO 17	0						
PASSO 18	0	PASSO 18	0	PASSO 18	0	PASSO 18	0						
PASSO 19	0	PASSO 19	0	PASSO 19	0	PASSO 19	0						
PASSO 20	0	PASSO 20	0	PASSO 20	0	PASSO 20	0						
PASSO 21	0	PASSO 21	0	PASSO 21	0	PASSO 21	0						
PASSO 22	0	PASSO 22	0	PASSO 22	0	PASSO 22	0						
PASSO 23	0	PASSO 23	0	PASSO 23	0	PASSO 23	0						
PASSO 24	0	PASSO 24	0	PASSO 24	0	PASSO 24	0						
PASSO 25	0	PASSO 25	0	PASSO 25	0	PASSO 25	0						

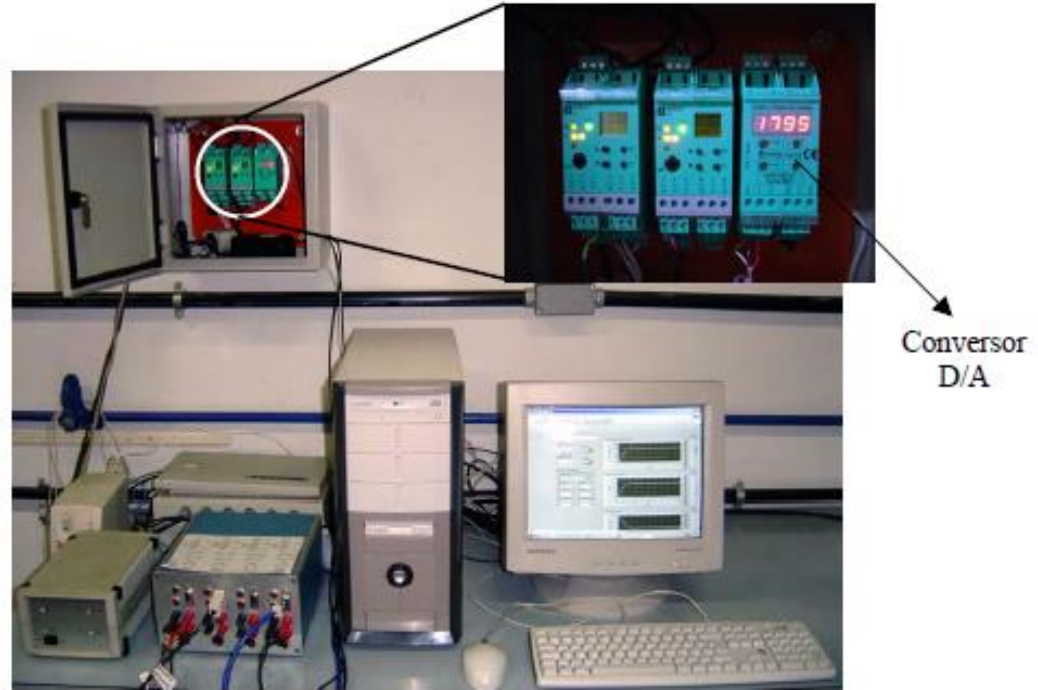
TELA PRINCIPAL

# Banco de Ensaio de Selos Mecânicos [6]

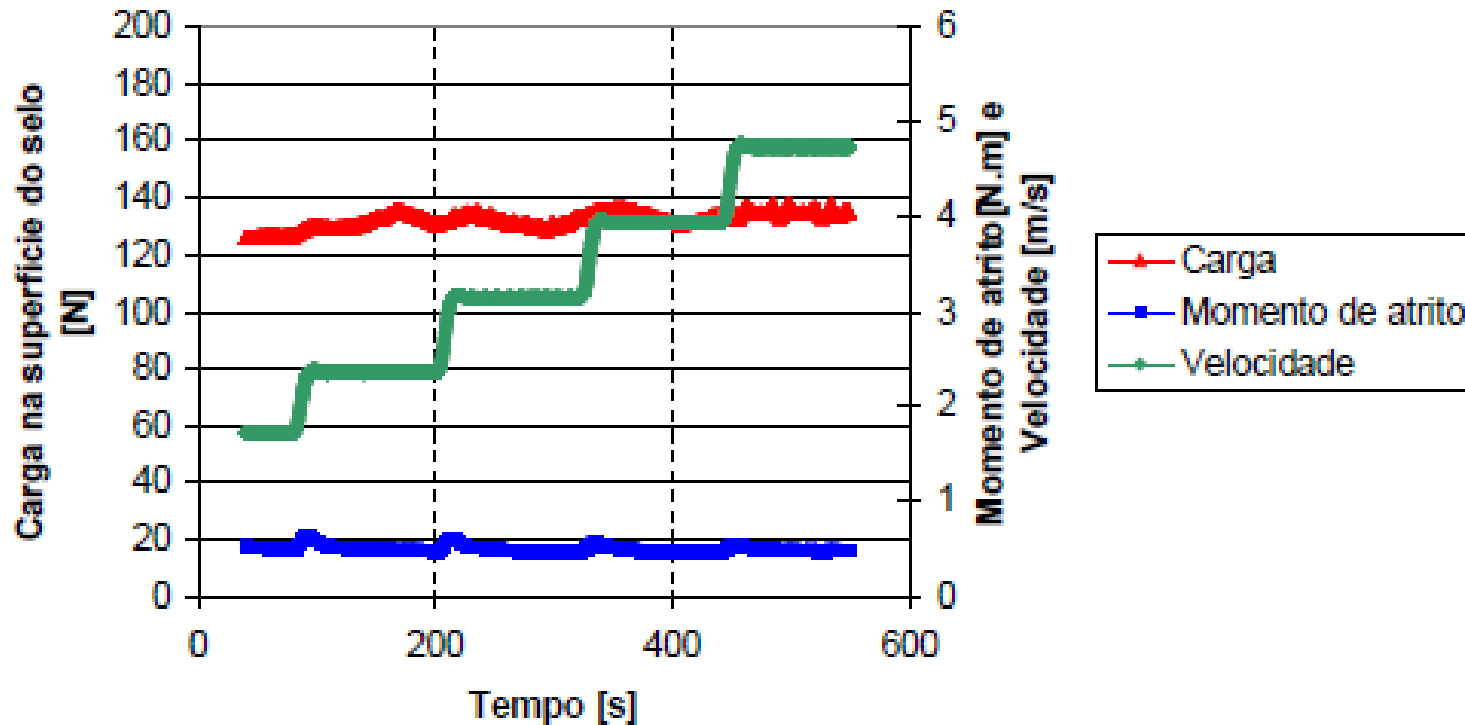


Índice	Descrição
1	Base de suporte à célula de carga de compressão
2	Célula de carga de compressão
3	Placa de apoio ao selo mecânico
4	Luva para o eixo
5	Conjunto do anel superior do selo mecânico
6	Conjunto do contra-anel ou anel inferior do selo mecânico
7	Adaptador do anel inferior
8	Anteparo para óleo

# Banco de Ensaio de Selos Mecânicos [6]

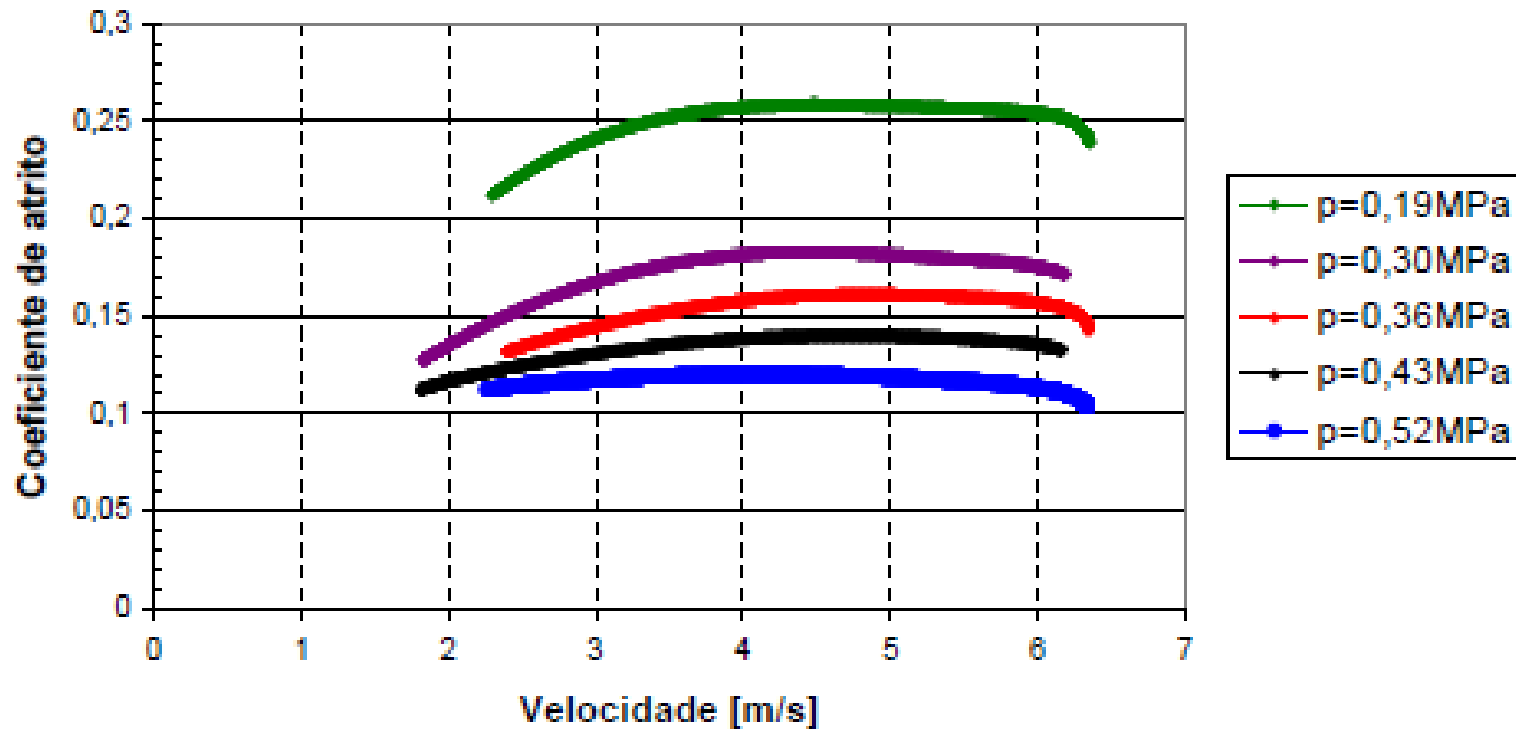


# Momento de Atrito em Selos Mecânicos [6]

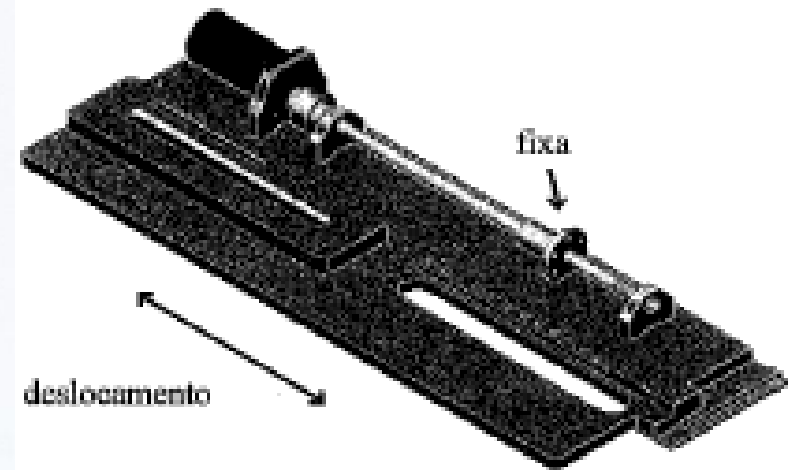
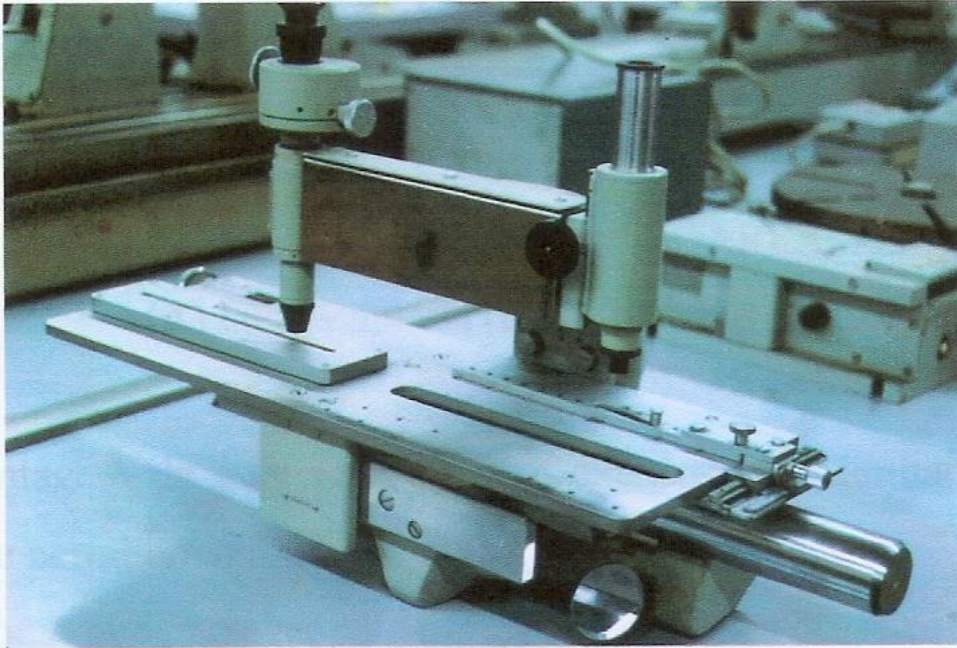




# Coeficiente de Atrito em Selos Mecânicos [6]

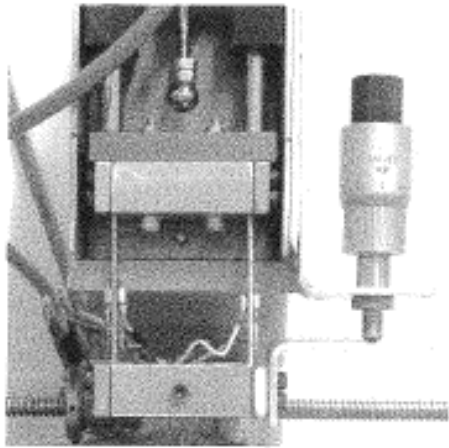


# Banco de Testes de Riscamento [7]

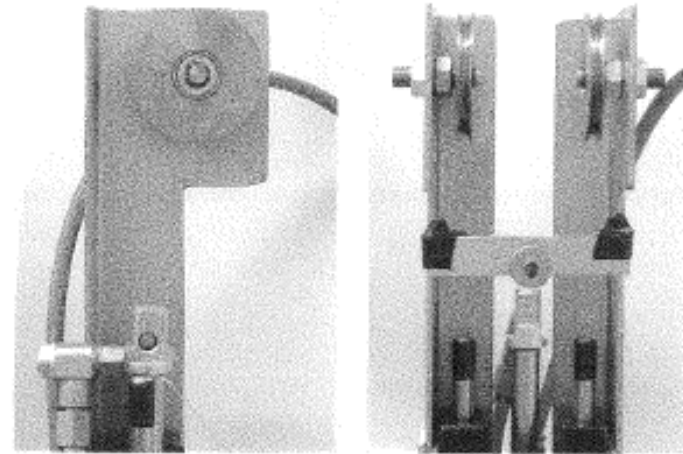




# Banco de Testes de Riscamento [7]



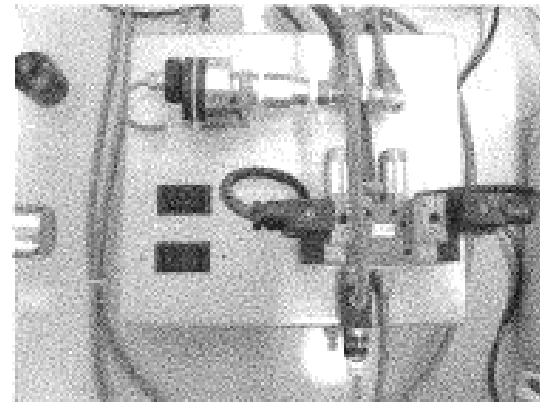
Medição de força de riscamento



Aplicação de carga normal

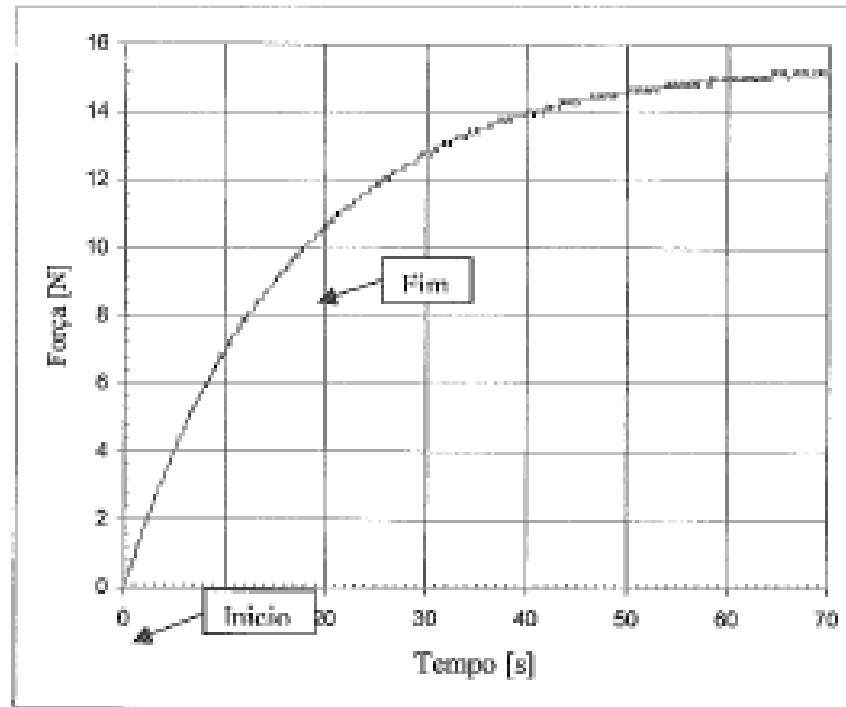


Medição de movimento

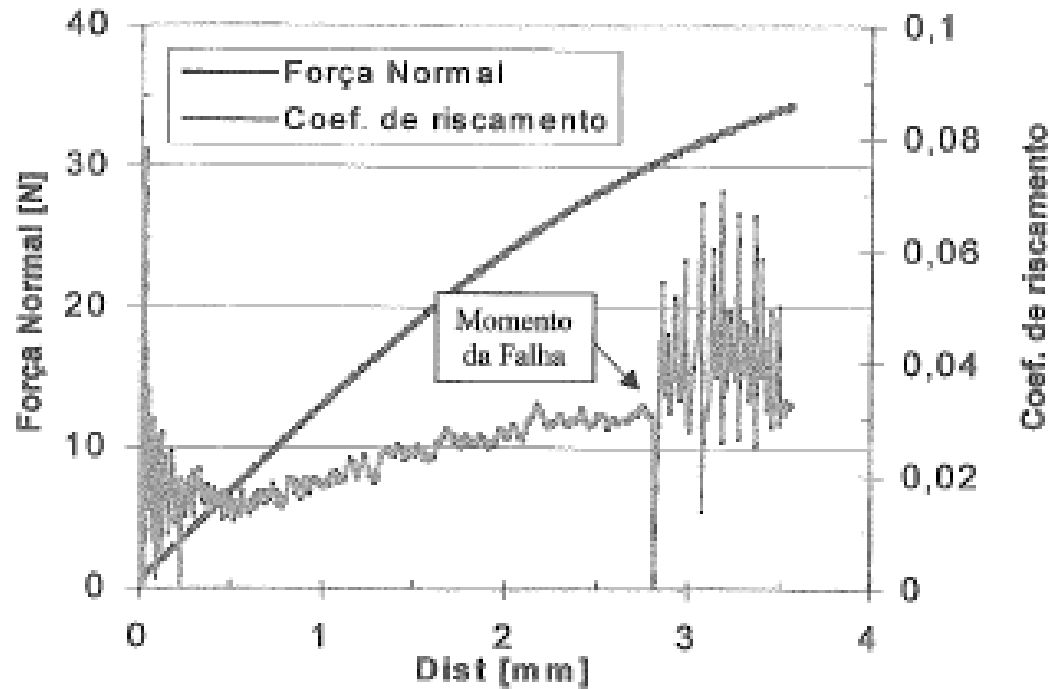


Controle da carga normal

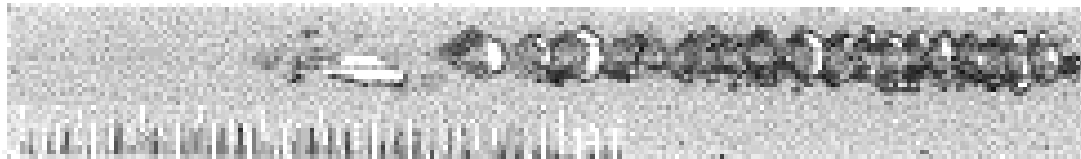
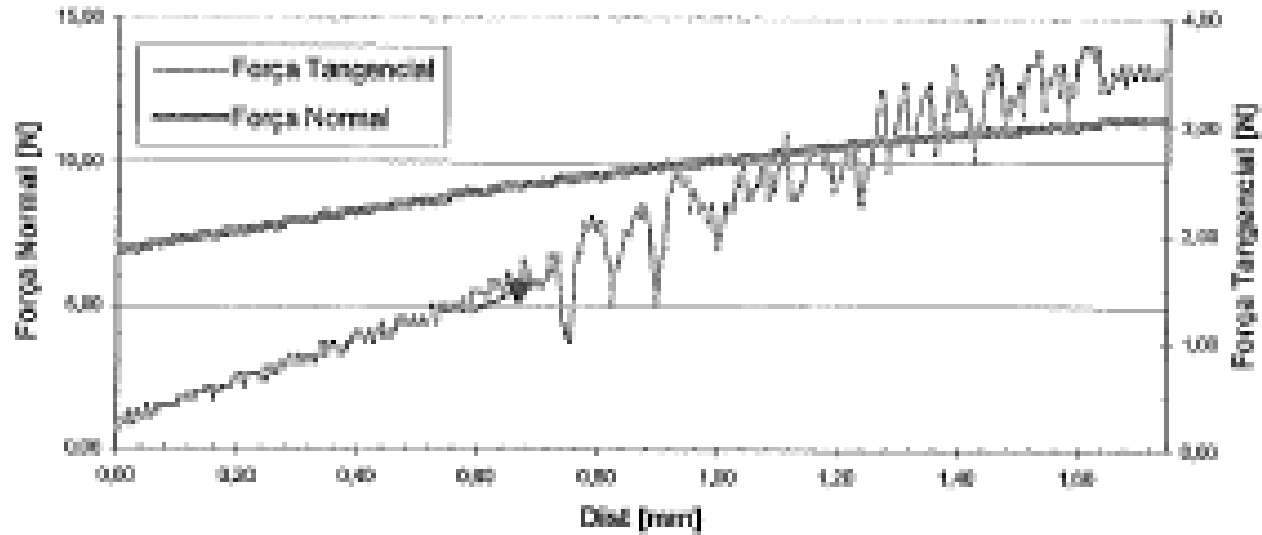
# Banco de Testes de Riscamento - Aplicação da Carga Normal [7]



## Medição da carga de rompimento de filme [7]



# Medição da carga de rompimento de filme [7]



# Fachada do Prédio do Laboratório

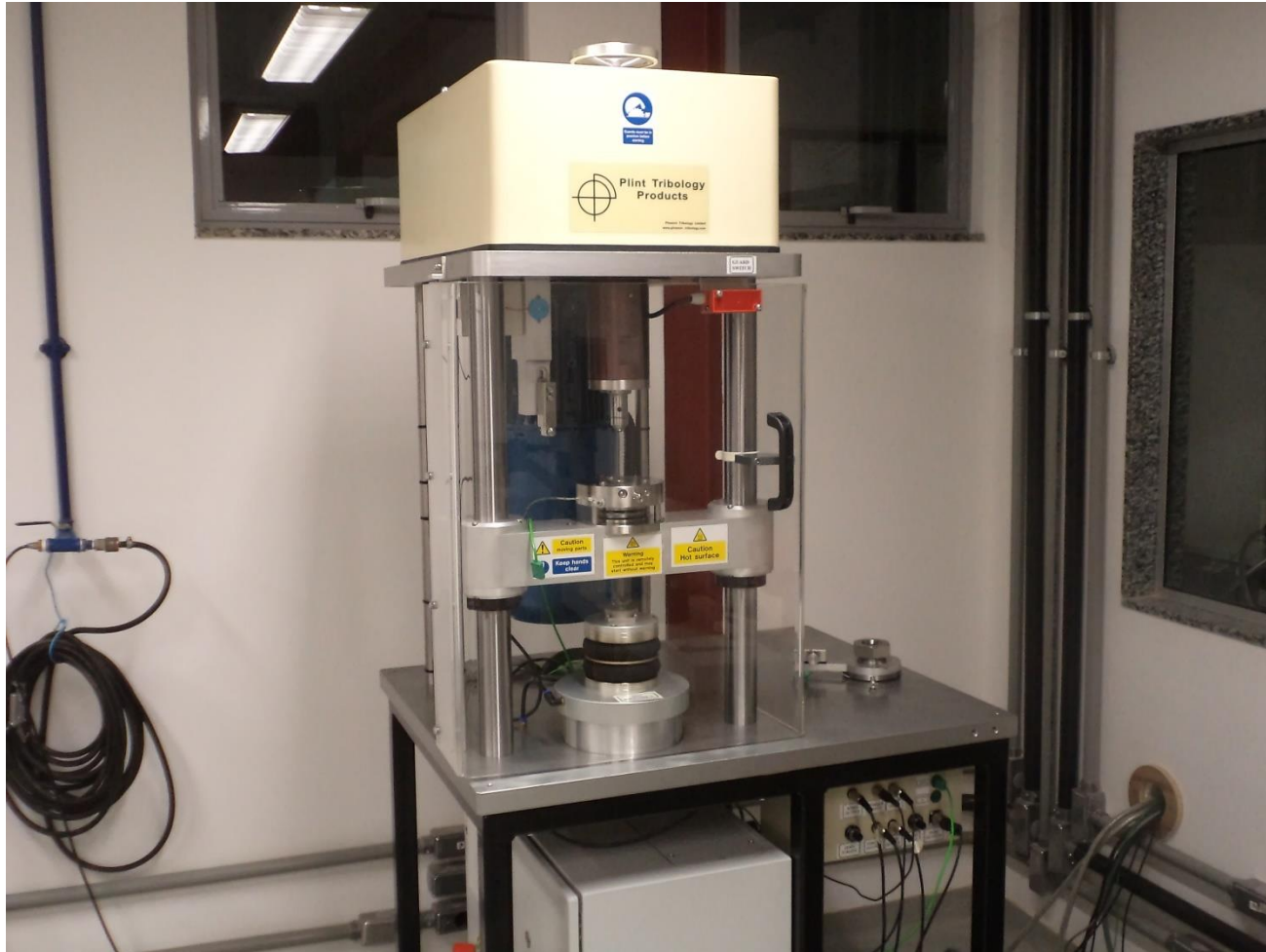


# Visão dos Fundos



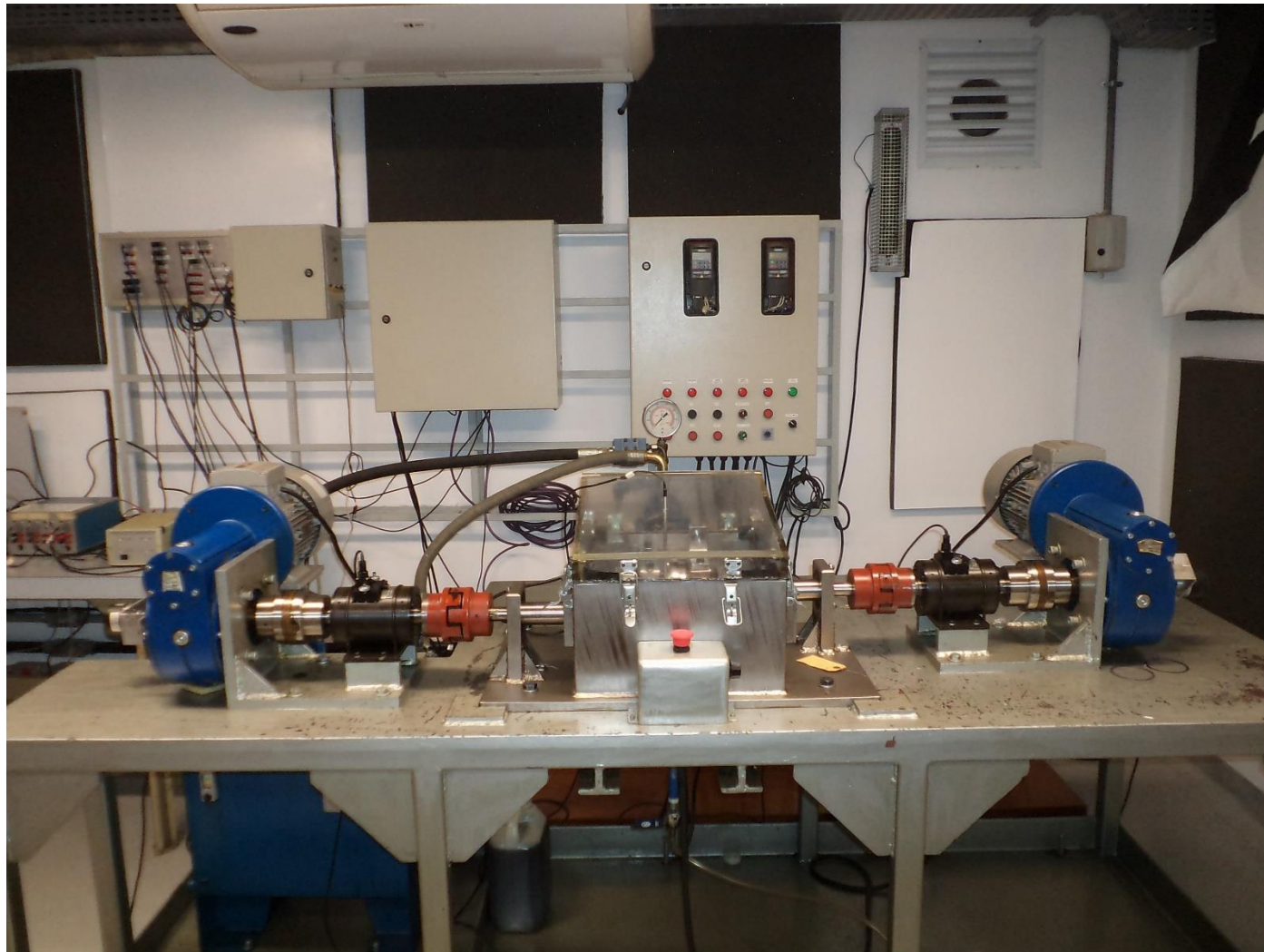


# Tribômetro Rotativo TE92HS





# Máquina Disco-Disco

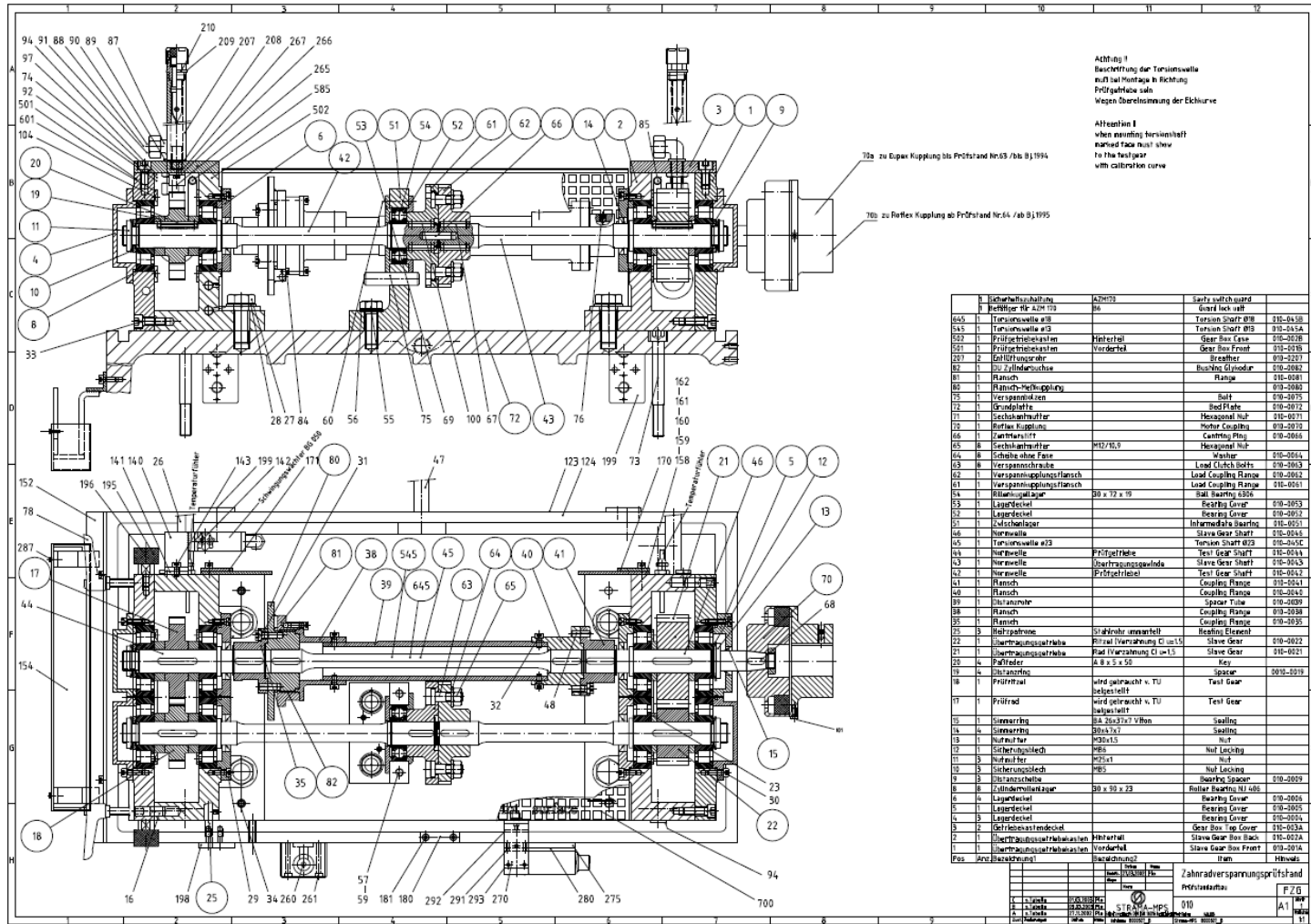


# FZG



PEM/COPPE/UFRJ

# FZG-Desenho de conjunto

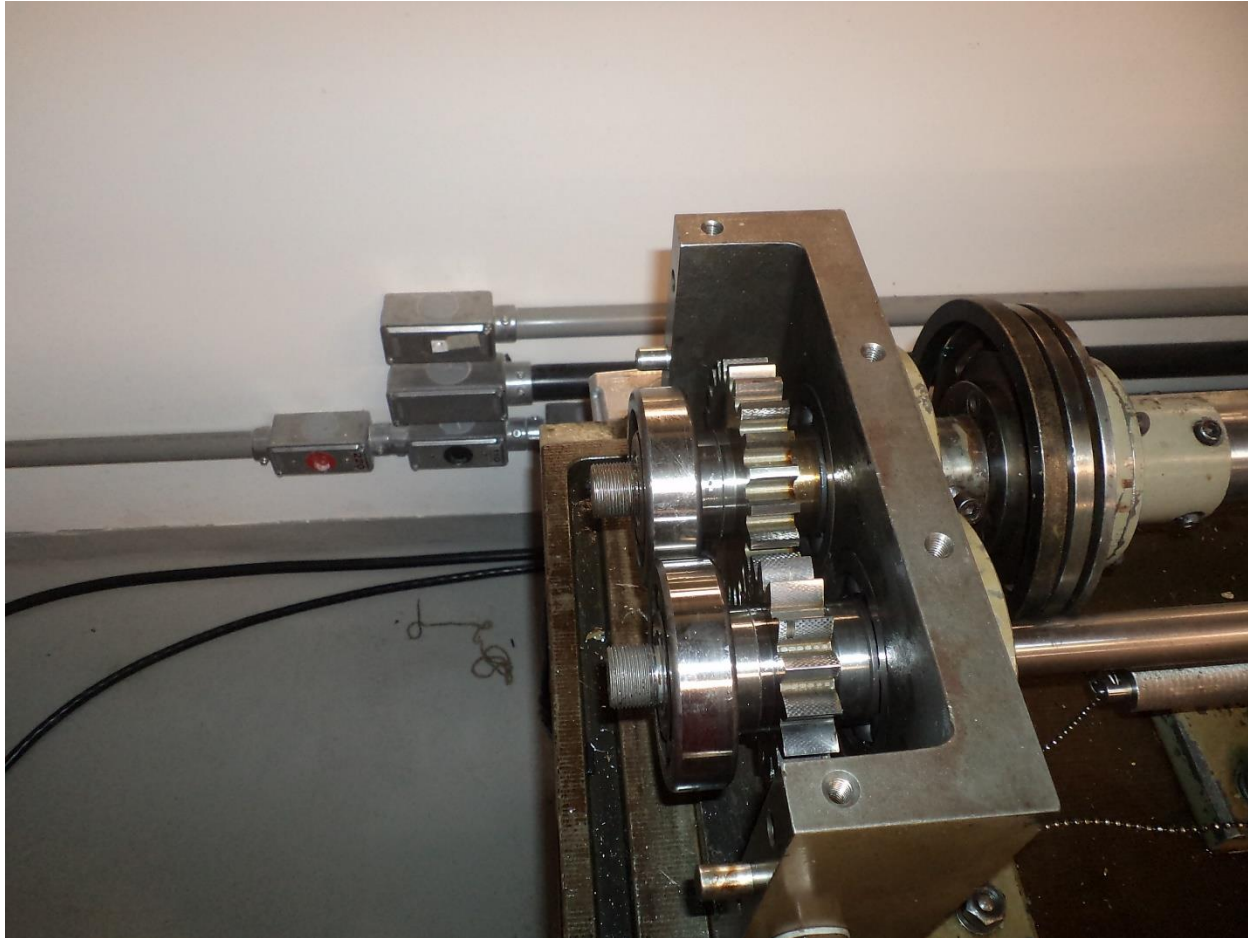




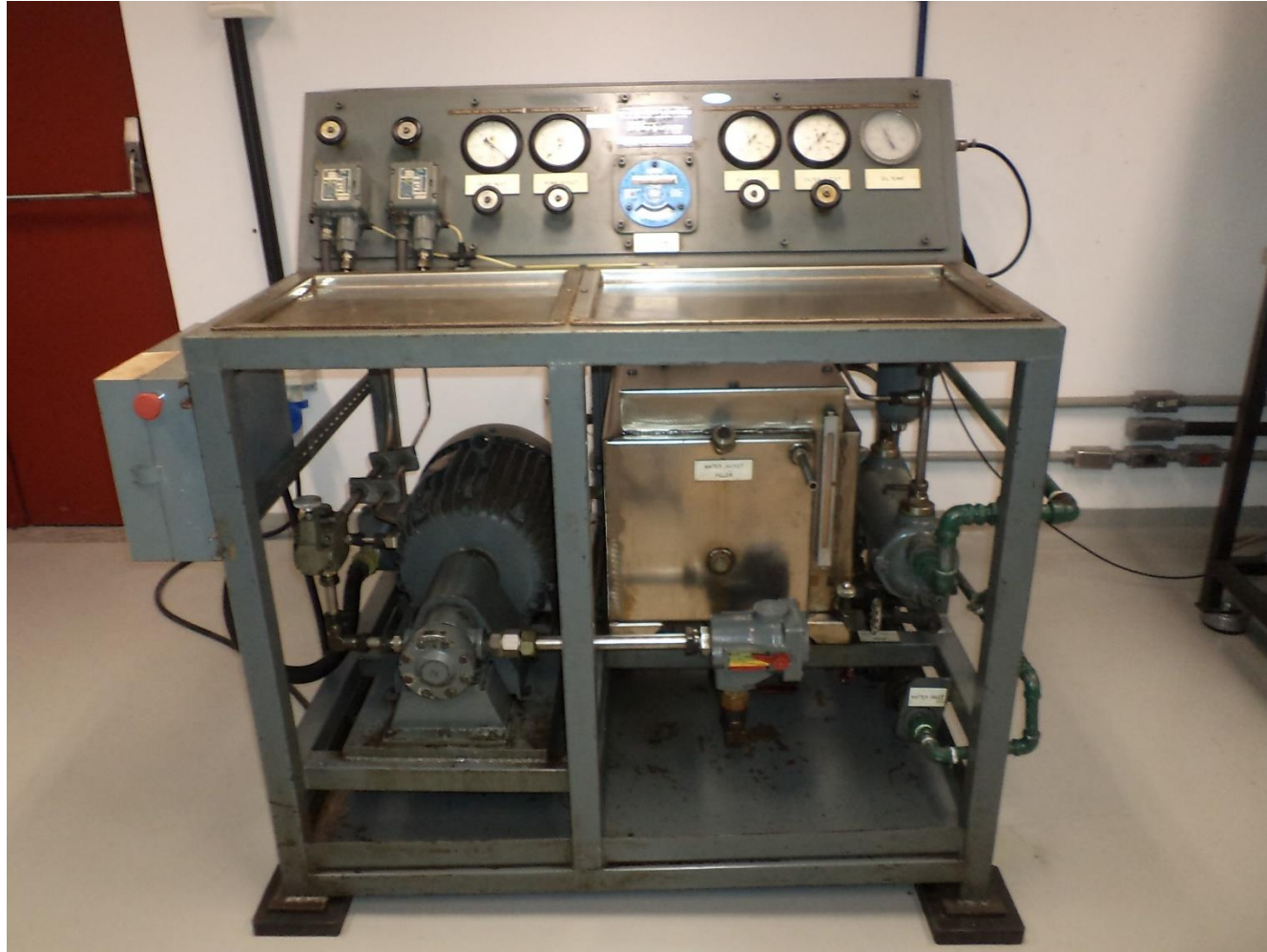
# FZG – Durante a manutenção



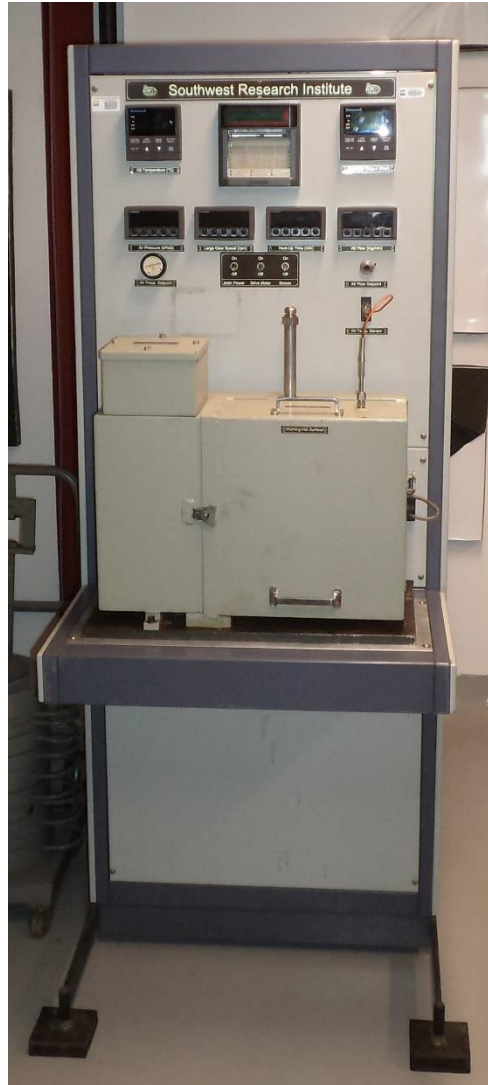
# FZG – Corpos de prova



# Tribômetro de Bomba de Palhetas



# Equipamento para avaliação de corrosividade – L60





# Sala de Controle



# Sala de Preparação - Capela



# Sala de Preparação - Estufa



# Sala de Preparação – Bancada





# Oficina



# Sala de armazenamento de óleos e químicos

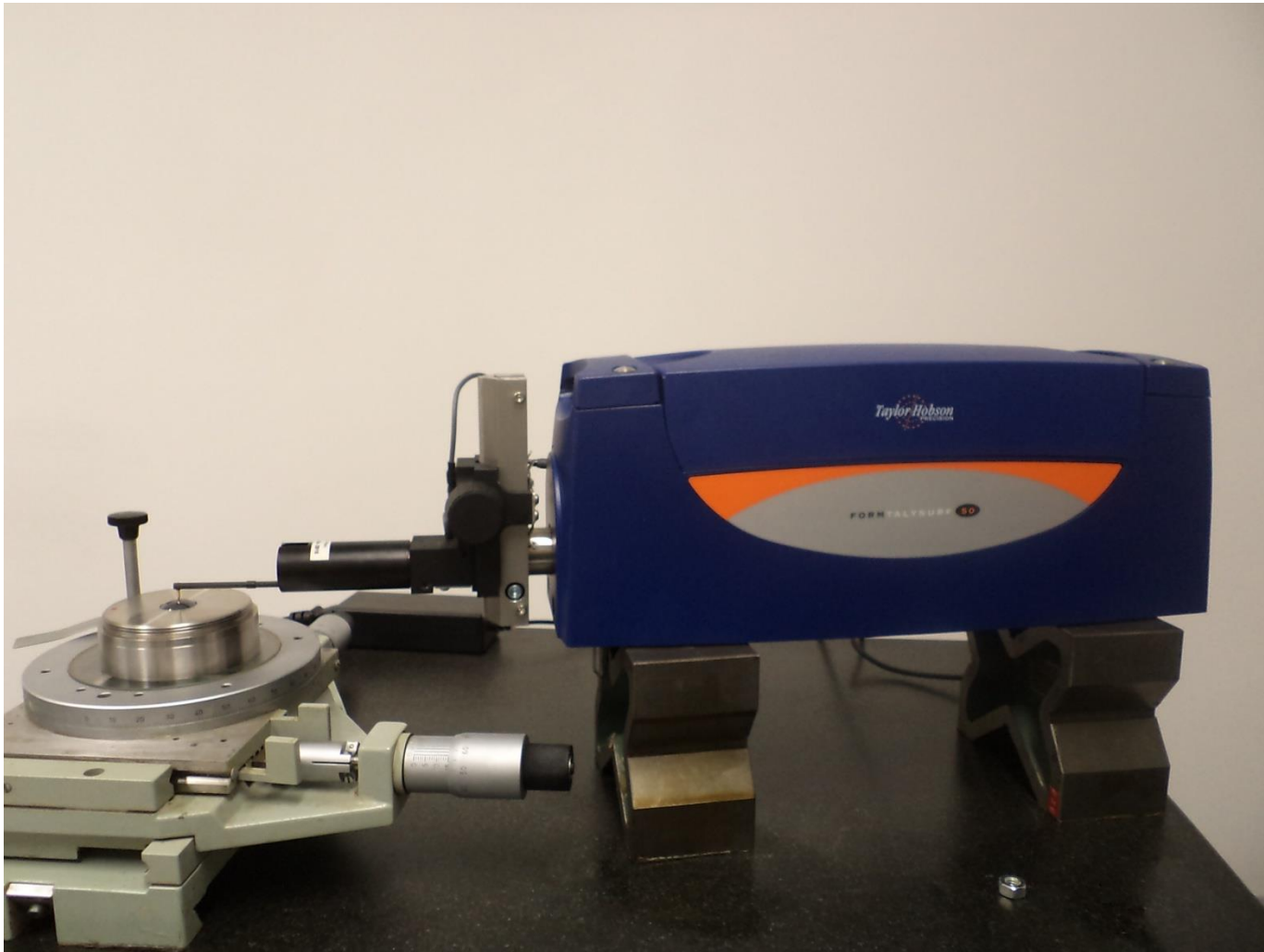


# Sala de qualificação de superfícies



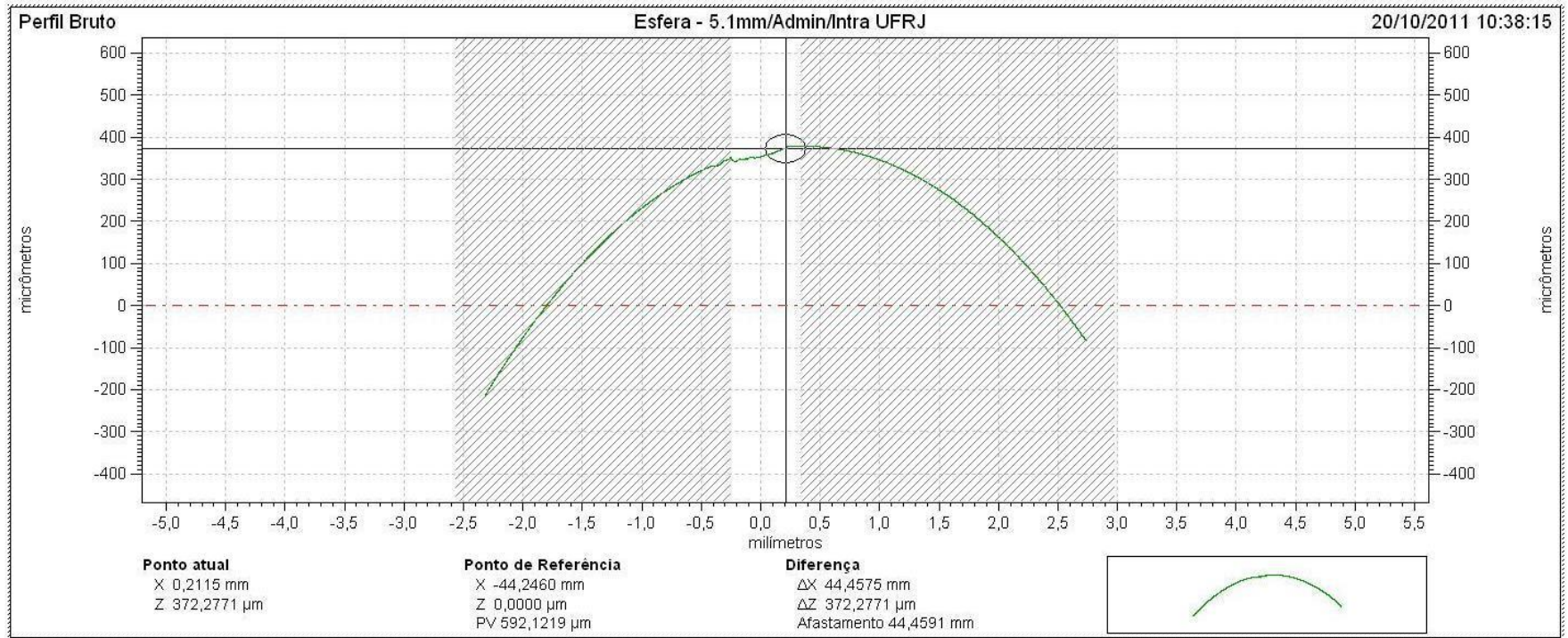


# Perfilômetro



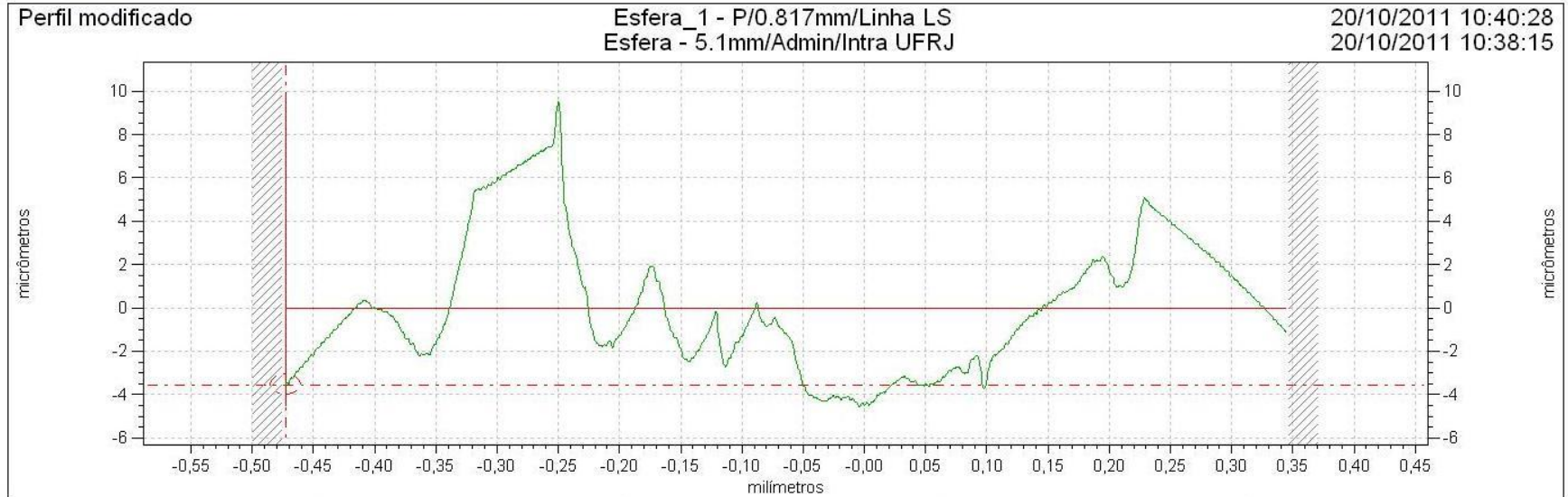
# Exemplo de medição de perfil esférico.

## Perfil Bruto



# Exemplo de medição de perfil esférico.

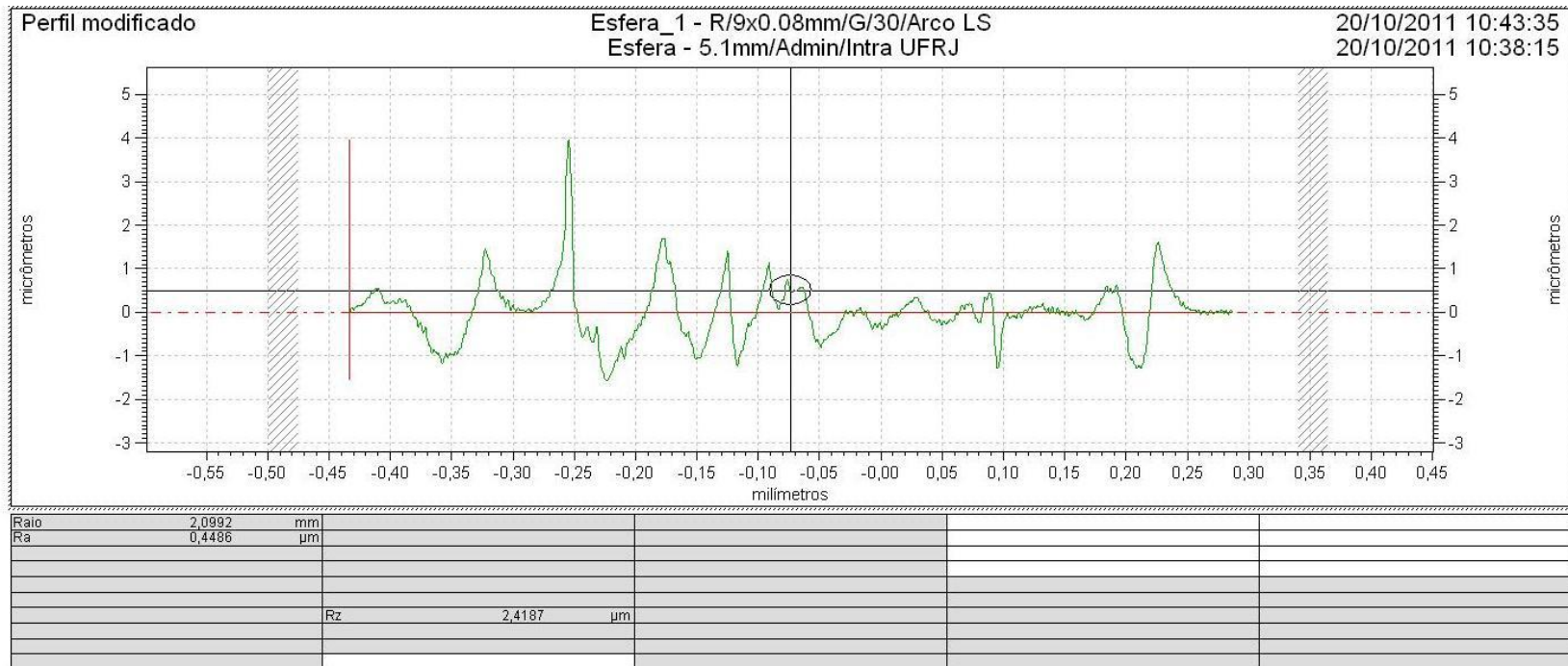
## Perfil modificado



	Pt	14,0760	µm	

# Exemplo de medição de perfil esférico.

## Perfil modificado - Rugosidade



# Microscópio Estereoscópico





# Sala de metrologia dimensional



# Sala de pesquisadores





# Sala de reuniões e apresentações



# Copa-refeitório



# Medição de atrito – 4 esferas [8]

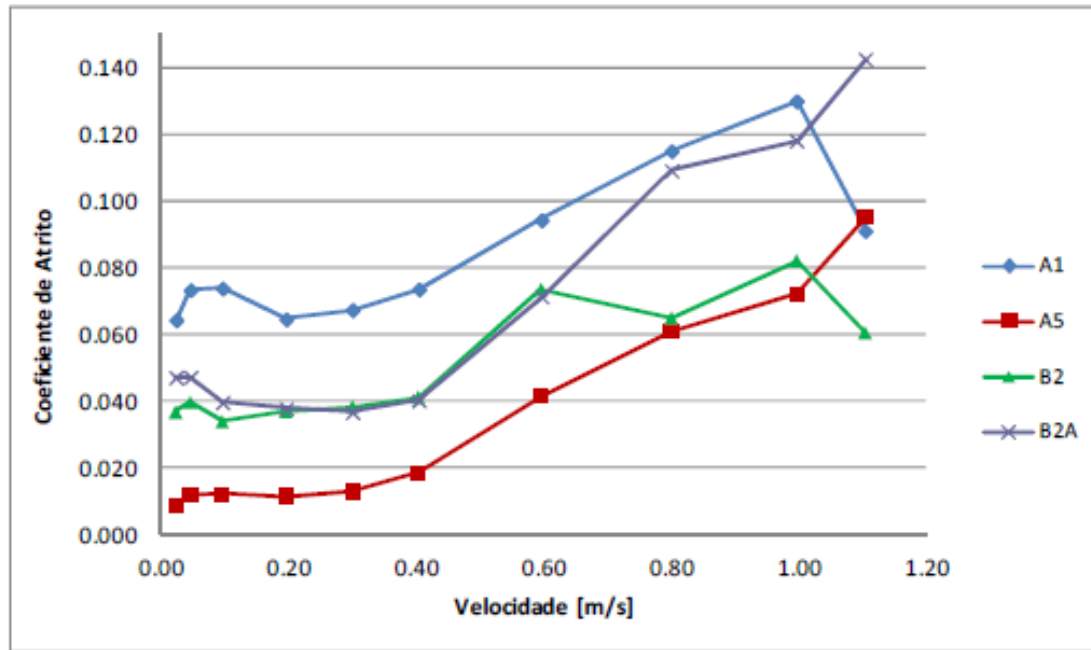


Figura 4.13 – Coeficientes de atrito para os diferentes óleos, carga de 98N e temperatura de 40°C

# Medição de atrito – 4 esferas [8]

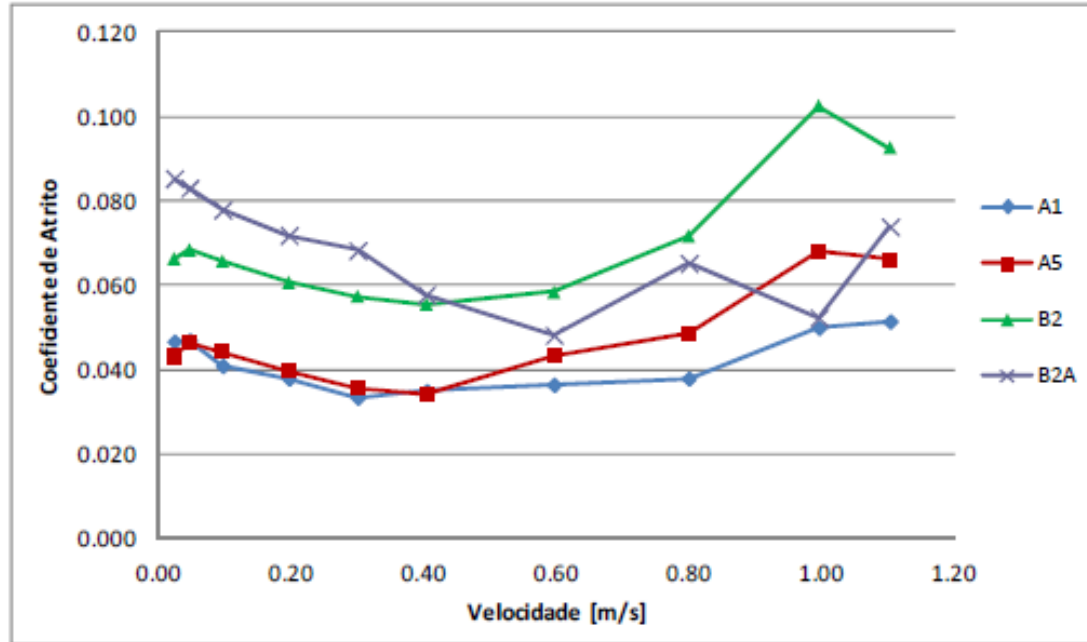


Figura 4.14 – Coeficientes de atrito para os diferentes óleos, carga de 196N e temperatura de 40°C

# Medição de atrito – 4 esferas [8]

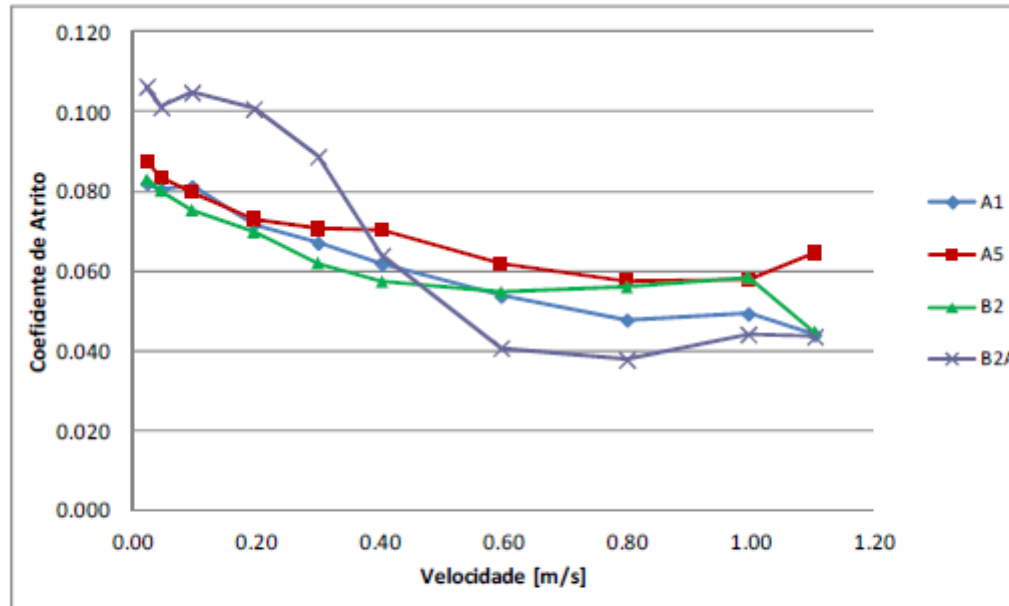


Figura 4.15 – Coeficientes de atrito para os diferentes óleos, carga de 392N e temperatura de 40°C

# Medição de atrito – 4 esferas [8]

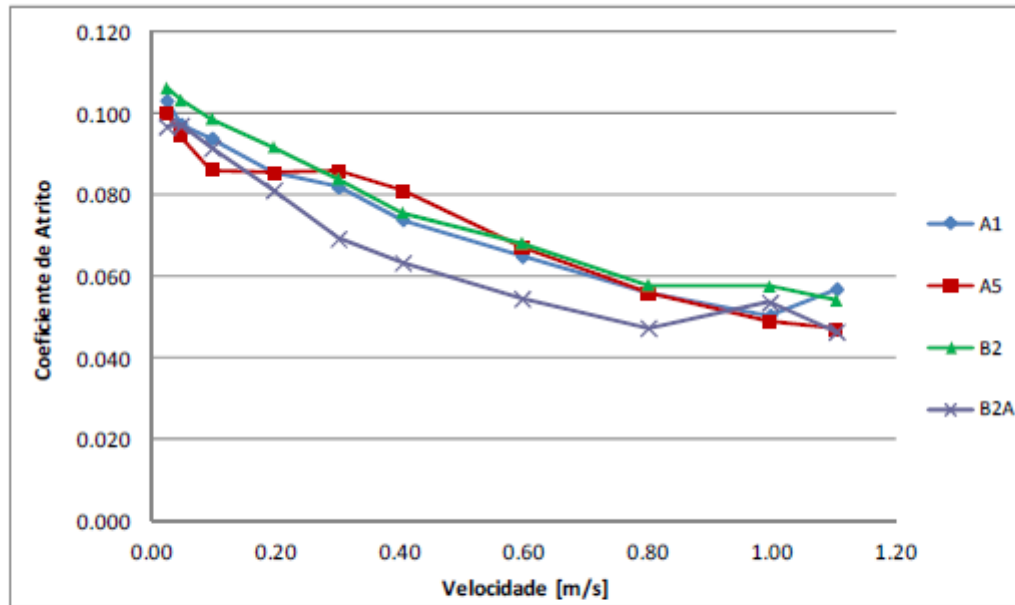


Figura 4.16 – Coeficientes de atrito para os diferentes óleos, carga de 588N e temperatura de 40°C

# Avaliação da espessura de filme lubrificante – 4 esferas [8]

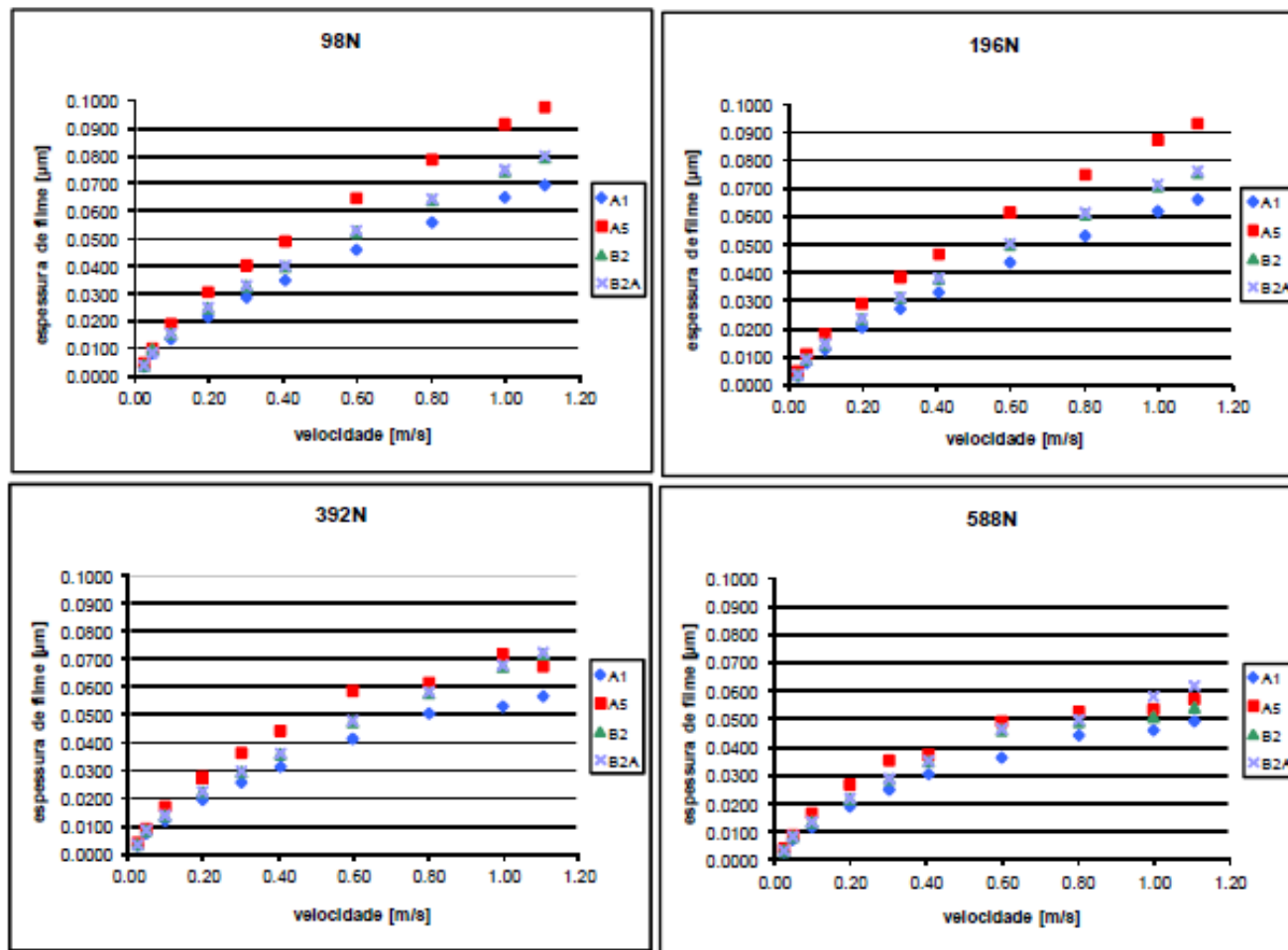
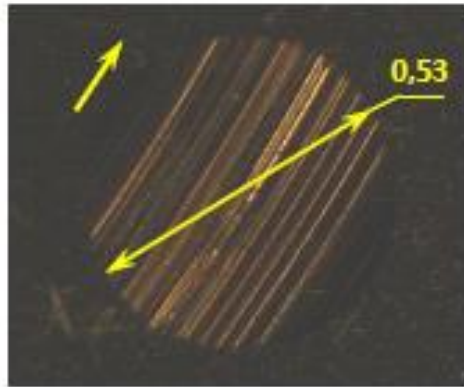


Figura 5.6 – Espessura de filme para os diferentes óleos a 40°C

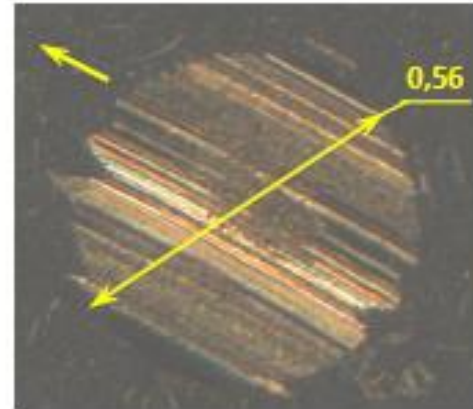




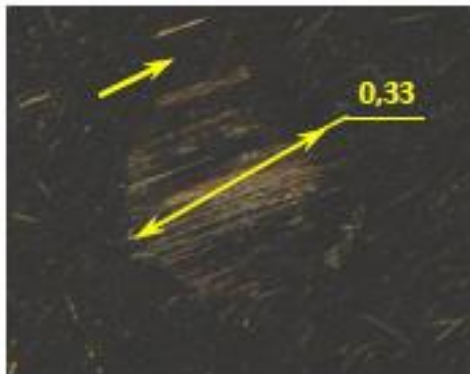
# Medição de desgaste – 4 esferas ASTM 4172[9] 392N – 75°C – 1h



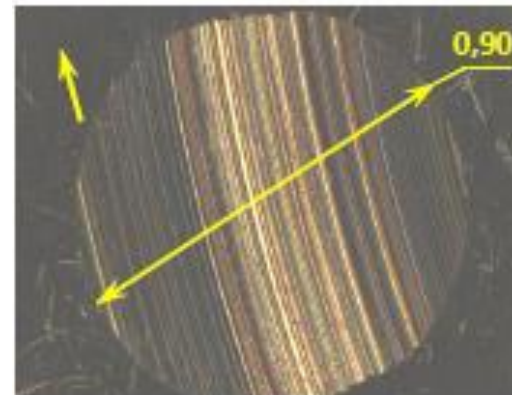
A1EP



A1S

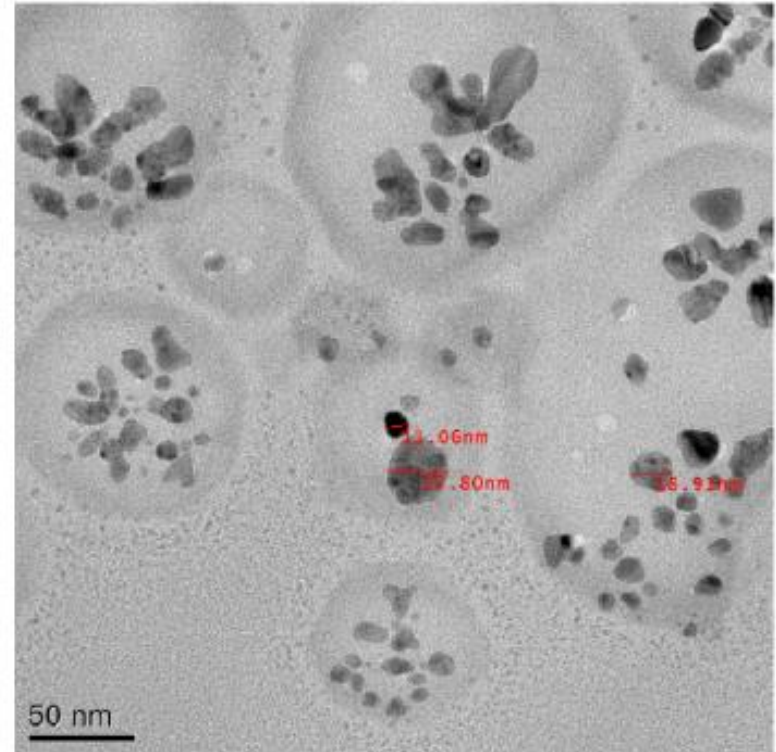
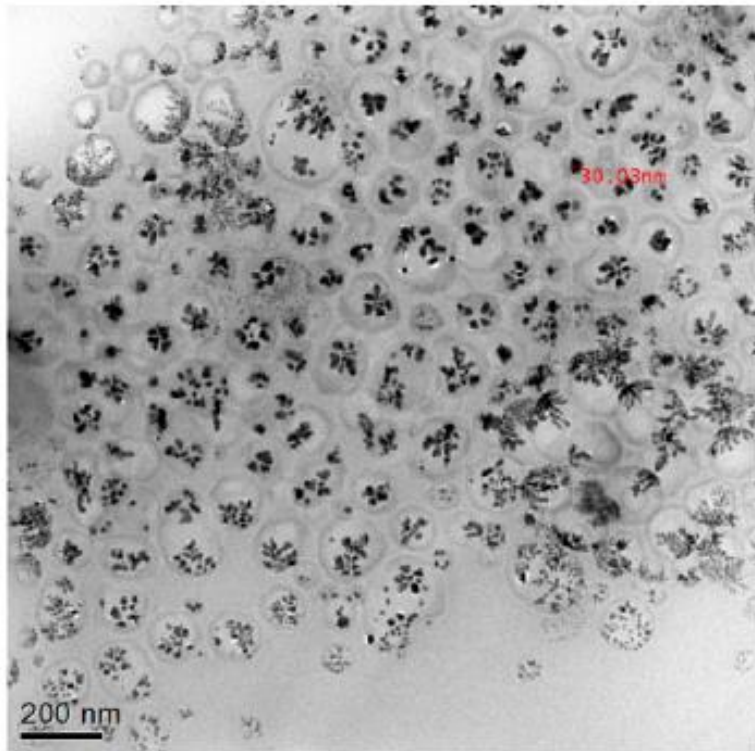


S1EP

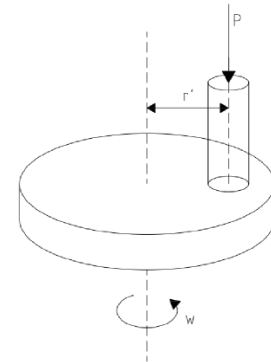
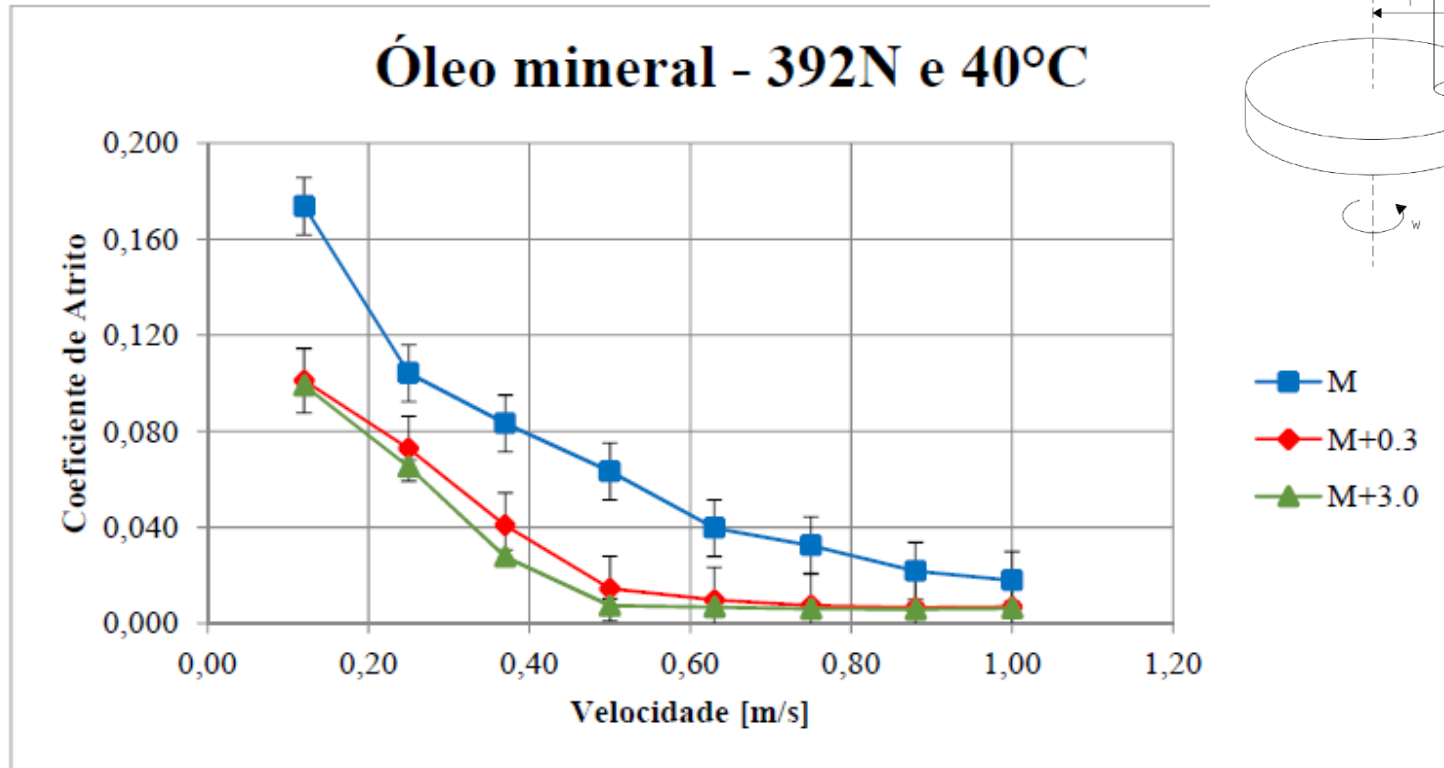


S1S

# Nanopartículas de cobre envoltas em micelas [10]

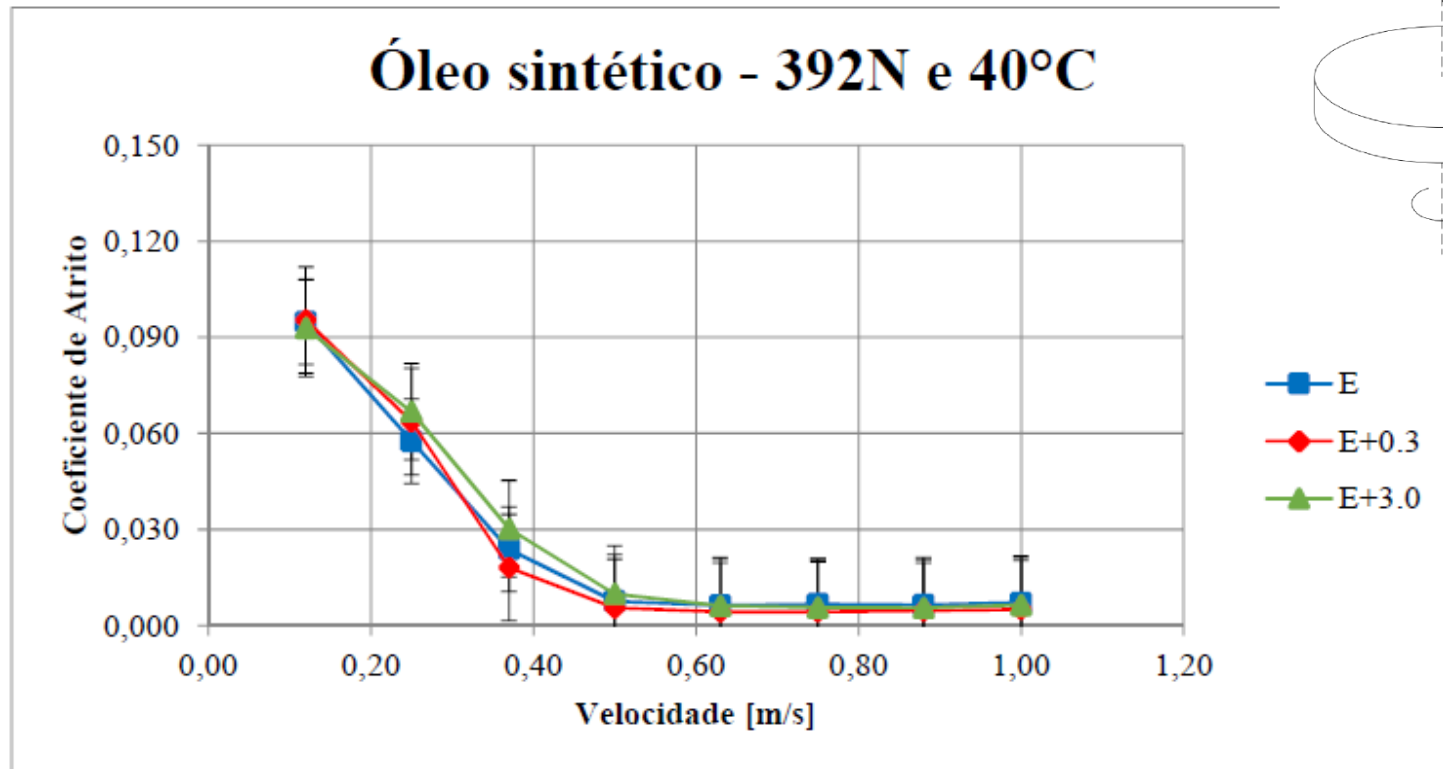


# Ensaio de atrito em lubrificantes com e sem nanopartículas (Pino-Disco) [10]



*Coeficiente de atrito obtidos em ensaios pino-disco com óleos minerais sem e com 0,3% e 3,0% de aditivo; sob 392N e à 40°C.*

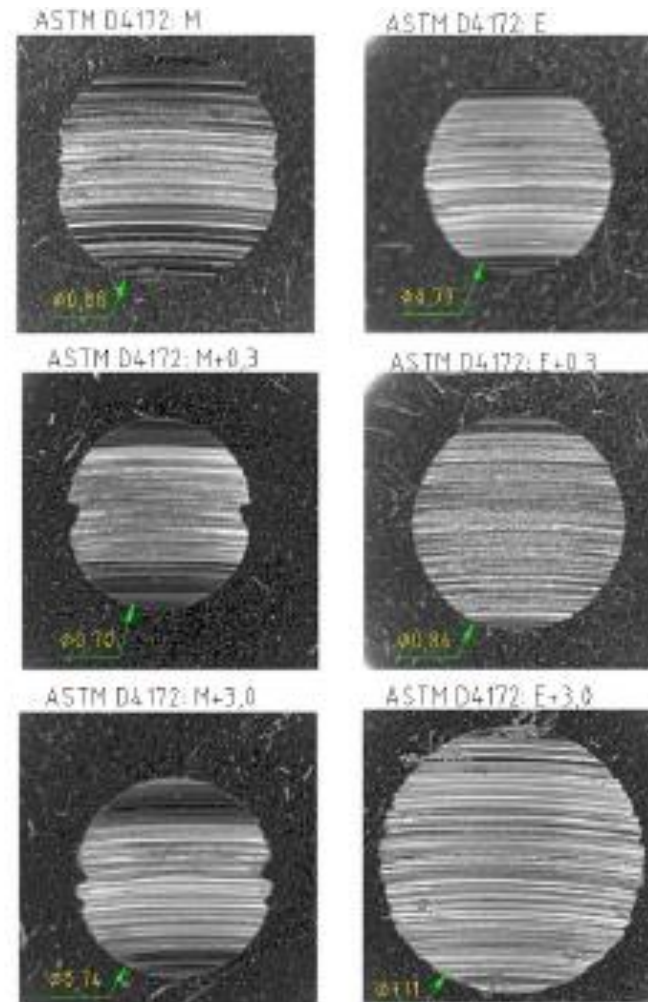
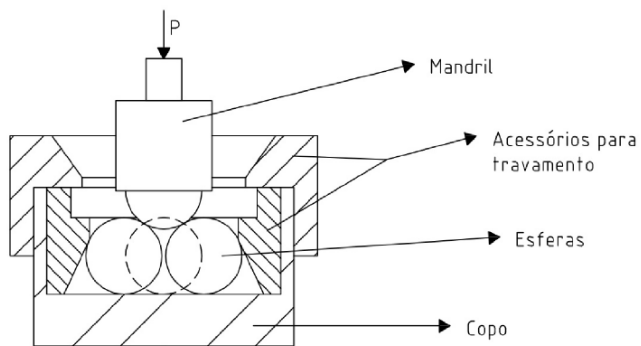
# Ensaio de atrito em lubrificantes com e sem nanopartículas (Pino-Disco) [10]



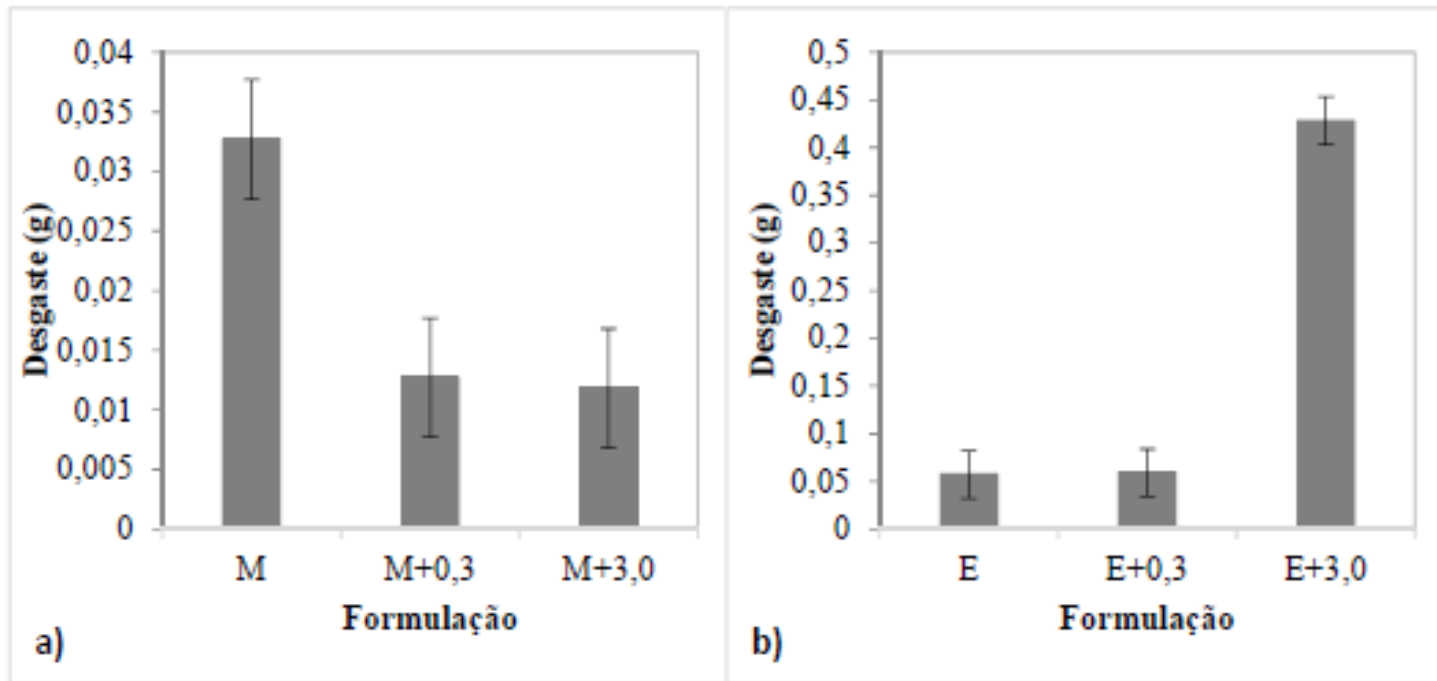
*Coeficiente de atrito obtidos em ensaios pino-disco com óleos sintéticos sem e com 0,3% e 3,0% de aditivo; sob carregamento 392N e 40°C.*



# Ensaio de desgaste ASTM 4172 em lubrificantes com e sem nanopartículas (Quatro-esferas) [10]



# Ensaio de desgaste em lubrificantes com e sem nanopartículas (Pino-Disco) [10]



*Desgaste obtido após ensaios em geometria pino-disco das formulações minerais a) M, M+0,3 e M+3,0 e das formulações sintéticas b) E, E+0,3 e E+3,0.*

# Preparação dos lubrificantes para ensaios [11]

Tabela 3.1 - Propriedades dos óleos minerais puros.

Propriedade	Fluido = O <sub>100</sub>			Fluido = O <sub>25</sub>		
	T [°C]			T [°C]		
	40	75	100	40	75	100
$\nu$ [cSt]	107,07	24,67	12,06	27,74	9,19	5,37
$\rho$ [g/mL]	0,8688	0,8457	0,8292	0,8534	0,8315	0,8159
$\mu$ [cP, mPa.s]	93,03	20,86	10	23,67	7,64	4,38

Tabela 3.2 - Viscosidade dinâmica  $\mu$  dos óleos minerais aditivados.

Propriedade	Fluido = O <sub>100</sub> A			Fluido = O <sub>25</sub> A		
	T [°C]			T [°C]		
	40	75	100	40	75	100
$\mu$ [cP, mPa.s]	73,64	17,55	8,93	22,19	7,02	4,21



# Ensaio Pino-Disco – Desgaste [11]

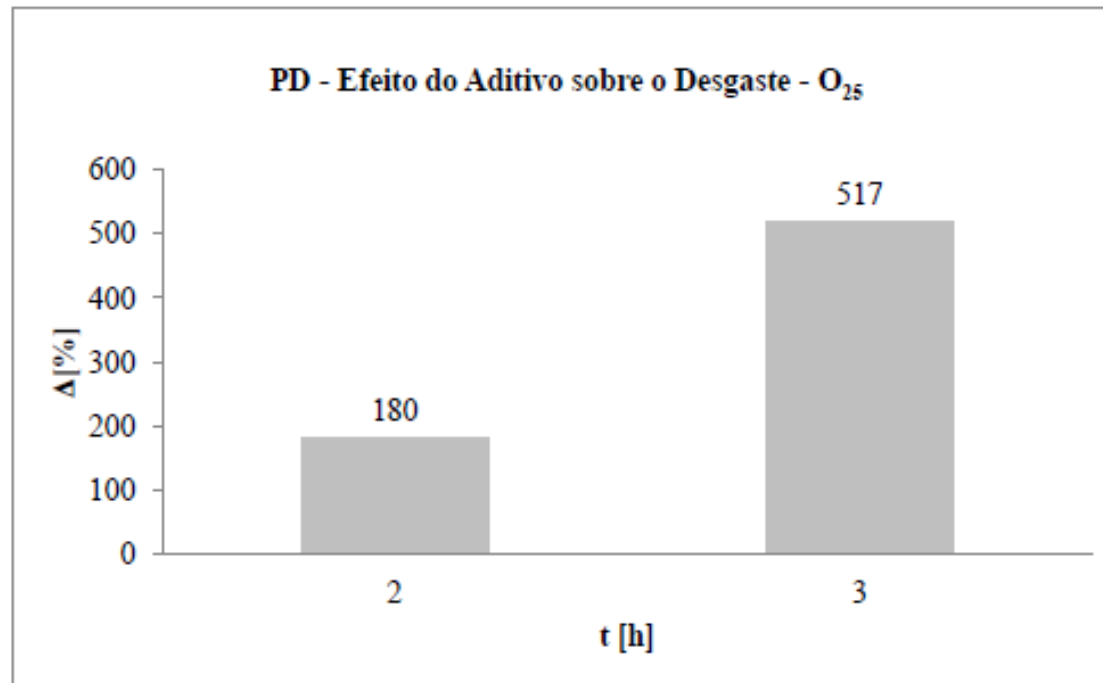


Figura 4.6 - Efeito do aditivo sobre o desgaste nos ensaios pino-disco, ao ser adicionado ao óleo de menor viscosidade (O<sub>25</sub>). O aditivo promoveu um aumento do desgaste para os dois tempos de ensaio.

# Ensaio Pino-Disco – Desgaste [11]

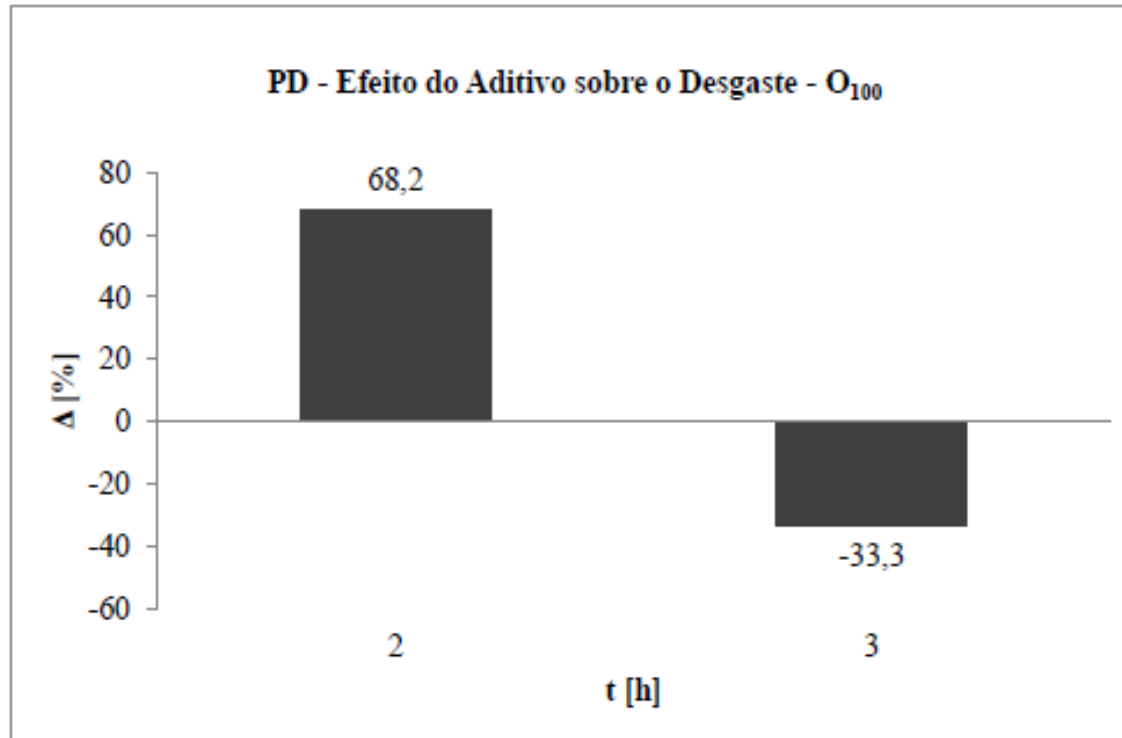
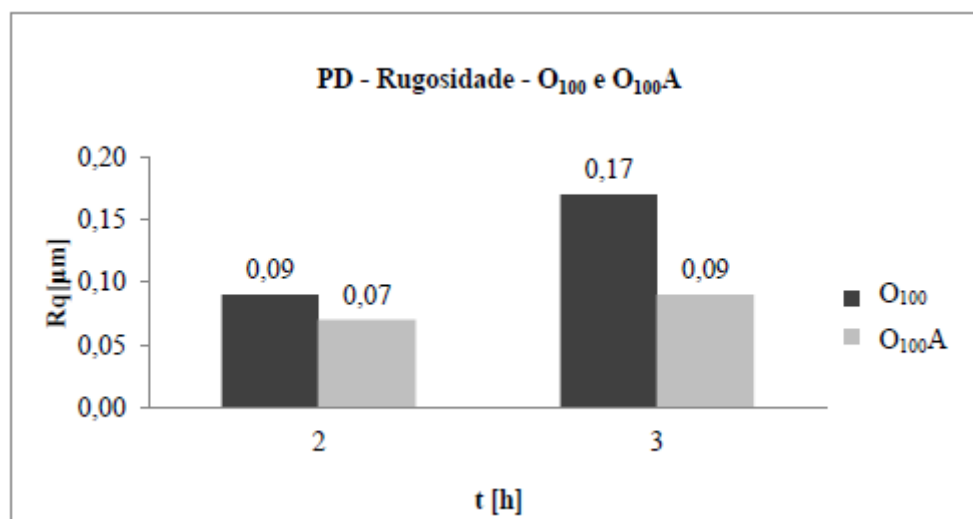
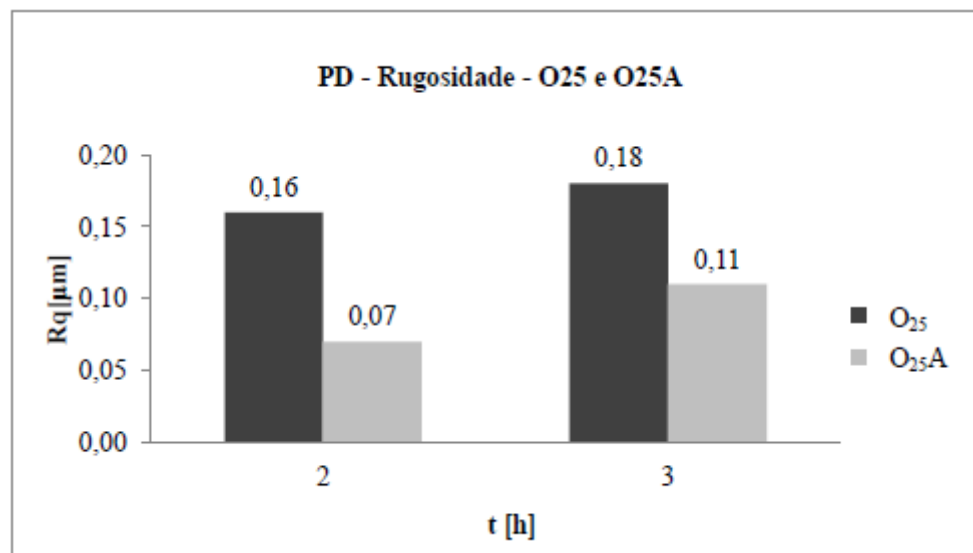
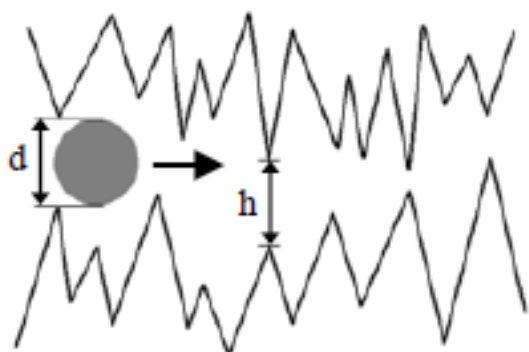


Figura 4.5 - Efeito do aditivo sobre o desgaste nos ensaios pino-disco, ao ser adicionado ao óleo de maior viscosidade (O<sub>100</sub>). O aditivo promoveu um aumento do desgaste para 2h de ensaio, e uma redução do desgaste para 3h de ensaio.



# Ensaio Pino-Disco – Rugosidade [11]



# Verificação em MEV [11]

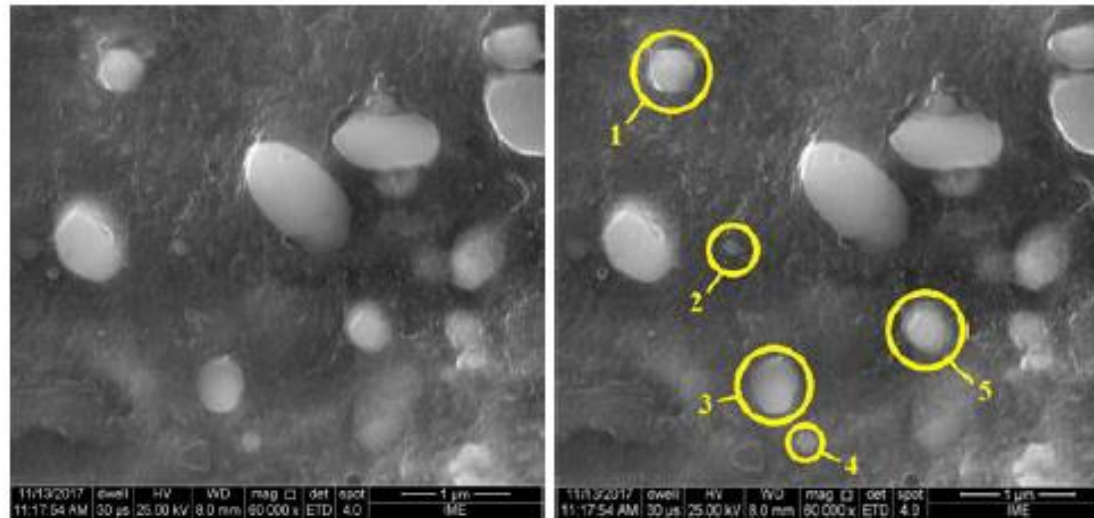


Figura 4.24 - (a) Imagem obtida por MEV-FEG. Amostra: esfera; fluido:  $O_{100}$ ;  $t = 3h$ .  
Ampliação = 60000x. (b) Seleção de partículas para dimensionamento.

Tabela 4.25: Diâmetros de partículas visualizadas por MEV(FEG).

Nº da partícula	Diâmetro [nm]
1	430
2	120
3	440
4	200
5	400

# Referências Bibliográficas – 1ª Parte

- [1] Ribeiro de Oliveira, S.J., 1995, *O Comportamento Não-Newtoniano dos Fluidos sob Elevadas Taxas de Cisalhamento como Fundamento para os Fenômenos de Lubrificação e Vedação em Retentores (em alemão)*, Tese de Doutorado apresentada à Universidade Técnica de Hamburgo-Harburgo (TUHH), dezembro de 1995.
- [2] Vidal Castro, L.C., 1999, *Construção de um Banco de Testes de Retentores*, Dissertação de Mestrado apresentada ao PEM/COPPE/UFRJ, março de 1999.
- [3] Soares, L.P., 2001, *Estudo Experimental de Soluções Poliméricas e Escoamento Não Newtoniano em Vedação sem Contato*, Dissertação de Mestrado apresentada ao PEM/COPPE/UFRJ, novembro de 2001.

# Referências Bibliográficas

- [4] Matos, T. de F., 2004, *Propriedades Reológicas de Fluidos Lubrificantes sob Condições Elastohidrodinâmicas*, Dissertação de Mestrado apresentada ao PEM/COPPE/UFRJ, novembro de 2004.
- [5] FARIAS, D.F., 2005, *Utilização da Geometria Disco-Disco Para Investigação da Capacidade de Proteção ao Desgaste de Lubrificantes sob Condições Elastohidrodinâmicas*, Dissertação de Mestrado apresentada ao PEM/COPPE/UFRJ, outubro de 2005.
- [6] Toscano, B.V., 2005, *Investigação do Comportamento Reológico de Óleos Lubrificantes na Zona de Vedação de Selos Mecânicos*, Dissertação de Mestrado apresentada ao PEM/COPPE/UFRJ, agosto de 2005.
- [7] Samar, F., 2004, *Técnica de Teste de Riscamento para Investigação da Adesão de Filmes*, Dissertação de Mestrado apresentada ao PEM/COPPE/UFRJ, dezembro de 2004.

# Referências Bibliográficas

- [8] Carmo, M.R.; 2004; *Influência dos Parâmetros de Operação e de Propriedades dos Lubrificantes nas Condições de Lubrificação em Geometria 4 Esferas*, Dissertação de Mestrado apresentada ao PEM/COPPE/UFRJ, setembro de 2012.
- [9] Costa Jr, J.B.; 2013; *Investigação do Desempenho da Lubrificação, através do Teste 4 Esferas, de Óleos Lubrificantes de Transmissão Industrial*, Dissertação de Mestrado apresentada ao PEM/COPPE/UFRJ, março de 2013.
- [10] Borda, F.L.G.; 2016; *Investigação Experimental do Comportamento Tribológico de Lubrificantes com Aditivos contendo Nanopartículas de Cobre*, Dissertação de Mestrado apresentada ao PEM/COPPE/UFRJ, maio de 2016.
- [11] Freitas, G.T.; 2018; *Investigação do Comportamento de um Aditivo para óleos Lubrificantes por meio de Técnicas de Caracterização de Nanomateriais*, Dissertação de Mestrado apresentada ao PEM/COPPE/UFRJ, junho de 2018.