

UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS
FACULDADE DE ENGENHARIA AGRÍCOLA

ESTUDO METODOLÓGICO DAS GEOMETRIAS DE CORPOS VEGETAIS PARA
ENSAIOS MECÂNICOS.

POR

RENATO LAURENTI

Paracer

Este exemplar corresponde a redação final da dissertação de Mestrado defendida por Renato Laurenti e aprovada pela Comissão Julgadora em 05 de dezembro de 1997. Campinas, 20 de dezembro de 1998.



Presidente da Banca

Dezembro, 1997
Campinas – Brasil

UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS

FACULDADE DE ENGENHARIA AGRÍCOLA

**ESTUDO METODOLÓGICO DAS GEOMETRIAS DE CORPOS VEGETAIS PARA
ENSAIOS MECÂNICOS.**

POR

RENATO LAURENTI

**Orientador:
Inácio M. Dal Fabbro**

Dissertação apresentada como cumprimento parcial dos requisitos à obtenção do título de
Mestre em Engenharia Agrícola.
Área de concentração: Máquinas Agrícolas

Campinas , dezembro de 1997

UNIDADE	BC
N.º CHAMADA	UNICAMP
	L374e
	34098
	395198
	0 X
PREÇO	R\$ 11,00
DATA	02/06/98
CPD	

CM-00112437-2

FICHA CATALOGRÁFICA ELABORADA PELA
BIBLIOTECA DA ÁREA DE ENGENHARIA - BAE - UNICAMP

L374e Laurenti, Renato
Estudo metodológico das geometrias de corpos vegetais
para ensaios mecânicos. / Renato Laurenti --Campinas, SP:
[s.n.], 1997.

Orientador: Inácio M. Dal Fabbro.
Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual de
Campinas, Faculdade de Engenharia Agrícola.

1. Geometria. 2. Espécimes biológicos. 3. Ensaios não-
destrutivos. 4. Resistência de materiais. 5. Elasticidade. 6.
Testes. 7. Viscoelasticidade. 8. Mecânica dos meios
contínuos. 9. Viscosidade. I. Dal Fabbro, Inácio M. II.
Universidade Estadual de Campinas. Faculdade de Engenharia
Agrícola. III. Título.

DEDICATÓRIA

Aos meus pais, Orlando e Ambrosina
e a meu irmão, Ronaldo.

AGRADECIMENTOS:

Ao Prof. Dr. Inácio M. Dal Fabbro, pela orientação apoio, e, principalmente a grande amizade.

Aos funcionários da secretaria de pós-graduação.

Aos professores membros do comitê orientador, pelo apoio.

Ao Prof. Claudio B. Sverzut pela grande amizade e apoio pessoal durante o trabalho.

Aos funcionários do departamento de máquinas agrícolas.

À Faculdade de Engenharia Agrícola e a Faculdade de Engenharia Mecânica pela disponibilidade de suas instalações.

À Universidade Estadual de Campinas, CNPq, e FAEPE.

SUMÁRIO

	Página
DEDICATÓRIA.....	ii
AGRADECIMENTOS.....	iii
SUMÁRIO.....	iv
LISTA DE FIGURAS.....	vii
LISTA DE SÍMBOLOS.....	ix
RESUMO.....	xii
ABSTRACT.....	xiii
1. INTRODUÇÃO.....	1
2. REVISÃO DE LITERATURA.....	3
2.1 Introdução.....	3
2.2 Comportamento elástico.....	4
2.3 Comportamento viscoelástico.....	8
3. TEORIA BÁSICA.....	11
3.1 Introdução.....	11
3.2 O meio contínuo, homogeneidade, anisotropia e isotropia dos materiais.....	12
3.3 Teoria da elasticidade linear ou lei de Hooke em três dimensões.....	12

3.4 Considerações sobre modelos viscoelásticos analógicos de Maxwell e Kelvin.....	16
3.5 Considerações sobre modelo analítico.....	19
3.6 Pressão entre dois corpos esféricos em contato.....	22
3.7 Caso genérico para pressão entre dois corpos esféricos em contato.....	31
3.8 Pressão de contato entre um elipsóide e uma superfície plana.....	41
3.9 Considerações sobre ensaios por impacto.....	43
3.10 Impacto não elástico.....	48
3.11 Aplicação de força e deformação em funções periódicas do tempo.....	51
4. MATERIAIS E MÉTODOS.....	52
4.1 Introdução.....	52
4.2 Materiais.....	52
4.2.1 Espécimens de borracha.....	52
4.2.2 Prensa de ensaios.....	53
4.3 Medidas dos espécimes.....	53
4.4 Ensaios mecânicos.....	56
4.5 Cálculo do módulo de elasticidade.....	56
5. RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	60
5.1 Introdução.....	60
5.2 Fator geometria dos espécimes.....	61
5.3 Fator tamanho dos espécimes.....	62
5.4 Fator razão de força e razão de deformação.....	66
5.5 Ensaios senoidais.....	66
5.6 Ensaios diametrais ou “Brazilian Test”.....	67
5.7 Gráficos dos ensaios senoidais.....	68
6. CONCLUSÕES.....	82

7. RECOMENDAÇÕES PARA TRABALHOS FUTUROS.....	85
8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	86
APÊNDICE I Taxa de força 98,1 N/s esferas.....	89
APÊNDICE II Taxa de força 98,1 N/s cilindros	104
APÊNDICE III Taxa de força 98,1 N/s cubos.....	120
APÊNDICE IV Taxa de força 98,1 N/s “Brazilian test”	133
APÊNDICE V Taxa de deformação 1,25 mm/s esferas	149
APÊNDICE VI Taxa de deformação 1,25 mm/s cilindros	163
APÊNDICE VII Taxa de deformação 1,25 mm/s cubos	175
APÊNDICE VIII Taxa de deformação 1,25 mm/s “Brazilian test”	184
APÊNDICE IX Esfera 8 Taxa de força: 1177 N/s; 981 N/s; 373,73 N/s.....	200
APÊNDICE X Cilindro 8 Taxa de força: 981 N/s; 373,73 N/s.....	204
APÊNDICE XI Cubo 7, 8, 9 Taxa de força: 981 N/s; 588,6 N/s; 323,73 N/s	207
APÊNDICE XII “Brazilian test” Taxa de força: 1177 N/s; 981 N/s; 588,6 N/s	212
APÊNDICE XIII Esfera 8 Taxa de deformação: 50 mm/s; 25 mm/s; 5mm/s; 2,5 mm/s.....	216
APÊNDICE XIV Cilindro 8 Taxa de deformação: 50 mm/s; 25 mm/s; 5 mm/s; 2,5 mm/s...221	
APÊNDICE XV Cubo 8 Taxa de deformação: 50 mm/s; 25 mm/s; 5 mm/s; 2,5 mm/s.....	226

LISTA DE FIGURAS

Fig. 2.1 - Ensaio de compressão uniaxial.....	pag.5
Fig. 2.2 – Ensaio de cisalhamento.....	pag.6
Fig. 3.1 – Modelo viscoelástico de Maxwell.....	pag.16
Fig. 3.2 – Modelo generalizado de Maxwell.....	pag.17
Fig. 3.3 – Modelo viscoelástico de kelvin.....	pag.18
Fig. 3.4 – Modelo generalizado de Kelvin.....	pag.18
Fig. 3.5 – Gráfico da função de grau unitário.....	pag.29
Fig. 3.6 a – 3.6 b – Representação de uma função contínua $\sigma_{11}(t)$ e $\varepsilon_{11}(t)$ arbitrárias como uma somatória de funções descontínuas infinitesimais.....	pag.20
Fig. 3.7 – Problema de Hertz para esferas em contato com uma placa (superfície) plana e duas esferas em contato.....	pag.23
Fig. 3.8 – Esferas em contato.....	pag.25
Fig. 3.9 – Esferas em contato com superfície plana.....	pag.25
Fig. 3.10 – Esfera em contato com superfície convexa, R_1 negativo.....	pag.26
Fig. 3.11 – Esfera em contato com superfície plana.....	pag.27
Fig. 3.12 –Distribuição de tensão de duas esferas em contato.....	pag.30

Fig. 3.13 – Distribuição de pressão q ao longo da largura da superfície de
contato semi-elíptica.....pag.37

Fig. 3.14 – Distribuição de tensão de uma esfera em contato com uma
superfície plana.....pag.39

Fig. 3.15 – Distribuição de tensão entre uma esfera comprimida contra uma
superfície plana.....pag.39

Fig. 3.16 – Esquema de dois cilindros em contato.....pag.40

Fig. 3.17 – Distribuição de tensão, em uma superfície de contato de um
cilindro carregado com uma superfície plana.....pag.41

Fig. 3.18 – Esquema para cálculo dos raios principais de curvatura de um
elipsóide que pode ser exemplificado por uma laranja.....pag.42

Fig. 3.19 – Calculo do raio de uma esfera.....pag.43

Fig. 3.20 – Simulação de um ensaio por impacto.....pag.48

Fig. 3.21 – Caracterização de impacto elástico, e do impacto plástico.....pag.49

Fig. 3.22 – Ilustra o impacto entre duas esferas com massas, m_1 e m_2 , se aproximando
à velocidades v_1 e v_2 pag.50

LISTA DE SÍMBOLOS E UNIDADES

δ_{ij} - Delta de Kronecker	-
α - Deformação	mm
β - Valor dependente dos raios R_1 e R_2	-
γ - Distorção específica de cisalhamento	mm
ε - Deformação específica	mm/mm
$\dot{\varepsilon}_{ij}$ - Taxa de deformação específica (strain rate)	mm/s
ε_{ij} - Tensor deformação específica	mm/mm
ε_{kk} - Tensor deformação hidrostática	mm ³ /mm ³
ε_v - Deformação volumétrica específica	mm ³ /mm ³
η - Coeficiente de viscosidade	Pa.s
θ - Ângulo de cisalhamento	rad
ν - Coeficiente de Poisson	-
σ_{ij} - Tensor tensão	Pa
σ_{kk} - Tensor hidrostático	Pa
$\dot{\sigma}_{ij}$ - Taxa de carregamento (stress rate)	N/s
σ_r - Tensão radial	Pa
σ_{ij} - Tensor tensão	Pa

τ - Tensão de cisalhamento	Pa
ξ - Tempo de retardamento	s
λ e μ - Constantes de Lamé	-
$\phi(t)$ - Função relaxation	Pa
$\psi(t)$ - Função creep	Pa
[A] - Matriz na mudança de comprimento de barras (treliça)	-
a - Raio da superfície de contato	mm
A(t) - Área de contato em função do tempo	mm ²
b - Metade da largura da superfície de contato para “Brazilian Test”	mm
D - Deformação	mm
$\dot{F}(t)$ - Força de compressão dependente do tempo	N
[F] - Matriz das forças de contato (B*1), (treliça)	-
G(t) - Módulo de elasticidade transversal em relação ao tempo	Pa
h - Altura do cilindro	mm
i - Aresta do cubo	mm
I - Integral da força de impacto	N
K(t) - Módulo volumétrico dependente do tempo (“bulk modulus”)	Pa
K ₁ e K ₂ - Constantes elásticas volumétricas das esferas	1/Pa
l - Comprimento	mm
Δl - Variação de comprimento	mm
m - Massa	kg
[N] - Matriz de incidência (B*J) (treliça)	-
P - Força	N
P - Pressão hidrostática	Pa
{P} - Matriz de forças aplicadas nos nós (2J*1), (treliça)	-

q_0 - Pressão no centro da superfície de contato	Pa
r - Distância ao eixo z_1 ou z_2	mm
R_1 e R_2 - Raio da superfície esférica	mm
s - Parâmetro de Laplace	-
S - Área	mm^2
S_{ij} - Tensor deviatórico	Pa
t - Tempo decorrido	s
t_i - Tempo de impacto	s
$U(i)$ - Vetor deslocamento	mm
$\dot{U}(t)$ - Deformação em função do tempo	mm/s
v - Velocidade	m/s
v_i - Velocidade inicial	m/s
v_f - Velocidade final	m/s
Δv - Variação de velocidade	m/s
w - Deslocamento em relação ao eixo Z	mm
z - Distância do ponto m ao plano tangente	mm
Z - Eixo de simetria	-

RESUMO

O estudo e desenvolvimento de ensaios mecânicos em materiais biológicos deparam com dificuldades peculiares, tais como, o envolvimento do parâmetro tempo nas relações tensão e deformação, a dificuldade em se obter corpos de prova que sejam representativos aos materiais, a composição trifásica (sólido, líquido, gás) desses. As relações tensão-deformação tem sido aproximadas por modelos lineares, notadamente pelo modelo de Hooke. Soma-se a isso a dificuldade de se obter espécimes ou corpos de prova com geometrias regulares, dada a natureza dos órgãos vegetais. No presente trabalho corpos de prova de borracha natural foram submetidas a compressão, com o intuito de se prever todas as formas geométricas possíveis de serem obtidas para corpos de prova vegetais. Desta forma, ensaios de compressão a diferentes taxas de deformação e a diferentes taxas de carga foram programados para várias funções de carregamento e deformação com relação ao tempo. São apresentados diferentes metodologias de ensaios, e diferentes geometrias (esferas, cubos, cilindros), com diferentes dimensões e durezas. O módulo de elasticidade E foi aconstante calculada através dos dados obtidos experimentalmente, para se comparar as diferentes geometrias, dimensões, e durezas dos espécimes. O trabalho conclui que o fator geometria dos espécimes influencia os valores do módulo de elasticidade.

ABSTRACT

A STUDY OF THE GEOMETRY OF VEGETATIVE SAMPLES FOR MECHANICAL TESTS AND ANALYSIS

In studying mechanical behaviour of vegetative tissues, some difficulties related to the geometry of the samples might interfere on the results. A very elementary procedure is to prepare samples of definite geometries to determine the elastic constants. However, in some cases it is not possible to extract samples from a plant organ and that organ should be submitted to mechanical test and its own geometry taken into account. So, very often the material geometry of the plant organ should be approximated by symmetric geometries like cubes, spheres, cylinders, etc. The present work also considers extracted samples which are shaped to artificial geometries. Mechanical tests included force rate or deformation rate applied on cubic, cylindrical and spherical samples made of natural rubber of three different hardness and of ten different sizes. A special set of tests were carried out on cylindrical samples by submitting them to a diametrical load. In all the cases different deformation and force rates were tested. The work concludes that the factor geometry does influence the obtained modulus the elasticity.

1. INTRODUÇÃO

Uma limitação importante no estudo do comportamento mecânico de tecidos vegetais reside no fato de não se poder obter corpos de prova com as formas geométricas convenientes para ensaios mecânicos. Como exemplo, a grande dificuldade de se realizar ensaios de tração em espécimes vegetais, é enfatizado na literatura relativa ao estudo. O ensaio de tração é considerado conveniente para materiais tradicionais de engenharia por assegurar a aplicação das tensões normais à seção transversal do espécime. Uma alternativa comumente aceita são ensaios uniaxiais de compressão, onde as direções das tensões uniaxiais não se aproximam tanto da normal, como no caso anterior. Soma-se a isto o problema gerados pela flambagem do espécimen e também pela dificuldade em se obter faces paralelas para certas experimentais envolvem imposição de deformação ou força, obtendo-se as constantes elásticas através da lei de Hooke ou de Hertz.

A avaliação e o controle de qualidade da maioria dos produtos agrícolas podem ser relacionados com alguns termos de engenharia, como rigidez, módulo de deformabilidade, módulo de elasticidade, “firmnes”, etc. As premissas imputadas no desenvolvimento das teorias de Hooke e Hertz, giram em torno de considerações à respeito de pequenas deformações, consideração de continuidade do material, homogeneidade e isotropia. Não se pode obter as constantes elásticas de certos frutos extraíndo-se espécimes cúbicos, laminares ou cilíndricos,

como é o caso da laranja, a qual se enquadra perfeitamente nessas considerações. Um caso semelhante se refere ao ensaio denominado por “Brazilian Test” ou ensaio de Lobo Carneiro. O ensaio consiste na compressão diametral de espécimes cilíndricos com a finalidade de se obter tensão máxima admissível com as constantes elásticas.

Se em ensaios experimentais se pode contar com formas variadas de espécimes de um mesmo material, logicamente se pode também comparar as constantes elásticas e também as funções viscoelásticas constitutivas desse material, obtidas dos diferentes espécimes. Dessa forma, os órgãos vegetais que, “in natura”, servem de corpos de provas, ensaiados segundo a forma geométrica mais próxima, poderão ter suas constantes elásticas calculadas com uma margem de erro estimada e aceitável, para fins de engenharia.

Isto posto podemos definir os objetivos deste trabalho como sendo:

- 1 - Propor a metodologia de ensaios para corpos de prova de borracha de diferentes geometrias em substituição a possíveis corpos de prova vegetais.
- 2 - Incluir ensaios com carga e deformação específica com diferentes funções do tempo, prevendo a ocorrência do comportamento viscoelástico.
- 3 - Obter as constantes elásticas desses materiais e comparar os resultados dos diferentes ensaios.

2. REVISÃO DE LITERATURA

2.1 INTRODUÇÃO

A literatura referente ao estudo das propriedades mecânicas dos tecidos vegetais abrange áreas de interesse como, injurias mecânicas, distribuição de tensão e de deformação específica, teoria de ruptura, seleção mecânica de frutas, aplicação de conceitos de redes neurais para seleção, corte mecânico, corte a laser, corte com jato d' água, resposta a excitação luminosa à vibrações mecânicas, a ultra-som e a ressonância magnética. Nota-se que em toda essa gama de áreas de estudos, desenvolvidas com objetivos múltiplos, a geometria dos corpos de prova vegetais tem sido objeto de constante preocupação.

A literatura referente à influência da geometria dos corpos de prova para ensaios mecânicos se difunde sob diferentes títulos abordando diferentes problemas e objetivos, convergindo porém ao desenvolvimento de técnicas de manuseio mecânico, colheita, processamento, transporte, etc, minimizando injúrias mecânicas. As relações tensão-deformação são interpretadas segundo a lei de Hooke, teoria de contato de Hertz ou segundo modelos analógicos ou analíticos das leis viscoelásticas.

2.2 COMPORTAMENTO ELÁSTICO

O objetivo mais comum nas pesquisas dessa área é a determinação das quatro constantes elásticas: E , módulo de elasticidade ou módulo de Young, ν , constante de Poisson, G , módulo de elasticidade transversal e K , módulo volumétrico, a determinação dessas constantes elásticas é assunto freqüente devido a necessidade de informações básicas sobre as propriedades do material. Os ensaios mecânicos para determinar as constantes elásticas realizados em tecido vegetal se enquadram como ensaios de impacto ou de compressão. Tais ensaios são realizados em espécimes cilíndricos com cargas uniaxiais, triaxiais e diametrais; ensaios em espécimes cúbicos envolvendo cargas biaxiais e triaxiais, e, espécimes esféricos com cargas diametrais. A constante de Poisson também pode ser determinada comparando-se a carga e a deformações axiais em espécimen cilíndrico de maçã livre e cilíndrico restringido segundo HUGHES & SEGERLIND (1972); MORROW (1965); DEBAEDEMAYER & SEGERLIND (1975).

Os dados de compressão radial de espécimes são interpretados usando a teoria de contato de Hertz, obtendo valores do módulo de elasticidade, SNOBAR (1973).

FRIDLEY et al, (1968), utilizou testes em espécimes inteiros de pêssegos e peras comprimidos entre placas planas, correlacionando deformação e distribuição de carga preditos por modelos elásticos.

SHERIF (1976), apresenta um importante trabalho abordando a geometria dos espécimes, o qual introduz a idéia de se valer do método de Lobo Carneiro, conhecido como "Brazilian Test", para interpretar a fenomenologia envolvendo tensão-deformação em compressão diametral de espécimes cilíndricos. No mesmo trabalho relata o estudo de aplicações de cargas diametrais em espécimes esféricos e semi-esféricos, e cargas uniaxiais em espécimes cilíndricos. O autor se preocupa em estudar a distribuição de tensão e deformação nas várias geometrias de espécimes, inclusive a ocorrência das tensões e deformações máximas,

através de modelos de elementos finitos. Também APACLLA (1973), estudou espécimes esféricos utilizando modelos de elementos finitos. SHAHABASI (1979), estudou a distribuição de tensão em esferas em contato. Um trabalho semelhante, utilizando a mesma teoria é abordado por VÉLEZ PASOS (1987), no estudo do comportamento mecânico de espécimes esféricos. ROCHA (1988), estudando o comportamento mecânico de mini-fardos de feno utiliza ensaios com espécimes cilíndricos de Lobo Carneiro.

Um clássico da literatura é mostrado pôr MOHSENI (1970), a compressão como mostra a figura (2.1).

$$E = \frac{\sigma_{11}}{\varepsilon_{11}} \quad (2.1)$$

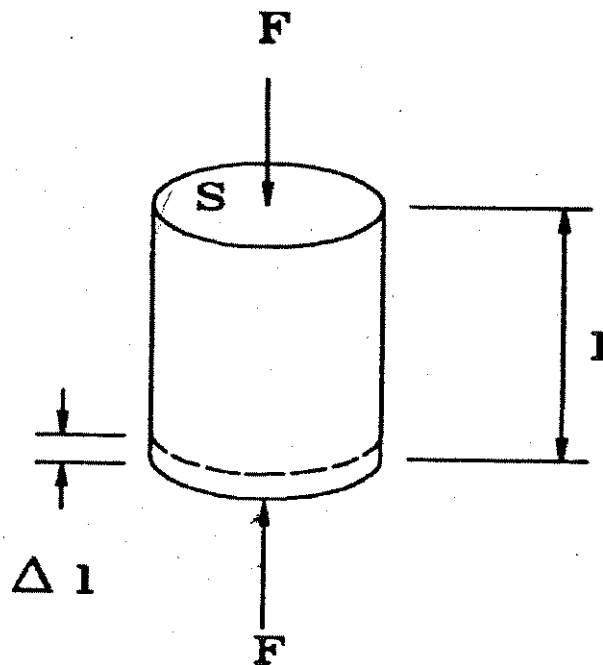


Fig. 2.1 - Ensaio de Compressão uniaxial

$$\varepsilon = \frac{l - l_0}{l_0} \quad (2.2)$$

Ensaio de cisalhamento equacionado pelas equações (2.2) e (2.3) são ilustrados pela figura (2.2).

$$G = \frac{\tau}{\gamma} \quad (2.3)$$

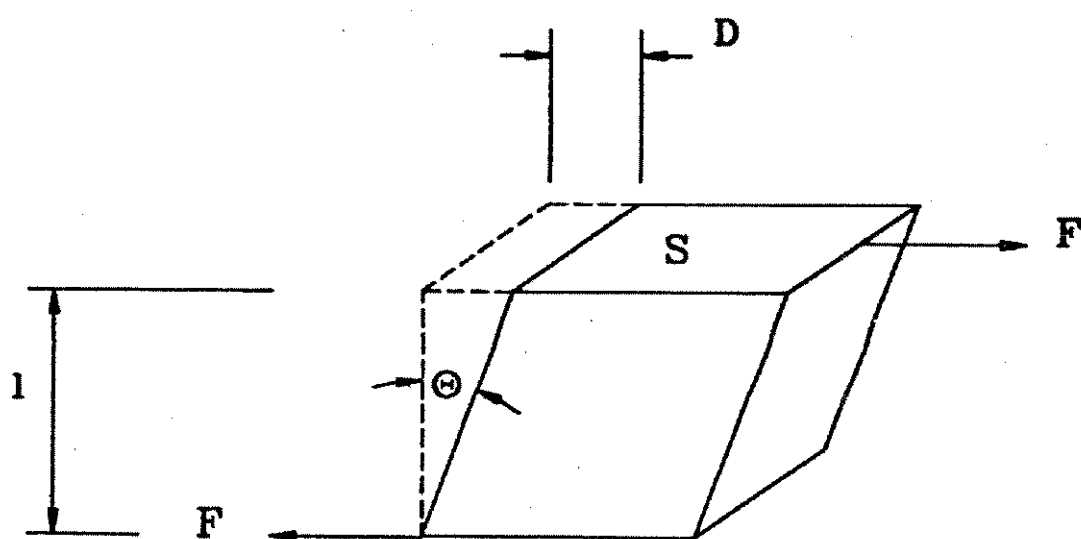


Fig. 2.2 - Ensaio de cisalhamento

$$\tau = \frac{F}{2S} \quad (2.4)$$

$$\gamma = \frac{D}{l} = \operatorname{tg} \theta \quad (2.5)$$

Para ensaios triaxiais que apresentem as três tensões principais não nulas e iguais, o módulo volumétrico, “**bulk modulus**” é expresso pôr:

$$K = \frac{\sigma_{kk}}{\varepsilon_{kk}} \quad (2.6)$$

$$\varepsilon_{kk} = \frac{\Delta V}{V} \quad (2.7)$$

Um material submetido a cargas axiais, apresenta além da deformação axial uma deformação proporcional transversal. Poisson demonstrou isso, expressando um coeficiente definido como a razão entre deformação transversal e axial, segundo SHIGLEY (1984). Segundo MASE (1970), as relações entre as demais constantes elásticas e o coeficiente de Poisson são:

$$K = \frac{E}{3(1 - 2\nu)} \quad (2.8)$$

$$G = \frac{E}{2(1 + \nu)} \quad (2.9)$$

VÉLEZ PASOS (1987) e SHAHABASI (1979), estudaram o comportamento mecânico de esferas armazenadas à granel, tendo por base a teoria de contato de Hertz, formando uma suposta treliça. Os nós dessa treliça coincidiam com o centro das esferas e cada ramo da treliça formado por duas esferas em contato. Dessa forma cada ramo da treliça-se comporta como elemento único obedecendo a lei de contato de Hertz e não de Hooke. Para cada junta móvel estabeleceu a equação de equilíbrio em forma matricial:

$$[N] [F] = P \quad (2.10)$$

onde $[N]$, (matriz de incidência (B^*J)) se baseia na análise de uma barra de treliça, para qual é possível encontrar o incremento no comprimento, conhecidos os deslocamentos dos extremos. Para toda a estrutura, esse incremento pode ser representado como:

$$[A] = [N] \{ \delta \} \quad (2.11)$$

Em combinação com a Lei de Hertz, a qual expressa a relação entre forças e deslocamentos:

$$F = K \Delta^{3/2} \quad (2.12)$$

Assim pode-se obter a equação geral que relaciona forças e deslocamentos:

$$[N] [\lambda(\delta)] [N] \{ \delta \} = \{ P \} \quad (2.13)$$

Utilizando-se os graus de liberdade adequados para cada nó, o autor estabeleceu as equações de equilíbrio e as resolveu simultaneamente.

2.4 COMPORTAMENTO VISCOELÁSTICO

Investigações demonstram a existência da dependência do tempo no comportamento de materiais biológicos. Um material biológico é considerado um meio multi-fase, constituído de gás, líquido, sólido. A reologia passa a ser um estudo importante e no estudo do comportamento mecânico de tais materiais. MASE (1970), afirma que os materiais viscoelásticos diferem dos materiais elásticos em suas características de deformação. Segundo TIMOSHENKO (1971), os materiais elásticos apresentam deformação dependente da carga aplicada, uma relação linear.

Segundo MASE (1970), e CHRISTENSEN (1982), os materiais viscoelásticos incluem o parâmetro tempo na relação tensão-deformação, dependendo da taxa de aplicação da carga, ou da taxa de deformação. Portanto esses materiais ao invés de apresentarem constantes, apresentam funções que podem ser ou não ser lineares: $E(t)$, $G(t)$, $K(t)$, $\nu(t)$, que combinadas entre si, formam as funções $\psi(t)$ e $\phi(t)$, denominadas respectivamente “creep” e “relaxation”.

Segundo MASE (1970), existem dois ensaios básicos para a determinação de parâmetros viscoelásticos, “Relaxation Test” onde o corpo de prova é submetido a uma deformação, instantânea e constante, e a tensão medida com o decorrer do tempo. No segundo ensaio, denominado “Creep Test” uma tensão constante é aplicada e medida a deformação ao longo do tempo.

Segundo ZOERB (1958), a taxa de deformação afeta a resposta de um teste de impacto em material biológico. Segundo MORROW & MOHSENIN (1966), o comportamento viscoelástico não linear da maçã pode ser descrito através de relações constitutivas lineares.

DeBAERDEMAEKER (1975), enfatiza que a razão de Poisson dependente do tempo pode ser determinada indiretamente a partir da constante elástica de Poisson pelo princípio da correspondência elástico-viscoelástico.

HAMANN (1970), propôs soluções de problemas envolvendo tensões de superfície de contato em espécimes esferóides e de comportamento viscoelástico.

RUMSEY & FRIDLEY (1974), determinaram a dependência do tempo no comportamento mecânico de espécimes vegetais.

GUSTAFSON (1974), interpretou o tecido vegetal como sendo um meio multi-fase.

MURASE (1977), também interpretou o material biológico como sendo um meio constituído de gás, líquido, sólido, propondo para tal uma equação constitutiva.

DAL FABBRO (1979), estudando o comportamento elástico e viscoelástico linear e não linear, valeu-se de espécimes cúbicos e cilíndricos, propondo para materiais biológicos uma

teoria de ruptura específica. As funções relaxation podem ser determinadas por carregamentos de tipo volumétrico e uniaxial segundo MORROW & MOHSENIN (1966). Determinadas experimentalmente para o tecido de maçã, as funções “Bulk” e “Shear Relaxation”, aplicadas em uma esfera viscoelástica sob a atuação da carga entre uma superfície plana, DeBAERDEMAEKER (1975).

MORROW & MOHSENIN (1968), tem se valido também de métodos dinâmicos de imposição de tensão para determinar as propriedades viscoelásticas de materiais biológicos. MOHSENIN (1970), utilizou modelo generalizado de Maxwell, de forma experimental para diferentes espécimens vegetais.

HAMANN (1967), valeu-se do modelo de Kelvin para obter uma expressão à função Creep, impondo um carregamento volumétrico à maçãs. Com esses dados experimentais também se valeu para calcular as funções “dynamic relaxation” e “shear relaxation”, através da relação entre o “complex moduli” e a “relaxation function”.

WANG & CHANG (1970), a função Creep do mamão foi determinada sob condições de “dead load” imposta por placas paralelas. DeBAERDEMAERK (1975), trabalhando com uma esfera viscoelástica e submetida a cargas de contato pode ser experimentalmente estudada e simulada numericamente.

LINARES, A. V. e DAL FABBRO, I. M. (1997), relatam resultados de medições de área de contato entre pontos esféricos e placas rígidas e planas, no equacionamento do comportamento viscoelástico exibindo não linearidade geométrica.

RABELLO, G. F. e DAL FABBRO, I. M. (1997), relatam resultados obtidos de medições de área de contato entre frutos esféricos e placas planas e rígidas pôr meio de placas munidas de LED's conectados a um sistema de aquisição de dados.

3 TEORIA BÁSICA

3.1 INTRODUÇÃO

O presente capítulo versa sobre as leis básicas do comportamento mecânico dos materiais, a saber, a Lei de Hooke em Três Dimensões, a Lei de Hertz e os modelos viscoelásticos analógicos e analíticos. Os casos de tensões de contato, características de carregamento diametral de corpos cilíndricos e esféricos, são tratadas pela Teoria de Contato de Hertz. Os tensores tensão e deformação específica serão expressos em função do tempo, quer na teoria da elasticidade, quer na teoria de viscoelasticidade por motivos de uniformidade, mesmo que seja de conhecimento a não dependência do parâmetro tempo nos termos puramente elásticos. Dada a necessidade de se interpretar o comportamento mecânico de espécimes vegetais como fenômenos viscoelásticos lineares, também é apresentado aqui um resumo do modelo analítico. No entanto, apenas uma menção superficial será apresentada sobre modelos analógicos de Maxwell e Kelvin, apenas com propósitos históricos, dada suas limitações.

3.2 O MEIO CONTÍNUO, HOMOGENEIDADE, ANISOTROPIA E ISOTROPIA DOS MATERIAIS

Um material é dito contínuo quando assumimos que a distribuição da matéria constituinte desses material se dá de forma contínua em todo seu volume, ocupando todos os espaços vazios, conceito esse precomisado pela mecânica dos meios contínuos como um postulado básico, o qual porém na realidade não ocorre. Já um material dito homogêneo possui propriedades idênticas em todos os “pontos”, e, denominados isotrópicos, quando suas propriedades se mantêm em todas as direções, e, anisotópicos quando suas propriedades variam com a direção, MASE (1970).

3.3 TEORIA DA ELASTICIDADE LINEAR OU LEI DE HOOKE EM TRÊS DIMENSÕES.

A elasticidade linear assume que os deslocamentos e gradientes de deslocamento são suficientemente pequenos, não sendo necessária a distinção entre a descrição de Lagrange e de Euler. Sendo assim, para o vetor deslocamento U_i , temos:

$$I_{ij} = \varepsilon_{ij} = \frac{1}{2} \left[\frac{\delta u_j}{\delta x_i} + \frac{\delta u_i}{\delta x_j} \right] = \frac{1}{2} \left[\frac{\delta u_j}{\delta x_i} + \frac{\delta u_i}{\delta x_j} \right] = \frac{1}{2} (u_{ij} + u_{ji}) \quad (3.1)$$

A equação constitutiva para um sólido elástico linear, associando os vetores tensão e deformação é:

$$\sigma_{ij} = C_{ijkl} \varepsilon_{kl} \quad (3.2)$$

que é conhecida como a Lei de Hooke Generalizada.

Segundo MASE (1970), tomando as constantes de Lamé, λ e μ , temos que para um corpo isotrópico contínuo e homogêneo a Lei de Hooke pode ser escrita da seguinte forma:

$$\sigma_{ij} = \lambda \delta_{ij} \varepsilon_{kk} + 2\mu \varepsilon_{ij} \quad (3.3)$$

Para expressar a deformação em termos de tensão, inverte-se:

$$\varepsilon_{ij} = \frac{-\lambda}{2\mu(\lambda + 2\mu)} \delta_{ij} \sigma_{kk} + \frac{1}{2\mu} \sigma_{ij} \quad (3.4)$$

ou

$$\sigma_{ij} = \frac{E}{1+\nu} \left(\varepsilon_{ij} + \frac{\nu}{1-2\nu} \delta_{ij} \varepsilon_{kk} \right) \quad (3.5)$$

para o cálculo das tensões, e

$$\varepsilon_{ij} = \frac{1+\nu}{E} \sigma_{ij} - \frac{\nu}{E} \delta_{ij} \sigma_{kk} \quad (3.6)$$

para o cálculo das deformações relativas.

Para um caso onde se deve considerar a dilatação volumétrica do espécime temos o módulo volumétrico do espécime ou “**bulk modulus**”:

$$K = \frac{E}{3(1 - 2\nu)} \quad (3.7)$$

ou

$$K = \frac{3\lambda + 2\mu}{3} \quad (3.8)$$

Onde o módulo de elasticidade transversal G é:

$$\mu = G = \frac{E}{2(1 + \nu)} \quad (3.9)$$

Segundo MASE (1970), CHRISTENSEN (1982), os tensores tensão e deformação específica, subdivididos segundo seus componentes hidrostáticos (σ_{kk} e ε_{kk}) e deviatórico (S_{ij} e ε_{ij}), para um material com as características elásticas lineares, são expressos como:

$$S_{ij} = 2G\varepsilon_{ij} \quad (3.10)$$

$$\sigma_{kk} = 3K\varepsilon_{kk} \quad (3.11)$$

$$\sigma_{ij} = \lambda \varepsilon_{kk} \delta_{ij} + 2G\varepsilon_{ij} \quad (3.12)$$

Segundo DAL FABBRO (1979), em um estado restrito “**rigid die**”, onde os deslocamentos ε_{22} e ε_{33} são nulos, temos as expressões:

$$\sigma_{11} = \frac{E(1-\nu)}{(1+\nu)(1-2\nu)}\epsilon_{11} \quad (3.13)$$

$$\sigma_{22} = \left(K + \frac{2}{3}G\right)\epsilon_{11} \quad (3.14)$$

Em um estado de tensão biaxial, σ_{11} e ϵ_{11} são impostos: σ_{22} não nulo, σ_{33} nulo, ϵ_{22} nulo, ϵ_{33} não nulo. As expressões para σ_{11} e σ_{22} são assim definidas:

$$\sigma_{11} = \left(\frac{E}{1-\nu^2}\right)\epsilon_{11} \quad (3.15)$$

$$\sigma_{33} = \left(\frac{-\nu}{1-\nu}\right)\epsilon_{11} \quad (3.16)$$

$$\sigma_{22} = \left(\frac{2\nu G}{1-\nu}\right)\epsilon_{11} \quad (3.17)$$

Um estado de tensão uniaxial de um espécime é descrito da seguinte maneira: σ_{11} não nulo, ϵ_{11} não nulo, $\sigma_{22} = \sigma_{33} = 0$, $\epsilon_{22} = \epsilon_{33}$ não nulo, assim temos:

$$\sigma_{11} = E\epsilon_{11} \quad (3.18)$$

$$\epsilon_{22} = \left(\frac{-\nu}{E}\right)\epsilon_{11} \quad (3.19)$$

3.4 CONSIDERAÇÕES SOBRE OS MODELOS VISCOELÁSTICOS ANALÓGICOS DE MAXWELL E KELVIN

Na interpretação analógica o comportamento viscoelástico linear de materiais biológicos é representado por molas caracterizando o comportamento elástico, e, amortecedores caracterizando o comportamento viscoso. Assim:

$$\sigma_{11} = E\varepsilon_{11} \quad (3.20)$$

$$\sigma_{11} = \eta\dot{\varepsilon}_{11} \quad (3.21)$$

A relação entre tensão e deformação para o modelo viscoelástico de Maxwell (fig. 3.1) é expresso da seguinte forma:

$$\dot{\varepsilon}_{11} = \frac{\dot{\sigma}}{E} + \frac{\sigma}{\eta} \quad (3.22)$$

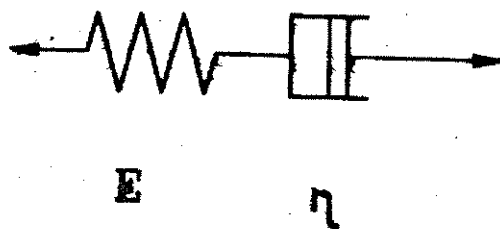


Fig. 3.1 - Modelo viscoelástico de Maxwell

A generalização do modelo de Maxwell (Fig. 3.2) é dada por:

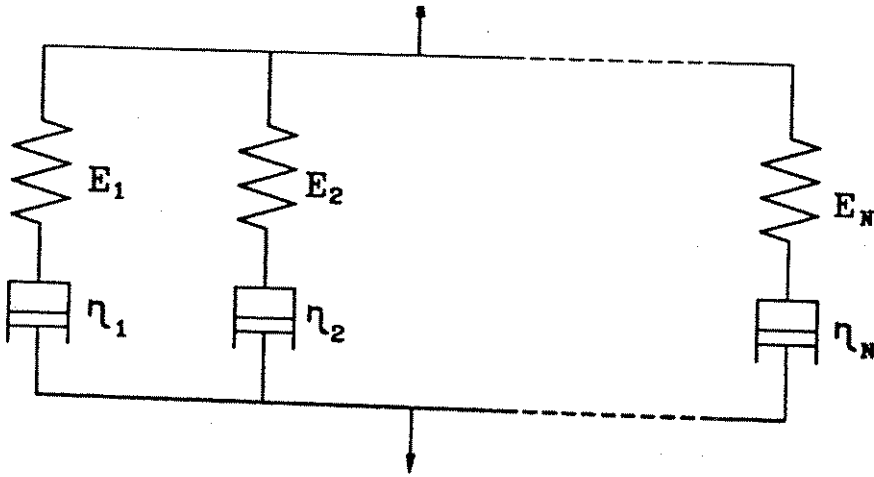


Fig. 3.2 - Modelo generalizado de Maxwell

Para o modelo de Kelvin-Voigt temos:

$$\sigma = E\varepsilon + \eta \dot{\varepsilon} \quad (3.23)$$

reescrevendo:

$$\sigma = \{E + \eta \partial_t\} \varepsilon \quad (3.24)$$

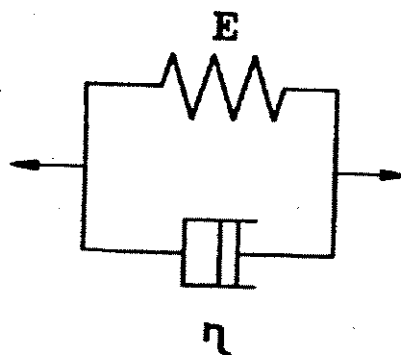


Fig. 3.3 - Modelo viscoelástico de Kelvin

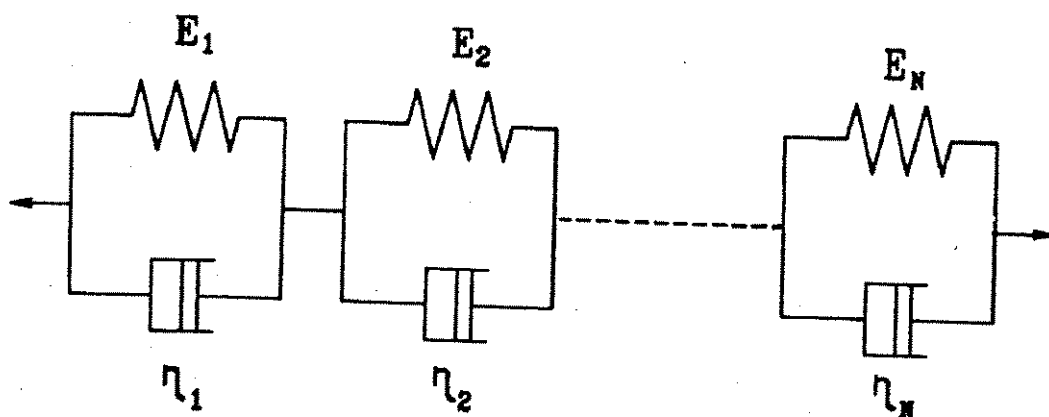


Fig. 3.4 - Modelo generalizado de Kelvin

O modelo de Kelvin é formado por uma mola e um amortecedor em paralelo, segundo figura (3.3), e sua generalização, figura (3.4). A equação constitutiva deste modelo analógico é dada por:

$$\sigma_{11}(t) = G\varepsilon_{11}(t) + \eta\dot{\varepsilon}_{11}(t) \quad (3.25)$$

3.5 CONSIDERAÇÕES SOBRE O MODELO ANALÍTICO

Segundo MASE (1970), e CRISTENSEM (1982), pode se definir função de Grau Unitário $[U(t-t_1)]$ como sendo,

$$U[t-t_1] \begin{cases} = 0 \Rightarrow t < t_1 \\ = 1 \Rightarrow t \geq t_1 \end{cases}$$

Conforme ilustra abaixo:

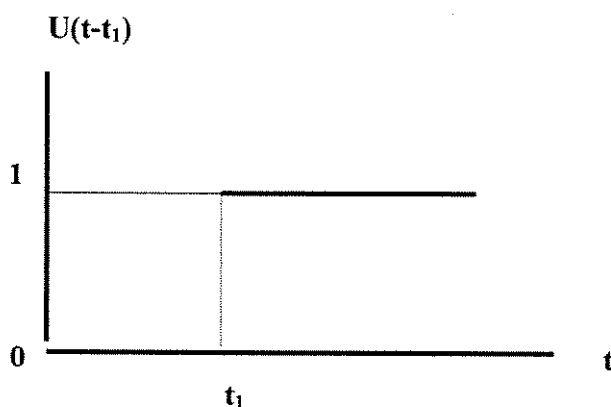


Fig. 3.5 - Gráfico da Função de Grau Unitário

Pode-se definir um ensaio **Creep** como sendo a imposição de uma carga uniaxial σ_0 a partir do instante t_1 e dessa forma expressar a deformação específica como sendo função de uma nova função material denominada **Função Creep** $\psi(t)$ e então:

$$\varepsilon_{11}(t) = \psi(t)\sigma_0 \quad (3.26)$$

Da mesma forma se impõe uma deformação específica uniaxial ε_0 a partir do instante t_1 , num ensaio **Relaxation**, envolvendo a **Função Relaxation** $\phi(t)$ tida também como característica matricial, obtendo-se a carga resultante, como:

$$\sigma_{11}(t) = \phi(t)\varepsilon_0 \quad (3.27)$$

Como o princípio da superposição também aqui é válido, ou seja o efeito total da soma de suas cargas é igual a soma dos efeitos de cada carga, podemos expressar uma função $\sigma_{11}(t)$ ou $\varepsilon_{11}(t)$ como:

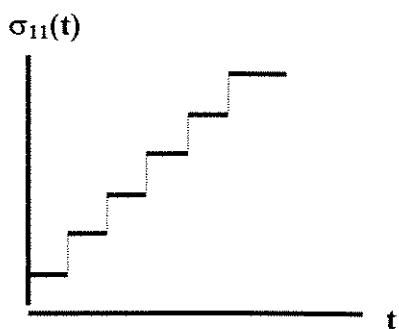


Fig. - 3.6 a

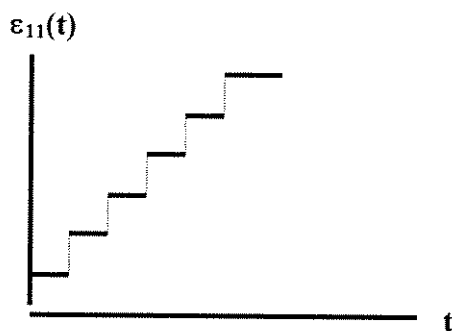


Fig. - 3.6 b

Fig. – 3.6 Representação de uma função contínua $\sigma_{11}(t)$ Figura (3.6a), função $\varepsilon_{11}(t)$ Figura (3.6b), arbitrárias como uma somatória de funções descontínuas infinitesimais.

das quais se conclui que:

$$\varepsilon_{11}(t) = \sigma_0 \psi(t) + \sigma_1 \psi(t - t_1) + \sigma_2 \psi(t - t_2) + \dots = \sum_{i=0}^{\infty} \sigma_i \psi(t - t_i) \quad (3.28)$$

e que:

$$\sigma_{11}(t) = \varepsilon_0 \phi(t) + \varepsilon_1(t - t_1) + \varepsilon_2 \psi(t - t_2) + \dots = \sum_{i=0}^{\infty} \varepsilon_i \psi(t - t_i) \quad (3.29)$$

Se o material estiver totalmente sem solicitações até o instante inicial, tem-se que:

$$\varepsilon_{11}(t) = \int_0^t \frac{d\sigma_{11}(t')}{dt'} \psi(t - t') dt' \quad (3.30)$$

$$\sigma_{11}(t) = \int_0^t \frac{d\varepsilon_{11}(t')}{dt'} \phi(t - t') dt' \quad (3.31)$$

Conhecidas como integrais hereditárias, as quais expressão de forma analítica o comportamento viscoelástico linear material.

A relação entre as funções **Creep** e **Relaxation** através da transformada de Laplace:

$$\overline{\psi}(s) \overline{\phi}(s) = \frac{1}{s^2} \quad (3.32)$$

Se os tensores totais forem subdivididos em seus componentes deviatóricos e hidrostáticos, podemos definir as funções $\mathbf{G}_1(\mathbf{t})$, $\mathbf{G}_2(\mathbf{t})$, $\tau_1(\mathbf{t})$, $\tau_2(\mathbf{t})$, como sendo respectivamente as funções Creep e Relaxation para cada caso a saber:

$$S_{ij}(t) = \int_0^t G_1(t - \tau) \frac{d\varepsilon_{ij}(\tau)}{d\tau} d\tau \quad (3.33)$$

$$\sigma_{kk}(t) = \int_0^t G_2(t - \tau) \frac{d\varepsilon_{kk}(\tau)}{d\tau} d\tau \quad (3.34)$$

$$\varepsilon_{ij}(t) = \int_0^t \tau_1(t-\tau) \frac{dS_{ij}(\tau)}{d\tau} d\tau \quad (3.35)$$

$$\varepsilon_{kk}(t) = \int_0^t \tau_2(t-\tau) \frac{d\sigma_{kk}(\tau)}{d\tau} d\tau \quad (3.36)$$

As equações acima são conhecidas como integrais hereditárias devido a tensão em qualquer tempo ser dependente de todo histórico de deformação.

3.6 TEORIA DE CONTATO DE HERTZ. PRESSÃO ENTRE DOIS CORPOS ESFÉRICOS EM CONTATO

H. HERTZ (1881), citado por TIMOSHENKO & GOODIER (1970), propõe uma solução para problemas relativos a elasticidade aplicada a corpos esféricos.

Segundo VELEZ PASOS (1988), Hertz faz algumas suposições para a aplicação de sua teoria:

- O material dos corpos em contato é homogêneo, restrição difícil de ser mantida. Porém assumindo “a random in-homogeneity” para o corpo em teste, este é considerado com o comportamento mecânico de um corpo homogêneo.
- As cargas aplicadas são estáticas.
- A lei de Hooke é aplicável. A níveis muito baixos de carga esta condição pode ser tomada como certa.
- As tensões de contato desaparecem na parte oposta ao contato. É possível cumprir esta condição quando são conhecidos alguns parâmetros.

- Os raios de curvatura dos sólidos em contato são muito grandes se comparados com o raio da superfície de contato. Hertz considerou uma relação 1/10 suficientemente grande para a aplicação de sua equação.
- As superfícies dos corpos em contato são suficientemente polidas e as forças tangências eliminadas.

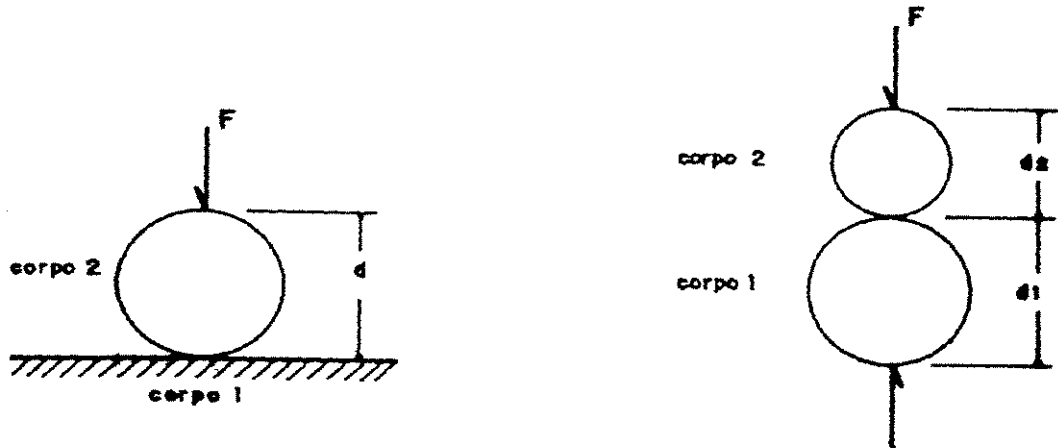


Fig. 3.7 - Problema de Hertz para esfera em contato com uma placa (superfície) plana (a), e duas esferas em contato (b).

Segundo HERTZ (1881), citado por TIMOSHENKO e GOODIER (1970):

Suponhamos que no ponto de contato estes sólidos tenham superfícies esféricas com raios R_1 e R_2 (Fig. 3.11). Se não existir pressão entre os corpos, o contato se reduzirá ao ponto O . As distancias do plano tangente que passa pelo ponto O , a pontos tais como M e N , situados numa seção meridiana das esferas a uma distância pequena r (sendo r pequeno em comparação a R_1 e R_2) dos eixos z_1 e z_2 , representadas com suficiente acuracidade pelas equações:

$$z_1 = \frac{r^2}{2R_1} \quad (3.37)$$

$$z_2 = \frac{r^2}{2R_2} \quad (3.38)$$

Sendo a distância entre os pontos:

$$z_1 + z_2 = r^2 \left(\frac{1}{2R_1} + \frac{1}{2R_2} \right) = \frac{r^2(R_1 + R_2)}{2R_1R_2} \quad (3.39)$$

Para o caso do contato entre esfera e plano (Fig.3.9), $1/R_1$ equivale a zero, assim teremos:

$$MN = \frac{r^2}{2R_2} \quad (3.40)$$

Para o caso de contato entre esfera e uma superfície esférica (Fig. 3.8), R_1 é negativo, logo:

$$z_2 - z_1 = \frac{r^2(R_1 - R_2)}{2R_1R_2} \quad (3.41)$$

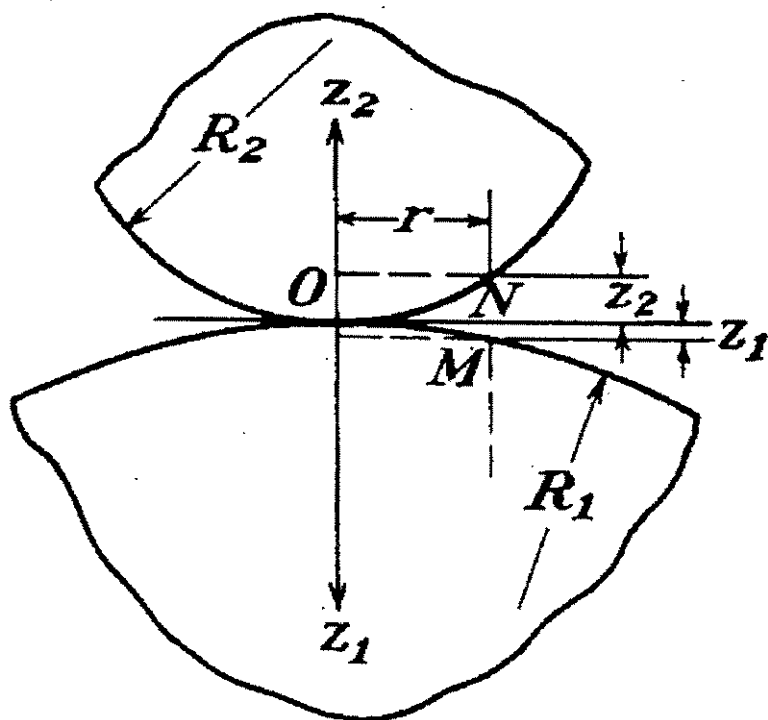


Fig. 3.8 - Esferas em contato

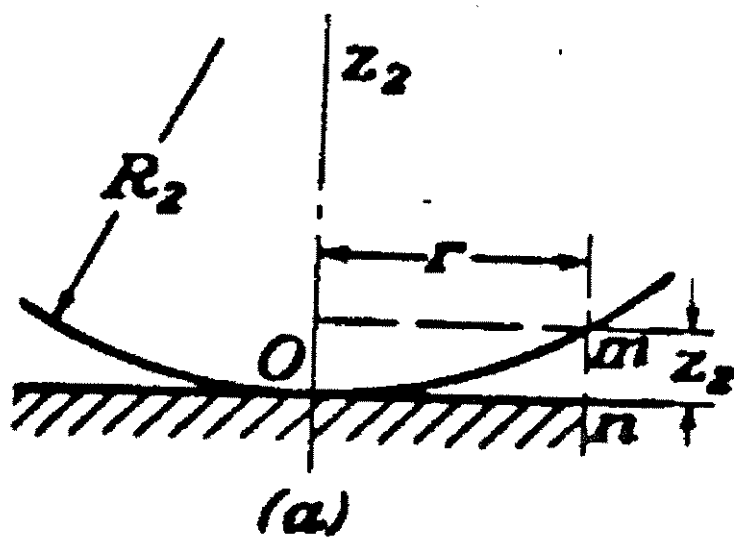


Fig. 3.9 - Esfera em contato com superfície plana

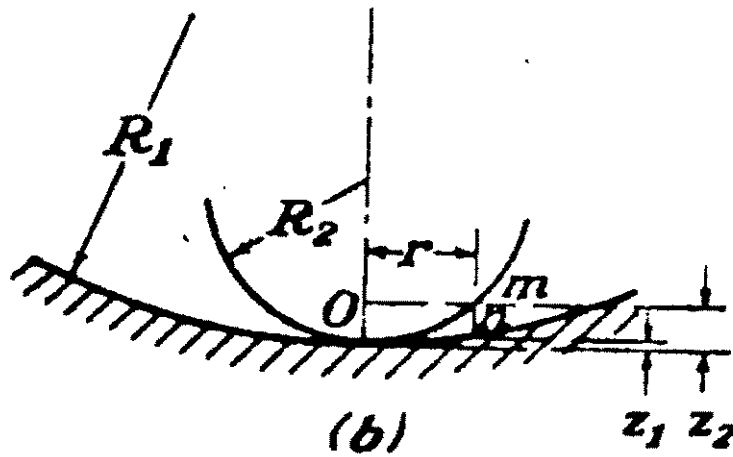


Fig. 3.10 - Esfera em contato com superfície convexa, R_1 negativo

Se os sólidos forem comprimidos de encontro um ao outro, ao longo da normal em O , por uma força P , existirá assim uma deformação transformando o contato pontual em O , em uma pequena área de contato. Admitindo que o raio da superfície de contato, ou área de contato seja pequeno em comparação a R_1 e R_2 . Sendo W_1 o deslocamento, decorrente da deformação local na direção z_1 , de um ponto M pertencente a superfície da esfera inferior, e W_2 o mesmo deslocamento na direção z_2 de um ponto N da esfera superior. Não havendo deslocamento em O durante a compressão, qualquer dois pontos situados sobre os eixos z_1 e z_2 , aproximar-se irão entre si uma quantidade α e a distância MN diminuirá $\alpha - (w_1 + w_2)$, $\alpha - (w_1 + w_2) = z_1 + z_2 = \beta r^2$ onde β é uma constante que depende de R_1 e R_2 .

$$w_1 + w_2 = \alpha - \beta r^2 \quad (3.42)$$

Considerando-se as deformações locais, supondo que a Fig. (3.12) represente a superfície de contato e que M seja um ponto da mesma pertencente à esfera inferior, o deslocamento w_1 será:

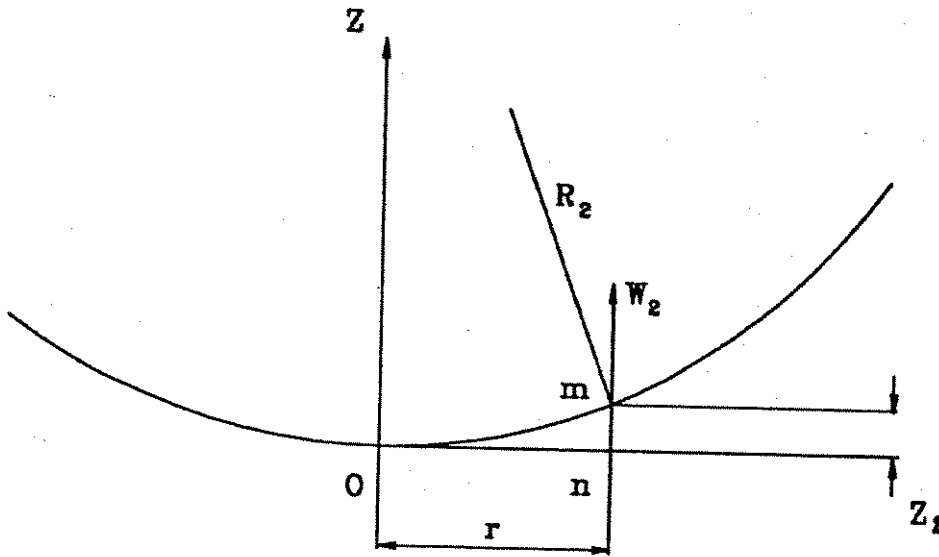


Fig. 3.11 - Esfera em contato com superfície plana.

$$w_1 = \frac{1 - \nu_1^2}{\pi E_1} \iint q ds d\psi \quad (3.43)$$

onde que ν_1 e E_1 são as constantes elásticas da esfera inferior, e a integração é estendida a toda área de contato. Assim também para a esfera superior:

$$w_1 + w_2 = (K_1 + K_2) \iint q ds d\psi \quad (3.44)$$

na qual

$$K_1 = \frac{1 - \nu_1^2}{\pi E_1} \quad (3.45)$$

$$K_2 = \frac{1 - \nu_2^2}{\pi E_2} \quad (3.46)$$

das equações (3.42) e (3.44):

$$(K_1 + K_2) \iint q ds d\psi = \alpha - \beta r^2 \quad (3.47)$$

Deve-se, portanto, encontrar uma expressão para q que satisfaça a equação (3.45). Esta exigência é satisfeita admitindo que a distribuição de pressões q , sobre a superfície de contato, é representada pelas ordenadas de um hemisfério de raio a , construído sobre a superfície de contato, q_0 sendo a pressão no centro O dessas superfície:

$$q_0 = Ka \quad (3.48)$$

onde $K = \frac{q_0}{a}$ é um fator constante que indica a escala com que foi representada a distribuição de pressões. Ao longo de mn , a pressão q varia. Efetuado-se a integração obtem-se:

$$\int q ds = \frac{q_0}{a} A \quad (3.49)$$

onde A é a área do semicírculo indicado pela linha pontilhada na Fig. (3.14), igual a $1/2\pi(a^2 - r^2 \sin^2 \psi)$.

Substituindo na equação (3.47) temos:

$$\frac{\pi(K_1 + K_2)q_o}{a} \int_0^{\pi/2} (a^2 - r^2 \sin^2 \psi) d\psi = \alpha - \beta r^2 \quad (3.50)$$

ou

$$(K_1 + K_2) \frac{q_o \pi^2}{4a} (2a^2 - r^2) = \alpha - \beta r^2 \quad (3.51)$$

Esta equação atende qualquer valor de r e portanto, a distribuição de pressões admitida será a correta se existirem as seguintes relações para o deslocamento α e o raio a da superfície de contato:

$$\alpha = (K_1 + K_2) q_o \frac{\pi^2 a}{2} \quad (3.52)$$

$$\alpha = (K_1 + K_2) \frac{\pi^2 q_o}{4\beta} \quad (3.53)$$

O valor da pressão máxima q_o é obtido igualando-se a soma das pressões que atuam sobre a área de contato com a força P . Considerando uma distribuição hemisférica de pressões:

$$\frac{q_o}{a} \frac{2}{3} \pi a^3 = P \quad (3.54)$$

donde:

$$q_0 = \frac{3P}{2\pi a^2} \quad (3.55)$$

a pressão máxima é 1,5 vezes a pressão média sobre a superfície de contato. Substituindo nas equações (3.52), (3.53) e tomando, da equação (3.39):

$$\beta = \frac{R_1 + R_2}{2R_1 R_2} \quad (3.56)$$

encontramos então para duas esferas em contato:

$$a = \sqrt[3]{\frac{3\pi}{4} \frac{P(k_1 + K_2)R_1 R_2}{R_1 R_2}} \quad (3.57)$$

$$\alpha = \sqrt[3]{\frac{9\pi^2}{16} \frac{P^2 (K_1 + K_2)^2 (R_1 R_2)}{R_1 R_2}} \quad (3.58)$$

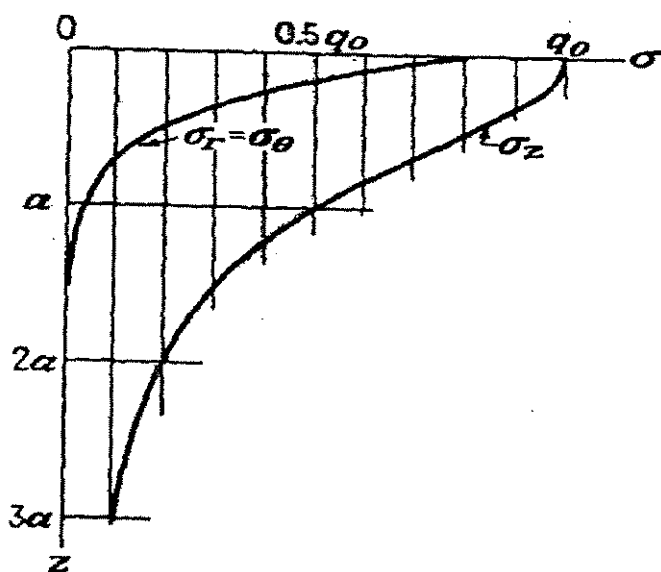


Fig. 3.12 - Distribuição de tensão de duas esferas em contato.

3.7 CASO GENÉRICO PARA PRESSÃO ENTRE DOIS CORPOS EM CONTATO.

Segundo TIMOSHENKO & GOODIER (1970), para o caso geral de compressão entre corpos elásticos em contato pode ser tratado considerando o plano tangente ao ponto **O**, como plano **xy**:

$$z_1 = A_1x^2 + A_2xy + A_3y^2 \quad (3.59)$$

$$z_2 = B_1x^2 + B_2xy + B_3y^2 \quad (3.60)$$

A distância entre os pontos **M** e **N** é:

$$z_1 + z_2 = (A_1 + B_1)x^2 + (A_2 + B_2)xy + (A_3 + B_3)y^2 \quad (3.61)$$

Sendo as direções **x** e **y** aquelas que anulam o termo que contém o produto **xy**. Assim:

$$z_1 + z_2 = Ax^2 + By^2 \quad (3.62)$$

em que **A** e **B** são constantes cujos valores dependem das grandezas das curvaturas principais das superfícies em contato e do ângulo formado entre os planos de curvatura principal. Sendo R_1 e R_1' os raios principais da curvatura no ponto de contato dos corpos, R_2 e R_2' os do outro, (a curvatura de um corpo é considerada positiva se o raio de curvatura, neste ponto, penetra no seu interior, para assento esférico possui curvatura negativa), e Ψ o ângulo compreendido entre os

planos normais que contêm as curvaturas $1/R_1$ e $1/R_2$, então as constantes **A** e **B** poderão ser determinadas assim:

$$A = B = \frac{1}{2} \left(\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_1'} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_2'} \right) \quad (3.63)$$

$$B - A = \frac{1}{2} + \left[\left(\frac{1}{R_1} - \frac{1}{R_1'} \right)^2 + \left(\frac{1}{R_2} - \frac{1}{R_2'} \right)^2 + 2 \left(\frac{1}{R_1} - \frac{1}{R_1'} \right) \left(\frac{1}{R_2} - \frac{1}{R_2'} \right) \cos 2\psi \right]^{1/2} \quad (3.64)$$

A e **B** na equação (3.62) são positivos, já que $z_1 + z_2$ deve ser positivo. Dai concluímos que a distância $z_1 + z_2$ se encontra sobre uma elipse. Supondo que α , w_1 , w_2 , tenham o mesmo significado do caso anterior:

$$w_1 + w_2 + z_1 + z_2 = \alpha \quad (3.65)$$

ou

$$w_1 + w_2 = \alpha - Ax^2 - By^2 \quad (3.66)$$

Relação esta obtida de considerações geométricas.

Admitindo que a superfície de contato é muito pequena, a soma dos deslocamentos w_1 e w_2 para os pontos da superfície de contato será:

$$w_1 + w_2 = \left(\frac{1 - \nu_1^2}{\pi E_1} + \frac{1 - \nu_2^2}{\pi E_2} \right) \iint \frac{q dA}{r} \quad (3.67)$$

onde $q dA$ é a pressão sobre um elemento infinitesimal da superfície de contato e r é a distância entre eles e o ponto em consideração.

$$(K_1 + K_2) \iint \frac{q dA}{r} = \alpha - Ax^2 - By^2 \quad (3.68)$$

Para se encontrar uma distribuição de pressões q que satisfaça a equação anterior, Hertz admitiu a intensidade das pressões q na superfície de contato como representada pelas ordenadas de um semi-elipsóide, construído sobre esta mesma superfície. A pressão máxima localizada no centro da superfície de contato. Designando-a por q_o e por a e b os semi eixos do contorno elíptico da superfície de contato,

$$P = \iint q dA = \frac{2}{3} \pi ab q_o \quad (3.69)$$

da qual:

$$q_o = \frac{3}{2} \frac{P}{\pi ab} \quad (3.70)$$

Vê-se que a pressão máxima é 1.5 vezes a pressão média na superfície de contato. Para-se calcular esta pressão deve-se conhecer o valor dos semi-eixos a e b . Fazendo-se uma analogia à usada para corpos esféricos temos:

$$a = m^3 \sqrt{\frac{3\pi}{4} \frac{P(K_1 + K_2)}{(A + B)}} \quad (3.71)$$

$$b = n^3 \sqrt{\frac{3\pi}{4} \frac{P(K_1 + K_2)}{(A+B)}} \quad (3.72)$$

em que $A + B$ é determinado pelas equações (3.63) e (3.64), os coeficientes m e n dependem da relação $(B-A)/(A+B)$. Utilizando a notação:

$$\cos \theta = \frac{B-A}{A+B} \quad (3.73)$$

θ	30°	35°	40°	45°	50°	55°	60°	65°	70°	75°	80°	85°	90°
m	2.731	2.397	2.136	1.926	1.754	1.611	1.486	1.378	1.284	1.202	1.128	1.061	1.000
n	0.493	0.530	0.567	0.604	0.641	0.678	0.717	0.759	0.802	0.846	0.893	0.944	1.000

Tabela 3.1 – Valores de m e n para diversos valores de θ .

Conhecendo-se a distribuição de pressões pode-se calcular as tensões em qualquer ponto. Foi demonstrado desta maneira que o ponto de máxima tensão cisalhante se situa sobre o eixo z , dependendo do comprimento dos semi-eixos a e b . Considerando-se os pontos da superfície elíptica de contato e tomando os eixos x e y na direção dos semi-eixos a e b , respectivamente, as tensões principais no centro da superfície de contato são:

$$\sigma_x = -2\nu q_o - (1-2\nu)q_o \frac{b}{a+b} \quad (3.74)$$

$$\sigma_y = -2\nu q_o - (1-2\nu)q_o \frac{a}{a+b} \quad (3.75)$$

$$\sigma_z = -q_o \quad (3.76)$$

Para as extremidades dos eixos da elipse temos $\sigma_x = -\sigma_y$ e $\sigma_{xy} = 0$. A tensão de tração na direção radial é igual à tensão compressiva na direção circunferencial. Nestes pontos portanto existe um cisalhamento puro. A intensidade deste cisalhamento nas extremidades do eixo maior ($x = \pm a, y = 0$) é:

$$\tau = (1 - 2\nu)q_o \frac{\beta}{e^2} \left(\frac{1}{e} \arctan e - 1 \right) \quad (3.77)$$

e para os extremos dos eixo menor ($x = 0, y = \pm b$) :

$$\tau = (1 - 2\nu)q_o \frac{\beta}{e^2} \left(1 - \frac{\beta}{e} \arctan \frac{e}{\beta} \right) \quad (3.78)$$

onde:

$$\beta = \frac{b}{a} \quad (3.79)$$

$$e = \left(\frac{1}{a} \right) \sqrt{a^2 - b^2} \quad (3.80)$$

Quando **b** se aproxima de **a** e o contorno da superfície de contato tende a uma forma circular, as tensões dadas por (i), (j) e (k) se aproximam das obtidas anteriormente para o caso da compressão entre esferas.

De uma forma mais simples, para o cálculo de E entre esfera comprimida por placas planas, tem-se:

$$E = 0.75F(1 - \nu^2) \frac{1}{D^{3/2}} * \frac{1}{R^{1/2}} \quad (3.81)$$

onde D e a , são obtidos assim:

$$D = 0.75F \frac{(1 - \nu^2)}{E} \frac{1}{a} \quad (3.82)$$

$$a = 0.75 \frac{F}{D} \left(\frac{1 - \nu^2}{E} \right) \quad (3.83)$$

Aumentando a relação a/b , Obten-se elipses de contato cada vez mais estreitas, e no limite $a/b = \infty$, chega-se ao caso do contato de dois cilindros com eixos paralelos. A superfície agora é um retângulo estreito. A distribuição de pressões q ao longo da largura da superfície de contato (Fig.3.12) é representada por uma semi-elipse. Se o eixo x for perpendicular ao plano da figura, e b a metade da largura da superfície de contato, e p' a carga por unidade de comprimento:

$$P' = \frac{1}{2} \pi b q_o \quad (3.84)$$

donde:

$$q_o = \frac{2P'}{\pi b} \quad (3.85)$$

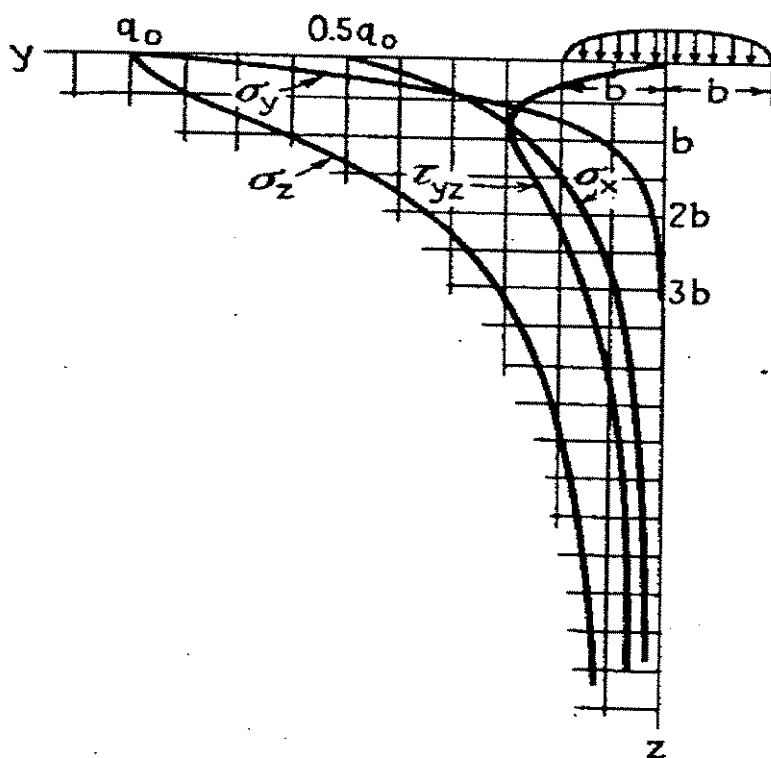


Fig. 3.13 - Distribuição de pressões q ao longo da largura da superfície de contato, semi-elíptica.

Para o estudo da deformação local, tem-se

$$b = \sqrt{\frac{4P'(K_1 + K_2)R_1R_2}{R_1 + R_2}} \quad (3.86)$$

para um valor de $\nu = 0,3$,

$$b = 1.52 \sqrt{\frac{P'R_1R_2}{E(R_1 + R_2)}} \quad (3.87)$$

no caso de $R_1=R_2=R$, tem-se,

$$b = 1,08\sqrt{\frac{P'R}{E}} \quad (3.88)$$

para o caso de um cilindro em contato com uma superfície plana tem-se,

$$b = 1,52\sqrt{\frac{P'R}{E}} \quad (3.89)$$

substituindo b da equação (3.84) em (3.80) tem-se,

$$q_0 = \sqrt{\frac{P'(R_1 + R_2)}{\pi^2 (K_1 + K_2) R_1 R_2}} \quad (3.90)$$

Para materiais com $\nu = 0.3$ tem-se,

$$q_0 = 0.418\sqrt{\frac{P'E(R_1 + R_2)}{R_1 R_2}} \quad (3.91)$$

e para o caso de um cilindro comprimido contra uma superfície plana:

$$q_0 = 0.418\sqrt{\frac{P'E}{R}} \quad (3.92)$$

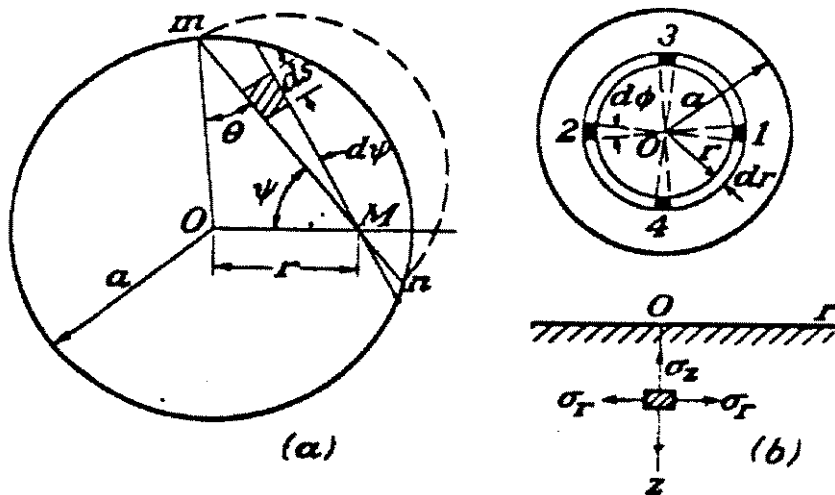


Fig. 3.14 – Distribuição de tensão de uma esfera em contato com plano de acordo com TIMOSHENKO & GOODIER (1970).

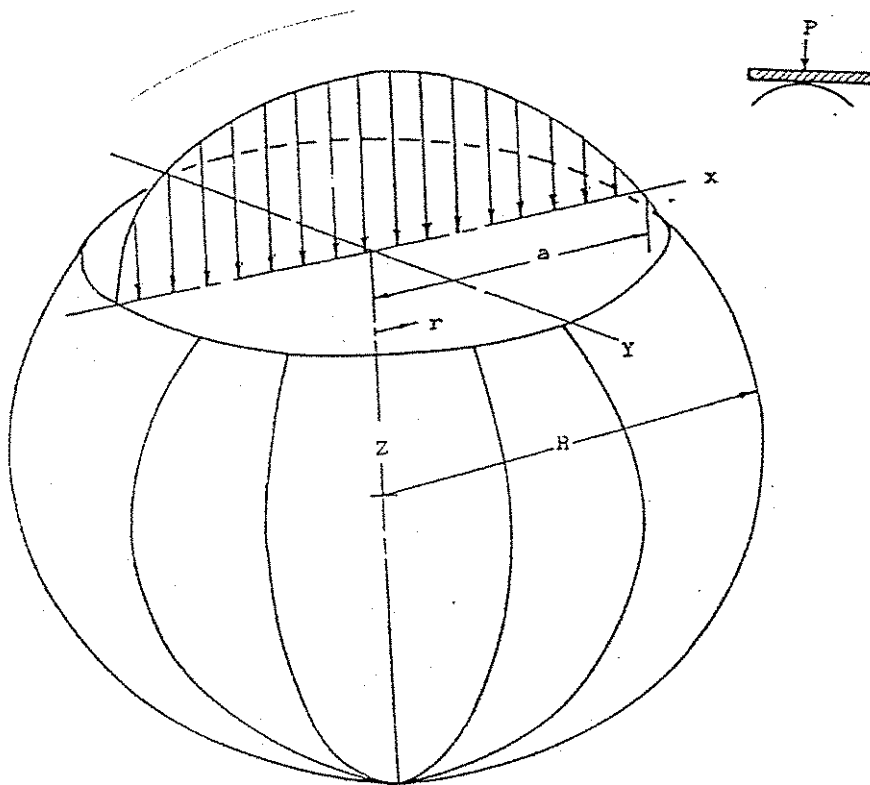


Fig. - 3.15 Distribuição de tensão entre uma esfera comprimida contra uma superfície plana, de acordo com SHERIF (1976).

Conhecendo q_0 e b , a tensão em qualquer ponto pode ser calculada. Estes cálculos mostram que o ponto de máxima tensão cisalhante se encontra sobre o eixo z .

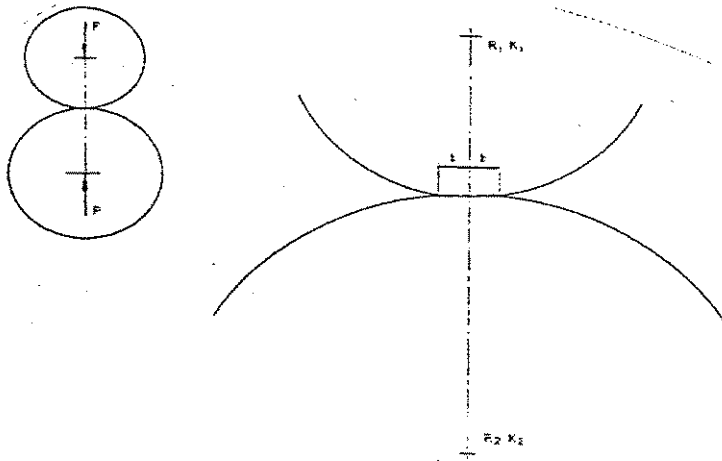


Fig. - 3.16 Esquema de dois cilindros em contato.

onde:

$$K_1 = \frac{1 - \nu_i^2}{\pi E_i} \quad (3.93)$$

$$q_0 = \frac{2P}{\pi b} \quad (3.94)$$

$$E = \frac{8(1 - \nu^2)Z^2 F}{\pi D} \quad (3.95)$$

onde Z é obtido iterativamente:

$$Z = \frac{R}{b} \quad (3.96)$$

$$\frac{\alpha}{D} = \frac{1}{2Z^2} \left[\ln(2Z) + \frac{1}{2} \right] \quad (3.97)$$

$$\alpha = \frac{-b^2}{R} \left[\ln\left(\frac{b}{2R}\right) - \frac{1}{2} \right] \quad (3.98)$$

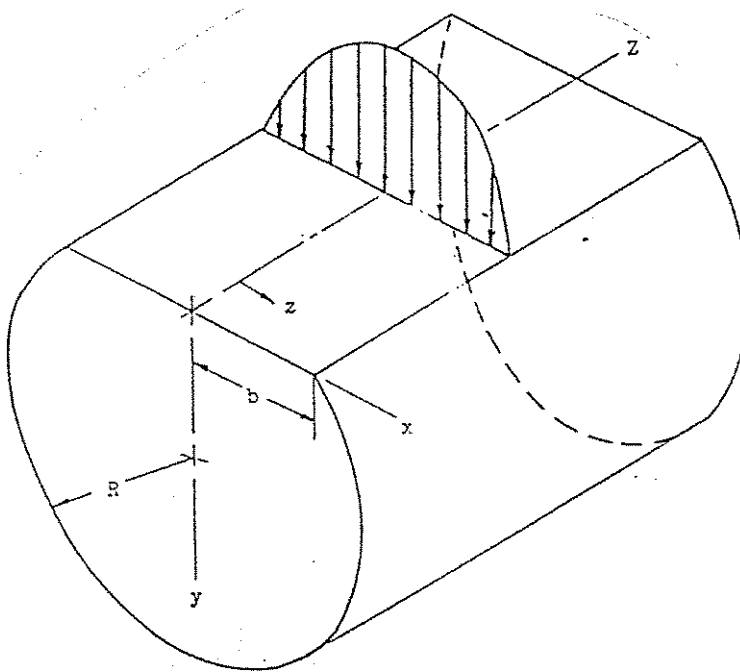


Fig. - 3.17 Distribuição de tensão, em uma superfície de contato entre um cilindro e uma superfície plana, apresentado pôr FERRAZ (1987).

3.8 PRESSÃO DE CONTATO ENTRE UM ELIPSÓIDE E UMA SUPERFÍCIE PLANA.

Ainda segundo TIMOSHENKO & GOODIER (1970), o caso geral de um elipsóide, pode ser estudado como no caso anterior. Sendo a superfície adjacente ao ponto de contato arredondada considerada uma superfície de segundo grau, tem-se, caso o corpo seja

comprimido por uma superfície plana, em direção a normal ao plano que tange a superfície de contorno elíptico.

Agora para o caso de um elipsóide excêntrico, cuja excentricidade seja próximo à unidade, ou seja , possuindo seus raios principais de curvatura, R_2' e R_2'' , aproximadamente iguais, comprimidos sobre uma superfície plana. Se **b** e **c** forem os semi-eixos de contorno elíptico da superfície de contato, sabendo que **b** e **c** são muito menores que R_2' e R_2'' então podemos considerar **b** igual a **c**, ou seja estamos aproximando a superfície de contato a uma superfície circular.

$$a = \left[\frac{3}{2} F \frac{(1 - \nu_2^2)}{E_2} \left(\frac{R_2' R_2''}{R_2' + R_2''} \right) \right]^{1/3} \quad (3.99)$$

$$\frac{E_2}{(1 - \nu_2^2)} = \frac{0.530 F}{D^{3/2}} \left(\frac{1}{R_2'} + \frac{1}{R_2''} \right)^{1/2} \quad (3.100)$$

Sendo esta ultima equação proposta pela ASAE STANDARDS (1989)

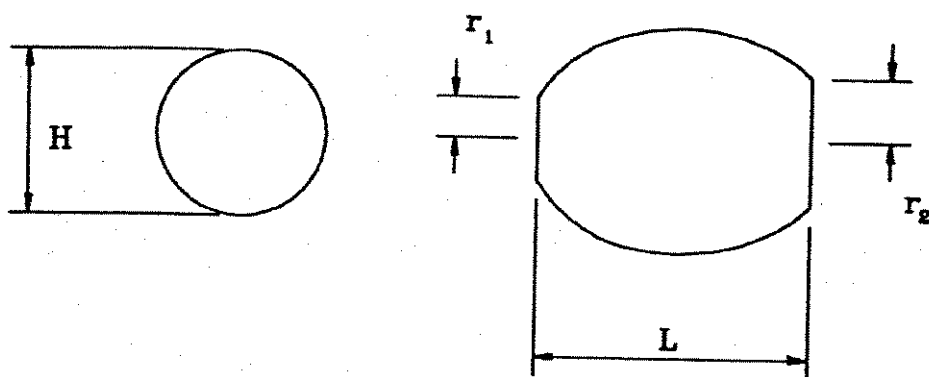


Fig. - 3.18 Cálculo dos raios principais de curvatura de um elipsóide, exemplificado por uma laranja.

$$R'_2 = \frac{H}{2} \quad (3.101)$$

$$R''_2 = \frac{L^2 + (H - r - r_2)^2}{4(H - r_1 - r_2)} \quad (3.102)$$

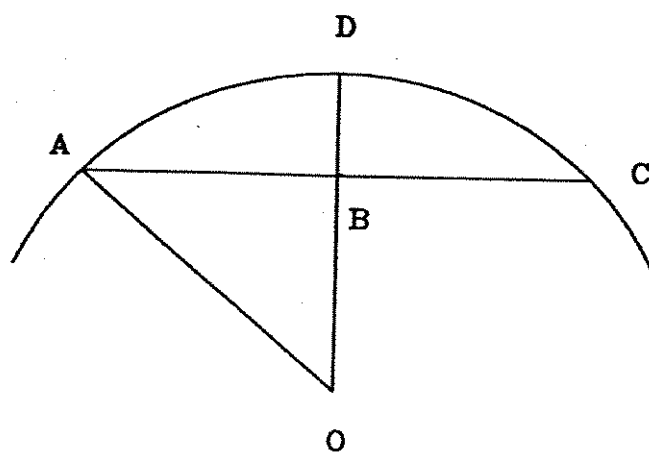


Fig.3.19 - Cálculo do raio de uma esfera.

$$\text{raio da esfera} = \frac{(AC)^2}{8BD} + \frac{BD}{2} \quad (3.103)$$

3.9 CONSIDERAÇÕES SOBRE ENSAIOS POR IMPACTO.

Embora este trabalho não considere ensaios por impacto, trata-se de uma metodologia muito eficiente para produtos agrícolas.

Segundo TIMOSHENKO & GOODIER (1970), duas esferas em movimento, em sentido contrário, no instante em que entrem em contato através do ponto **O**, a força **F** começa a atuar. Sendo cada esfera assim desacelerada de acordo com as equações:

$$m_1 \frac{dv_1}{dt} = -F \quad (3.104)$$

$$m_2 \frac{dv_2}{dt} = -F \quad (3.105)$$

Sendo **dD/dt** a velocidade de aproximação das duas esferas, temos:

$$\frac{dD}{dt} = v_1 + v_2 \quad (3.106)$$

Assim derivando a equação anterior em relação a **t**:

$$\frac{d^2D}{dt^2} = -\frac{F}{m_1} - \frac{F}{m_2} \quad (3.107)$$

No caso de esferas de propriedades e tamanhos aproximados, utiliza-se os resultados obtidos para condições de carregamento estático. Porém para o impacto entre uma esfera e uma superfície plana não se utiliza o caso anterior, embora TIMOSHENKO, GOODIER (1970), em resultados experimentais demonstrem que essas comparações fornecem boas aproximações.

Segundo MARTINS (1993), para uma esfera 1 (um) com tamanho e massa infinita, a equação (3.107), pode ser assim escrita:

$$\frac{d^2 D}{dt^2} = n_1 F \quad (3.108)$$

sendo:

$$n_1 = \frac{1}{m^2} \quad (3.109)$$

$$F = nD^{3/2} \quad (3.110)$$

sendo:

$$n = \frac{4}{3} \frac{E_2}{(1 - v_2^2)} R_2^{1/2} \quad (3.111)$$

Substituindo-se a equação (3.111), em (3.108):

$$\frac{d^2 D}{dt^2} = -nm_1 D^{3/2} \quad (3.112)$$

assim multiplicando-se os lados da equação anterior por dD/dt tem-se:

$$\frac{d^2 D}{dt^2} \frac{dD}{dt} = -nm_1 D^{3/2} \frac{dD}{dt} \quad (3.113)$$

Integrando tem-se:

$$\frac{1}{2} \left[\left(\frac{dD}{dt} \right)^2 - v^2 \right] = -nm_1 \frac{2}{5} D^{5/2} \quad (3.114)$$

onde:

v = velocidade de aproximação no instante inicial.

Considerando $dD/dt = 0$ na equação (3.114), obtem-se o valor da aproximação máxima (D_1):

$$D_1 = \left(\frac{5}{4} \frac{v^2}{nm_1} \right)^{2/5} \quad (3.115)$$

$$D_1 = \left(\frac{15}{16} \frac{v^2 m_2}{R_2^{1/2}} \frac{(1 - v_2^2)}{E_2} \right)^{2/5} \quad (3.116)$$

Segundo TIMOSHENKO e GOODIER (1970), com as equações abaixo, (3.117) e (3.118), encontra-se o raio da superfície de contato.

$$a^3 = \frac{3}{4} F \frac{(1 - v_2^2)}{E_2} R_2 \quad (3.117)$$

$$D^3 = \left(\frac{3}{4} F \frac{(1 - v_2^2)}{E_2} \right)^2 \frac{1}{R_2} \quad (3.118)$$

Através da equação (3.114) obtemos a equação abaixo (3.119), para cálculo da duração do choque.

$$\left(\frac{dD}{dt}\right)^2 = v^2 - \frac{4}{5}nm_1D^{5/2} \quad (3.119)$$

$$dt = \frac{dD}{\left(v^2 - \frac{4}{5}nm_1D^{5/2}\right)^{1/2}} \quad (3.120)$$

Substituindo a equação (3.113) em (3.120), e expressando a deformação como uma porcentagem de deformação máxima ($D = xD_1$), tem-se:

$$dt = \frac{D_1}{v} \frac{dx}{\left(1 - x^{5/2}\right)^{1/2}} \quad (3.121)$$

Para o tempo de impacto, integra-se a equação (3.121):

$$t_i = \frac{2D_1}{v} \int_0^1 \frac{dx}{\left(1 - x^{5/2}\right)^{1/2}} \quad (3.122)$$

assim:

$$t_i = 2.9432 \frac{D_1}{v} \quad (3.123)$$

Substituindo a equação (3.116) em (3.123), tem-se:

$$t_i = 2.9432 \left(\frac{15^2 m_2^2 (1 - v_2^2)^2}{16^2 v R_2 E_2^2} \right)^{1/5} \quad (3.124)$$

reescrevendo tem-se que::

$$\frac{E_2}{(1 - v_2^2)} = 13.9327 \frac{m_2}{(t_i^5 v R_2)^{1/2}} \quad (3.125)$$

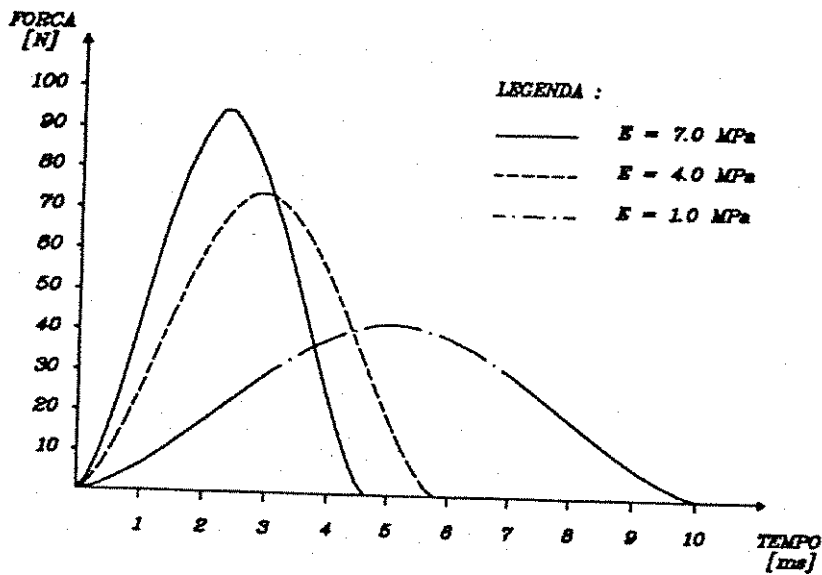


Fig. 3.20 - Simulação de um ensaio por impacto.

3.10 IMPACTO NÃO ELÁSTICO.

Segundo MOHSENIN (1970), citado por MARTINS (1993), um impacto elástico é caracterizado pela **simetria** da curva força versus tempo. No caso do impacto plástico, é caracterizado pela **assimetria** desta curva, conforme figura (3.20).

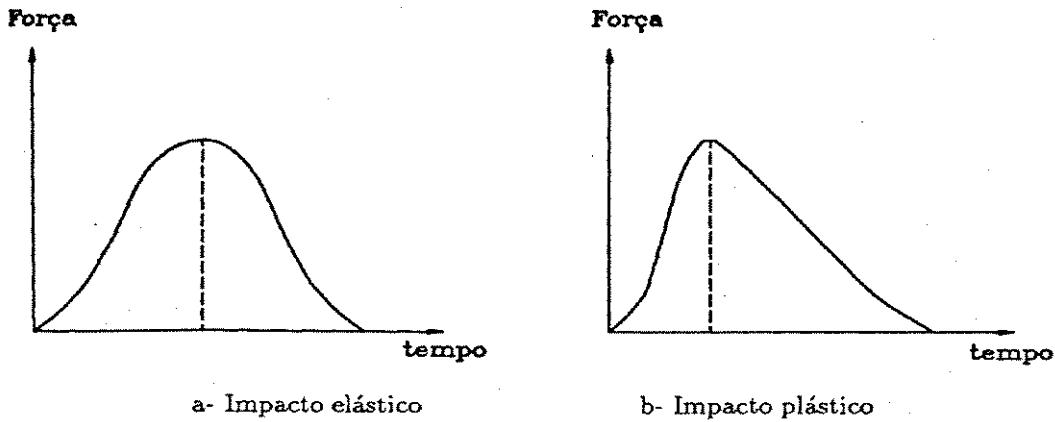


Fig. 3.21 - Caracterização de impacto elástico (a), e do impacto plástico (b).

Segundo Bowden, Tabor¹, citados por MOHSENIN (1970), o impacto entre dois corpos pode ser subdivididos em quatro fases:

1. Deformação elástica inicial, em que os corpos se comportam de acordo com a teoria elástica de Hertz.
2. Início da deformação plástica. Possui um tempo de duração curto, e nela parte da energia dos corpos será absorvida por deformações plásticas. Esta fase é considerada elástica-plástica.
3. Deformação totalmente plástica. As deformações permanecem após a colisão.
4. Recuperação elástica, na qual será liberado todo o “stress” elástico armazenado nos corpos.

Um corpo colidindo contra uma superfície rígida, tem parte de sua energia cinética absorvida por uma deformação plástica, e é esta variação na energia de movimento a causa entre velocidade final e velocidade inicial.

Define-se coeficiente de restituição (e):

¹ Bowden, F. P., Tabor, D. The friction and lubrication of solids. London, Oxford University Press, 1954

$$e = \frac{v_f}{v_i} \quad (3.126)$$

ou

$$e = \left(\frac{h_f}{h_i} \right)^{1/2} \quad (3.127)$$

Sendo a variação da energia cinética:

$$\Delta Energia = \frac{mv_i^2(e^2 - 1)}{2} \quad (3.128)$$

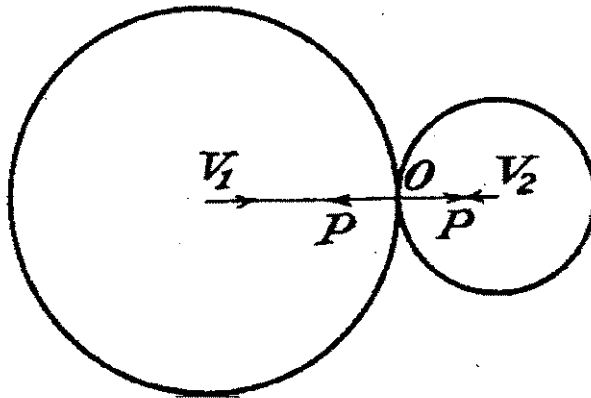


Fig. 3.22 – Impacto entre duas esferas com massas, m_1 e m_2 se aproximando à velocidades v_1 e v_2 .

3.11 APLICAÇÃO DE FORÇA E DEFORMAÇÃO EM FUNÇÕES PERIÓDICAS DO TEMPO.

Uma vez que a Lei Generalizada de Hooke dá origem ao relacionamento $F_{11}(t)$ e $U_{11}(t)$ para o caso uniaxial de aplicação de força ou deformação, $F_{11} = EU_{11}(t)$, ambas descritas em função do tempo. Tem-se que,

$$E = \frac{F_{11}(t)}{U_{11}(t)}$$

Como exemplo, se $F_{11}(t) = A \sin 2\pi ft$ e $U_{11}(t) = B \sin 2\pi ft$, onde **A** e **B** são amplitudes e *f*, frequência, e não houve defasagem entre a função excitação e função resposta, Ter-se á que,

$$E = \frac{A}{B} \quad (3.128)$$

A defasagem dessa função indicaria a presença de um comportamento viscoelástico.

4. MATERIAIS E MÉTODOS

4.1 INTRODUÇÃO

O presente capítulo versa sobre as características dos espécimes empregados na fase experimental deste trabalho, bem como o processo de confecção dos mesmos. Nisso inclui os espécimes cúbicos, cilíndricos e esféricos confeccionados em borracha natural. Também como parte do material empregado expõe-se as características dos equipamentos e instrumentos de ensaios utilizados.

4.2 MATERIAIS

4.2.1 ESPÉCIMES DE BORRACHA

Os espécimes empregados incluem trinta cubos, trinta esferas e trinta cilindros, totalizando noventa espécimes divididos em três durezas (30, 60, 90 shore), dez dimensões diferentes e três geometrias, citados no quadro na quadro (4.1).

Os moldes para tais corpos de borracha foram confeccionados no Laboratório de Protótipos do Departamento de Máquinas Agrícolas da Faculdade de Engenharia Agrícola da Universidade Estadual de Campinas, com ajustes precisos evitando na prensagem da borracha durante o processo de confecção dos espécimes a presença de “emendas” ou falta de simetria geométrica nessas peças. Após a confecção dos moldes em aço 1040, o processo de confecção das peças em borracha natural, ficou a cargo da **COFACO**, situada em Santa Bárbara D’Oeste, S.P. As peças foram cuidadosamente confeccionadas de forma a restringir ao máximo a ocorrência de bolhas, tornando o material o mais homogêneo e simétrico possível.

4.2.2 PRENSA DE ENSAIOS

Os instrumentos empregados nos ensaios incluem uma prensa MTS 810 dotada de um ploter xy, MTS 431 instalada no laboratório de materiais na Faculdade de Engenharia Mecânica da Universidade Estadual de Campinas e um paquímetro MYTUTOIO.

4.3 MEDIDAS DAS DIMENSÕES DOS ESPÉCIMES

Para o cálculo da variância nas dimensões dos espécimes, suas medidas, foram tomadas com um paquímetro, sendo dez medições, diâmetro, altura e aresta de cada espécime sob diferentes posições essas medidas foram tomadas em todas as peças ensaiadas, obtendo-se o valor médio e o desvio-padrão das dimensões de cada espécime, segundo sua geometria, de acordo com a quadro (4.1).

Quadro (4.1) Dimensões dos espécimes ensaiados:

ESPECÍME	ARESTA (mm)	DIÂMETRO (mm)	COMPRIMENTO (mm)	DESVIO PADRÃO (mm)	DUREZA (shore)
CUBO 1	19.98	-	-	0.03	90
CUBO 2	24.95	-	-	0.18	90
CUBO 3	30.08	-	-	0.32	90
CUBO 4	35.00	-	-	0.03	90
CUBO 5	40.37	-	-	0.04	90
CUBO 6	44.97	-	-	0.18	90
CUBO 7	49.66	-	-	0.06	90
CUBO 8	54.61	-	-	0.16	90
CUBO 9	59.66	-	-	0.40	90
CUBO 10	64.74	-	-	0.25	90
CUBO 1	20.11	-	-	0.06	60
CUBO 2	25.22	-	-	0.20	60
CUBO 3	30.20	-	-	0.21	60
CUBO 4	35.14	-	-	0.19	60
CUBO 5	40.34	-	-	0.30	60
CUBO 6	45.08	-	-	0.20	60
CUBO 7	50.35	-	-	0.36	60
CUBO 8	54.01	-	-	0.38	60
CUBO 9	60.04	-	-	0.16	60
CUBO 10	65.37	-	-	0.41	60
CUBO 1	20.02	-	-	0.06	30
CUBO 2	25.16	-	-	0.10	30
CUBO 3	29.81	-	-	0.27	30
CUBO 4	35.10	-	-	0.06	30
CUBO 5	39.91	-	-	0.12	30
CUBO 6	44.73	-	-	0.16	30
CUBO 7	49.33	-	-	0.11	30
CUBO 8	54.26	-	-	0.23	30
CUBO 9	59.29	-	-	0.24	30
CUBO 10	64.95	-	-	0.30	30
ESFERA 1	-	19.98	-	0.15	90
ESFERA 2	-	22.06	-	0.24	90
ESFERA 3	-	31.59	-	0.12	90
ESFERA 4	-	37.78	-	0.02	90
ESFERA 5	-	44.44	-	0.04	90
ESFERA 6	-	49.39	-	0.23	90
ESFERA 7	-	56.31	-	0.15	90
ESFERA 8	-	62.70	-	0.18	90
ESFERA 9	-	69.51	-	0.20	90
ESFERA 10	-	75.05	-	0.04	90
ESFERA 1	-	20.24	-	0.16	60
ESFERA 2	-	26.91	-	0.03	60
ESFERA 3	-	31.59	-	0.07	60
ESFERA 4	-	37.78	-	0.37	60

Continuação do quadro (4.1):

ESPECÍME	ARESTA (mm)	DIÂMETRO (mm)	COMPRIMENTO (mm)	DESVIO PADRÃO (mm)	DUREZA (shore)
ESFERA 5	-	44.35	-	0.23	60
ESFERA 6	-	44.21	-	0.01	60
ESFERA 7	-	56.44	-	0.06	60
ESFERA 8	-	62.56	-	0.20	60
ESFERA 9	-	69.56	-	0.16	60
ESFERA 10	-	75.11	-	0.10	60
ESFERA 1	-	19.22	-	0.01	30
ESFERA 2	-	26.55	-	0.11	30
ESFERA 3	-	31.41	-	0.01	30
ESFERA 4	-	37.56	-	0.08	30
ESFERA 5	-	44.09	--	0.04	30
ESFERA 6	-	49.05	-	0.07	30
ESFERA 7	-	55.81	-	0.01	30
ESFERA 8	-	62.47	-	0.018	30
ESFERA 9	-	68.87	-	0.02	30
ESFERA 10	-	74.68	-	0.02	30
CILINDRO 1	-	17.61	76.40	0.05	90
CILINDRO 2	-	26.06	76.88	0.11	90
CILINDRO 3	-	30.79	76.50	0.35	90
CILINDRO 4	-	38.33	76.60	0.12	90
CILINDRO 5	-	43.51	76.30	0.13	90
CILINDRO 6	-	50.03	76.60	0.10	90
CILINDRO 7	-	56.01	77.07	0.06	90
CILINDRO 8	-	62.49	76.70	0.07	90
CILINDRO 9	-	68.84	77.30	0.14	90
CILINDRO 10	-	74.65	77.75	0.16	90
CILINDRO 1	-	17.74	76.10	0.08	60
CILINDRO 2	-	26.13	76.40	0.08	60
CILINDRO 3	-	31.17	76.60	0.07	60
CILINDRO 4	-	38.59	76.20	0.12	60
CILINDRO 5	-	43.64	76.70	0.11	60
CILINDRO 6	-	50.12	76.50	0.07	60
CILINDRO 7	-	56.24	76.98	0.02	60
CILINDRO 8	-	62.78	76.94	0.09	60
CILINDRO 9	-	69.28	76.78	0.25	60
CILINDRO 10	-	75.35	76.98	0.14	60
CILINDRO 1	-	17.50	75.00	0.06	30
CILINDRO 2	-	26.14	75.44	0.12	30
CILINDRO 3	-	30.80	75.80	0.07	30
CILINDRO 4	-	38.23	76.20	0.08	30
CILINDRO 5	-	43.07	76.50	0.05	30
CILINDRO 6	-	49.92	76.72	0.22	30
CILINDRO 7	-	55.83	76.50	0.10	30
CILINDRO 8	-	62.41	77.30	0.24	30
CILINDRO 9	-	68.64	77.00	0.09	30
CILINDRO 10	-	74.75	76.78	0.11	30

4.4 ENSAIOS MECÂNICOS

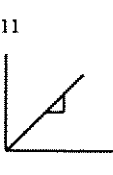
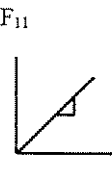
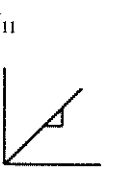
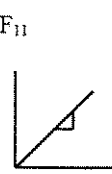
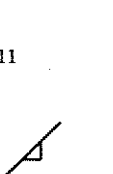
Os ensaios mecânicos realizados podem ser entendidos através da quadro (4.2), na qual estão divididos entre taxa de força, $F_{11}(t)$ e taxa de deformação $U_{11}(t)$, ensaios uniaxiais para espécimes cúbicos e cilíndricos, ensaios diametrais para esferas e cilindros (Brazilian Test).

Entende-se que os termos $\dot{F}_{11}(t)$ e $\dot{U}_{11}(t)$ respectivamente taxa de aplicação de força e taxa de aplicação de deformação. Conforme indica o quadro (4.2) somente os espécimes do grupo oito, ou seja, dimensão oito, sejam cubos, esferas ou cilindros, foram ensaiados com diferentes razões de força e deformação.

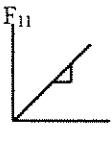
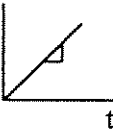
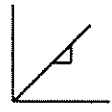
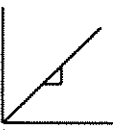
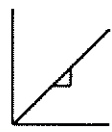
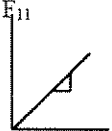
4.5 CÁLCULO DO MÓDULO DE ELASTICIDADE

O módulo de elasticidade foi calculado de duas formas diferentes, dependendo do fenômeno ocorrido. No caso da compressão uniaxial, segundo a Lei de Hooke, utilizou-se a equação (2.1), na qual se inclui o desvio padrão das dimensões dos espécimes. No caso de compressões diametrais de cilindros e esferas utilizou-se as equações, (3.95) e (3.81), respectivamente, as quais expressam os resultados do módulo de elasticidade segundo a Lei de Hertz para tensões de contato.

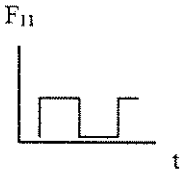
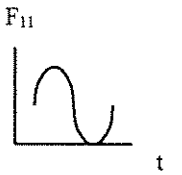
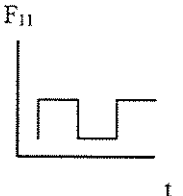
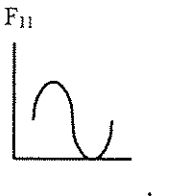
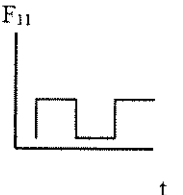
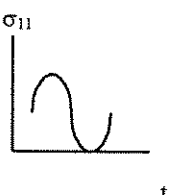
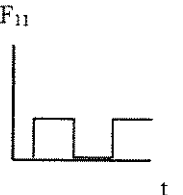
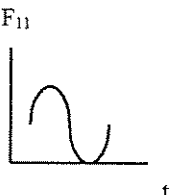
Quadro (4.2) mostra imposições aplicadas aos espécimes.

ESPECÍME	DEFORMAÇÃO IMPOSTA $\dot{U}_{11}(t)$	FORÇA IMPOSTA $\dot{F}_{11}(t)$
CUBO DIMENSÃO: 8 COMPOSIÇÃO: 6B20 TOTAL: 22 ENSAIOS	$\dot{U}_{11}(t)$ 1.25; 2.50; 5.00; 10.00; 50.00; 100.00 mm/s U_{11} 	$\dot{F}_{11}(t)$ 98,1; 323.73; 588.6; 981; 1177.2 N/s F_{11} 
CUBOS DIMENSÕES: 1 - 10 COMPOSIÇÕES: 114 6B20 17B24 TOTAL: 60 ENSAIOS	$\dot{U}_{11}(t)$ 1.25 mm/s U_{11} 	$\dot{F}_{11}(t)$ 98.1 N/s F_{11} 
ESFERA DIMENSÃO: 8 COMPOSIÇÃO: 17B24 TOTAL: 22 ENSAIOS	$\dot{U}_{11}(t)$ 1.25; 2.50; 5.00; 10.00; 50.00; 100.00 mm/s U_{11} 	$\dot{F}_{11}(t)$ 98,1; 323.73; 588.6; 981; 1177.2 N/s F_{11} 
ESFERAS DIMENSÕES: 1 - 10 COMPOSIÇÕES: 114 6B20 17B24 TOTAL: 60 ENSAIOS	$\dot{U}_{11}(t)$ 1.25 mm/s U_{11} 	$\dot{F}_{11}(t)$ 98,1; 323.73; 588.6; 981; 1177.2 N/s F_{11} 

Continuação do quadro (4.2).

ESPECÍME	DEFORMAÇÃO IMPOSTA	FORÇA IMPOSTA
CILINDRO DIMENSÃO: 8 COMPOSIÇÃO 6B20 TOTAL: 22 ENSAIOS	$\dot{U}_{11}(t)$ 1.25; 2.50; 5.00; 10.00; 50.00; 100.00 mm/s U_{11} 	$\dot{F}_{11}(t)$ 98,1; 323.73; 588.6; 981; 1177.2 N/s F_{11} 
CILINDROS DIMENSÕES: 1 - 10 COMPOSIÇÕES: 114 6B20 17B24 TOTAL: 60 ENSAIOS	$\dot{U}_{11}(t)$ 1.25 mm/s U_{11} 	$\dot{F}_{11}(t)$ 98,1; 323.73; 588.6; 981; 1177.2 N/s F_{11} 
CILINDRO "BRAZILIAN TEST" DIMENSÃO: 8 COMPOSIÇÃO: 17B24 TOTAL: 22 ENSAIOS	$\dot{U}_{11}(t)$ 1.25; 2.50; 5.00; 10.00; 50.00; 100.00 mm/s U_{11} 	$\dot{F}_{11}(t)$ 98,1; 323.73; 588.6; 981; 1177.2 N/s F_{11} 
CILINDROS "BRAZILIAN TEST" DIMENSÕES: 1 - 10 COMPOSIÇÕES: 114 6B20 17B24 TOTAL: 60 ENSAIOS	$\dot{U}_{11}(t)$ 1.25 mm/s U_{11} 	$\dot{F}_{11}(t)$ 98,1; 323.73; 588.6; 981; 1177.2 N/s F_{11} 

Continuação do quadro (4.2).

ESPÉCIME	FORÇA IMPOSTA $F_{11}(t)$	FORÇA IMPOSTA $F_{11}(t)$
CUBO DIMENSÃO: 8 COMPOSIÇÃO: 17B24 TOTAL: 2 ENSAIOS		
ESFERA DIMENSÃO: 8 COMPOSIÇÃO: 17B24 TOTAL: 2 ENSAIOS		
CILINDRO DIMENSÃO: 8 COMPOSIÇÃO: 17B24 TOTAL: 2 ENSAIOS		
CILINDRO "BRAZILIAN TEST" DIMENSÃO: 8 COMPOSIÇÃO: 17B24 TOTAL: 2 ENSAIOS		

5 RESULTADOS E DISCUSSÕES

5.1 INTRODUÇÃO

No presente capítulo serão apresentados os resultados dos vários ensaios executados com os diversos corpos de prova de diferentes geometrias. Conforme foi comentado anteriormente, a maneira mais prática e eficaz de se averiguar a validade dos ensaios seria calcular uma das constantes elásticas para cada caso ensaiado. Mesmo nos casos em que a taxa de deformação $\dot{U}_{11}(t)$ e a taxa de força $\dot{F}_{11}(t)$ tenham sido impostas com o objetivo de se averiguar a ocorrência de um comportamento viscoelástico linear nos espécimes, a variação do módulo de elasticidade indicaria tal ocorrência. Nota-se uma discrepância nos valores do módulo de elasticidade, em alguns casos, explicado pelo ajuste irregular das superfícies envolvidas, ou seja as superfícies dos espécimes e as superfícies da prensa. O descarte de tais dados foi considerado, caso o paralelismo dessas superfícies não pudesse ser garantido. Os materiais utilizados, borracha natural com durezas: 30, 60, 90 shore, denominadas comercialmente por 114, 17b24 e 6b20 respectivamente, apresentando logicamente módulos de elasticidade diferentes, foram portanto analisados em separado. Assim, a análise foi conduzida

comparando-se os valores do módulo de elasticidade segundo a dimensão e segundo a geometria dentro de uma mesma dureza do material. Como foi visto em capítulos anteriores os parâmetros taxa de carregamento e taxa de deformação foram impostos com o objetivo de se detectar possível comportamento viscoelástico, visto que o comportamento elástico independe do parâmetro tempo, e tendo-se em mente que a borracha natural é um material biológico, embora elaborado. Os ensaios em “Onda Quadrada” (quadro 4.2) e (5.4) foram analisados juntamente com os ensaios senoidais devido à sua forma original e aproximação da senoide.

5.2 FATOR GEOMETRIA DOS ESPÉCIMES.

Nota-se que os espécimes esféricos geraram os menores valores para o módulo de elasticidade, fato esse que se repete para os três níveis de dureza considerado. Exemplos mencionados por MOHSENIN (1970), mostram essa mesma tendência. Uma vez que o equacionamento do fenômeno elástico envolvido na compressão de uma esfera entre placas planas e paralelas não envolve aproximações numéricas, pode-se atribui-se essa diferença de resultados à fatores técnicos e metodológicos. A média geral do valor de E foi de $4,81 \text{ N/mm}^2$ para os cilindros, $2,84 \text{ N/mm}^2$ para as esferas, $4,67 \text{ N/mm}^2$ para os cubos, $4,86 \text{ N/mm}^2$ para os cilindros submetidos à ensaios com aplicação diametral. Esses valores diferem 64% entre esferas e cilindros, 64% esferas e cubos, 4% cubos e cilindros, 70% esferas e “BT”, 1% cilindros e “BT”, 4% cubos e “BT”.

5.3 FATOR TAMANHO DOS ESPÉCIMES.

Os espécimes menores, tanto cubos como esferas e cilindros foram submetidos às mesmas taxas de força e de deformação aplicados aos espécimes maiores. Isto faz com que a medida que a deformação aplicada ou observada ao longo do tempo de ensaio, os espécimes menores deixam de apresentar pequenas deformações como é previsto. Isto explica, em parte, as diferenças dos módulos de elasticidade observados para os diferentes tamanhos de espécimes, em todas as geometrias estudadas. Também deve-se enfatizar que os dados obtidos para os cilindros com diâmetros pequenos apresentam possíveis problemas relativos a flambagem em decorrência do elevado índice de esbeltez, fator este que não se pode corrigir devido a forma original dos espécimes.

Quadro: 5.1 – Valores médios e desvio padrão para os valores calculados do módulo de elasticidade (N/mm²) as diferentes geometrias, durezas, e, taxa de deformação de 1,25 mm/s.

GEOMETRIA	COMPOSIÇÃO 114 (MÉDIA)	COMPOSIÇÃO 114 (D.P.)	COMPOSIÇÃO 17B24 (MÉDIA)	COMPOSIÇÃO 17B24 (D.P.)	COMPOSIÇÃO 6B20 (MÉDIA)	COMPOSIÇÃO 6B20 (D.P.)
CUBOS	1.5	0.34	5.8	1.7	-	-
CILINDROS	2.913	0.36	5.24	0.33	7.33	1.67
ESFERAS	1.67	0.6	3.51	0.65	3.28	0.64
“BT”	2.91	0.175	4.85	0.196	6.94	0.21

Quadro: 5.2 – Valores médios e desvio padrão para os valores calculados do módulo de elasticidade (N/mm²) para as diferentes geometrias, durezas ,e, taxa de aplicação de força de 98,1 N/s.

GEOMETRIA	COMPOSIÇÃO	COMPOSIÇÃO	COMPOSIÇÃO	COMPOSIÇÃO	COMPOSIÇÃO	COMPOSIÇÃO
	114	114	17B24	17B24	6B20	6B20
	(MÉDIA)	(D.P.)	(MÉDIA)	(D.P.)	(MÉDIA)	(D.P.)
CUBOS	3.73	0.57	5.91	0.63	6.44	1.12
CILINDROS	5.36	0.74	3.21	0.62	6.84	0.81
ESFERAS	2.0	0.73	3.21	0.62	3.37	0.64
"BT"	3.01	0.63	4.98	0.274	6.454	0.508

Quadros 5.3 Valores do módulo de elasticidade (N/mm²) calculado para cada uma das dez dimensões existentes no trabalho segundo as diferentes geometrias e composição 17b24, e taxa de aplicação de deformação de 1,25 mm/s.

COMPOSIÇÃO	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
17B24										
CILINDRO	4.91	5.27	4.99	5.28	5.42	5.33	5.28	5.05	5.68	5.18
CUBO	5.30	7.70	7.10	6.20	5.40	7.10	7.50	7.00	4.50	2.40
ESFERA	4.87	4.05	3.43	3.08	3.51	3.18	3.19	3.37	3.44	3.37
BRAZILIAN TEST	4.95	5.10	5.86	4.91	4.92	4.93	4.93	4.92	4.89	4.90

Quadro 5.6 Valores do módulo de elasticidade (N/mm²) calculados para cada uma das dez dimensões existentes no trabalho segundo as diferentes geometrias e composição 17b24, para uma taxa de força de 98,1 N/s.

COMPOSICAO 17b24	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
CILINDRO	6.22	5.04	4.96	5.52	5.23	5.65	5.28	5.48	5.52	5.50
CUBO	5.71	6.01	6.50	6.28	5.49	5.48	6.39	5.31	6.62	5.55
ESFERA	4.27	3.72	3.55	2.26	3.04	4.05	3.15	3.16	3.10	2.80
BRAZILIAN TEST	4.61	5.03	5.00	4.96	4.76	5.19	5.20	4.80	4.99	4.91

Quadro 5.7 Valores do módulo de elasticidade (N/mm²) calculados para cada uma das dez dimensões existentes no trabalho segundo as diferentes geometrias e composição 6b20, para uma taxa de força de 98,1 N/s.

COMPOSICAO 6b20	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
CILINDRO	6.21	6.05	6.72	6.55	6.72	6.58	6.75	6.98	7.46	7.30
CUBO	7.40	6.75	6.81	7.95	7.46	7.95	7.64	8.90	7.80	8.07
ESFERA	5.40	3.58	3.39	3.43	3.60	3.25	3.19	3.49	2.94	3.10
BRAZILIAN TEST	6.08	6.10	6.82	7.07	5.84	6.34	6.52	6.65	6.60	6.56

Quadro 5.8 Valores dos módulos de elasticidade (N/mm^2) calculados para cada uma das dez dimensões existentes no trabalho segundo as diferentes geometrias e composição 114, para uma taxa de força de 98,1 N/s.

COMPOSIÇÃO	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
114										
CILINDRO	2.80	2.55	2.82	2.95	2.88	2.98	3.16	4.81	3.19	3.33
CUBO	3.73	3.22	4.12	3.57	4.42	4.31	3.85	3.50	3.51	3.33
ESFERA	2.40	2.12	1.95	2.32	1.81	1.77	1.89	2.19	1.18	1.88
BRAZILIAN TEST	3.09	3.14	2.99	2.98	3.01	3.00	3.00	2.98	3.02	2.97

5.4 FATOR TAXA DE FORÇA E TAXA DE DEFORMAÇÃO.

Nota-se pelas Quadros 5.1 e 5.2, as quais se referem, respectivamente os ensaios conduzidos controlando-se a taxa de força e taxa de deformação que existe uma variação nos resultados. Ora, as leis elásticas, quer sejam de Hooke ou de Hertz não prevêm influência do parâmetro tempo na relação entre força e deformação. Isto evidência o comportamento viscoelástico da borracha natural.

5.5 ENSAIOS SENOIDAIS.

A equação (3.128) foi empregada para se obter o módulo de elasticidade envolvido em ensaios onde a força imposta segue uma função de comportamento senoidal. Foram selecionados os valores da força máxima para o calculo do módulo de elasticidade, conforme

capítulo 3.11 página 51. Vê-se pelo quadro (5.4) que esses valores não diferem significativamente dos valores apresentados anteriormente.

Quadro 5.4 Valores do módulo de elasticidade (N/mm²) sob taxa de força em função senoidal e onda quadrada do tempo em espécimes de borracha natural, composição 114.

ENSAIOS	CUBO 8	CILINDRO 8	ESFERA 8	BRAZILIAN TEST CILINDRO 8
"SENOIDAL"	1.73	1.23	2.26	1.13
"ONDA QUADRADA"	1.53	1.03	2.26	-

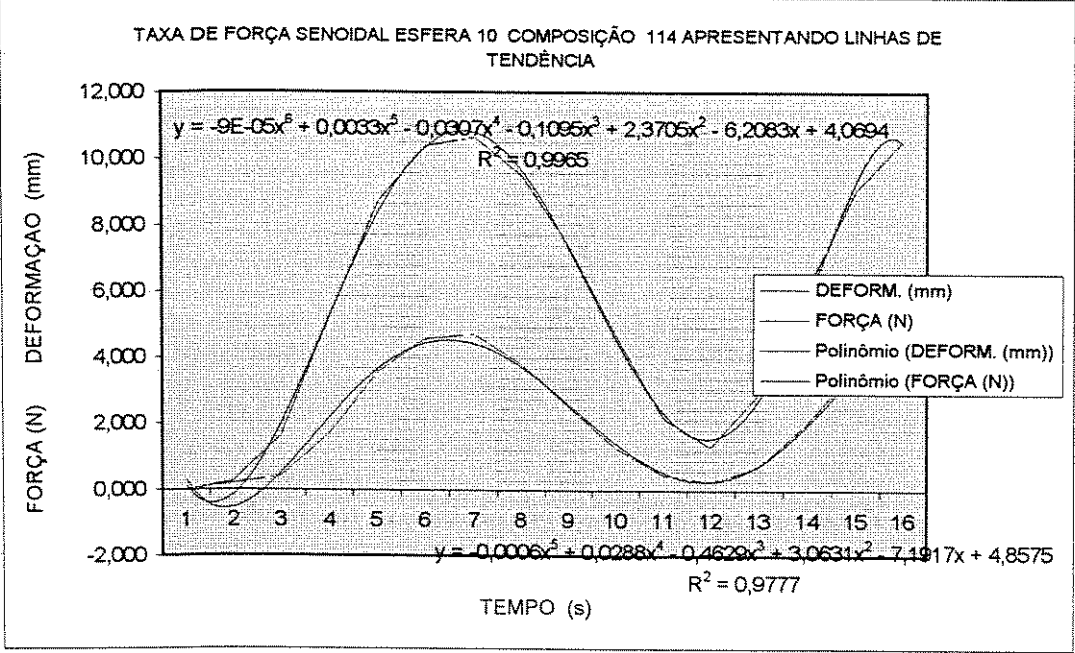
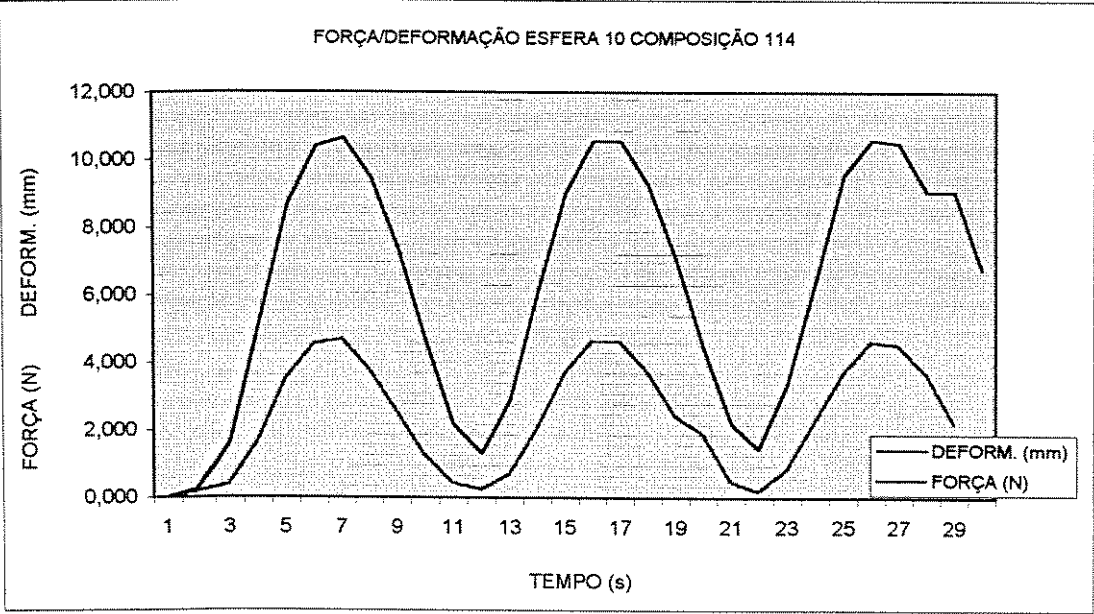
5.6 ENSAIOS DIAMETRAIS OU "BRAZILIAN TEST"

Segundo a equação (3.96) vê-se que o valor do paramento **Z** é inversamente proporcional à deformação, conforme se observa também nos gráficos que mostram o comportamento em função da deformação, para todos os tamanhos ensaiados. E essa classe de ensaios não apresenta diferença com os demais ensaios. Os gráficos seguintes mostram as funções senoidais impostas e as devidas respostas, bem como a curva de tendência da função resposta. Como foi observado anteriormente, os ensaios "onda quadrada" mais próximos de uma senoide.

FORÇA CONTROLADA

ESFERA 10 COMPOSIÇÃO 114

TEMPO (s)	DEFORM. (mm)	FORÇA (N)
0,00	0,000	0,000
1,00	0,240	0,180
2,00	1,650	0,400
3,00	5,300	1,700
4,00	8,700	3,530
5,00	10,400	4,560
6,00	10,640	4,700
7,00	9,490	3,800
8,00	7,380	2,550
9,00	4,700	1,300
10,00	2,190	0,460
11,00	1,313	0,240
12,00	2,895	0,700
13,00	6,100	2,030
14,00	9,030	3,690
15,00	10,552	4,670
16,00	10,550	4,630
17,00	9,280	3,750
18,00	7,090	2,430
19,00	4,460	1,910
20,00	2,210	0,490
21,00	1,450	0,200
22,00	3,350	0,840
23,00	6,400	2,270
24,00	9,570	3,690
25,00	10,600	4,620
26,00	10,490	4,540
27,00	9,070	3,700
28,00	9,070	2,230
29,00	6,770	



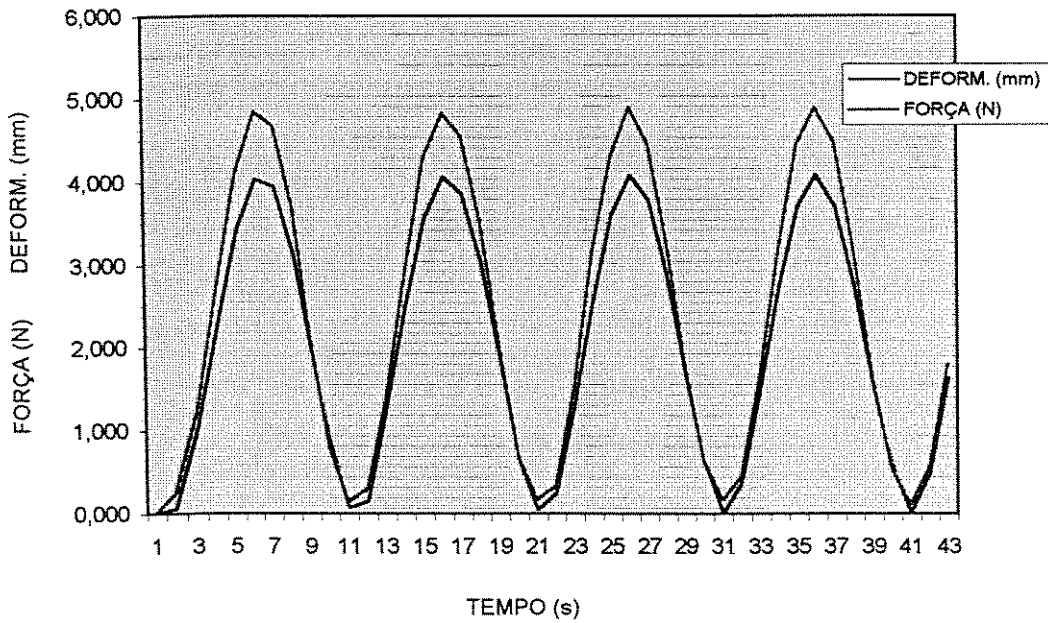
FORÇA CONTROLADA

CILINDRO 8

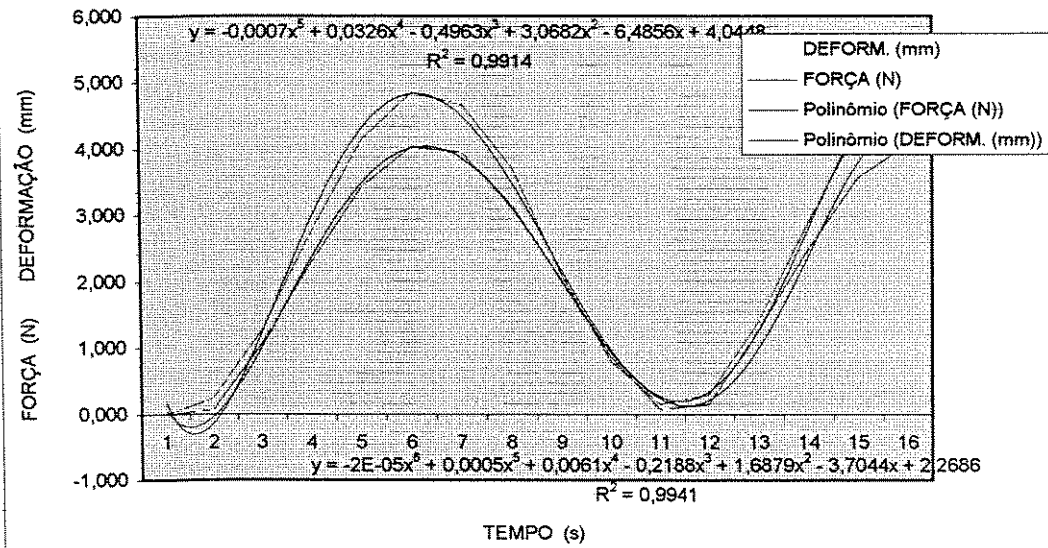
COMPOSIÇÃO 114

TEMPO (s)	DEFORM. (mm)	FORÇA (N)
0,00	0,000	0,000
1,00	0,060	0,240
2,00	1,050	1,260
3,00	2,300	2,770
4,00	3,430	4,140
5,00	4,040	4,850
6,00	3,950	4,680
7,00	3,170	3,730
8,00	2,012	2,100
9,00	0,870	0,800
10,00	0,070	0,150
11,00	0,150	0,300
12,00	1,260	1,400
13,00	2,490	2,900
14,00	3,560	4,300
15,00	4,070	4,830
16,00	3,860	4,560
17,00	3,030	3,500
18,00	1,860	1,990
19,00	0,660	0,680
20,00	0,045	0,170
21,00	0,250	0,330
22,00	1,320	1,550
23,00	2,550	3,170
24,00	3,600	4,310
25,00	4,080	4,900
26,00	3,790	4,460
27,00	2,880	3,300
28,00	1,690	1,800
29,00	0,637	0,640
30,00	0,010	0,170
31,00	0,364	0,440
32,00	1,485	1,660
33,00	2,714	3,160
34,00	3,700	4,450
35,00	4,090	4,900
36,00	3,700	4,490
37,00	2,730	3,200
38,00	1,540	1,630
39,00	0,600	0,560
40,00	0,010	0,110
41,00	0,490	0,560
42,00	1,630	1,800

FORÇA/DEFORMAÇÃO CILINDRO 8 COMPOSIÇÃO 114



TAXA DE FORÇA SENOIDAL CILINDRO 8 COMPOSIÇÃO 114 APRESENTANDO LINHAS DE TENDÊNCIA

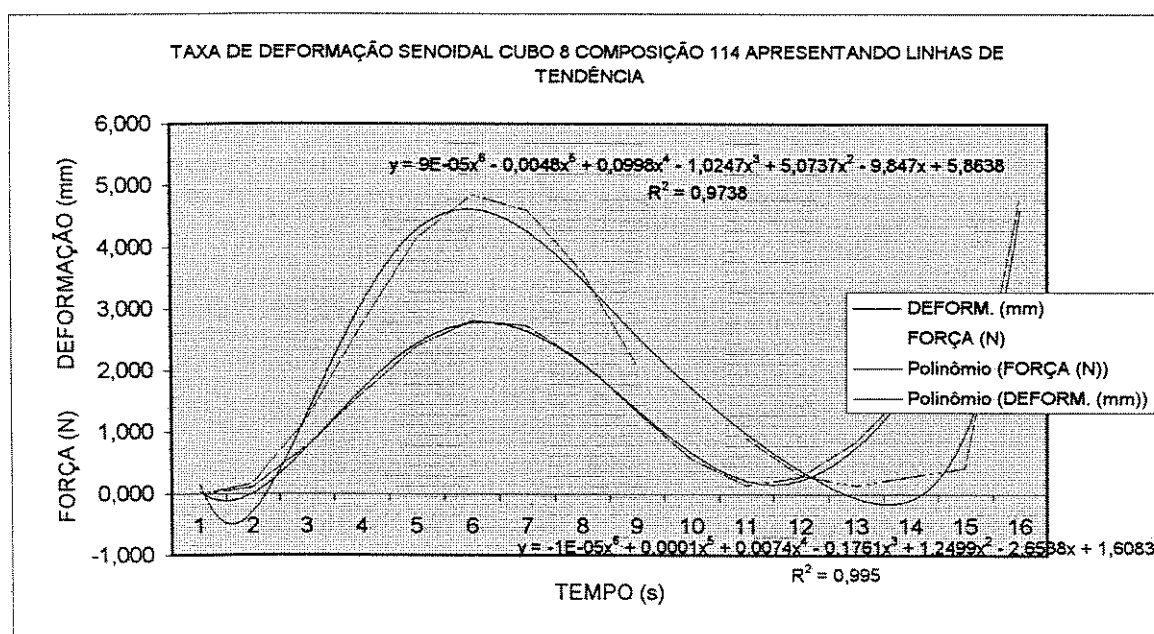
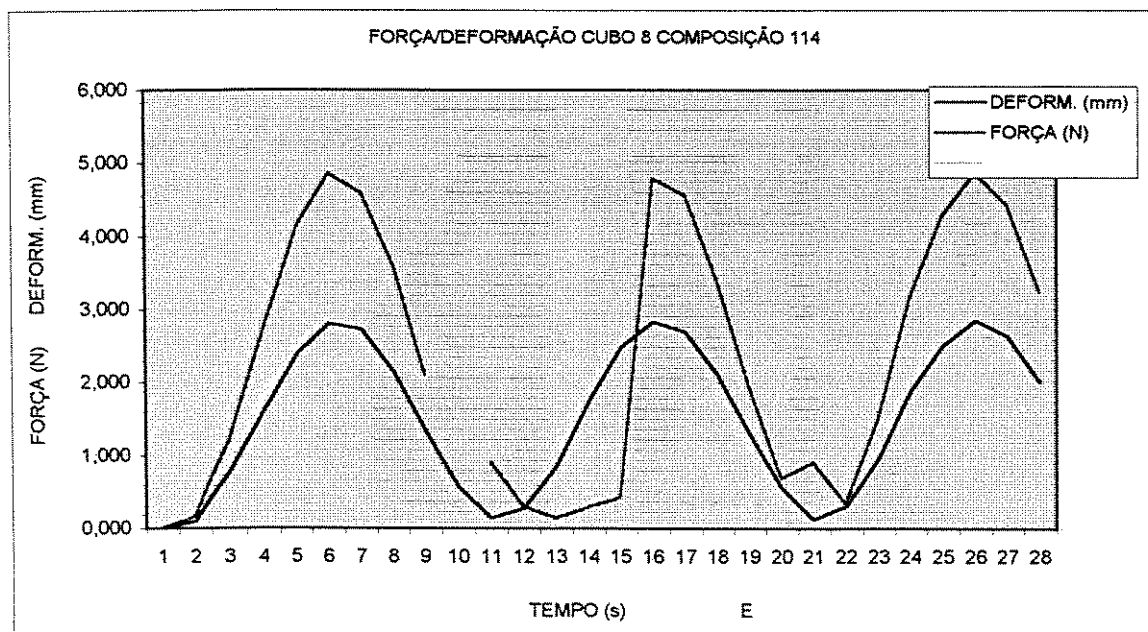


FORÇA CONTROLADA

CUBO 8

COMPOSIÇÃO 114

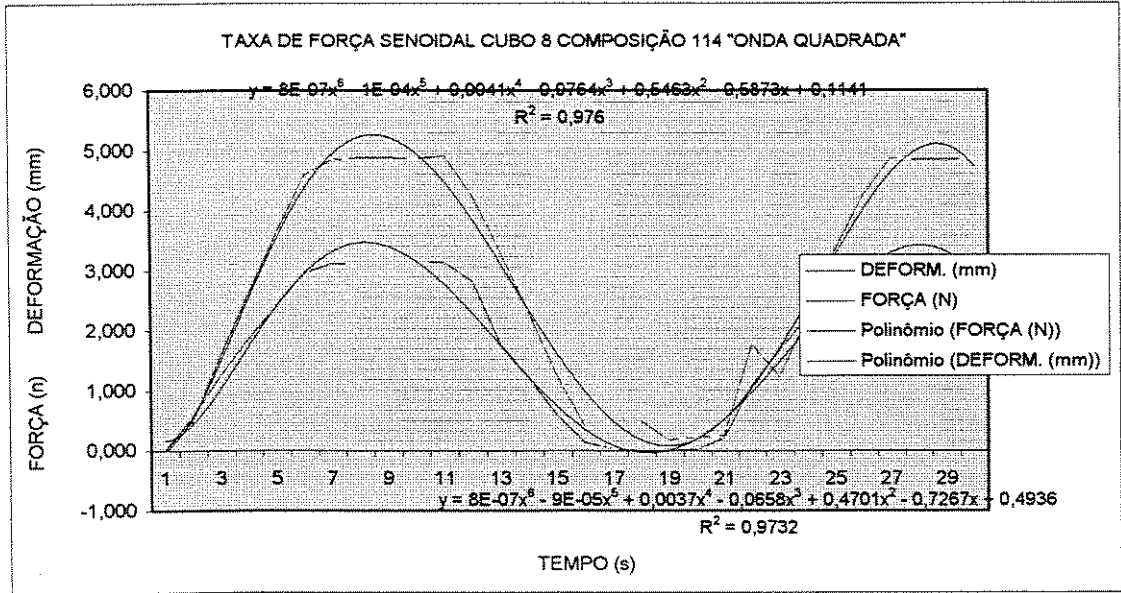
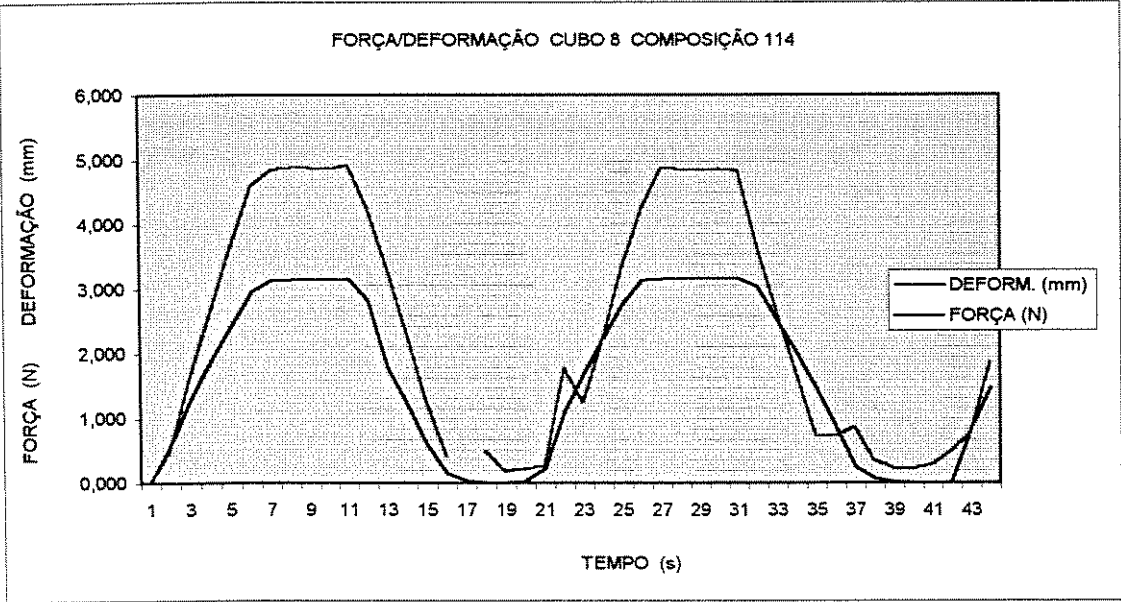
TEMPO (s)	DEFORM. (mm)	FORÇA (N)
0,00	0,000	0,000
1,00	0,100	0,160
2,00	0,770	1,200
3,00	1,617	2,750
4,00	2,394	4,150
5,00	2,810	4,860
6,00	2,730	4,600
7,00	2,150	3,600
8,00	1,350	2,100
9,00	0,570	
10,00	0,138	0,910
11,00	0,273	0,310
12,00	0,850	0,140
13,00	1,750	0,290
14,00	2,480	0,420
15,00	2,830	4,800
16,00	2,688	4,560
17,00	2,110	3,390
18,00	1,299	1,940
19,00	0,552	0,690
20,00	0,120	0,910
21,00	0,310	0,350
22,00	0,960	1,500
23,00	1,876	3,170
24,00	2,510	4,300
25,00	2,846	4,870
26,00	2,639	4,440
27,00	2,014	3,250



FORÇA CONTROLADA

CUBO 8 COMPOSIÇÃO 114 "Onda Quadrada"

TEMPO (s)	DEFORM. (mm)	FORÇA (N)
0,00	0,000	0,000
1,00	0,560	0,490
2,00	1,250	1,590
3,00	1,868	2,620
4,00	2,415	3,640
5,00	2,960	4,600
6,00	3,130	4,850
7,00	3,140	4,890
8,00	3,140	4,890
9,00	3,140	4,870
10,00	3,150	4,920
11,00	2,830	4,250
12,00	1,789	3,320
13,00	1,236	2,320
14,00	0,600	1,260
15,00	0,147	0,410
16,00	0,036	
17,00	0,001	0,500
18,00	0,002	0,190
19,00	0,030	0,230
20,00	0,220	0,260
21,00	1,100	1,780
22,00	1,680	1,240
23,00	2,234	2,240
24,00	2,769	3,360
25,00	3,136	4,250
26,00	3,150	4,880
27,00	3,160	4,860
28,00	3,165	4,860
29,00	3,165	4,870
30,00	3,165	4,850
31,00	3,030	3,660
32,00	2,530	2,670
33,00	2,010	1,690
34,00	1,460	0,730
35,00	0,875	0,730
36,00	0,246	0,880
37,00	0,069	0,360
38,00	0,018	0,240
39,00	0,002	0,230
40,00	0,004	0,290
41,00	0,005	0,500
42,00	0,823	0,790
43,00	1,470	1,870

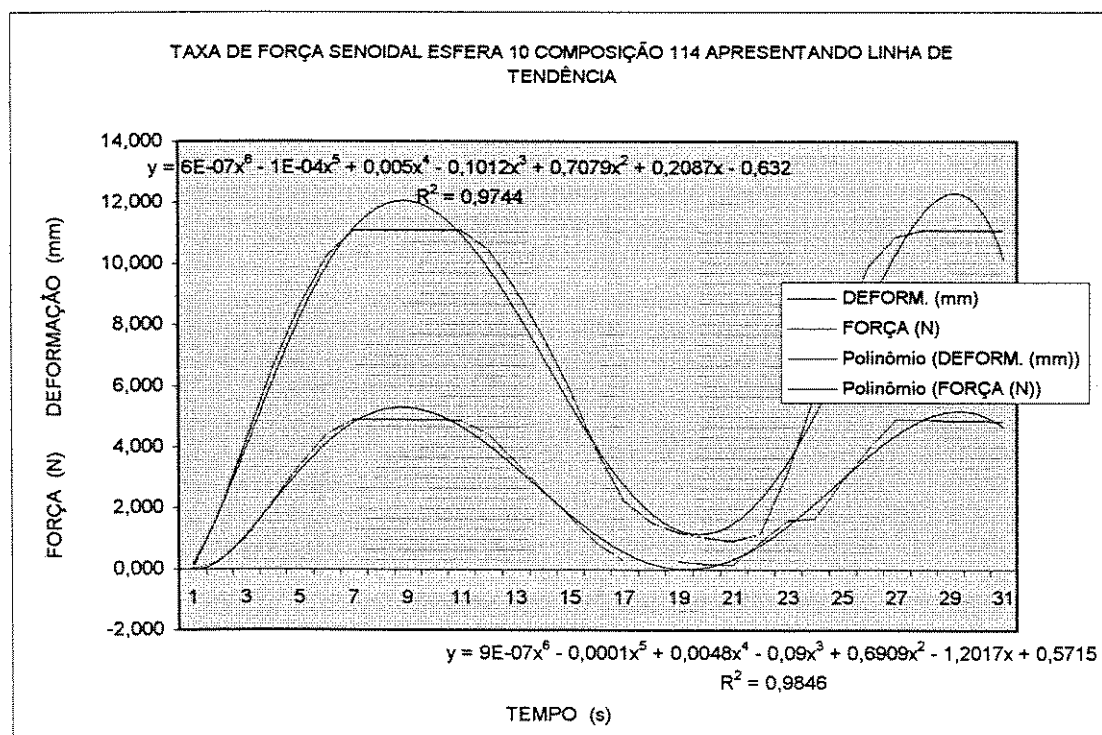
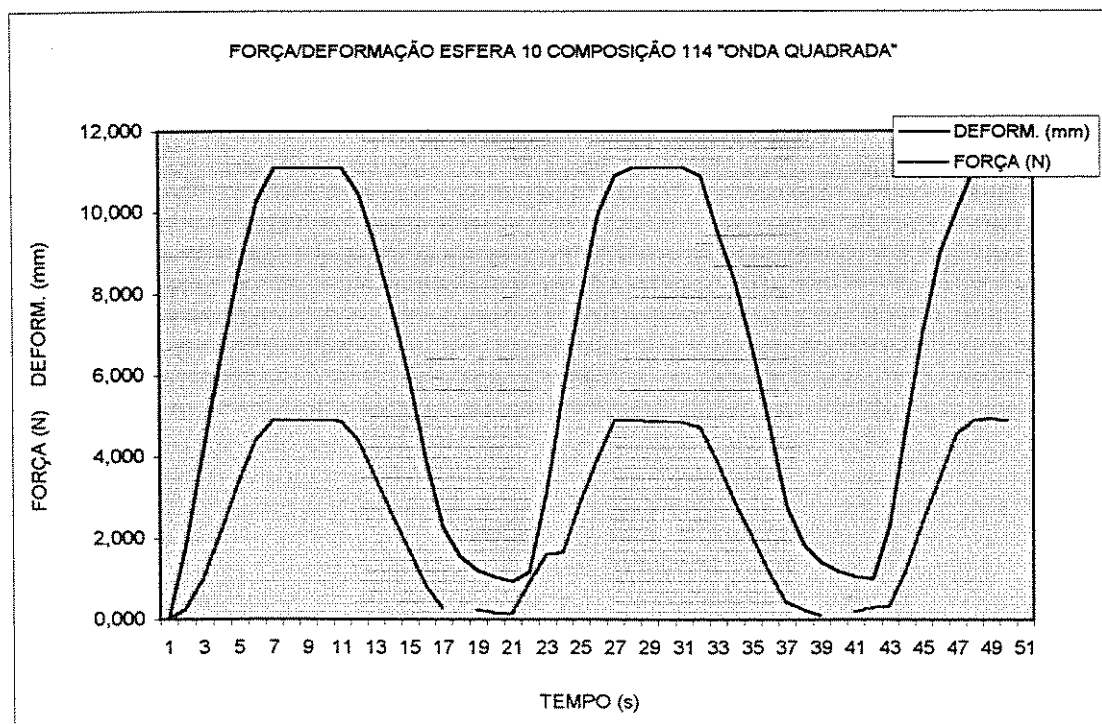


FORÇA CONTROLADA

ESFERA 10 COMPOSIÇÃO 114

"ONDA QUADRADA"

TEMPO (s)	DEFORM. (mm)	FORÇA (N)
0	0,000	0,000
1	1,810	0,250
2	4,160	1,000
3	6,590	2,190
4	8,620	3,370
5	10,270	4,410
6	11,100	4,900
7	11,100	4,900
8	11,100	4,890
9	11,100	4,900
10	11,100	4,870
11	10,470	4,430
12	9,160	3,530
13	7,650	2,620
14	5,910	1,730
15	3,900	0,860
16	2,260	0,290
17	1,550	
18	1,210	0,260
19	1,040	0,180
20	0,940	0,150
21	1,170	0,900
22	3,180	1,600
23	5,700	1,670
24	7,886	2,860
25	9,960	3,950
26	10,904	4,910
27	11,099	4,910
28	11,110	4,880
29	11,110	4,870
30	11,110	4,860
31	10,900	4,740
32	9,546	3,910
33	8,300	2,890
34	6,670	2,060
35	4,790	1,180
36	2,799	0,450
37	1,839	0,260
38	1,410	0,110
39	1,189	
40	1,064	0,200
41	1,000	0,300
42	2,310	0,340
43	4,750	1,200
44	7,077	2,390
45	9,010	3,490
46	10,050	4,570
47	11,028	4,890
48	11,110	4,950
49	11,120	4,890

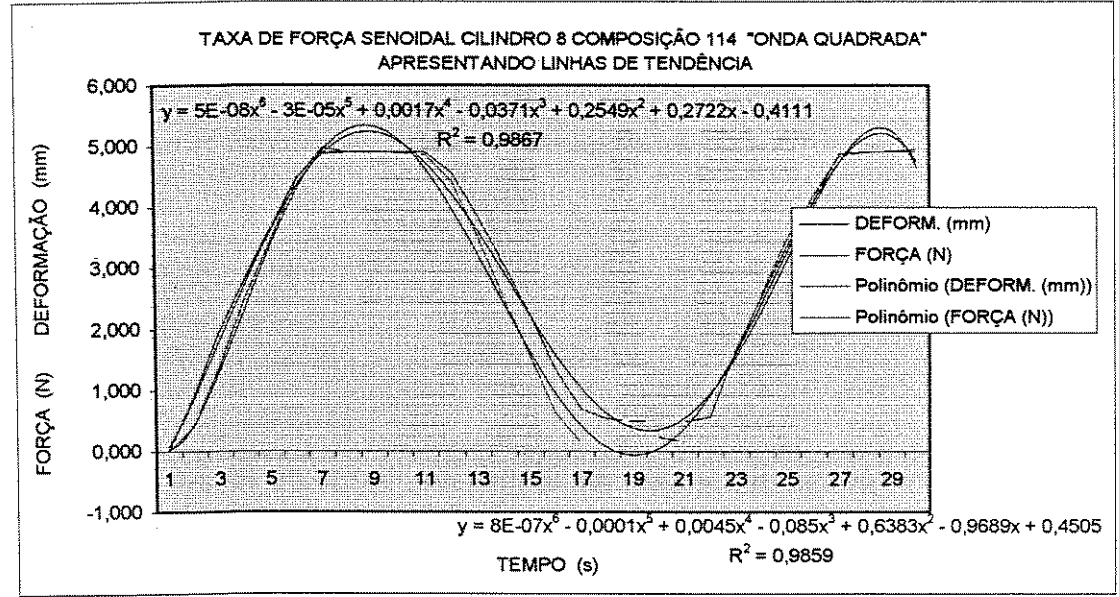
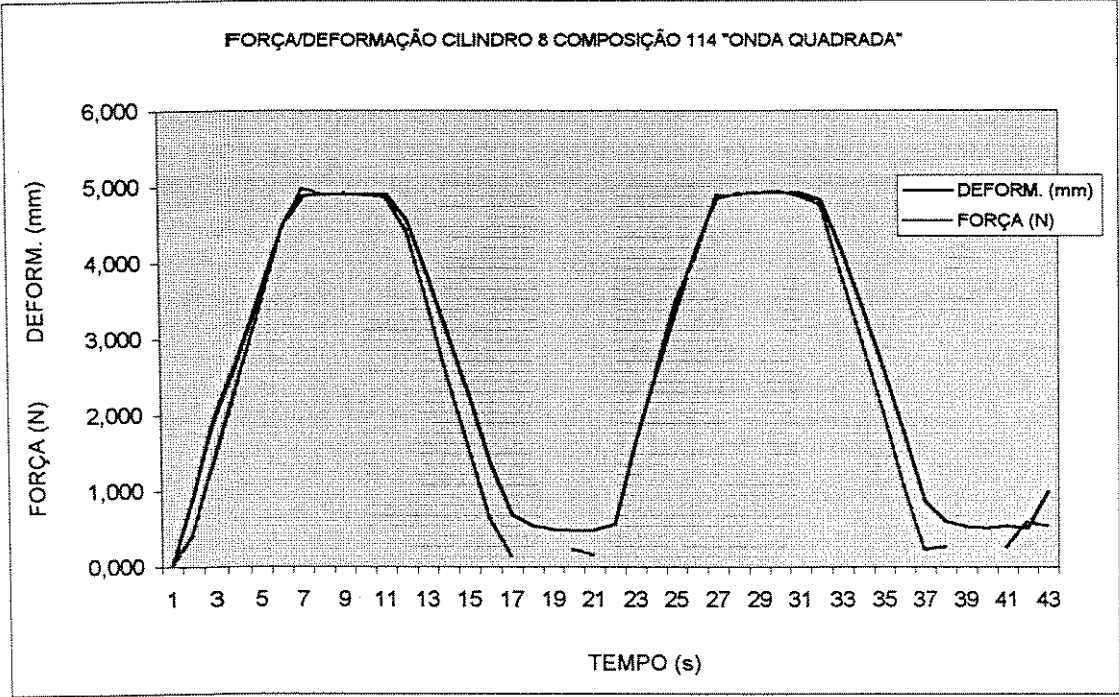


FORÇA CONTROLADA

CILINDRO 8 COMPOSIÇÃO 114

"Onda Quadrada"

TEMPO (s)	DEFORM. (mm)	FORÇA (N)
0,00	0,000	0,000
1,00	0,890	0,410
2,00	1,960	1,390
3,00	2,836	2,520
4,00	3,673	3,470
5,00	4,491	4,470
6,00	4,881	4,980
7,00	4,903	4,910
8,00	4,903	4,920
9,00	4,908	4,900
10,00	4,909	4,870
11,00	4,570	4,420
12,00	3,830	3,490
13,00	3,049	2,490
14,00	2,238	1,560
15,00	1,347	0,630
16,00	0,688	0,140
17,00	0,539	
18,00	0,491	
19,00	0,479	0,230
20,00	0,481	0,160
21,00	0,562	
22,00	1,647	
23,00	2,539	2,580
24,00	3,367	3,500
25,00	4,183	4,090
26,00	4,848	4,890
27,00	4,914	4,910
28,00	4,920	4,930
29,00	4,920	4,950
30,00	4,920	4,890
31,00	4,830	4,770
32,00	4,150	3,850
33,00	3,379	2,950
34,00	2,580	2,030
35,00	1,745	1,070
36,00	0,868	0,230
37,00	0,605	0,270
38,00	0,535	
39,00	0,511	
40,00	0,540	0,260
41,00	0,510	0,600
42,00	0,990	0,540

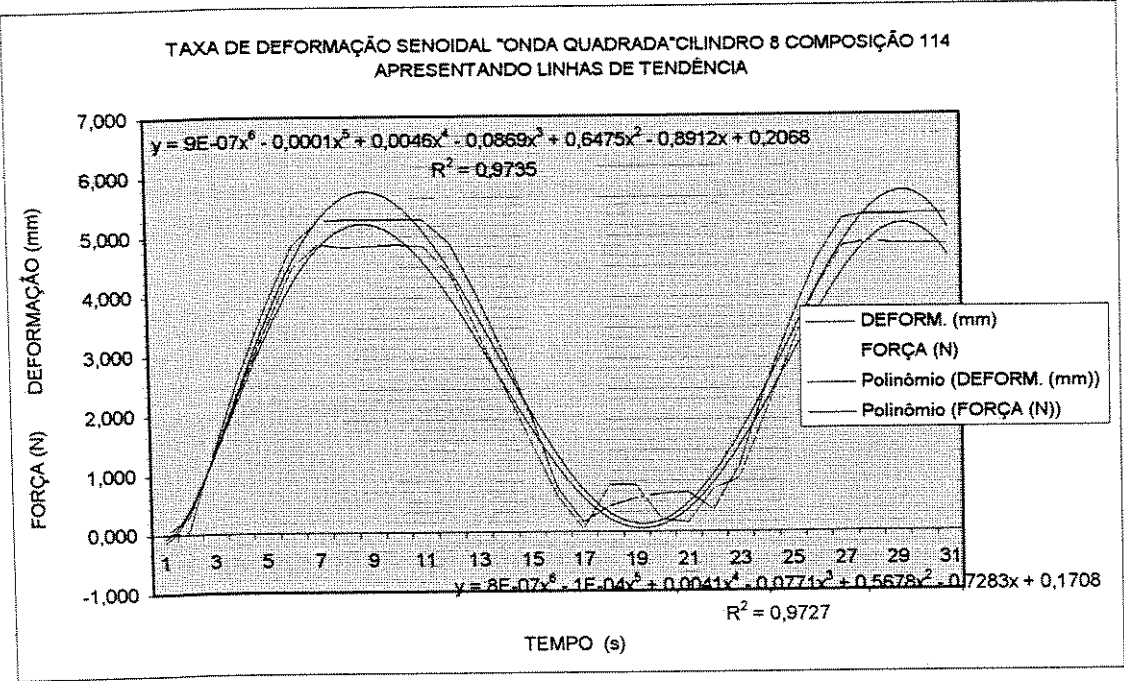
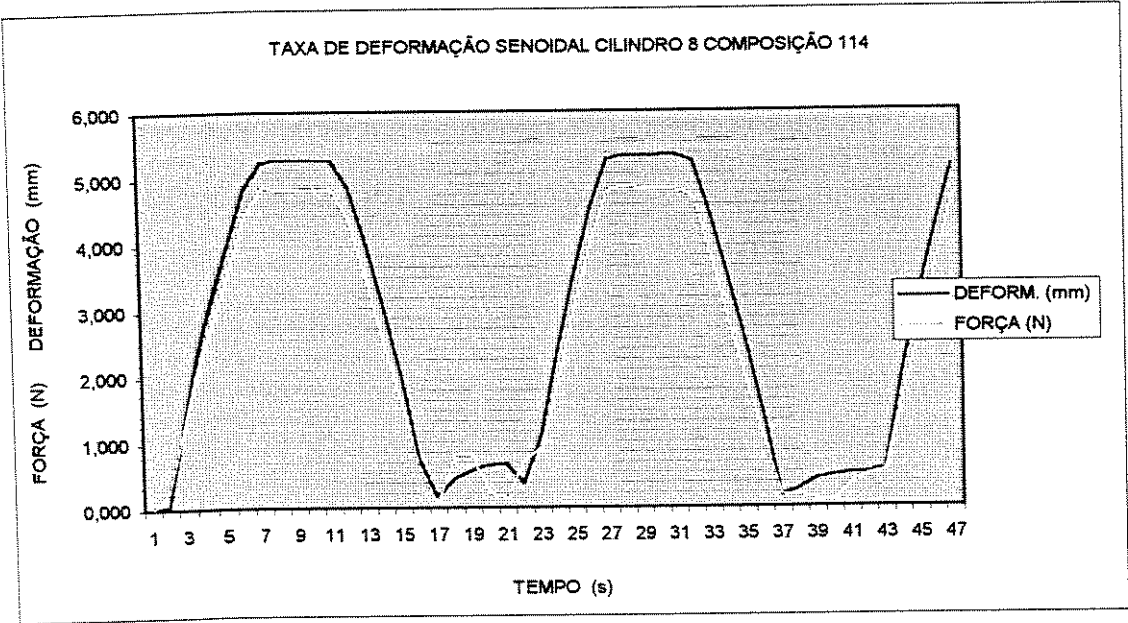


FORÇA CONTROLADA

CILINDRO 8 COMPOSIÇÃO 114 "ONDA QUADRADA"

"BRAZILIAN TEST"

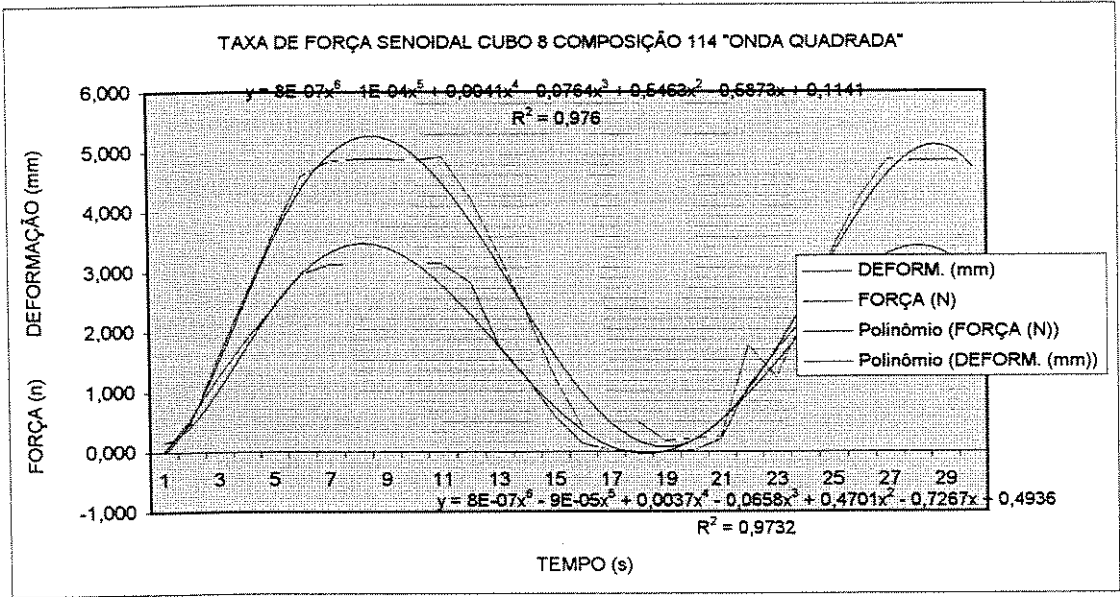
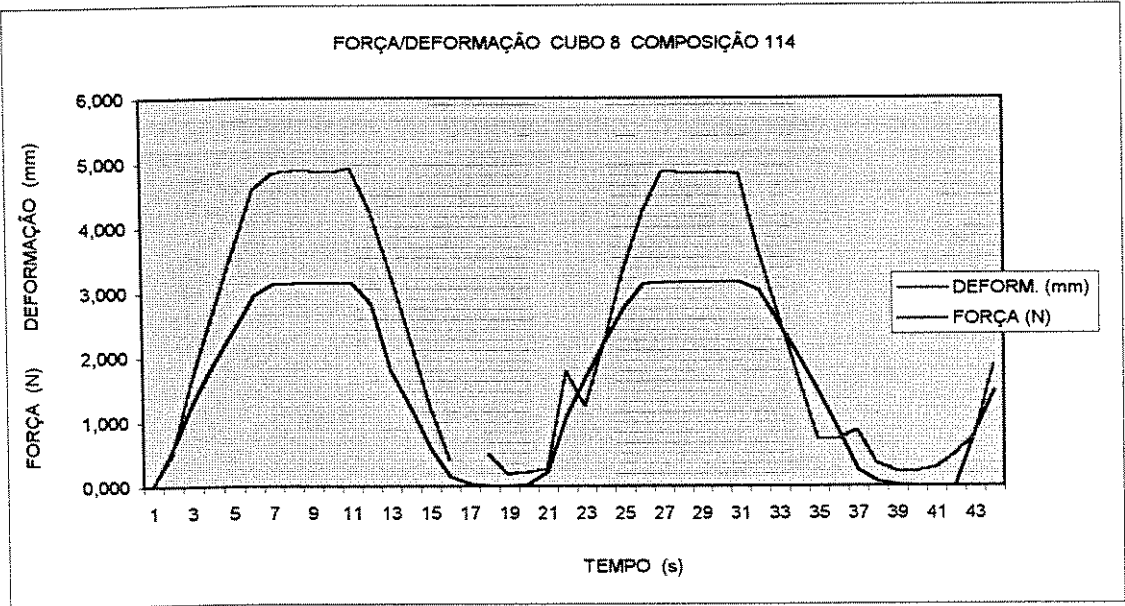
TEMPO (s)	DEFORM. (mm)	FORÇA (N)
0,00	0,000	0,000
1,00	0,050	0,280
2,00	1,400	1,320
3,00	2,709	2,420
4,00	3,830	3,450
5,00	4,830	4,450
6,00	5,250	4,870
7,00	5,277	4,810
8,00	5,270	4,830
9,00	5,280	4,850
10,00	5,276	4,820
11,00	4,860	4,350
12,00	3,989	3,390
13,00	3,020	2,450
14,00	1,950	1,500
15,00	0,734	0,600
16,00	0,161	0,050
17,00	0,432	0,790
18,00	0,561	0,790
19,00	0,644	0,210
20,00	0,664	0,150
21,00	0,367	0,710
22,00	1,100	0,900
23,00	2,428	2,000
24,00	3,550	3,100
25,00	4,570	4,100
26,00	5,269	4,800
27,00	5,330	4,880
28,00	5,330	4,830
29,00	5,340	4,830
30,00	5,340	4,820
31,00	5,248	4,700
32,00	4,479	3,810
33,00	3,500	2,800
34,00	2,536	1,900
35,00	1,396	1,000
36,00	0,177	0,190
37,00	0,270	0,190
38,00	0,420	0,120
39,00	0,473	0,100
40,00	0,508	0,380
41,00	0,508	0,490
42,00	0,582	0,550
43,00	1,980	1,640
44,00	3,167	2,650
45,00	4,210	3,710
46,00	5,148	4,720



FORÇA CONTROLADA

CUBO 8 COMPOSIÇÃO 114 "Onda Quadrada"

TEMPO (s)	DEFORM. (mm)	FORÇA (N)
0,00	0,000	0,000
1,00	0,560	0,490
2,00	1,250	1,590
3,00	1,868	2,620
4,00	2,415	3,640
5,00	2,960	4,600
6,00	3,130	4,850
7,00	3,140	4,890
8,00	3,140	4,890
9,00	3,140	4,870
10,00	3,150	4,920
11,00	2,830	4,250
12,00	1,789	3,320
13,00	1,236	2,320
14,00	0,600	1,260
15,00	0,147	0,410
16,00	0,036	
17,00	0,001	0,500
18,00	0,002	0,190
19,00	0,030	0,230
20,00	0,220	0,260
21,00	1,100	1,780
22,00	1,680	1,240
23,00	2,234	2,240
24,00	2,769	3,360
25,00	3,136	4,250
26,00	3,150	4,880
27,00	3,160	4,860
28,00	3,165	4,860
29,00	3,165	4,870
30,00	3,165	4,850
31,00	3,030	3,660
32,00	2,530	2,670
33,00	2,010	1,690
34,00	1,460	0,730
35,00	0,875	0,730
36,00	0,246	0,880
37,00	0,069	0,360
38,00	0,018	0,240
39,00	0,002	0,230
40,00	0,004	0,290
41,00	0,005	0,500
42,00	0,823	0,790
43,00	1,470	1,870



6. CONCLUSÕES

Baseado no que foi exposto anteriormente pode-se ressaltar as seguintes conclusões:

- Com os ensaios preconizados pode-se detectar a ocorrência do comportamento viscoelástico.
- Existe uma pequena defasagem entre os dados obtidos com diferentes geometrias dos espécimens.
- Os espécimens esféricos apresentam os menores valores de módulo de elasticidade.
- Existem problemas técnicos específicos para cada geometria de corpos de prova e para cada classe de ensaios.
- Os espécimens de borracha natural mostram-se eficazes para o estudo em pauta.
- O módulo de elasticidade seguem uma tendência de conformidade com a dureza do material independente da geometria do espécimen.

7. RECOMENDAÇÕES PARA TRABALHOS FUTUROS.

Após o presente relato de resultados discussões e conclusões segue-se o seguinte:

- Ensaiar corpos de prova sob tração para se comparar com os resultados apresentados.
- Ensaiar os espécimens esféricos, cúbicos e diametrais em cilindros (B.T.) em diferentes sentidos para compensar os efeitos da não homogeneidade do material.
- Reavaliar a técnica de ensaios para espécimens esféricos. Realizar ensaios de impacto com esses espécimens para comparar os dados obtidos por ensaios realizados neste trabalho.
- Monitorar os ensaios em paralelo ao sistema de aquisição de dados através de outro equipamento para se averiguar falhas, um sistema em paralelo poderia detectar a ocorrência de problemas no início dos ensaios.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.

- APACLLA, R., Stress Analysis in Agricultural Products Using the Finite Element Method. Unpublished Technical Research Report. Agr. Eng. Deph. 1973.
- ASAE STANDARDS: ASAE S368.1: Compression Test of Food Materials of Convex Shape. ASAE STANDARDS 1989, St. Joseph, MI, 36: 368-71, 1989.
- CHEN, P., STUDER, H. E., LAM, S.T. A Bulk Compressibility Tester for Agricultural Products. St. Joseph, MI: ASAE, 1975, Paper n. 75-5533.
- CHRISTENSEN, R. M. Theory of Viscoelasticity am Introduction. New York. Academic Press, 1982, 364p.
- DAL FABBRO, Inácio M. Failure Theories for Apple Flesh. E. Lansing, MI: Michigan State University, 1979. Tese (Doutorado).
- DE BAERDEMAEKER, J. G. Experimental and Numerical Techniques Related to the Stress Analysis of Apple Under Static Load. E. Lansing, MI: Michigan State University, 1975. Tese (Doutorado).
- FERRAZ, A. C. de Oliveira. Propriedades Mecânicas do Internódio da Cana-de-Açúcar: uma contribuição metodológica. Campinas: UNICAMP, 1987. 98p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) Faculdade de Engenharia Agrícola, Univ. Estadual de Campinas, 1987.
- FLUGGE, W. Viscoelasticity. New York, Spring-Verlag, 1975, 194p.
- FRIDLEY, R. B., R. A. BRADLEY; L. W. RUMSEY; P. A. ADRIAN. Some Aspects of Elastic Behavior of Selected Finite. Transactions of the ASAE. 11(1): 46-49, 1968.
- GUSTAFSON, R. J. Continuum Theory for Gas-Solid-Liquid Media. E. Lansing, MI: Michigan State University, 1974. Tese (Doutorado) Agricultural Department, Michigan State University, 1974.

- HANANN, D. D. Analysis of Stress During Impact of Fruit Considered to be Viscoelastic. Trans. Of the ASAE. St. Joseph, MI, vol. 13, n. 6, p. 893-899, 1970.
- HUGHES, H. SEGERLIND, L. J. A Rapid Mechanical Method for Determining Poisson's Ratio in Biological Materials. St. Joseph, MI: ASAE, 1972, paper n. 71-310.
- LINARES, A. W. e DAL FABBRO, I. M. Non Linear Viscoelastic Behavior of Spherical Fruits. 3rd International Symposium on Sensors in Horticulture, Tiberias, Israel 1997.
- MARTINS, M. P. Comportamento Mecânico de Laranja-Pera (Citrus Sinensis Osbek). Campinas: Unicamp, 1993. 99p. Dissertação (Mestrado), Faculdade de Eng. Agrícola, Universidade Estadual de Campinas, 1993.
- MASE, G. E. Theory and Problems of Continuum Mechanics. New York: McGrawHill, 1970. 221p. (Schaum's Outline Series).
- MOHSENIN, N. N. Physical Properties of Plants and Animal Materials. New York: Gordon and Breach Science Publishers, 1970. Vol. 1, 734p.
- MORROW, C. T.; MOHSENIN, N. N. Consideration of Selected Agricultural Products as Viscoelastic Materials. Journal of Food Science v. 31, n. 5, p. 686-698. 1966.
- MURASE, H. Elastic Stress-Strain Constitutive Equations for Vegetative Material. MI. Michigan State University, 1977. (Unpublished Ph.d).
- RABELLO, G. F. e DAL FABBRO, I. M. Contact Stress Area Measurement of Spherical. 3rd International Symposium on Sensors in Horticulture. Tiberias, Israel 1997.
- ROCHA, J. V. Comportamento Mecânico de Minifardos de Feno de Soja Perene (Neonotonia Wightii Lackey c.v. cianova). Submetidos a Ensaio de Relaxação com Cargas Uniaxiais. Campinas: Unicamp, 1988. 104p. Dissertação (Mestrado) – Faculdade de Eng. Agrícola, Universidade Estadual de Campinas, 1988.
- RUMSEY, T. R., R. B. FRIDLEY, Analysis of Viscoelastic Contact Stresses in Element Agricultural Products Using a Finite Element Method. ASAE, 1974. Paper n. 74-3513.
- SHAHABASI, Y. Experimental and Numerical Techniques Related to be Maximum Allowable Depth. Of Apples in a Bulk Storage. Michigan, 1979. 131p. Dissertação (Doutorado). Michigan State University, 1979.
- SHERIF, S. M. The Quasi-Static Contact Problem for Nearly-Incompressible Agricultural Products. E. Lansing, MI: Michigan State University, 1976. Tese (Doutorado).
- SHERIF, S. M., SEGERLING, L. J., FRAME, T. S. An Equation for the Modulus of Elasticity of Radially Compressed Cylinder. Trans. ASAE.
- SHIGLEY, J. E. Elementos de Máquinas. Tradução por Edival Ponciano de Carvalho. Rio de Janeiro: LTC-Livros Técnicos e Científicos, 1984. V.1, 347p. Traduzido de Mechanical Engineering Design.

SNOBAR, B. A. Engineering Parameters Related to the Hardness of Carrots. E. Lansing, MI: Michigan State University, 1973. Tese (Doutorado). Agricultural Engineering Department, 1973.

TIMOSHENKO, S. P., GOODIER, J. N. Teoria da Elasticidade. 3 ed. Rio de Janeiro: Guanabara Dois, c1970, 1980. 543p.

VÉLEZ PASOS, C. A. Análise do Comportamento Mecânico de Laranjas à Granel Mediante Modelo de Elementos Finitos. Campinas: Unicamp, 1987. 89p. Dissertação (Mestrado em Eng. Agrícola) – Faculdade de Engenharia Agrícola. Universidade Estadual de Campinas, 1987.

WANG, J. K., CHANG, H. S. Mechanical Properties of Papaya and Their Dependence on Maturity. St. Joseph, MI: ASAE, 1970, paper n. 69-389.

ZOERB G.C. Mechanical and Rheological Properties of Grain. E. Lansing, MI: Michigan State University, 1958. Tese (Doutorado). Agricultural Engineering Department, Michigan State University, 1958.

APÊNDICE I

TAXA DE FORÇA 98,1 N/s

ESFERAS

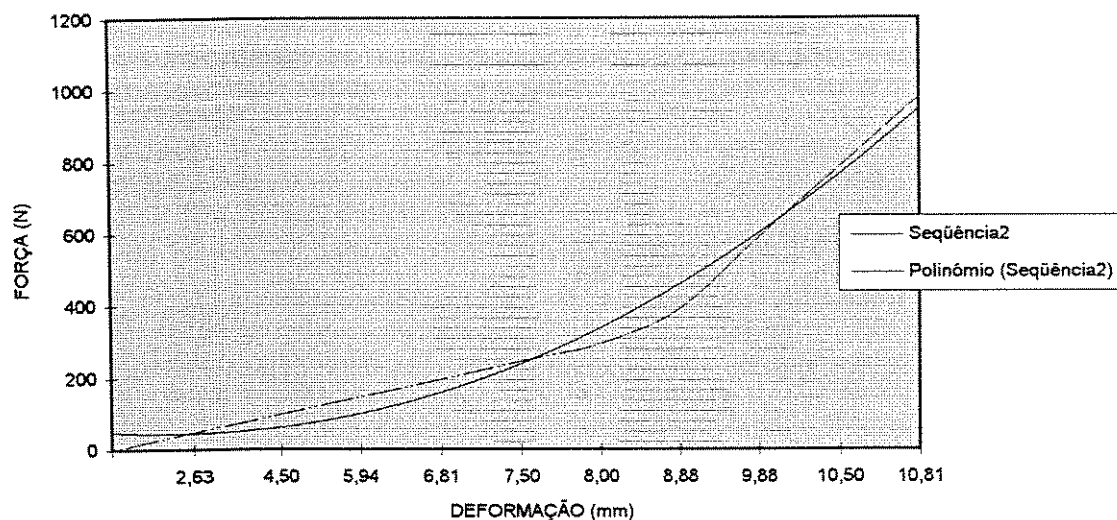
FORÇA CONTROLADA

ESFERA: 114 TAXA DE FORÇA: 98,10 N/s

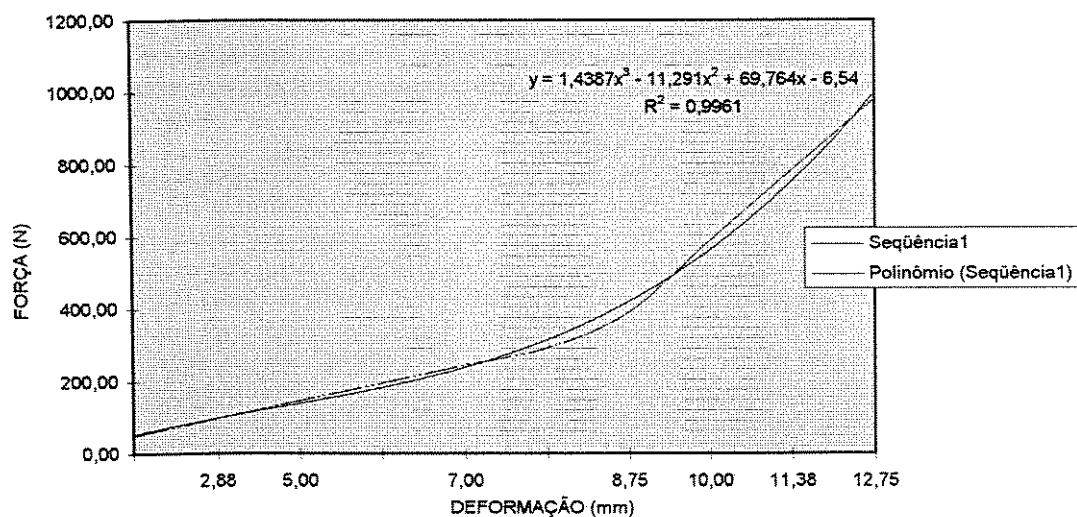
FORÇA (N)	DIMENSÕES									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
	DEFORMAÇÃO (mm)									
49,05	2,63	2,88								
98,10	4,50	5,00	3,13	4,00	4,13	4,50	3,50			
147,15	5,94									
196,20	6,81	7,00	5,75	6,63	6,88	7,50	6,00	4,75	7,50	4,50
245,25	7,50									
294,30	8,00	8,75			9,13	9,75				
392,40	8,88	10,00	9,06	10,13	10,88	11,63	10,00	8,13	12,50	7,88
588,60	9,88	11,38	11,13	12,75	13,75	14,00	13,00	10,88	16,25	10,63
784,80	10,50	12,75	12,63	14,63	16,00	17,00	15,50	13,25	19,75	13,13
981,00	10,81	13,50	13,63	16,00	17,63	19,00	17,50	15,25	22,63	15,25
1373,40				17,88	20,13	21,88	20,75	18,56	27,00	19,00
1569,60				18,63	21,13	23,00	21,38	19,88	28,75	20,63
1765,80				19,25	22,00	24,06	23,13	21,19	30,25	22,13
1962,00				19,69	22,63	24,88	24,25	23,63	31,63	23,50
2158,20						25,63	25,13	23,38	32,75	24,63
2354,40						26,38	25,88	24,25	33,88	25,88
2550,60						27,00	26,63	25,13	34,75	27,00
2746,80						27,50	26,40	25,88	35,63	28,00
2943,00						27,88	27,88	26,56	36,50	28,88
3139,20							28,38	27,44	37,13	29,75
3335,40								27,88	37,75	30,38
3531,60								28,38		31,25
3727,80								28,94		31,88
3924,00								29,38		32,50

ESFERAS COMPOSIÇÃO 114						TAXA DE FORÇA: 98,1 N/s			
DIMENSÕES									
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
"MÓDULO DE ELASTICIDADE CALCULADO" E									
2,34	1,74	1,60							
2,09	1,52	1,39	1,78	1,57	1,31				
2,07						1,79			
2,24	1,83	1,68	1,67	1,46	1,22		2,14	1,03	2,12
2,43						1,59			
2,64	1,97	1,81		1,43	1,23				
3,02	2,15	1,97	1,77	1,47	1,26		1,91	0,95	1,83
	2,65	2,44	1,88	1,55	1,43	1,48	1,85	0,96	1,75
	2,98	2,74	2,04	1,65	1,42	1,50	1,83	0,96	1,70
			2,23	1,78	1,51	1,53	1,86	0,98	1,70
			2,64	2,04	1,71	1,60	1,94	1,05	1,71
			2,64	2,04	1,71	1,89	1,94	1,05	1,71
			2,84	2,17	1,81	1,73	2,00	1,09	1,73
			3,04	2,30	1,90	1,89	2,04	1,14	1,75
			3,27	2,45	2,01	1,89	1,93	1,18	1,78
					2,12	1,96	2,15	1,24	1,82
					2,21	2,04	2,22	1,28	1,84
					2,31	2,13	2,28	1,34	1,87
					2,42	2,21	2,35	1,39	1,91
					2,54	2,30	2,42	1,43	1,95
						2,38	2,46	1,49	1,99
						2,48	2,55	1,54	2,05
							2,63		2,08
							2,70		2,14
							2,78		2,18
MÉDIAS POR TAMANHO									
2,40	2,12	1,95	2,32	1,81	1,77	1,89	2,19	1,18	1,88
MÉDIA GERAL: 1,89					DESVIO PADRÃO: 0,50				

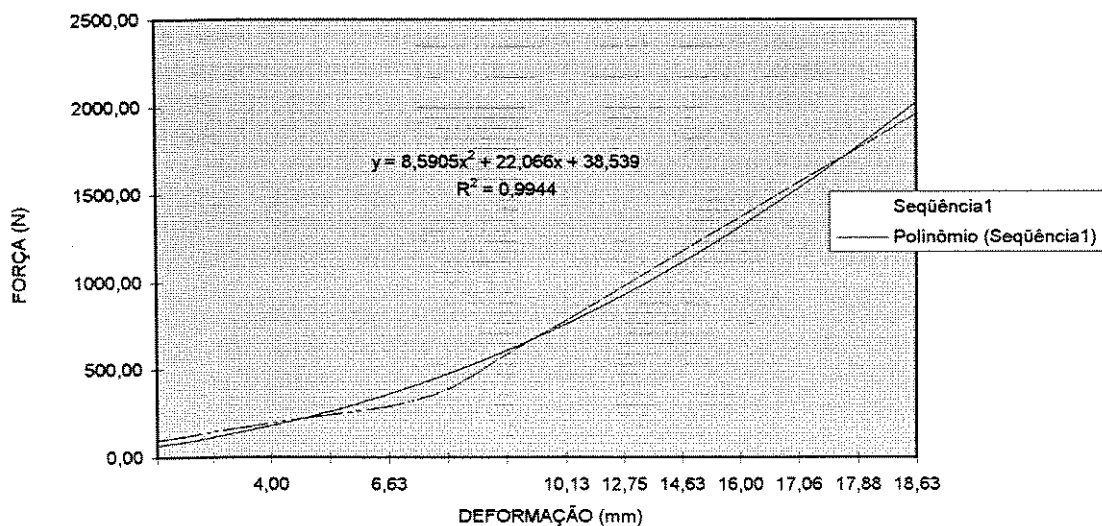
FORÇA/DEFORMAÇÃO ESFERA 1 COMPOSIÇÃO 114 TAXA DE FORÇA 98,10 N/s



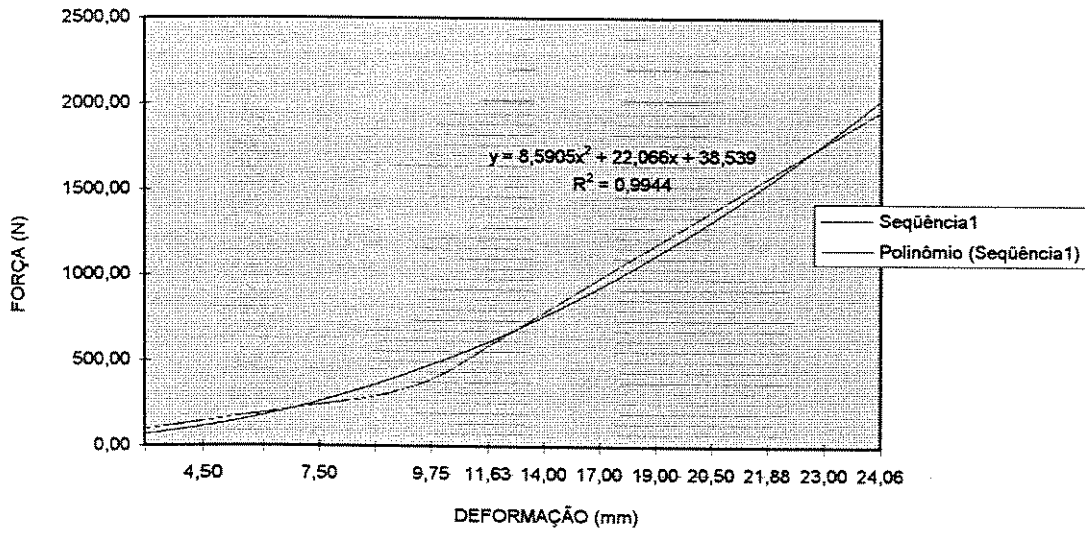
FORÇA/DEFORMAÇÃO ESFERA 2 COMPOSIÇÃO 114 TAXA DE FORÇA 98,10 N/s



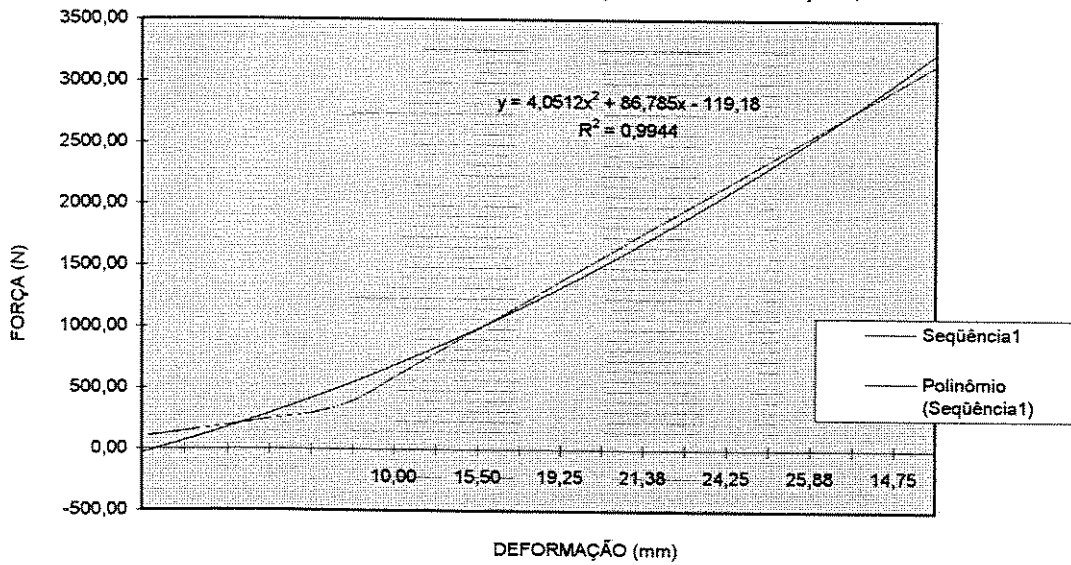
FORÇA/DEFORMAÇÃO ESFERA 4 COMPOSIÇÃO 114 TAXA DE FORÇA 98,10 N/s



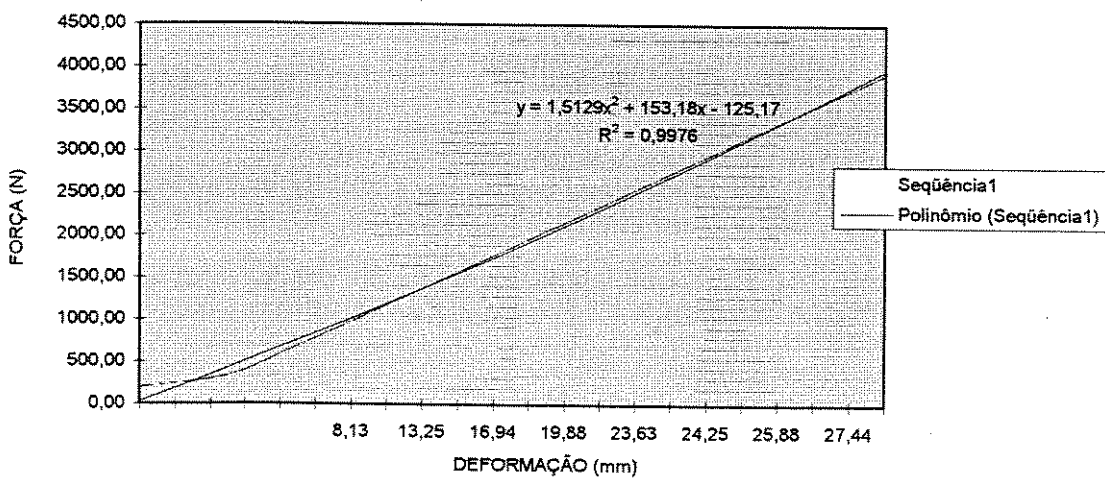
FORÇA/DEFORMAÇÃO ESFERA 6 COMPOSIÇÃO 114 TAXA DE FORÇA 98,10 N/s

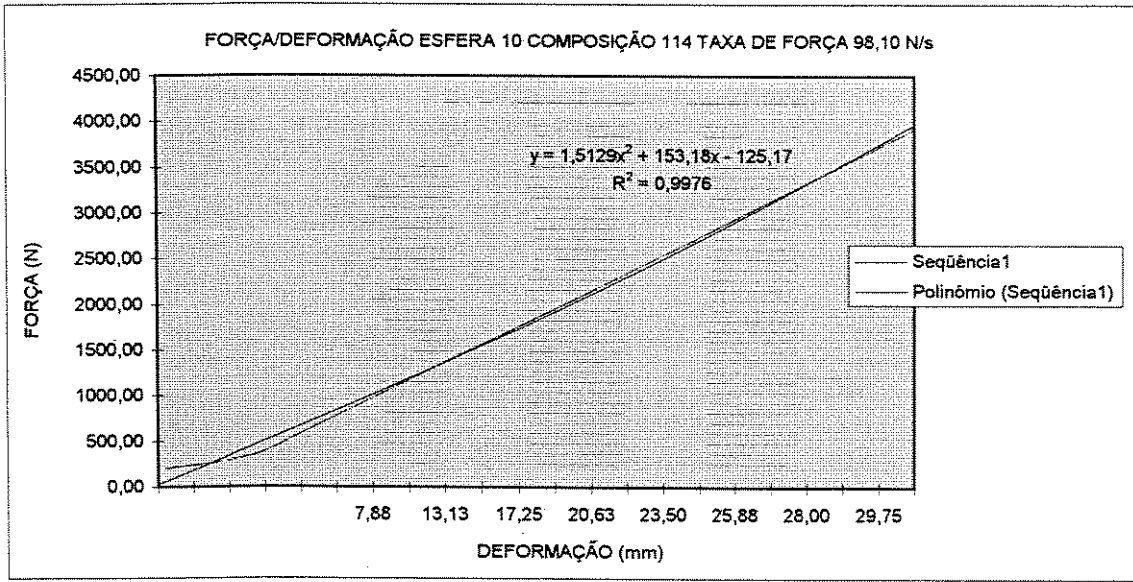
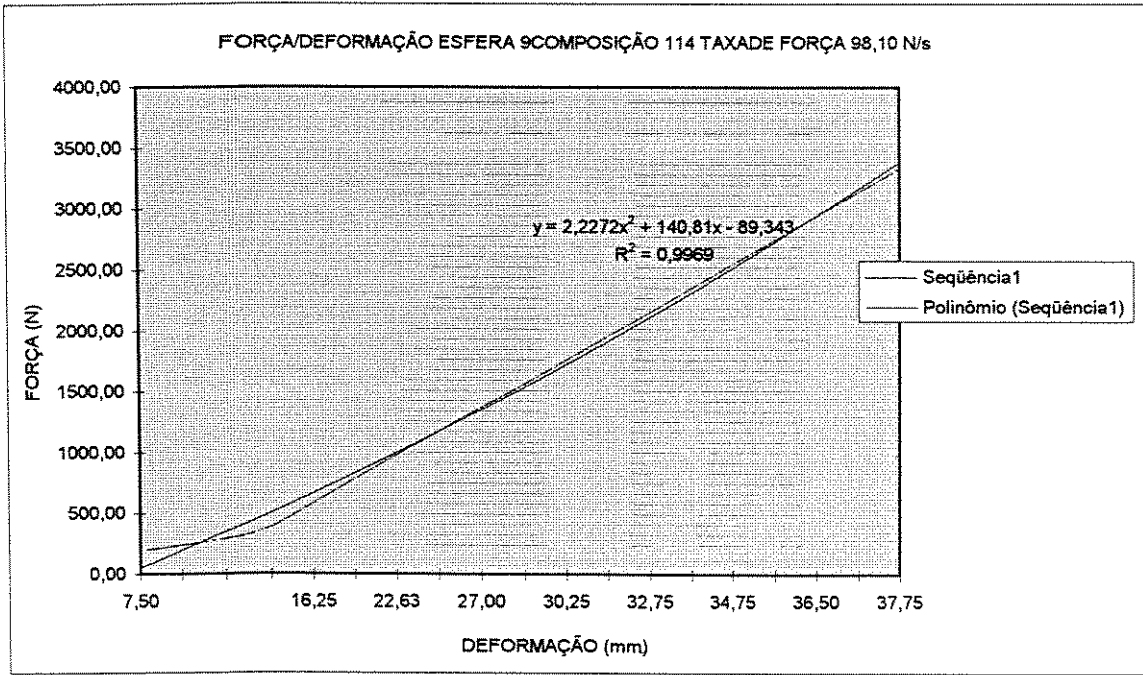


FORÇA/DEFORMAÇÃO ESFERA 7 COMPOSIÇÃO 114 TAXA DE FORÇA 98,10 N/s



FORÇA/DEFORMAÇÃO ESFERA 8 COMPOSIÇÃO 114 TAXA DE FORÇA 98,10 N/s





FORÇA CONTROLADA

ESFERA: 6B20

TAXA DE FORÇA: 98,10 N/s

DIMENSÕES

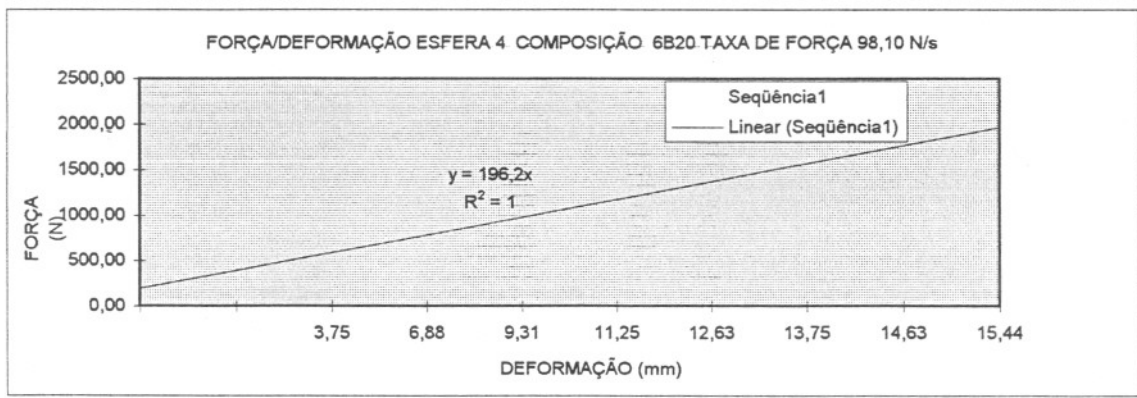
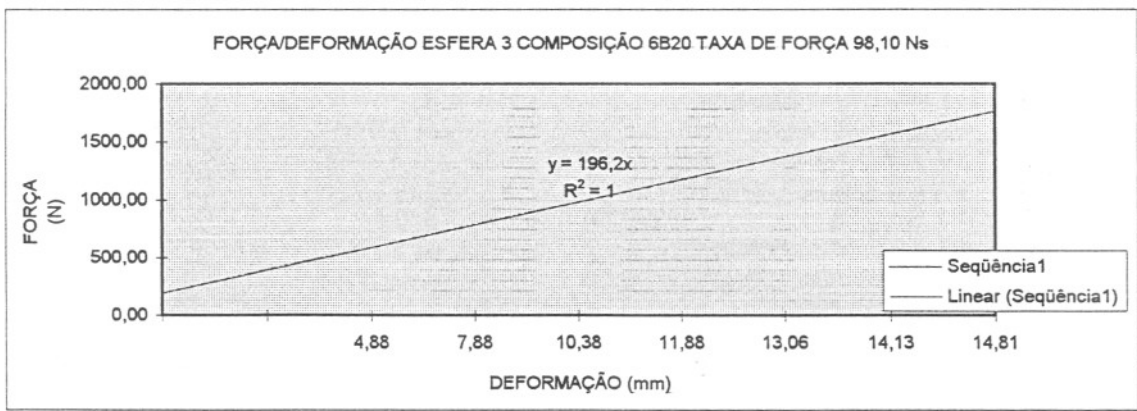
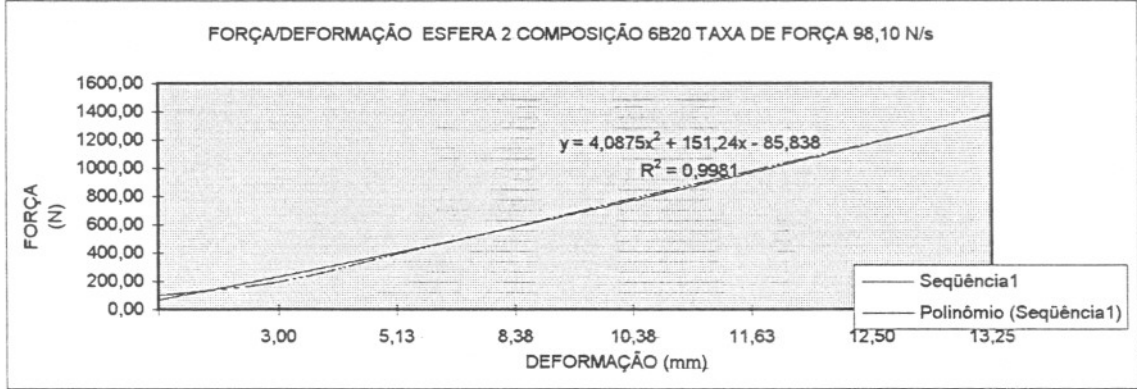
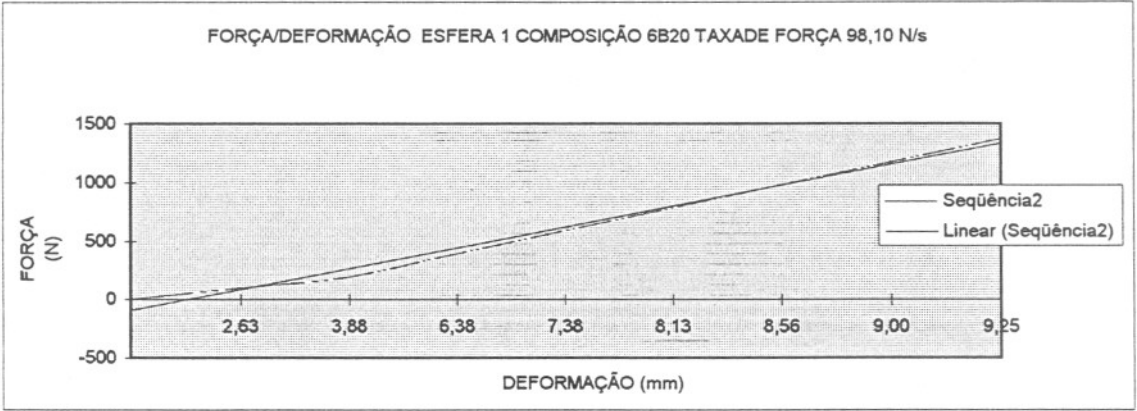
FORÇA (N)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
DEFORMAÇÃO (mm)										
98,10	2,63	3,00								
196,20	3,88	5,13	4,88	3,75	3,25					
392,40	6,38	8,38	7,88	6,88	6,13	5,75	5,50		4,88	
588,60	7,38	10,38	10,38	9,31	8,50	8,25	7,63	5,88	6,88	5,50
784,80	8,13	11,63	11,88	11,25	10,50	10,38	9,75	7,88	8,75	7,38
981,00	8,56	12,50	13,06	12,63	12,19	12,38	11,50	9,63	10,63	9,13
1177,20		13,25	14,13	13,75	13,56	13,88	13,13	11,38	12,38	10,75
1373,40		12,56	14,81	14,63	14,69	15,31	14,00	12,88	14,00	12,38
1569,60			15,38	15,44	15,69	16,50	15,88	14,31	15,38	13,75
1765,80			16,19	16,06	16,56	17,50	17,00	15,63	16,75	15,13
1962,00					17,31	18,50	18,13	16,75	18,00	16,50
2158,20					17,94	19,25	19,13	17,88	19,25	17,75
2354,40					18,56	20,00	19,88	18,88	20,38	20,25
2550,60					19,06	20,63	20,69	19,81	21,44	21,25
2746,80					19,44	21,19	21,38	20,63	22,56	22,31
2943,00						21,75	22,06	21,38	23,44	23,25
3139,20						22,13	22,69	22,13	24,13	24,25
3335,40							23,25	22,75	25,00	25,00
3531,60								23,38	25,75	25,88
3727,80								23,88	26,38	26,63
3924,00									27,06	27,31

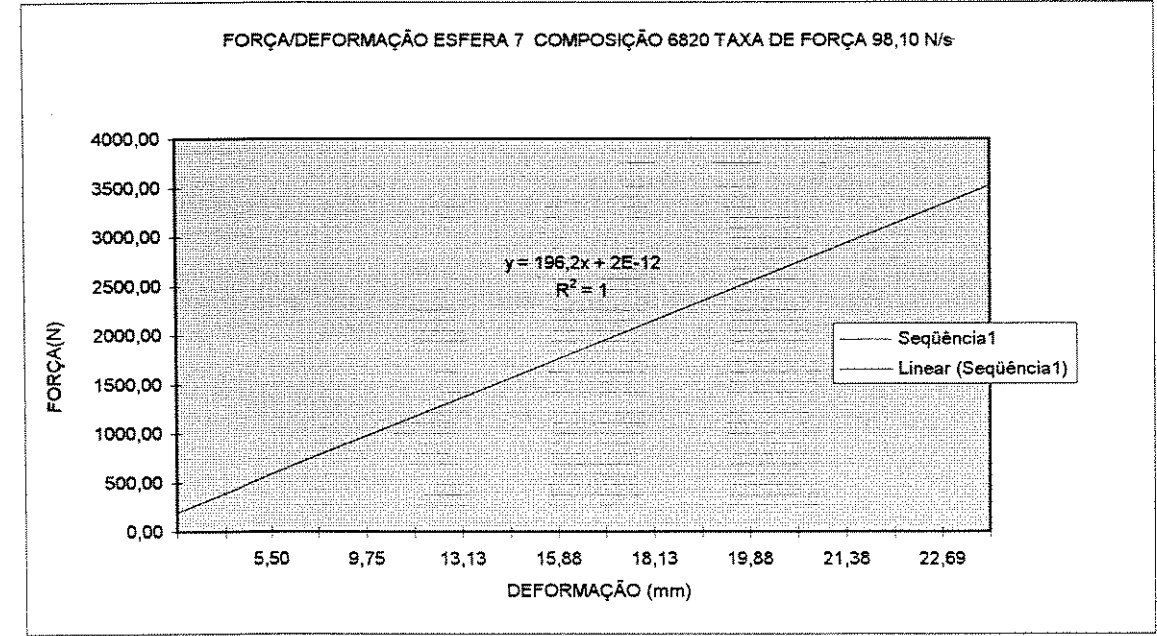
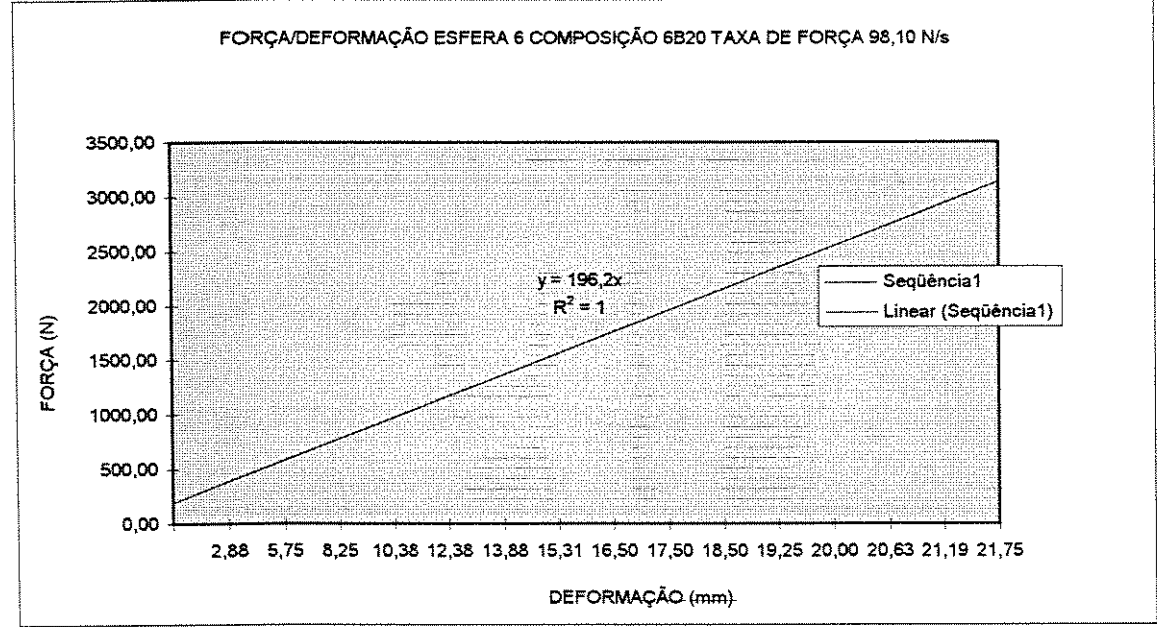
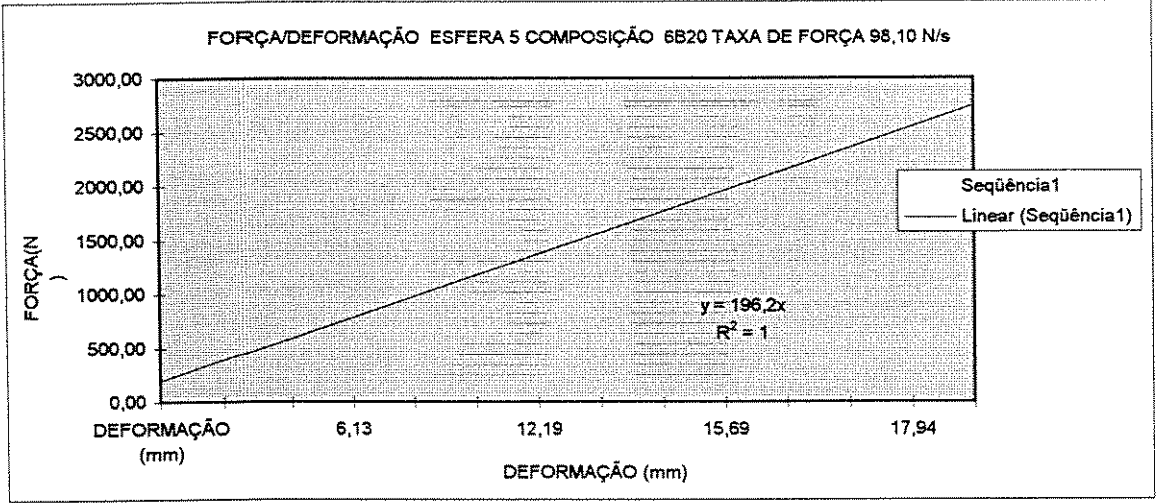
ESFERAS COMPOSIÇÃO 6B20

TAXA DE FORÇA: 98,1 N/s

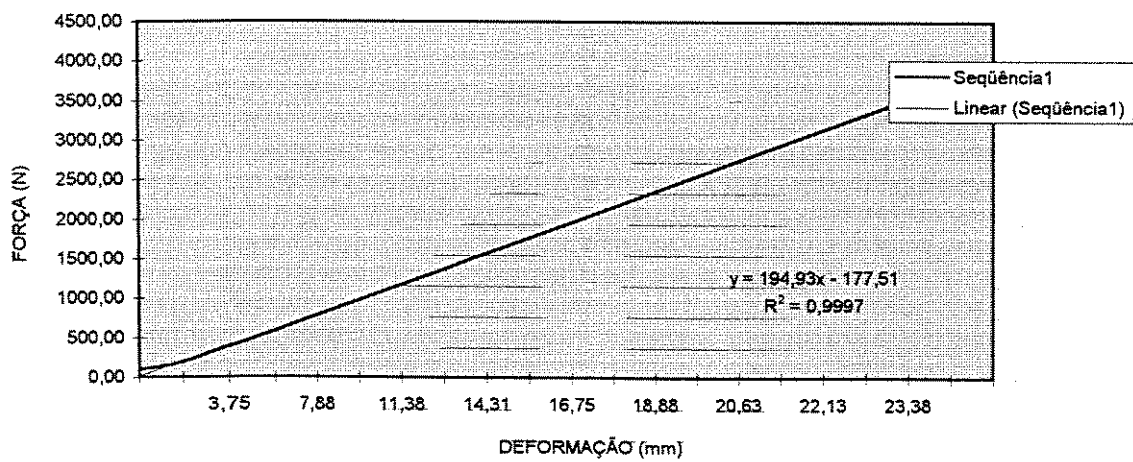
DIMENSÕES

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
"MÓDULO DE ELASTICIDADE CALCULADO" E									
4,57	3,24								
5,09	2,90		3,92	4,48					
4,83	2,78	2,81	3,16	3,46	3,62	3,61		3,90	
5,82	3,02	2,79	3,00	3,18	3,16	3,31	4,67	3,49	4,69
6,71	3,40	3,04	3,02	3,09	2,98	3,06	4,01	3,24	4,03
	3,81	3,29	3,17	3,09	2,86	2,98	3,71	3,03	3,66
	4,19	3,51	3,35	3,15	2,89	2,94	3,47	2,89	3,43
	5,30	3,82	3,56	3,26	2,91	3,11	3,36	2,80	3,24
		4,13	3,75	3,38	2,98	2,94	3,27	2,78	3,17
		4,30	3,98	3,51	3,07	2,99	3,23	2,75	3,09
				3,64	3,13	3,01	3,23	2,75	3,01
				3,80	3,25	3,06	3,23	2,73	2,97
				3,94	3,34	3,15	3,24	2,74	2,66
				4,10	3,46	3,21	3,27	2,75	2,68
				4,29	3,58	3,30	3,31	2,74	2,68
					3,69	3,37	3,36	2,77	2,70
					3,83	3,44	3,41	2,83	2,70
						3,53	3,47	2,85	2,74
							3,53	2,89	2,76
							3,61	2,94	2,79
								2,98	2,83
MÉDIA POR TAMANHO									
5,40	3,58	3,39	3,43	3,60	3,25	3,19	3,49	2,94	3,10
MÉDIA GERAL: 3,37					DESVIO PADRÃO: 0,64				

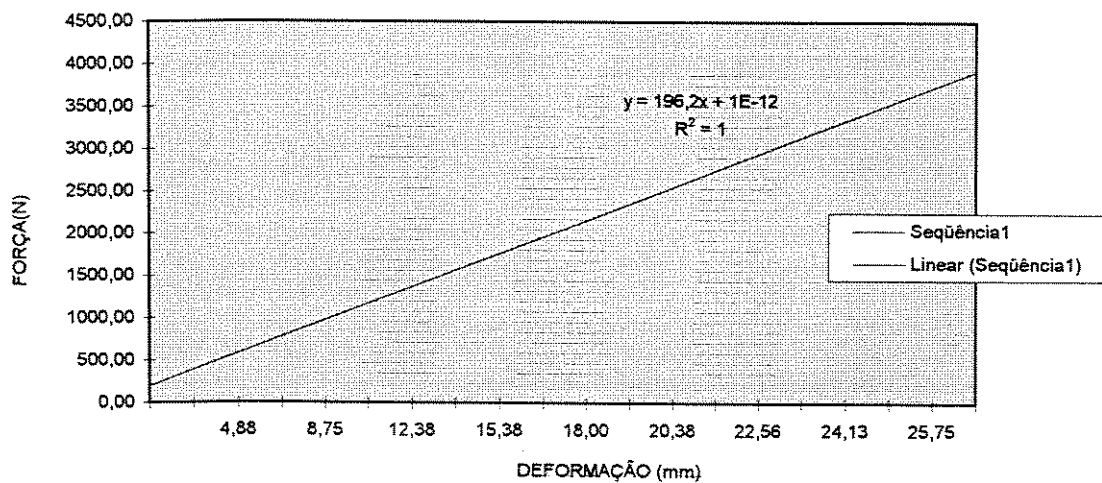




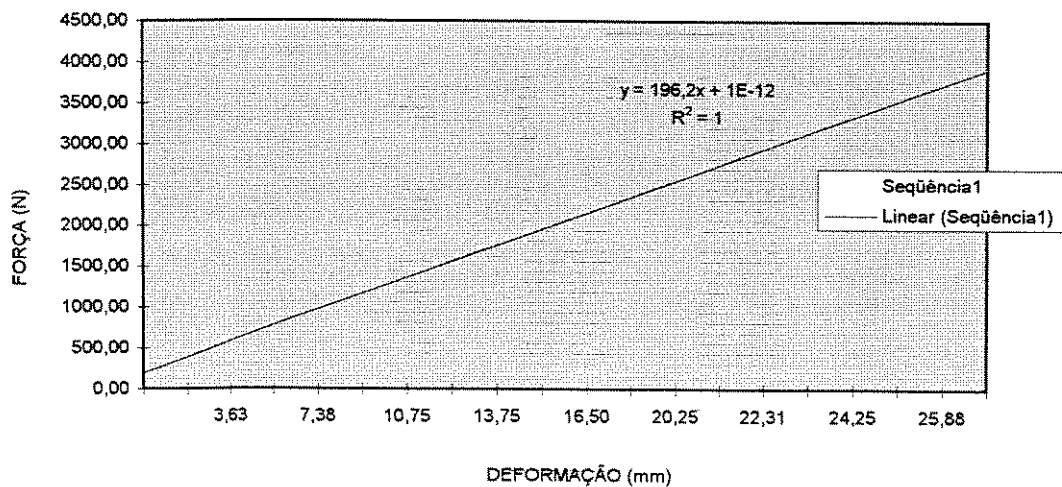
FORÇA/DEFORMAÇÃO ESFERA 8 COMPOSIÇÃO FÓRMULA 6B20 TAXA DE FORÇA N/s



FORÇA/DEFORMAÇÃO ESFERA 9 COMPOSIÇÃO 6B20 TAXA DE FORÇA 98,10 N/s



FORÇA/DEFORMAÇÃO ESFERA 10 COMPOSIÇÃO 6B20 TAXA DE FORÇA 98,10 N/s



FORÇA CONTROLADA

ESFERA: 17B24

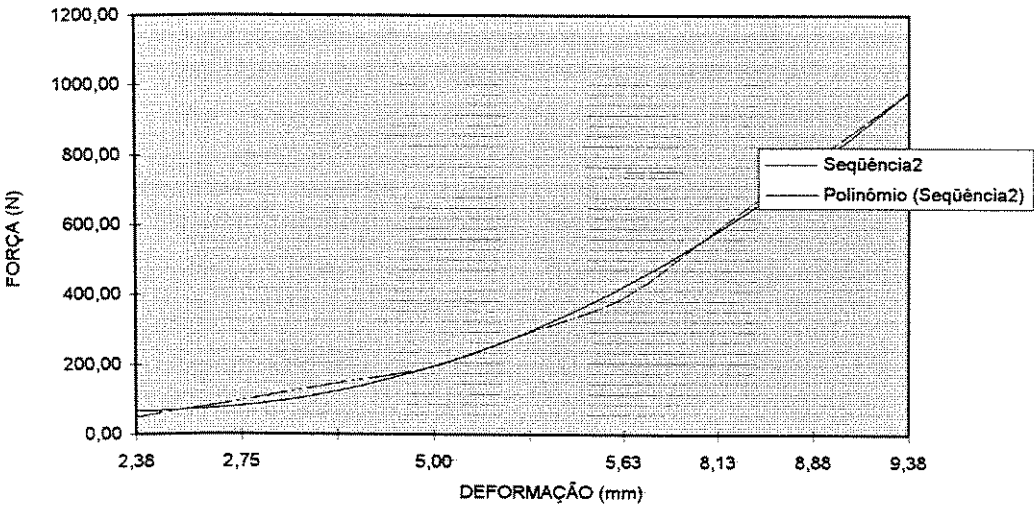
TAXA DE FORÇA: 98,10 N/s

DIMENSÕES

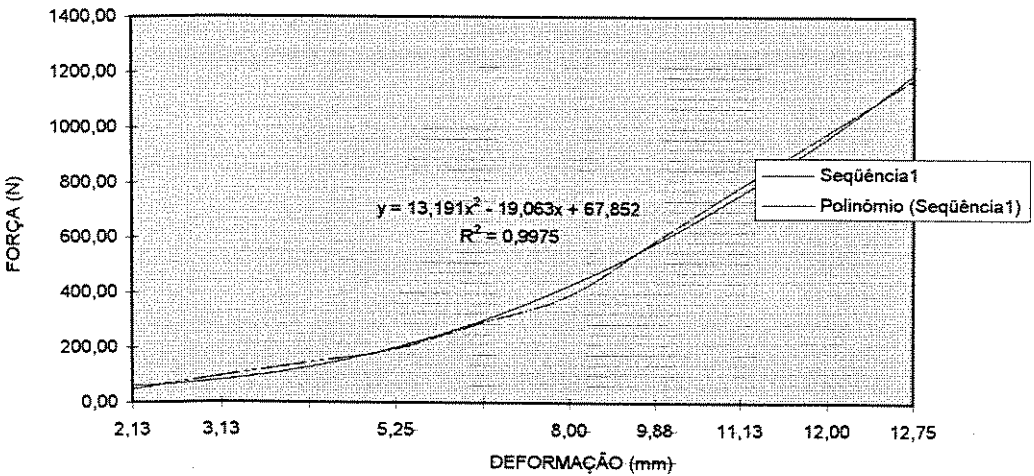
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
FORÇA (N)	DEFORMAÇÃO (mm)									
49,05	2,38	2,13								
98,10	2,75	3,13	2,63	3,00	3,00					
196,20	5,00	5,25	4,38	5,25	4,88	3,00	3,63	3,63	3,50	3,50
294,30			5,88	8,38						
392,40	5,63	8,00	7,25	10,63	7,63	5,38	6,13	6,06	5,63	5,81
588,60	8,13	9,88	9,25	12,63	10,00	7,31	8,31	8,06	7,63	7,94
784,80	8,88	11,13		14,13	11,81	9,00	10,13	9,88	9,25	9,75
981,00	9,38	12,00	11,75	15,31	13,38	10,44	11,75	11,38	10,88	11,31
1177,20		12,75	12,63	16,25	14,63	11,69	13,13	12,81	12,25	12,75
1373,40				17,13	15,88	12,88	13,81	14,06	13,63	14,13
1569,60					16,94	13,88	15,63	15,25	14,75	15,38
1962,00					18,63	15,63	17,69	17,38	17,00	17,75
2158,20					19,31	16,44	18,56	18,25	18,00	18,75
2354,40					19,94	17,13	19,38	19,19	19,00	19,81
2550,60					20,56	17,81	20,13	20,00	19,88	20,75
2746,80					21,00	18,38	20,81	20,75	20,69	21,63
2943,00					21,69	18,75	21,44	21,50	21,50	22,44
3139,20								22,13	22,19	23,19
3335,40								22,75	22,88	24,00
3531,60								23,38	23,63	24,69
3727,80								24,00	24,25	25,38
3924,00								24,50	24,88	26,00

ESFERAS COMPOSIÇÃO 17B24					TAXA DE FORÇA: 98,1 N/s				
DIMENSÕES									
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
"MÓDULO DE ELASTICIDADE CALCULADO" E									
2,67	3,00								
4,29	3,37	3,66	2,74	2,52					
3,50	3,09	3,40	2,36	2,44	4,79	3,38	3,20	3,20	3,08
		3,28	1,76						
5,86	3,29	3,19	1,64	2,49	3,99	3,07	2,96	3,14	2,88
5,07	3,60	3,32	1,90	2,49	3,77	2,92	2,89	2,99	2,71
	4,01		2,14	2,58	3,68	2,89	2,85	2,98	2,65
	4,48	3,86	2,37	2,68	3,69	2,89	2,88	2,92	2,65
	4,90	4,16	2,61	2,81	3,73	2,94	2,89	2,93	2,66
			2,81	2,90	3,77	3,18	2,93	2,92	2,66
				3,01	3,85	3,02	2,97	2,96	2,68
				3,26	4,03	3,13	3,05	2,99	2,70
				3,40	4,10	3,20	3,11	3,02	2,73
				3,53	4,21	3,28	3,15	3,04	2,74
				3,66	4,30	3,35	3,21	3,08	2,77
				3,81	4,42	3,44	3,27	3,12	2,81
				3,89	4,59	3,52	3,32	3,15	2,85
							3,39	3,21	2,89
							3,46	3,26	2,92
							3,52	3,29	2,96
							3,57	3,34	3,00
							3,64	3,38	3,04
MÉDIAS POR TAMANHO									
4,27	3,72	3,55	2,26	3,04	4,05	3,15	3,16	3,10	2,80
MÉDIA GERAL: 3,21					DESVIO PADRÃO: 0,62				

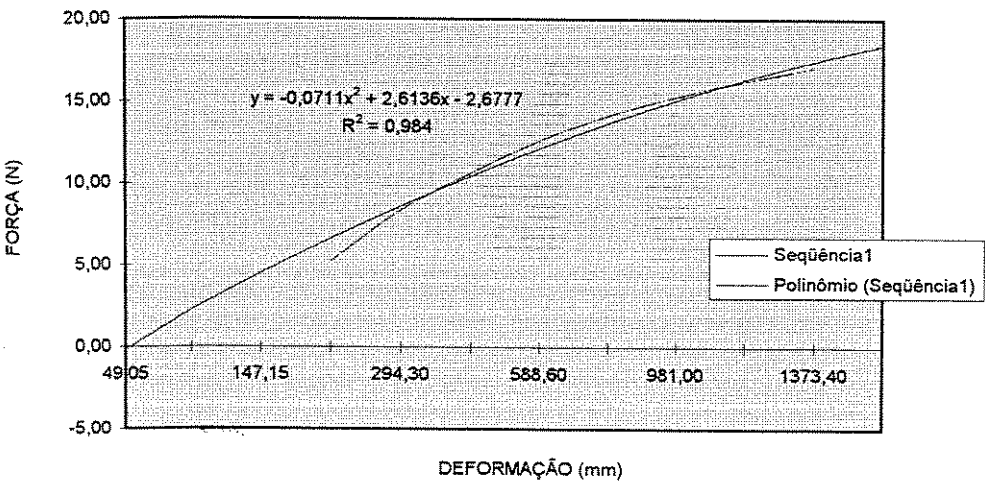
FORÇA/DEFORMAÇÃO ESFERA 1 COMPOSIÇÃO 17B24 TAXA DE FORÇA 98,10 N/s

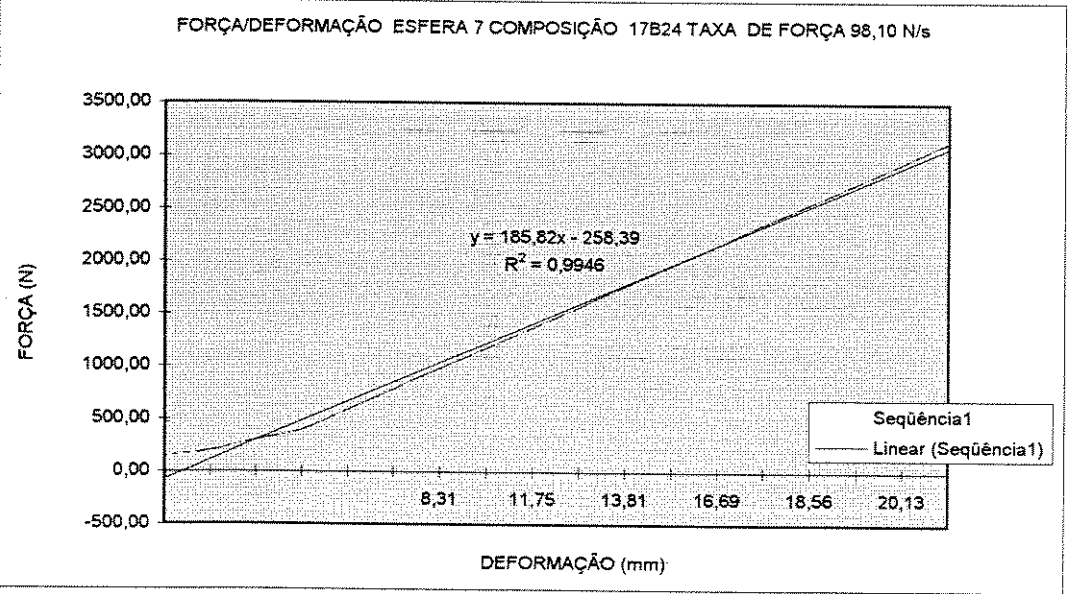
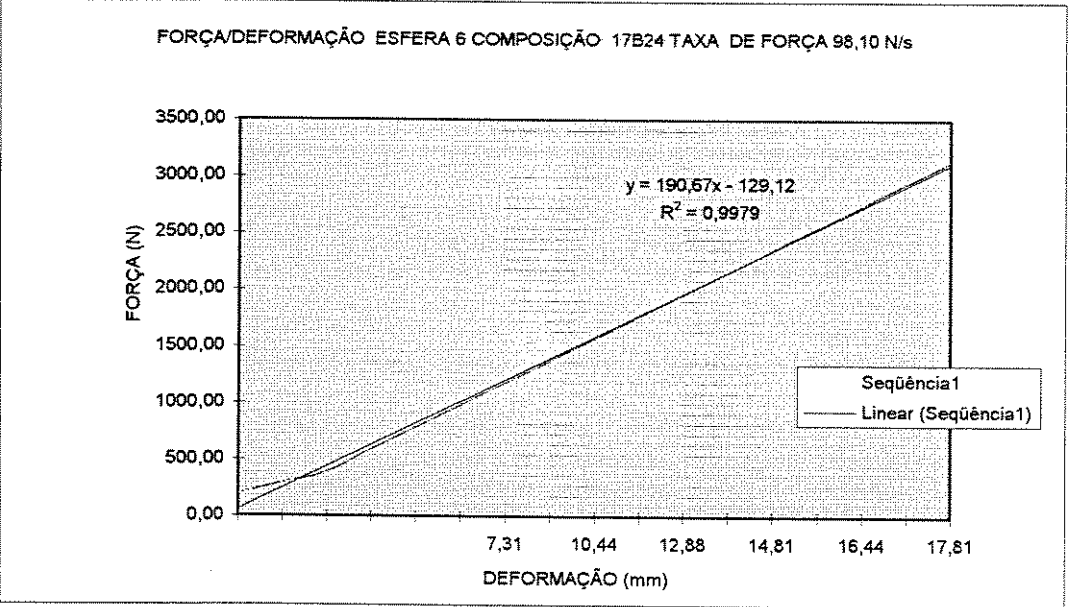
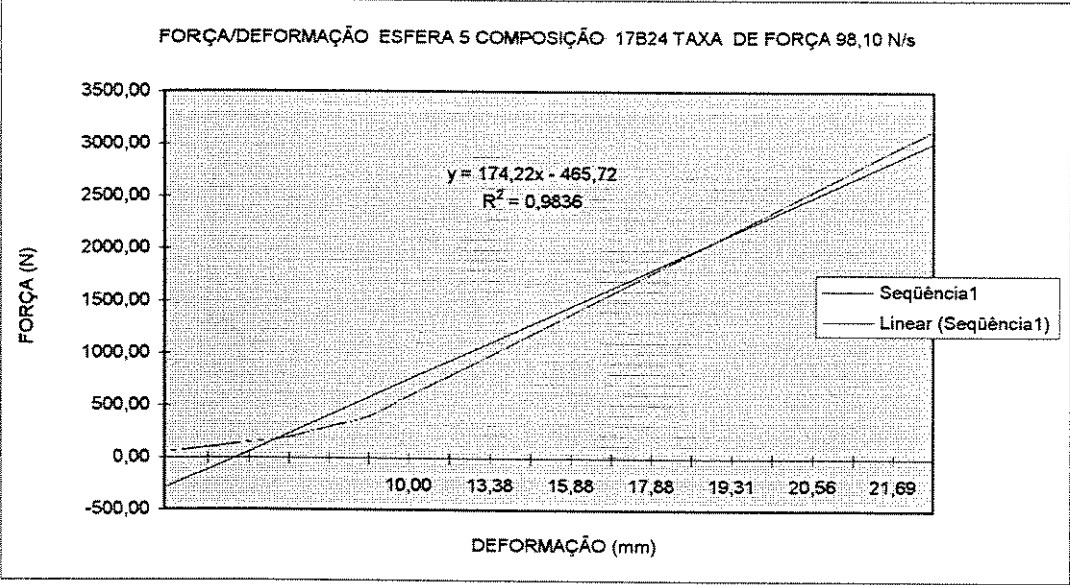


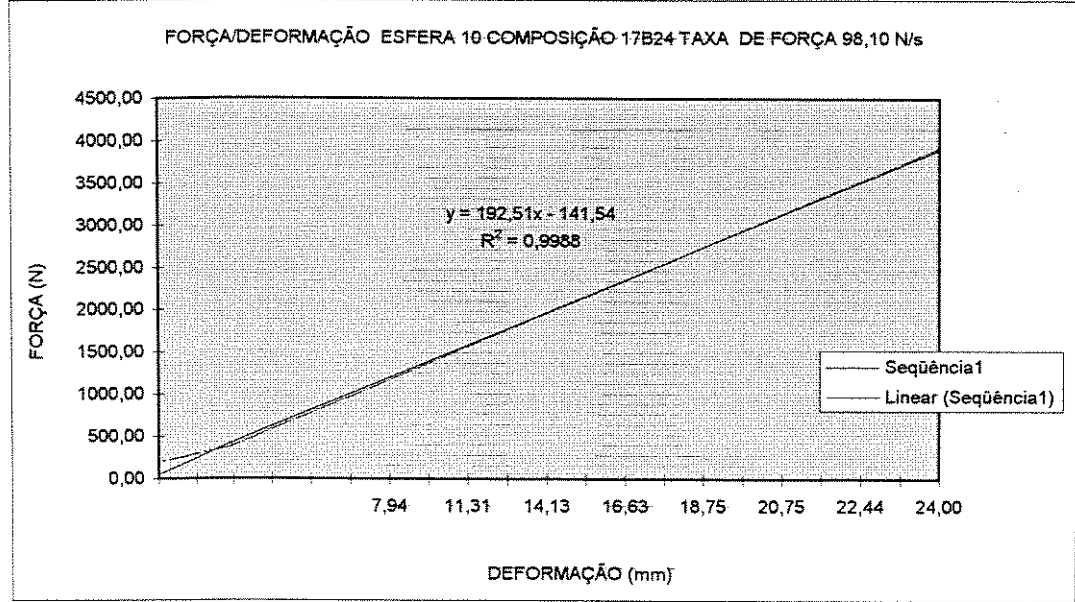
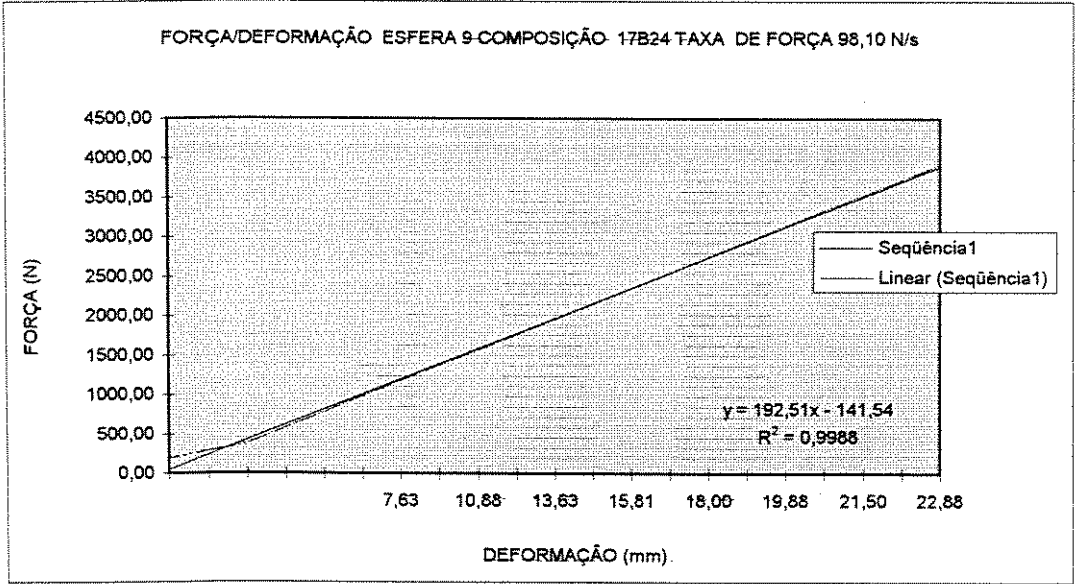
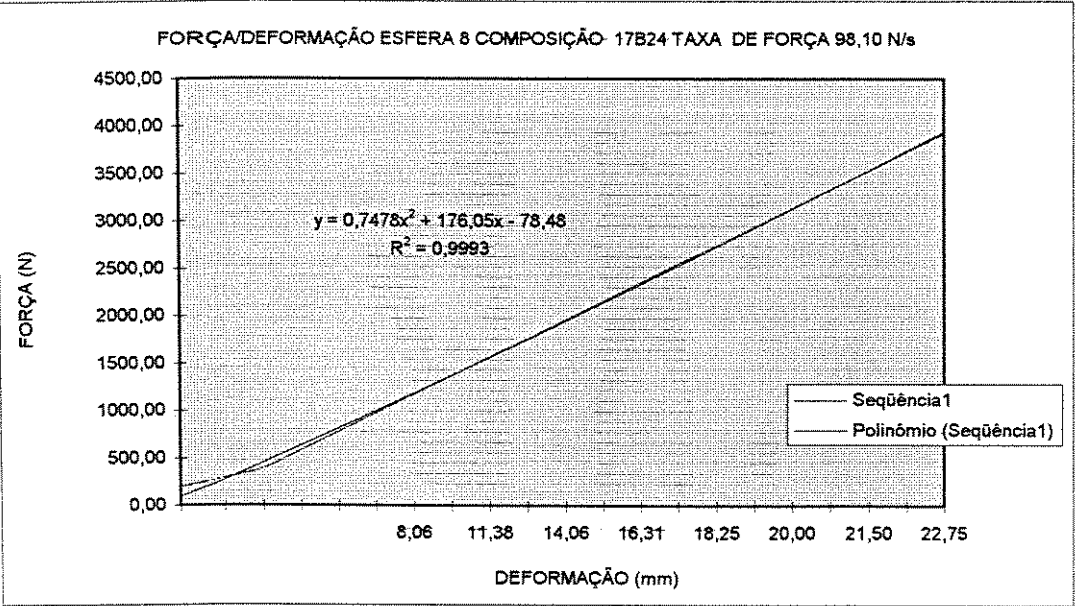
FORÇA/DEFORMAÇÃO ESFERA 2 COMPOSIÇÃO 17B24 TAXA DE FORÇA 98,10 N/s



FORÇA/DEFORMAÇÃO ESFERA 4 COMPOSIÇÃO 17B24 TAXA DE FORÇA 98,10 N/s







APÊNDICE II

TAXA DE FORÇA 98,1 N/s

CILINDROS

FORÇA CONTROLADA

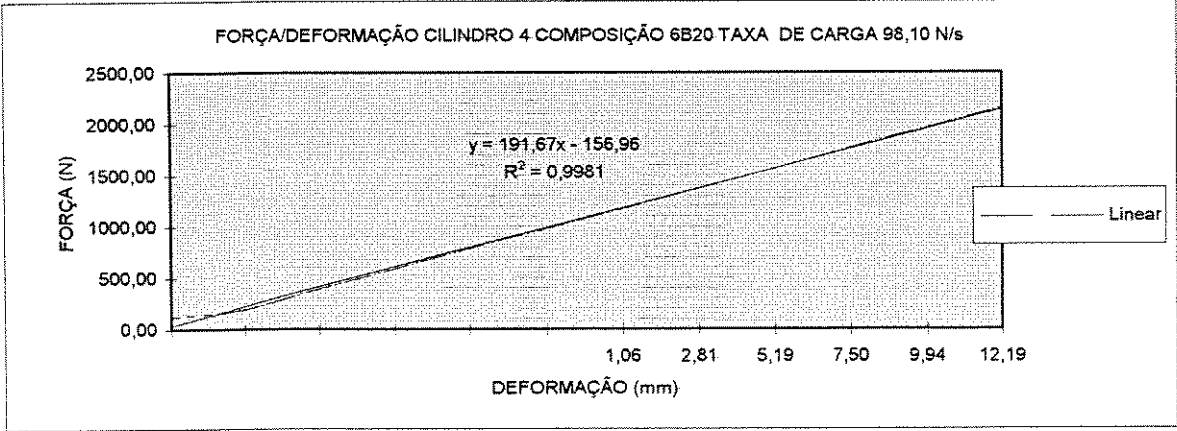
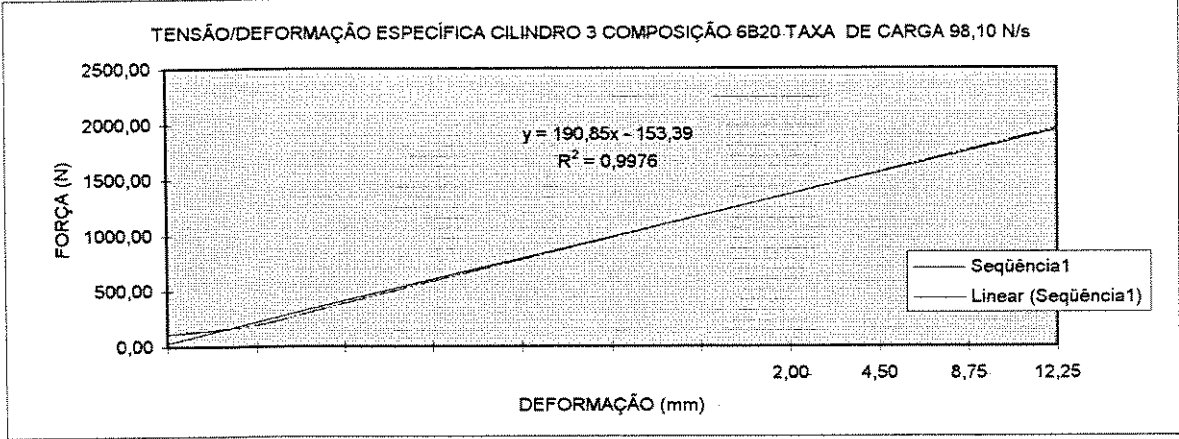
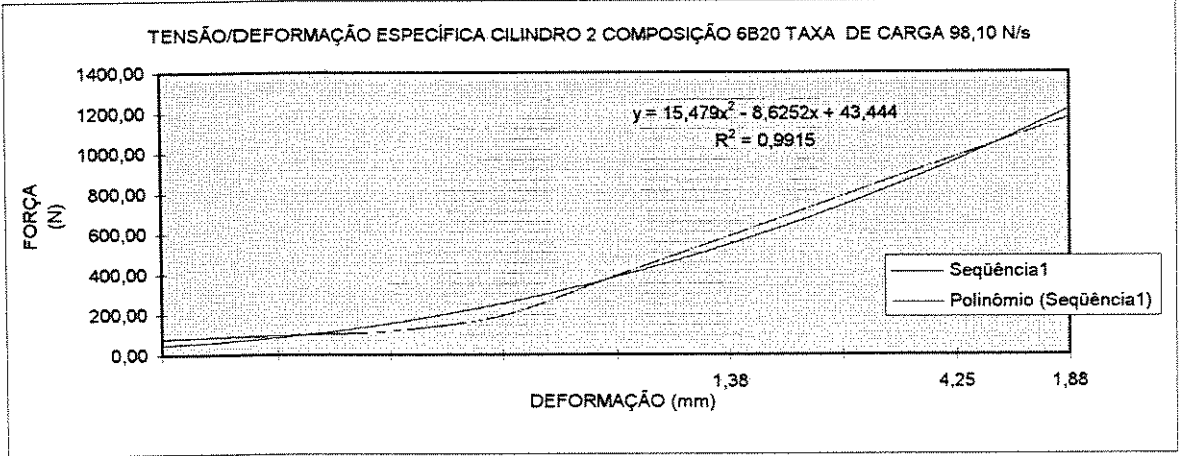
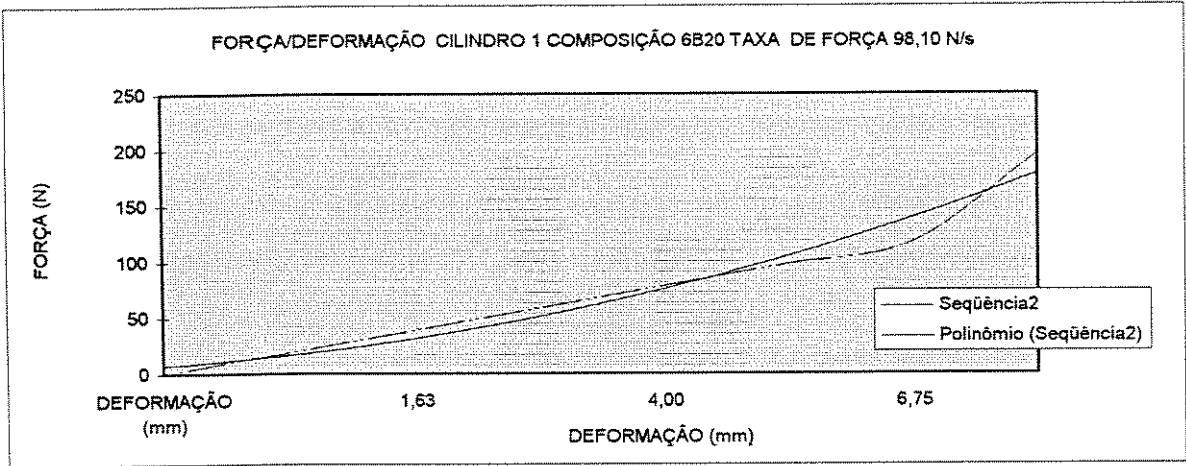
CILINDROS: 6 B20

TAXA DE FORÇA: 98,10 N/s

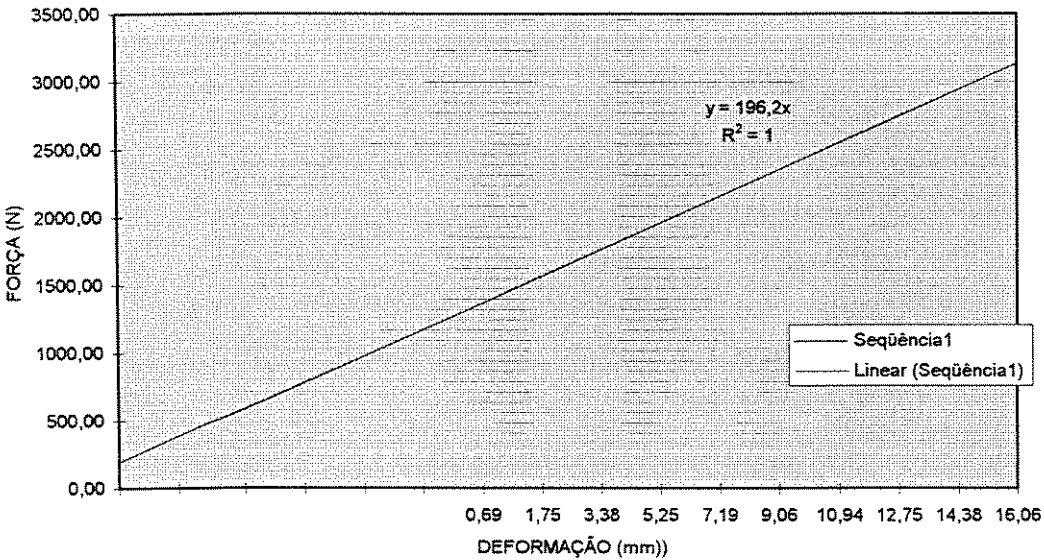
DIMENSÕES

[illegible]

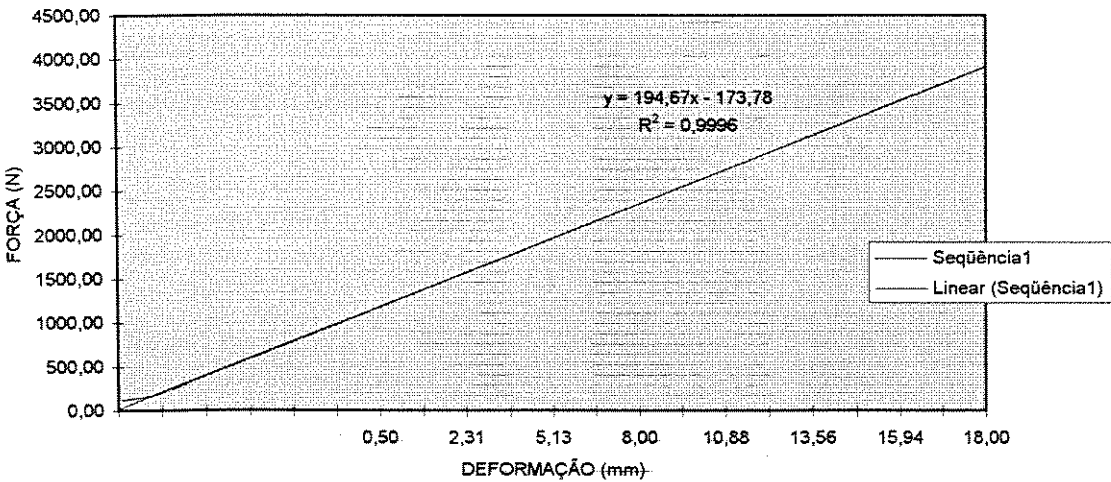
CILINDROS COMPOSIÇÃO 6B20						TAXA DE FORÇA: 98,1 N/s			
DIMENSÕES									
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
"MÓDULO DE ELASTICIDADE CALCULADO" E									
7,43									
6,59									
6,04									
5,62									
5,37									
	6,00								
	5,83	6,75	7,39	8,94					
	6,00	6,43	6,82	7,67	8,25	9,05			
	6,35	6,46	6,43	7,00	7,42	8,11	8,87		
		6,61	6,29	6,66	6,96	7,48	8,21	9,84	
		6,68	6,33	6,44	6,66	7,09	7,80	8,95	9,03
		6,93	6,34	6,31	6,41	6,77	7,26	8,53	8,50
			6,45	6,26	6,21	6,44	6,73	7,61	7,74
				6,28	6,17	6,33	6,65	7,33	7,45
				6,25	6,19	6,24	6,50	7,10	7,23
				6,34	6,21	6,26	6,42	6,93	7,12
				6,40	6,27	6,25	6,35	6,83	6,96
				6,51	6,34	6,29	6,33	6,75	6,89
					6,36	6,28	6,31	6,69	6,77
					6,43	6,29	6,26	6,63	6,72
					6,50	6,30		6,58	6,64
					6,57	6,33		6,53	6,60
									6,53
MÉDIAS POR TAMANHOS									
6,21	6,05	6,72	6,55	6,72	6,58	6,75	6,98	7,46	7,30
MÉDIA GERAL: 6,84					DESVIO PADRÃO: 0,81				



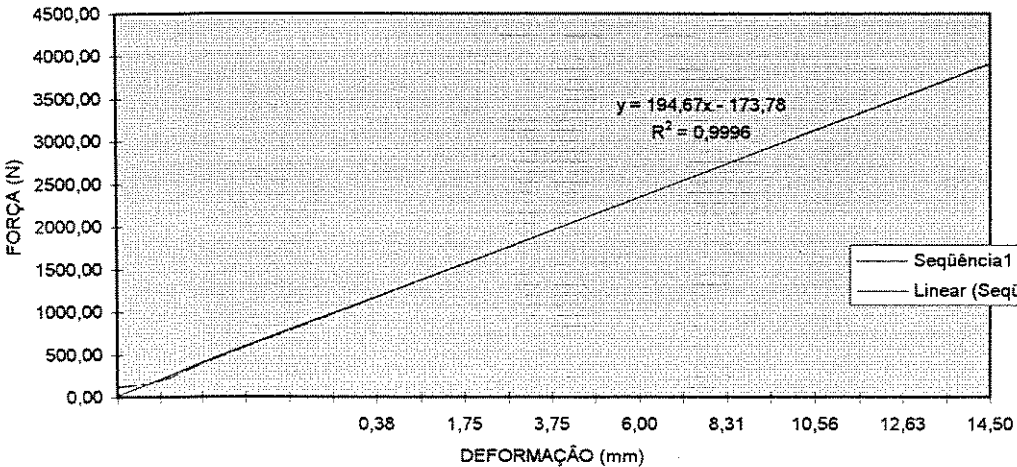
FORÇA/DEFORMAÇÃO CILINDRO 5 COMPOSIÇÃO 6B20 TAXA DE FORÇA 98,10 N/s



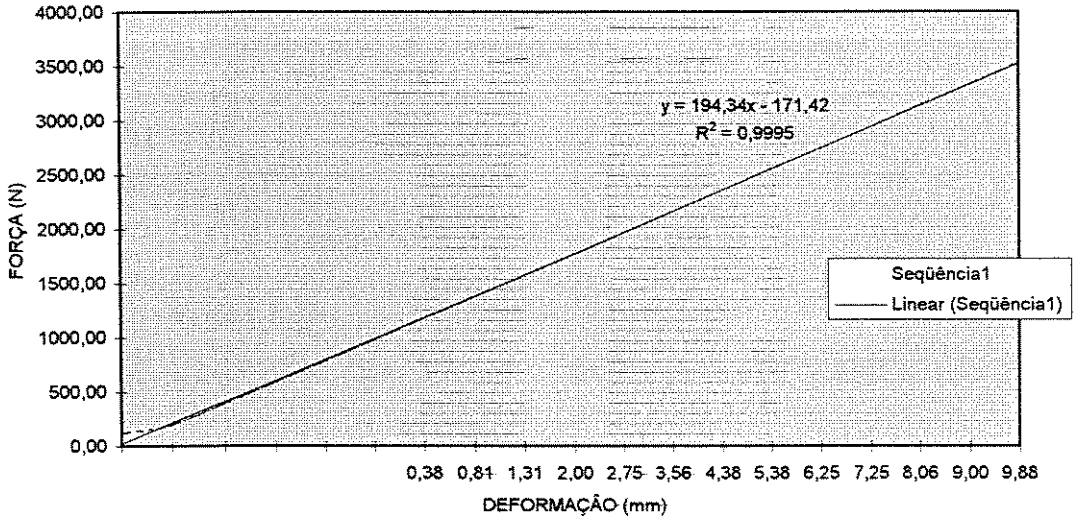
FORÇA/DEFORMAÇÃO CILINDRO 6 COMPOSIÇÃO 6B20 TAXA DE FORÇA 98,10 N/s



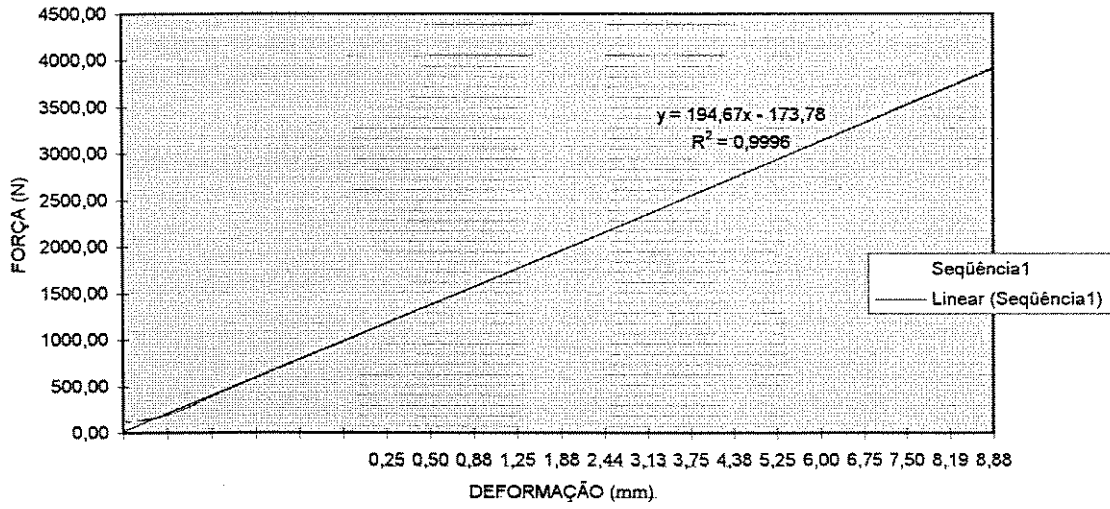
FORÇA/DEFORMAÇÃO CILINDRO 7 COMPOSIÇÃO 6B20 TAXA DE FORÇA 98,10 N/s



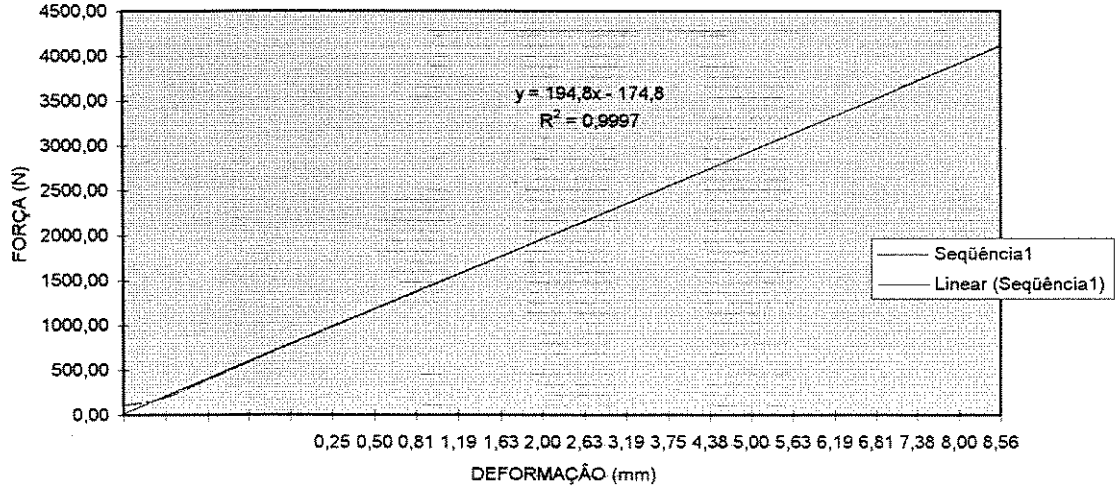
FORÇA/DEFORMAÇÃO CILINDRO 8 COMPOSIÇÃO 6B20 TAXA DE FORÇA 98,10 N/s



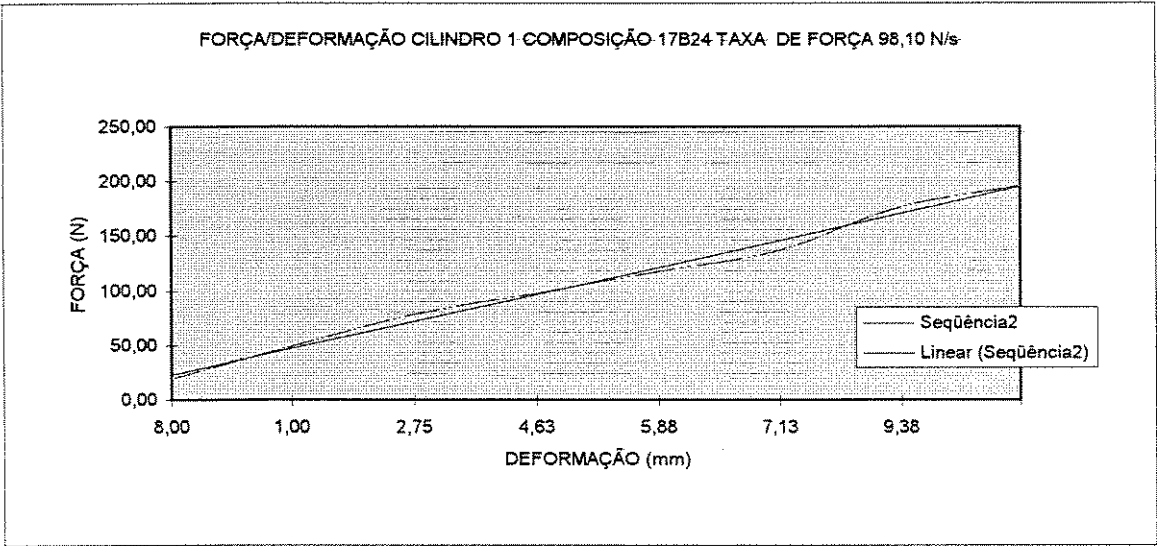
FORÇA/DEFORMAÇÃO CILINDRO 9 COMPOSIÇÃO 6B20 TAXA DE FORÇA 98,10 N/s



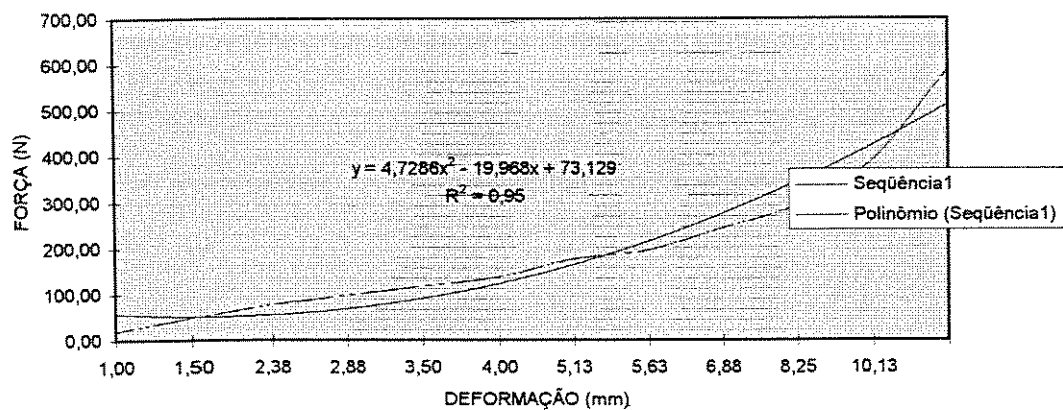
FORÇA/DEFORMAÇÃO CILINDRO 10 COMPOSIÇÃO 6B20 TAXA DE FORÇA 98,10 N/s



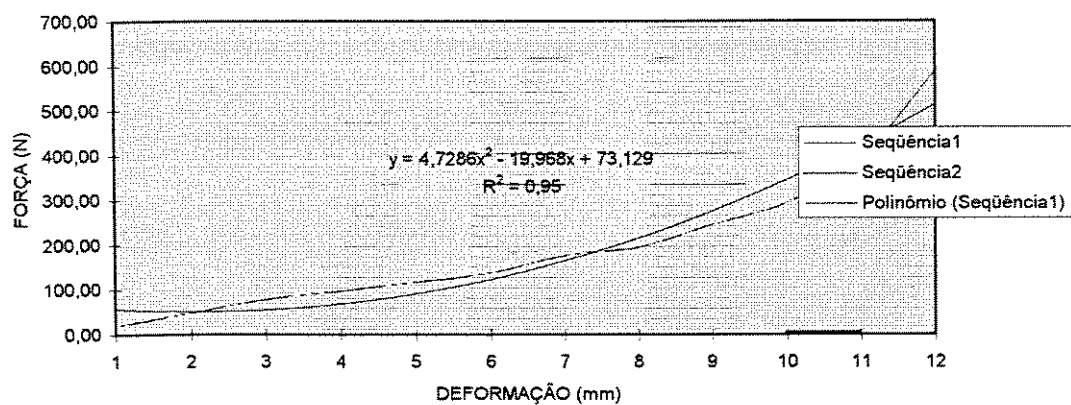
CILINDROS COMPOSIÇÃO 17B24					TAXA DE FORÇA: 98,1 N/s				
DIMENSÕES									
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
"MÓDULO DE ELASTICIDADE CALCULADO" E									
	4,76								
6,65	4,92								
6,29	4,85								
6,05	4,95								
5,91	4,97								
	5,03	4,74	5,79	5,37	6,12	5,46	5,61	5,02	4,65
	5,14								
	5,14	4,94							
	5,59	5,20	5,48	5,20	5,69	5,31	5,61	5,43	5,31
			5,48	5,20	5,56	5,26	5,35	5,43	5,40
			5,41	5,20	5,50	5,17	5,23	5,43	5,58
			5,43	5,16	5,56	5,11	5,30	5,43	5,58
			5,53	5,20	5,56	5,12	5,35	5,43	5,49
				5,29	5,60	5,13	5,39	5,43	5,50
					5,62	5,24	5,41	5,49	5,58
						5,26	5,44	5,48	5,52
						5,31	5,53	5,53	5,58
						5,65	5,79	5,77	5,83
						5,46	5,61	5,59	5,58
							5,67	5,65	5,62
								5,70	5,66
								5,75	5,69
								5,80	5,76
									5,75
									5,77
									5,82
MÉDIAS POR TAMANHO									
6,22	5,04	4,96	5,52	5,23	5,65	5,28	5,48	5,52	5,56
MÉDIA GERAL: 5,45					DESVIO PADRÃO: 0,32				



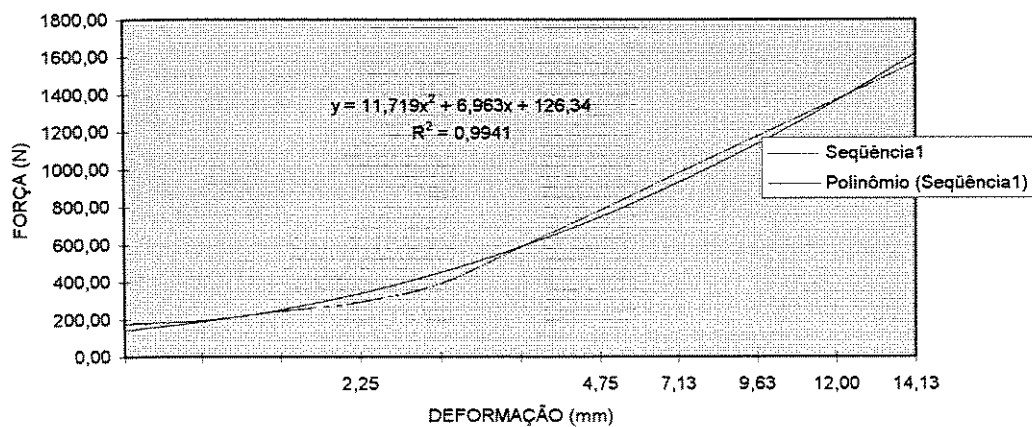
FORÇA/DEFORMAÇÃO CILINDRO 2 COMPOSIÇÃO 17B24 TAXA DE FORÇA 98,10 N/s

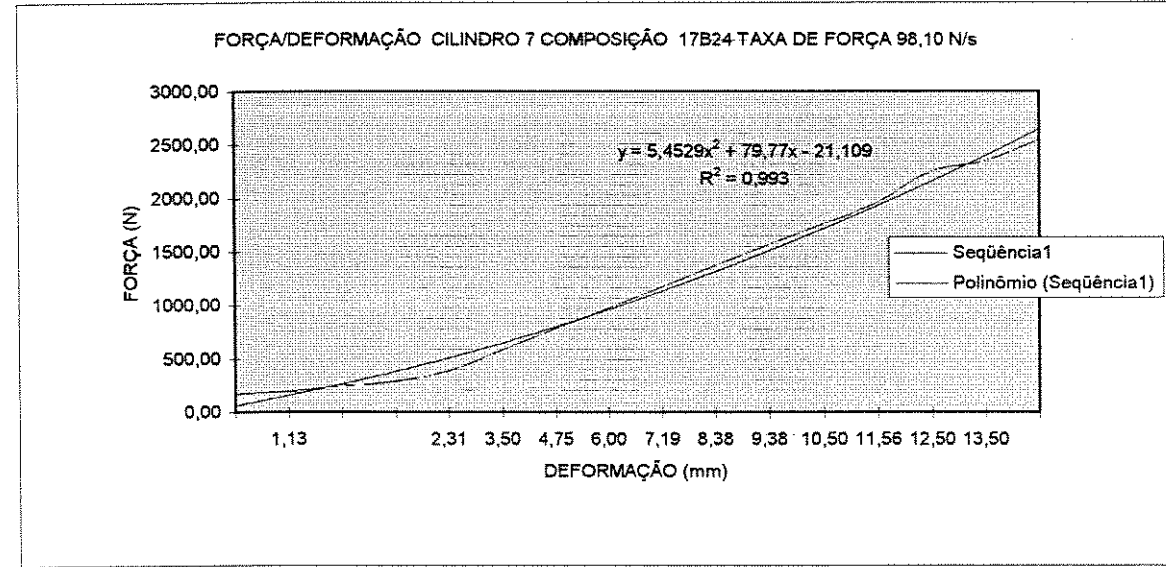
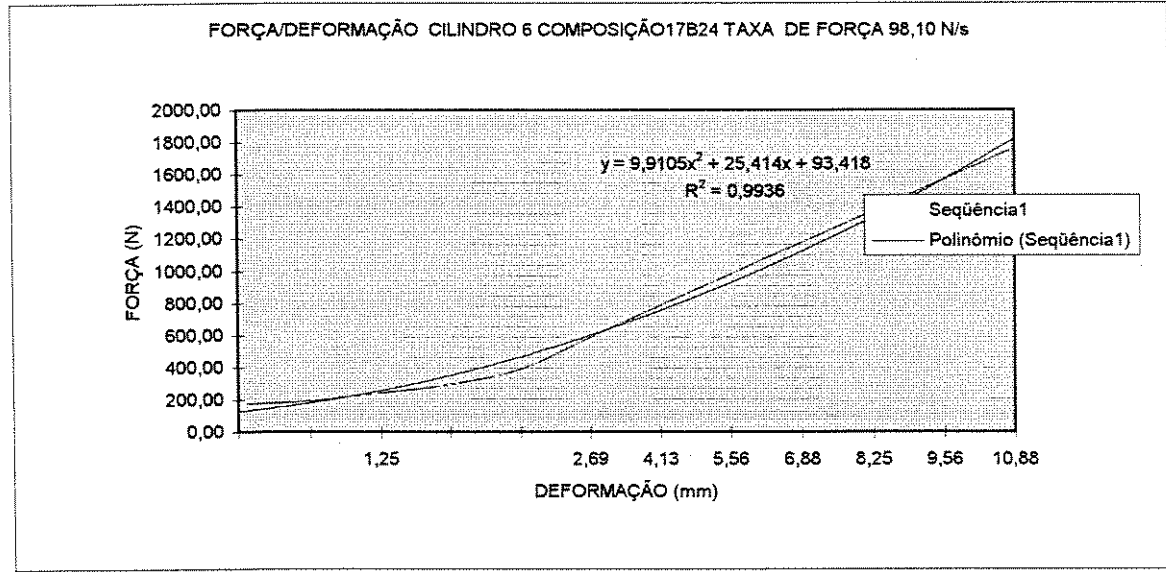
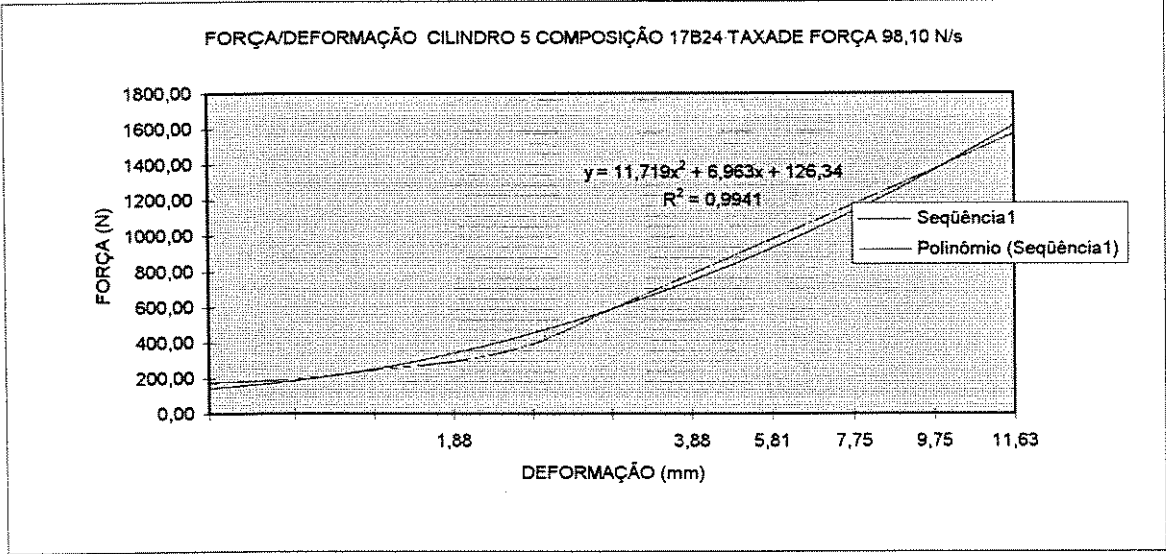


FORÇA/DEFORMAÇÃO CILINDRO 3 COMPOSIÇÃO 17B24 TAXA DE FORÇA 98,10 N/s

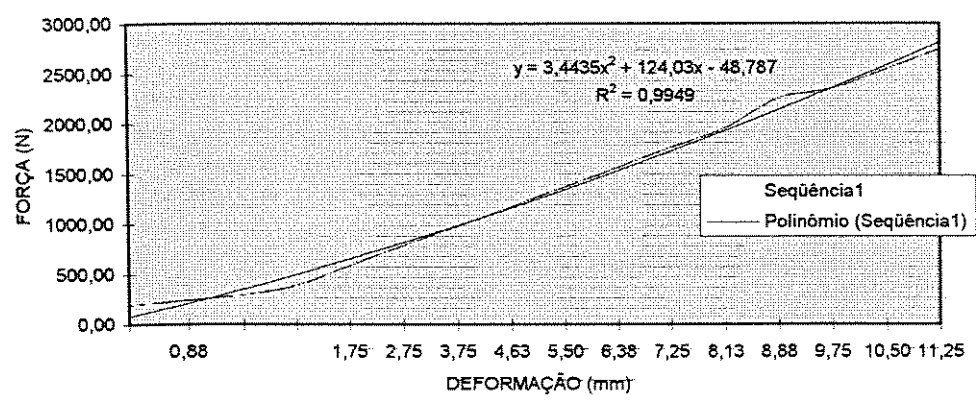


FORÇA/DEFORMAÇÃO CILINDRO 4 COMPOSIÇÃO 17B24 TAXA DE FORÇA 98,10 N/s

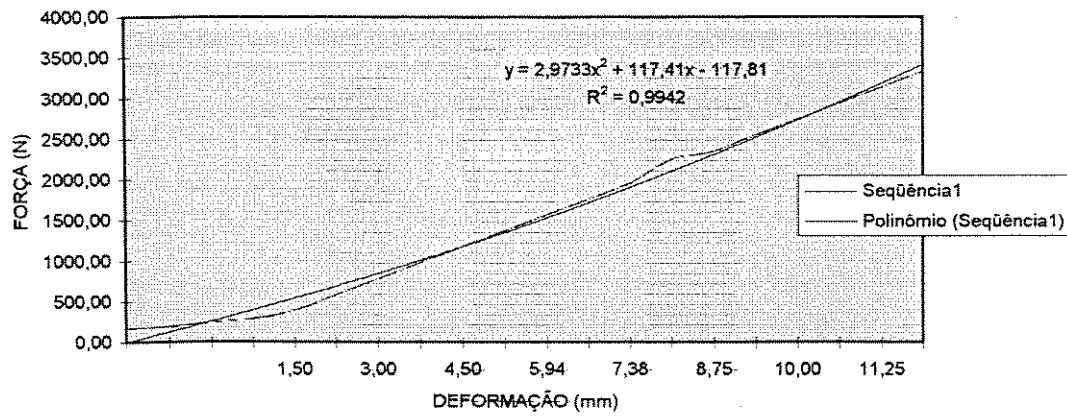




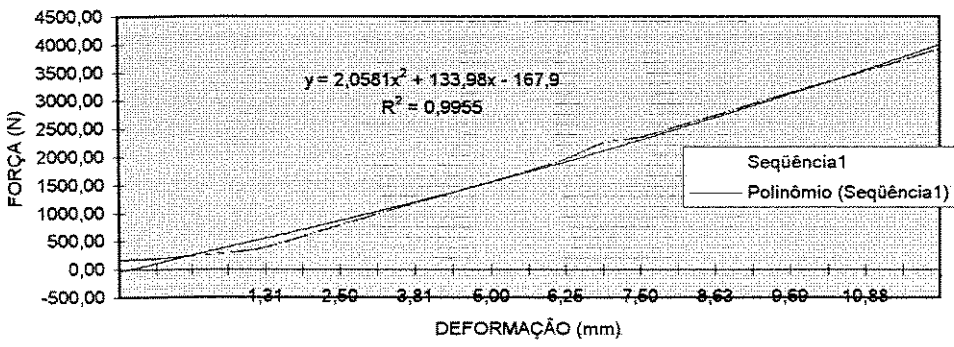
FORÇA/DEFORMAÇÃO CILINDRO 8 COMPOSIÇÃO 17B24 TAXA DE FORÇA 98,10 N/s



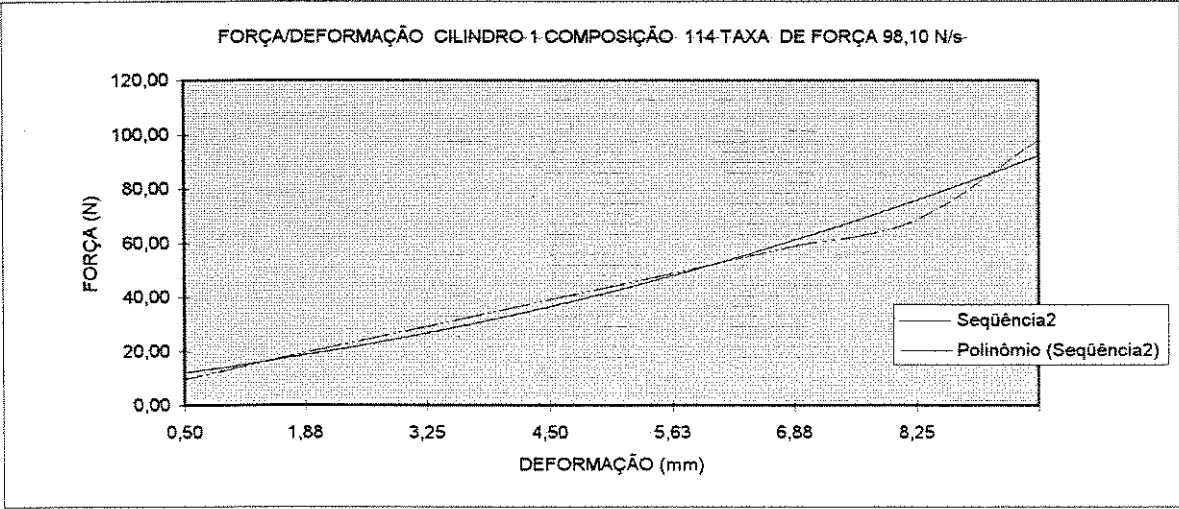
FORÇA/DEFORMAÇÃO CILINDRO 9 COMPOSIÇÃO 17B24 TAXA DE FORÇA 98,10 N/s



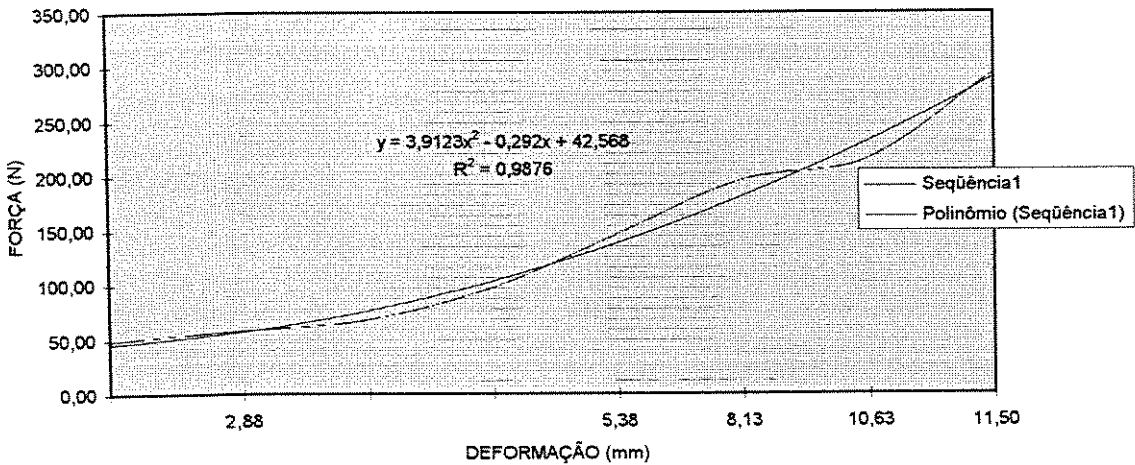
FORÇA/DEFORMAÇÃO CILINDRO 10 COMPOSIÇÃO 17B24 TAXA DE FORÇA 98,10 N/s



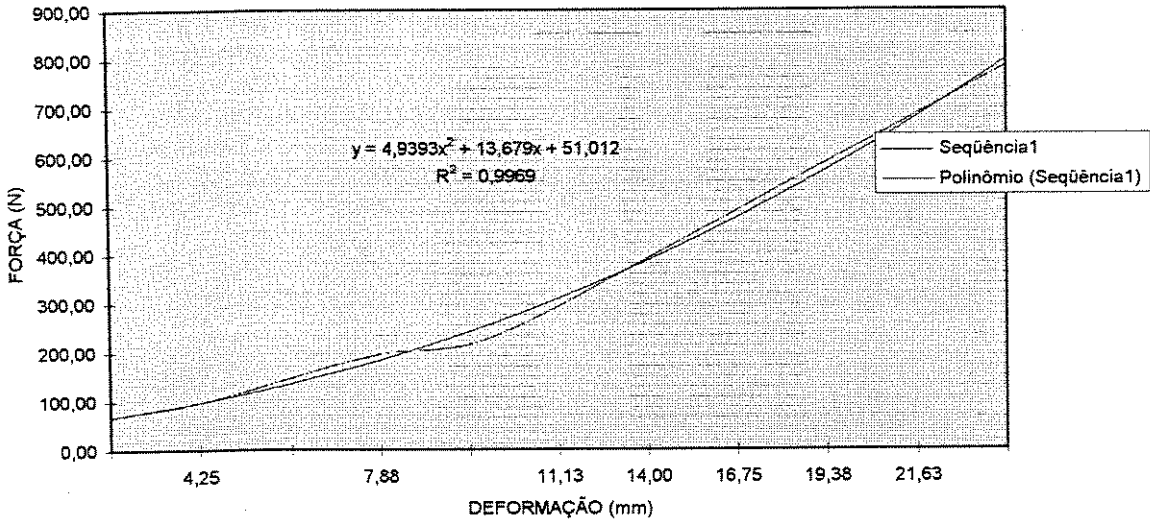
CILINDROS COMPOSIÇÃO 114					TAXA DE FORÇA: 98,1 N/s				
DIMENSÕES									
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
"MÓDULO DE ELASTICIDADE CALCULADO" E									
3,26									
2,82									
2,72									
2,72	2,40								
2,67									
2,60									
	2,57	2,35							
	2,55				2,56				2,75
	2,60	2,53		2,58		2,89	3,97	2,72	
	2,64								
		2,69			2,62				2,89
		2,85	2,64	2,62		2,89	4,17	2,90	
		2,98			2,71				3,05
		3,09	2,79	2,69		2,49	4,41	2,92	
		3,23			2,80				3,14
			2,96	3,08	2,90	3,07	4,53	3,00	3,19
			3,10	2,94	2,98	3,14	4,61	3,05	3,23
			3,26	3,05	3,05	3,20	4,67	3,09	3,26
				3,19	3,16	3,29	4,71	3,11	3,33
					3,24	3,38	4,81	3,17	3,34
					3,33	3,42	4,82	3,23	3,39
					3,42	3,50	4,90	3,27	3,43
						3,55	4,96	3,31	3,47
							5,01	3,50	3,50
							5,05	3,40	3,53
							5,09	3,44	3,58
							5,17	3,47	3,60
							5,20	3,52	3,63
							5,25		3,66
							5,29		
MÉDIAS POR TAMANHOS									
2,80	2,55	2,82	2,95	2,88	2,98	3,16	4,81	3,19	3,33
MÉDIA GERAL: 3,36					DESVIO PADRAO:0,74				



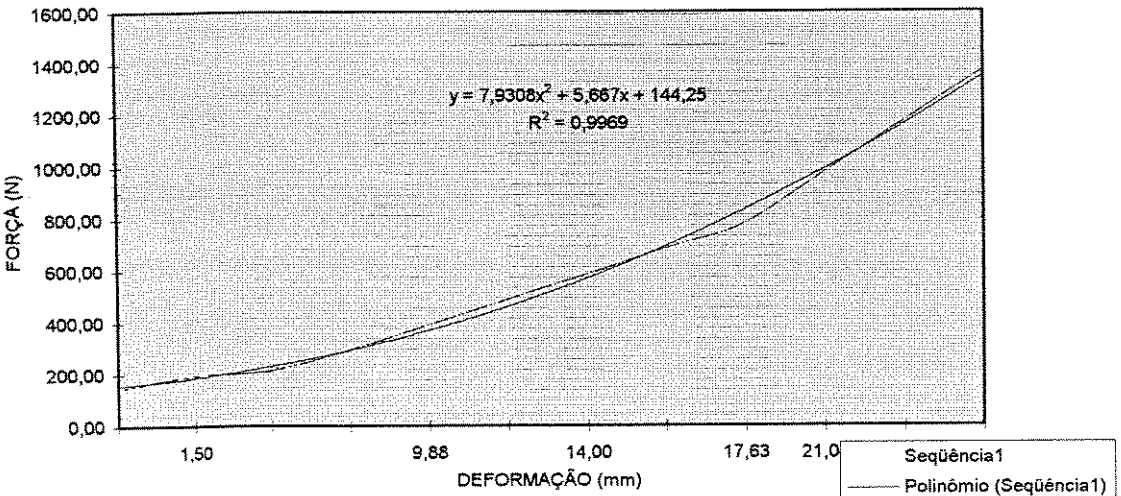
FORÇA/DEFORMAÇÃO CILINDRO 2 COMPOSIÇÃO 114 TAXA DE FORÇA 98,10 N/s

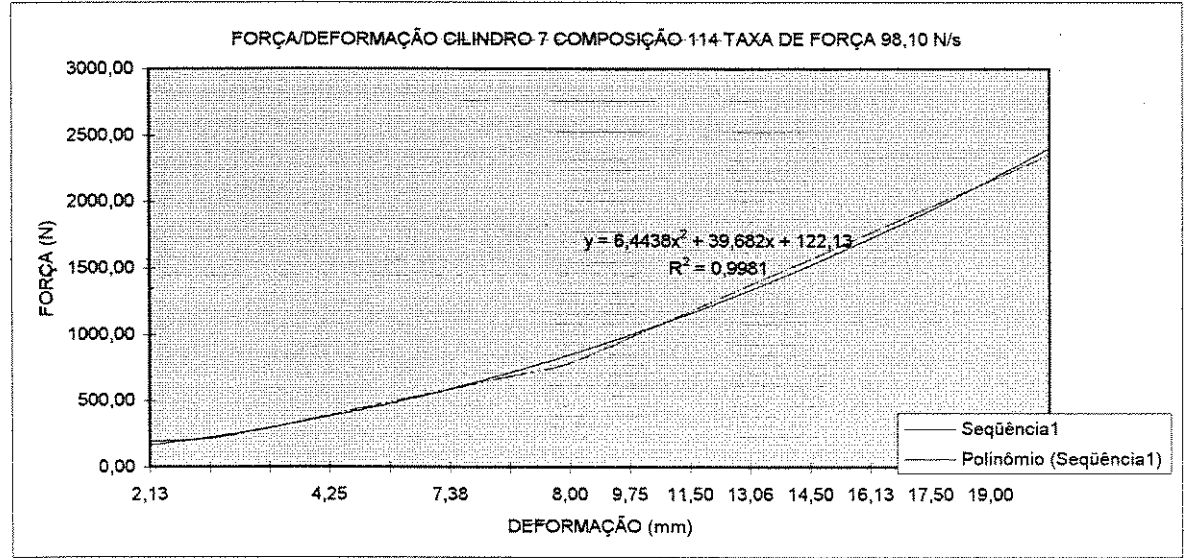
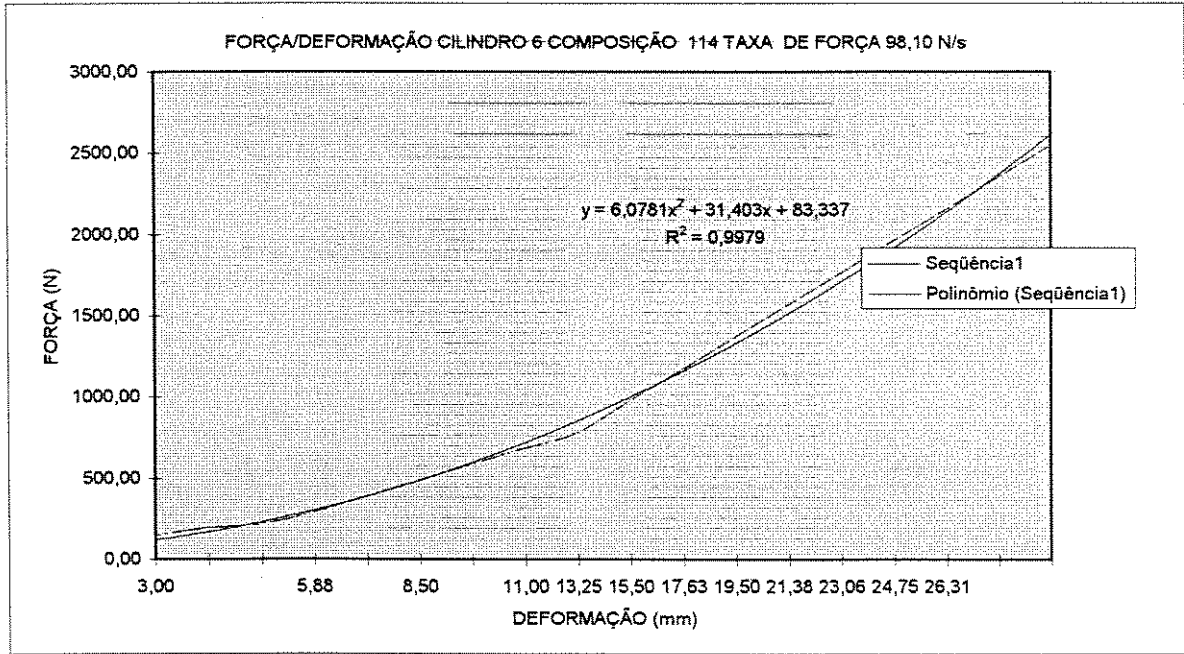
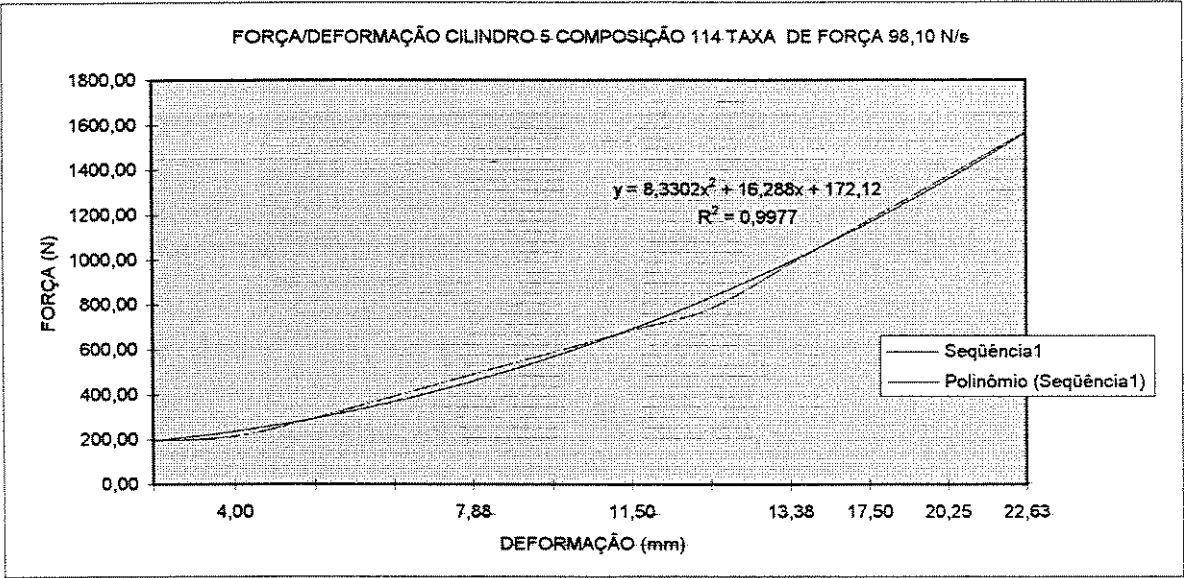


FORÇA/DEFORMAÇÃO CILINDRO 3 COMPOSIÇÃO 114 TAXA DE FORÇA 98,10 N/s

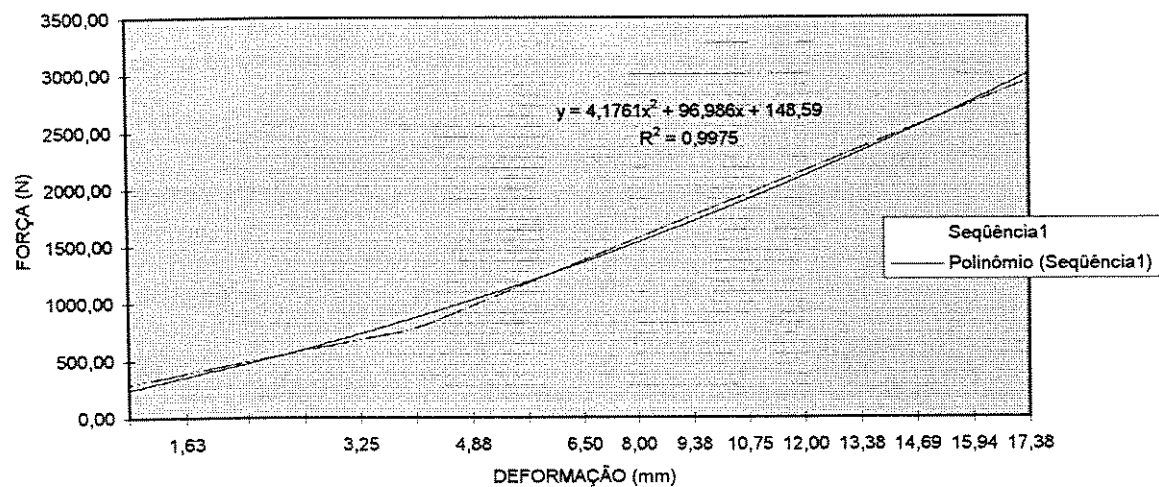


FORÇA/DEFORMAÇÃO CILINDRO 4 COMPOSIÇÃO 114 TAXA DE FORÇA 98,10 N/s

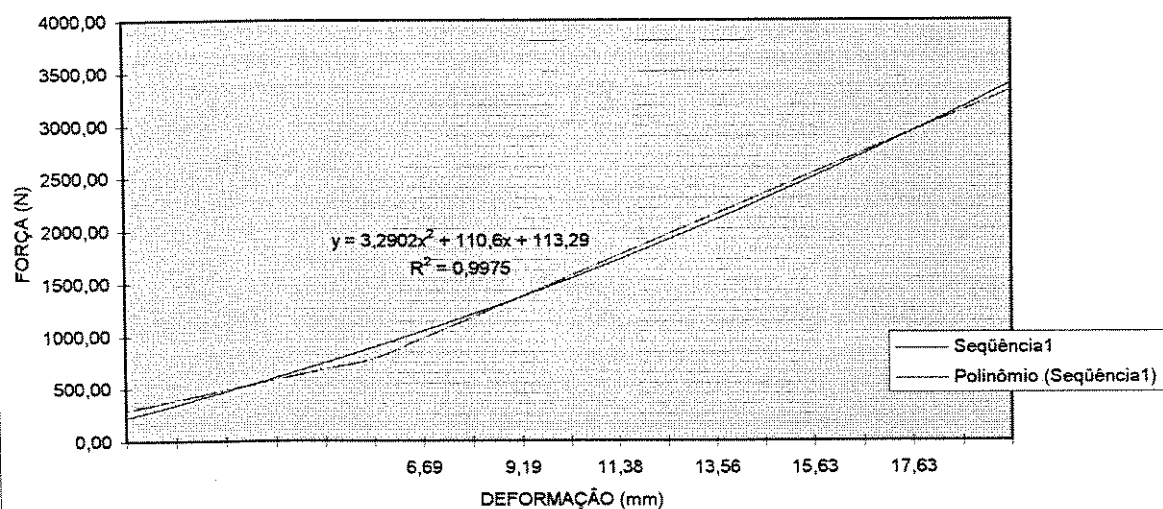




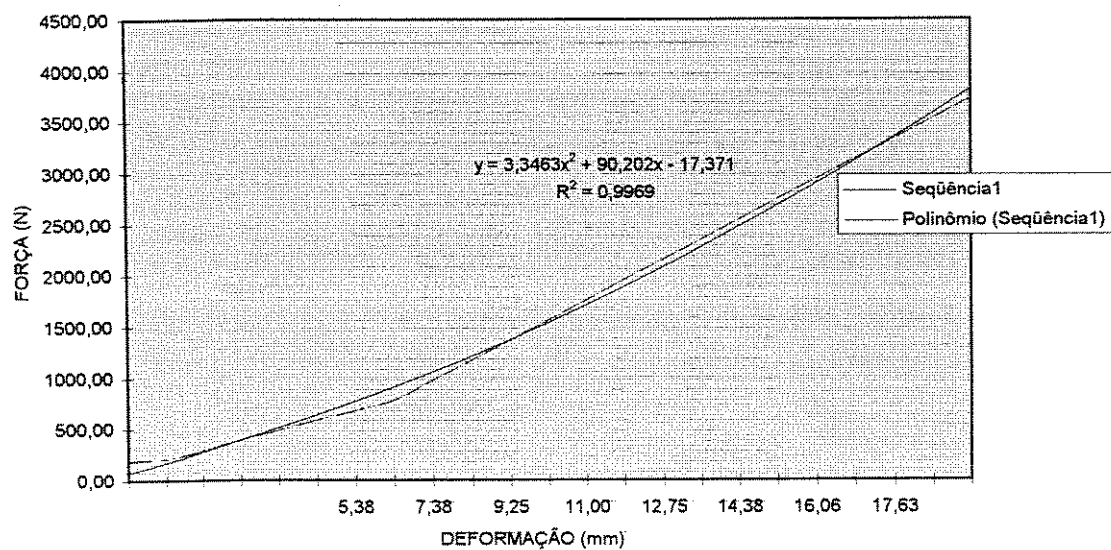
FORÇA/DEFORMAÇÃO CILINDRO 8 COMPOSIÇÃO 114 TAXA DE FORÇA 98,10 N/s



FORÇA/DEFORMAÇÃO CILINDRO 9 COMPOSIÇÃO 114 TAXA DE FORÇA 98,10 N/s



FORÇA/DEFORMAÇÃO ESPECÍFICA CILINDRO 10 COMPOSIÇÃO 114 TAXA DE FORÇA 98,10 N/s



APÊNDICE III

TAXA DE FORÇA 98,1 N/s

CUBQS

FORÇA CONTROLADA

CUBOS: 114

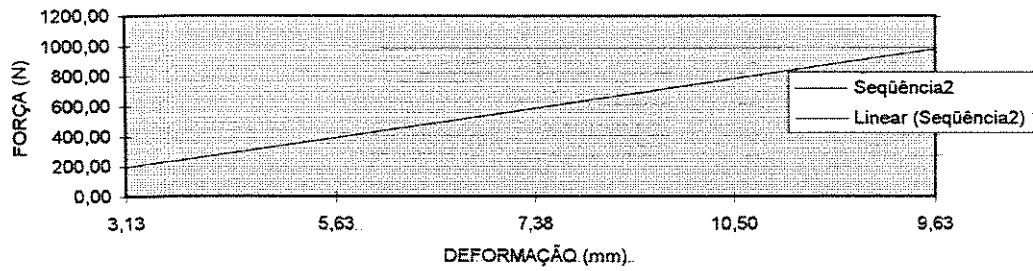
TAXA DE FORÇA: 98,10 N/s

DIMENSÕES

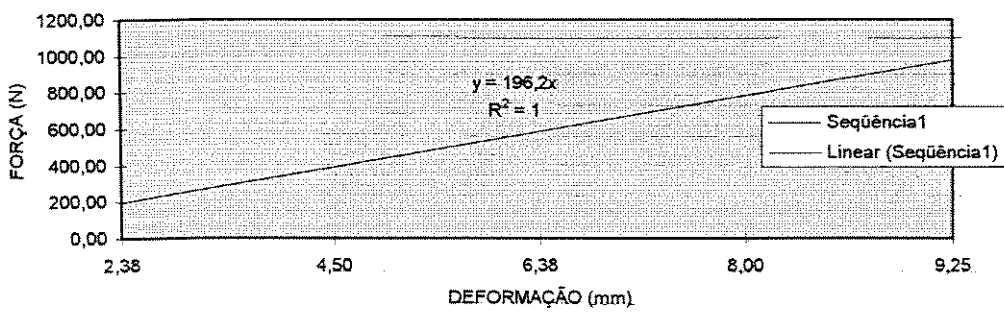
FORÇA (N)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
	DEFORMAÇÃO (mm)									
196,20	3,13	2,38	2,50	1,88	1,50	1,19	1,13	1,13	1,13	1,25
392,40	5,63	4,50	4,63	3,63	2,88	2,38	2,25	2,25	2,13	2,25
588,60	7,38	6,38	6,75	5,31	4,25	3,63	3,38	3,38	3,13	3,13
784,80	10,50	8,00	8,50	6,88	5,50	4,75	4,38	4,50	4,00	4,00
981,00	9,63	9,25	10,00	8,25	6,63	5,88	5,38	5,56	5,00	4,88
1177,20			11,38	9,63	7,75	6,88	6,25	6,50	5,88	5,75
1373,40			12,50	10,75	9,00	7,88	7,38	7,50	6,75	6,50
1569,60			13,38	12,88	9,88	8,88	8,13	8,50	7,75	7,38
1765,80				13,75	10,75	9,75	9,13	9,38	8,63	8,13
1962,00				14,56	11,75	10,88	9,88	10,13	9,50	8,88
2158,20				15,25	12,63	11,50	10,88	11,25	10,25	9,75
2354,40				15,88	13,50	12,38	11,63	12,06	11,13	10,50
2550,60					14,25	13,13	12,38	13,06	11,88	11,13
2746,80					15,00	13,88	13,13	14,00	12,63	11,88
2943,00					15,75	14,63	13,88	14,63	13,38	12,63
3139,20					16,38	15,25	14,63	15,38	14,13	13,38
3335,40					16,88	16,06	15,25	16,13	14,75	14,00
3531,60						16,69	16,00	16,88	15,50	14,75
3727,80						17,13			16,25	15,38

CUBOS COMPOSIÇÃO 114					TAXA DE FORÇA: 98,1 N/s				
DIMENSÕES									
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
"MÓDULO DE ELASTICIDADE CALCULADO" E									
3,48	2,93	3,63	3,08	4,14	3,90	3,54	3,21	3,11	2,69
3,99	3,10	3,72	3,16	4,07	3,90	3,54	3,21	3,18	2,90
3,73	3,29	3,83	3,25	4,14	4,01	3,54	3,21	3,31	3,02
	3,56	3,99	3,39	4,18	4,08	3,58	3,25	3,31	3,10
		4,10	3,48	4,29	4,21	3,67	3,34	3,38	3,15
		4,29	3,64	4,37	4,16	3,71	3,37	3,43	3,25
		4,09	3,47	4,43	4,32	3,74	3,40	3,42	3,28
		4,31	3,66	4,54	4,33	3,82	3,47	3,45	3,35
		4,52	3,84	4,52	4,44	3,93	3,57	3,48	3,40
		4,75	4,03	4,70	4,44	3,89	3,54	3,55	3,41
			4,23	4,77	4,53	3,96	3,60	3,57	3,45
				4,87	4,61	3,96	3,60	3,62	3,53
					4,68	3,98	3,62	3,67	3,56
					4,74	4,08	3,71	3,71	3,59
						4,14	3,76	3,75	3,61
						4,19	3,81	3,81	3,67
						4,24	3,86	3,84	3,69
MÉDIAS POR TAMANHO									
3,73	3,22	4,12	3,57	4,42	4,31	3,85	3,50	3,51	3,33
MÉDIA GERAL: 3,73					DESVIO PADRÃO: 0,57				

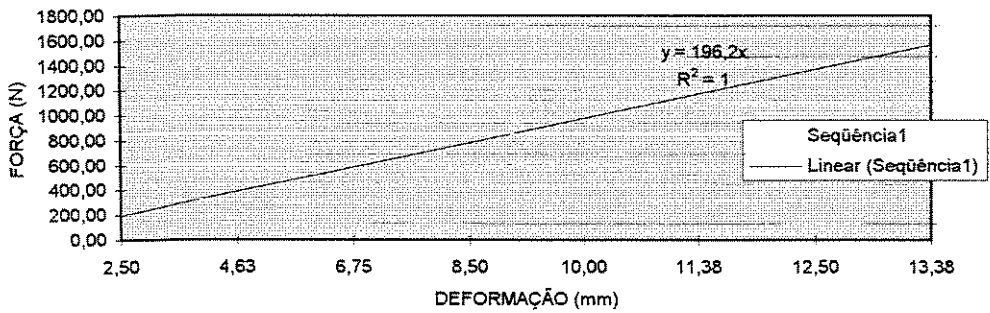
FORÇA/DEFORMAÇÃO CUBO 1 COMPOSIÇÃO 114 TAXA DE FORÇA 98,10 N/s.



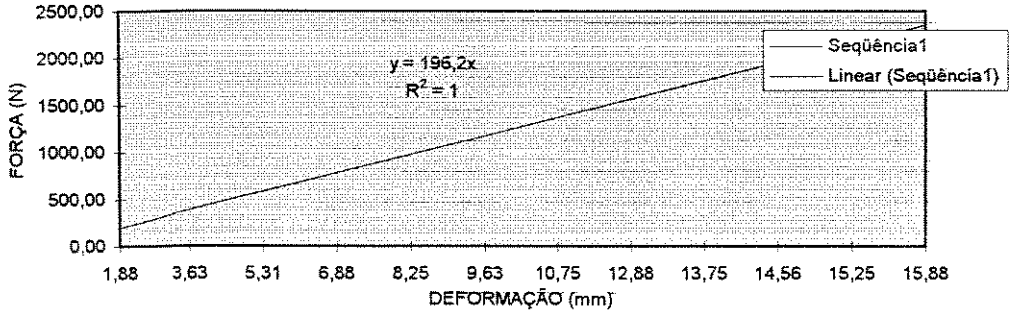
FORÇA/DEFORMAÇÃO CUBO 2 COMPOSIÇÃO 114 TAXA DE FORÇA 98,10 N/s.



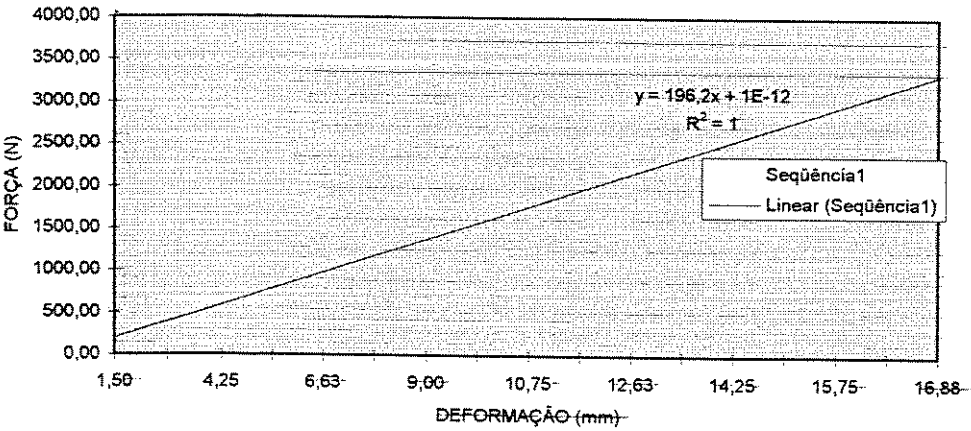
FORÇA/DEFORMAÇÃO CUBO 3 COMPOSIÇÃO 114 TAXA DE FORÇA 98,10 N/s.



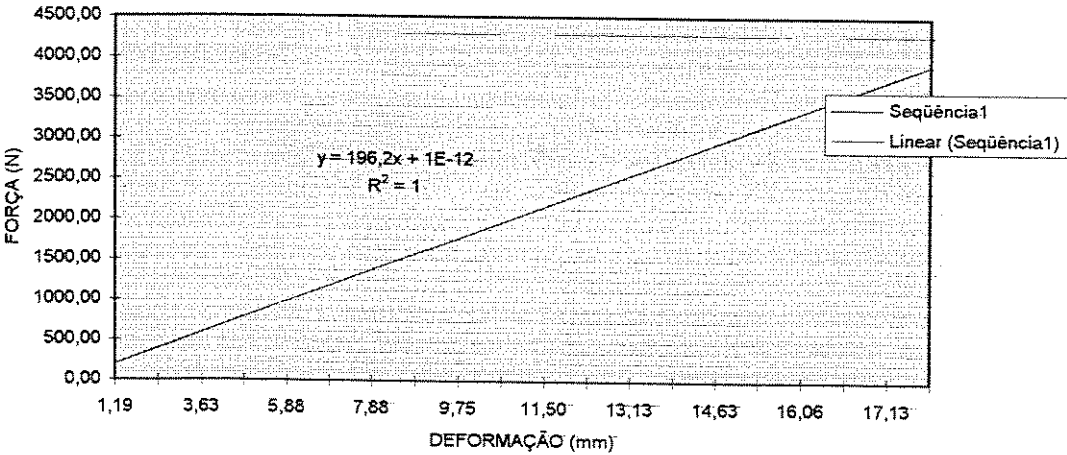
FORÇA/DEFORMAÇÃO CUBO 4 COMPOSIÇÃO 114 TAXA DE FORÇA 98,10 N/s.



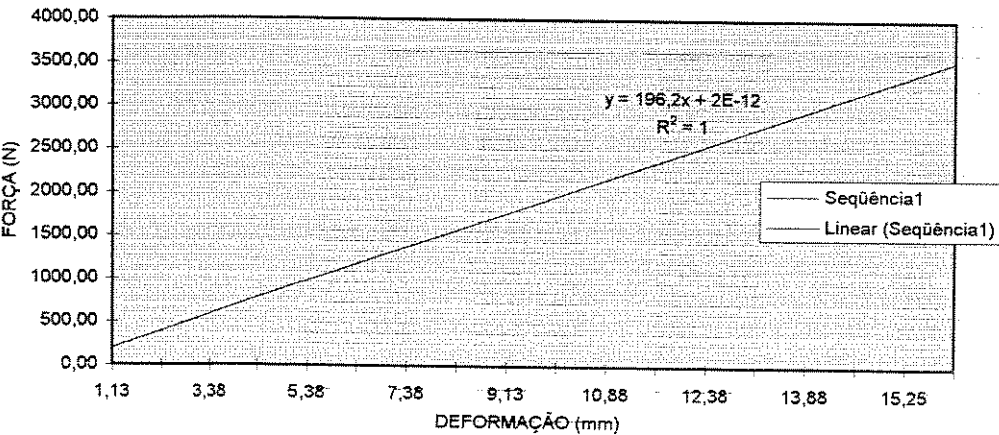
FORÇA/DEFORMAÇÃO CUBO 5 COMPOSIÇÃO 114 TAXA DE FORÇA 98,10 N/s



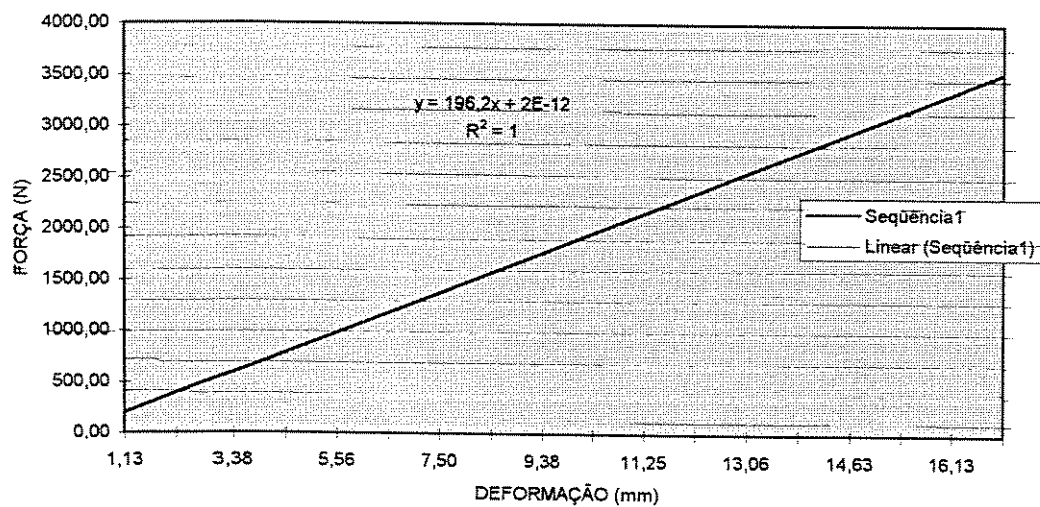
FORÇA/DEFORMAÇÃO CUBO 6 COMPOSIÇÃO 114 TAXA DE FORÇA 98,10 N/s



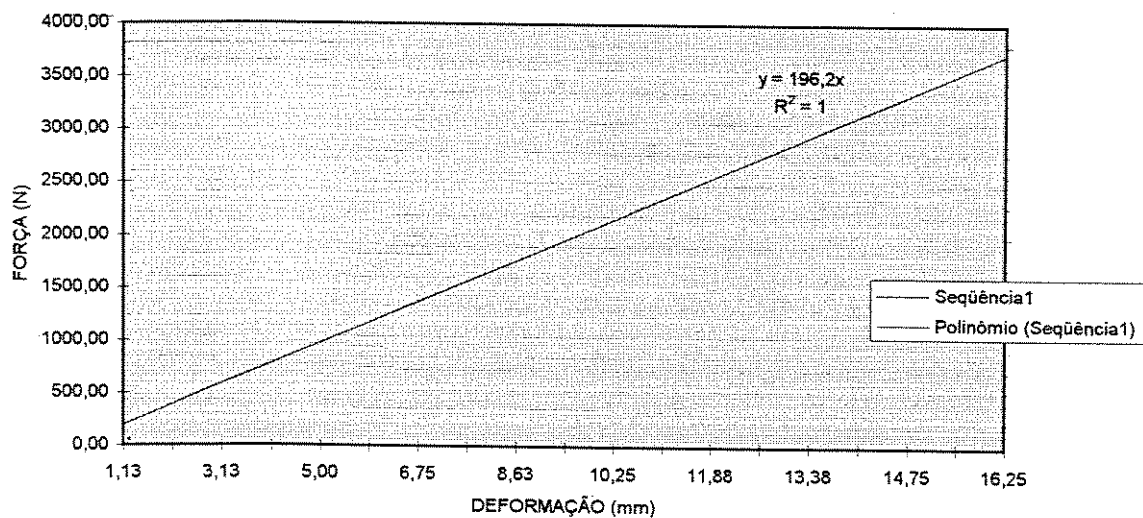
FORÇA/DEFORMAÇÃO CUBO 7 COMPOSIÇÃO 114 TAXA DE FORÇA 98,10 N/s



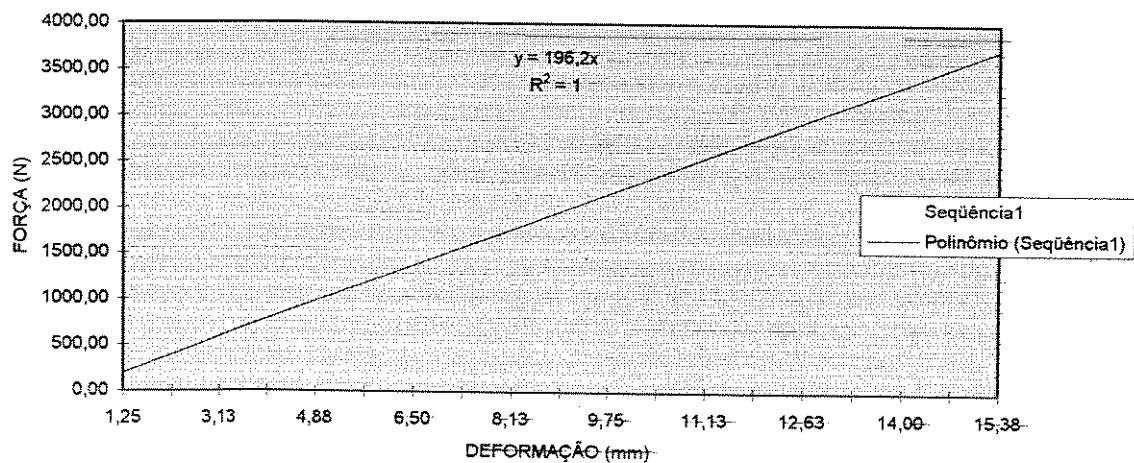
FORÇA/DEFORMAÇÃO CUBO 8 COMPOSIÇÃO 114 TAXA DE FORÇA 98,10 N/s



FORÇA/DEFORMAÇÃO CUBO 9 COMPOSIÇÃO 114 TAXA DE FORÇA 98,10 N/s



FORÇA/DEFORMAÇÃO CUBO 10 COMPOSIÇÃO 114 TAXA DE FORÇA 98,10 N/s



FORÇA CONTROLADA

CUBOS: 6 B20

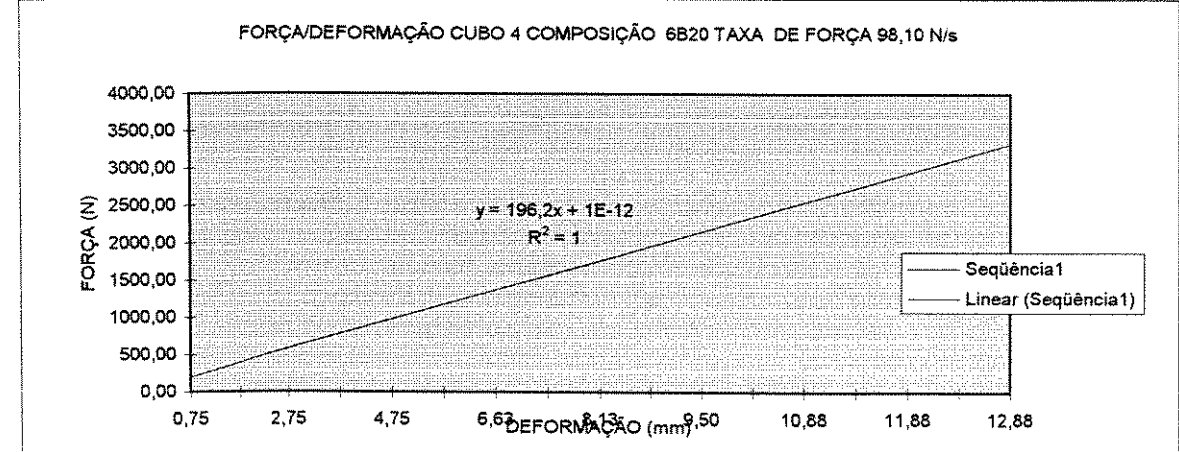
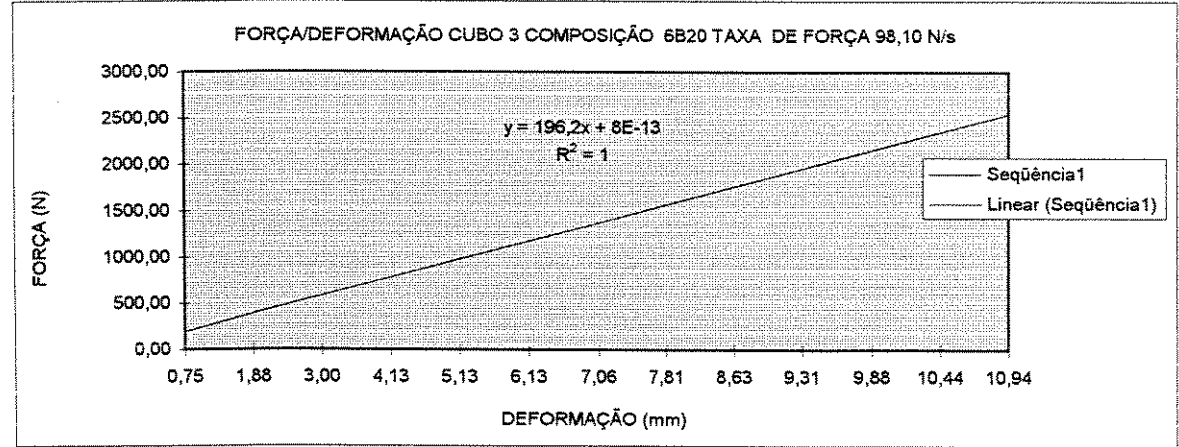
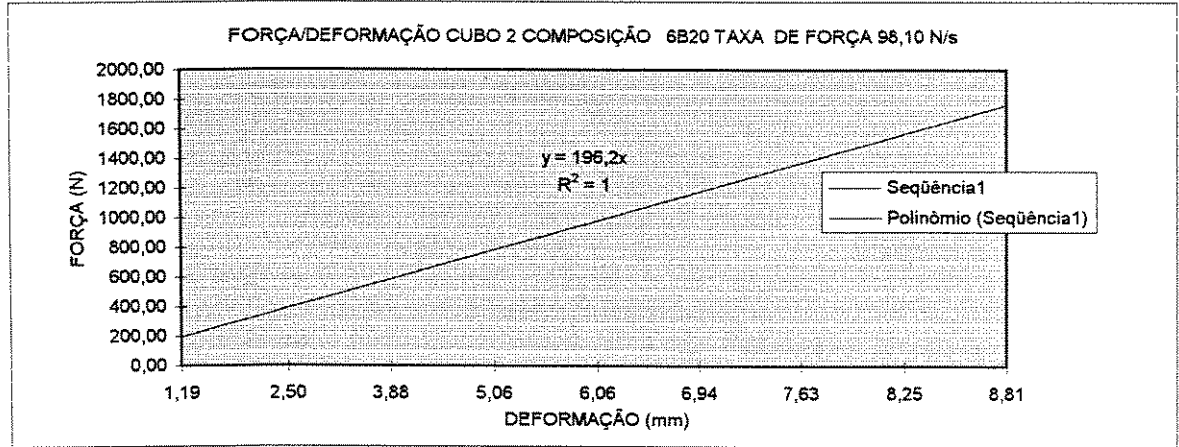
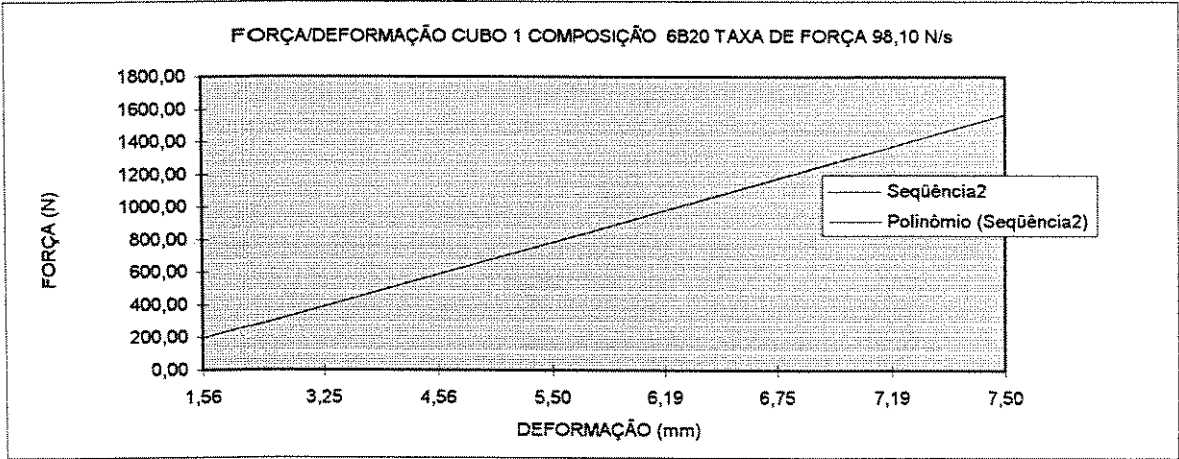
TAXA DE FORÇA: 98,10 N/s

FORÇA(N)	DIMENSÕES									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
	DEFORMAÇÃO (mm)									
196,20	1,56	1,19								
392,40	3,25	2,50	1,88							
588,60	4,56	3,88	3,00	2,75	1,88	1,50	1,25			
784,80	5,50	5,06	4,13	3,75	2,63	2,25	1,75	1,44		
981,00	6,19	6,06	5,13	4,75	3,50	3,00	2,38	2,06	1,50	1,31
1177,20	6,75	6,94	6,13	5,63	4,38	3,88	3,06	2,69	1,94	1,69
1373,40	7,19	7,63	7,06	6,63	5,13	4,63	3,75	3,31	2,44	2,13
1569,60	7,50	8,25	7,81	7,38	6,00	5,44	4,38	4,00	2,94	2,50
1765,80		8,81	8,63	8,13	6,75	6,19	5,00	4,63	3,50	3,00
1962,00			9,31	8,81	7,38	6,94	5,75	5,25	4,06	3,50
2158,20			9,88	9,50	8,06	7,69	6,38	5,94	4,63	4,13
2354,40			10,44	10,25	8,69	8,31	6,94	6,63	5,19	4,63
2550,60			10,94	10,88	9,25	9,00	7,75	7,25	5,81	5,13
2746,80				11,44	9,81	9,63	8,31	7,88	6,38	5,63
2943,00				11,88	10,38	10,25	8,88	8,88	6,94	6,13
3139,20				12,25	10,94	10,88	9,50	9,50	7,50	6,63
3335,40				12,88	11,44	11,44	10,00	10,06	8,06	7,13
3531,60					11,94	12,06	10,63	10,63	8,56	7,81
3727,80						12,56	11,25		9,13	8,25
3924,00										8,75
4120,20										

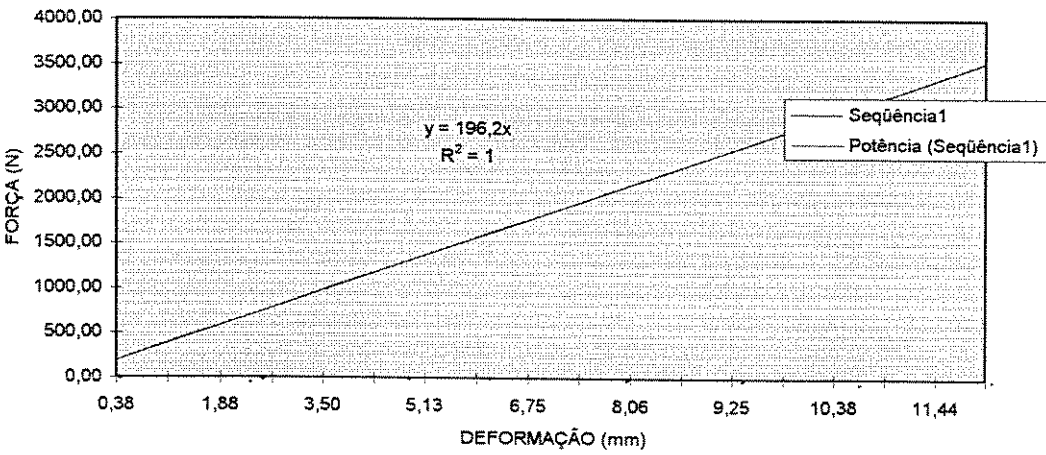
CUBOS COMPOSIÇÃO 6B20

TAXA DE FORÇA: 98,1 N/s

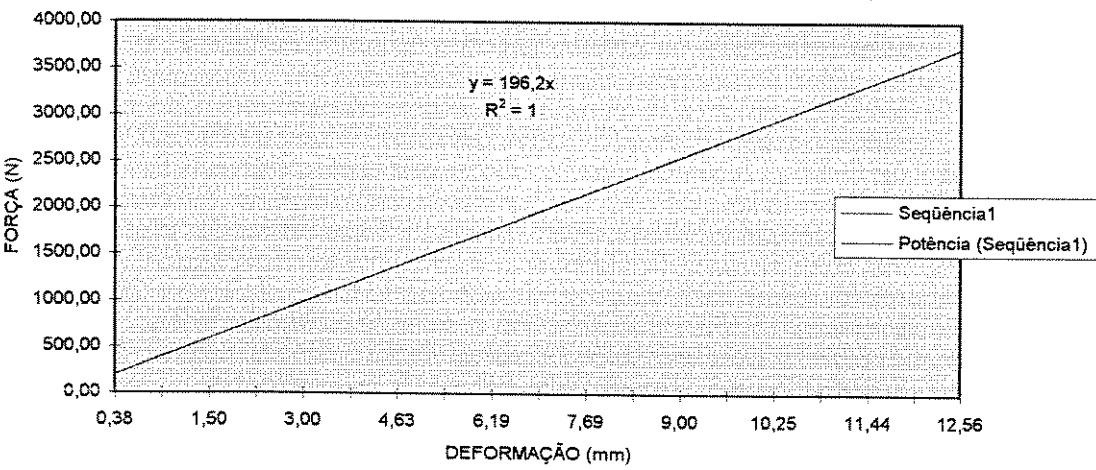
DIMENSÕES									
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
"MÓDULO DE ELASTICIDADE CALCULADO" E									
6,24	6,55								
6,00	6,22	6,93							
6,42	6,02	6,50	8,93	9,73	10,38				
7,10	6,15	6,30	8,51	8,65	9,88	10,84			
7,88	6,42	6,34	7,98	8,11	9,10	9,45	12,11		
8,67	6,73	6,36	7,66	7,53	8,47	8,70	11,25	10,12	10,67
9,50	7,14	6,44	7,63	7,36	8,07	8,23	10,43	9,38	9,89
	7,54	6,65	7,44	7,16	7,91	7,79	9,89	8,90	9,60
	7,95	6,78	7,44	7,07	7,78	7,58	9,34	8,40	9,00
		6,98	7,57	7,01	7,52	7,42	8,94	8,04	8,58
		7,24	7,62	6,96	7,46	7,22	8,64	7,77	8,00
		7,47	7,71	7,02	7,48	7,06	8,40	7,56	7,79
		7,72	7,85	7,03	7,25	6,99	8,12	7,31	7,61
			7,97	7,07	7,28	6,93	7,98	7,18	7,47
			8,07	7,12	7,31	6,59	7,85	7,07	7,35
			8,17	7,16	7,28	6,56	7,75	6,97	7,25
			8,30	7,23	7,35	6,58	7,66	6,89	7,16
			8,42	7,26	7,32	6,60	7,64	6,87	6,92
				7,36	7,30		7,56	6,80	6,91
									6,86
MÉDIAS POR TAMANHO									
7,40	6,75	6,81	7,95	7,46	7,95	7,64	8,90	7,80	8,07
MÉDIA GERAL: 7,67					DESVIO PADRÃO: 1,12				



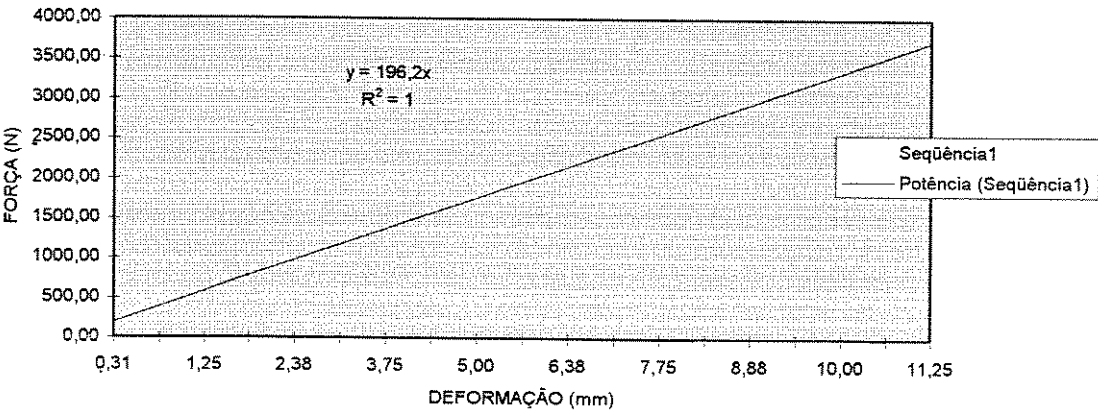
FORÇA/DEFORMAÇÃO CUBO 5 COMPOSIÇÃO 6B20 TAXA DE FORÇA 98,10 N/s



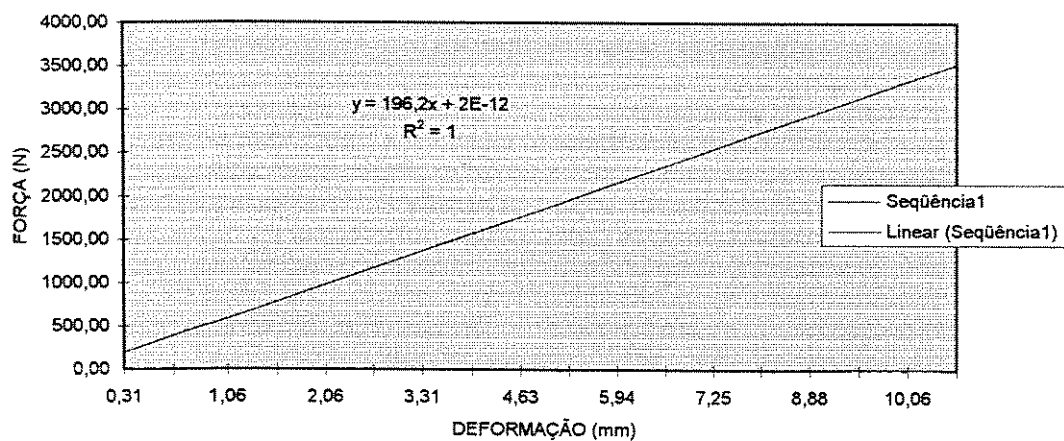
FORÇA/DEFORMAÇÃO CUBO 6 COMPOSIÇÃO 6B20 TAXA DE FORÇA 98,10 N/s



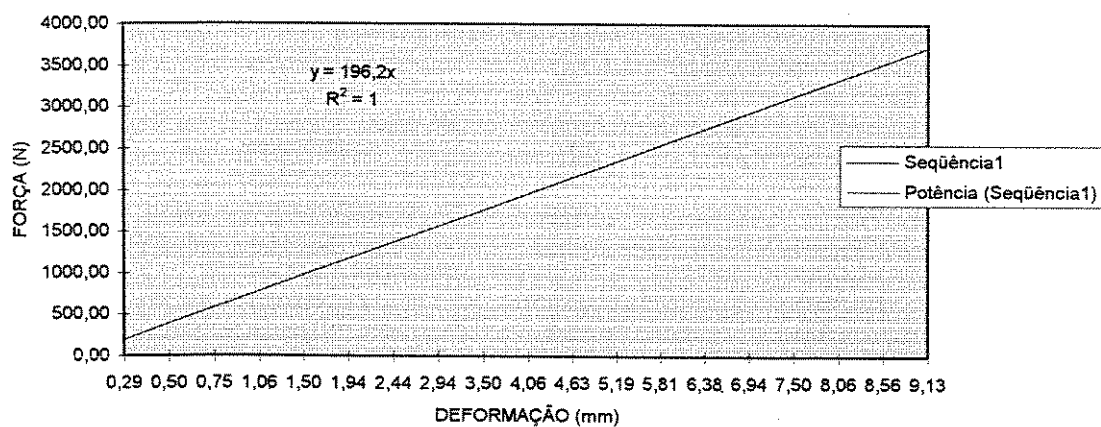
FORÇA/DEFORMAÇÃO CUBO 7 COMPOSIÇÃO 6B20 TAXA DE FORÇA 98,10 N/s



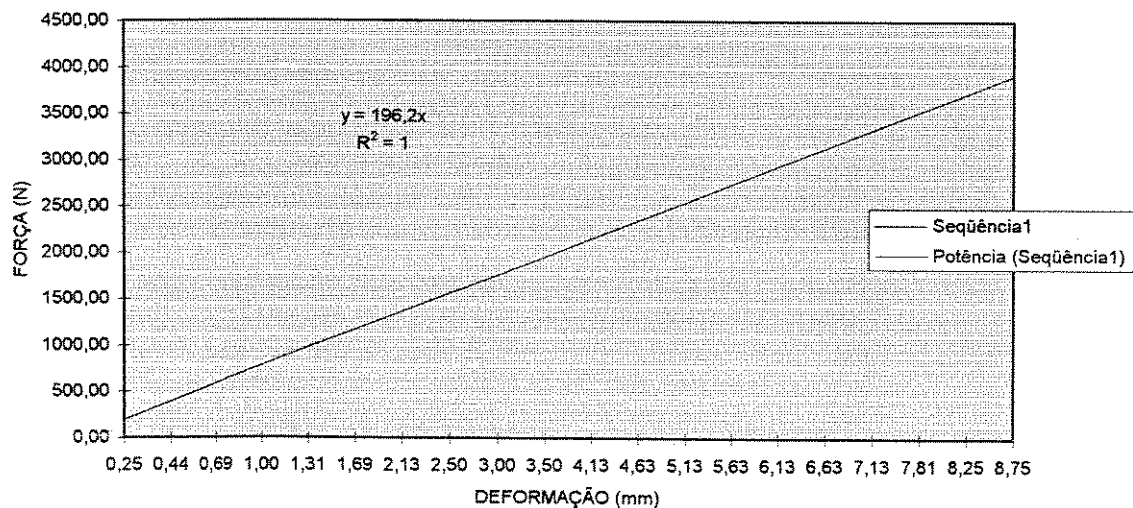
FORÇA/DEFORMAÇÃO CUBO 8 COMPOSIÇÃO 6B20 TAXA DE 98,10 N/seg



FORÇA/DEFORMAÇÃO CUBO 9 COMPOSIÇÃO 6B20 TAXA DE FORÇA 98,10 N/s



FORÇA/DEFORMAÇÃO CUBO 10 COMPOSIÇÃO 6B20 TAXA DE FORÇA 98,10 N/s



FORÇA CONTROLADA

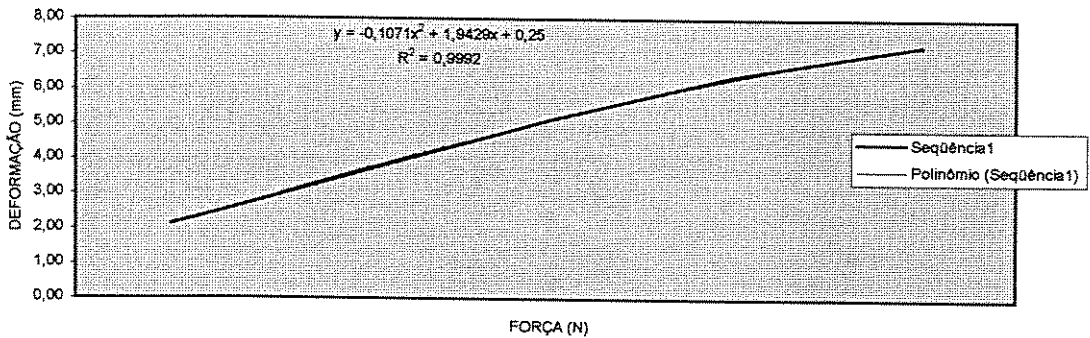
CUBOS: COMPOSIÇÃO 17B24

TAXA DE FORÇA: 98,1 N/s

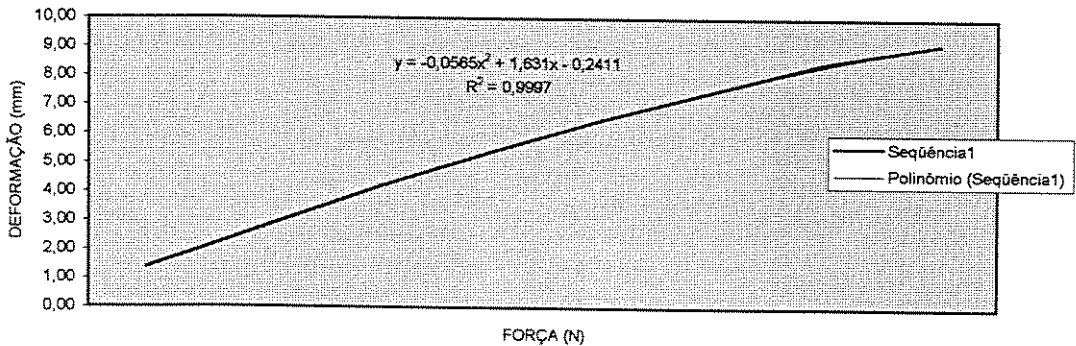
FORÇA (N)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
	DEFORMAÇÃO (mm)									
196,20	2,13	1,38	1,25	1,00	0,88	0,75	0,69	1,00	0,63	0,50
392,40	3,63	2,75	2,25	1,88	1,88	1,63	1,25	1,38	1,06	1,06
588,60	5,13	4,13	3,25	2,88	2,88	2,50	1,81	2,00	1,50	1,63
784,80	6,38	5,38	4,13	3,75	3,75	3,38	2,50	2,75	2,00	2,13
981,00	7,25	6,50	5,13	4,88	4,75	4,25	3,06	3,50	2,50	2,75
1177,20		7,50	6,13	5,63	5,63	5,06	3,75	4,19	2,94	3,25
1373,40		8,50	6,88	6,50	6,50	5,88	4,31	4,88	3,44	3,75
1569,60		9,13	7,50	7,38	7,50	6,63	4,94	5,50	3,94	4,38
1765,80			8,25	8,13	8,25	7,38	5,44	6,13	4,38	4,88
1962,00			8,88	8,94	9,13	8,13	6,19	6,81	4,88	5,50
2158,20			9,38	9,50	9,94	8,88	6,75	7,50	5,38	6,00
2354,40				10,13	10,69	9,56	7,44	8,13	5,81	6,56
2550,60				10,75	11,38	10,25	7,88	8,75	6,25	7,06
2746,80				11,25	12,06	10,88	8,38	9,31	6,75	7,56
2943,00				11,88	12,69	11,50	8,94	9,88	7,19	8,06
3139,20				12,38	13,31	12,06	9,31	10,38	7,63	8,56
3335,40					13,88	12,69	9,94	10,94	8,06	9,13
3531,60					14,38	13,25	10,44	11,44	8,50	9,63
3727,80					14,94	13,81	10,94	12,00	8,94	10,13

CUBOS COMPOSIÇÃO 17B24										TAXA DE FORÇA: 98,1 N
DIMENSÕES										
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
MÓDULO DE ELASTICIDADE CALCULADO E										
4,60	5,66	5,20	5,58	5,56	5,80	5,67	3,63	5,23	5,97	
5,39	5,66	5,77	5,96	5,19	5,36	6,23	5,28	6,15	5,62	
5,72	5,66	6,00	5,83	5,08	5,22	6,45	5,45	6,53	5,51	
6,13	5,79	6,30	5,96	5,19	5,16	6,23	5,28	6,53	5,62	
6,74	5,98	6,34	5,73	5,12	5,12	6,36	5,19	6,53	5,43	
	6,22	6,36	5,96	5,19	5,16	6,23	5,20	6,67	5,51	
	6,41	6,61	6,01	5,24	5,19	6,33	5,22	6,65	5,57	
	6,82	6,93	6,06	5,19	5,26	6,31	5,28	6,63	5,46	
		7,09	6,18	5,31	5,31	6,45	5,34	6,72	5,51	
		7,32	6,25	5,33	5,36	6,30	5,33	6,70	5,43	
		7,62	6,47	5,38	5,39	6,35	5,33	6,68	5,47	
			6,62	5,46	5,46	6,29	5,36	6,74	5,46	
			6,75	5,56	5,52	6,43	5,40	6,79	5,49	
			6,95	5,64	5,60	6,51	5,46	6,77	5,52	
			7,05	5,75	5,68	6,54	5,52	6,82	5,55	
			7,22	5,85	5,77	6,70	5,60	6,85	5,58	
				5,96	5,83	6,67	5,65	6,89	5,56	
				6,09	5,91	6,72	5,72	6,92	5,58	
				6,19	5,99	6,77	5,75	6,94	5,60	
MÉDIAS POR TAMANHO										
5,71	6,02	6,5	6,28	5,49	5,48	6,39	5,31	6,62	5,55	
MÉDIA GERAL: 5.91					DESVIO PADRÃO: 0,63					

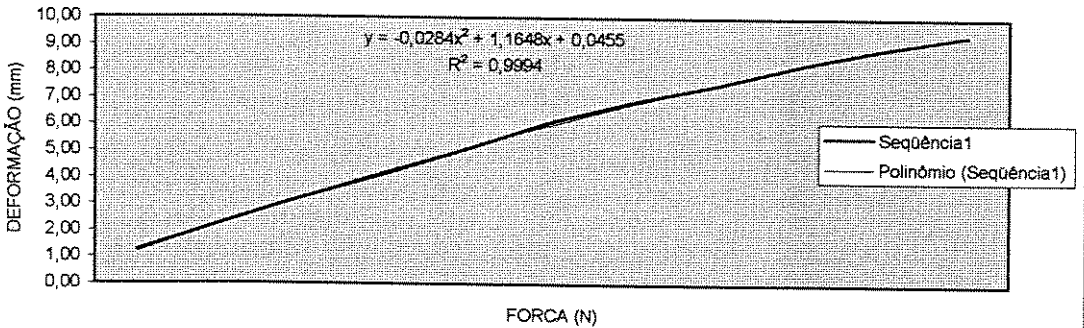
FORÇA/DEFORMAÇÃO CUBO 1 COMPOSIÇÃO 17B24 TAXA DE FORÇA 98,1 N/s.



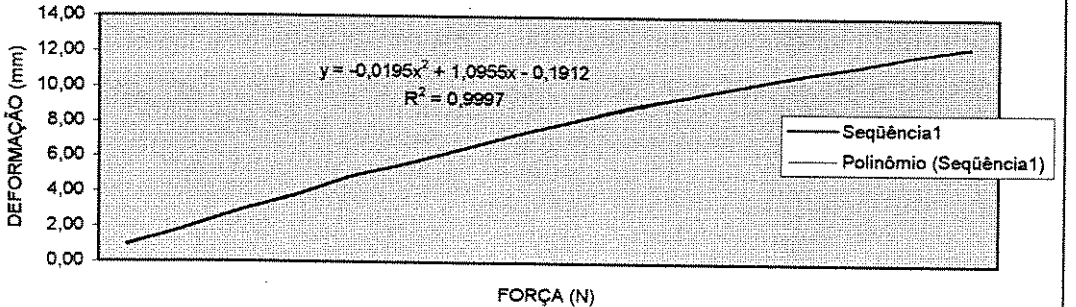
FORÇA/DEFORMAÇÃO CUBO 2 COMPOSIÇÃO 17B24 TAXA DE FORÇA 98,1 N/s.



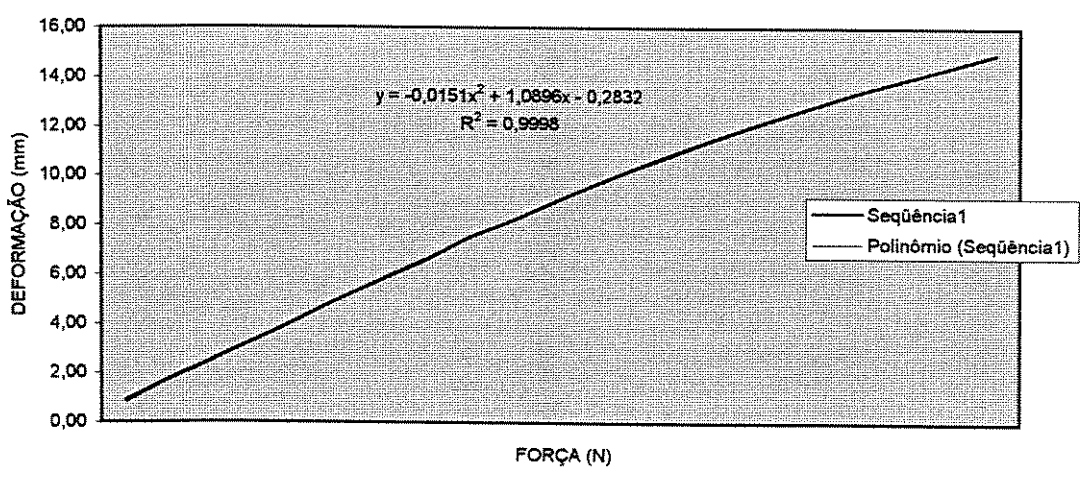
FORÇA/DEFORMAÇÃO CUBO 3 COMPOSIÇÃO 17B24 TAXA DE FORÇA 98,1 N/s.



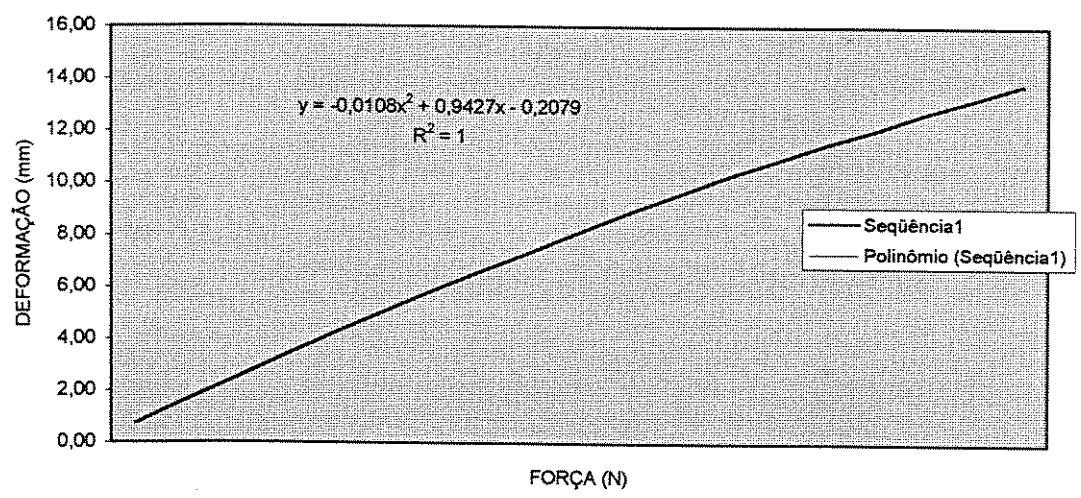
FORÇA/DEFORMAÇÃO CUBO 4 COMPOSIÇÃO 17B24 TAXA DE FORÇA 98,1 N/s.



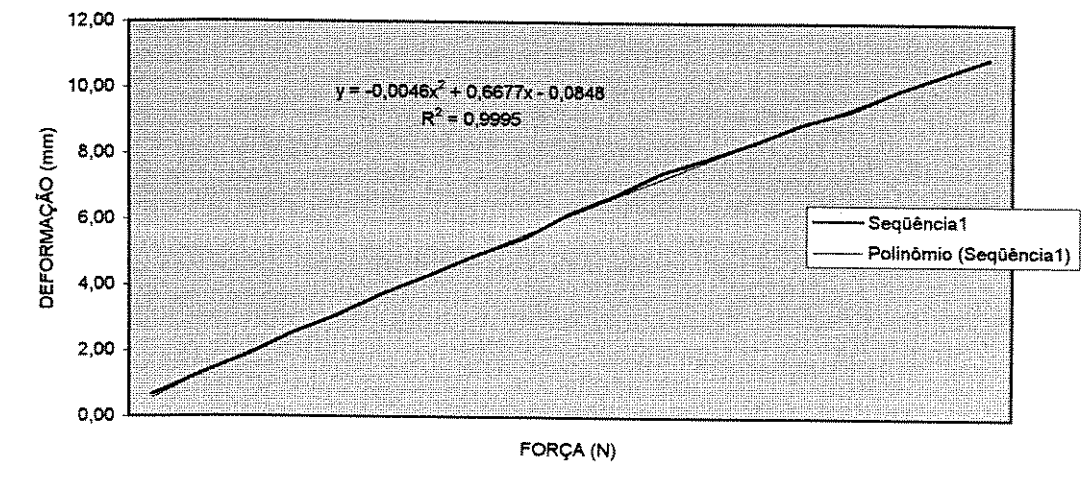
FORÇA/DEFORMAÇÃO CUBO 5 COMPOSIÇÃO 17B24 TAXA DE FORÇA 98,1 N/s.



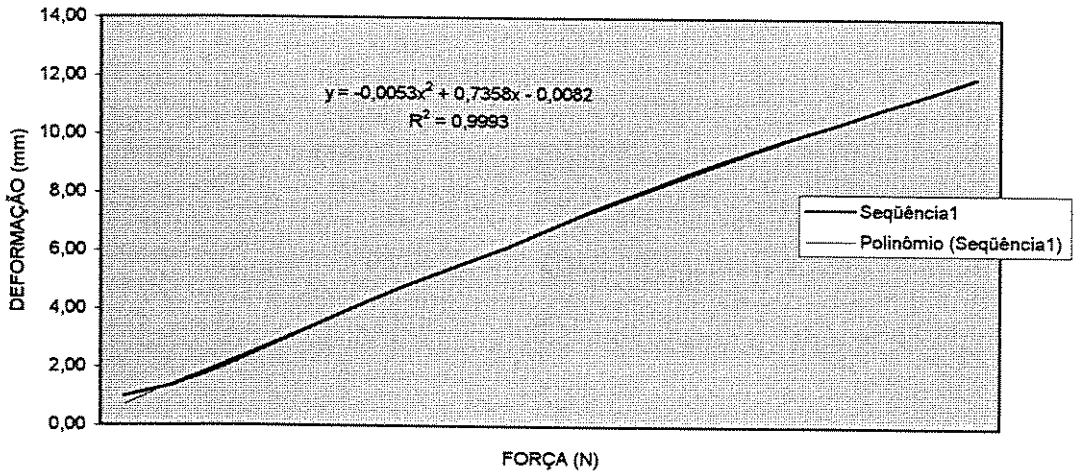
FORÇA/DEFORMAÇÃO CUBO 6 COMPOSIÇÃO 17B24 TAXA DE FORÇA 98,1 N/s.



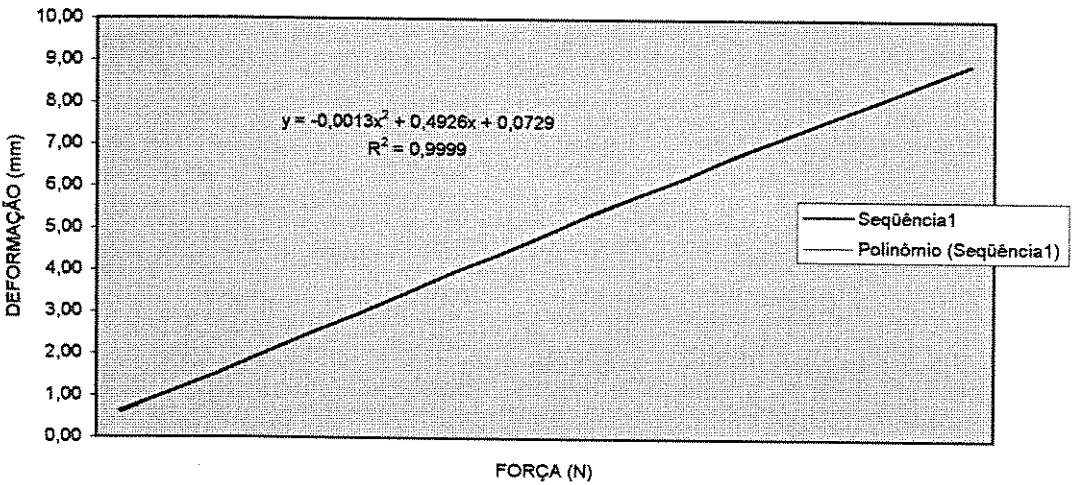
FORÇA/DEFORMAÇÃO CUBO 7 COMPOSIÇÃO 17B24 TAXA DE FORÇA 98,1 N/s.



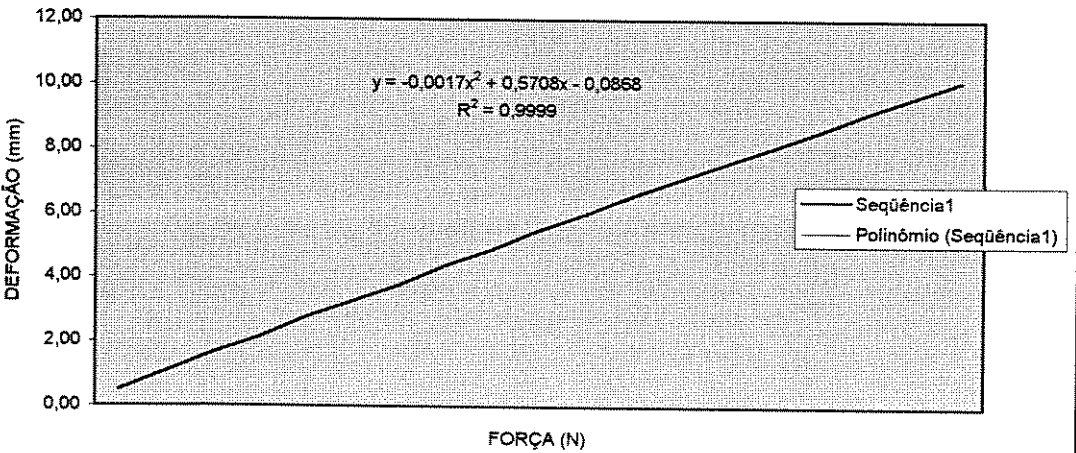
FORÇA/DEFORMAÇÃO CUBO 8 COMPOSIÇÃO 17B24 TAXA DE FORÇA 98,1 N/s.



FORÇA/DEFORMAÇÃO CUBO 9 COMPOSIÇÃO 17B24 TAXA DE FORÇA 98,1 N/s.



FORÇA/DEFORMAÇÃO CUBO 10 COMPOSIÇÃO 17B24 TAXA DE FORÇA 98,1 N/s.



APÊNDICE IV

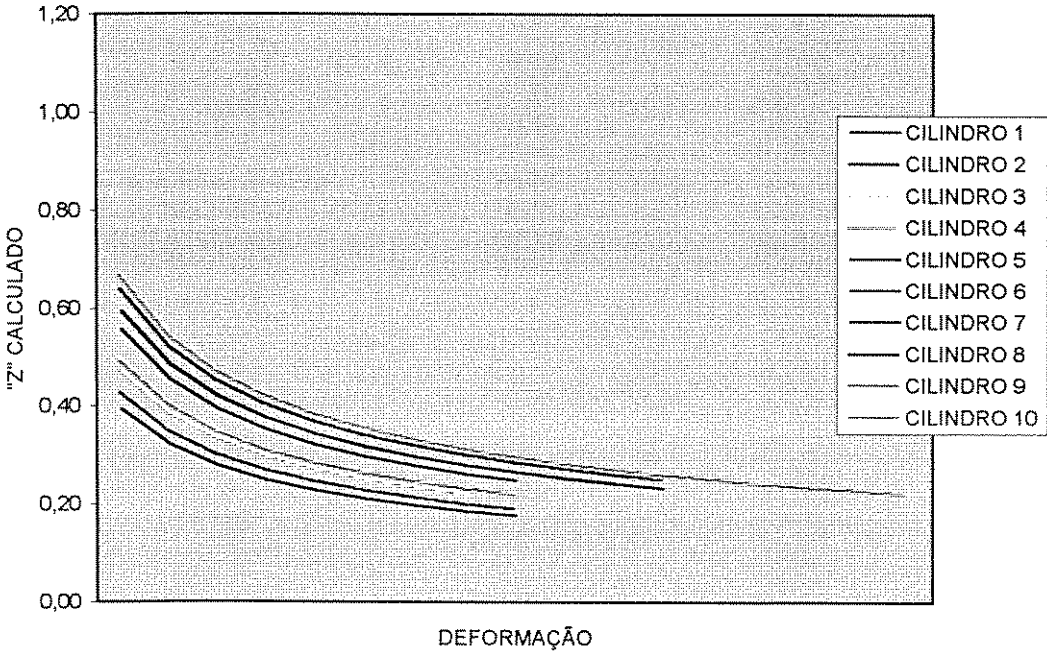
TAXA DE FORÇA 98,1 N/s

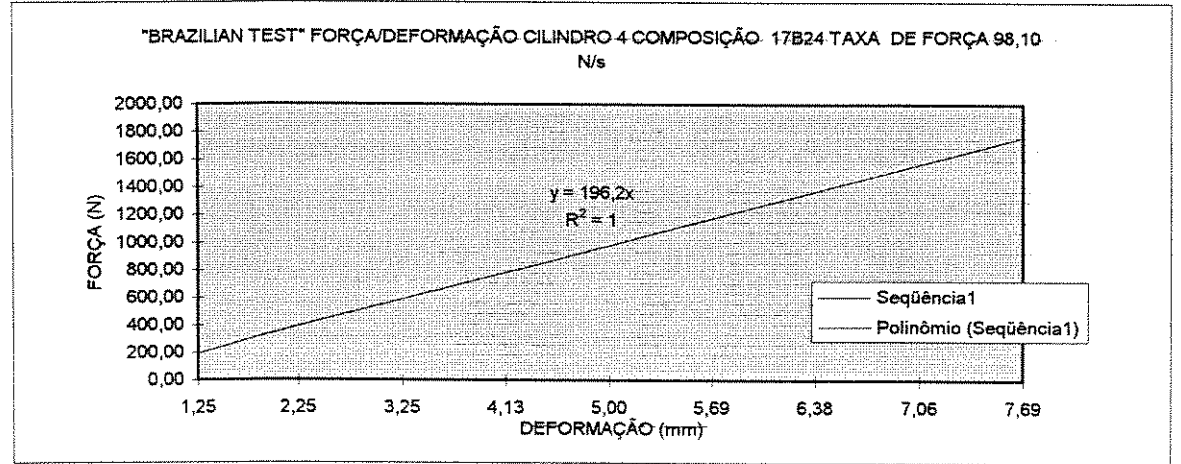
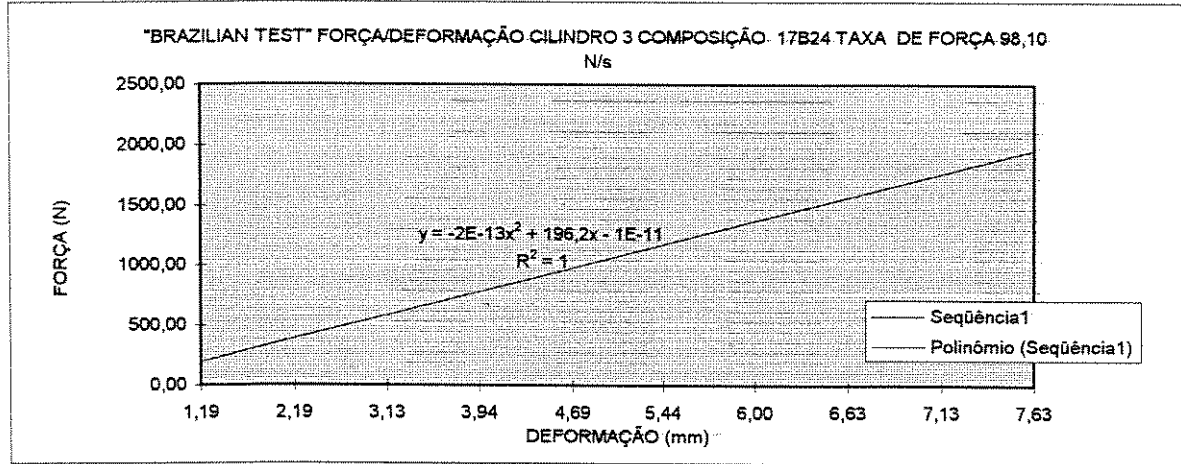
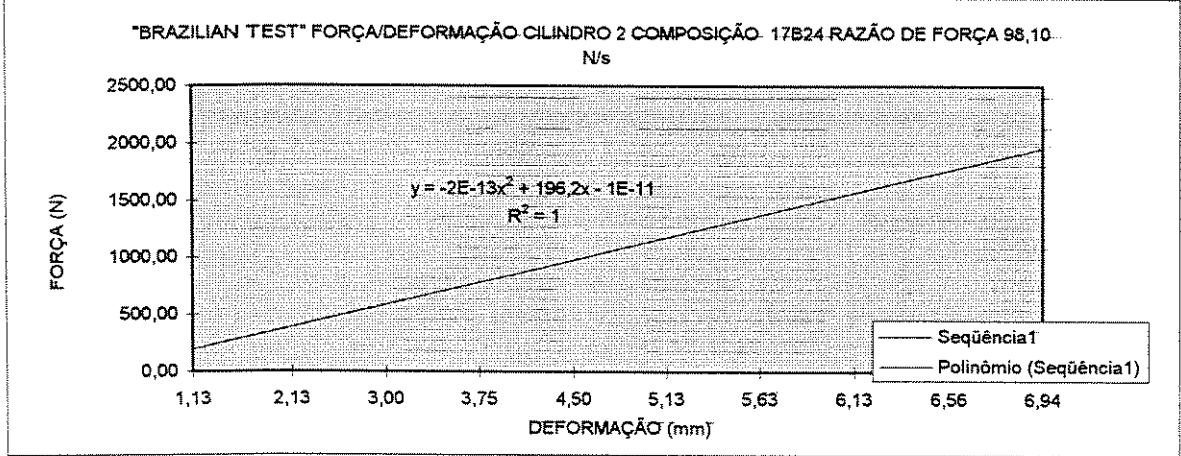
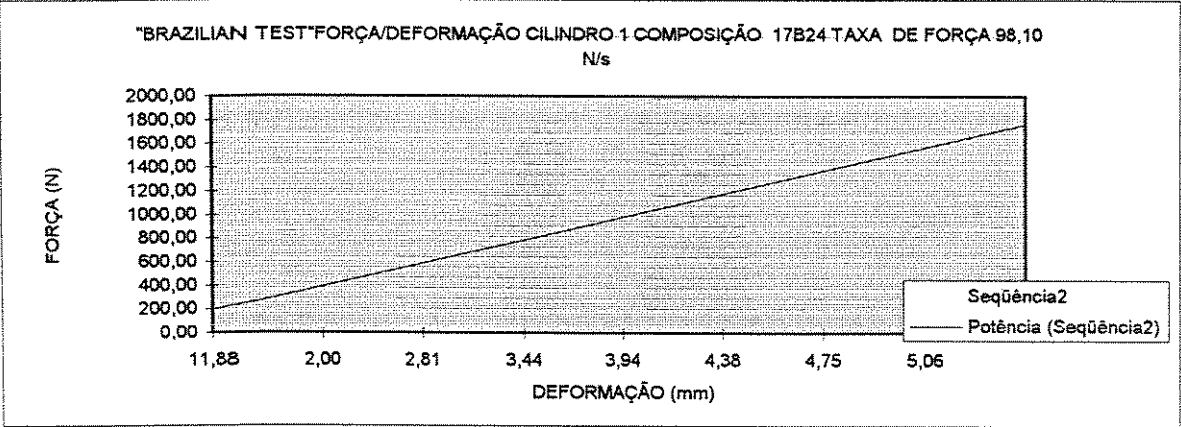
CILINDROS

“BRAZILIAN TEST”

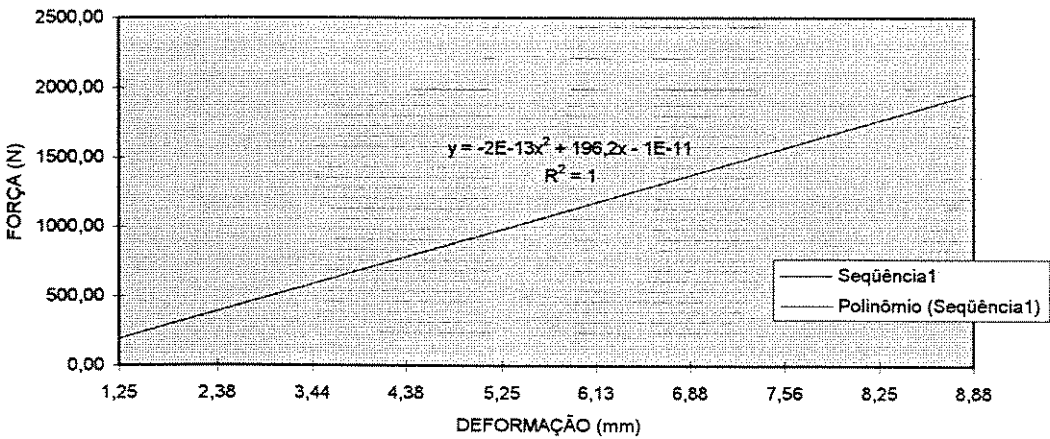
CILINDROS COMPOSIÇÃO 17B24				"BRAZILIAN TEST"		TAXA DE FORÇA: 98,1 N/s			
DIMENSÕES									
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
"MÓDULO DE ELASTICIDADE CALCULADO" E									
	5,32	5,32	5,28	5,09	5,50	6,70	5,60	5,30	5,70
5,30	5,24	5,21	5,16	4,98	5,26	5,84	5,13	5,18	5,21
5,21	5,06	4,98	4,97	4,86	5,19	5,20	4,90	4,98	4,98
4,98	5,01	4,97	4,92	4,82	5,19	5,03	4,86	4,97	4,97
4,96	4,97	4,93	4,90	4,76	5,18	5,00	4,80	4,95	4,95
4,95	4,95	4,93	4,86	4,70	5,16	5,00	4,76	4,94	4,95
4,93	4,94	4,93	4,86	4,61	5,12	5,00	4,70	4,94	4,49
4,93	4,94	4,92	4,84	4,61	5,11	4,94	4,68	4,94	4,86
	4,93	4,92	4,84	4,61	5,10	4,93	4,62	4,93	4,84
	4,93	4,92		4,60	5,10	4,93	4,62	4,93	4,83
						4,93	4,61	4,92	4,83
						4,93	4,60	4,92	4,83
							4,59	4,92	4,83
									4,83
									4,83
									4,83
									4,83
									4,82
MÉDIAS POR TAMANHOS									
4,61	5,03	5,00	4,96	4,76	5,19	5,20	4,80	4,99	4,91
MÉDIA GERAL: 4,981					DESVIO PADRÃO: 0,274				

GRÁFICO MOSTRA "Z" CALCULADO PARA CILINDROS DE COMPOSIÇÃO 17B24 TAXA DE FORÇA 98,1 N/s

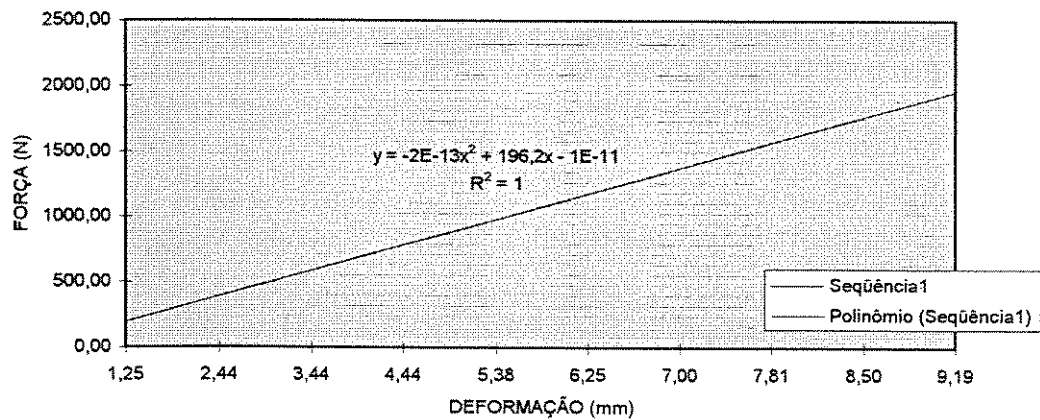




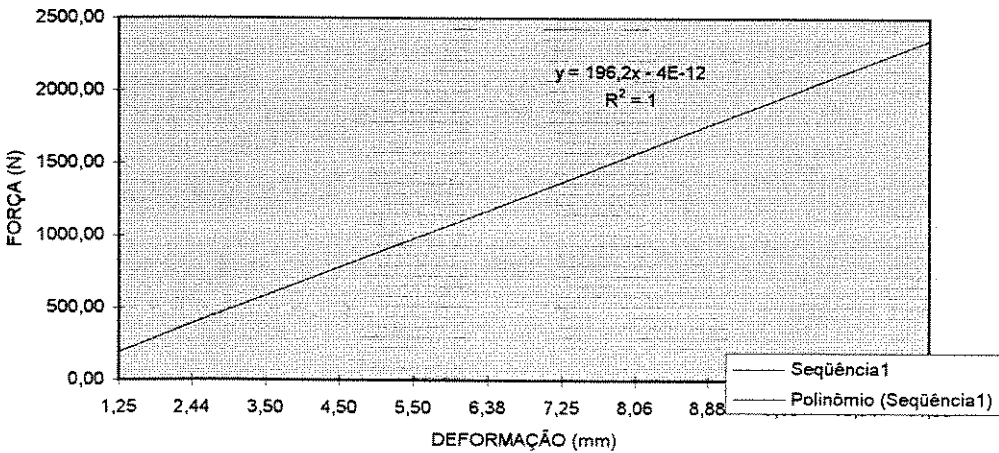
"BRAZILIAN TEST" FORÇA/DEFORMAÇÃO CILINDRO 5 COMPOSIÇÃO 17B24 TAXA DE FORÇA 98,10 N/s



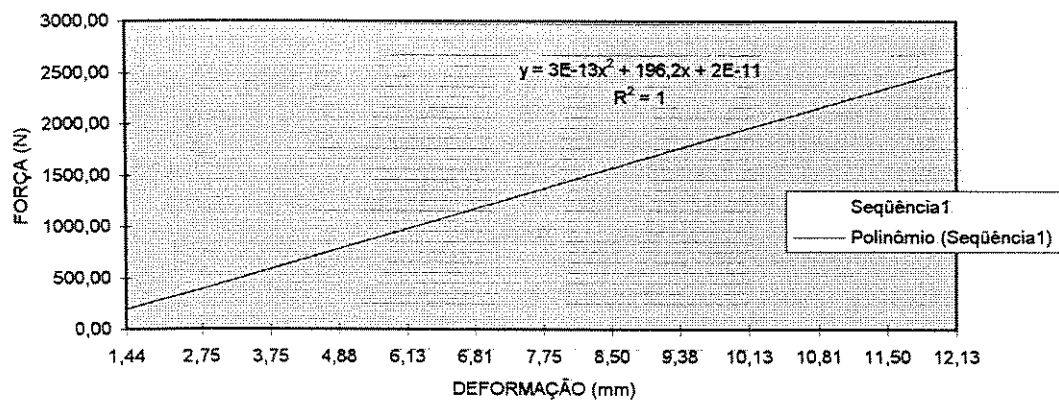
"BRAZILIAN TEST" FORÇA/DEFORMAÇÃO CILINDRO 6 COMPOSIÇÃO 17B24 TAXA DE FORÇA 98,10 N/s



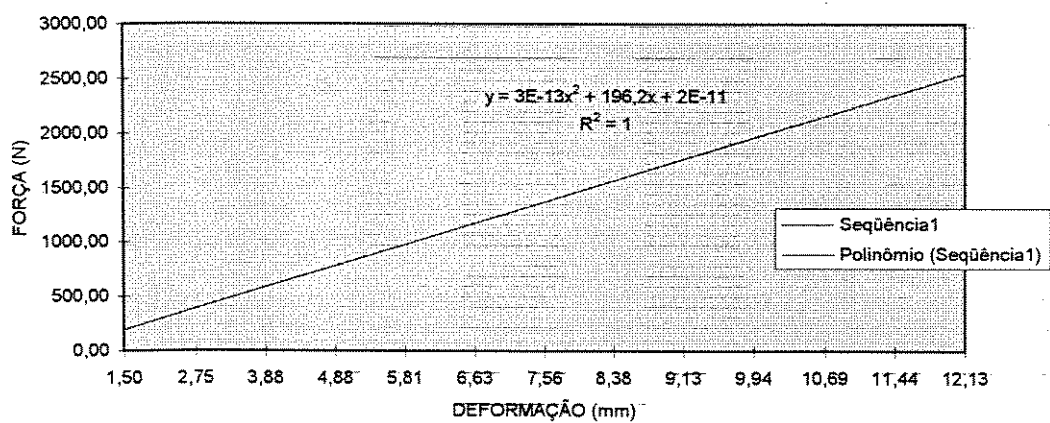
"BRAZILIAN TEST" FORÇA/DEFORMAÇÃO CILINDRO 7 COMPOSIÇÃO 17B24 TAXA DE FORÇA 98,10 N/s



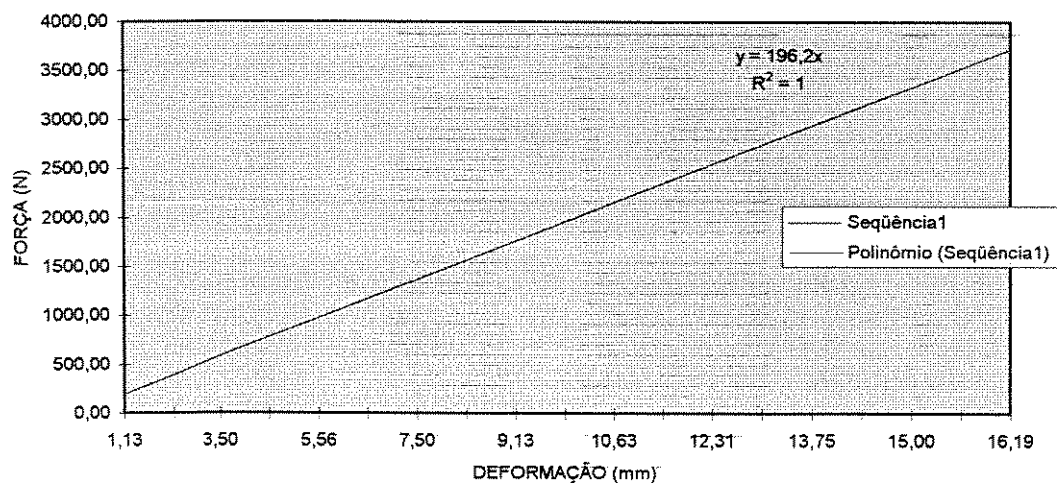
"BRAZILIAN TEST" FORÇA/DEFORMAÇÃO CILINDRO 8 COMPOSIÇÃO 17B24 TAXA DE FORÇA 98,10 N/s



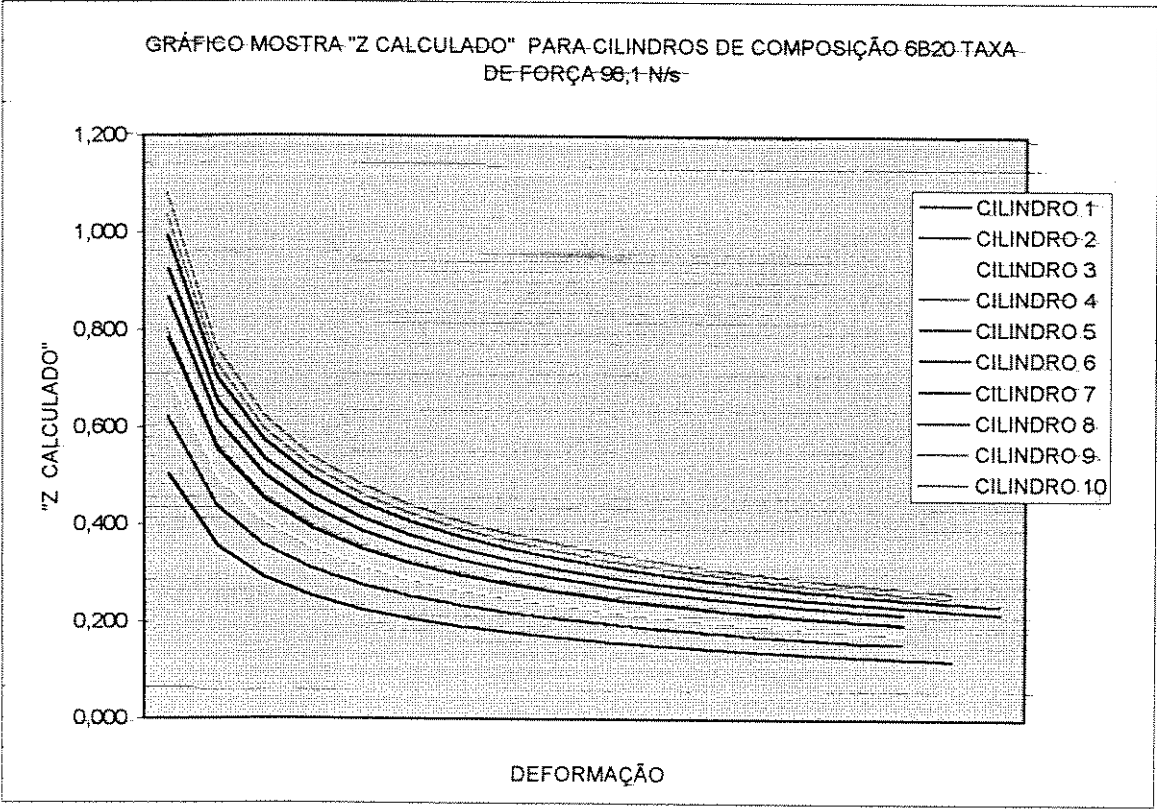
"BRAZILIAN TEST" FORÇA/DEFORMAÇÃO CILINDRO 9 COMPOSIÇÃO 17B24 TAXA DE FORÇA 98,10 N/s

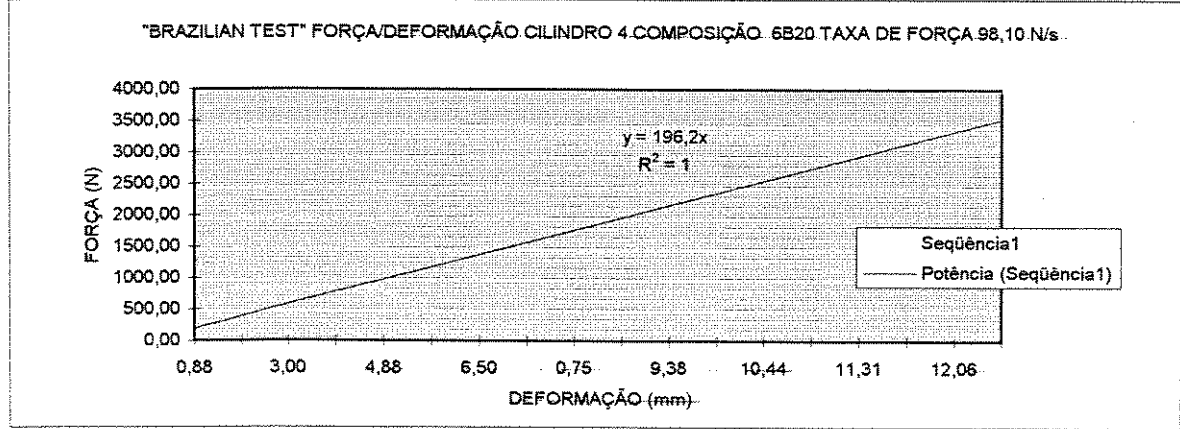
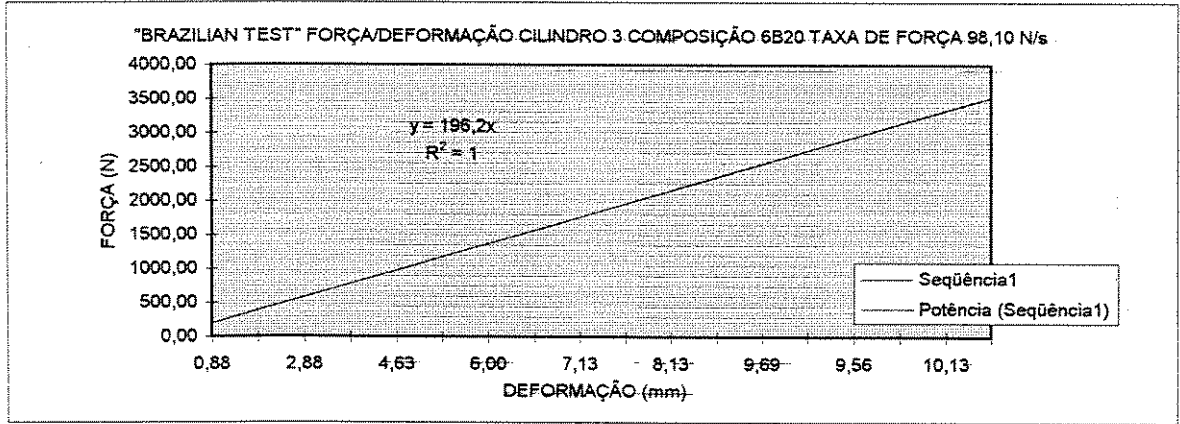
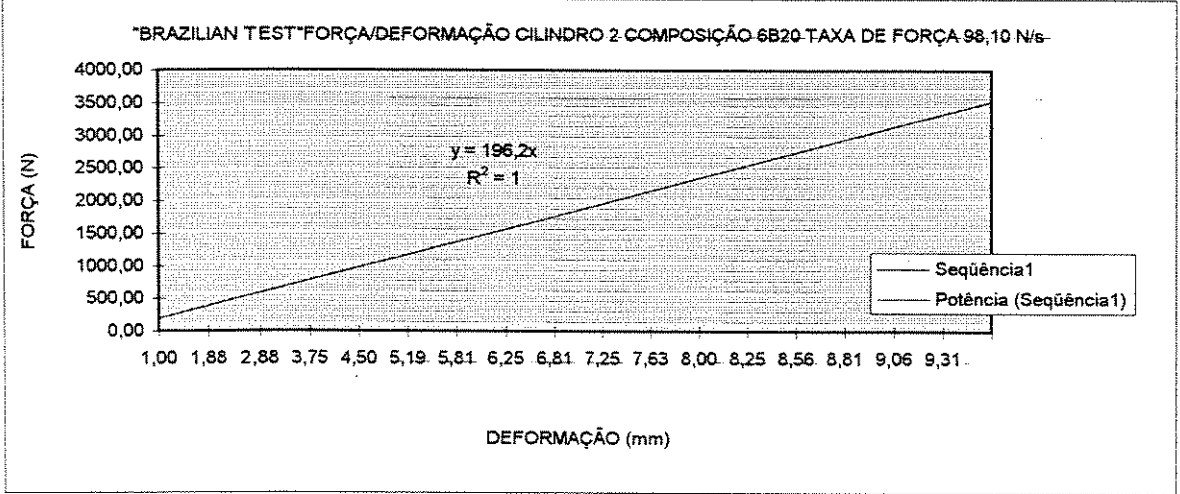
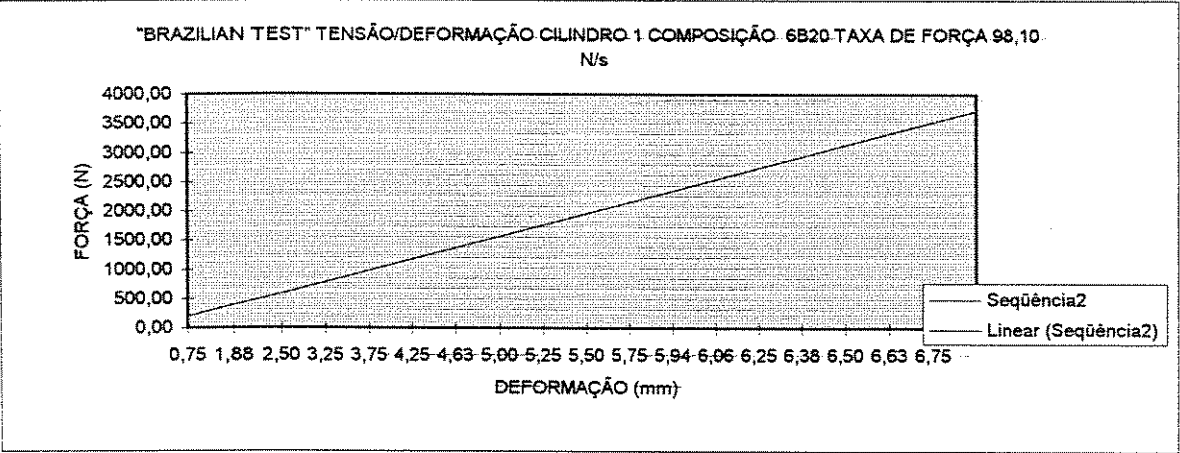


"BRAZILIAN TEST" FORÇA/DEFORMAÇÃO CILINDRO 10 COMPOSIÇÃO 17B24 TAXA DE FORÇA 98,10 N/s

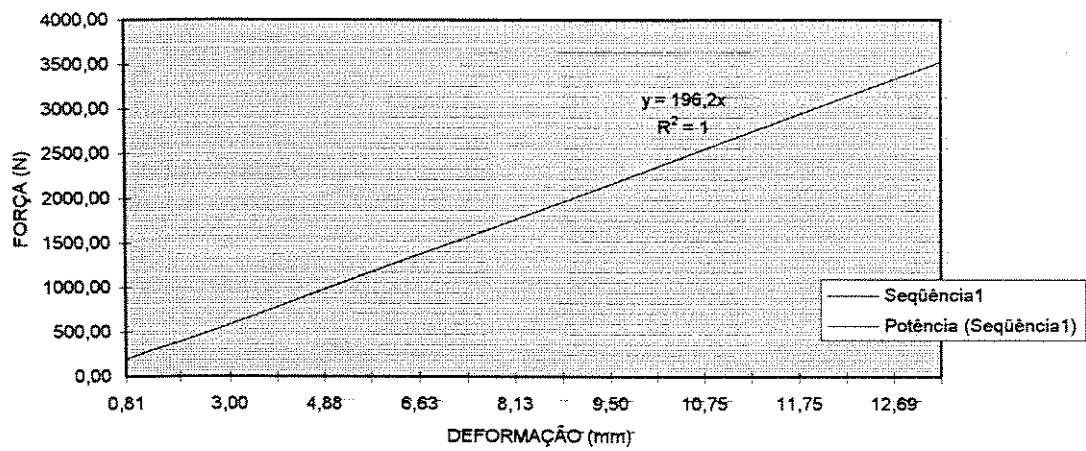


CILINDROS COMPOSIÇÃO 6B20 "BRAZILIAN TEST" TAXA DE FORÇA: 98,1 N									
DIMENSÕES									
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
"MÓDULO DE ELASTICIDADE CALCULADO" E									
6,68	6,87	7,93	8,35	6,84	7,36	7,09	7,65	7,60	7,36
6,43	6,70	7,80	8,03	6,49	6,97	6,95	7,24	7,20	7,10
6,27	5,61	7,56	7,49	6,35	6,76	6,93	6,89	6,79	6,72
6,21	6,30	7,03	7,25	6,09	6,57	6,81	6,69	6,59	6,68
6,18	6,29	6,70	7,09	5,98	6,35	6,59	6,59	6,51	6,59
6,06	6,17	6,78	6,89	5,92	6,29	6,57	6,49	6,48	6,50
6,05	6,07	6,75	6,87	5,86	6,16	6,49	6,59	6,48	6,43
6,00	6,02	6,70	6,78	5,85	6,11	6,48	6,50	6,49	6,43
5,97	5,98	6,66	6,80	5,82	6,09	6,48	6,48	6,47	6,43
5,95	5,97	6,63	6,81	5,56	6,08	6,40	6,48	6,47	6,39
5,94	5,94	6,63	6,80	5,52	6,08	6,40	6,47	6,47	6,37
5,95	5,93	6,64	6,80	5,55	6,08	6,30	6,46	6,39	6,37
5,94	5,98	6,64	6,80	5,40	6,05	6,20	6,46	6,38	6,36
5,94	5,94	6,23	6,80	5,40	6,05	6,20	6,46	6,36	6,36
5,94	5,94	6,23	6,80	5,40	6,04	6,20	6,46	6,35	6,35
5,93	5,94	6,22	6,79	5,41	6,40	6,20	6,45		
5,93									
MÉDIAS POR TAMANHO									
6,08	6,10	6,82	7,07	5,84	6,34	6,52	6,65	6,60	6,56
M'DIA GERAL: 6,454					DESVIO PADRÃO: 0,508				

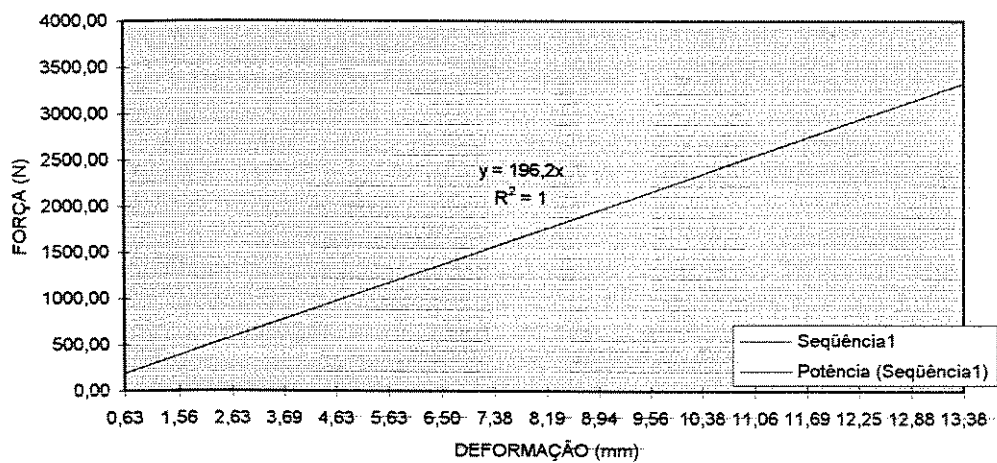




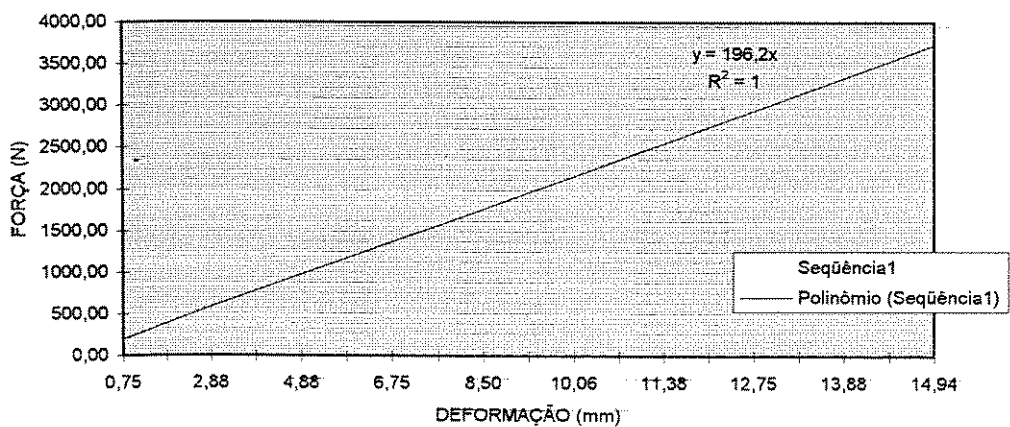
"BRAZILIAN TEST" FORÇA/DEFORMAÇÃO CILINDRO 5 COMPOSIÇÃO 6B20 TAXA DE FORÇA 98,10 N/s



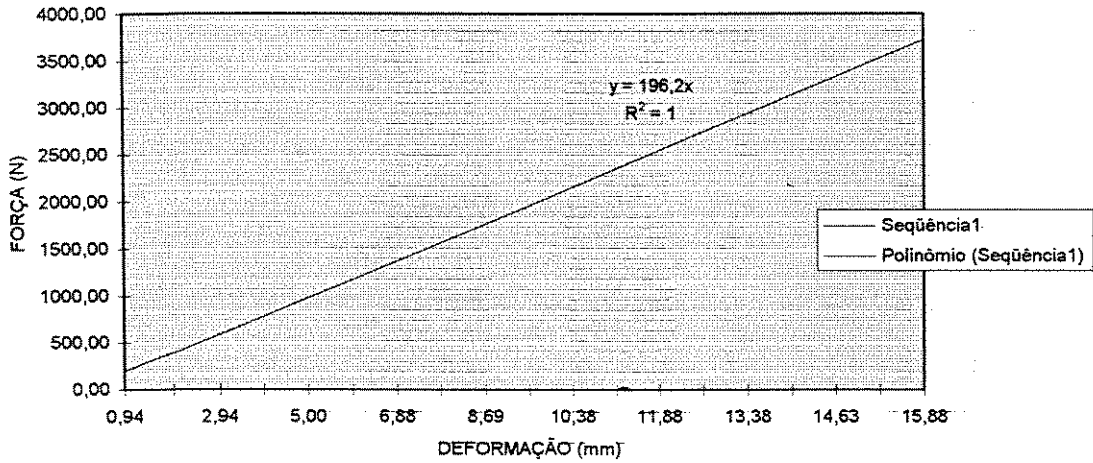
"BRAZILIAN TEST" FORÇA/DEFORMAÇÃO CILINDRO 6 COMPOSIÇÃO 6B20 TAXA DE FORÇA 98,10 N/s



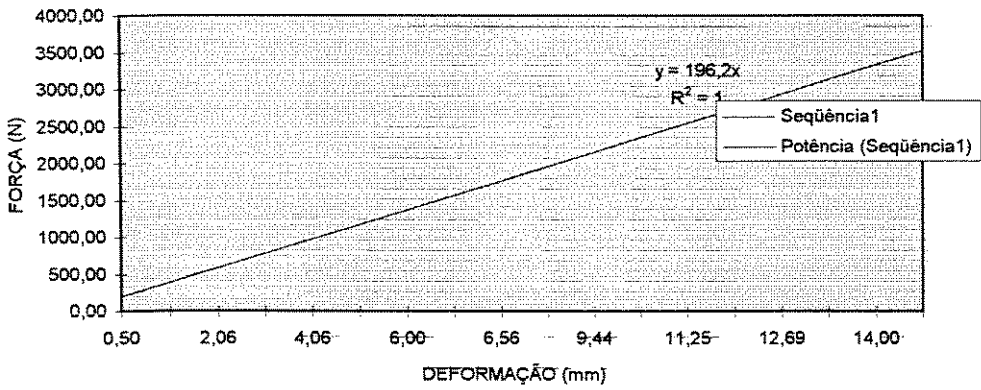
"BRAZILIAN TEST" FORÇA/DEFORMAÇÃO CILINDRO 7 COMPOSIÇÃO 6B20 TAXA DE FORÇA 98,10 N/s



"BRAZILIAN TEST" FORÇA/DEFORMAÇÃO CILINDRO 8 COMPOSIÇÃO 6B20 TAXA DE FORÇA 98,10 N/s



"BRAZILIAN TEST" FORÇA/DEFORMAÇÃO CILINDRO 9 COMPOSIÇÃO 6B20 TAXA DE FORÇA 98,10 N/s



"BRAZILIAN TEST" FORÇA/DEFORMAÇÃO CILINDRO 10 COMPOSIÇÃO 6B20 TAXA DE FORÇA 98,10 N/s

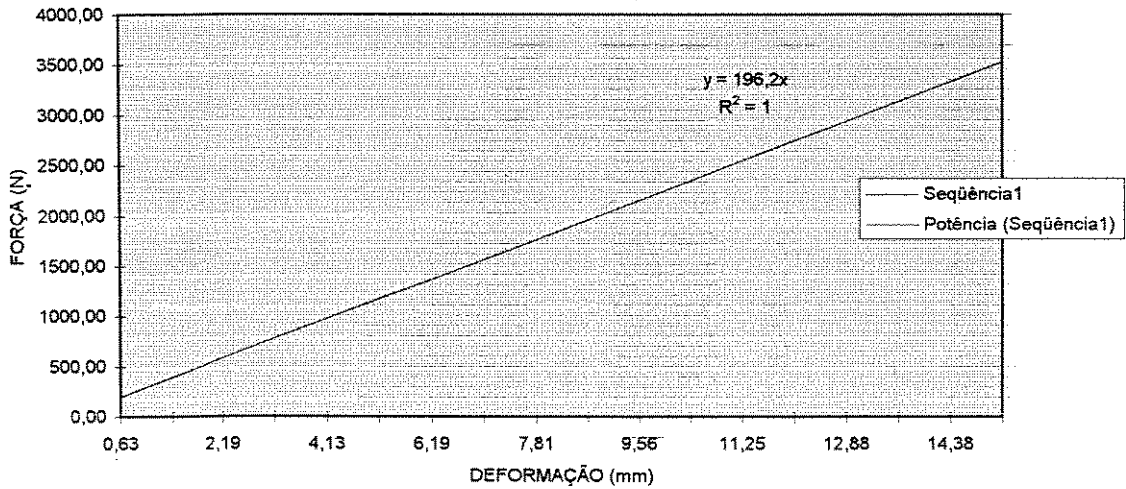
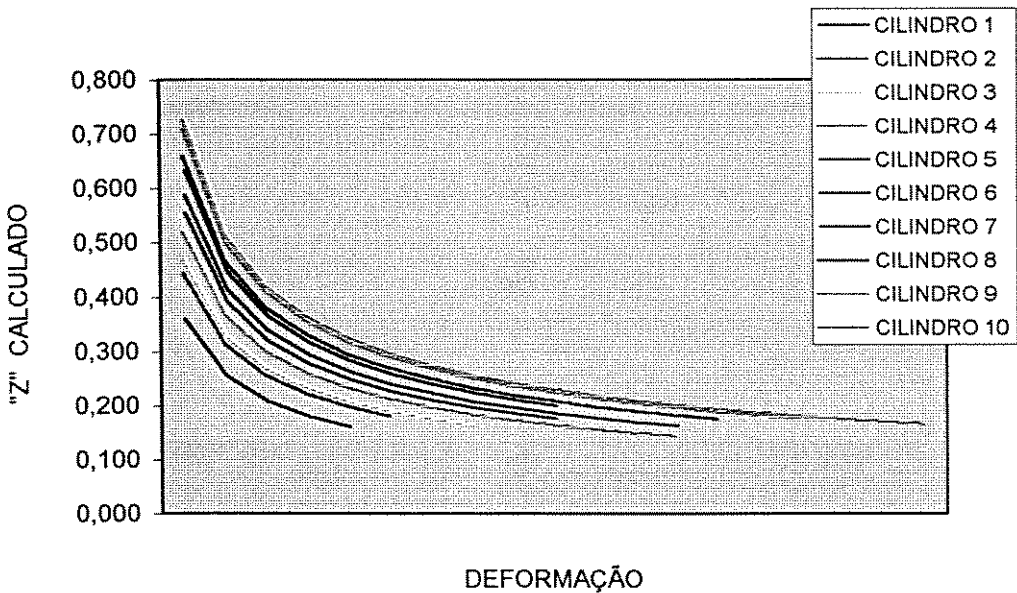
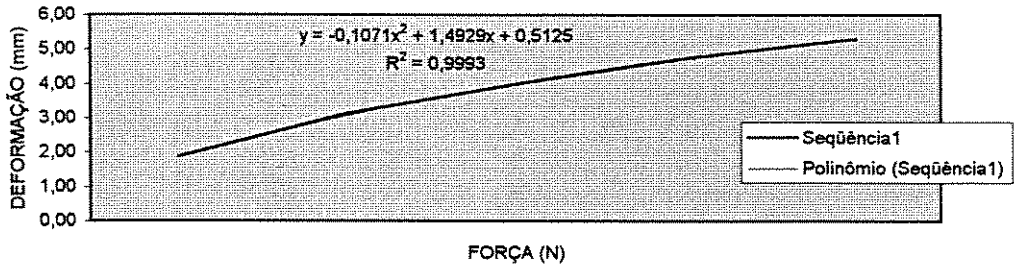


GRÁFICO MOSTRA COMPORTAMENTO DE "Z" CALCULADO PARA CILINDROS DE COMPOSIÇÃO 114 TAXA DE FORÇA 98,1 N/s

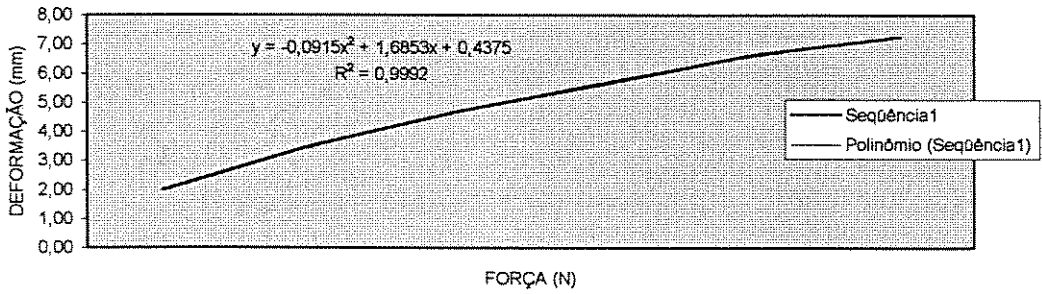


CILINDROS COMPOSIÇÃO 114 BRAZILIAN TEST TAXA DE FORÇA 98,1 N/s									
DIMENSÕES									
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
MÓDULO DE ELASTICIDADE CALCULADO "E"									
3,12	3,25	3,10	2,99	3,09	3,12	3,09	3,09	3,18	3,00
3,26	3,16	3,06	3,10	3,07	3,09	3,08	3,06	3,11	2,99
3,06	3,14	2,98	2,99	3,01	3,06	3,03	3,02	3,11	2,98
3,01	3,10	2,97	2,98	2,99	2,99	2,98	2,99	3,08	2,98
3,00	3,09	2,96	2,97	2,99	2,97	2,98	2,97	3,06	2,98
	3,09	2,96	2,97	3,00	2,97	2,99	2,97	3,00	2,97
		2,96	2,97	3,00	2,97	2,97	2,96	2,99	2,97
		2,95	2,95	3,00	2,96	2,97	2,95	2,98	2,96
			2,95	2,98	2,96	2,98	2,97	2,98	2,95
			2,95	2,98	2,97	2,98	2,97	2,97	2,96
			2,96		2,97		2,97	2,98	2,95
			2,96		2,98		2,96	2,96	2,97
			2,96		2,98		2,95	2,97	2,98
							2,97	2,98	2,96
								2,99	2,96
								2,98	2,96
									2,97
									2,98
									2,99
MÉDIAS POR TAMANHO									
3,09	3,14	2,99	2,98	3,01	3,00	3,00	2,98	3,02	2,97
MÉDIA GERAL: 3,01					DESVIO PADRÃO: 0,63				

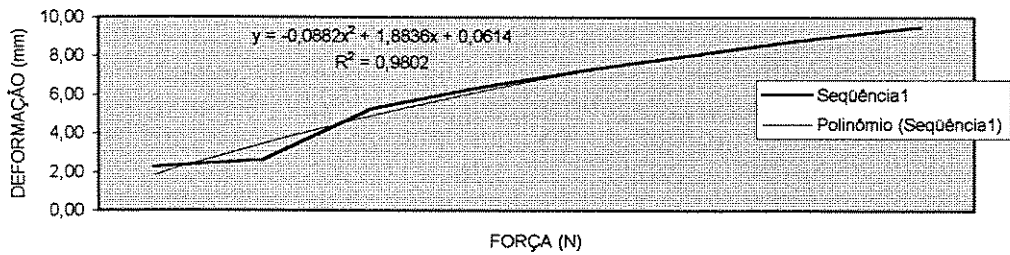
FORÇA/DEFORMAÇÃO CILINDRO 1 COMPOSIÇÃO 114 "BRAZILIAN TEST" TAXA DE FORÇA 98,1 N/s.



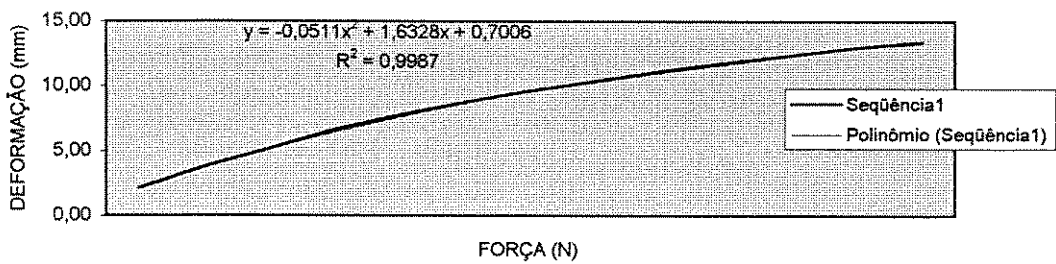
FORÇA/DEFORMAÇÃO CILINDRO 2 COMPOSIÇÃO 114 "BRAZILIAN TEST" TAXA DE FORÇA 98,1 N/s.



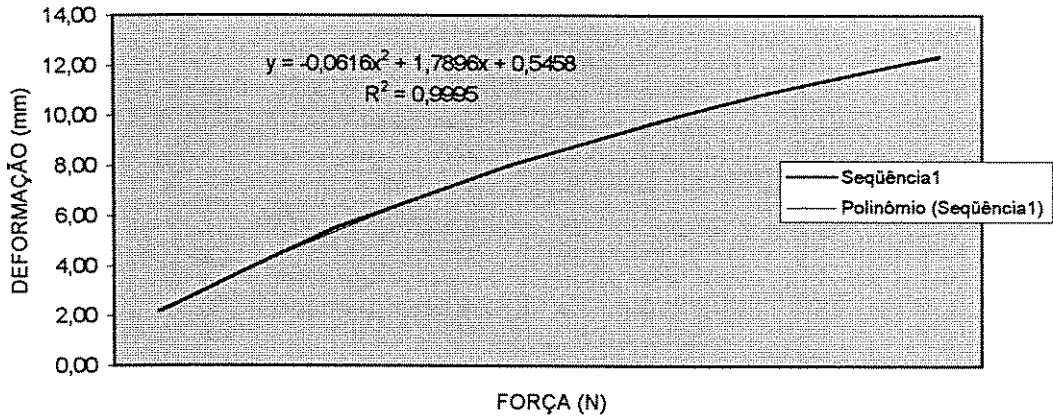
FORÇA/DEFORMAÇÃO CILINDRO 3 COMPOSIÇÃO 114 "BRAZILIAN TEST" TAXA DE FORÇA 98,1 N/s.



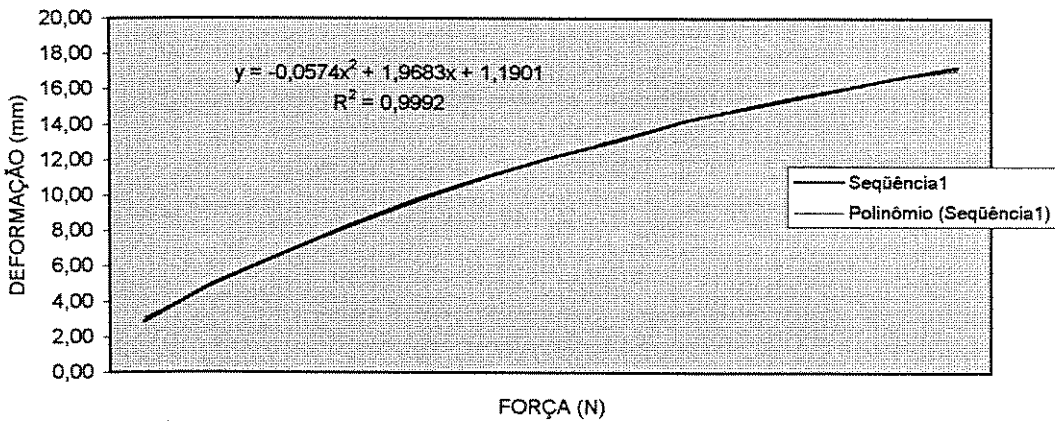
FORÇA/DEFORMAÇÃO CILINDRO 4 COMPOSIÇÃO 114 "BRAZILIAN TEST" TAXA DE FORÇA 98,1 N/s.



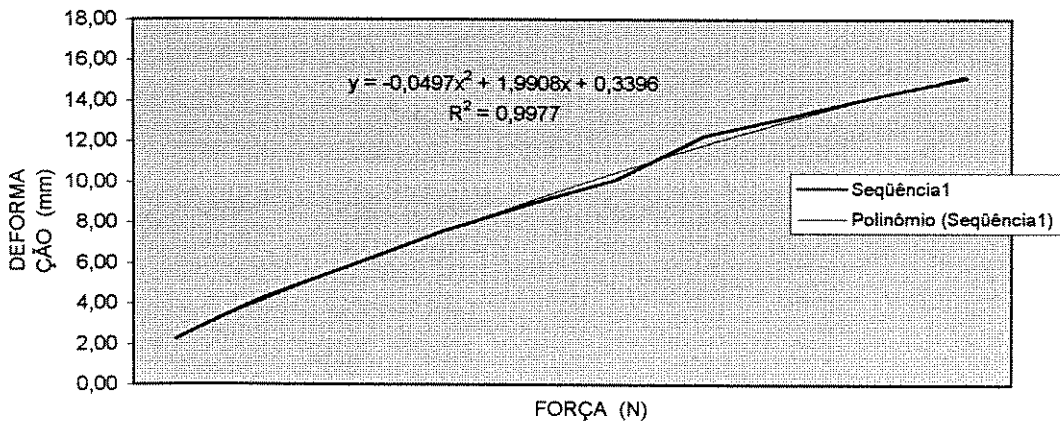
FORÇA/DEFORMAÇÃO CILINDRO 5 COMPOSIÇÃO 114 "BRAZILIAN TEST" TAXA DE FORÇA 98,1 N/s.



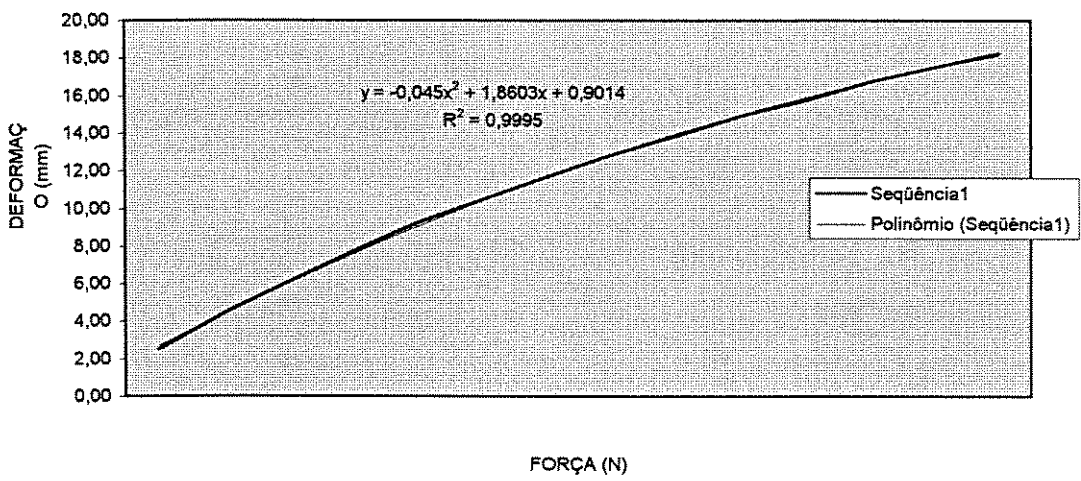
FORÇA /DEFORMAÇÃO CILINDRO 6 COMPOSIÇÃO 114 "BRAZILIAN TEST" TAXA DE FORÇA 98,1 N/s.



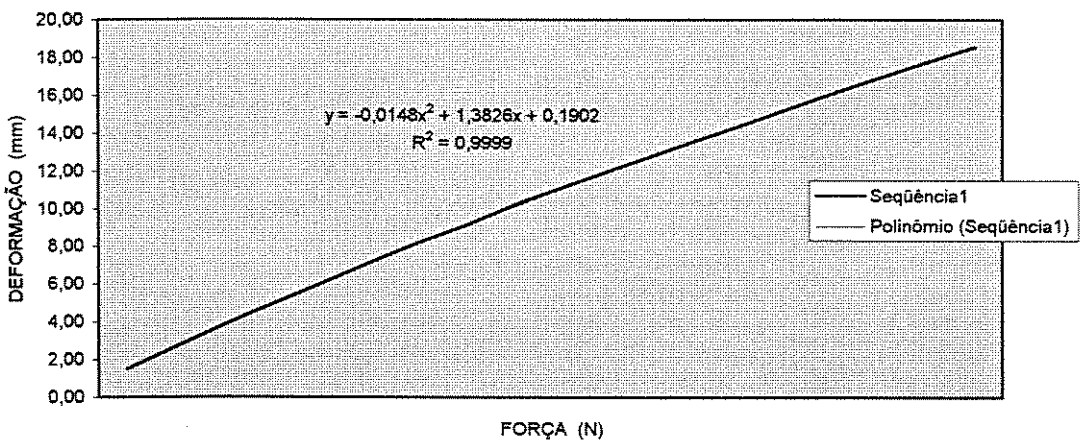
FORÇA/DEFORMAÇÃO CILINDRO 7 COMPOSIÇÃO 114 "BRAZILIAN TEST" TAXA DE FORÇA 98,1 N/s.



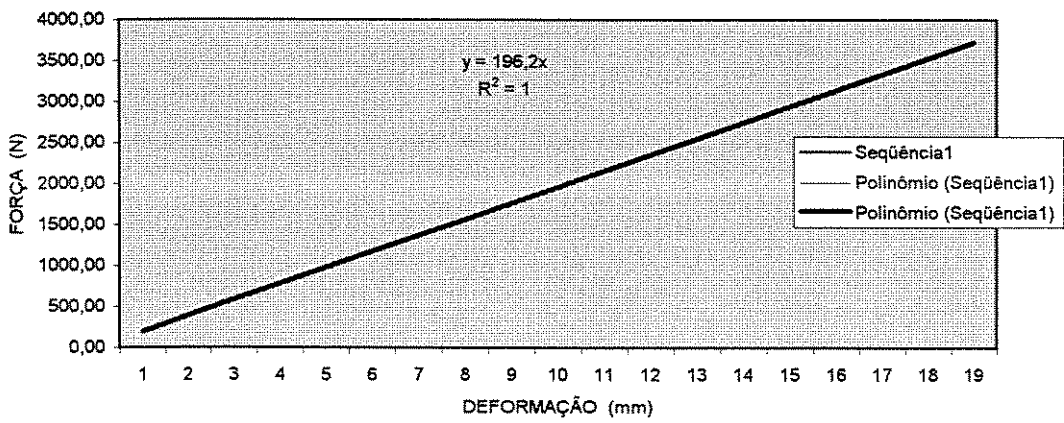
FORÇA/DEFORMAÇÃO CILINDRO 8 COMPOSIÇÃO 114 "BRAZILIAN TEST" TAXA DE FORÇA 98,1 N/s.



FORÇA/DEFORMAÇÃO CILINDRO 9 COMPOSIÇÃO 114 "BRAZILIAN TEST" TAXA DE FORÇA 98,1 N/s.



FORÇA/DEFORMAÇÃO CILINDRO 10 COMPOSIÇÃO 114 "BRAZILIAN TEST" TAXA DE FORÇA 98,1 N/s.



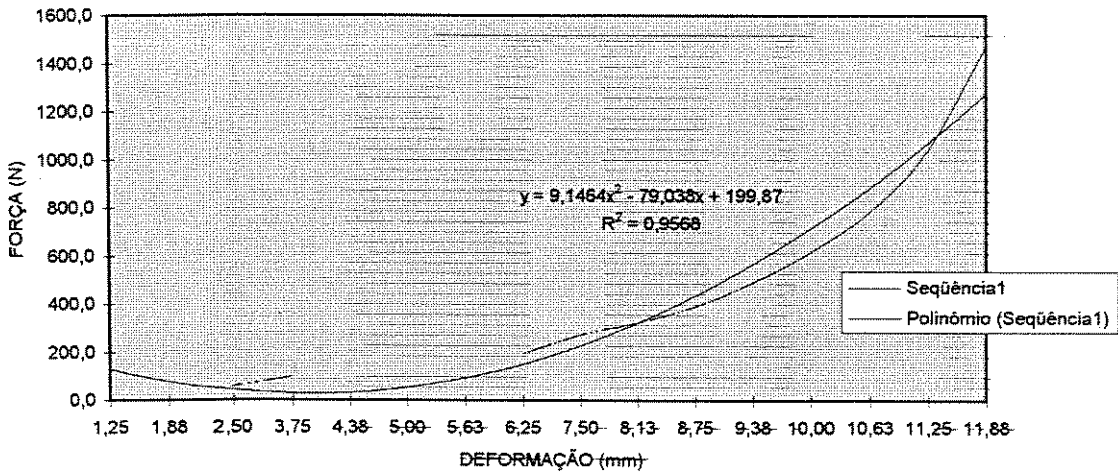
APÊNDICE V

TAXA DE DEFORMAÇÃO 1,25 mm/s

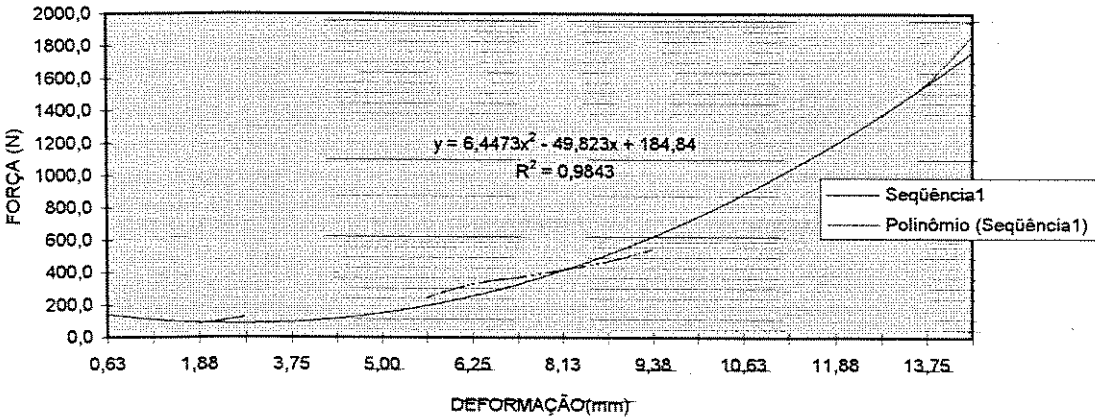
ESFERAS

ESFERAS COMPOSIÇÃO 6B20				TAXA DE DEFORMAÇÃO: 1,25 mm/s					
DIMENSÕES									
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
"MÓDULO DE ELASTICIDADE CALCULADO" E									
4,15									
2,94	3,84								
2,66	3,02	3,85	3,92	3,62	3,95	4,32	5,04	4,04	3,61
2,60	3,01	3,34	3,43	3,17	3,57	3,85	4,36	3,75	4,06
2,48	2,70	3,09	2,73	3,61	3,35	3,57	3,90	3,35	3,68
2,64	2,79	2,88	3,25	3,26	2,97	3,34	3,61	3,27	3,49
2,76	2,76								
2,99	2,80	2,82	2,86	3,14	2,79	3,06	3,43	3,12	3,74
3,37	2,82								
3,86	2,98	2,85	2,92	2,99	2,72	2,94	3,15	3,05	3,54
4,47									
5,44	3,30	3,01	2,90	2,96	2,64	2,90	3,11	3,00	3,34
7,09									
		3,17	2,90	2,91	2,60	2,82	2,96	2,92	3,20
	4,63	3,51	3,07	2,94	2,57	2,74	2,93	2,88	3,07
	4,95								
	5,51	3,96	3,30	3,05	2,55	2,70	2,86	2,89	3,02
		4,65	3,58	3,15	2,49	2,70	2,84	2,85	2,96
		4,89	4,08	3,32	2,64	2,75	2,83	2,85	2,89
				3,56	2,73	2,69	2,87	2,88	2,86
				3,89	2,86	2,81	2,87	2,93	2,85
					3,03	2,89	2,95	2,99	2,83
					3,27	2,98	3,02	3,09	2,84
					3,64	3,12	3,10	3,21	2,86
						3,77	3,25	3,37	3,31
						3,98	3,40	3,50	3,32
							3,77	3,63	3,36
									3,19
									3,48
									3,85
MÉDIAS POR TAMANHOS									
3,65	3,47	3,50	3,25	3,25	2,96	3,15	3,31	3,17	3,28
MÉDIA GERAL: 3,28					DESVIO PADRÃO: 0,64				

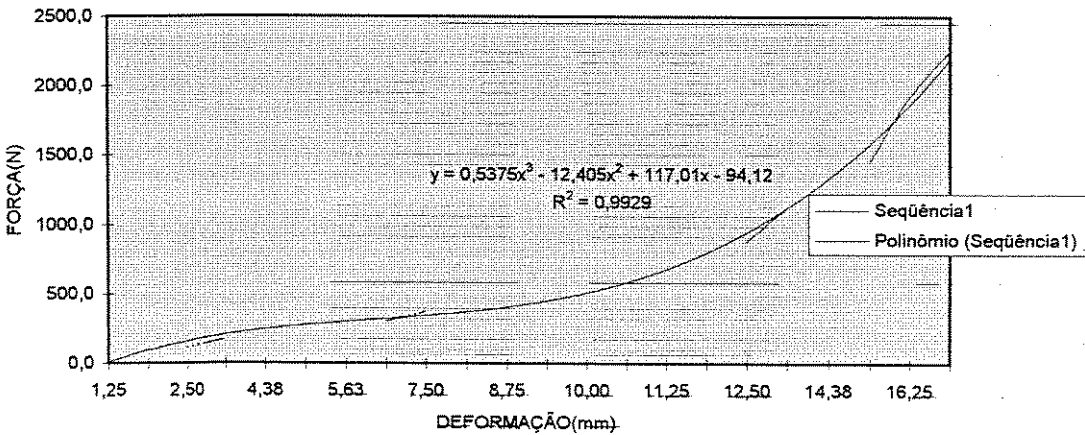
FORÇA/DEFORMAÇÃO ESFERA 1 COMPOSIÇÃO- 6B20 TAXA DE DEFORMAÇÃO 1,25 mm/s



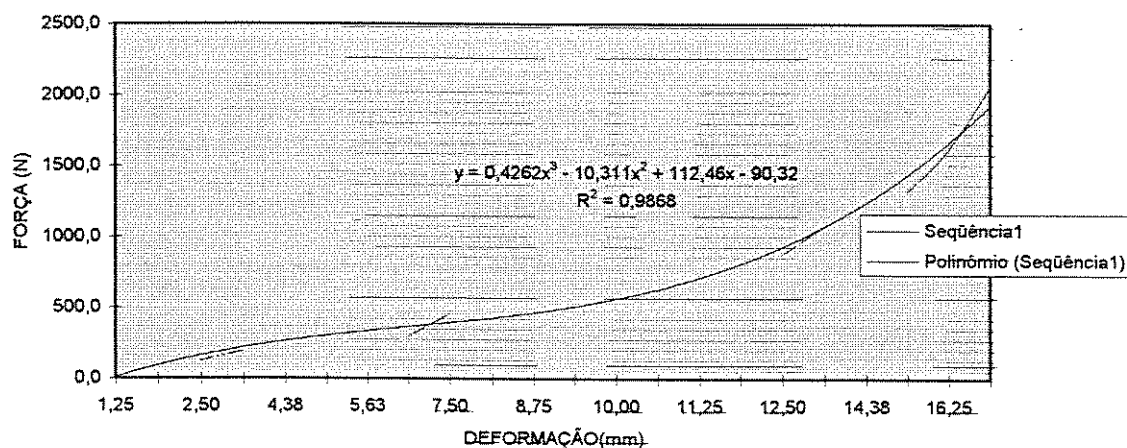
FORÇA/DEFORMAÇÃO ESFERA 2 COMPOSIÇÃO- 6B20 TAXA DE DEFORMAÇÃO 1,25 mm/s



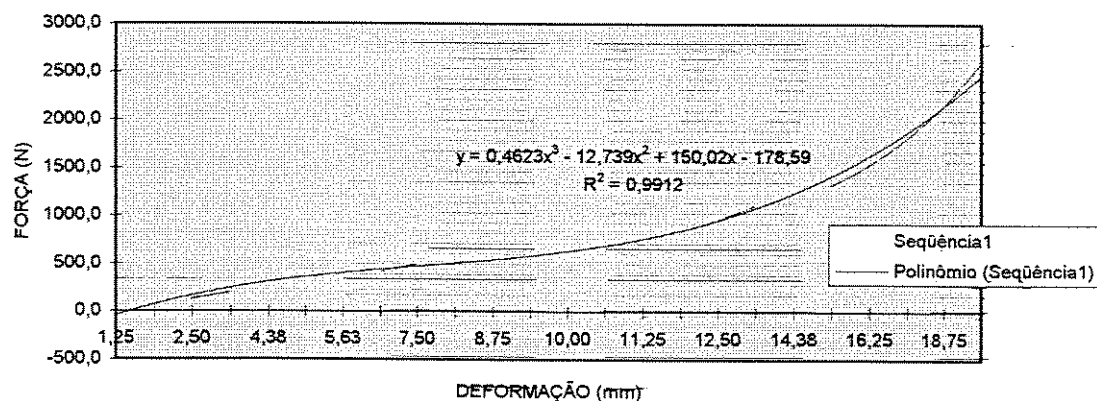
FORÇA/DEFORMAÇÃO ESFERA 3 COMPOSIÇÃO- 6B20 TAXA DE DEFORMAÇÃO 1,25 mm/s



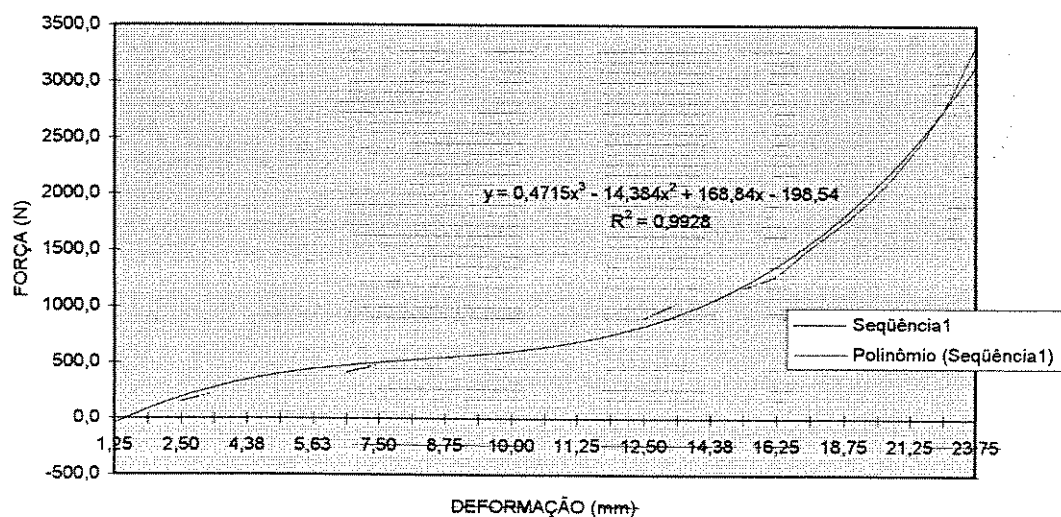
FORÇA/DEFORMAÇÃO ESFERA 4 COMPOSIÇÃO- 6B20 TAXA DE DEFORMAÇÃO 1,25 mm/s

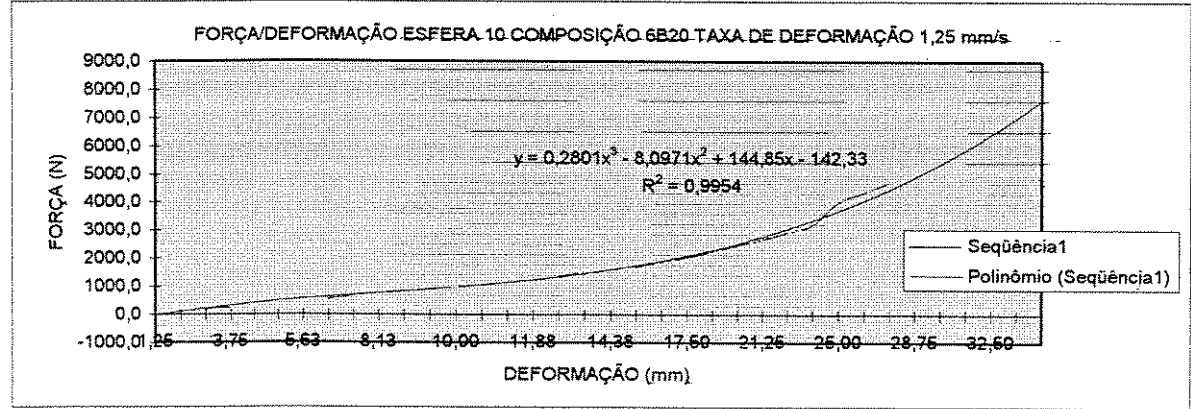
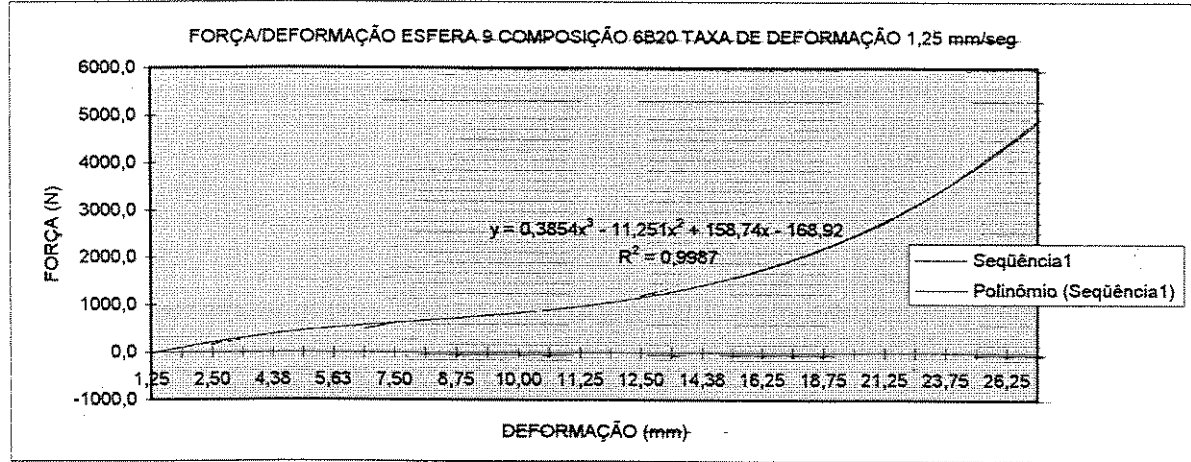
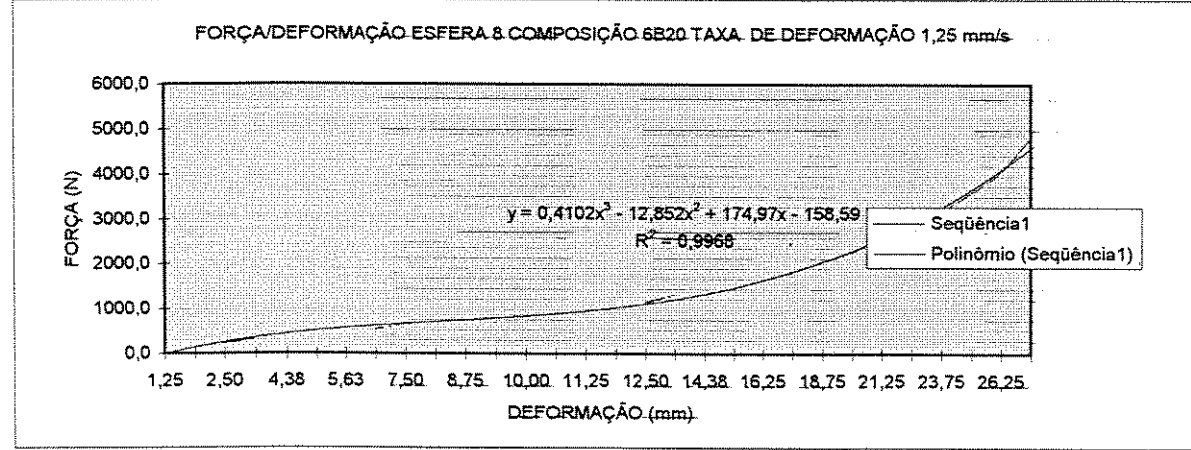
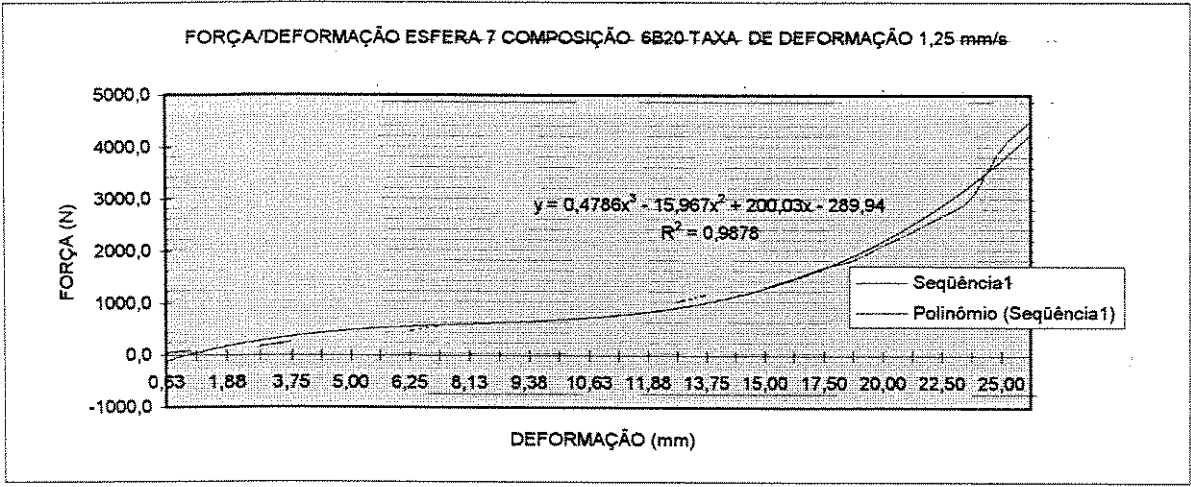


FORÇA/DEFORMAÇÃO ESFERA 5 COMPOSIÇÃO- 6B20 TAXA DE DEFORMAÇÃO 1,25 mm/s



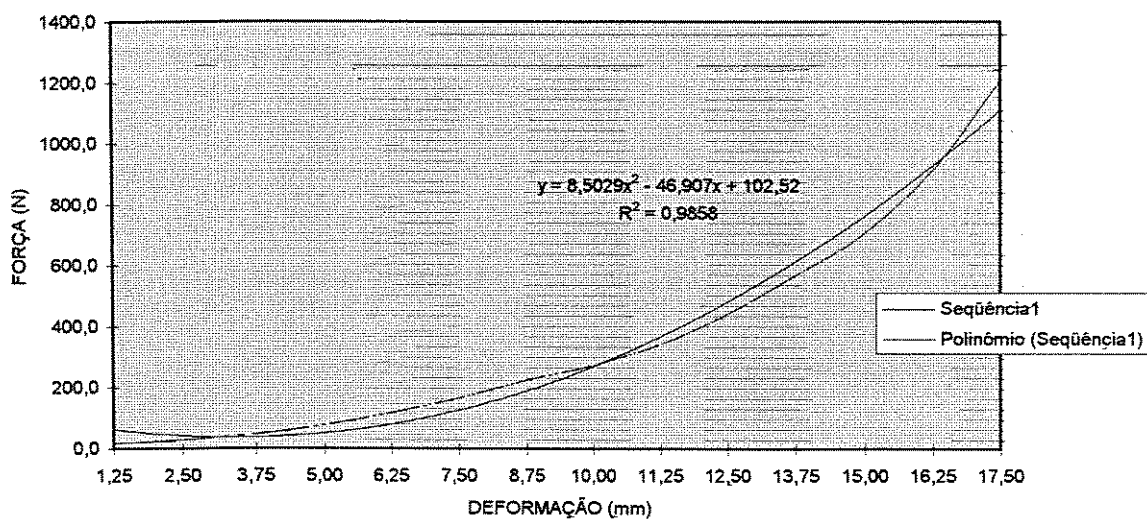
FORÇA/DEFORMAÇÃO ESFERA 6 COMPOSIÇÃO- 6B20 TAXA DE DEFORMAÇÃO 1,25 mm/s



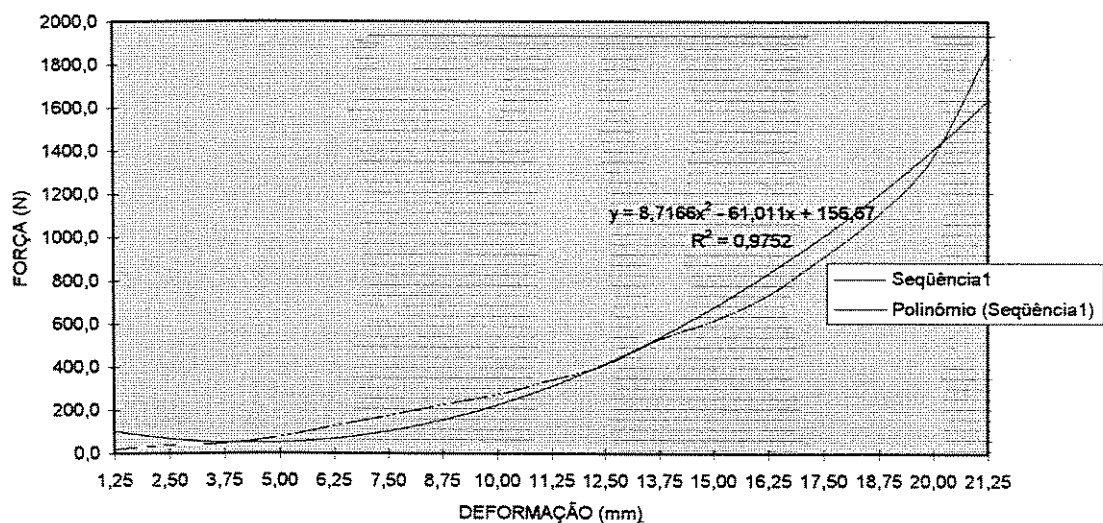


ESFERAS COMPOSIÇÃO 114					TAXA DE DEFORMAÇÃO: 1,25 mm/s				
DIMENSÕES									
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
"MÓDULO DE ELASTICIDADE CALCULADO" E									
4,28	3,64	2,23	2,04	1,88	2,68	4,19			
		1,18	1,44	1,33	1,58	2,37	1,68		
2,20	1,87	1,07	0,98	0,91	1,20	1,61			
		1,12	1,02	0,94	1,12	1,46	1,29		1,18
2,04	1,74	1,20	1,19	1,18	1,36	1,42			
		1,29	1,25	1,28	1,28	1,31	1,29		1,23
2,54	1,90	1,39	1,27	1,22	1,25	1,27			
		1,38	1,26	1,25	1,38	1,22	1,29		1,28
4,65	2,25	1,45	1,32	1,33	1,32	1,24			
		1,59	1,36	1,28	1,30	1,24	1,28		1,30
	3,09	1,77	1,51	1,29	1,35	1,28			
		1,93	1,55	1,34	1,40	1,29	1,33		1,34
		2,21	1,63	1,39	1,43	1,32			
		2,62	1,81	1,46	1,67	1,36	1,36		1,38
			1,99	1,52	1,58	1,37			
			2,23	1,63	1,65	1,41	1,42		1,42
			2,77	1,79	1,80	1,47			
				1,95	1,86	1,51	1,53		1,48
				2,14	1,99	1,62			
				2,56	2,18	1,67	1,63		1,56
					2,50	1,77			
						1,91	1,76		1,61
						2,03			
						2,31	1,97		1,72
							2,44		1,82
MÉDIAS POR TAMANHOS									
3,14	2,51	1,60	1,57	1,48	1,61	1,65	1,56		1,44
MÉDIA GERAL: 1,67					DESVIO PADRÃO: 0,6				

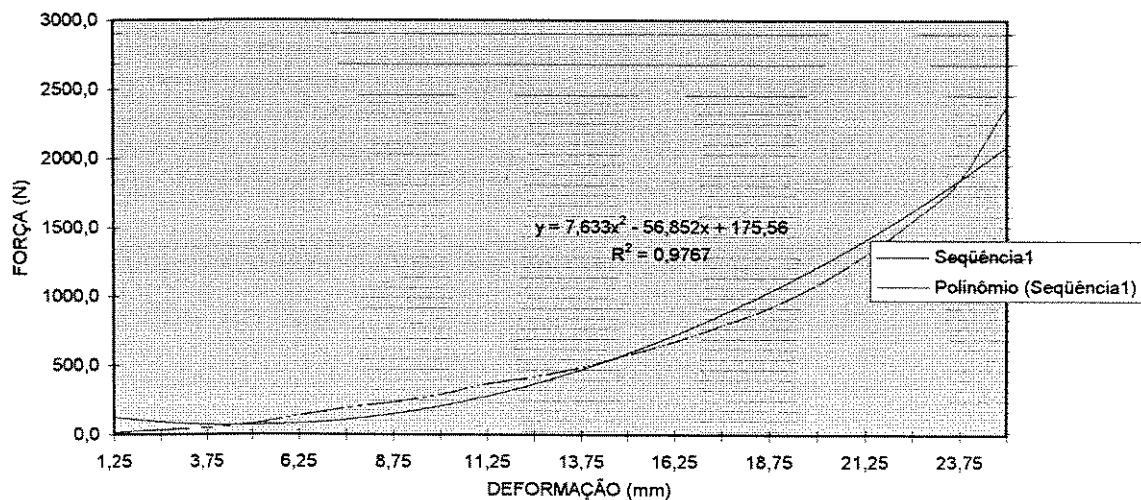
FORÇA/DEFORMAÇÃO ESFERA 3 COMPOSIÇÃO 114 TAXA DE DEFORMAÇÃO 1.25 mm/s

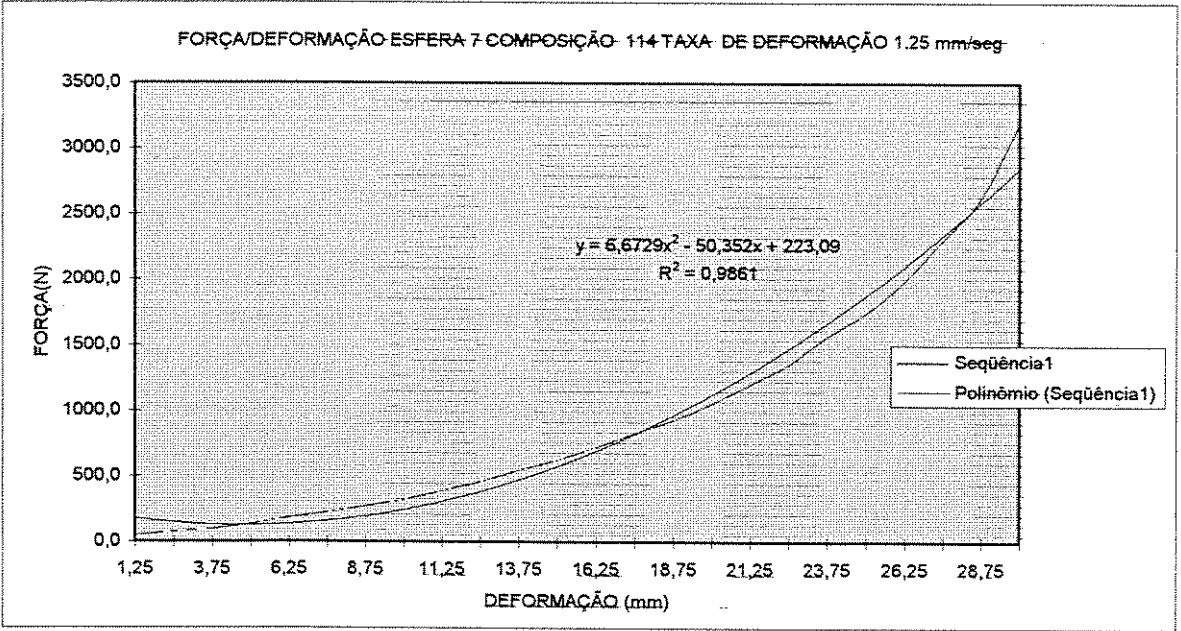
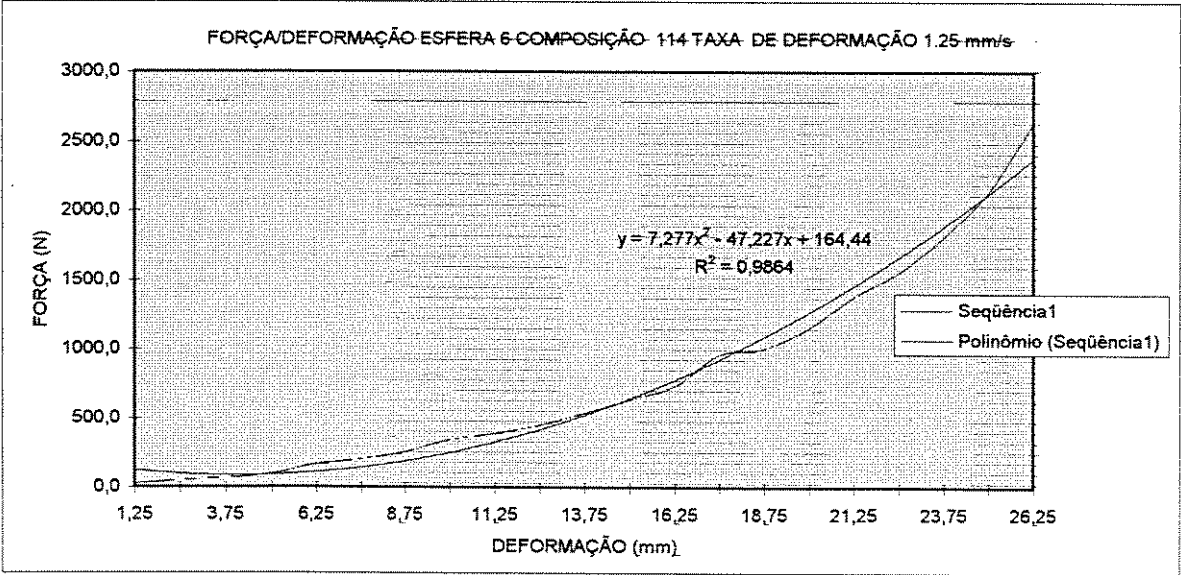


FORÇA/DEFORMAÇÃO ESFERA 4 COMPOSIÇÃO 114 TAXA DE DEFORMAÇÃO 1.25 mm/s



FORÇA/DEFORMAÇÃO ESFERA 5 COMPOSIÇÃO 114 TAXA DE DEFORMAÇÃO 1.25 mm/s





DEFORMAÇÃO CONTROLADA

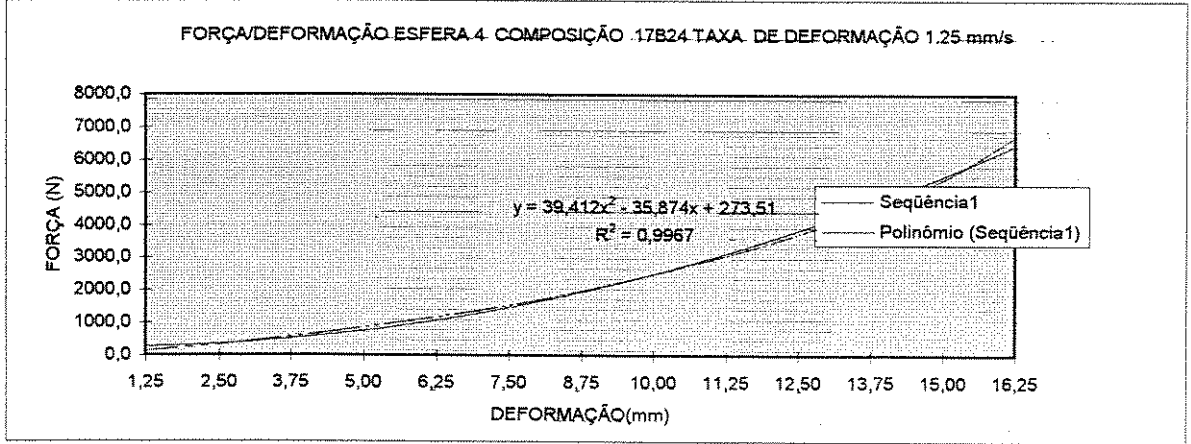
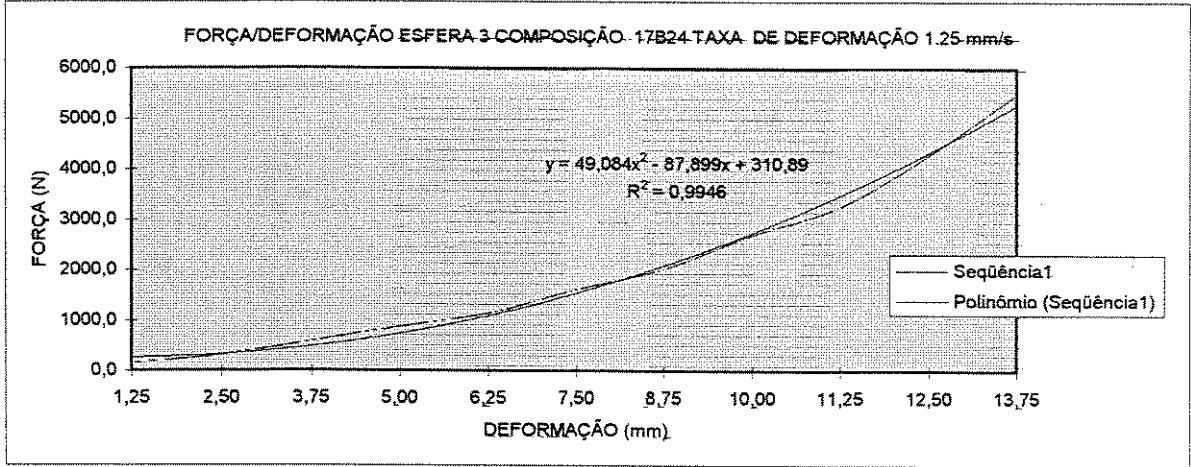
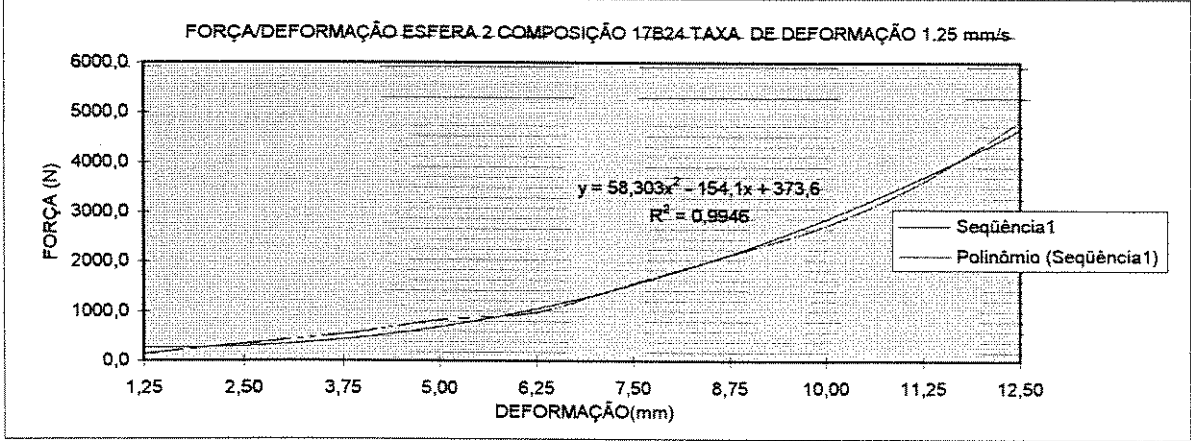
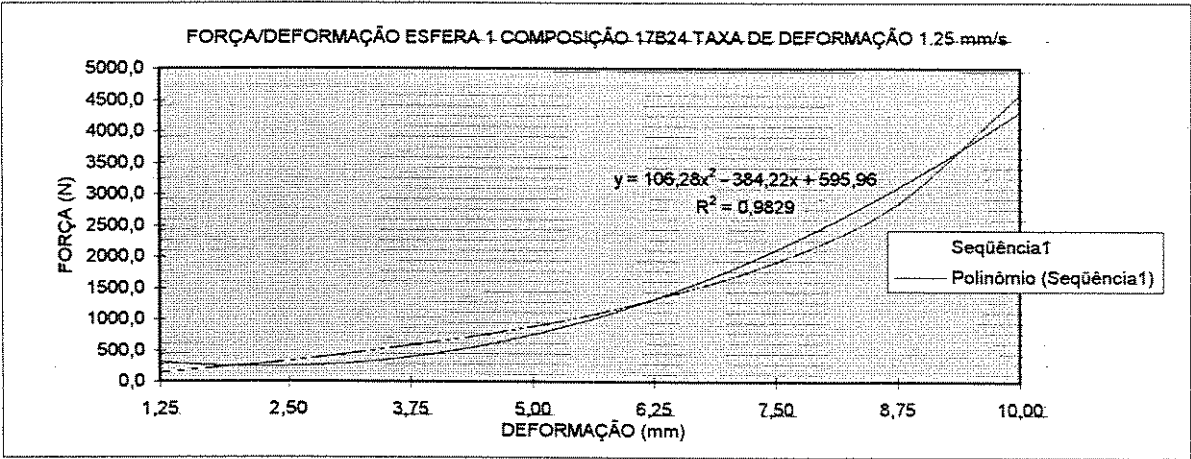
ESFERAS: 17 B24

TAXA DE DEFORMAÇÃO: 1,25mm/s

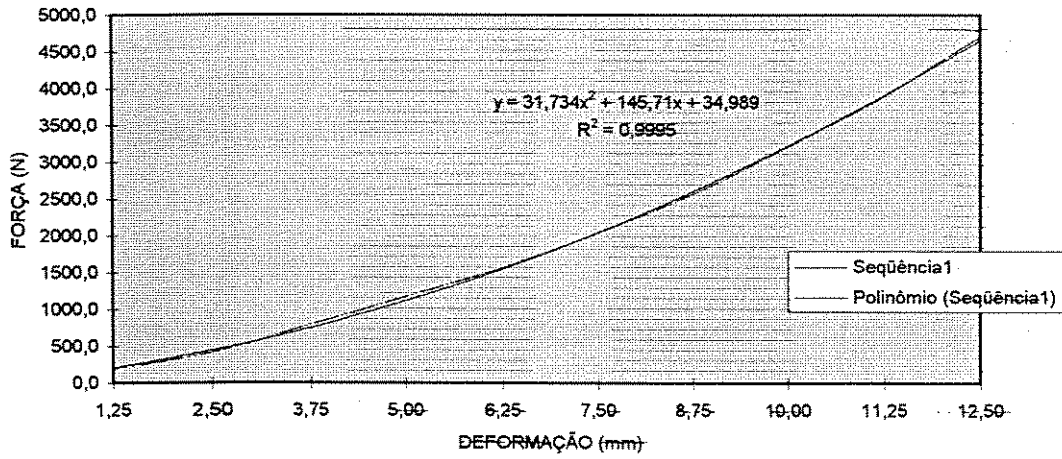
DIMENSÕES

DEFOR. (mm)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
	FORÇA (N)									
1,25	36,8	36,8	36,8	36,8	49,1	36,8	44,1	36,8	49,1	61,3
2,50	83,4	85,8	78,5	85,8	105,5	103,0	115,3	110,4	142,2	154,5
3,75	147,2	134,9	147,2	142,2	198,7	171,7	196,2	220,7	252,6	252,6
5,00	220,7	208,5	220,7	215,8	294,3	269,8	294,3	367,9	355,6	363,0
6,25	328,6	245,3	286,9	294,3	392,4	372,8	404,7	490,5	490,5	490,5
7,50	478,2	392,4	404,7	385,0	510,1	497,9	527,3	622,9	625,4	618,0
8,75	711,2	532,2	505,2	497,9	642,6	632,7	662,2	779,9	769,7	772,5
10,00	1147,8	681,8	674,4	625,4	802,0	760,3	804,4	944,2	981,0	944,2
11,25		902,5	816,7	767,6	973,6	956,5	978,5	1128,2	1164,9	1128,2
12,50		1206,6	1069,3	932,0	1177,2	1150,2	1162,5	1348,9	1373,4	1312,1
13,75			1373,4	1123,2		1370,9			1594,1	1545,1
15,00				1353,8						
16,25				1682,4						

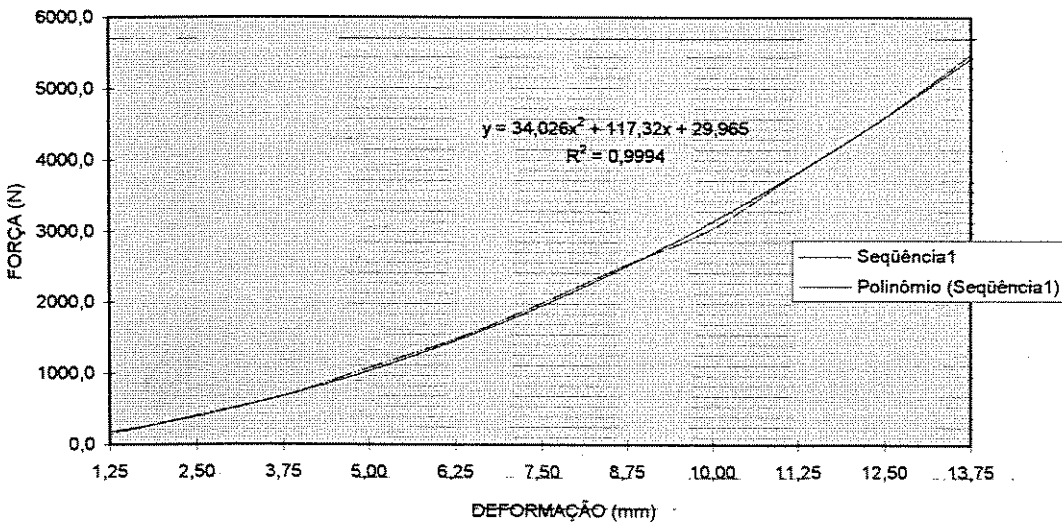
ESFERAS COMPOSIÇÃO 17B24					TAXA DE DEFORMAÇÃO: 1,25 mm/s				
DIMENSÕES									
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
"MÓDULO DE ELASTICIDADE CALCULADO" E									
5,25	4,99	4,17	3,82	4,70	3,34	3,75	2,96	3,75	4,51
4,20	4,12	3,15	3,15	3,57	3,31	3,46	3,14	3,84	4,02
4,04	3,52	3,21	2,84	3,66	3,00	3,20	3,42	3,72	3,58
3,94	3,54	3,13	2,80	3,52	3,07	3,12	3,70	3,40	3,34
4,19	2,98	2,91	2,73	3,36	3,03	3,07	3,53	3,35	3,23
4,64	3,62	3,12	2,72	3,32	3,08	3,04	3,41	3,25	3,09
5,48	3,90	3,09	2,79	3,32	3,11	3,03	3,39	3,26	3,07
7,23	4,09	3,38	2,87	3,39	3,06	3,02	3,36	3,31	3,07
	4,54	3,43	2,95	3,45	3,22	3,07	3,36	3,30	3,07
	5,18	3,84	3,06	3,56	3,31	3,12	3,43	3,32	3,05
		4,27	3,19		3,42			3,34	3,12
			3,38						
			3,72						
MÉDIAS POR TAMANHOS									
4,87	4,05	3,43	3,08	3,59	3,18	3,19	3,37	3,44	3,37
MÉDIA GERAL: 3,51					DESVIO PADRÃO: 0,65				



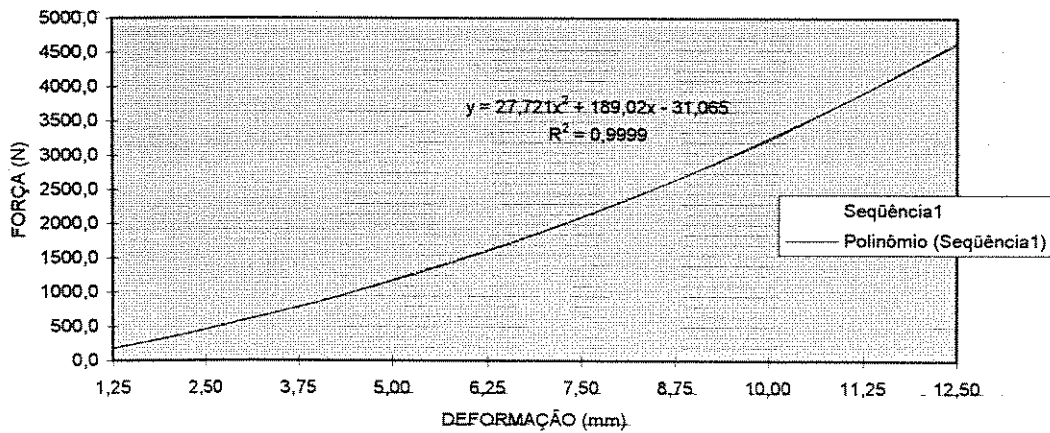
FORÇA/DEFORMAÇÃO ESFERA 5 COMPOSIÇÃO 17B24 TAXA DE DEFORMAÇÃO 1.25 mm/s



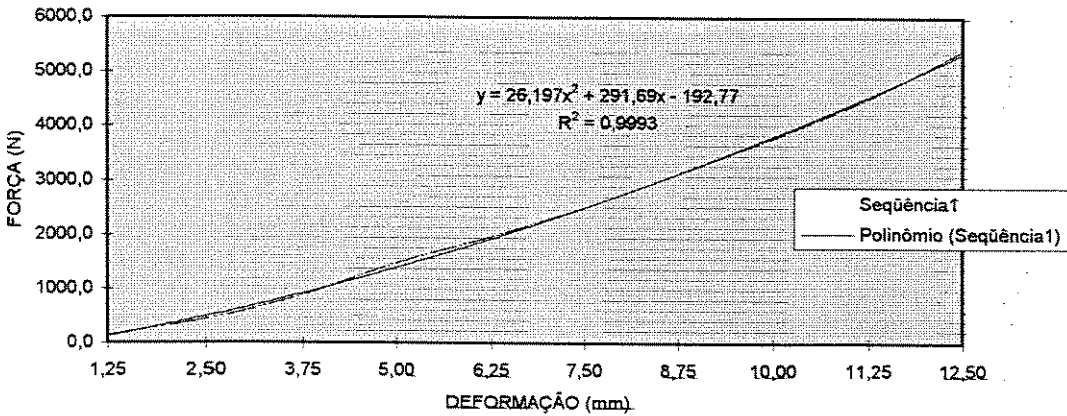
FORÇA/DEFORMAÇÃO ESFERA 6 COMPOSIÇÃO 17B24 TAXA DE DEFORMAÇÃO 1.25 mm/s



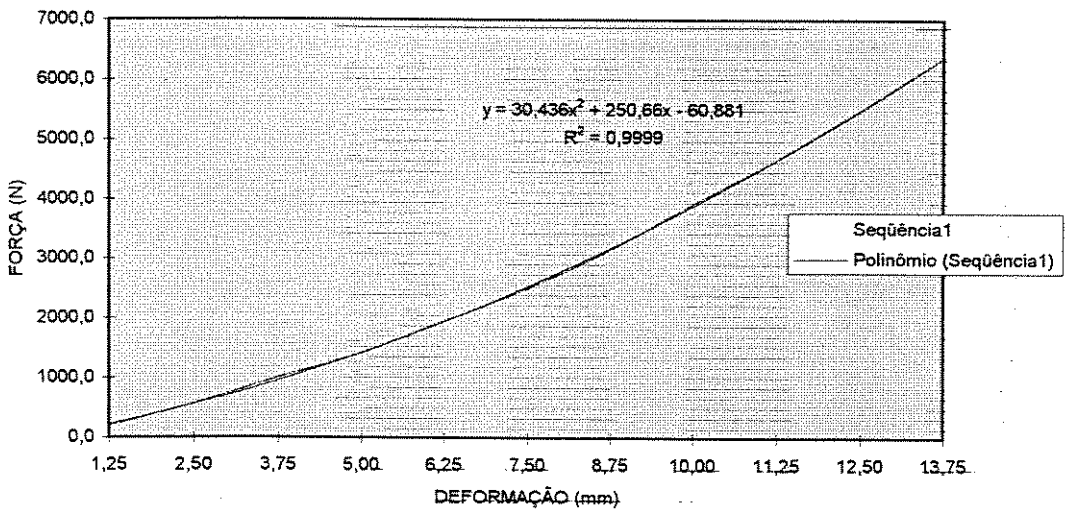
FORÇA/DEFORMAÇÃO ESFERA 7 COMPOSIÇÃO 17B24 TAXA DE DEFORMAÇÃO 1.25 mm/s



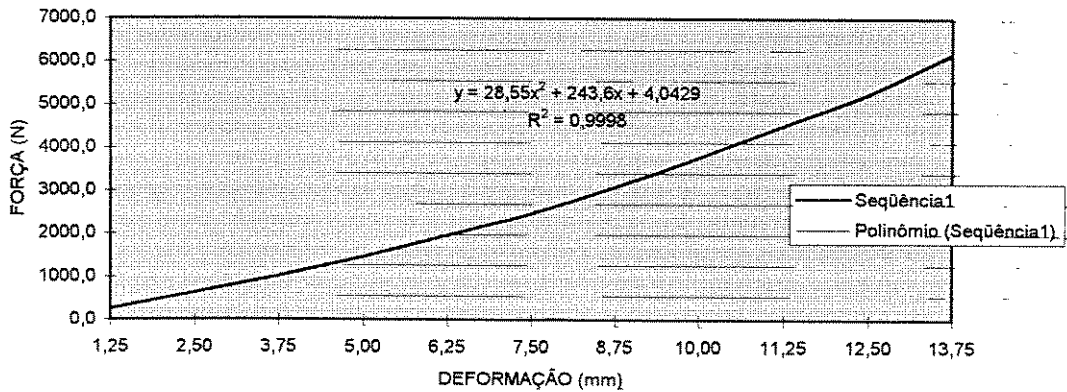
FORÇA/DEFORMAÇÃO ESFERA 8 COMPOSIÇÃO 17B24 TAXA DE DEFORMAÇÃO 1.25 mm/s



FORÇA/DEFORMAÇÃO ESFERA 9 COMPOSIÇÃO 17B24 TAXA DE DEFORMAÇÃO 1.25 mm/s



FORÇA/DEFORMAÇÃO ESFERA 10 COMPOSIÇÃO 17B24 TAXA DE DEFORMAÇÃO 1.25 mm/s



APÊNDICE VI

TAXA DE DEFORMAÇÃO 1,25 mm/s

CILINDRO

DEFORMAÇÃO CONTROLADA

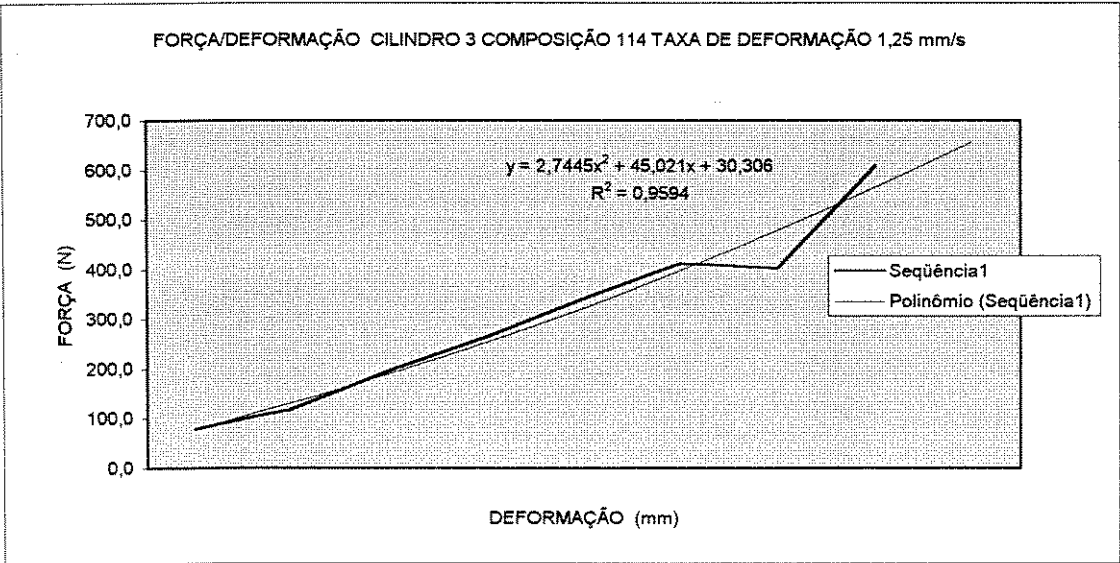
CILINDROS: 114

TAXA DE DEFORMAÇÃO: 1,25 mm/s

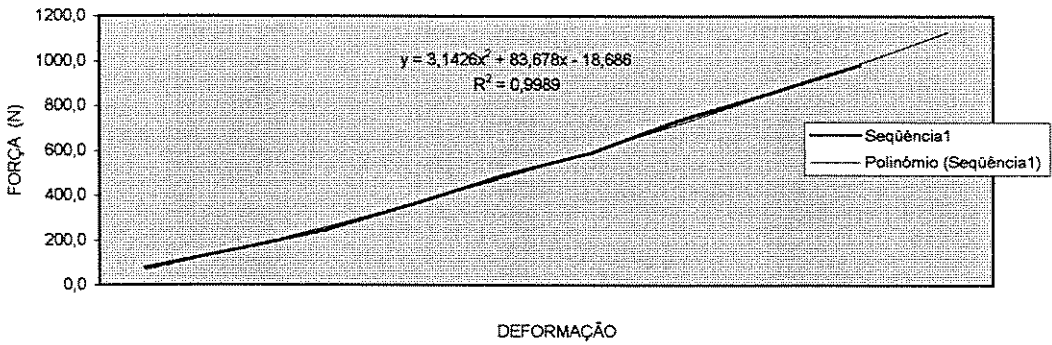
DIMENSÕES

DEFOR. (mm)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
	FORÇA (N)									
2,50			78,5	78,5	117,7	147,2	196,2	264,9	343,4	412,0
5,00			117,7	157,0	245,3	313,9	412,0	559,2	735,8	882,9
7,50			196,2	245,3	304,1	490,5	686,7	882,9	1098,7	1393,0
10,00			264,9	363,0	510,1	686,7	932,0	1177,2	1491,1	1893,3
12,50			343,4	490,5	657,3	863,3	1206,6	1569,6	1932,6	2413,3
15,00			412,0	588,6	833,9	1079,1	1491,1	1893,3	2364,2	3001,9
17,50			402,2	735,8	981,0	1294,9	1814,9	2285,7	2864,5	
20,00			608,2	853,5	1177,2	1520,6	2138,6	2697,8		
22,50				981,0	1373,4	1785,4	2501,6	3139,2		
25,00						2060,1	2894,0			

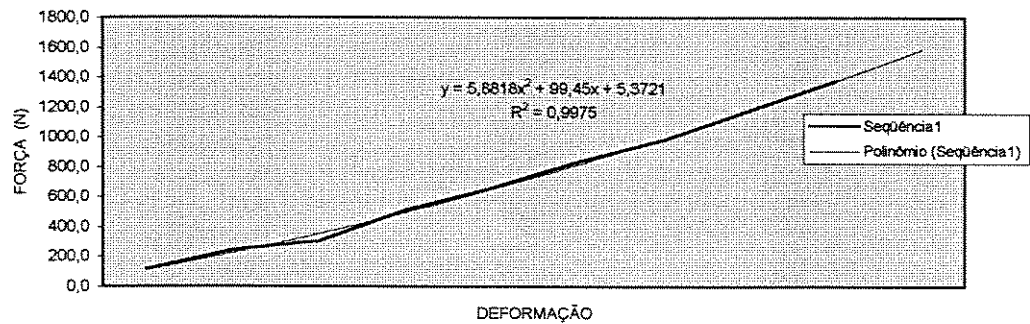
CILINDROS COMPOSIÇÃO 114 TAXA DE DEFORMAÇÃO: 1,25 mm/s							
DIMENSÕES							
3	4	5	6	7	8	9	10
"MÓDULO DE ELASTICIDADE CALCULADO" E							
3,35	2,08	2,47	2,31	2,45	2,68	2,86	2,88
2,51	2,08	2,58	2,46	2,58	2,83	3,06	3,09
2,79	2,17	2,13	2,56	2,86	2,97	3,05	3,25
2,83	2,41	2,68	2,69	2,91	2,97	3,10	3,31
2,93	2,60	2,76	2,71	3,02	3,17	3,22	3,38
2,93	2,60	2,92	2,82	3,11	3,19	3,28	3,50
2,45	2,79	2,94	2,90	3,24	3,30	3,41	
3,24	2,83	3,09	2,98	3,34	3,41		
	2,89	3,21	3,11	3,47	3,53		
			3,23	3,62			
MÉDIAS POR TAMANHOS							
2,88	2,50	2,75	2,78	3,06	3,12	3,14	3,24
MÉDIA GERAL: 2,913				DESVIO PADRÃO: 0,364307			



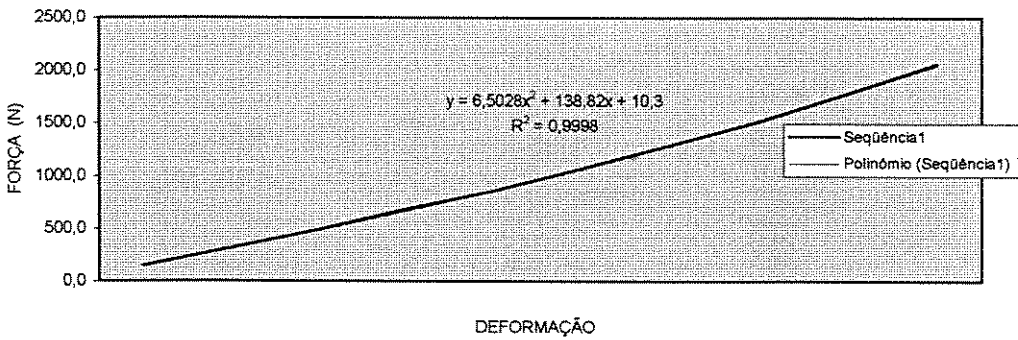
FORÇA/DEFORMAÇÃO CILINDRO 4 COMPOSIÇÃO 114 TAXA DE DEFORMAÇÃO 1,25 mm/s



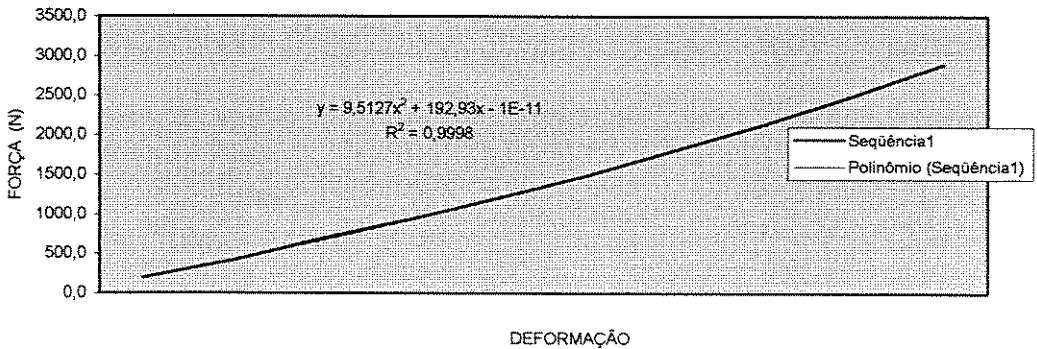
FORÇA/DEFORMAÇÃO CILINDRO 5 COMPOSIÇÃO 114 TAXA DE DEFORMAÇÃO 1,25 mm/s



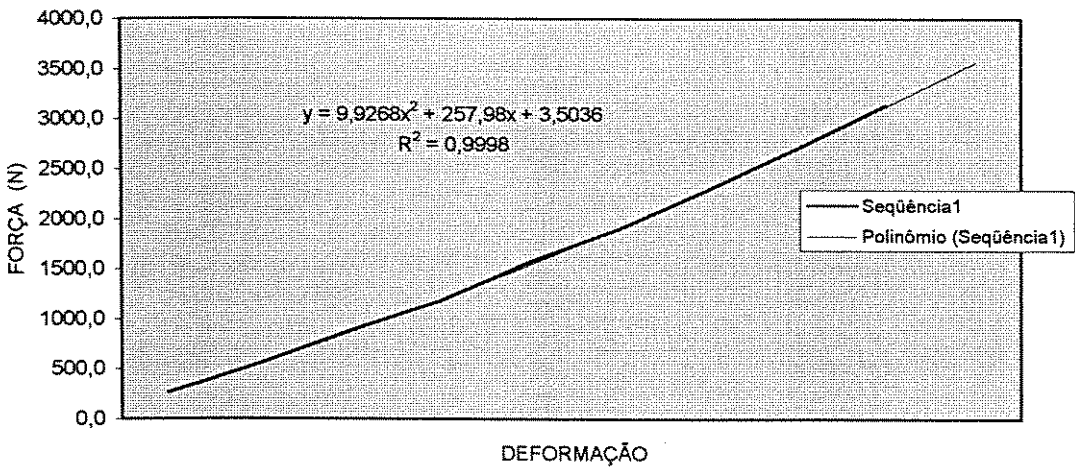
FORÇA/DEFORMAÇÃO CILINDRO 6 COMPOSIÇÃO 114 TAXA DE DEFORMAÇÃO 1,25 mm/s



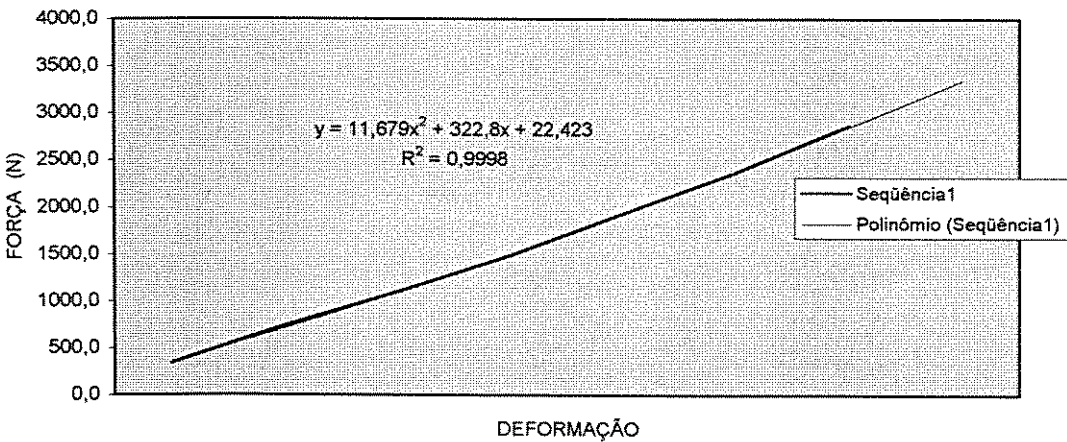
FORÇA/DEFORMAÇÃO CILINDRO 7 COMPOSIÇÃO 114 TAXA DE DEFORMAÇÃO 1,25 mm/s



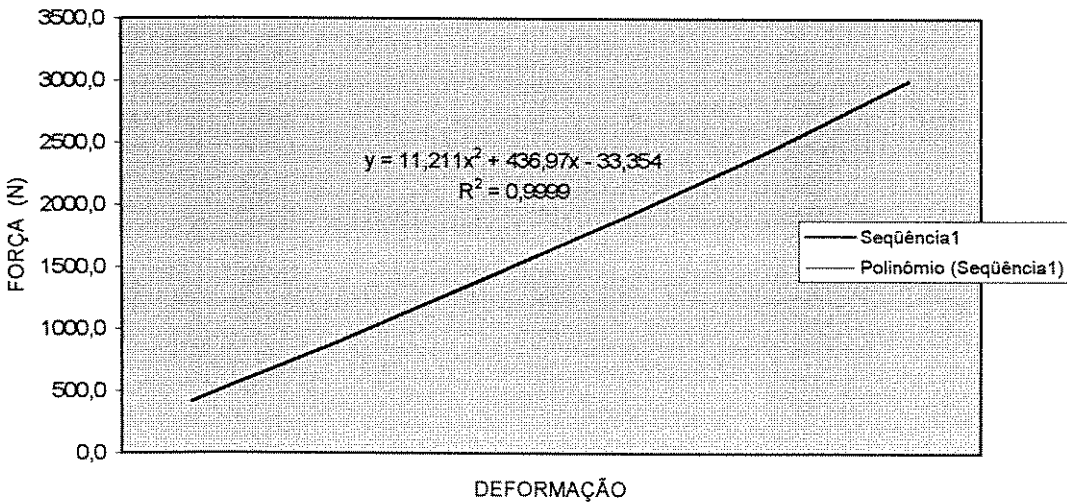
FORÇA/DEFORMAÇÃO CILINDRO 8 COMPOSIÇÃO 114 TAXA DE DEFORMAÇÃO 1,25 mm/s



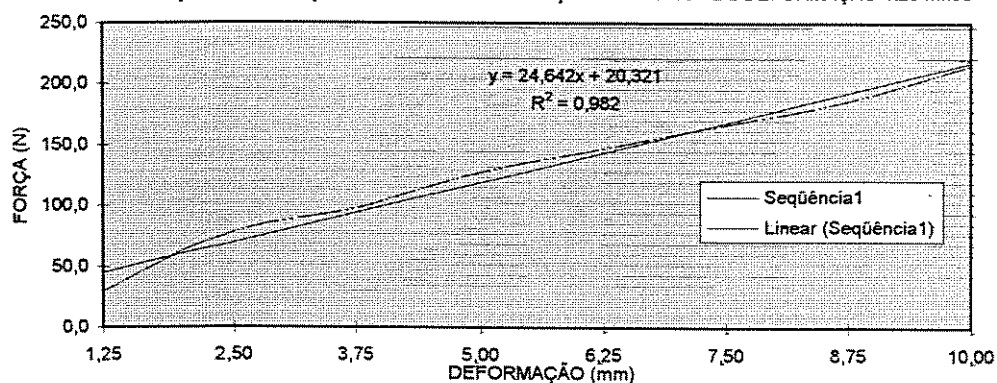
FORÇA/DEFORMAÇÃO CILINDRO 9 COMPOSIÇÃO 114 TAXA DE DEFORMAÇÃO 1,25 mm/s



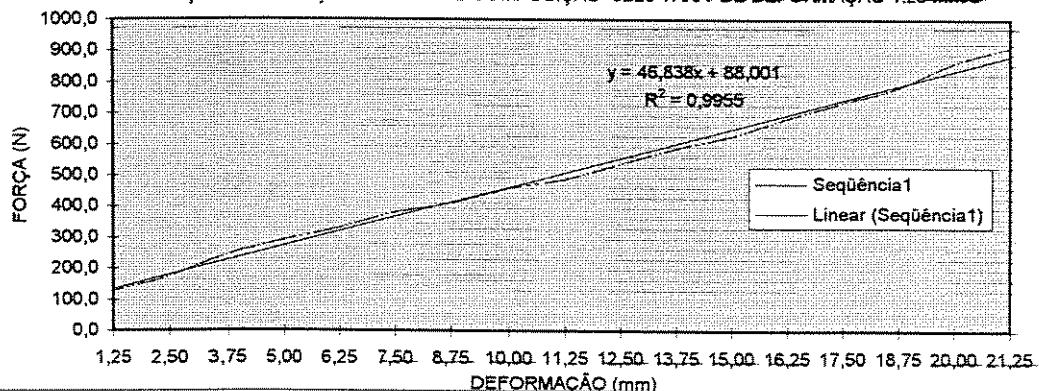
FORÇA/DEFORMAÇÃO CILINDRO 10 COMPOSIÇÃO 114 TAXA DE DEFORMAÇÃO 1,25 mm/s



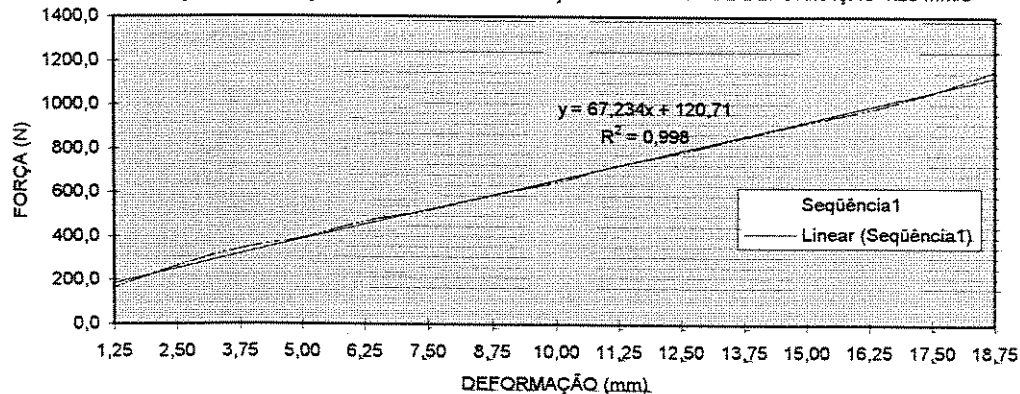
FORÇA/DEFORMAÇÃO CILINDRO 1 COMPOSIÇÃO 6B20 TAXA DE DEFORMAÇÃO 1.25 mm/s



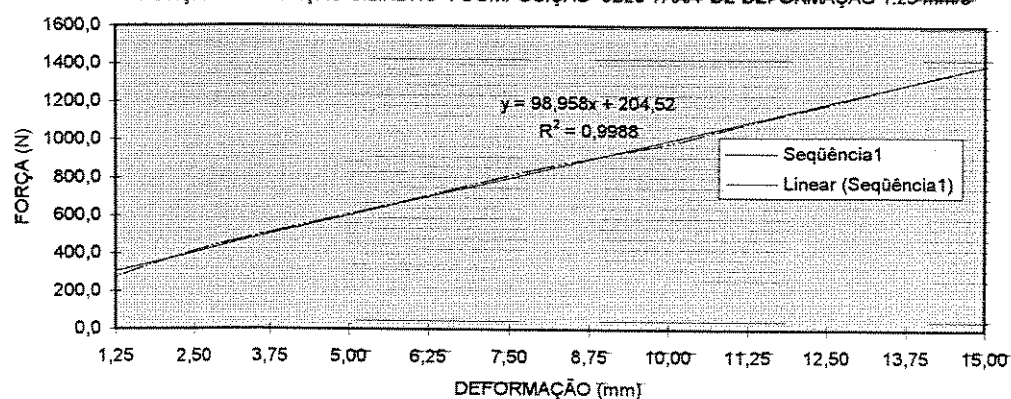
FORÇA/DEFORMAÇÃO CILINDRO 2 COMPOSIÇÃO 6B20 TAXA DE DEFORMAÇÃO 1.25 mm/s



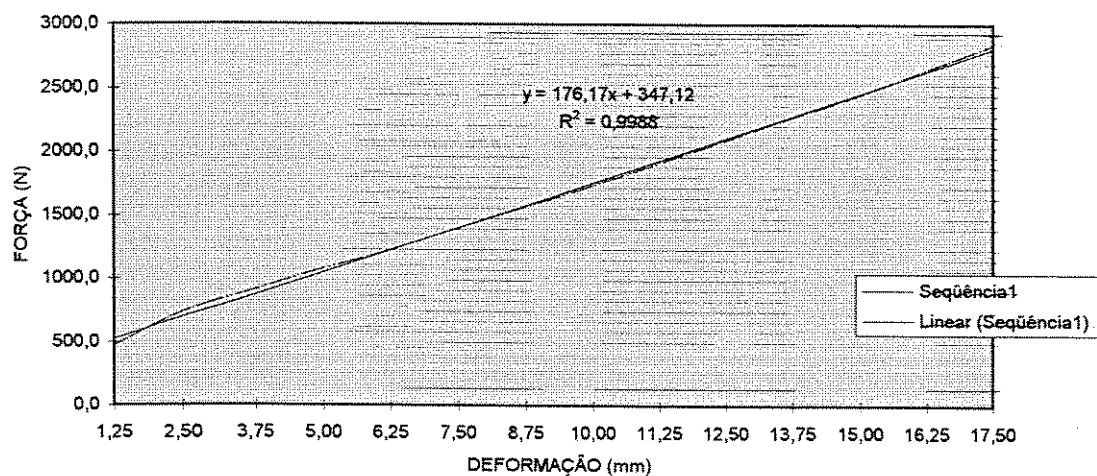
FORÇA/DEFORMAÇÃO CILINDRO 3 COMPOSIÇÃO 6B20 TAXA DE DEFORMAÇÃO 1.25 mm/s



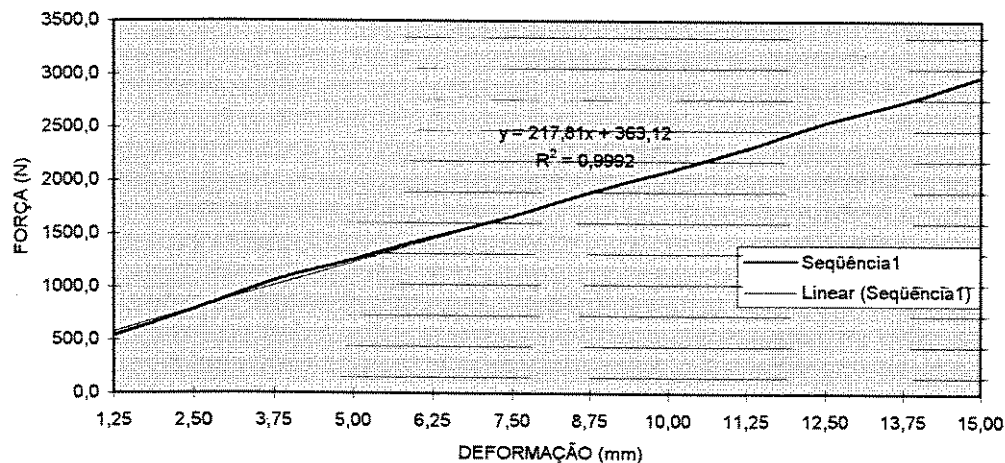
FORÇA/DEFORMAÇÃO CILINDRO 4 COMPOSIÇÃO 6B20 TAXA DE DEFORMAÇÃO 1.25 mm/s



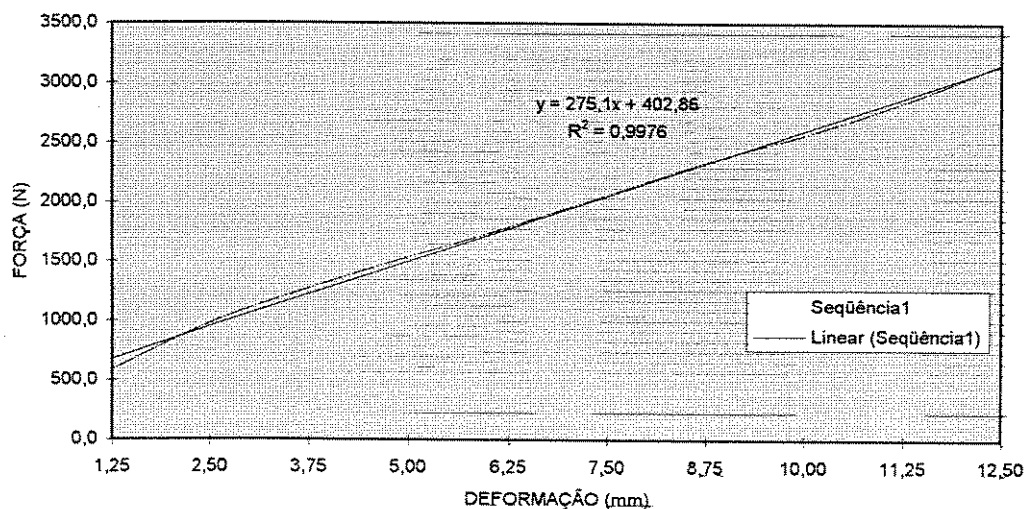
FORÇA/DEFORMAÇÃO CILINDRO-5 COMPOSIÇÃO- 6B20 TAXA DE DEFORMAÇÃO 1.25 mm/s



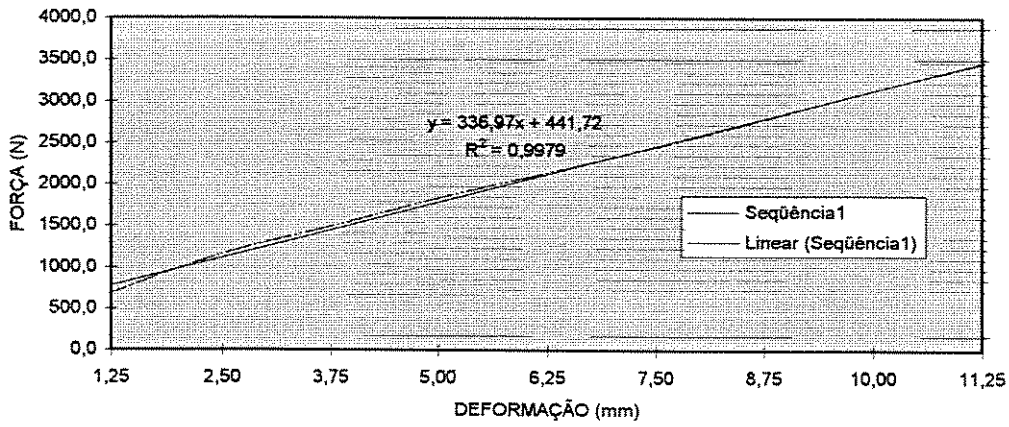
FORÇA/DEFORMAÇÃO CILINDRO-6 COMPOSIÇÃO- 6B20 TAXA DE DEFORMAÇÃO 1.25 mm/s



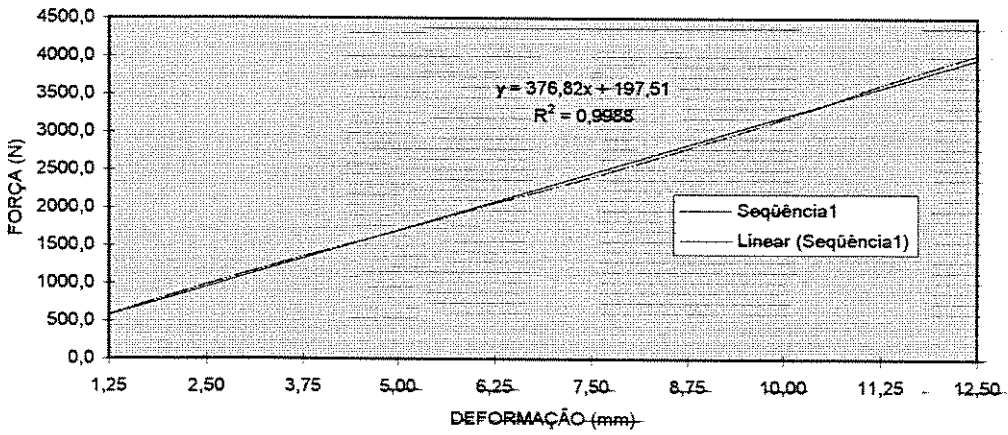
FORÇA/DEFORMAÇÃO CILINDRO-7 COMPOSIÇÃO- 6B20 TAXA DE DEFORMAÇÃO 1.25 mm/s



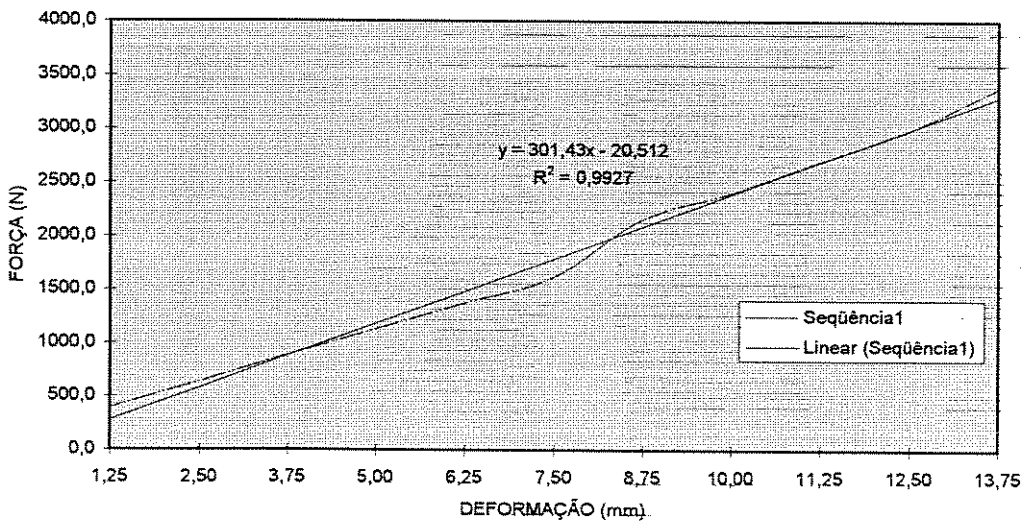
FORÇA/DEFORMAÇÃO CILINDRO 8 COMPOSIÇÃO- 6B20-TAXA- DE DEFORMAÇÃO 1.25-mm/s



FORÇA/DEFORMAÇÃO CILINDRO 9 COMPOSIÇÃO- 6B20-TAXA- DE DEFORMAÇÃO 1.25-mm/s



FORÇA/DEFORMAÇÃO CILINDRO 10 COMPOSIÇÃO- 6B20-TAXA- DE DEFORMAÇÃO 1.25-mm/s



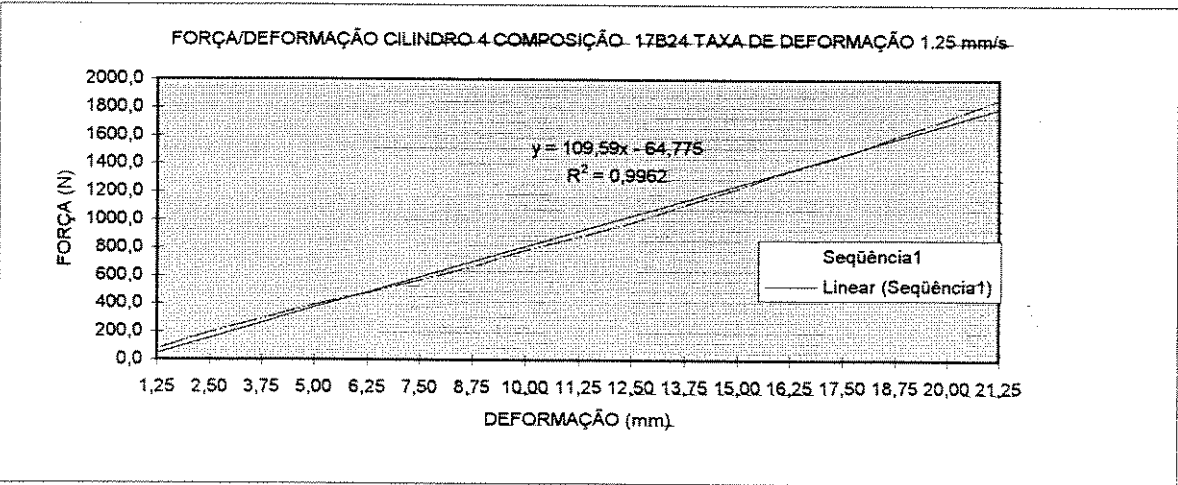
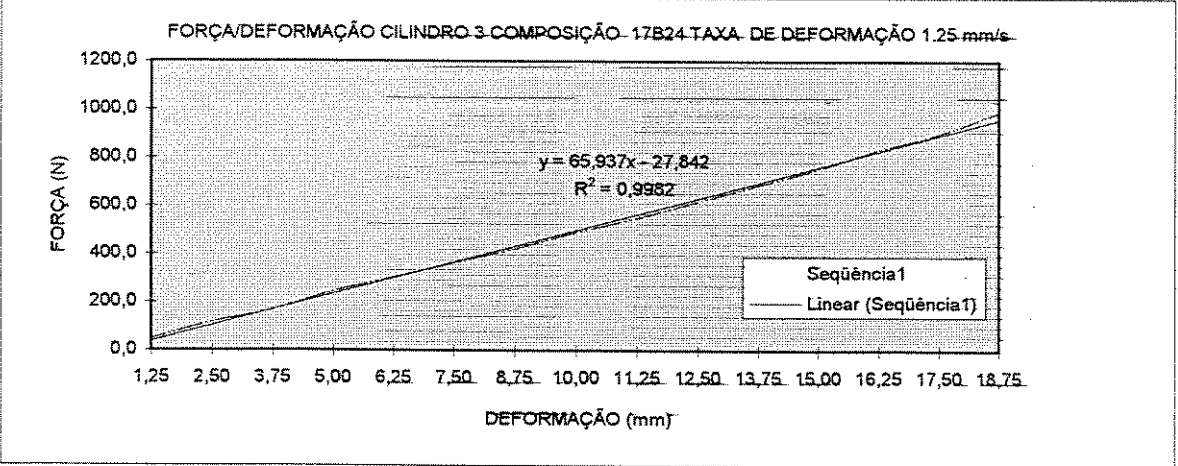
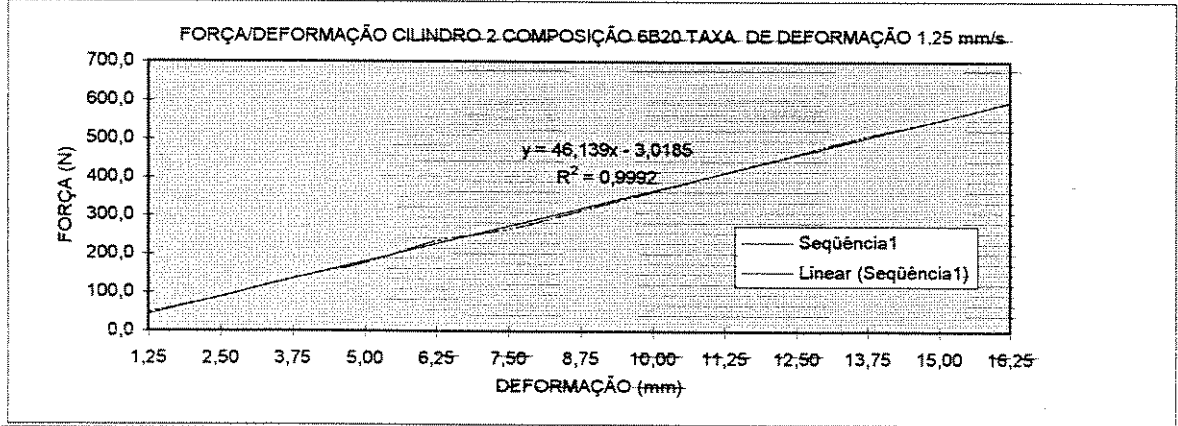
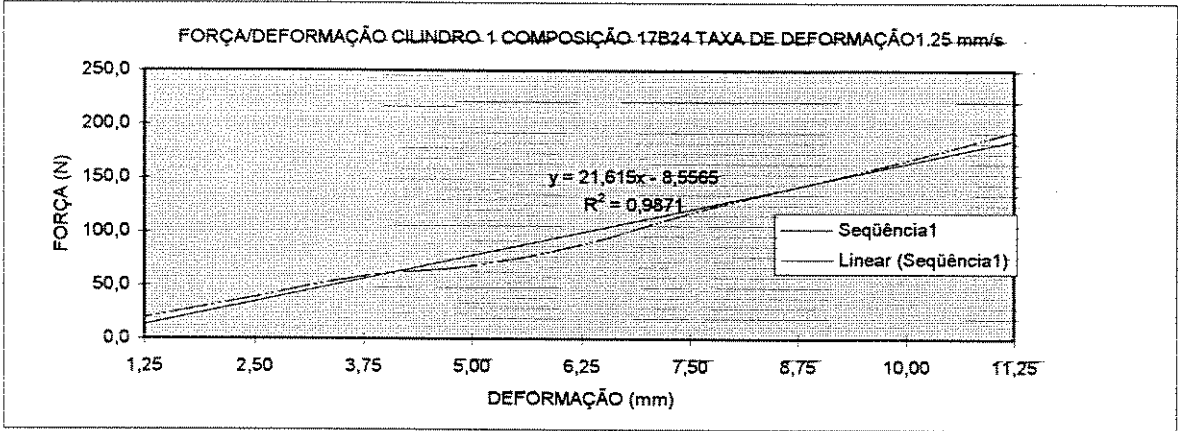
DEFORMAÇÃO CONTROLADA

CILINDROS: 17 B24. TAXA DE DEFORMAÇÃO: 1.25 mm/s

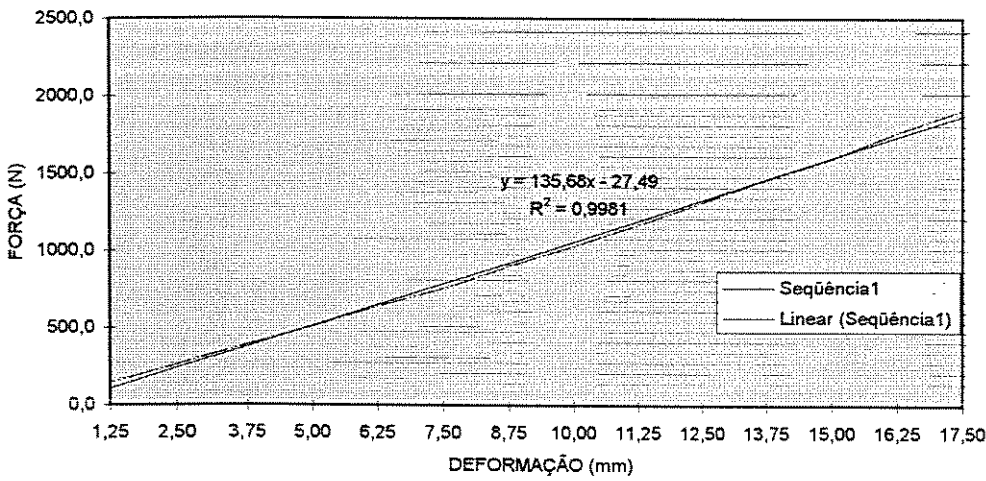
DIMENSÕES

DEFOR. (mm)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
	FORÇA (N)									
1,25	19,6	49,1	49,1	78,5	147,2	157,0	215,8	225,6	333,5	294,3
2,50	39,2	88,3	117,7	196,2	264,9	333,5	421,8	490,5	666,7	706,3
3,75	58,9	137,3	166,6	294,3	392,4	490,5	603,2	745,6	1010,4	1079,1
5,00	68,7	176,6	245,3	392,4	510,1	647,5	814,2	990,8	1373,4	1461,7
6,25	88,3	235,4	304,1	480,7	637,7	814,2	1010,4	1265,5	1667,3	1663,9
7,50	117,7	264,9	363,0	569,0	755,4	981,0	1226,3	1540,2	2060,1	2256,3
8,75	142,2	313,9	421,8	637,7	902,3	1157,6	1471,5	1814,9	2403,5	2668,3
10,00	166,6	363,0	480,7	755,4	1010,1	1327,7	1679,7	2079,7	2776,2	3070,5
11,25	194,2	412,0	546,4	802,3	1107,4	1455,5	1833,3	2274,0	3139,2	3561,0
12,50		461,1	618,0	981,0	1314,5	1706,9	2138,6	2648,7		
13,75		510,1	686,7	1106,5	1461,7	1913,0	2363,6			
15,00		549,4	755,4	1226,3	1569,0	2126,6	2668,3			
16,25		588,4	833,9	1303,6	1700,6	2325,0	2903,6			
17,50			902,5	1461,7	1913,0	2550,6				
18,75			990,8	1569,0		2776,2				
20,00				1726,6		2992,1				
21,25				1863,9						
22,50										

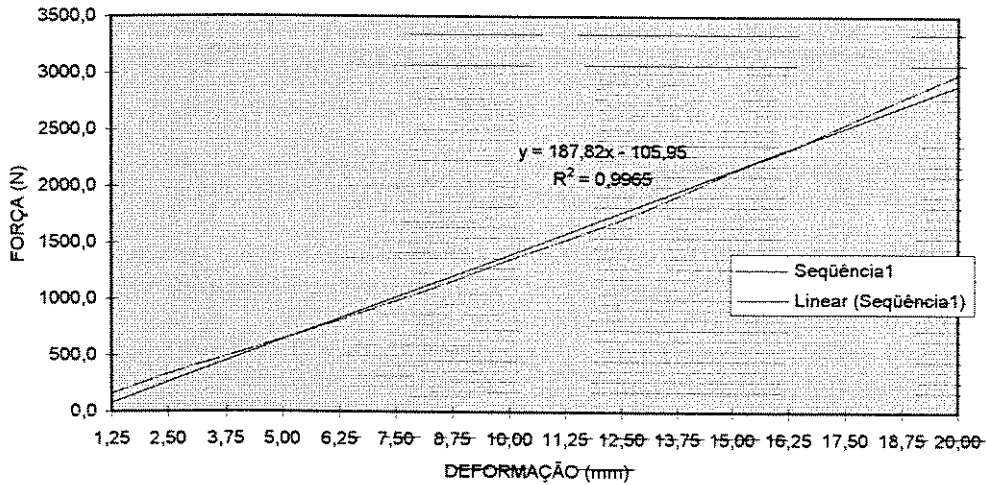
CILINDROS COMPOSIÇÃO 17B24					TAXA DE DEFORMAÇÃO: 1,25 mm/s				
DIMENSÕES									
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
"MÓDULO DE ELASTICIDADE CALCULADO" E									
4,92	5,66	4,03	4,17	6,04	4,89	5,40	4,51	5,54	4,18
4,92	5,09	4,84	5,21	5,44	5,20	5,28	4,91	5,70	5,02
4,92	5,28	4,57	5,21	5,37	5,10	5,07	4,97	5,60	5,11
4,31	5,09	5,04	5,21	5,24	5,05	5,09	4,96	5,70	5,19
4,43	5,43	5,00	5,11	5,24	5,08	5,06	5,06	5,61	5,30
4,92	5,09	4,67	5,04	5,17	5,10	5,11	5,14	5,70	5,34
5,10	5,17	4,95	5,06	5,29	5,15	5,26	5,19	5,70	5,42
5,23	5,23	5,04	5,21	5,29	5,28	5,22	5,20	5,77	5,45
5,42	5,28	5,02	5,21	5,33	5,27	5,26	5,28	5,80	5,62
	5,32	5,08	5,21	5,40	5,32	5,35	5,30		
	5,35	5,13	5,35	5,45	5,42	5,42			
	5,28	5,17	5,43	5,47	5,53	5,56			
	5,31	5,27	5,53	5,59	5,57	5,59			
		5,30	5,54	5,61	5,68				
		5,43	5,66		5,77				
			5,73		5,83				
			5,82						
MÉDIAS POR TAMANHOS									
4,91	5,27	4,99	5,26	5,42	5,33	5,26	5,05	5,68	5,18
MÉDIA GERAL: 5,24					DESVIO PADRÃO: 0,334261				



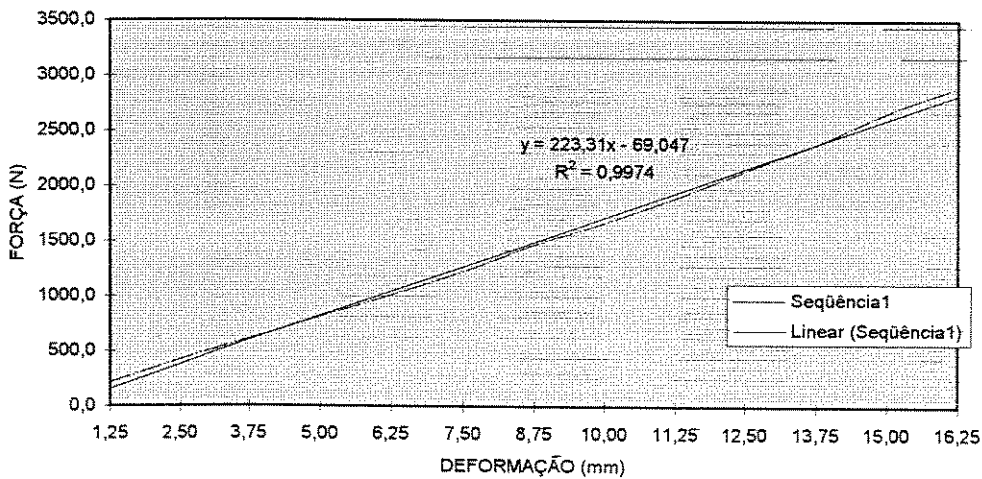
FORÇA/DEFORMAÇÃO CILINDRO-5 COMPOSIÇÃO- 17B24 TAXA DE DEFORMAÇÃO 1.25 mm/s



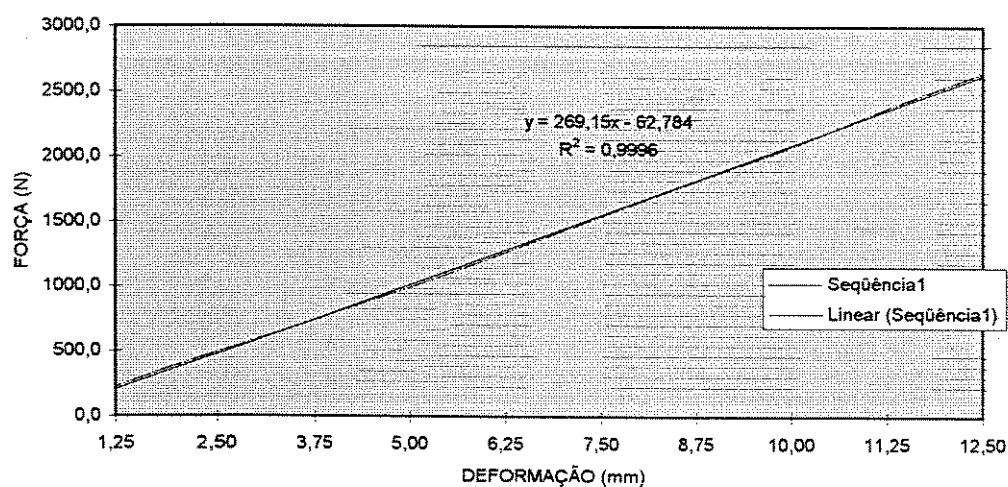
FORÇA/DEFORMAÇÃO CILINDRO-6 COMPOSIÇÃO- 17B24 TAXA DE DEFORMAÇÃO 1.25 mm/s



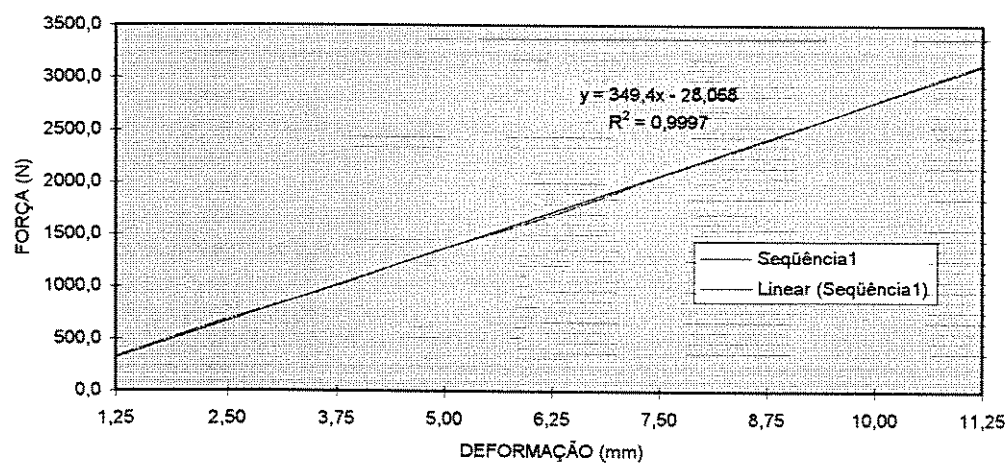
FORÇA/DEFORMAÇÃO CILINDRO-7 COMPOSIÇÃO- 17B24 TAXA DE DEFORMAÇÃO 1.25 mm/s



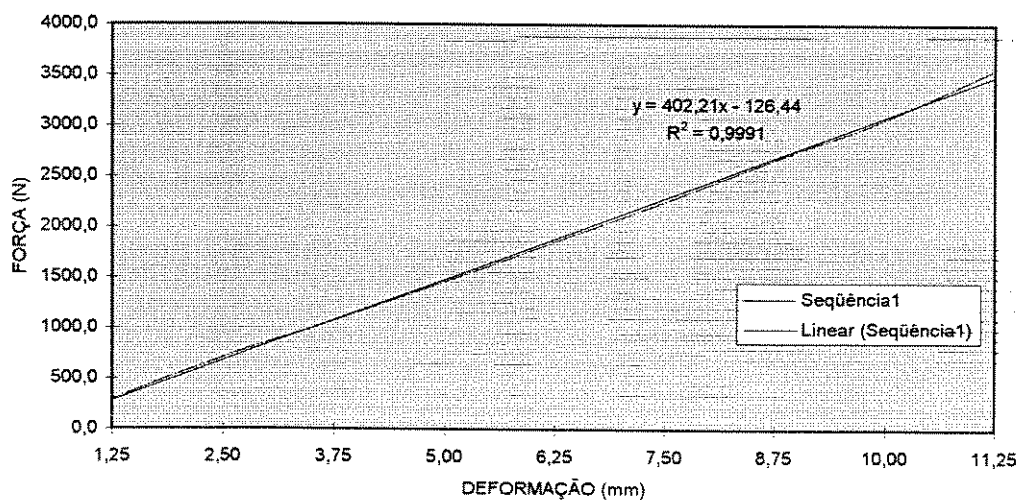
FORÇA/DEFORMAÇÃO CILINDRO-8-COMPOSIÇÃO-17B24 TAXA DE DEFORMAÇÃO 1.25 mm/s



FORÇA/DEFORMAÇÃO CILINDRO-9-COMPOSIÇÃO-17B24 TAXA DE DEFORMAÇÃO 1.25 mm/s



FORÇA/DEFORMAÇÃO CILINDRO 10 COMPOSIÇÃO-17B24 TAXA DE DEFORMAÇÃO 1.25 mm/s



APÊNDICE VII

TAXA DE DEFORMAÇÃO 1,25 mm/s

CUBO

DEFORMAÇÃO CONTROLADA

CUBOS:114

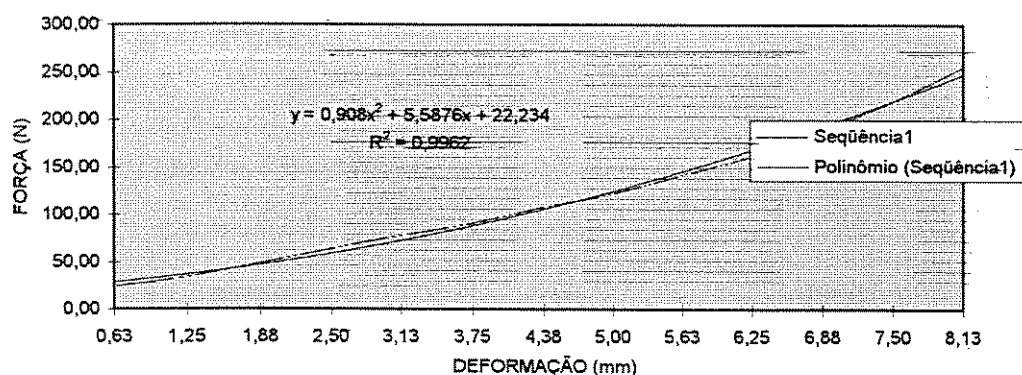
TAXA DE DEFORMAÇÃO: 1,25 mm/s

DIMENSÕES

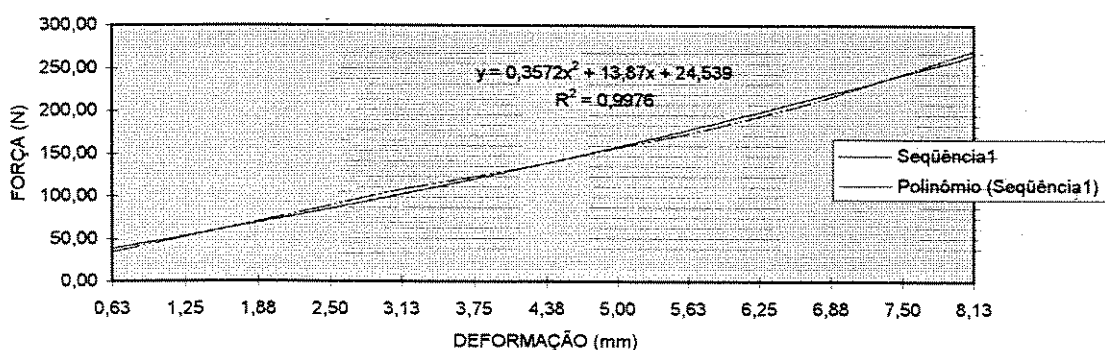
DEFOR. (mm)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
	FORÇA (N)									
0,63	24,53	34,34	32,37	44,15	51,01	56,90	68,67	66,71	121,64	107,91
1,25	34,34	52,97	66,71	77,50	88,29	109,87	127,53	132,44	193,26	206,01
1,88	49,05	70,63	76,52	103,01	118,70	144,21	171,68	176,58	245,25	264,87
2,50	63,77	89,27	90,25	121,64	147,15	176,58	206,01	220,73	292,34	310,98
3,13	78,48	107,91	110,85	145,19	175,60	206,01	245,25	255,06	333,54	362,97
3,75	91,23	123,61	129,49	170,69	201,11	235,44	280,57	288,41	382,59	408,10
4,38	107,91	139,30	147,15	192,28	230,54	264,87	313,92	326,67	415,94	461,07
5,00	122,63	156,96	166,77	215,82	264,87	295,28	349,24	357,08	461,07	492,46
5,63	142,25	173,64	187,37	239,36	292,34	325,69	382,59	394,36	497,37	535,63
6,25	161,87	194,24	208,95	264,87	320,79	354,14	416,93	439,49	538,57	576,83
6,88	189,33	216,80	229,55	287,43	351,20	385,53	451,26	463,03	575,85	619,99
7,50	219,74	243,29	258,98	313,92	382,59	417,91	485,60	499,33	616,07	659,23
8,13	256,04	270,76	276,64	341,39	410,06	449,30	520,91	536,61	657,27	715,15
8,75			303,13	366,89	441,45	479,71	557,21	574,87	735,75	745,56
9,38			331,58		473,82	537,59	589,58	607,24	774,01	794,61
10,00			354,14					645,50		833,85

CUBOS COMPOSIÇÃO 114				TAXA DE DEFORMAÇÃO: 1,25 mm/s					
DIMENSÕES									
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
"MÓDULO DE ELASTICIDADE CALCULADO" E									
2,0	2,2	1,7	2,0	2,0	2,0	2,2	2,0	3,3	2,7
1,4	1,7	1,8	1,8	1,8	1,9	2,0	1,9	2,6	2,5
1,3	1,5	1,4	1,6	1,6	1,7	1,8	1,7	2,2	2,2
1,3	1,4	1,2	1,4	1,5	1,6	1,6	1,6	2,0	1,9
1,2	1,4	1,2	1,3	1,4	1,5	1,6	1,5	1,8	1,8
1,2	1,3	1,1	1,3	1,3	1,4	1,5	1,4	1,7	1,7
1,2	1,3	1,1	1,3	1,3	1,3	1,4	1,4	1,6	1,6
1,2	1,2	1,1	1,2	1,3	1,3	1,4	1,3	1,5	1,5
1,3	1,2	1,1	1,2	1,3	1,3	1,4	1,3	1,5	1,5
1,3	1,2	1,1	1,2	1,3	1,2	1,3	1,3	1,4	1,4
1,4	1,3	1,1	1,2	1,3	1,2	1,3	1,2	1,4	1,4
1,5	1,3	1,1	1,2	1,3	1,2	1,3	1,2	1,4	1,4
1,6	1,3	1,1	1,2	1,3	1,2	1,3	1,2	1,4	1,4
		1,1	1,2	1,3	1,2	1,3	1,2	1,4	1,3
		1,2		1,3	1,3	1,2	1,2	1,4	1,3
		1,2					1,2		1,3
MÉDIAS POR TAMANHOS									
1,4	1,4	1,2	1,4	1,4	1,4	1,5	1,4	1,8	1,7
MÉDIA GERAL: 1,45					DESVIO PADRÃO: 0,34097				

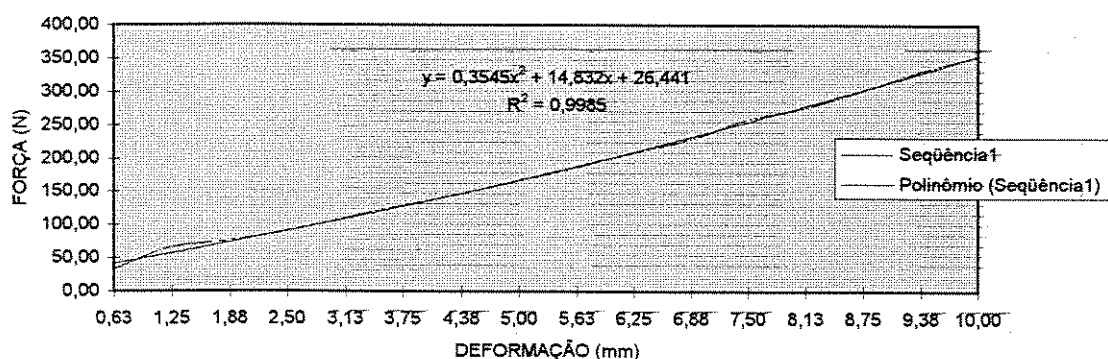
FORÇA/DEFORMAÇÃO CUBO 1 COMPOSIÇÃO 114 TAXA DE DEFORMAÇÃO 1,25 mm/s



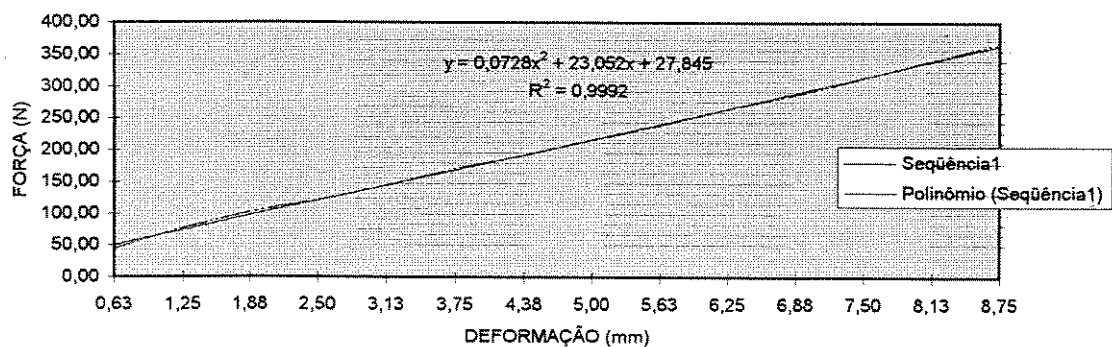
FORÇA/DEFORMAÇÃO CUBO 2 COMPOSIÇÃO 114 TAXA DE DEFORMAÇÃO 1,25 mm/s



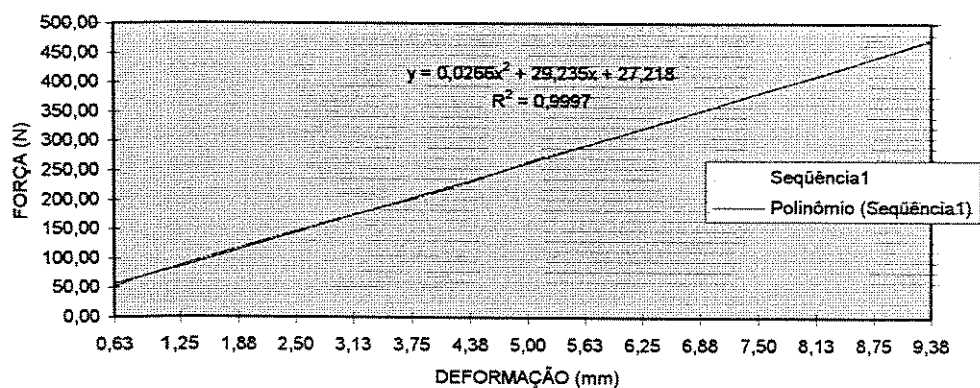
FORÇA/DEFORMAÇÃO CUBO 3 COMPOSIÇÃO 114 TAXA DE DEFORMAÇÃO 1,25 mm/s



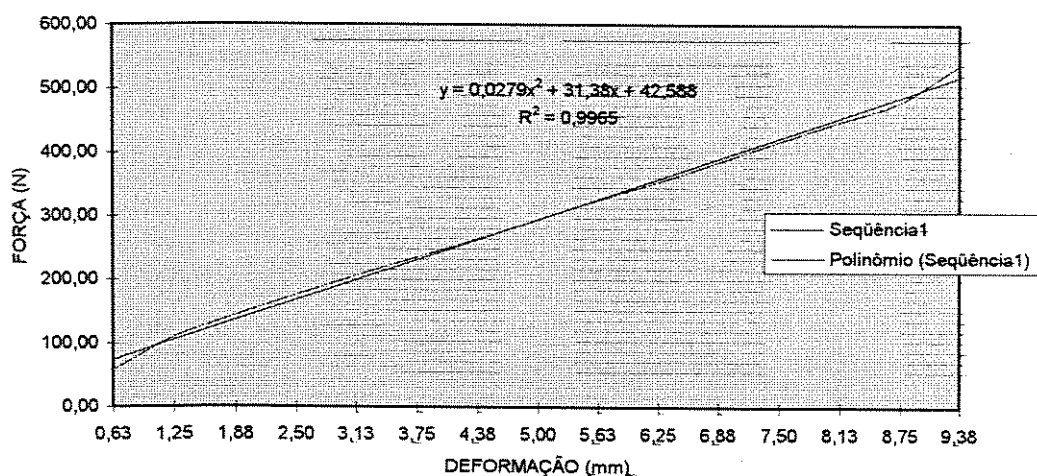
FORÇA/DEFORMAÇÃO CUBO 4 COMPOSIÇÃO 114 TAXA DE DEFORMAÇÃO 1,25 mm/s



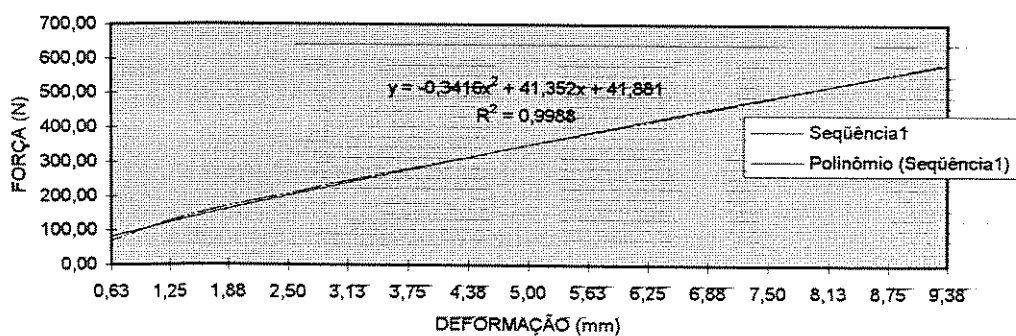
FORÇA/DEFORMAÇÃO CUBO 5 COMPOSIÇÃO 114 TAXA DE DEFORMAÇÃO 1,25 mm/s



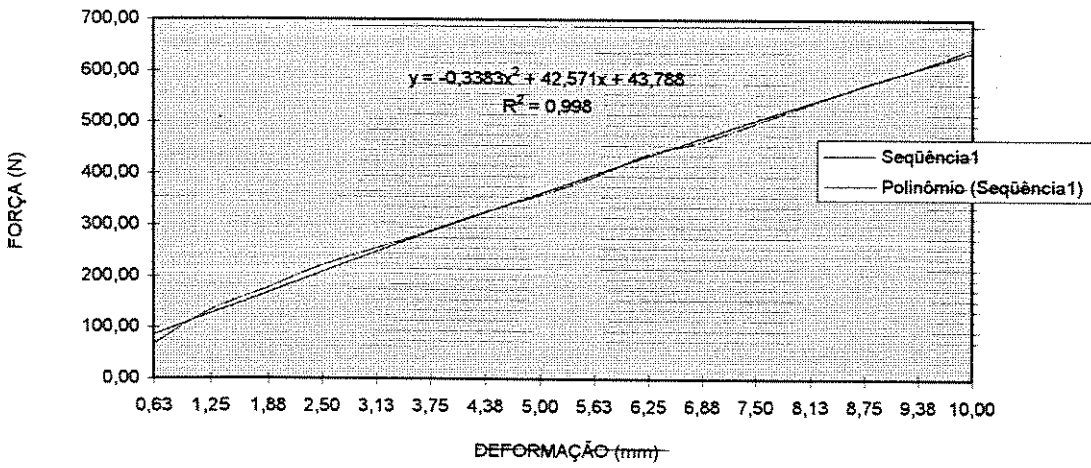
FORÇA/DEFORMAÇÃO CUBO 6 COMPOSIÇÃO 114 TAXA DE DEFORMAÇÃO 1,25 mm/s



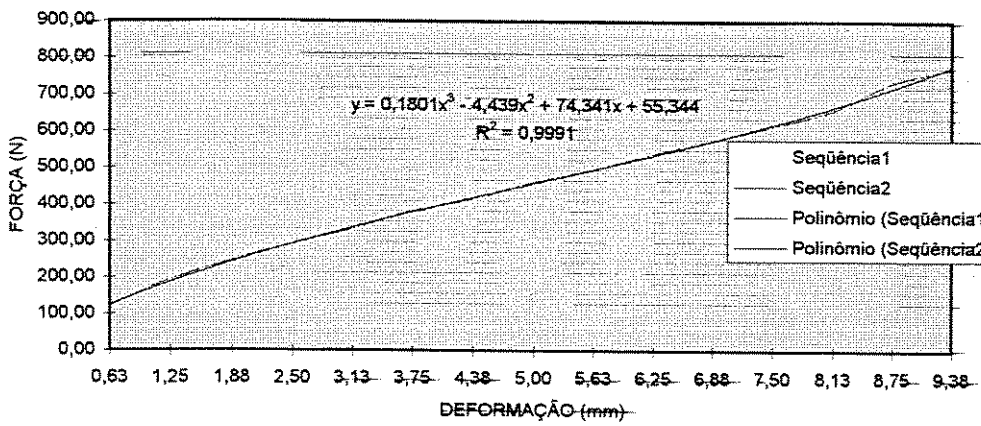
FORÇA/DEFORMAÇÃO CUBO 7 COMPOSIÇÃO 114 TAXA DE DEFORMAÇÃO 1,25 mm/s



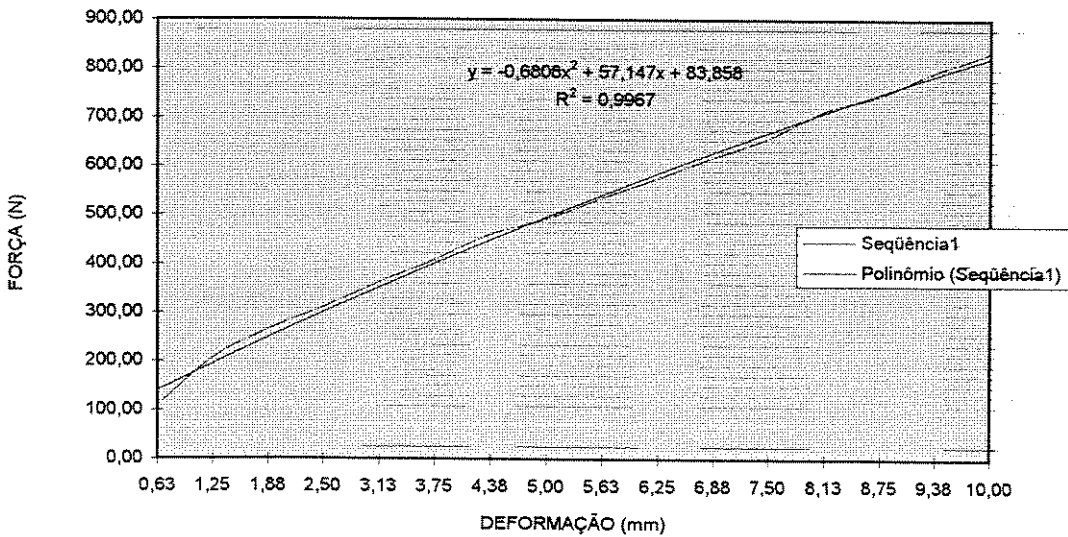
FORÇA/DEFORMAÇÃO-CUBO-8-COMPOSIÇÃO-114-TAXA-DE-DEFORMAÇÃO-1,25 mm/s-



FORÇA/DEFORMAÇÃO-CUBO-9-COMPOSIÇÃO-114-TAXA-DE-DEFORMAÇÃO-1,25 mm/s-



FORÇA/DEFORMAÇÃO-CUBO-10-COMPOSIÇÃO-114-TAXA-DE-DEFORMAÇÃO-1,25 mm/s-



DEFORMAÇÃO CONTROLADA

CUBOS:17B24

TAXA DE DEFORMAÇÃO: 1,25 mm/s

DIMENSÕES

DEFOR. (mm)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
	FORÇA (N)									
0,63	39,2	117,7	147,2	166,8	147,2	225,6	245,3	225,6	166,8	98,1
1,25	98,1	225,6	274,7	245,3	274,7	412,0	519,9	490,5	323,7	225,6
1,88	176,6	392,4	392,4	363,0	421,8	588,6	735,8	716,1	490,5	255,1
2,50	255,1	490,5	519,9	490,5	549,4	784,8	882,9	941,8	637,7	294,3
3,13	343,4	588,6	667,3	667,1	706,3	951,6	1138,0	1187,0	863,3	431,6
3,75	402,2	667,1	766,2	755,4	784,8	1157,6	1344,0	1422,5	1000,6	549,9
4,38	480,7	784,8	922,1	882,9	961,4	1344,0	1618,7	1667,7	1157,6	627,8
5,00	569,0	951,6	1059,5	1020,2	1098,7	1540,2	1795,2	1893,3	1324,4	686,7
5,63	676,9	1108,5	1196,8	1138,0	1255,7	1736,4	2011,1	2128,8	1471,5	814,2
6,25	745,6	1245,9	1353,8	1275,3	1393,0	1942,4	2236,7	2374,0	1667,7	892,7
6,88	882,9	1373,4	1491,1	1422,5	1559,8	2168,0	2472,1	2599,7	1834,5	1030,1
7,50	1010,4	1540,2	1638,3	1569,6	1697,1	2383,8	2697,8	2864,5	2020,9	1108,5
8,13				1697,1	1863,9	2609,5	2943,0	3109,8	2226,9	1236,1
8,75				1795,2	2011,1	2815,5			2403,5	1373,4
9,38				2011,1	1187,0	3060,7			2599,7	1510,7
10,00				2148,4					2805,7	1196,8
10,63										1913,0
11,25										2297,3
11,88										2591,6
12,50										2746,8

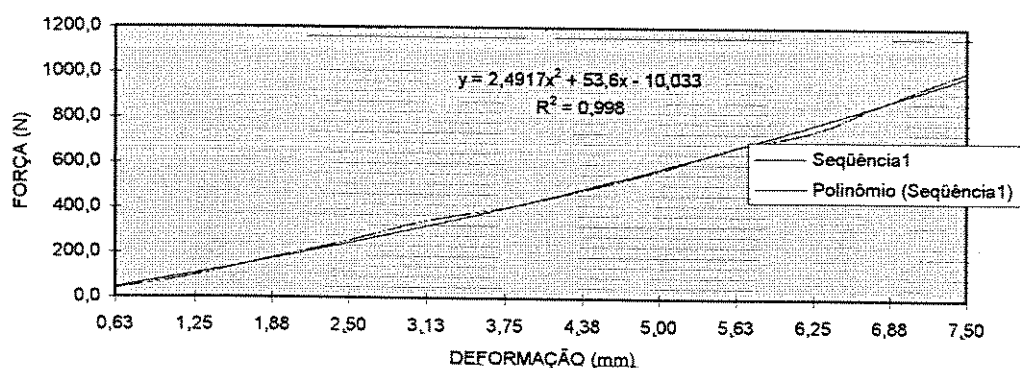
CUBOS COMPOSIÇÃO 17B24

TAXA DE DEFORMAÇÃO: 1,25 mm/s

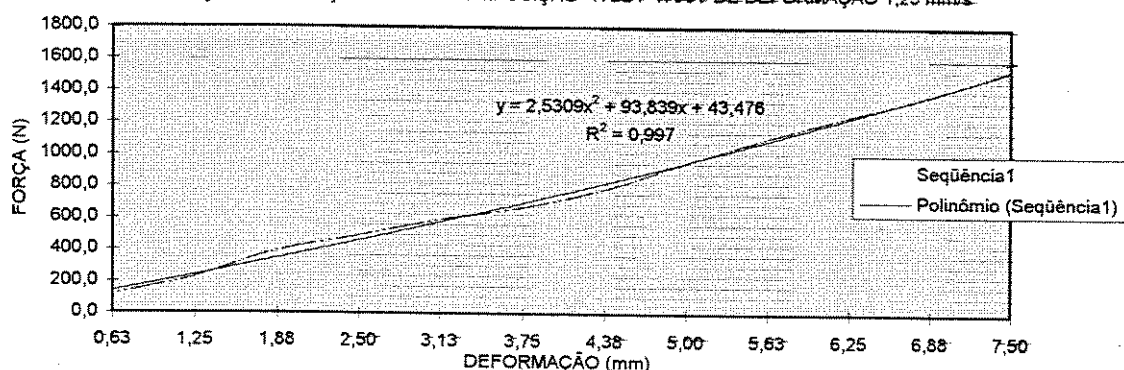
DIMENSÕES

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
"MÓDULO DE ELASTICIDADE CALCULADO" E									
3,1	7,5	7,8	7,6	5,8	8,0	8,4	6,6	4,5	2,4
3,9	7,2	7,3	5,6	5,4	7,3	8,4	7,2	4,3	2,8
4,7	8,4	7,0	5,5	5,6	7,0	7,9	7,0	4,4	2,1
5,1	7,9	6,9	5,6	5,4	7,0	7,1	6,9	4,3	1,8
5,5	7,5	7,0	6,1	5,6	6,8	7,3	7,0	4,6	2,1
5,4	7,1	6,8	5,8	5,2	6,9	7,2	6,9	4,5	2,1
5,5	7,2	7,0	5,8	5,4	6,8	7,5	7,0	4,4	2,2
5,7	7,6	7,0	5,8	5,4	6,8	7,2	6,9	4,4	2,1
6,0	7,9	7,1	5,8	5,5	6,9	7,2	6,9	4,4	2,2
6,0	8,0	7,2	5,8	5,5	6,9	7,2	7,0	4,5	2,2
6,4	8,0	7,2	5,9	5,6	7,0	7,2	6,9	4,5	2,3
6,7	8,2	7,3	6,0	5,6	7,1	7,2	7,0	4,5	2,3
			6,0	5,7	7,1	7,3	7,0	4,6	2,3
			5,9	5,7	7,2			4,6	2,4
			6,1	3,1	7,3			4,6	2,5
			6,1					4,7	1,8
									2,8
									3,0
									3,3
									3,4
MÉDIAS POR TAMANHOS									
5,3	7,7	7,1	6,2	5,4	7,1	7,5	7,0	4,5	2,4
MÉDIA GERAL: 5,8					DESVIO PADRÃO: 1,7				

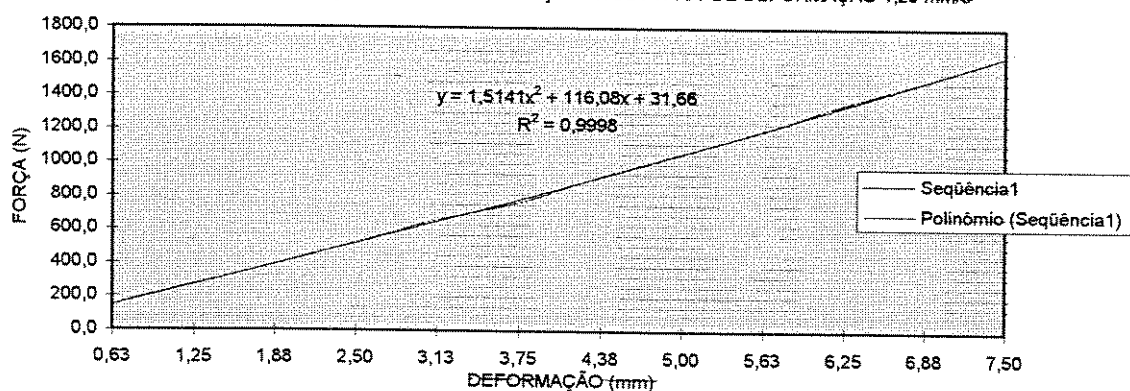
FORÇA/DEFORMAÇÃO CUBO 1 COMPOSIÇÃO 17B24 TAXA DE DEFORMAÇÃO 1,25 mm/s



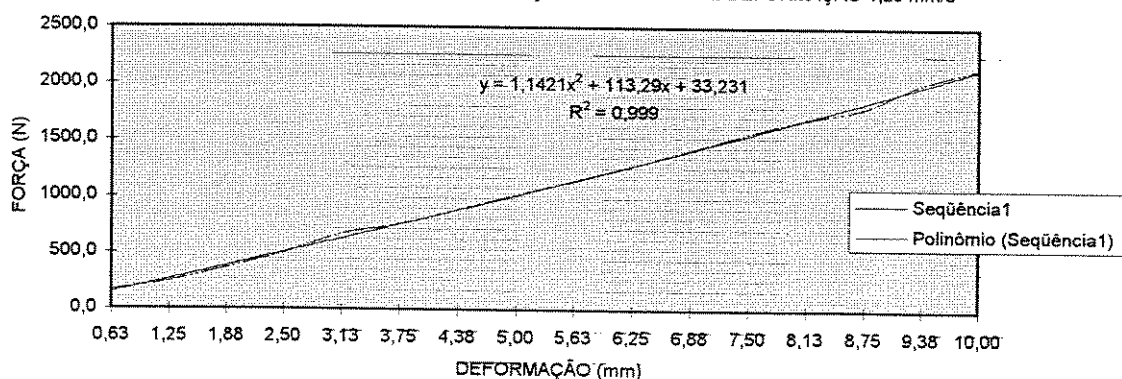
FORÇA/DEFORMAÇÃO CUBO 2 COMPOSIÇÃO 17B24 TAXA DE DEFORMAÇÃO 1,25 mm/s



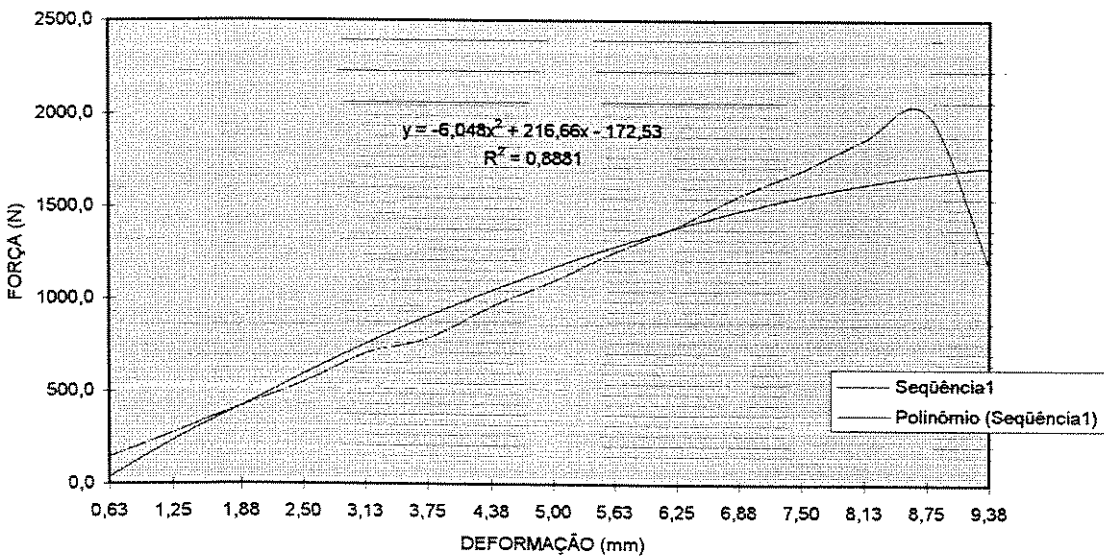
FORÇA/DEFORMAÇÃO CUBO 3 COMPOSIÇÃO 17B24 TAXA DE DEFORMAÇÃO 1,25 mm/s



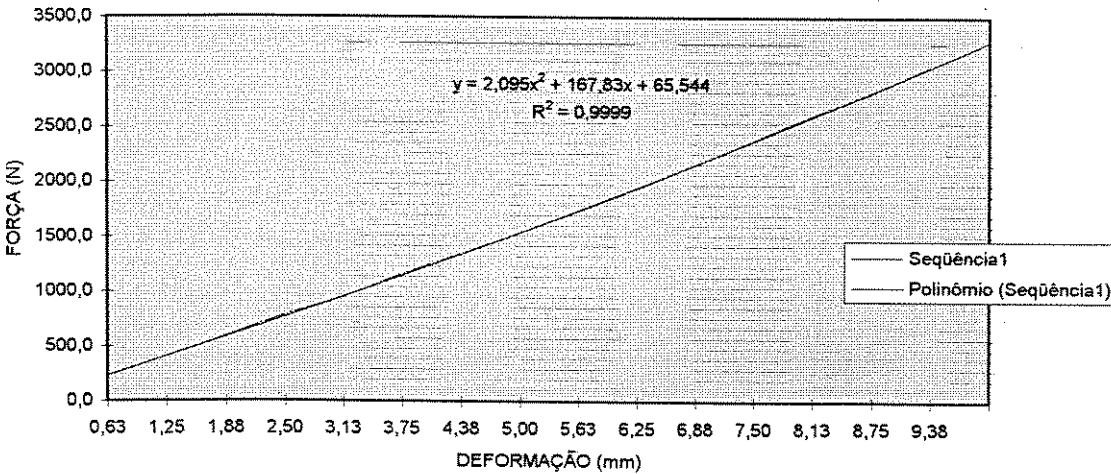
FORÇA/DEFORMAÇÃO CUBO 4 COMPOSIÇÃO 17B24 TAXA DE DEFORMAÇÃO 1,25 mm/s



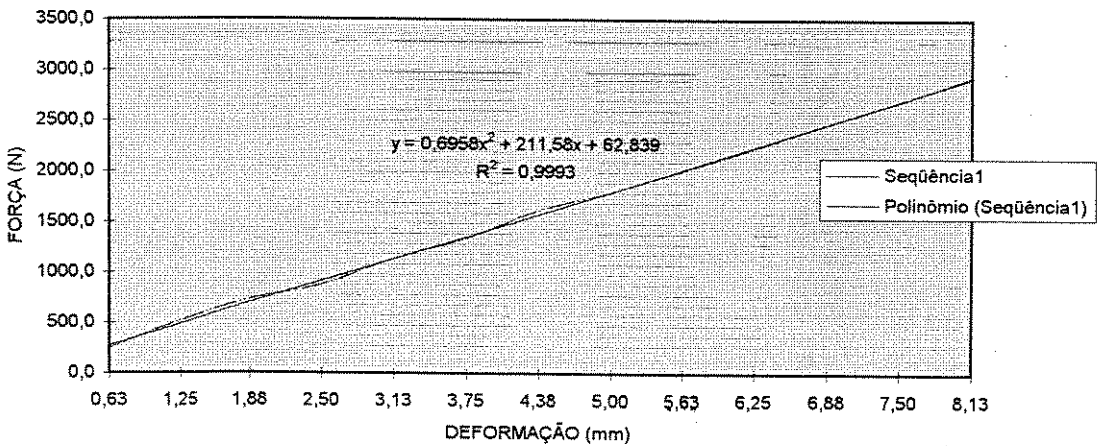
FORÇA/DEFORMAÇÃO CUBO-5 COMPOSIÇÃO 17B24 TAXA DE DEFORMAÇÃO 1,25 mm/s



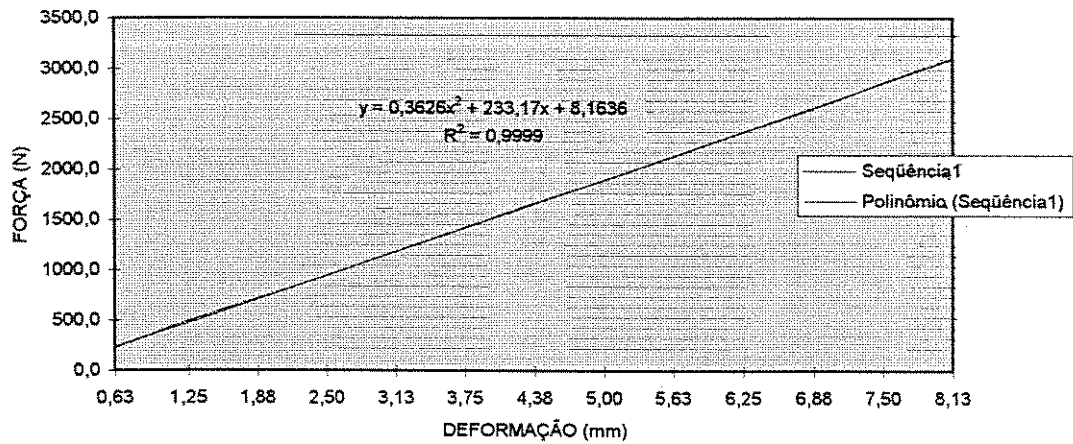
FORÇA/DEFORMAÇÃO CUBO-6 COMPOSIÇÃO 17B24 TAXA DE DEFORMAÇÃO 1,25 mm/s



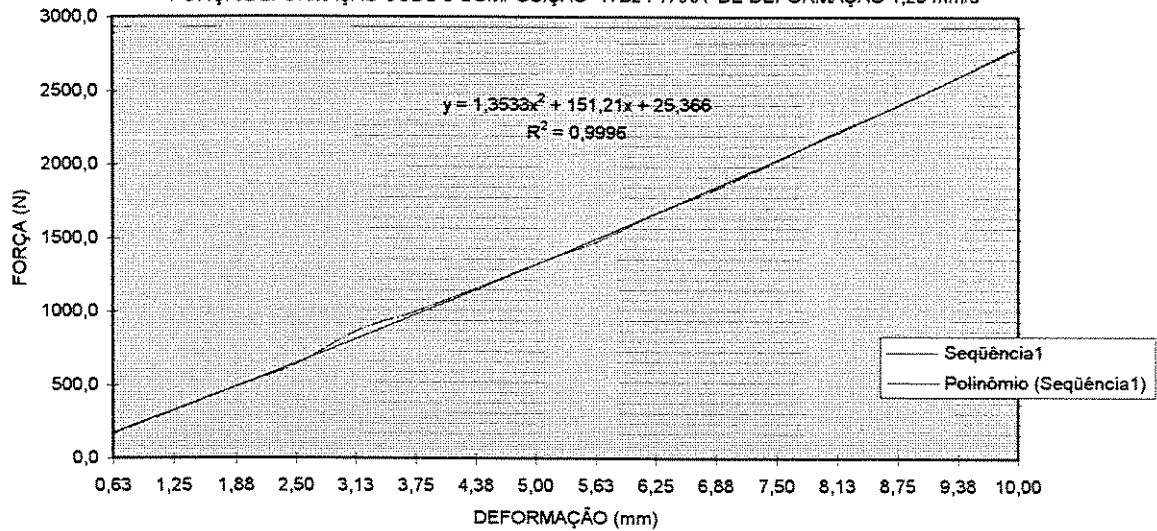
FORÇA/DEFORMAÇÃO CUBO 7 COMPOSIÇÃO 17B24 TAXA DE DEFORMAÇÃO 1,25 mm/s



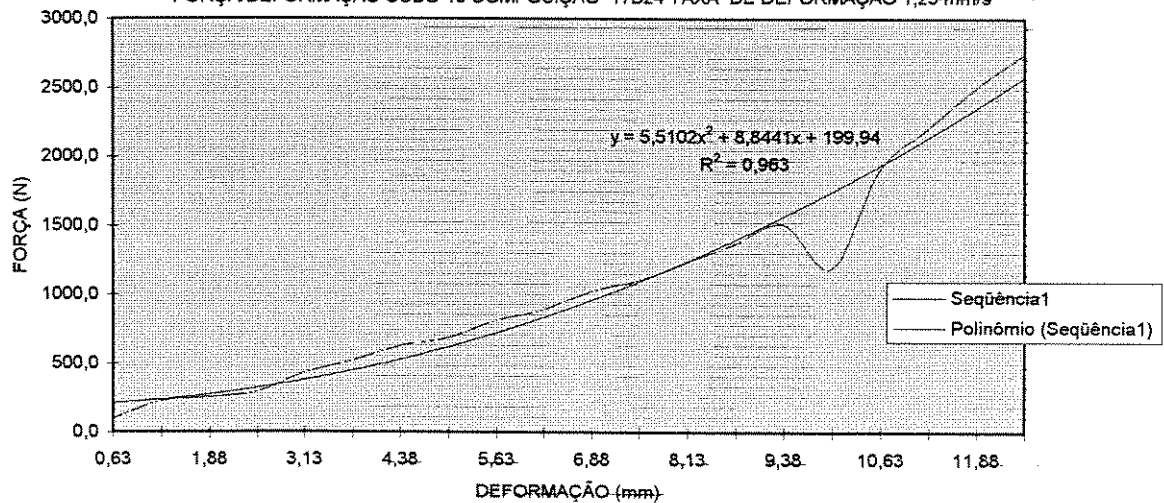
FORÇA/DEFORMAÇÃO CUBO 8 COMPOSIÇÃO 17B24 TAXA DE DEFORMAÇÃO 1,25 mm/s



FORÇA/DEFORMAÇÃO CUBO 9 COMPOSIÇÃO 17B24 TAXA DE DEFORMAÇÃO 1,25 mm/s



FORÇA/DEFORMAÇÃO CUBO 10 COMPOSIÇÃO 17B24 TAXA DE DEFORMAÇÃO 1,25 mm/s



APÊNDICE VIII

TAXA DE DEFORMAÇÃO

CILINDRO

“BRAZILIAN TEST”

DEFORMAÇÃO CONTROLADA

CILINDRO: 6B20 "BRAZILIAN TEST"

TAXA DE DEFORMAÇÃO: 1,25 mm/s

DIMENSÕES

DEFORMAÇÃO (mm)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
	FORÇA (N)									
1,25	294,3	363,0	245,0	264,6	274,4	245,3	255,1	313,9	235,4	441,0
2,50	559,2	637,7	490,0	519,4	509,6	490,5	490,5	569,0	421,8	921,2
3,75	932,0	932,0	744,8	764,4	744,8	725,9	735,8	804,4	657,3	1352,4
5,00	1471,5	1765,8	1029,0	1058,4	1009,4	961,4	981,0	1049,7	882,9	1744,4
5,25	2403,5	2383,8	1372,0	1352,4	1274,0	1216,4	1226,3	1304,7	1128,2	2156,0
7,50		3256,9	1764,0	1695,4	1352,4	1471,5	1471,5	1569,6	1363,6	2548,0
8,75			2273,6	2087,4	1862,0	1736,4	1736,4	1824,7	1618,7	2959,6
10,00			2940,0	2548,0	2195,2	2040,5	2020,9	2099,3	1893,3	
11,25				3116,4	2577,4	2334,8	2334,8	2383,8	2158,2	
12,50					3018,4	2687,9	2648,7	3011,7	2472,1	
13,95						3080,3	2952,8		2835,1	
15,00									3158,8	

CILINDROS COMPOSIÇÃO 6B20 "BRAZILIAN TEST" TAXA DE DEFORMAÇÃO: 1,25 mm/s

DIMENSÕES

DEFORMAÇÃO (mm)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
	"Z" CALCULADO									
1,25	0,444	0,496	0,636	0,686	0,711	0,812	0,845	0,803	0,974	0,737
2,50	0,322	0,374	0,450	0,490	0,522	0,574	0,609	0,596	0,728	0,510
3,75	0,250	0,309	0,365	0,404	0,432	0,472	0,498	0,502	0,583	0,421
5,00	0,199	0,225	0,310	0,343	0,371	0,410	0,431	0,439	0,503	0,370
5,25	0,155	0,193	0,269	0,303	0,330	0,364	0,385	0,394	0,445	0,333
7,50		0,165	0,237	0,271	0,320	0,331	0,352	0,359	0,405	0,307
8,75			0,209	0,244	0,273	0,305	0,324	0,333	0,371	0,284
10,00			0,184	0,221	0,251	0,281	0,300	0,310	0,343	
11,25				0,200	0,232	0,263	0,279	0,291	0,322	
12,50					0,214	0,245	0,262	0,259	0,301	
13,95						0,229	0,248		0,281	
15,00									0,266	

CILINDROS COMPOSIÇÃO 6B20 "BRAZILIAN TEST" TAXA DE DEFORMAÇÃO 1,25 mm/s

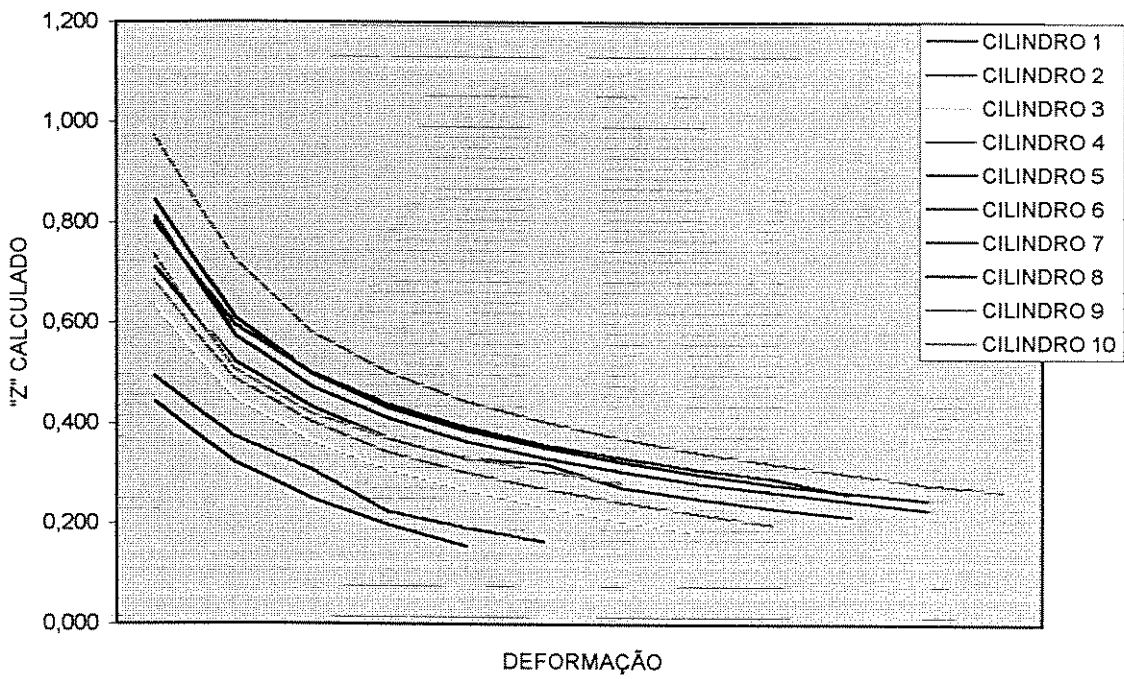
DIMENSÕES

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
"MÓDULO DE ELASTICIDADE CALCULADO" E									
7,82	8,21	7,10	7,30	7,12	7,11	7,11	7,11	7,20	7,09
7,01	7,56	6,98	7,05	7,02	7,06	7,01	7,03	6,98	6,90
6,92	7,31	6,80	6,93	6,94	6,92	6,98	6,98	6,94	6,92
6,86	7,03	6,80	6,83	6,87	6,92	6,98	6,92	6,93	6,83
6,86	6,94	6,79	6,83	6,78	6,83	6,98	6,92	6,93	6,82
	6,92	6,78	6,83	6,76	6,83	6,97	6,89	6,91	6,80
		6,78	6,81	6,76	6,83	6,92	6,89	6,91	6,80
		6,78	6,81	6,68	6,82	6,92	6,89	6,91	6,78
			6,80	6,68	6,82	6,92	6,89	6,90	6,78
				6,67	6,82	6,91	6,89	6,89	
					6,82	6,91	6,88	6,89	
					6,82	6,90		6,89	
								6,90	

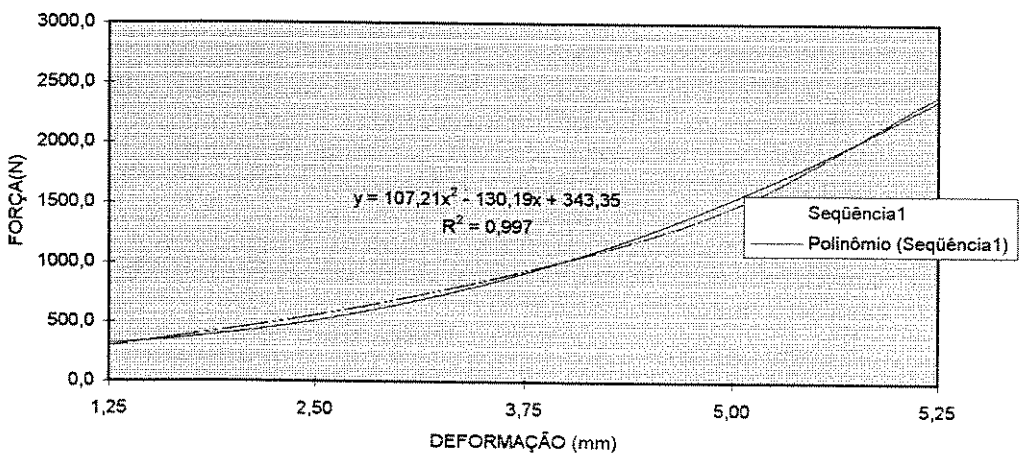
MÉDIAS POR TAMANHO

7,09	7,33	6,85	6,90	6,82	6,88	6,96	6,93	6,94	6,86
MÉDIA GERAL: 6,94					DESVIO PADRÃO: 0,21				

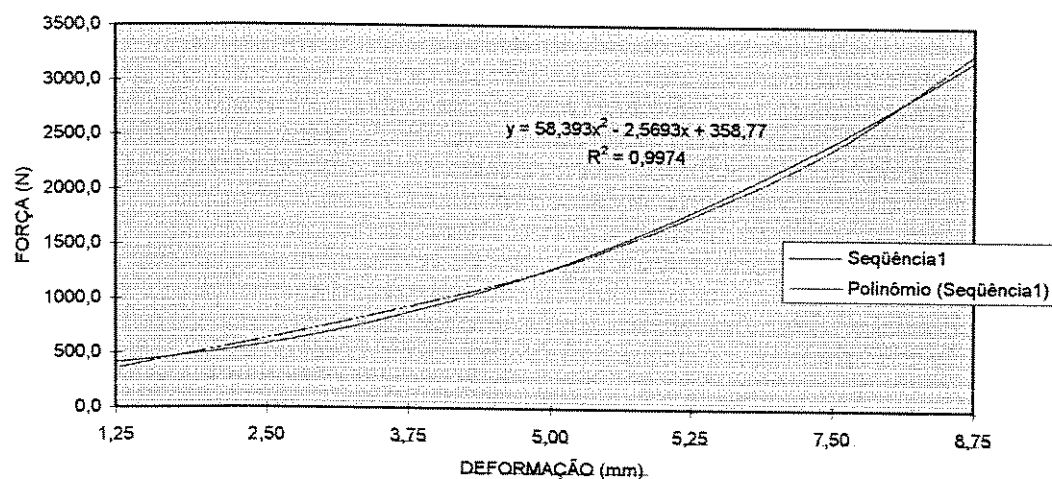
GRÁFICO MOSTRA "Z" CALCULADO PARA CILINDROS DE COMPOSIÇÃO 6B20 TAXA DE DEFORMAÇÃO 1,25 mm/s



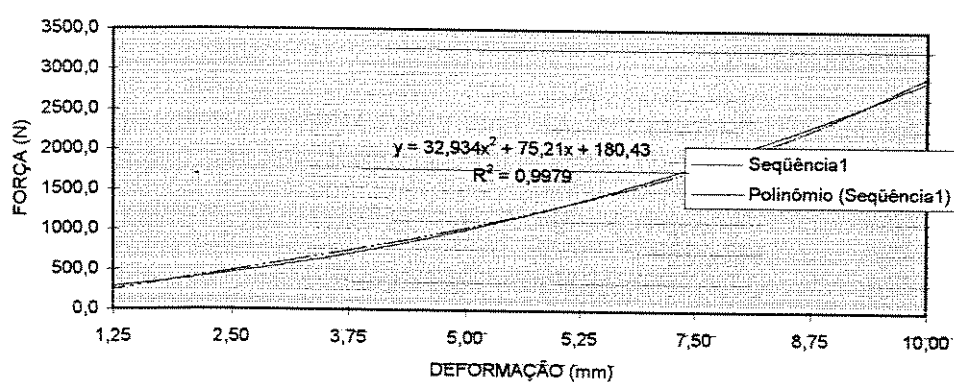
FORÇA/DEFORMAÇÃO CILINDRO 1 COMPOSIÇÃO 6B20 TAXA DE DEFORMAÇÃO 1,25 mm/s



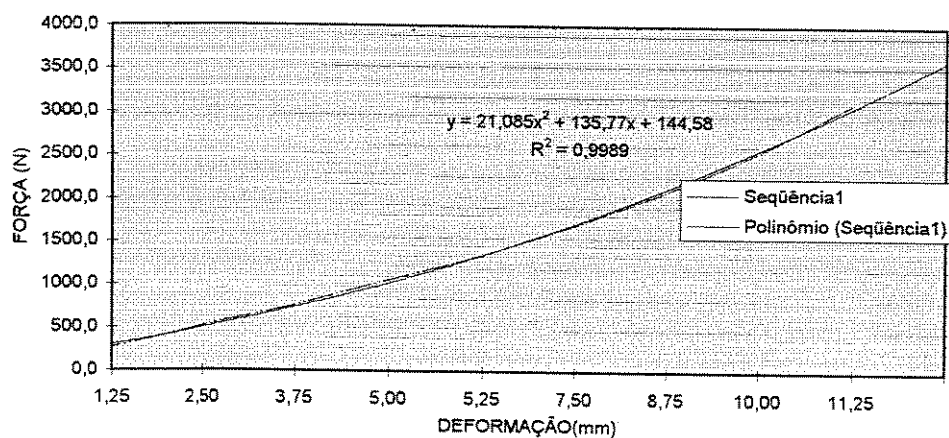
FORÇA/DEFORMAÇÃO CILINDRO 2 COMPOSIÇÃO 6B20 TAXA DE DEFORMAÇÃO 1,25 mm/s



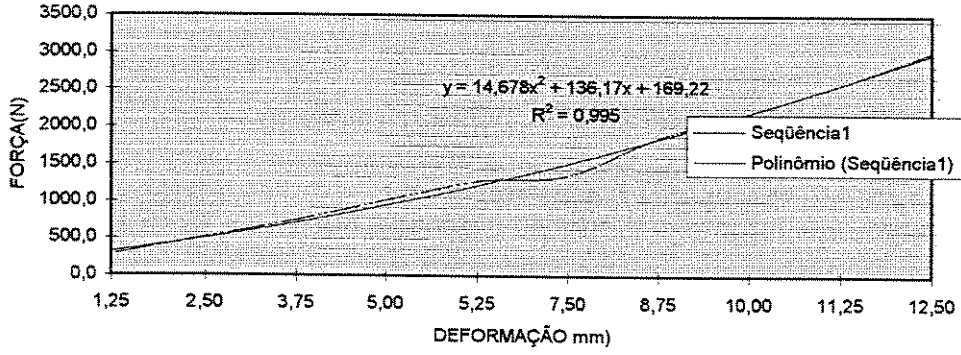
FORÇA/DEFORMAÇÃO CILINDRO 3 COMPOSIÇÃO 6B20 RAZÃO DE DEFORMAÇÃO 1,25 mm/s



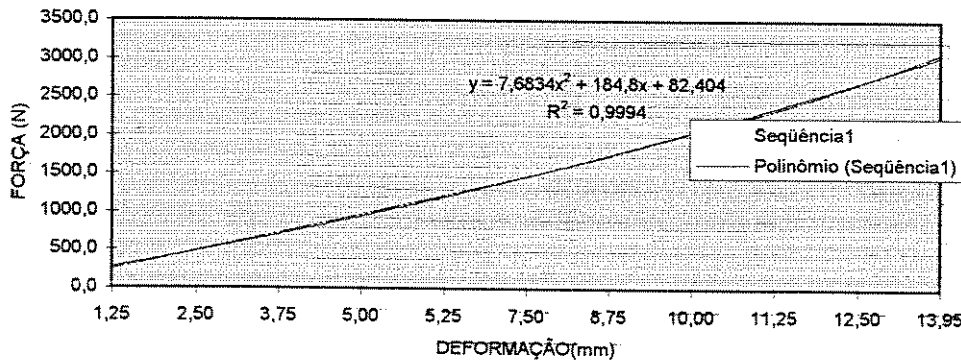
FORÇA/DEFORMAÇÃO CILINDRO 4 COMPOSIÇÃO 6B20 TAXA DE DEFORMAÇÃO 1,25 mm/s



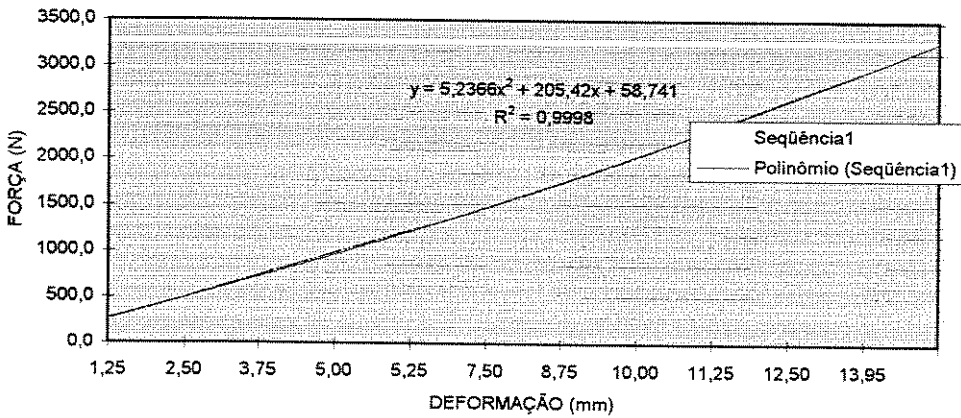
FORÇA/DEFORMAÇÃO CILINDRO 5 COMPOSIÇÃO 6B20 TAXA DE DEFORMAÇÃO 1,25 mm/s-



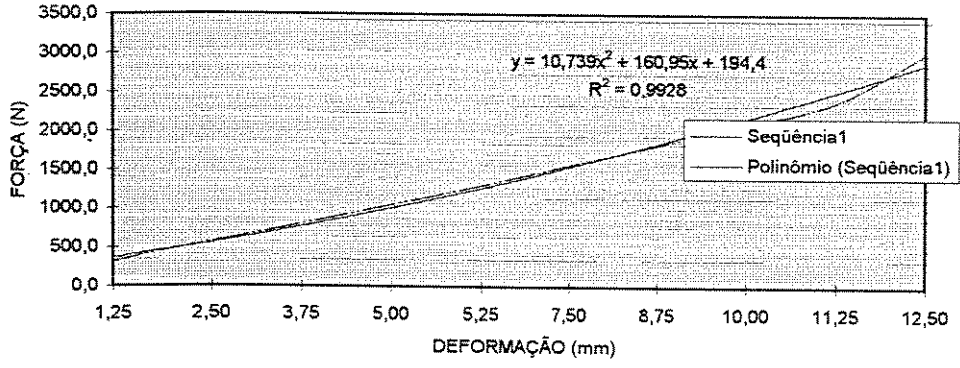
FORÇA/DEFORMAÇÃO CILINDRO 6 COMPOSIÇÃO 6B20 TAXA DE DEFORMAÇÃO 1,25 mm/s-



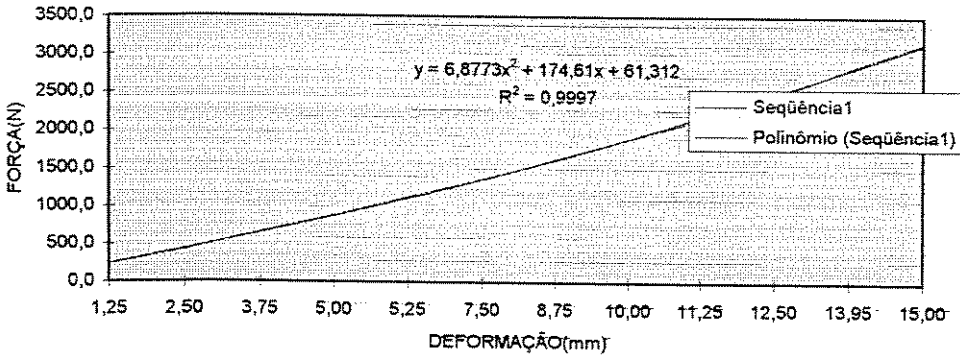
FORÇA/DEFORMAÇÃO CILINDRO 7 COMPOSIÇÃO 6B20 TAXA DE DEFORMAÇÃO 1,25 mm/seg-



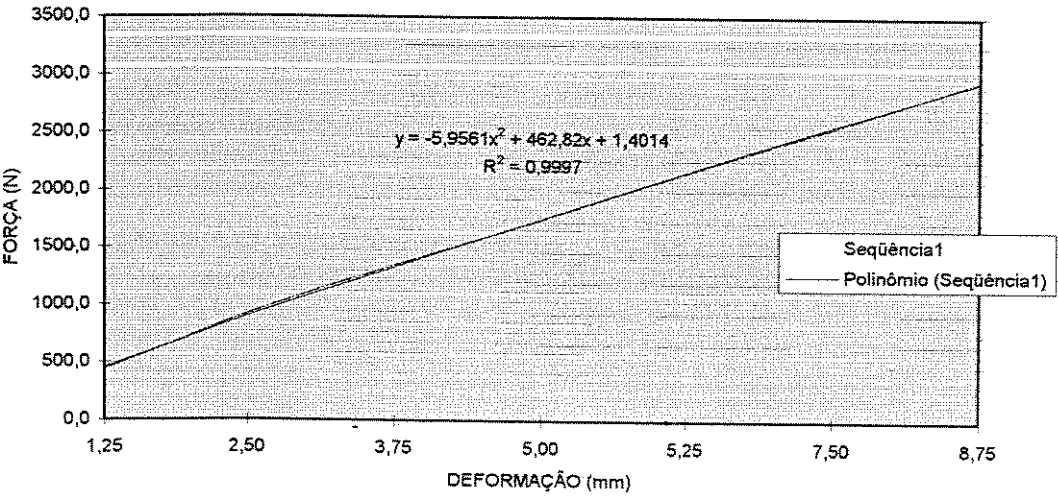
FORÇA/DEFORMAÇÃO CILINDRO 8 COMPOSIÇÃO 6B20 TAXA DE DEFORMAÇÃO 1,25 mm/s.



FORÇA/DEFORMAÇÃO CILINDRO 9 COMPOSIÇÃO 6B20 TAXA DE DEFORMAÇÃO 1,25 mm/s.



FORÇA/DEFORMAÇÃO CILINDRO 10 COMPOSIÇÃO 6B20 TAXA DE DEFORMAÇÃO 1,25 mm/s.



DEFORMAÇÃO CONTROLADA

CILINDROS: 114

TAXA DE DEFORMAÇÃO: 1,25mm/s

Brazilian test

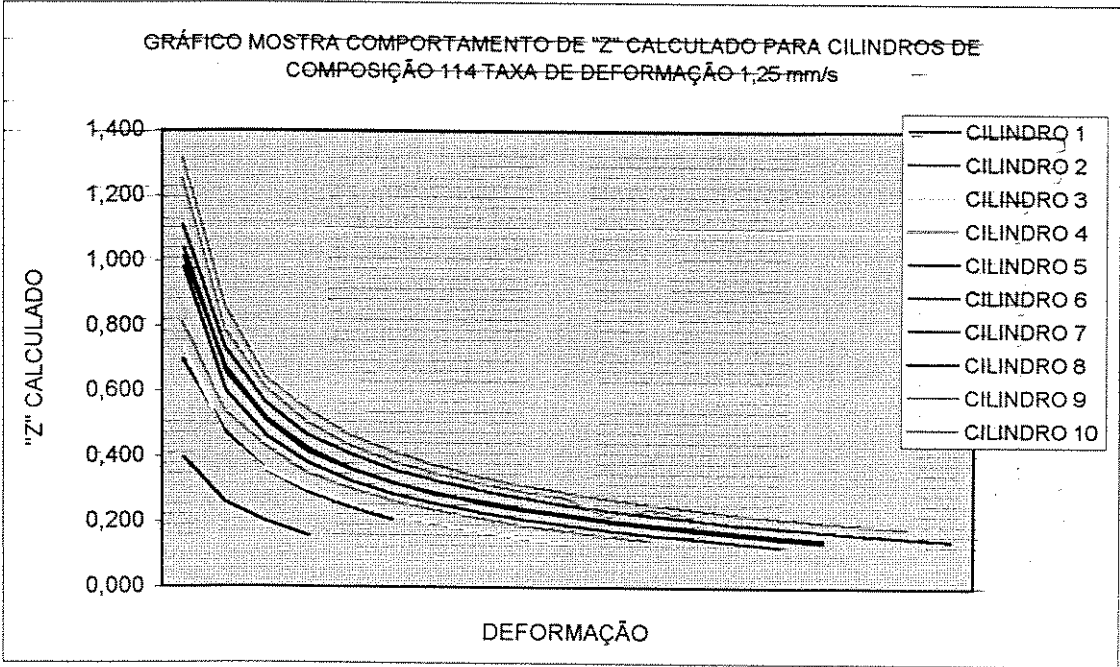
DIMENSÕES

DEFOR. (mm)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
	FORÇA (N)									
1,25	166,8	78,5	78,5	78,5	58,9	58,9	68,7	68,7	58,9	58,9
2,50	392,4	166,8	196,2	176,6	157,0	147,2	157,0	157,0	147,2	137,3
3,75	657,3	294,3	323,7	274,7	264,9	245,3	264,9	264,9	245,3	245,3
5,00	1049,7	451,3	470,9	421,8	392,4	372,8	392,4	392,4	363,0	343,4
6,25		647,5	657,3	569,0	539,6	490,5	539,6	510,1	490,5	470,9
7,50		902,5	863,3	735,8	696,5	627,8	686,7	647,5	618,0	588,6
8,75			1118,3	932,0	863,3	765,2	862,9	784,8	755,4	725,9
10,00			1422,5	1157,6	1069,3	961,4	1000,6	951,6	902,5	882,9
11,25			1834,5	1422,5	1304,7	1138,0	1196,8	1128,2	1059,5	1030,1
12,50			2325,0	1716,8	1550,0	1344,0	1393,0	1324,4	1226,3	1196,8
13,75				2089,5	1844,3	1569,6	1638,3	1520,6	1903,1	1383,2
15,00				2511,4	2168,0	1834,5	1883,5	1736,4	1618,7	1569,6
16,25					2560,4	2138,6	2158,2	1971,8	1942,4	1775,6
17,50					3021,5	2462,3	2462,3	2236,7		2001,2
18,75					3590,5	2844,9	2864,5	2511,4		2226,9
20,00						3355,0	3207,9	2844,9		2481,9
21,25								3178,4		2746,8
22,50								3551,2		3041,1
23,75								4051,5		

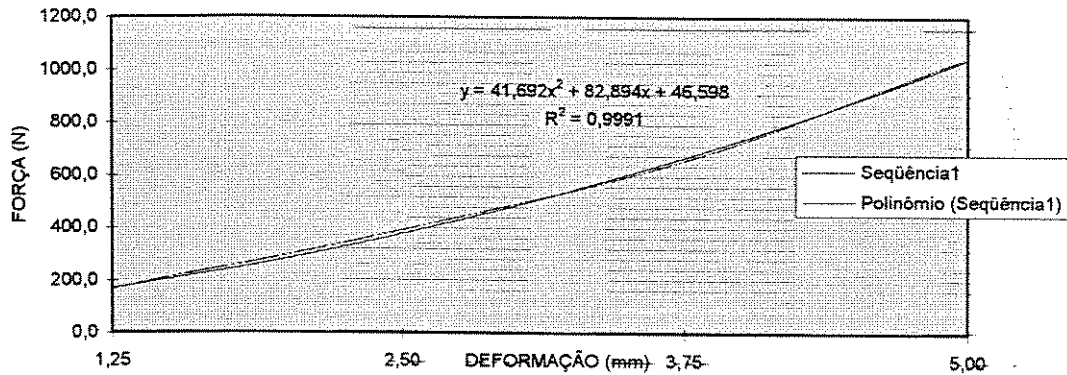
"Z CALCULADO" PARA CILINDROS DE COMPOSIÇÃO 114

DEFOR. (mm)	DIMENSÕES									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1,25	0,396	0,697	0,731	0,812	0,980	1,039	1,011	1,112	1,252	1,315
2,50	0,258	0,478	0,462	0,542	0,600	0,657	0,669	0,735	0,792	0,861
3,75	0,200	0,360	0,360	0,434	0,462	0,509	0,515	0,566	0,613	0,644
5,00	0,158	0,291	0,298	0,350	0,380	0,413	0,423	0,465	0,504	0,545
6,25		0,243	0,253	0,302	0,324	0,360	0,361	0,408	0,434	0,465
7,50		0,206	0,220	0,265	0,285	0,318	0,320	0,362	0,386	0,416
8,75			0,194	0,236	0,256	0,288	0,282	0,329	0,350	0,375
10,00			0,172	0,212	0,230	0,257	0,265	0,299	0,320	0,340
11,25			0,151	0,191	0,208	0,236	0,242	0,274	0,295	0,314
12,50			0,134	0,174	0,191	0,217	0,225	0,253	0,274	0,292
13,75				0,157	0,175	0,201	0,207	0,236	0,220	0,271
15,00				0,144	0,161	0,186	0,193	0,221	0,239	0,255
16,25					0,149	0,172	0,180	0,207	0,218	0,239
17,50					0,137	0,161	0,169	0,195		0,226
18,75					0,125	0,149	0,157	0,184		0,214
20,00						0,138	0,148	0,173		0,203
21,25								0,163		0,193
22,50								0,155		0,183
23,75								0,145		

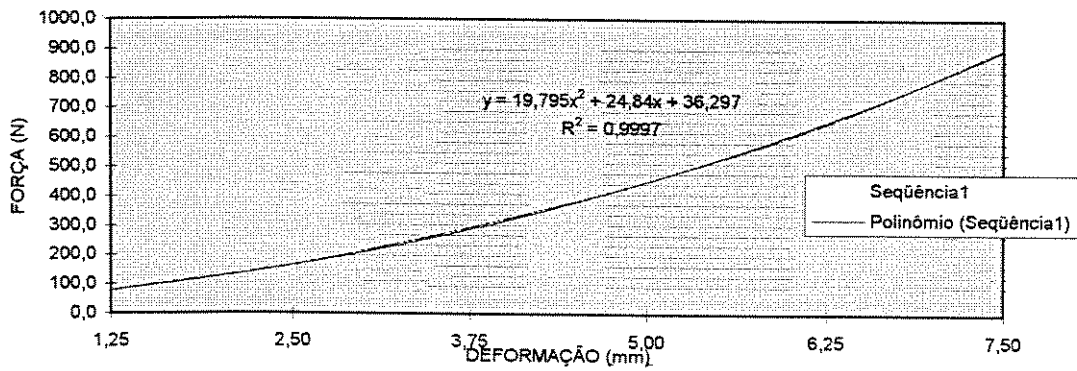
CILINDROS COMPOSIÇÃO 114 "BRAZILIAN TEST" TAXA DE DEFORMAÇÃO: 1,25 mm/s									
DIMENSÕES									
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
"MÓDULO DE ELASTICIDADE CALCULADO" E									
3,30	3,30	3,30	3,33	3,10	3,10	2,83	3,20	3,50	3,27
3,19	3,29	3,29	3,18	3,05	2,98	2,79	3,16	3,38	3,10
3,19	3,00	3,10	3,08	2,98	2,81	2,76	3,08	3,16	2,98
3,20	3,06	3,03	2,98	2,95	2,75	2,70	2,98	2,96	2,98
	3,04	2,95	2,96	2,91	2,72	2,69	2,93	2,92	2,97
	3,02	2,93	2,94	2,88	2,71	2,69	2,93	2,88	2,97
		2,90	2,92	2,80	2,69	2,69	2,92	2,88	2,93
		2,90	2,90	2,88	2,69	2,69	2,92	2,88	2,92
		2,88	2,88	2,88	2,69	2,68	2,91	2,86	2,92
		2,89	2,88	2,87	2,68	2,68	2,91	2,86	2,91
		2,88	2,87	2,87	2,68	2,68	2,91	2,85	2,97
			2,88	2,87	2,69	2,67	2,90	2,84	2,97
			2,86	2,88	2,68	2,67	2,88	2,83	2,97
				2,87	2,70	2,67	2,87	2,83	2,96
				2,86	2,67	2,66	2,85		2,96
				2,86	2,67	2,65	2,83		2,96
					2,66	2,65	2,83		2,95
							2,83		2,95
							2,83		
MÉDIAS POR TAMANHOS									
3,22	3,12	3,00	2,97	2,91	2,74	2,70	2,93	2,97	2,98
MÉDIA GERAL:		2,91		DESVIO PADRÃO: 0,175					



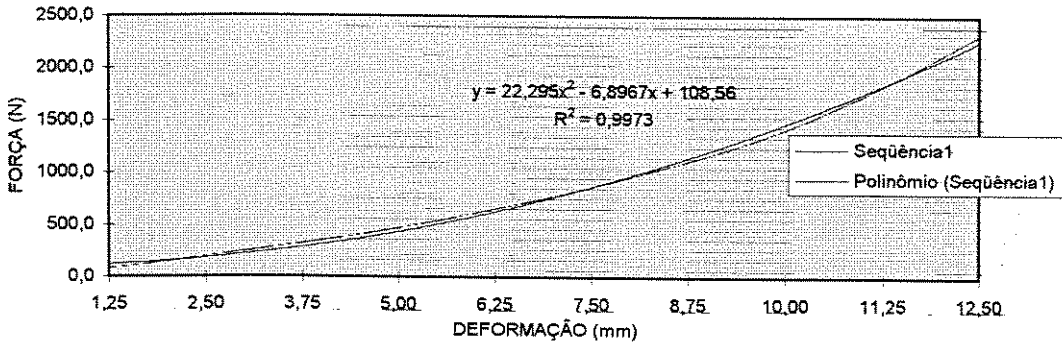
"BRAZILIAN TEST" FORÇA/DEFORMAÇÃO CILINDRO 1 COMPOSIÇÃO 1.14 TAXA DE DEFORMAÇÃO 1.25 mm/s



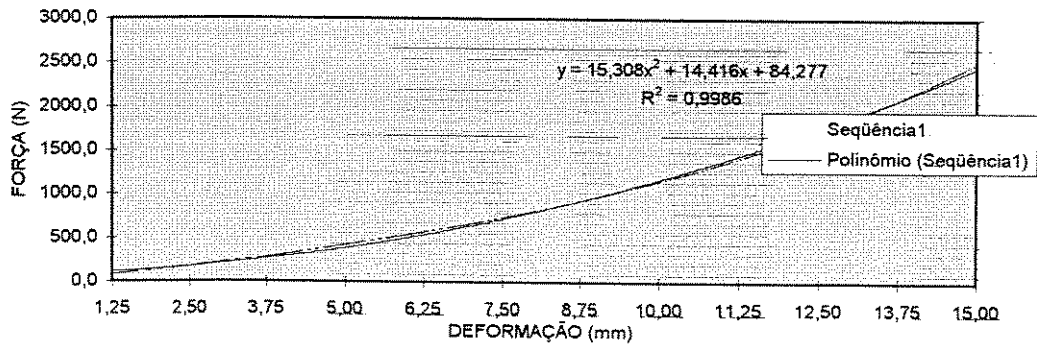
"BRAZILIAN TEST" FORÇA/DEFORMAÇÃO CILINDRO 2 COMPOSIÇÃO 1.14 TAXA DE DEFORMAÇÃO 1.25 mm/s



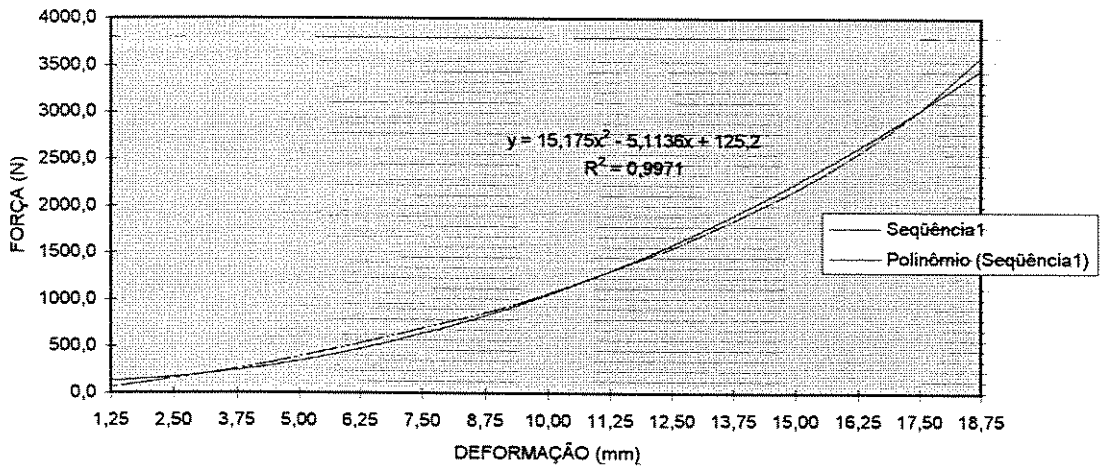
"BRAZILIAN TEST" FORÇA/DEFORMAÇÃO CILINDRO 3 COMPOSIÇÃO 1.14 TAXA DE DEFORMAÇÃO 1.25 mm/s



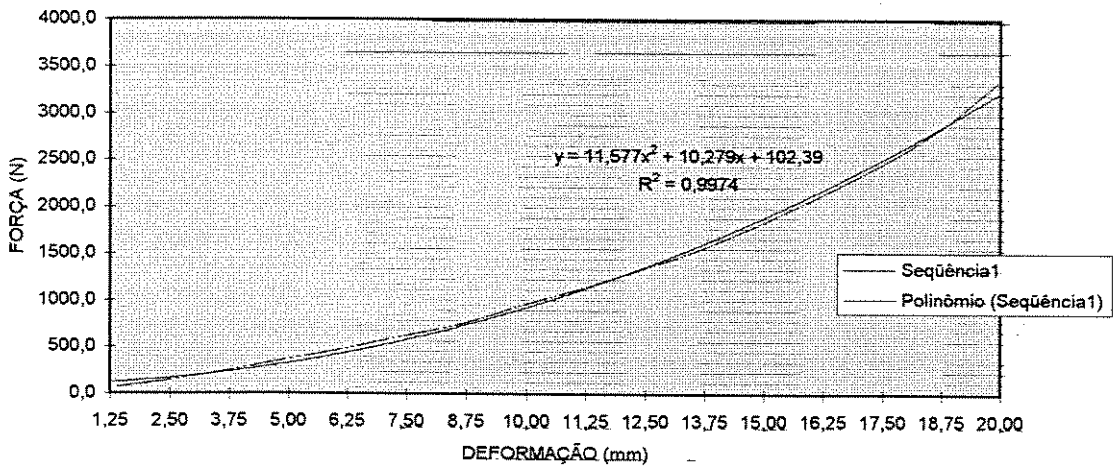
"BRAZILIAN TEST" FORÇA/DEFORMAÇÃO CILINDRO 4 COMPOSIÇÃO 1.14 TAXA DE DEFORMAÇÃO 1.25 mm/s



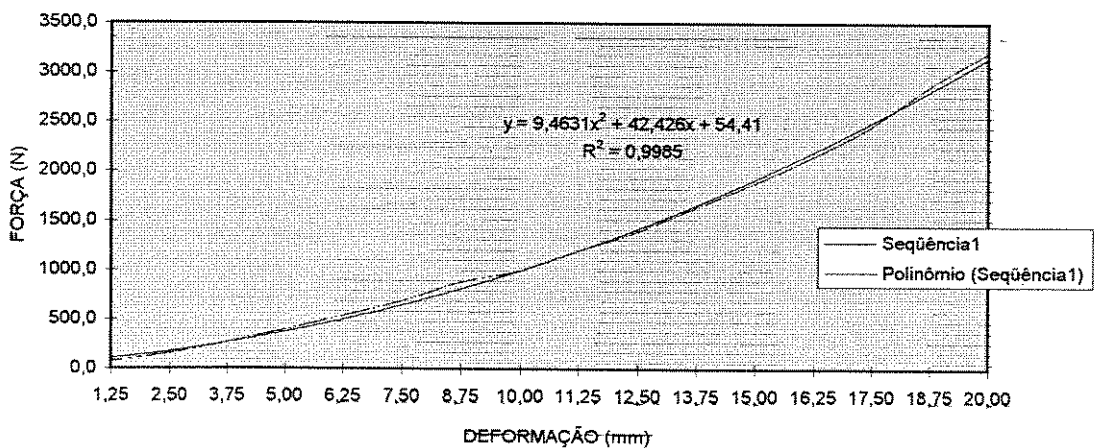
"BRAZILIAN TEST" FORÇA/DEFORMAÇÃO-CILINDRO-5 COMPOSIÇÃO 114 TAXA DE DEFORMAÇÃO 1,25 mm/s.



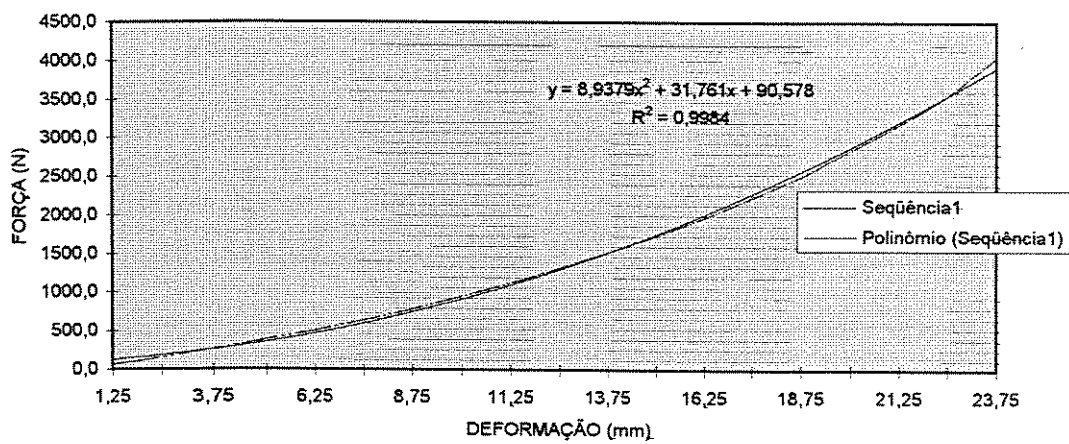
"BRAZILIAN TEST" FORÇA/DEFORMAÇÃO-CILINDRO-6 COMPOSIÇÃO 114 TAXA DE DEFORMAÇÃO 1,25 mm/s.



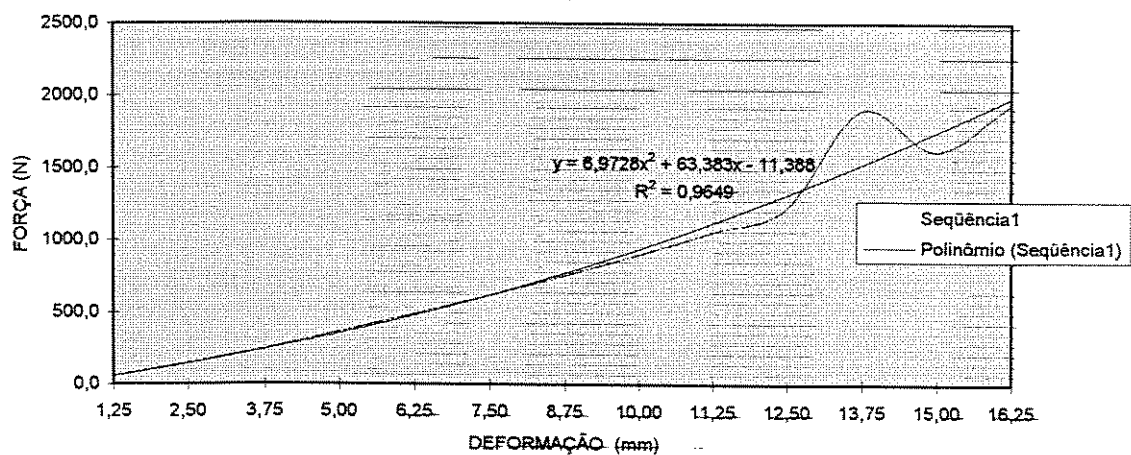
"BRAZILIAN TEST" FORÇA/DEFORMAÇÃO-CILINDRO-7 COMPOSIÇÃO 114 TAXA DE DEFORMAÇÃO 1,25 mm/s.



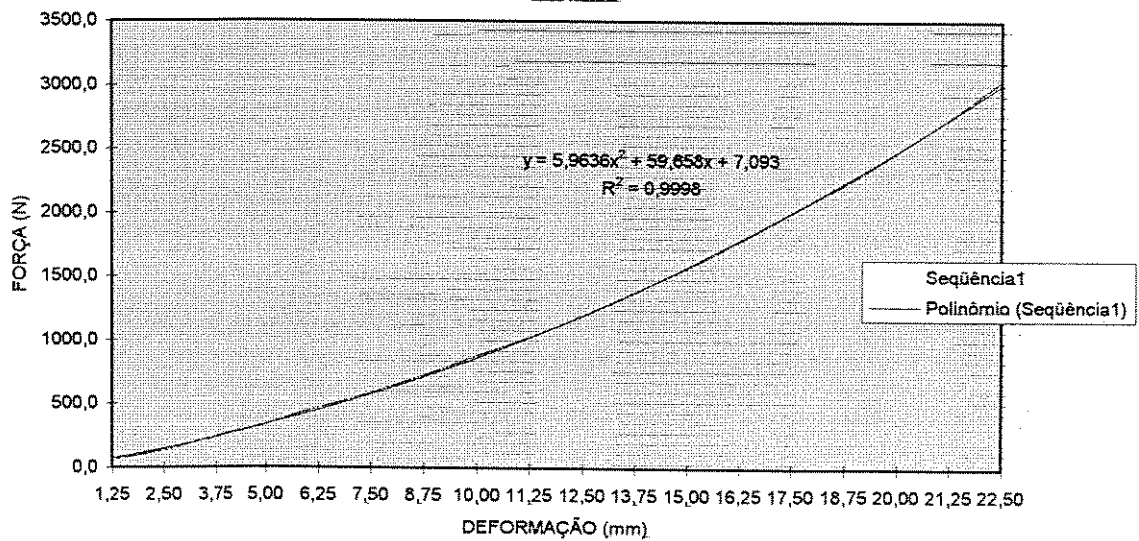
"BRAZILIAN TEST" FORÇA/DEFORMAÇÃO CILINDRO-8-COMPOSIÇÃO 114 TAXA DE DEFORMAÇÃO 1,25 mm/s



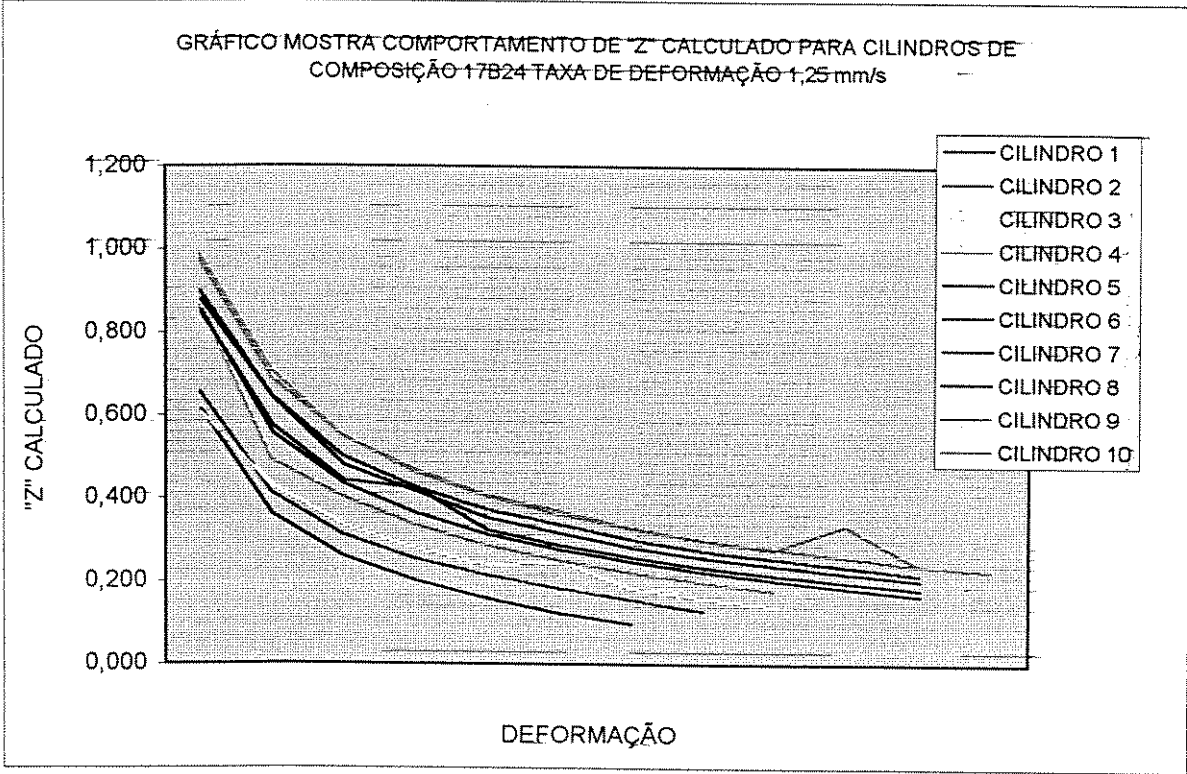
"BRAZILIAN TEST" FORÇA/DEFORMAÇÃO CILINDRO-9-COMPOSIÇÃO 114 TAXA DE DEFORMAÇÃO 1,25 mm/s



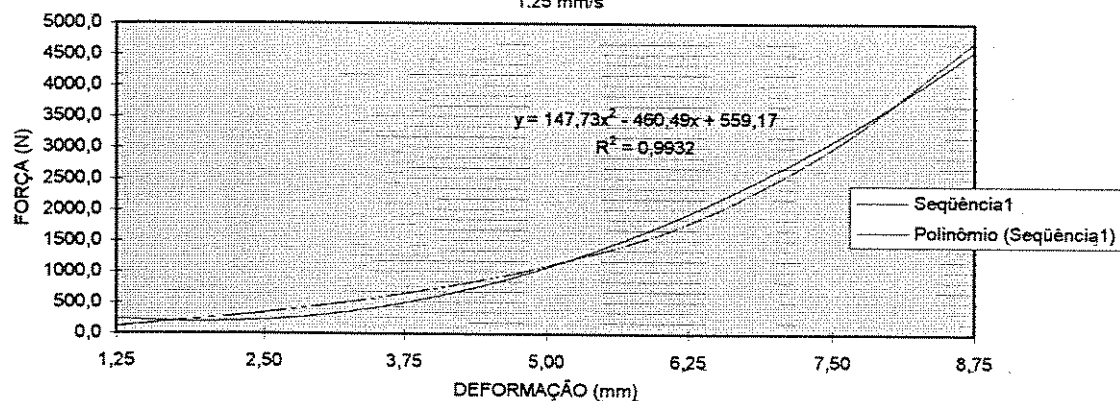
"BRAZILIAN TEST" FORÇA/DEFORMAÇÃO CILINDRO-10-COMPOSIÇÃO 114 TAXA DE DEFORMAÇÃO 1,25 mm/s



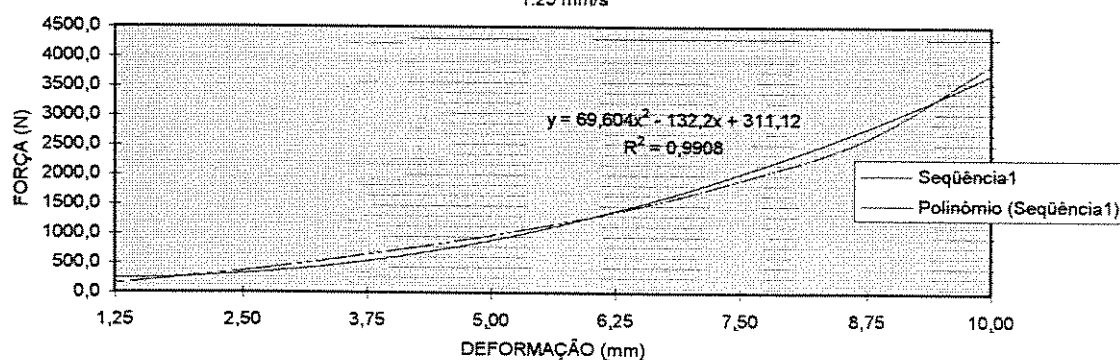
CILINDROS COMPOSIÇÃO 17B24 "BRAZILIAN TEST" TAXA DE DEFORMAÇÃO: 1,25 mm/s									
DIMENSÕES									
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
"MÓDULO DE ELASTICIDADE CALCULADO" E									
5,20	5,60	5,60	5,50	5,38	5,31	5,49	5,41	5,10	5,20
4,98	5,30	5,20	5,23	5,30	5,20	5,20	5,20	4,98	4,98
4,93	5,10	5,05	5,05	5,03	5,12	5,01	4,90	4,92	4,93
4,91	4,97	4,90	4,86	4,86	4,86	4,86	4,90	4,89	4,88
4,88	4,97	4,97	4,86	4,81	4,84	4,83	4,86	4,88	4,87
4,88	4,96	4,97	4,86	4,81	4,84	4,83	4,85	4,88	4,85
4,87	4,96	4,96	4,84	4,80	4,83	4,83	4,81	4,87	4,85
	4,93	4,96	4,83	4,79	4,83	4,80	4,81	4,85	4,85
		4,95	4,81	4,77	4,81	4,80	4,80	4,85	4,84
			4,81	4,77	4,81	4,80	4,79	4,85	4,83
				4,77	4,81	4,78	4,77	4,84	4,82
								4,84	
MÉDIAS POR TAMANHOS									
4,95	5,10	5,06	4,96	4,92	4,93	4,93	4,92	4,89	4,90
MÉDIA GERAL: 4,85					DESVIO PADRÃO: 0,196				



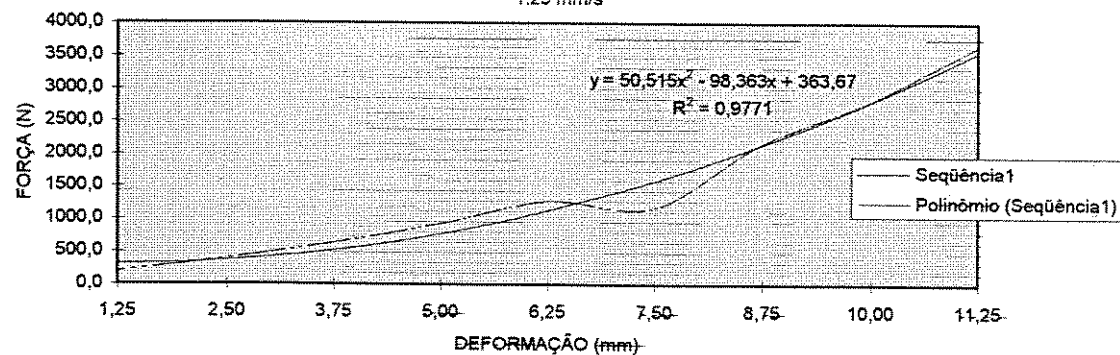
"BRAZILIAN TEST" FORÇA/DEFORMAÇÃO CILINDRO 1 COMPOSIÇÃO: 17B24 TAXA DE DEFORMAÇÃO: 1.25 mm/s



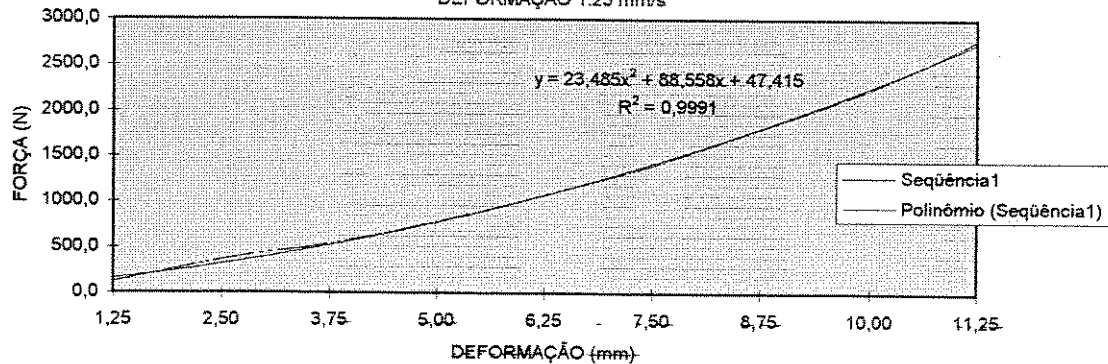
"BRAZILIAN TEST" FORÇA/DEFORMAÇÃO CILINDRO 2 COMPOSIÇÃO: 17B24 TAXA DE DEFORMAÇÃO: 1.25 mm/s



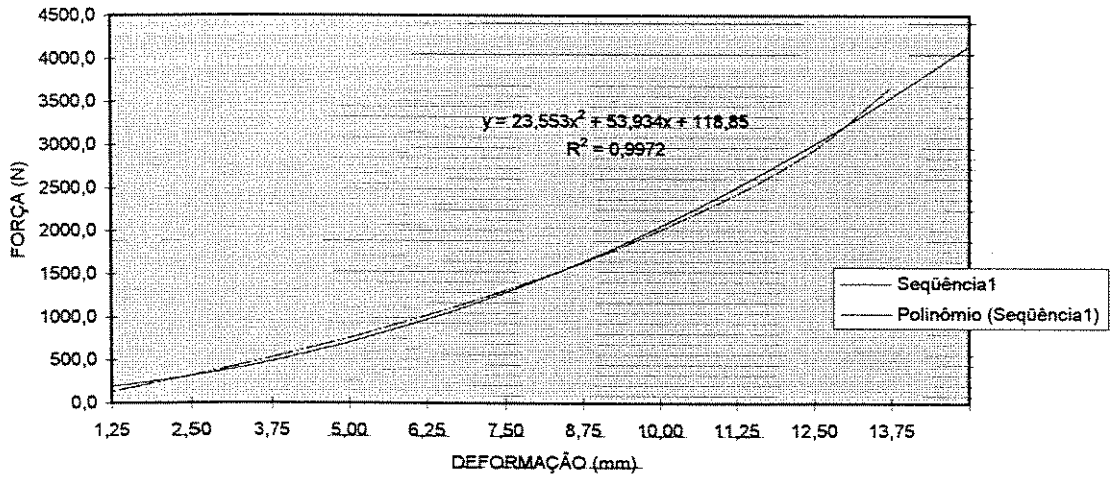
"BRAZILIAN TEST" FORÇA/DEFORMAÇÃO CILINDRO 3 COMPOSIÇÃO: 17B24 TAXA DE DEFORMAÇÃO: 1.25 mm/s



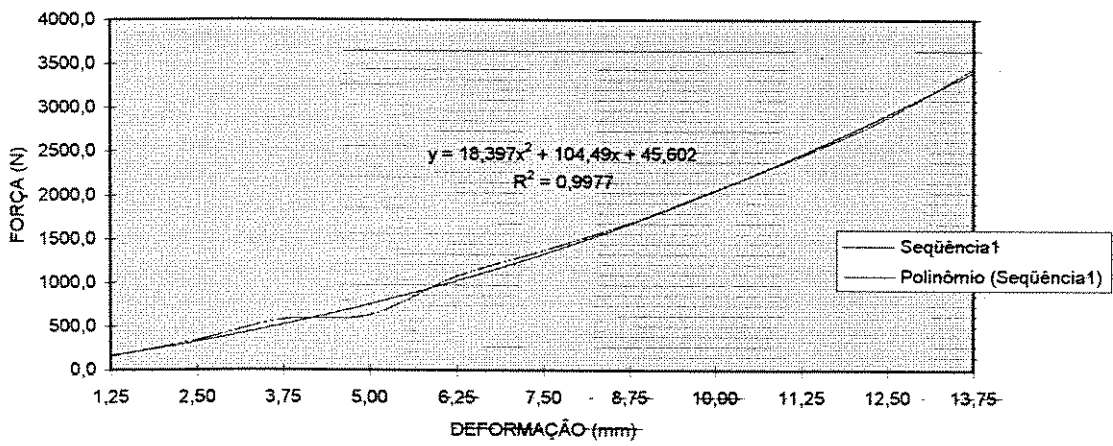
"BRAZILIAN TEST" FORÇA/DEFORMAÇÃO CILINDRO 4 COMPOSIÇÃO: 17B24 TAXA DE DEFORMAÇÃO: 1.25 mm/s



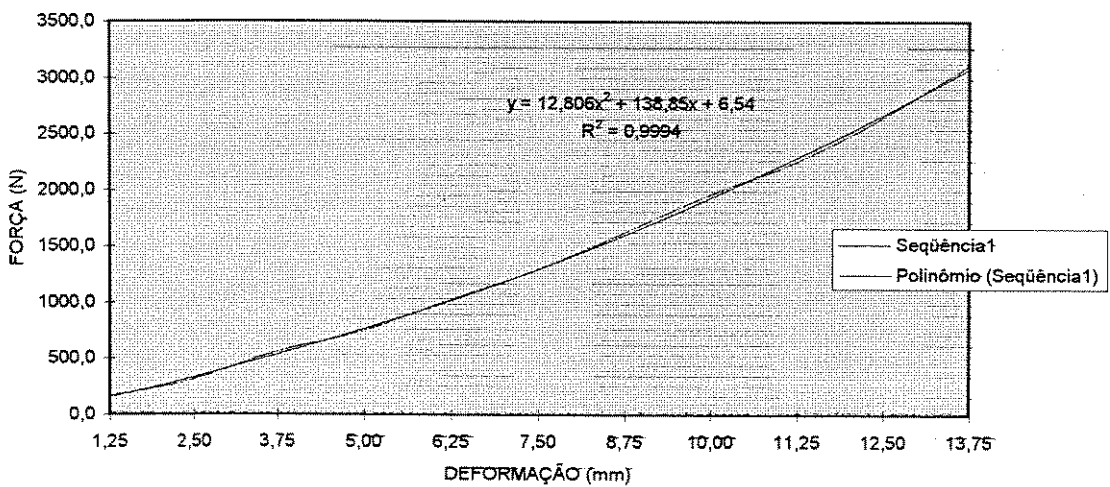
"BRAZILIAN TEST" FORÇA/DEFORMAÇÃO CILINDRO-5 COMPOSIÇÃO 17B24 TAXA DE DEFORMAÇÃO 1.25 mm/s



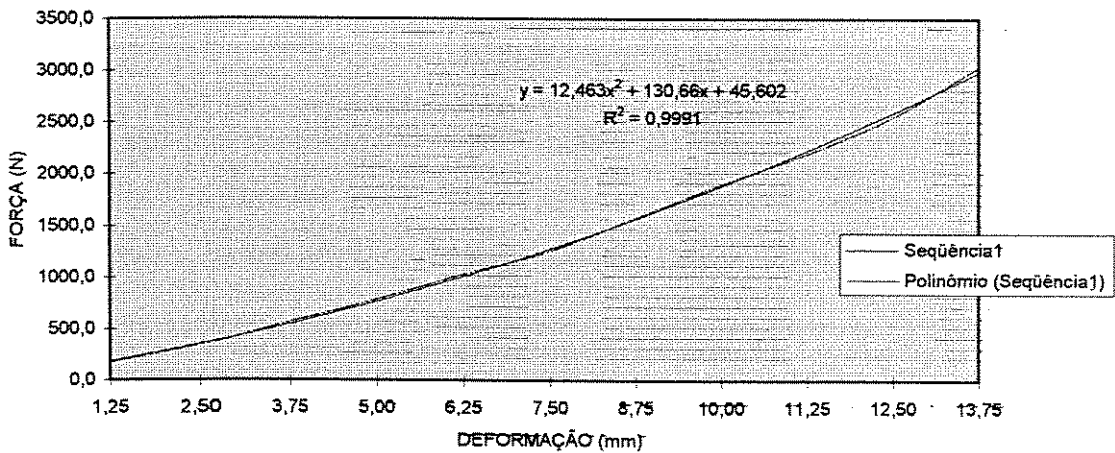
"BRAZILIAN TEST" FORÇA/DEFORMAÇÃO CILINDRO-6 COMPOSIÇÃO 17B24 TAXA DE DEFORMAÇÃO 1.25 mm/s



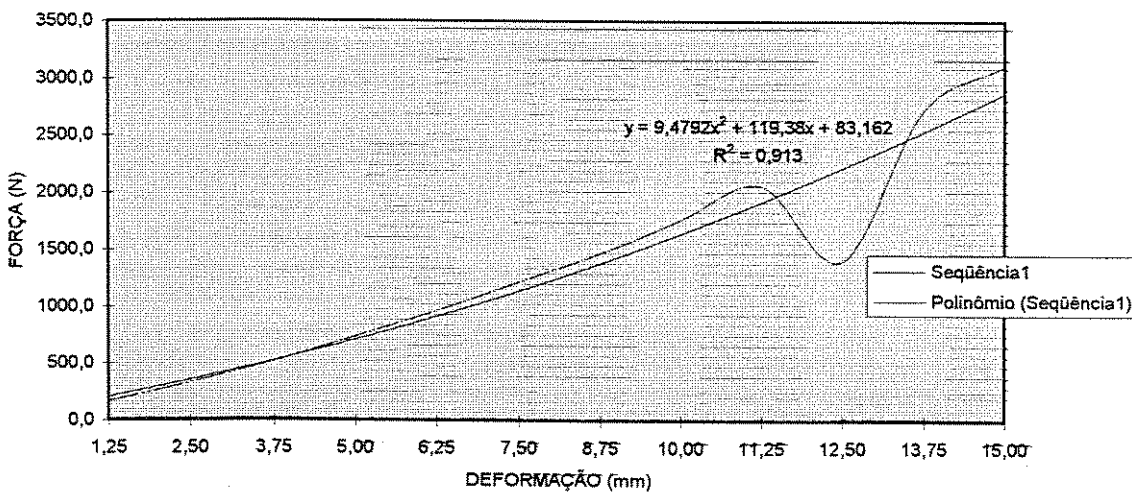
"BRAZILIAN TEST" FORÇA/DEFORMAÇÃO CILINDRO-7 COMPOSIÇÃO 17B24 TAXA DE DEFORMAÇÃO 1.25 mm/s



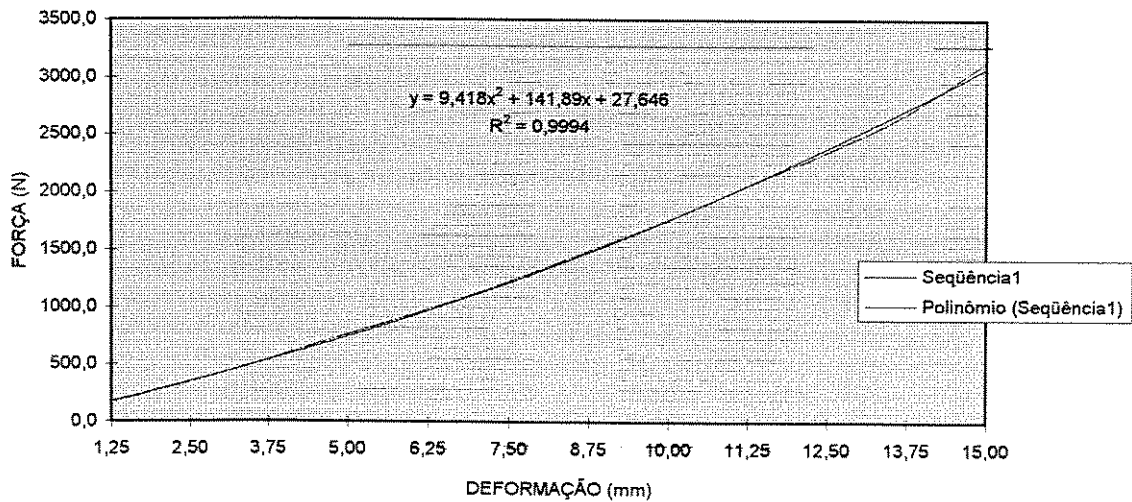
"BRAZILIAN TEST" FORÇA/DEFORMAÇÃO CILINDRO-8 COMPOSIÇÃO- 17B24 TAXA DE DEFORMAÇÃO-
1.25 mm/s



"BRAZILIAN TEST" FORÇA/DEFORMAÇÃO CILINDRO-9 COMPOSIÇÃO- 17B24 TAXA DE DEFORMAÇÃO-
1.25 mm/s



"BRAZILIAN TEST" FORÇA/DEFORMAÇÃO CILINDRO-10 COMPOSIÇÃO- 17B24 TAXA DE DEFORMAÇÃO-
1.25 mm/s



APÊNDICE IX .

TAXA DE FORÇA: 1177 N/s; 981 N/s; 373,73 N/s

CARREGAMENTO/DESCARREGAMENTO
FORÇA/TEMPO

ESFERA

FORÇA CONTROLADA

ESFERA:8 - 17B24

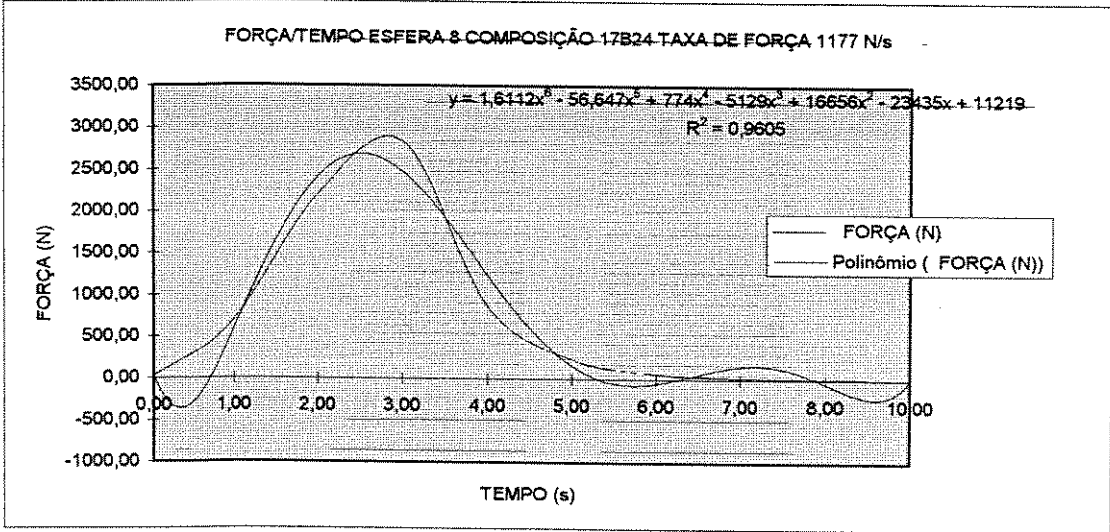
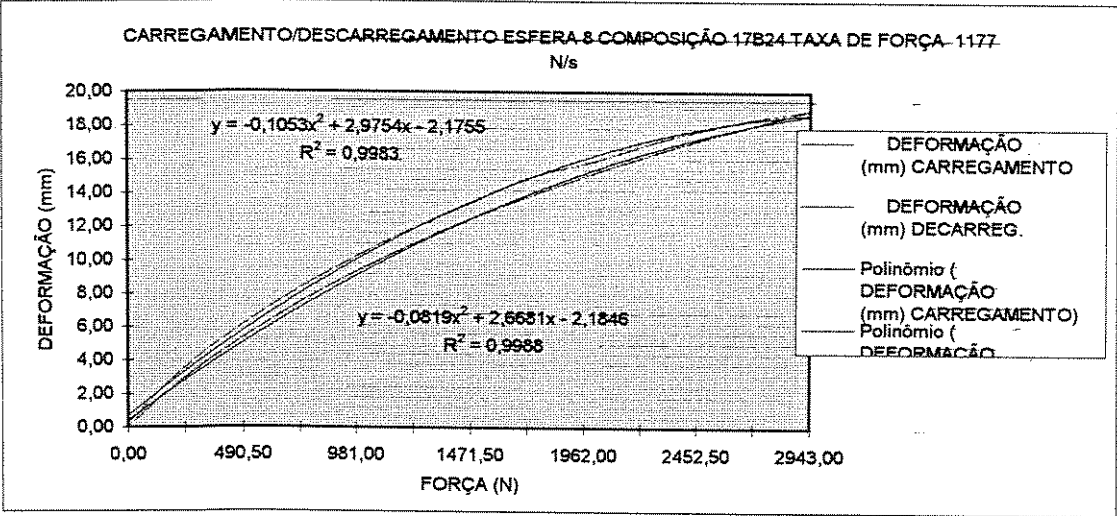
TAXA DE FORÇA: 1177,00 N/s

FORÇA/DEFORMAÇÃO

FORÇA (N)	DEFORMAÇÃO (mm)	
	CARREGAMENTO	DECARREG.
0,00	0,00	0,20
245,25	2,90	3,50
490,50	5,30	6,10
735,75	7,45	8,35
981,00	9,30	10,20
1226,25	10,95	11,90
1471,50	12,45	13,40
1716,75	13,75	14,90
1962,00	15,00	15,75
2207,25	16,10	16,80
2452,50	17,15	17,70
2697,75	18,05	18,45
2943,00	18,95	18,95

FORÇA/TEMPO

TEMPO (s)	FORÇA (N)
0,00	19,62
1,00	686,70
2,00	2207,25
3,00	2844,90
4,00	882,90
5,00	245,25
6,00	73,58
7,00	24,53
8,00	9,81
10,00	0,00



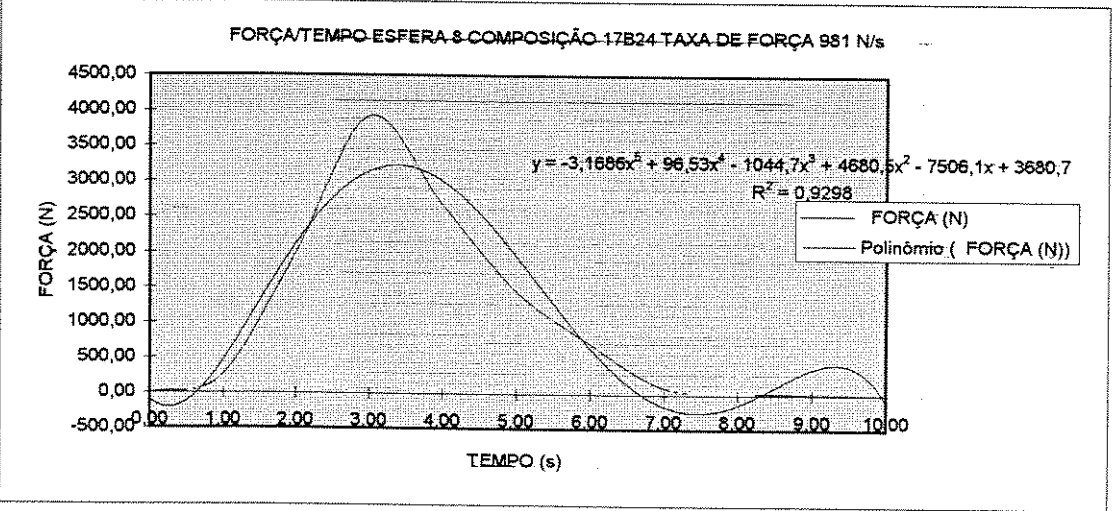
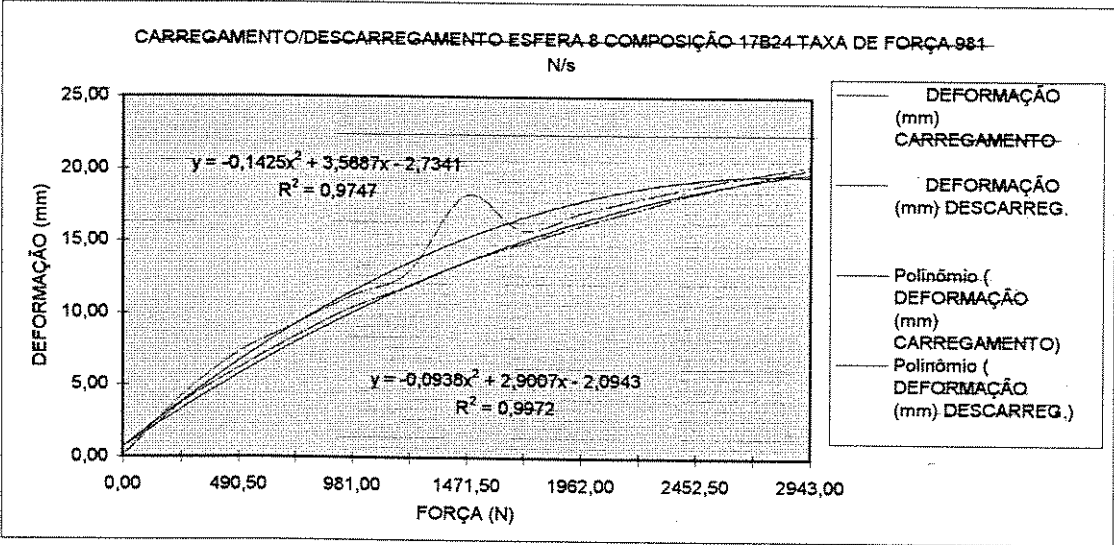
FORÇA CONTROLADA

ESFERA:8 17B24

TAXA DE FORÇA: 981,00 N/s

FORÇA/DEFORMAÇÃO		
FORÇA (N)	DEFORMAÇÃO (mm)	
	CARREGAMENTO	DESCARREG.
0,00	0,00	0,00
245,25	3,62	4,13
490,50	6,12	7,25
735,75	8,37	9,25
981,00	10,39	11,25
1226,25	11,87	12,88
1471,50	13,58	18,19
1716,75	14,87	15,75
1962,00	16,12	17,00
2207,25	17,25	18,00
2452,50	18,37	18,87
2697,75	19,25	19,62
2943,00	20,12	20,31

FORÇA/TEMPO	
TEMPO (s)	FORÇA (N)
0,00	0,00
1,00	245,25
2,00	1962,00
3,00	3924,00
4,00	2697,75
5,00	1471,50
6,00	735,75
7,00	107,91
8,00	34,34
9,00	14,72
10,00	9,81



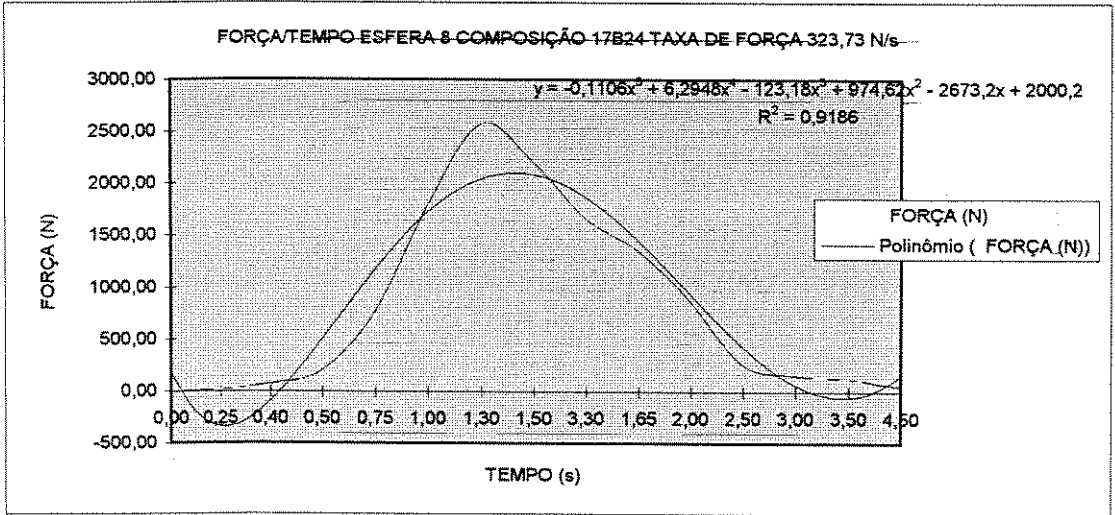
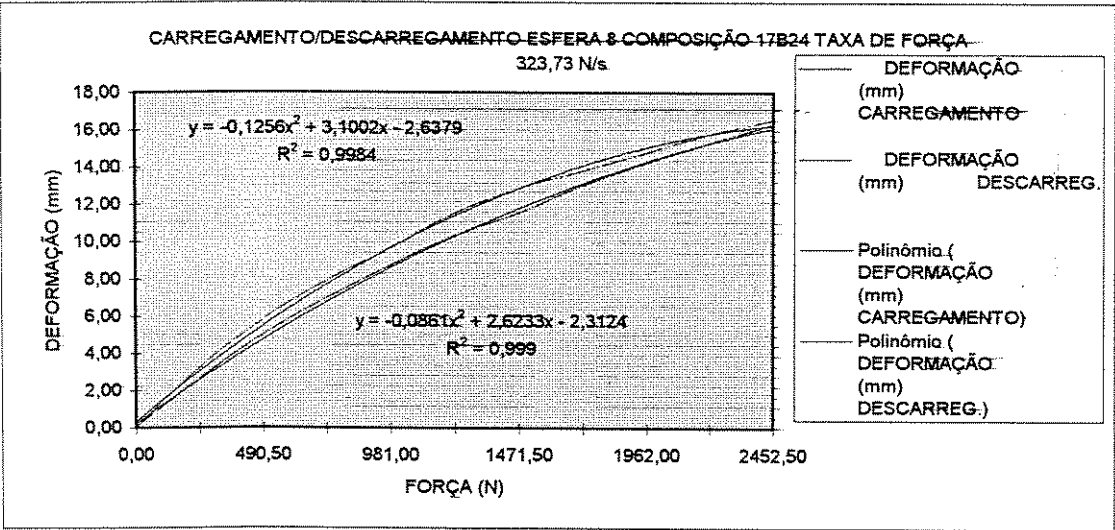
FORÇA CONTROLADA

ESFERA:8 17B24

TAXA DE FORÇA: 373,73 N/s

FORÇA/DEFORMAÇÃO		
FORÇA (N)	DEFORMAÇÃO (mm)	
	CARREGAMENTO	DESCARREG.
0,00	0,00	0,00
245,25	2,60	3,20
490,50	5,00	5,80
735,75	7,00	7,90
981,00	8,75	9,70
1226,25	10,35	11,55
1471,50	11,55	12,90
1716,75	13,05	13,85
1962,00	14,25	14,80
2207,25	15,30	15,80
2452,50	16,30	16,55

FORÇA/TEMPO	
TEMPO (s)	FORÇA (N)
0,00	0,00
0,25	19,62
0,40	73,58
0,50	196,20
0,75	760,28
1,00	1795,23
1,30	2580,03
1,50	2207,25
3,30	1667,70
1,65	1383,59
2,00	882,90
2,50	269,78
3,00	161,87
3,50	127,53
4,50	53,96



APÊNDICE X

TAXA DE FORÇA: 981 N/s; 373.73 N/s

CARREGAMENTO/DESCARREGAMENTO
FORÇA/TEMPO

CILINDRO

FORÇA CONTROLADA

CILINDRO:8 17B24

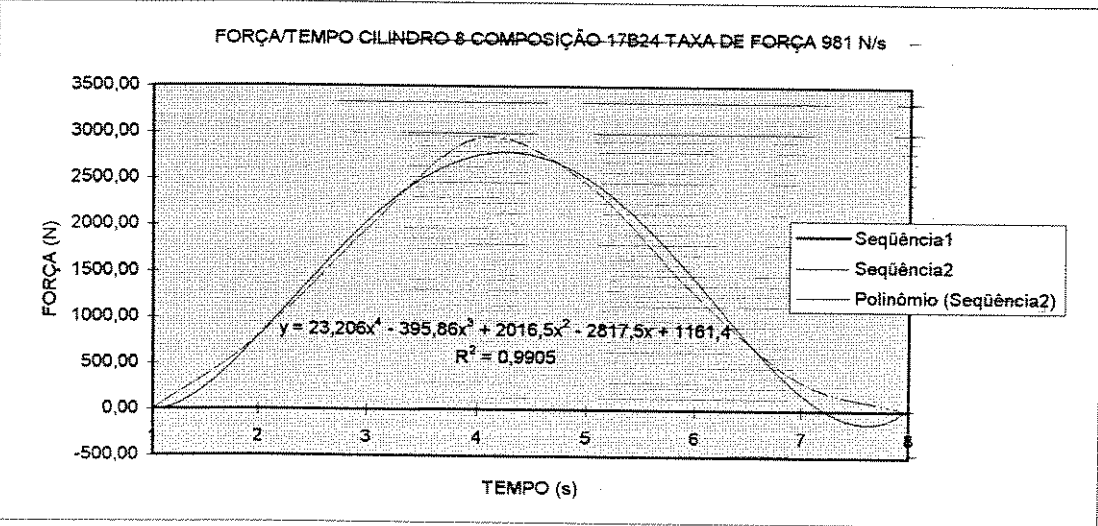
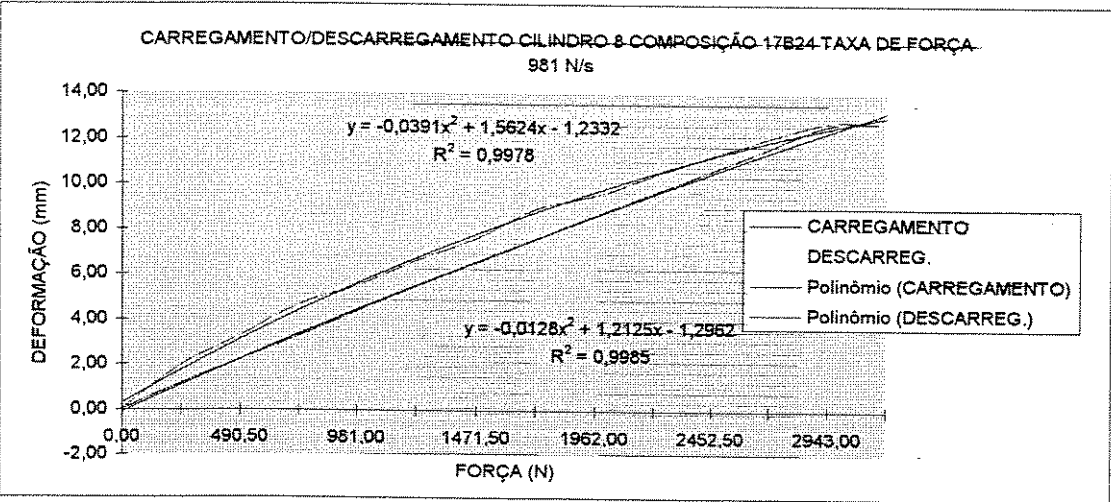
TAXA DE FORÇA: 981,00 N/s

FORÇA/DEFORMAÇÃO

FORÇA (N)	DEFORMAÇÃO (mm)	
	CARREGAMENTO	DESCARREG.
0,00	0,00	0,00
245,25	1,15	1,95
490,50	2,20	3,25
735,75	3,25	4,65
981,00	4,35	5,50
1226,25	5,45	6,60
1471,50	6,50	7,60
1716,75	7,55	8,90
1962,00	8,60	9,50
2207,25	9,60	10,40
2452,50	10,60	11,25
2697,75	11,60	12,05
2943,00	12,60	12,73
2972,43	12,75	12,75

FORÇA/TEMPO

TEMPO (s)	FORÇA (N)
0,00	0,00
1,00	784,80
2,00	1962,00
3,00	2943,00
4,00	2452,50
5,00	1275,30
6,00	323,73
7,00	9,81



FORÇA CONTROLADA

CILINDRO:8 17B24

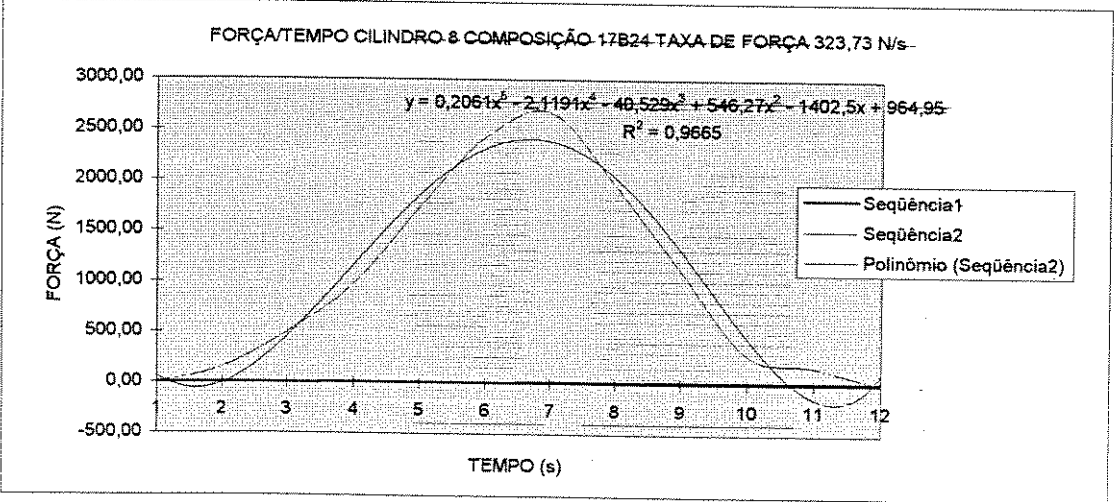
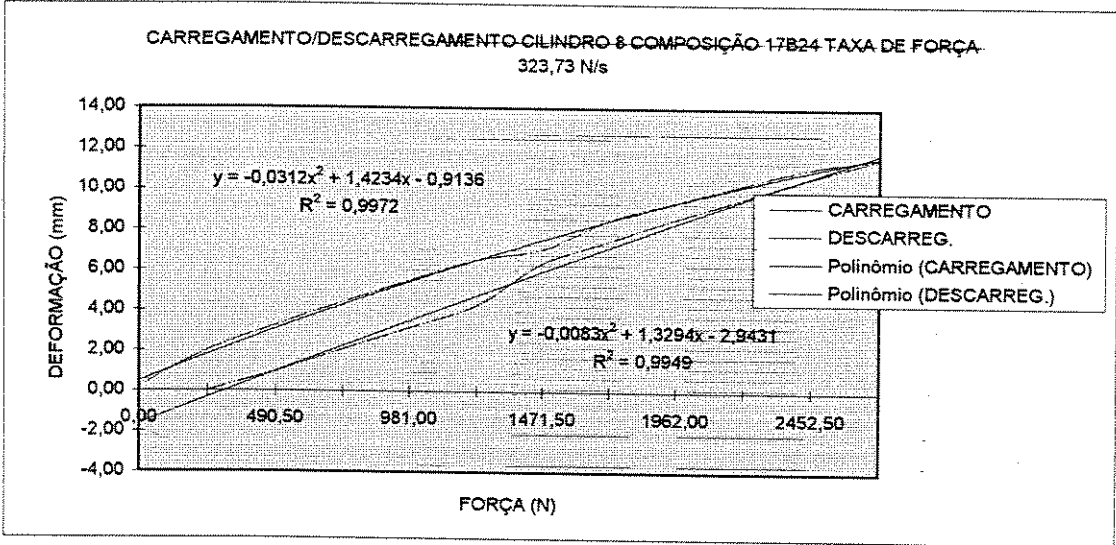
TAXA DE FORÇA: 373,73 N/s

FORÇA/DEFORMAÇÃO

FORÇA/TEMPO

FORÇA (N)	DEFORMAÇÃO (mm)	
	CARREGAMENTO	DESCARREG.
0,00		0,20
245,25	0,00	2,00
490,50	0,95	3,25
735,75	2,05	4,40
981,00	3,15	5,50
1226,25	4,25	6,50
1471,50	6,35	7,05
1716,75	7,45	8,50
1962,00	8,56	9,40
2207,25	9,60	10,30
2452,50	10,65	11,10
2648,70	11,60	11,60

TEMPO (s)	FORÇA (N)
0,00	0,00
1,00	147,15
2,00	490,50
4,00	981,00
6,00	1736,37
8,00	2432,88
10,00	2678,13
13,00	1962,00
15,00	1128,15
18,00	294,30
20,00	176,58
25,00	9,81



APÊNDICE XI

TAXA DE FORÇA: 981 N/s; 588,6 N/s; 323,73 N/s

CARREGAMENTO/DESCARREGAMENTO

FORÇA/TEMPO

CUBO

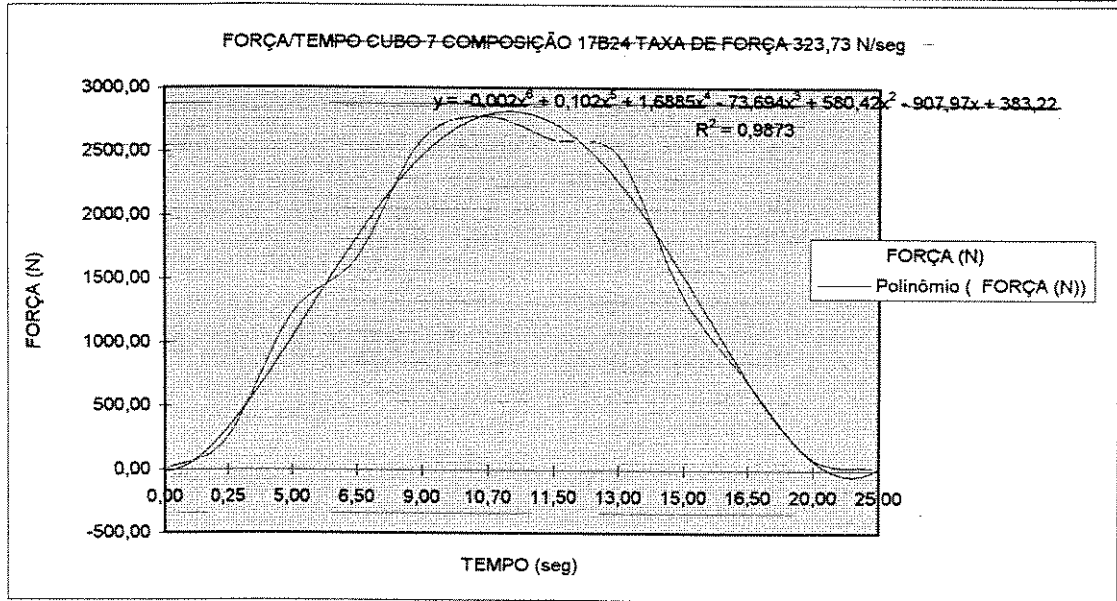
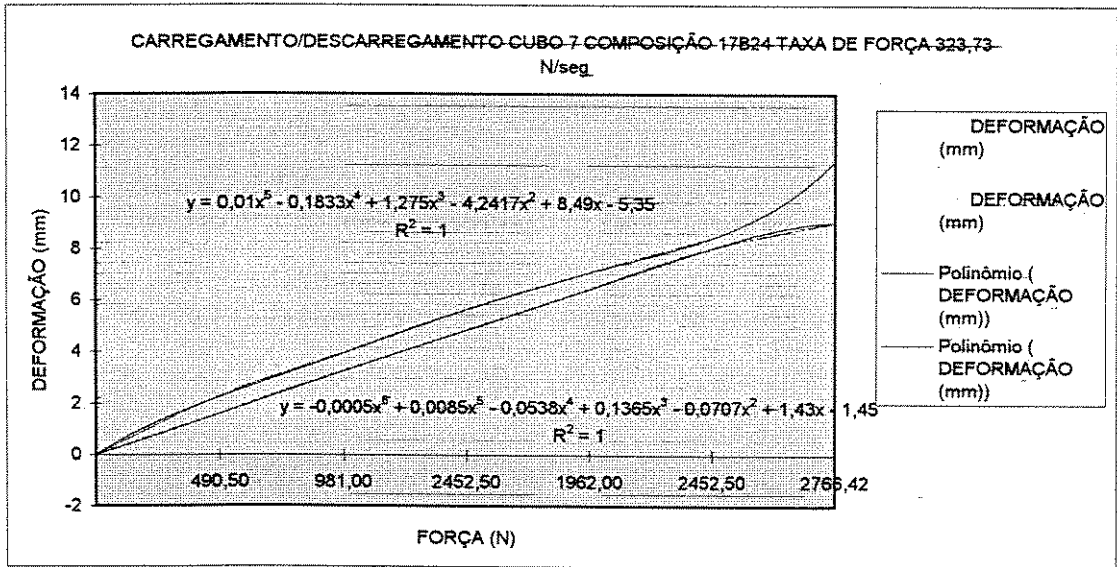
FORÇA CONTROLADA

CUBO: 7 17B24

TAXA DE FORÇA: 323,73 N/s
F= 0,05 Hz

FORÇA/DEFORMAÇÃO		
FORÇA (N)	DEFORMAÇÃO (mm)	
	CARREGAMENTO	DESCARGA
490,50	1,60	2,25
981,00	3,25	3,95
2452,50	4,85	5,65
1962,00	6,45	7,10
2452,50	8,05	8,45
2766,42	9,05	

FORÇA/TEMPO	
TEMPO (Seg)	FORÇA (N)
0,00	0,00
0,25	245,25
5,00	1226,25
6,50	1667,70
9,00	2599,65
10,70	2776,23
11,50	2599,65
13,00	2477,03
15,00	1373,40
16,50	711,23
20,00	98,10
25,00	19,62



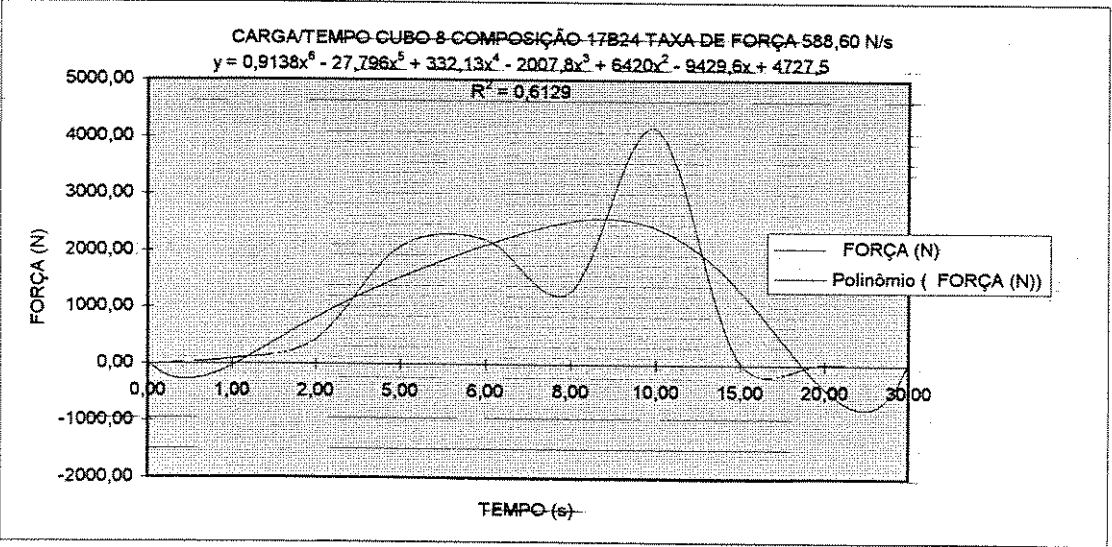
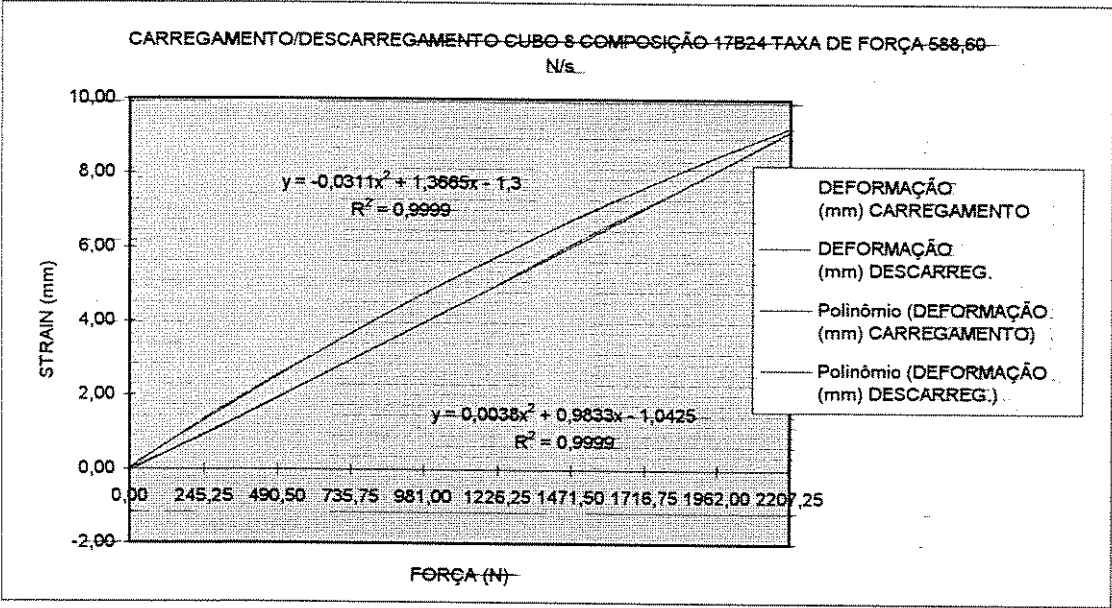
FORÇA CONTROLADA

CUBO:8 17B24

TAXA DE FORÇA: 588,60 N/s

FORÇA/DEFORMAÇÃO		
FORÇA (N)	DEFORMAÇÃO (mm)	
	CARREGAMENTO	DESCARREG.
0,00	0,00	0,00
245,25	0,90	1,35
490,50	1,90	2,55
735,75	2,95	3,65
981,00	3,95	4,75
1226,25	5,00	5,75
1471,50	6,08	6,75
1716,75	7,10	7,65
1962,00	8,10	8,50
2207,25	9,15	9,25

FORÇA/TEMPO	
TEMPO (S)	FORÇA (N)
0,00	0,00
1,00	98,10
2,00	416,93
5,00	2060,10
6,00	2207,25
8,00	1275,30
10,00	4169,25
15,00	78,48
20,00	26,49
30,00	19,62



FORÇA CONTROLADA

CUBO:9 17B24

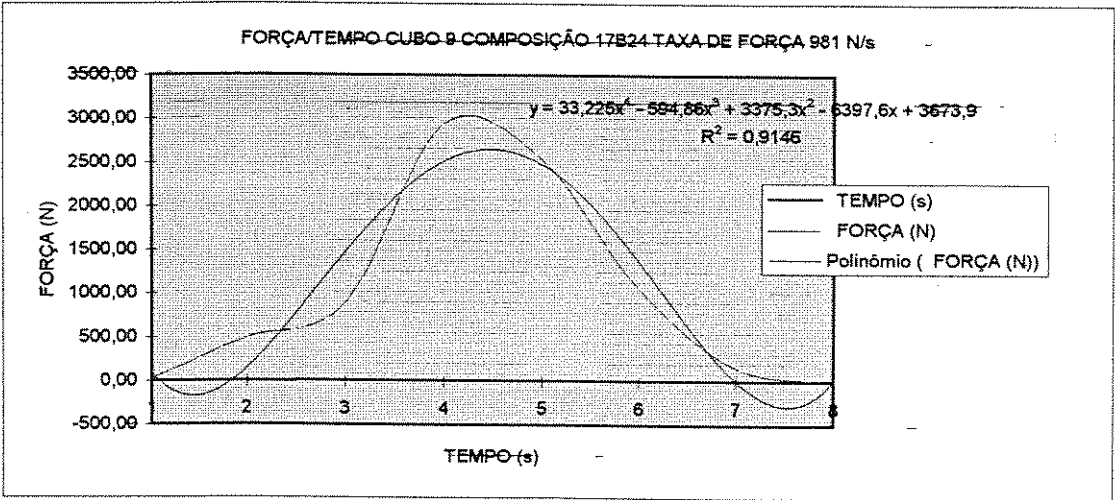
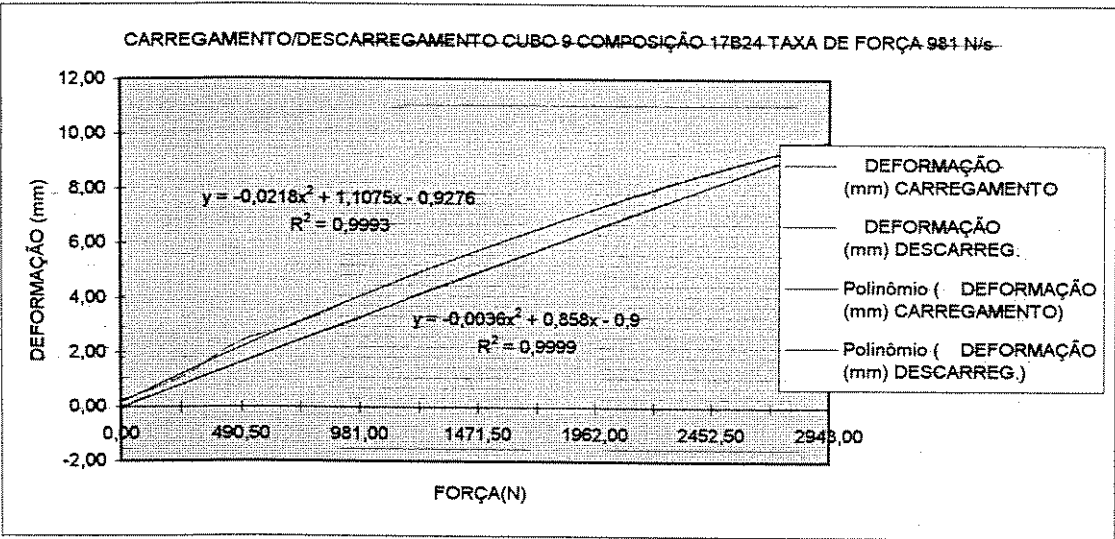
TAXA DE FORÇA: 981,00 N/s

FORÇA/DEFORMAÇÃO

FORÇA (N)	DEFORMAÇÃO (mm)	
	CARREGAMENTO	DESCARREG.
0,00	0,00	0,20
245,25	0,80	1,05
490,50	1,60	2,40
735,75	2,45	3,07
981,00	3,25	4,05
1226,25	4,15	4,95
1471,50	4,95	5,75
1716,75	5,75	6,50
1962,00	6,55	7,27
2207,25	7,35	8,00
2452,50	8,10	8,65
2697,75	8,85	9,25
2943,00	9,65	9,75

FORÇA/TEMPO

TEMPO (s)	FORÇA (N)
0,00	19,62
1,00	490,50
2,00	882,90
3,00	2943,00
4,00	2550,60
5,00	1079,10
6,00	171,68
8,00	0,00



FORÇA CONTROLADA

CUBO:9 17B24

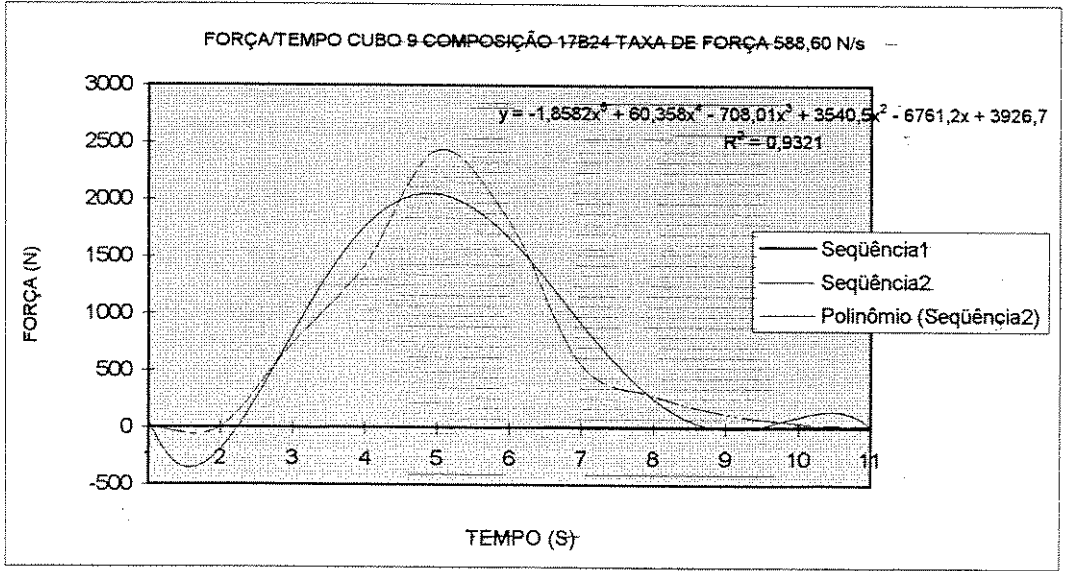
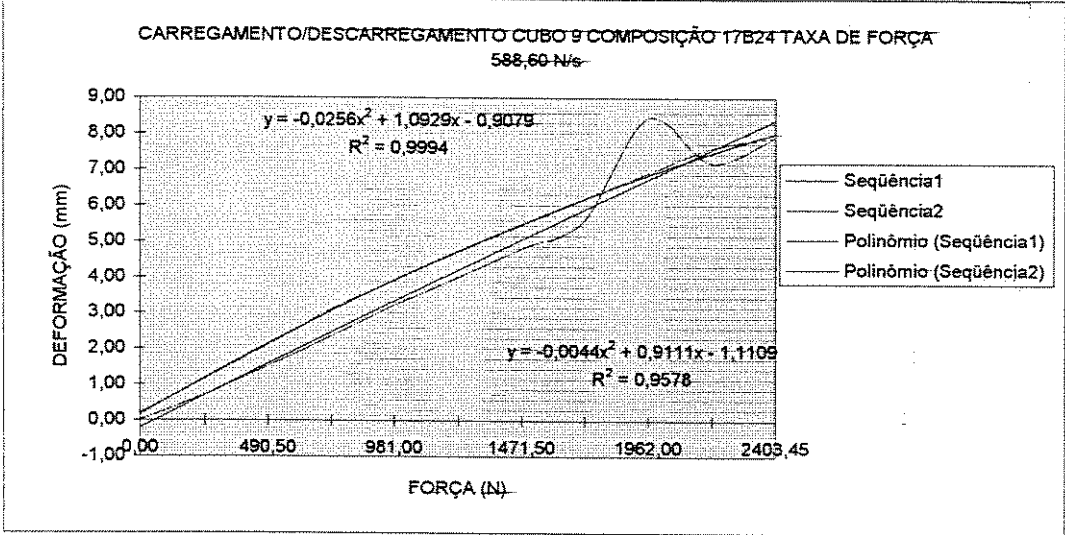
TAXA DE FORÇA: 588,60 N/s

FORÇA/DEFORMAÇÃO

FORÇA/TEMPO

FORÇA (N)	DEFORMAÇÃO (mm)	
	CARREGAMENTO	DESCARGA
0,00	0,00	0,20
245,25	0,70	1,15
490,50	1,50	2,10
735,75	2,35	3,10
981,00	3,20	3,90
1226,25	4,00	4,70
1471,50	4,80	5,45
1716,75	5,60	6,20
1962,00	8,45	6,90
2207,25	7,20	7,60
2403,45	7,90	7,90

TEMPO (s)	FORÇA (N)
0,00	0,00
2,00	735,75
3,00	1422,45
5,50	2432,88
7,00	1814,85
9,00	568,98
10,00	294,30
12,00	127,53
15,00	49,05
20,00	19,62



APÊNDICE XII

TAXA DE FORÇA: 1177 N/s; 981 N/s; 588,6 N/s

CARREGAMENTO /DESCARREGAMENTO

FORÇA/TEMPO

CILINDRO

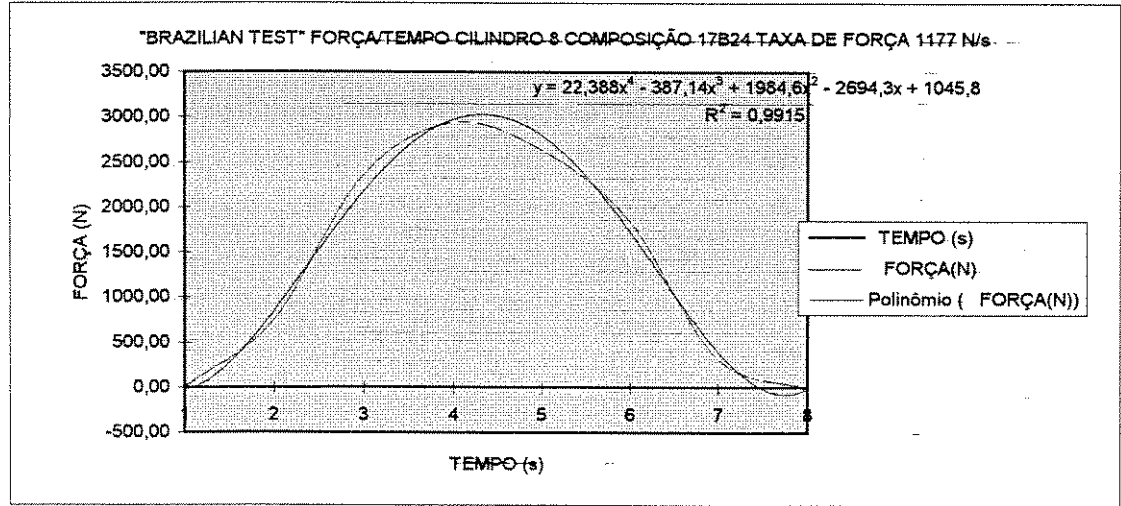
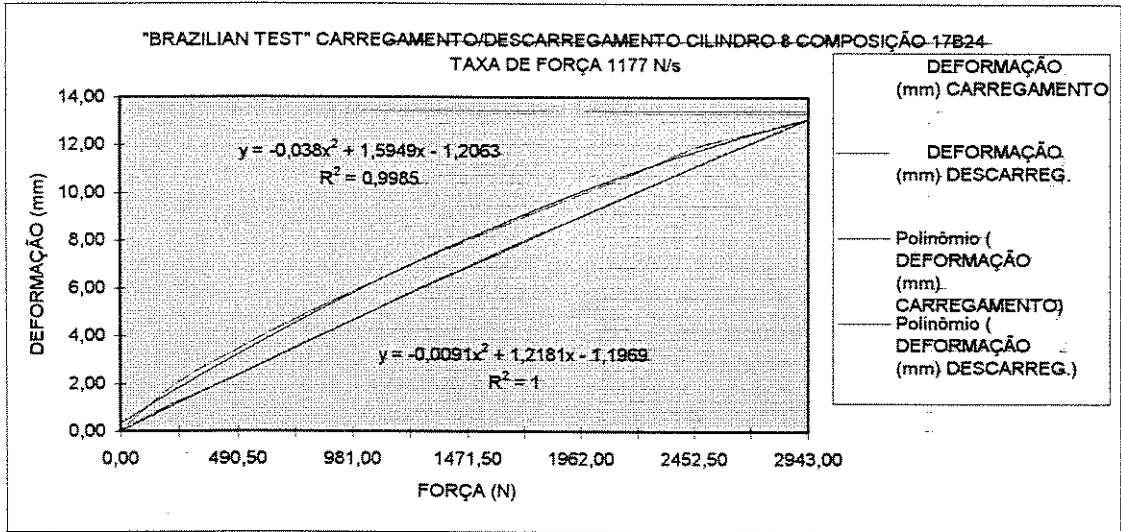
“BRAZILIAN TEST”

FORÇA CONTROLADA

CILINDRO:8 17B24 TAXA DE FORÇA: 1177 N/s
"BT - Brazilian Test"

FORÇA/DEFORMAÇÃO		
FORÇA (N)	DEFORMAÇÃO (mm)	
	CARREGAMENTO	DESCARREG.
0,00	0,00	0,00
245,25	1,25	2,05
490,50	2,35	3,45
735,75	3,50	4,70
981,00	4,65	5,85
1226,25	5,80	6,95
1471,50	6,90	8,00
1716,75	8,00	9,00
1962,00	9,00	9,95
2207,25	10,05	10,85
2452,50	11,10	11,90
2736,99	12,10	12,50
2943,00	13,10	13,10

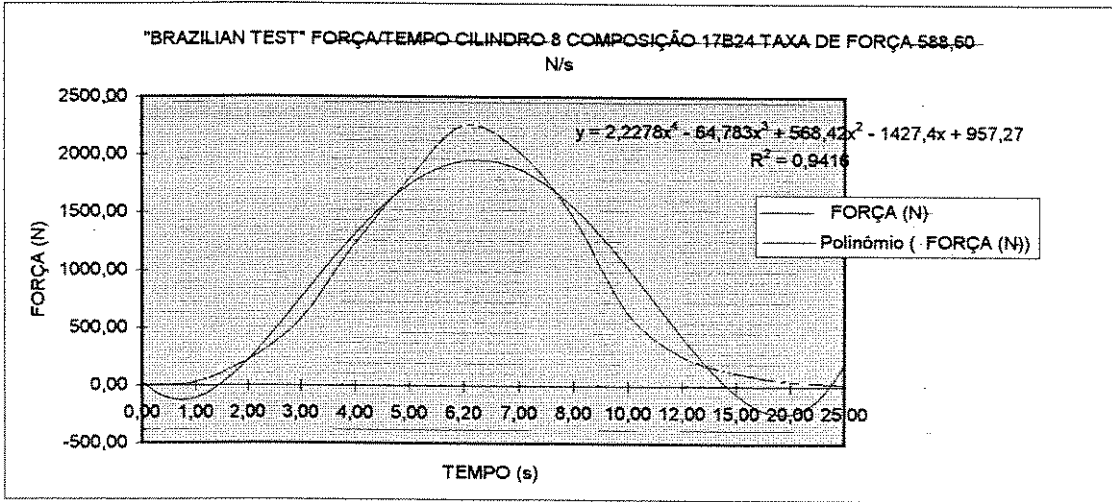
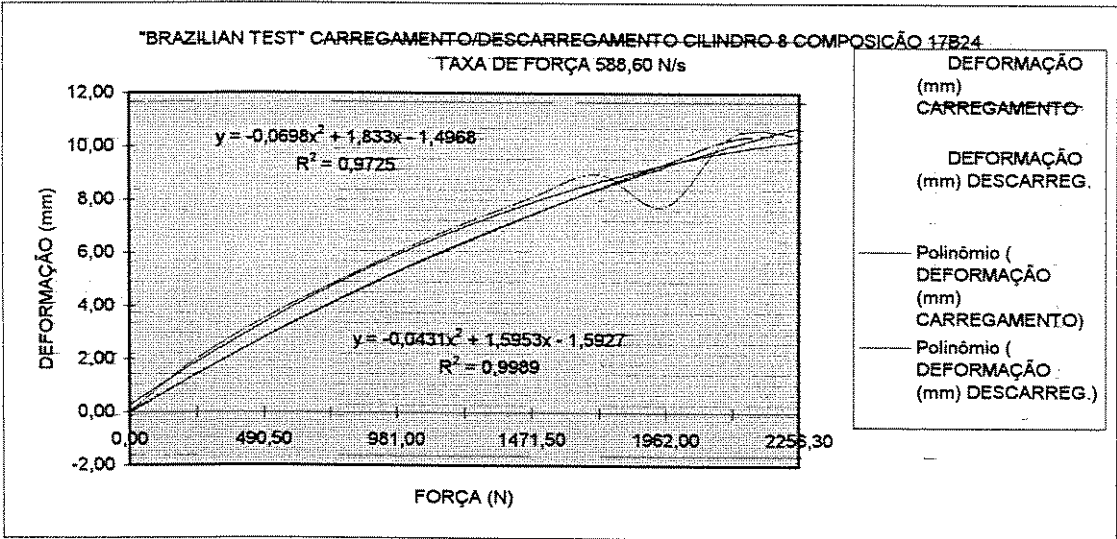
FORÇA/TEMPO	
TEMPO (s)	FORÇA(N)
0,00	0,00
1,00	735,75
2,00	2354,40
2,50	2943,00
3,00	2648,70
4,00	1863,90
5,00	343,35
6,00	0,00



FORÇA CONTROLADA

CILINDRO:8 17B24 TAXA DE FORÇA: 588,60 N/s
"BT - Brazilian Test"

FORÇA/DEFORMAÇÃO			FORÇA/TEMPO	
FORÇA (N)	DEFORMAÇÃO (mm)		TEMPO (s)	FORÇA (N)
	CARREGAMENTO	DESCARREG.		
0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
245,25	1,45	2,00	1,00	29,43
490,50	2,80	3,50	2,00	215,82
735,75	4,05	4,80	3,00	564,08
981,00	5,25	6,00	4,00	1226,25
1226,25	6,35	7,10	5,00	1790,33
1471,50	7,45	8,10	6,20	2256,30
1716,75	8,45	9,00	7,00	2035,58
1962,00	9,37	7,75	8,00	1471,50
2207,25	10,30	10,42	10,00	647,46
2256,30	10,50	10,50	12,00	269,78
			15,00	123,61
			20,00	49,05
			25,00	19,62



FORÇA CONTROLADA

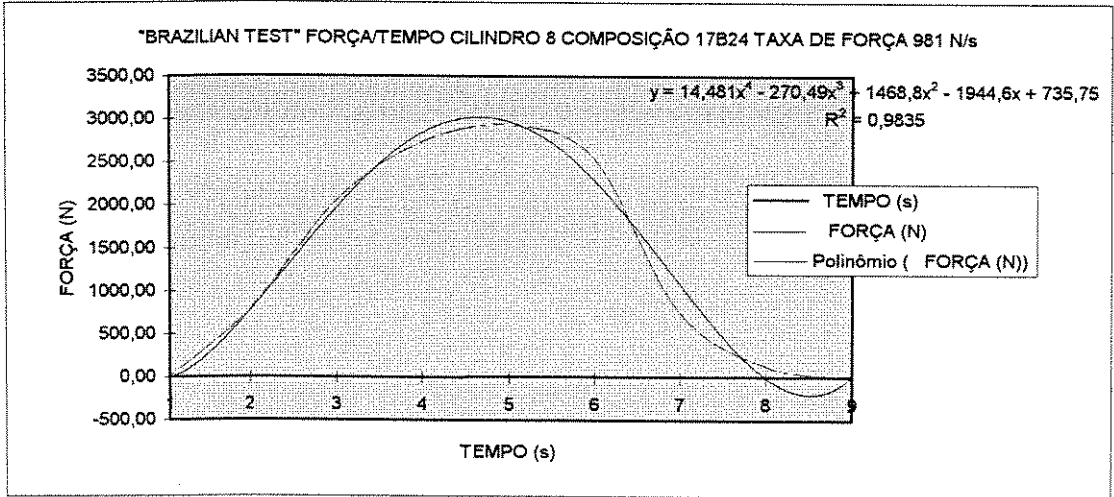
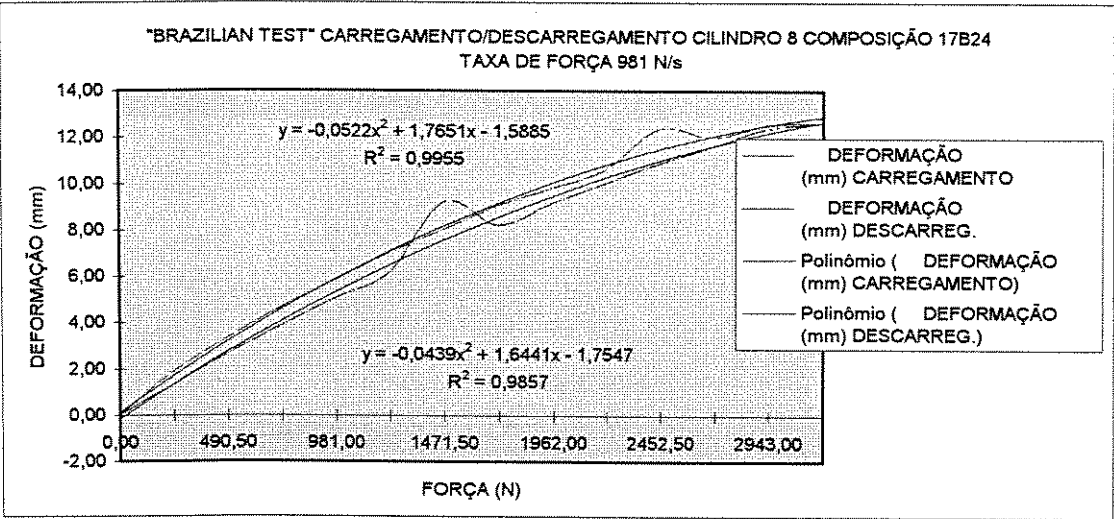
CILINDRO:8 17B24 TAXA DE FORÇA: 981,00 N/s
"BT - Brazilian Test"

FORÇA/DEFORMAÇÃO

FORÇA/TEMPO

FORÇA (N)	DEFORMAÇÃO (mm)	
	CARREGAMENTO	DESCARREG.
0,00	0,00	0,00
245,25	1,35	1,90
490,50	2,65	3,33
735,75	3,90	4,70
981,00	5,10	5,90
1226,25	6,20	7,04
1471,50	9,25	8,05
1716,75	8,25	9,10
1962,00	9,20	9,85
2207,25	10,05	10,65
2452,50	10,90	12,40
2697,75	11,65	12,02
2943,00	12,40	12,57
3016,58	12,65	12,65

TEMPO (s)	FORÇA (N)
0,00	0,00
1,00	784,80
2,00	2060,10
2,50	2736,99
3,00	2943,00
4,00	2550,60
5,00	784,80
6,00	147,15
7,00	0,00



APÊNDICE XIII

TAXA DE DEFORMAÇÃO: 50 mm/s; 25 mm/S; 5 mm/s; 2,5 mm/s

CARREGAMENTO/DESCARREGAMENTO

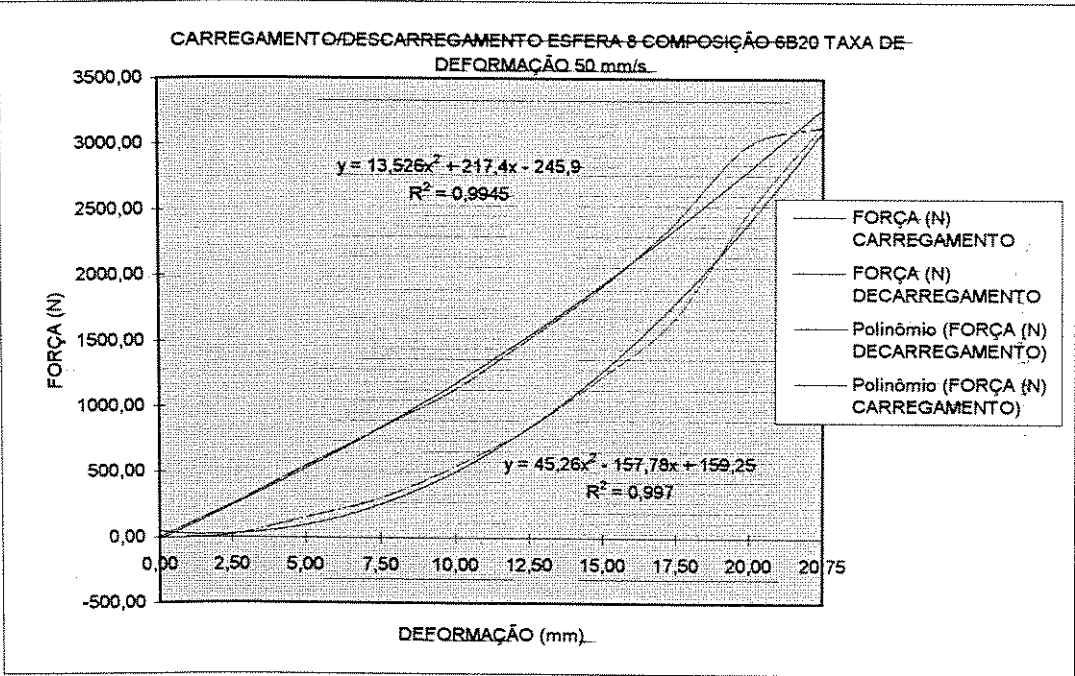
ESFERA

DEFORMAÇÃO CONTROLADA

ESFERA: 8 6B20

TAXA DE DEFORMAÇÃO: 50 mm/s

DEFORMAÇÃO (mm)	FORÇA (N)	
	CARREGAMENTO	DECARREGAMENTO
0,00	0,00	0,00
2,50	245,25	19,62
5,00	539,55	147,15
7,50	833,85	294,30
10,00	1128,15	539,55
12,50	1510,74	833,85
15,00	1912,95	1226,25
17,50	2403,45	1667,70
20,00	2992,05	2472,12
20,75	3139,20	3139,20

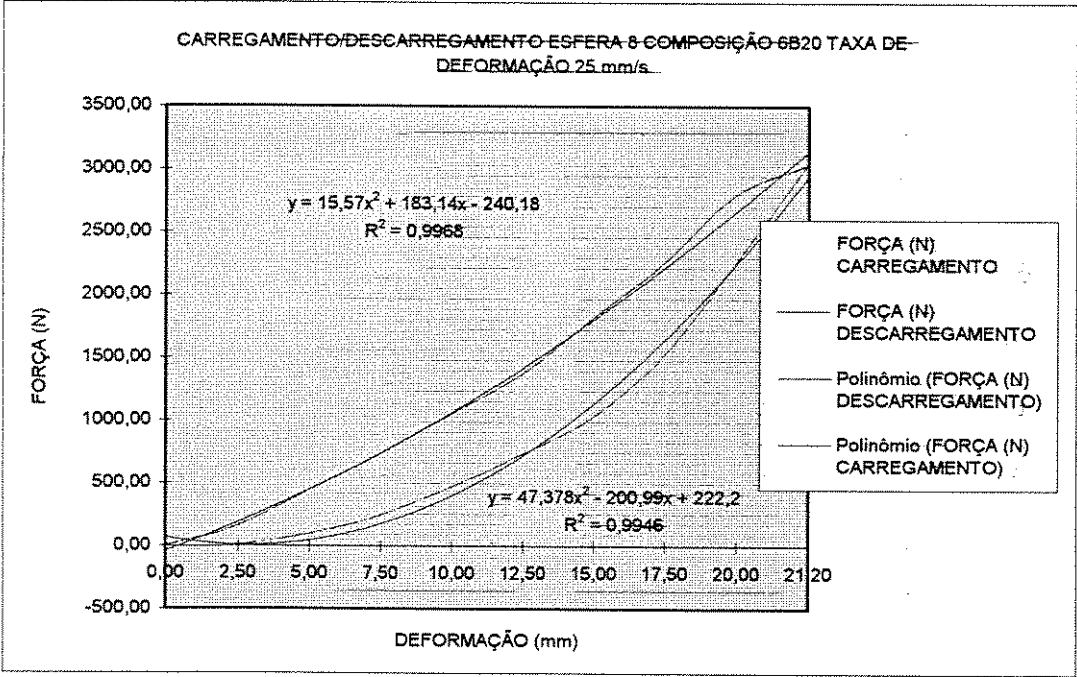


DEFORMAÇÃO CONTROLADA

ESFERA: 8 6B20

TAXA DE DEFORMAÇÃO: 25 mm/s

DEFORMAÇÃO (mm)	FORÇA (N)	
	CARREGAMENTO	DESCARREGAMENTO
0,00	0,00	0,00
2,50	156,96	9,81
5,00	441,45	98,10
7,50	735,75	245,25
10,00	1049,67	470,88
12,50	1373,40	735,75
15,00	1814,85	1030,05
17,50	2256,30	1520,55
20,00	2795,85	2256,30
21,20	3041,10	3041,10

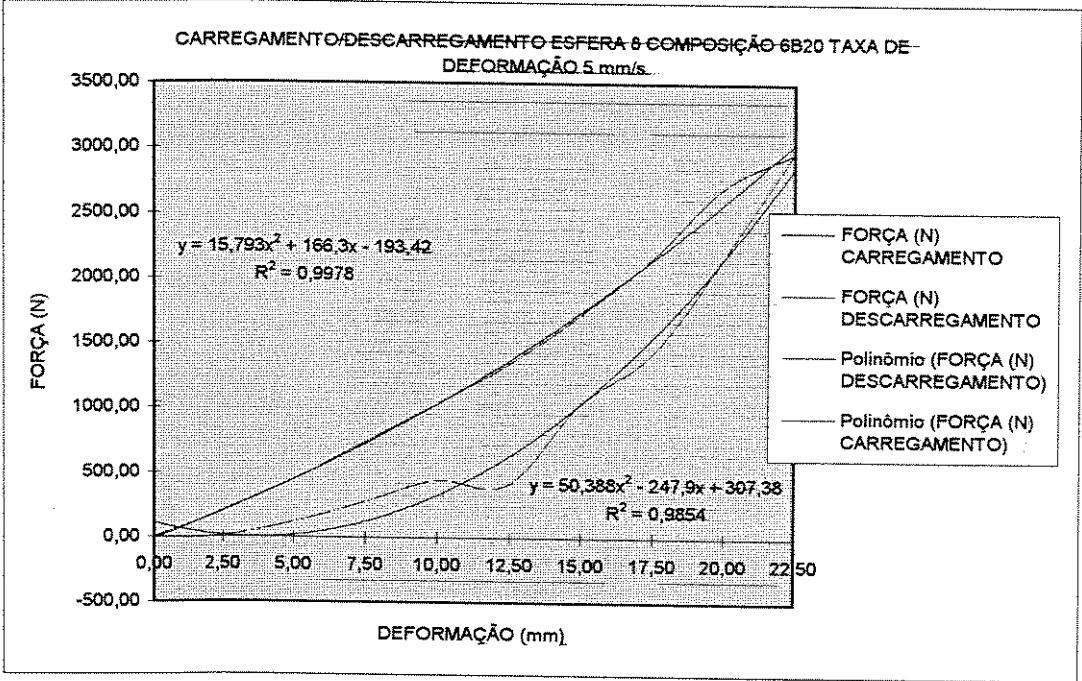


DEFORMAÇÃO CONTROLADA

ESFERA: 8 6B20

TAXA DE DEFORMAÇÃO: 5 mm/s

DEFORMAÇÃO (mm)	FORÇA (N)	
	CARREGAMENTO	DESCARREGAMENTO
0,00	0,00	0,00
2,50	196,20	9,81
5,00	441,45	117,72
7,50	735,75	274,68
10,00	1030,05	441,45
12,50	1343,97	412,02
15,00	1716,75	1030,05
17,50	2158,20	1422,45
20,00	2697,75	2158,20
22,50	2972,43	2972,43

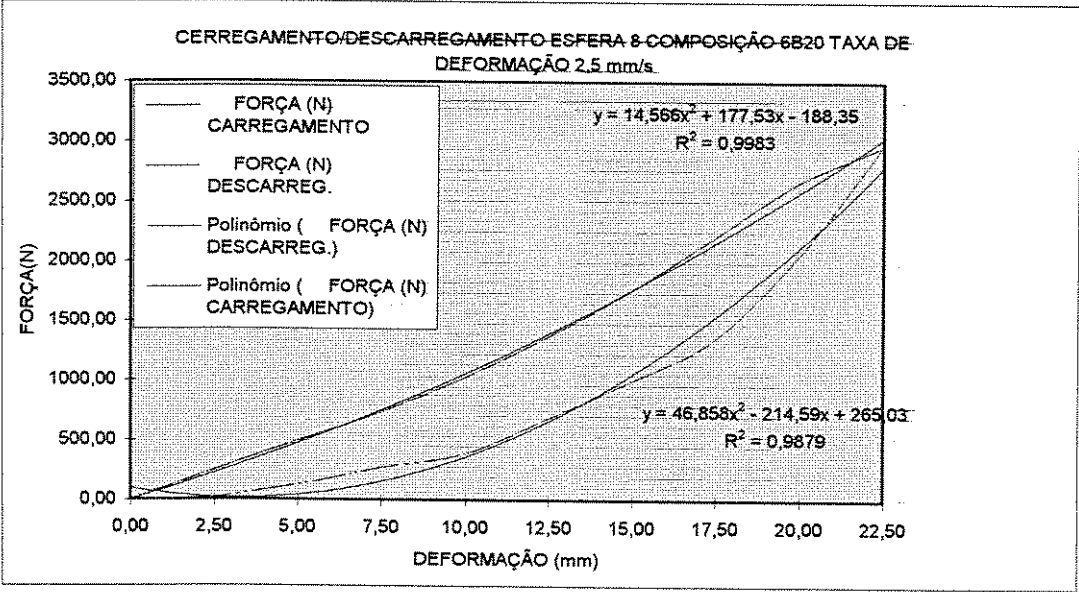


DEFORMAÇÃO CONTROLADA

ESFERA: 8 6B20

TAXA DE DEFORMAÇÃO: 2,5 mm/s

DEFORMAÇÃO (mm)	FORÇA (N)	
	CARREGAMENTO	DESCARREG.
0,00	0,00	0,00
2,50	245,25	19,62
5,00	490,50	127,53
7,50	735,75	274,68
10,00	1030,05	392,40
12,50	1373,40	686,70
15,00	1765,80	1000,62
17,50	2207,25	1353,78
20,00	2668,32	2060,10
22,50	2972,43	2972,43



APÊNDICE XIV

TAXA DE DEFORMAÇÃO: 50 mm/s; 25 mm/s; 5 mm/s; 2,5 mm/s

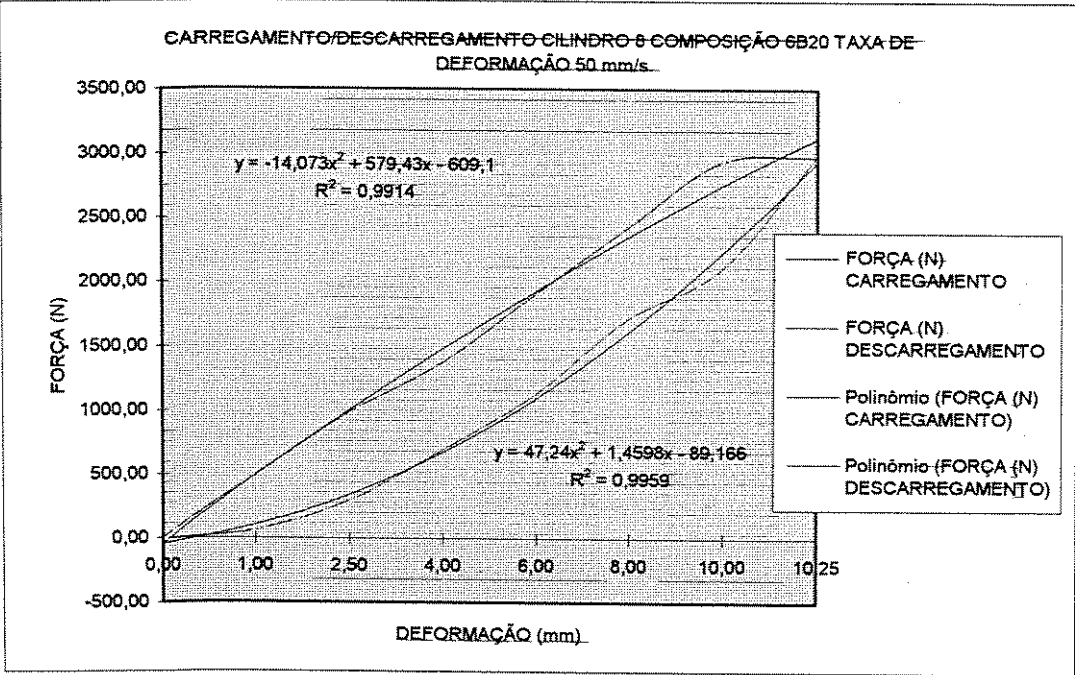
CARREGAMENTO/DESCARREGAMENTO

CILINDRO

DEFORMAÇÃO CONTROLADA

CILINDRO: 8 6/B20 TAXA DE DEFORMAÇÃO: 50 mm/s

DEFORMAÇÃO (mm)	FORÇA (N)	
	CARREGAMENTO	DESCARREGAMENTO
0,00	0,00	0,00
1,00	490,50	58,86
2,50	981,00	294,30
4,00	1373,40	686,70
6,00	1912,95	1128,15
8,00	2432,88	1716,75
10,00	2943,00	2109,15
10,25	2982,24	2982,24

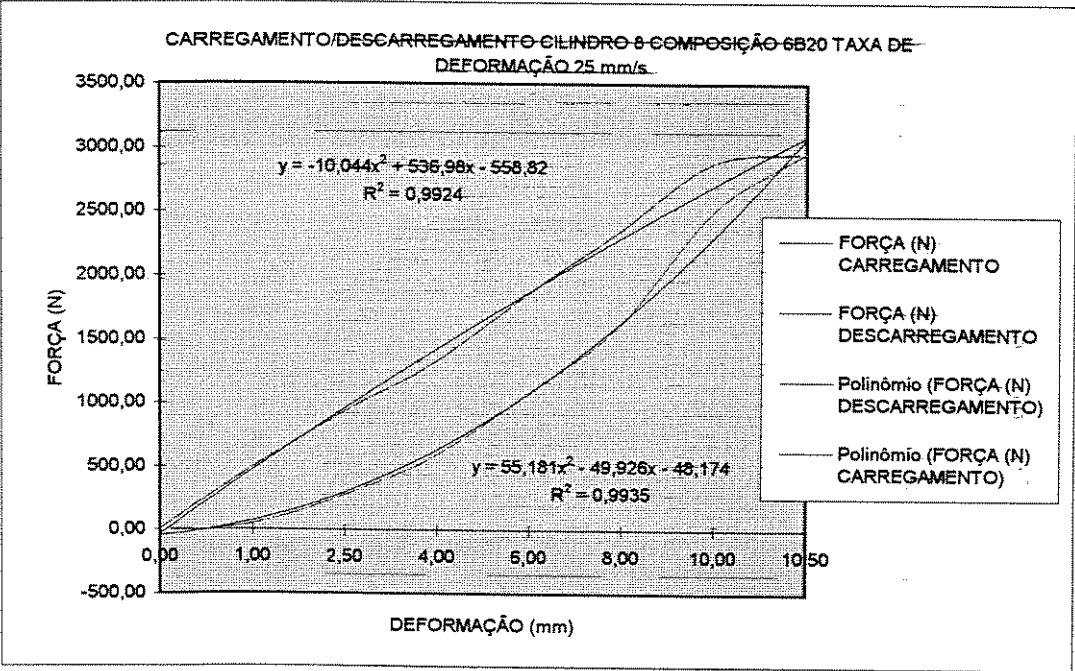


DEFORMAÇÃO CONTROLADA

CILINDRO: 8 6B20 TAXA DE DEFORMAÇÃO: 25mm/s

E = 0,5 Hz

DEFORMAÇÃO (mm)	FORÇA (N)	
	CARREGAMENTO	DESCARREGAMENTO
0,00	0,00	0,00
1,00	490,50	49,05
2,50	931,95	274,68
4,00	1324,35	588,60
6,00	1863,90	1079,10
8,00	2354,40	1618,65
10,00	2884,14	2501,55
10,50	2962,62	2962,62

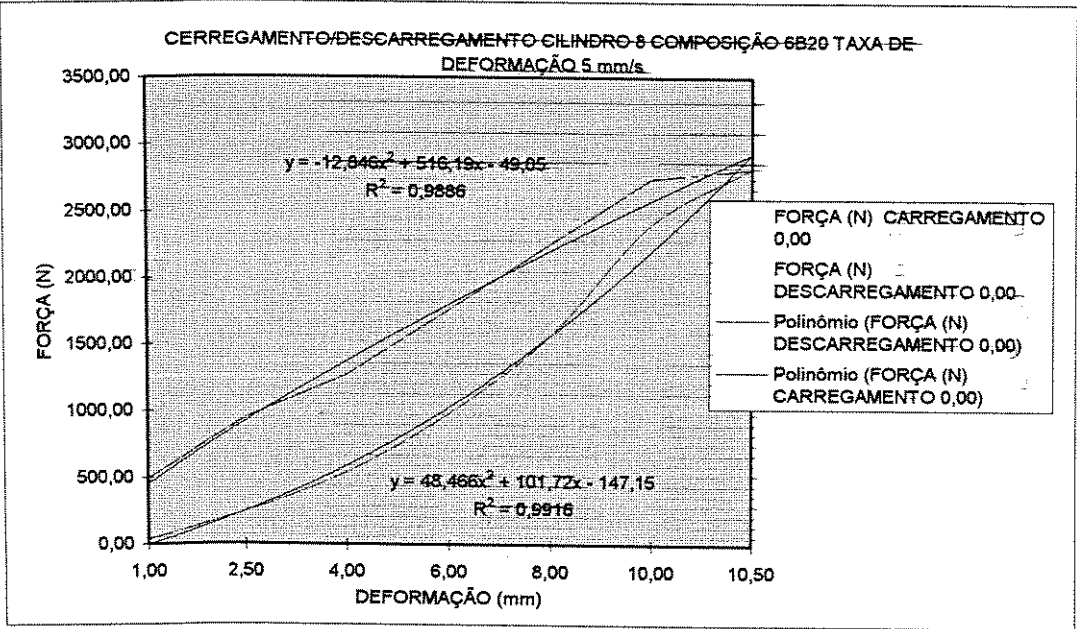


DEFORMAÇÃO CONTROLADA

CILINDRO: 8 6B20

TAXA DE DEFORMAÇÃO: 5mm/s

DEFORMAÇÃO (mm)	FORÇA (N)	
	CARREGAMENTO	DESCARREGAMENTO
0,00	0,00	0,00
1,00	490,50	39,24
2,50	951,57	245,25
4,00	1275,30	539,55
6,00	1765,80	981,00
8,00	2256,30	1569,60
10,00	2746,80	2403,45
10,50	2825,28	2825,28

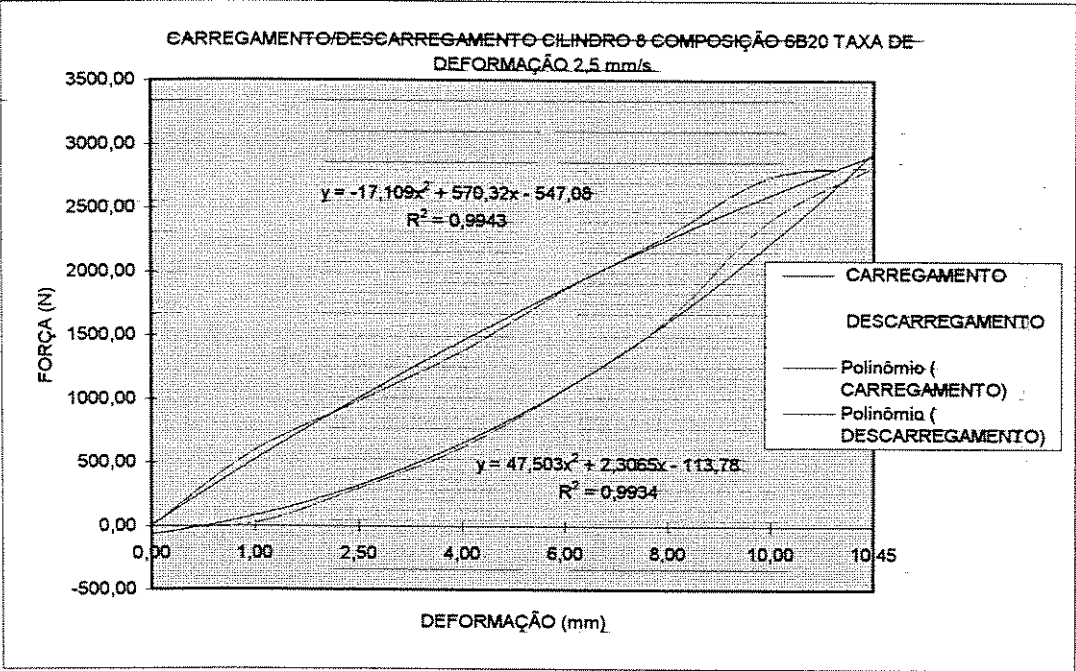


DEFORMAÇÃO CONTROLADA

CILINDRO: 8 6B20

TAXA DE DEFORMAÇÃO: 2,5 mm/s

DEFORMAÇÃO (mm)	FORÇA (N)	
	CARREGAMENTO	DESCARREGAMENTO
0,00	0,00	0,00
1,00	588,60	24,53
2,50	981,00	294,30
4,00	1373,40	618,03
6,00	1863,90	1079,10
8,00	2285,73	1618,65
10,00	2746,80	2403,45
10,45	2825,28	2825,28



APÊNDICE XV

TAXA DE DEFORMAÇÃO; 50 mm/s; 25 mm/s; 5 mm/s; 2,5 mm/s

CARREGAMENTO/DESCARREGAMENTO

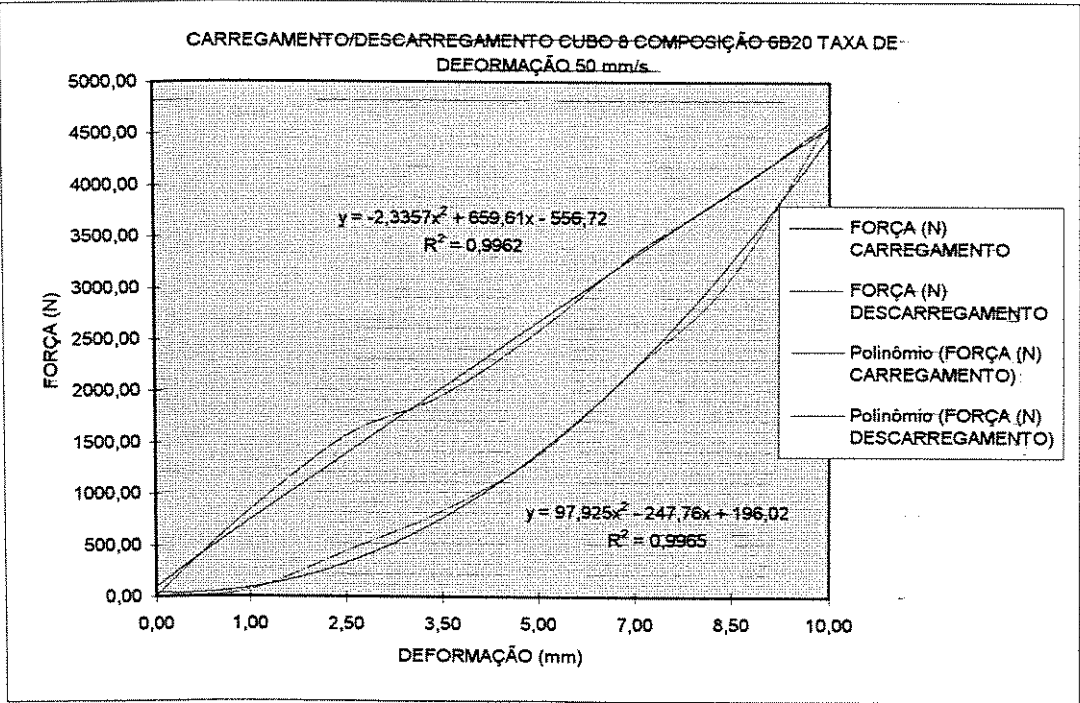
CUBO

DEFORMAÇÃO CONTROLADA

CUBO: 8 6B20

TAXA DE DEFORMAÇÃO: 50 mm/s

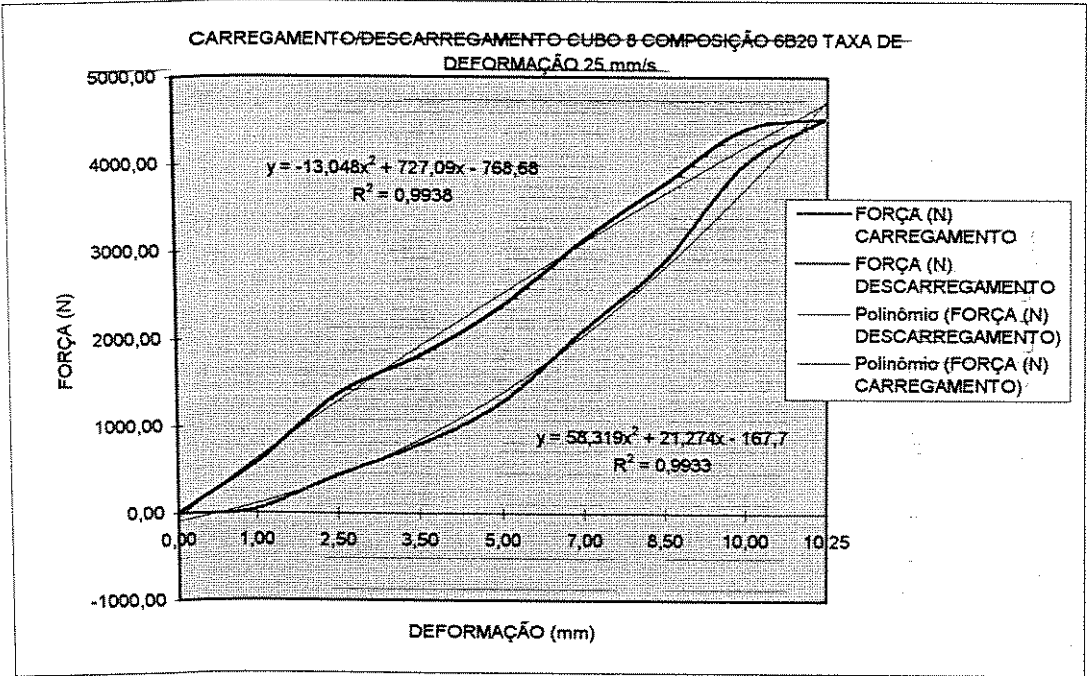
DEFORMAÇÃO (mm)	FORÇA (N)	
	CARREGAMENTO	DESCARREGAMENTO
0,00	0,00	0,00
1,00	833,85	68,67
2,50	1569,60	441,45
3,50	1962,00	833,85
5,00	2580,03	1373,40
7,00	3335,40	2207,25
8,50	3924,00	3090,15
10,00	4610,70	4610,70



DEFORMAÇÃO CONTROLADA

CUBO: 8 6B20 TAXA DE DEFORMAÇÃO: 25 mm/s

DEFORMAÇÃO (mm)	FORÇA (N)	
	CARREGAMENTO	DESCARREGAMENTO
0,00	0,00	0,00
1,00	588,60	39,24
2,50	1373,40	431,64
3,50	1814,85	784,80
5,00	2403,45	1275,30
7,00	3158,82	2109,15
8,50	3796,47	2893,95
10,00	4414,50	4002,48
10,25	4532,22	4532,22

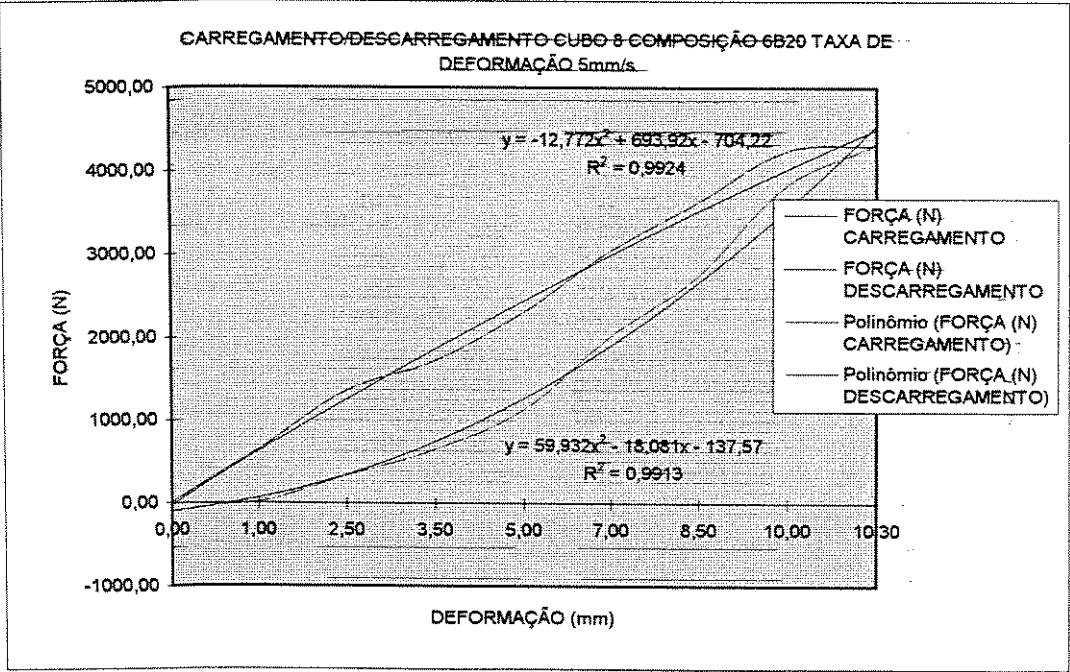


DEFORMAÇÃO CONTROLADA

CUBO: 8 6B20

TAXA DE DEFORMAÇÃO: 5 mm/s

DEFORMAÇÃO (mm)	FORÇA (N)	
	CARREGAMENTO	DESCARREGAMENTO
0,00	0,00	0,00
1,00	637,65	19,62
2,50	1353,78	333,54
3,50	1716,75	647,46
5,00	2305,35	1128,15
7,00	3041,10	2011,05
8,50	3629,70	2746,80
10,00	4247,73	3825,90
10,30	4316,40	4316,40



DEFORMAÇÃO CONTROLADA

CUBO: 8 6B20 TAXA DE DEFORMAÇÃO: 2,5 mm/s

DEFORMAÇÃO (mm)	FORÇA (N)	
	CARREGAMENTO	DESCARREGAMENTO
0,00	0,00	0,00
1,00	686,70	39,24
2,50	1402,83	441,45
3,50	1765,80	735,75
5,00	2354,40	1275,30
7,00	3090,15	2060,10
8,50	3629,70	2795,85
10,00	4218,30	4218,30

