

UNIVERSIDADE FEDERAL DA PARAÍBA
PRÓ-REITORIA PARA ASSUNTOS DO INTERIOR
CENTRO DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL

RELATÓRIO DE ESTÁGIO SUPERVISIONADO

Local de Realização: Laboratório de Solos II

Aluno: **Gray Farias Moita**

Matrícula: 8311415-6

Campina Grande-PB
Julho de 1987



Biblioteca Setorial do CDSA. Outubro de 2021.

Sumé - PB

MINISTÉRIO DE EDUCAÇÃO E CULTURA
Universidade Federal da Paraíba
Centro de Ciências e Tecnologia

LABORATÓRIO DE SOLOS E MATERIAIS
Av. Aprígio Veloso 882 - Bodocongó
58.100 - Campina Grande - Paraíba
Telefone 334-1222 - Faxes 215/225

DECLARAÇÃO

Declaramos para os devidos fins que GRAY FARIAS MOITA, matrícula 83.11415-6 regularmente matriculado no curso de Engenharia Civil deste Centro de Ciências e Tecnologia, estagiou neste Laboratório de Solos II a partir de 01 de Agosto de 1986 a 30 de Março de 1987, das 14:00 às 18:00 horas.

Laboratório de Solos II do Departamento de Engenharia Civil do CCT-UFPb, em Campina Grande, 30 de Março de 1987.



AILTON ALVES DINIZ

Chefe do Laboratório de Solos II

ÍNDICE

PROGRAMA

INTRODUÇÃO

MATERIAIS UTILIZADOS

MÉTODOS

RESULTADOS OBTIDOS

ANÁLISE E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

CONCLUSÕES

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANEXOS

PROGRAMA

No Estágio Supervisionado realizado no Laboratório de Solos II, foram executadas as seguintes atividades:

- a) Preparação de amostras de solo laterítico (secagem ao ar, peneiramento das amostras na peneira de 4,8mm);
- b) Compactação Dinâmica (Proctor Normal);
- c) Determinação da Resistência à Compressão Simples (R.C.S.) para cada ponto da Compactação Dinâmica;
- d) Compactação Estática com os valores obtidos na Compactação Dinâmica e da R.C.S. no Proctor Normal;
- e) Cálculo e Gráficos;
- f) Preparação de amostras de solos para ensaios de caracterização;
- g) Realização de Ensaios de Caracterização e Compactação;
- h) Realização de Ensaios de Permeabilidade com Carga Constante e Carga Variável;
- i) Realização de Ensaios de Resistência ao Cisalhamento Direto;
- j) Realização de Ensaios de Compressão Triaxial (U.U., C.U. e C.D.).

Obs: Os itens de **f** a **g** foram atividades complementares ao Trabalho com solos lateríticos (itens de **a** a **e**) e foram utilizadas nestas atividades amostras de solo recebidas pelo Laboratório para Projeto de Barragens de Terra.

INTRODUÇÃO

Este Relatório tem como objetivo tentar fazer uma correlação entre os Métodos de Compactação Estática e de Compactação Dinâmica, levando em consideração os valores de resistência à compressão simples obtidos para os corpos de prova moldados com esses tipos de compactação.

Para este trabalho foram escolhidos três solos vermelhos, abundantes nas regiões Norte e Nordeste do Brasil, cujo comportamento geotécnico não está totalmente definido. Esses solos, ditos lateríticos, são de grande importância para a utilização na engenharia civil, notadamente em rodovias e barragens de terra. Como não apresentam comportamento comum, esses solos merecem uma atenção especial no que diz respeito ao desenvolvimento de estudos que possibilitem a plena e consciente utilização desses materiais nos mais diversos ramos possíveis da engenharia.

Todos os ensaios com os citados solos foram realizados no período de agosto/1986 a fevereiro/1987 no Laboratório de Solos II do Campus II da Universidade Federal da Paraíba, sob supervisão e orientação do Professor Ailton Alves Diniz.

Os objetivos básicos deste trabalho com solos lateríticos são os seguintes:

I - Avaliar a existência ou não de uma relação entre a compactação dinâmica e a compactação estática, tomando por base a influência do número de camadas, teor de umidade ótimo e massa específica aparente seca máxima obtida;

II - Determinar a resistência à compressão simples obtida para os dois tipos de compactação.

Como atividade complementar ao Estágio Supervisionado, além do trabalho citado anteriormente, foram feitos, calculados e acompanhados ensaios de caracterização, compactação, permeabilidade, adensamento, resistência ao cisalhamento direto e de compressão triaxial. Os ensaios efetuados tiveram o intuito de mostrar se os solos utilizados poderiam ou não ser empregados na construção de barragens de terra.

MATERIAIS UTILIZADOS

Os materiais utilizados para o trabalho de Compactação e Resistência são provenientes de jazidas localizadas no Nordeste do Brasil, mais precisamente no Piauí e no Maranhão. Do Piauí foram utilizados solos de jazidas localizadas em Picos (designadas por PIPI) e Gilbués (GIPI), enquanto que do Maranhão, o solo foi oriundo de jazidas em Vila Sarney (VSMA).

Os materiais se achavam armazenados em boxes nas proximidades do Labo
tório de Solos II.

MÉTODOS

Os solos para os ensaios de Compactação e de Resistência à Compressão simples foram secos ao ar, destorroados e posteriormente peneirados na peneira de malha quadrada de abertura 4,8mm. De cada solo preparado foram retiradas cápsulas para a determinação da Umidade Higroscópica e foram selecionadas 03 (três) amostras de solo para cada ponto de Compactação Dinâmica e mais 03 (três) amostras para cada ponto de Compactação Estática, resultando um total de 30 (trinta) amostras de cada tipo de solo. Essas amostras tinham 2,5kg de solo e foram armazenadas em sacos plásticos com a finalidade de minimizar a perda de umidade.

Na Compactação Dinâmica, os corpos de prova foram moldados com o auxílio de um compactador mecânico e utilizando-se a energia correspondente ao Proctor Normal (3 camadas com 26 golpes por camada).. Cada corpo de prova, logo após a moldagem, foi retido do molde e rompido à compressão simples, anotando-se a variação de tensão em relação a deformação até atingir a ruptura do corpo de prova.

Foram moldados corpos de prova por compressão simples tentando reproduzir as mesmas condições de teor de umidade e massa específica aparente seca obtidos no ensaio de Compactação Dinâmica. A moldagem desses corpos de prova foi feita em três camadas, tendo-se o cuidado de se obter um perfeito entrosamento entre as camadas, para tanto, cada camada foi escatificada antes de receber uma outra. A velocidade de compressão na moldagem foi constante e igual a 4,06mm/min. No final de cada camada a carga de moldagem foi medida e mantida constante durante um intervalo de tempo de aproximadamente 30 segundos. A quantidade de solo colocado em cada camada tinha sido calculada anteriormente através dos pontos da Compactação Dinâmica. Cada um desses corpos de prova moldados estaticamente também foi rompido para a determinação da resistência à compressão simples e das tensões correspondentes às deformações pré-estabelecidas.

A velocidade de ruptura, assim como o molde cilíndrico, foram os mesmos para os vários corpos de prova, em ambas as compactações.

Para cada ponto da Compactação Dinâmica e da Estática foram moldados 03 (três) corpos de prova com amostras não trabalhadas, pois experiências anteriores demonstram que a compactação afeta a estrutura dos Solos Lateríticos, não sendo recomendável utilizar amostras trabalhadas para ensaios desse tipo.

RESULTADOS OBTIDOS

Os resultados finais foram obtidos através de uma média das três determinações (três corpos de prova) para cada ponto. As umidades e as massas específicas aparentes secas obtidas e apresentadas, assim como as cargas de moldagem, as resistências à compressão simples e todos os diagramas de tensão X deformação foram calculados e plotados sempre utilizando a Média Aritmética dos três corpos de prova moldados e rompidos para cada ponto.

Para qualquer resultado calculado, foram aceitas diferenças de no máximo 10% entre cada valor obtido e a média calculada para os três valores. Quando qualquer valor se afastou da média além do previamente permitido, ele foi imediatamente eliminado e uma nova média foi calculada, sendo ela então representativa do ponto em questão.

As tabelas de 1 a 9 e os gráficos de 1 a 14 apresentados no Anexo II, mostram, de uma forma sucinta, os resultados obtidos para cada solo durante os ensaios.

ANÁLISE E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

1. Introdução

Os resultados obtidos neste trabalho serão analisados e discutidos neste capítulo, com o intuito de:

- i - Avaliar a relação entre a Umidade Ótima e a Massa Específica aparente seca máxima obtidas na Compactação Dinâmica e na Compactação Estática;
- ii - Verificar a influência dos dois tipos de Compactação (Estática e Dinâmica) nos valores da resistência à compressão simples (R.C.S.).

2. Avaliação da Metodologia empregada para a determinação de Resistência à Compressão Simples.

A metodologia utilizada será avaliada através dos valores obtidos para a Resistência à Compressão Simples em corpos de prova moldados dinamicamente e estaticamente em vários teores de umidade e as respectivas massas específicas aparentes secas, submetidos a secagem ao ar ($\approx 25^{\circ}\text{C}$) e na energia do Proctor Normal. Também os resultados obtidos em termos dos parâmetros de Compactação, Ex: Massa Específica Aparente Seca Máxima e Umidade Ótima e traçado da de relação entre a Massa Específica Aparente Seca (γ_s) e o Teor de Umidade (U) serão utilizados na avaliação de Metodologia Utilizada.

O Grande problema surgido foi o fato de não conseguirmos manter o solo com a mesma umidade higroscópica de um dia para o outro, o que dificultou, sobretudo, uma reprodução precisa de cada ponto desejado. Com isso, os resultados não puderam ser comparados diretamente.

3. Cargas de Moldagem Estática

Relacionando as cargas de moldagem obtidas na terceira camada da Compactação Estática com as massas específicas aparentes secas, como mostrado no Anexo

II, Gráfico 1, obtivemos retas que convergem para o ponto em que temos a massa específica aparente seca máxima, existindo uma linearidade entre os três primeiros pontos e entre os três últimos pontos.

Com relação ao Gráfico Carga de Moldagem X Teor de Umidade (Anexo II, Gráfico 2), não se conseguiu obter nenhuma forma definida para os três solos.

4. Curvas de Compactação Dinâmica e Estática

Por não termos conseguido reproduzir os mesmos teores de umidade e consequentemente as mesmas massas específicas aparentes secas para os dois tipos de compactação empregados, não foi possível igualar as curvas de compactação como era objetivo primordial do trabalho, prejudicando todo o restante das atividades programadas.

5. DIAGRAMAS R.C.S. (MÉDIA) X UMIDADE

Os Diagramas traçados não facilitaram uma comparação entre os dois tipos de compactação, por razões já esclarecidas no item anterior, ou seja, a não reprodução das umidades. Mesmo assim, tentamos fazer uma comparação para cada tipo de solo:

- **PIPI** - O formato das curvas seguem aproximadamente a mesma configuração, o que mostra uma tendência das duas serem paralelas e possivelmente coincidentes se as umidades tivessem sido as mesmas. Nos ramos úmidos das curvas existe uma aproximação dos valores, a qual é refletida no Diagrama R.C.S.(Média) X Umidade (Anexo II - Gráfico 4).

- **VSMA** - As configurações das duas curvas, como no caso anterior, tendem a ser semelhantes nas duas compactações, com uma aproximação maior também nos pontos em que as umidades estão mais próximas (Anexo II - Gráfico 8).

- **GIPI** - Os pontos não favorecem o traçado de duas curvas, sendo então traçada somente uma curva média representativa das duas outras (Anexo II - Gráfico 12).

6. Relação entre as R.C.S. para as duas Compactações

O problema de teor de umidade também se repete na tentativa de comparação entre os valores de Resistência à Compressão Simples. Embora os Diagramas de Tensão X Deformação tenham se comportado como o esperado, os valores diferentes de umidade para os pontos das duas compactações não permitem uma perfeita correlação entre os dois resultados. Uma discussão para cada solo mais especificamente é apresentada a seguir:

- **PIPI** - Os valores de tensão de ruptura para as duas compactações são bem semelhantes em termos das médias calculadas. Os valores de deformação, por sua vez, aumentam a diferença com o aumento da umidade. No solo de PIPI, a deformação para corpos de prova moldados estaticamente praticamente não variam com o aumento do teor de umidade.

As curvas de Tensão X Deformação, para esse solo, se comportaram de uma maneira muito regular, ou seja, quanto maior a umidade, menor a resistência à Compressão (Anexo II - Gráficos 5 e 6).

- **VSMA** - A Curva de Tensão X Deformação para a Compactação Dinâmica está bem ajustada ao resultado esperado. Para a Compactação Estática somente o terceiro ponto saiu dos padrões normais. As tensões de ruptura para os diversos pontos de Compactação Dinâmica e Compactação Estática estão diferindo muito pouco. Essa diferença pode está relacionada com a variação do teor de umidade dos pontos correspondentes (Ver Anexo II - Gráficos 9 a 10).

- **GIPI** - As curvas de Tensão X Deformação para esse solo se cruzam antes da ruptura, não apresentando o resultado bem definido. Para a Compactação Estática, a Tensão de Ruptura do terceiro ponto foi maior que a Tensão de Ruptura do segundo ponto. Todos os pontos da Compactação Estática romperam com a mesma Deformação (3,0%). (Anexo II - Gráficos 13 e 14).

CONCLUSÕES

Os resultados obtidos neste trabalho permitiram concluir que:

1. Com relação a Metodologia de Ensaio

A metodologia de Ensaio adotada na determinação do valor de Resistência à Compressão simples pode ser considerada adequada, por apresentar uma repetibilidade dentro da faixa de variação tolerável e dentro dos limites procurados. A moldagem estática dos corpos de prova também pode ser considerada satisfatória em função dos resultados obtidos.

2. Com relação a Umidade de Moldagem

A Umidade de moldagem dos corpos de prova correspondentes na Compactação Dinâmica e na Compactação Estática não foi adequada pois, para esses corpos de prova, o teor de umidade deveria ser o mesmo, o que não foi conseguido, tendo em vista a variação na Umidade Higroscópica das amostras utilizadas.

3. Com relação as Curvas de Compactação (Dinâmica e Estática)

As curvas não foram reproduzidas como era desejado em função da variação do teor de umidade de moldagem entre as Compactações, não se alcançando a repetibilidade do ensaio.

4. Com relação a Resistência à Compressão Simples nos dois tipos de Compactação.

As curvas de Tensão X Deformação tiveram um comportamento de acordo com o aguardado. O comportamento dessas curvas demonstram a relação "Quanto maior o teor de Umidade, menor a Resistência à Compressão Simples desses Solos", se repetindo para as Compactações Estática e Dinâmica.

A Comparação Direta da Resistência à Compactação Simples para os dois tipos de Compactação não foi possível em razão do problema de umidade de moldagem, esclarecido no item 2.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BARATA, F. E., 1958, Correlação entre Compactação Dinâmica e Compactação Estática, 2º CBMS.
- CAPUTO, H. P., 1967, Mecânica dos Solos e Suas Aplicações, Vol. I.
- DINIZ, A.A., Influência das Energias Térmicas e Mecânica Induzidas na Resistência à Compressão Simples de Alguns Solos Vermelhos Tropicais do Norte e Nordeste do Brasil, Tese de MSc, UFPb, Campina Grande, 1984.
- DINIZ, A.A., Resistência à Compressão Simples para Solos Lateríticos: Avaliação da Metodologia e Influência dos Efeitos de Temperatura de Secagem e Energia Mecânica. Tese de MSc, UFPb, Campina Grande, 1984.
- QUEIROZ DE CARVALHO, J.B. e COSTA, C. R. V., Efeito do Aumento da Temperatura de Secagem no C.B.R. e nos Parâmetros de Compactação de Solos Lateríticos, 2ª Reunião Anual de Pavimentação, Fortaleza-Ce, 1985.

A N E X O S

ANEXO I

Método de Ensaio utilizado para a determinação da Resistência à Compressão Simples.

1. Introdução

Este anexo tem como objetivo avaliar/definir a maneira pela qual a Resistência à Compressão Simples não confinada (R.C.S.) dos Solos Lateríticos pode ser determinada.

Esta metodologia baseia-se na experiência adquirida no Laboratório de Solos II do Departamento de Engenharia Civil do Campus II da Universidade Federal da Paraíba e informações disponíveis na literatura.

2. Amostra

A amostra utilizada foi aquela que passou na peneira de malha quadrada de abertura 4,8mm.

A amostra utilizada na determinação da Resistência à Compressão Simples (R.C.S.) foi cilíndrica de volume igual a 928,9 cm³, Compactada Dinâmica e Estaticamente em molde projetado para tal fim.

Para cada condição de massa específica aparente seca/umidade, três amostras foram preparadas, compactadas, rompidas e determinada a umidade, a massa específica aparente seca e a resistência à compressão simples. Foram adotadas variações com relação a média obtida com as três amostras de $\pm 10\%$ para os valores de massa específica aparente seca, umidade e resistência a compressão simples, rejeitando os corpos de prova que resultam em valores fora da faixa permitida.

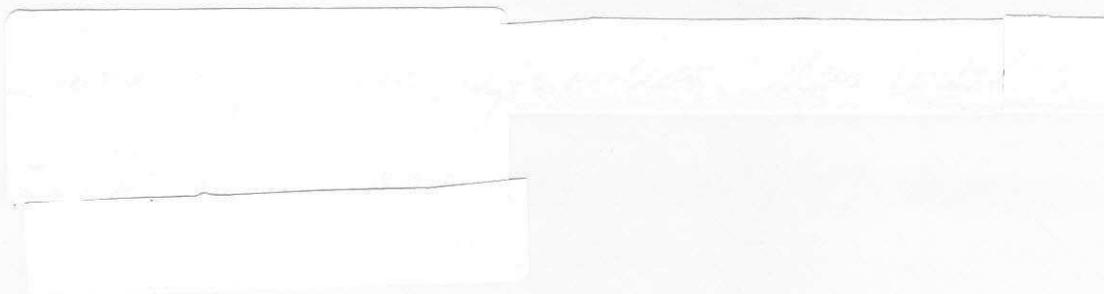
3. Determinação do Valor da R.C.S.

O Ensaio de Compressão Simples foi realizado numa prensa com velocidade constante e igual a 1,27mm/min.

O aparelho de compressão simples era constituído de dois pratos planos entre os quais o corpo de prova foi comprimido, sendo as deformações medidas por um defletômetro e a carga por um anel dinamométrico. O valor máximo da carga aplicada dividido pela área do corpo de prova equivaleu ao valor da R.C.S.

ANEXO II

GRÁFICOS E TABELAS



CARGA DE MOLDAGEM ESTÁTICA POR CAMADA

Tabela 1 - Solo: GIPI

$\gamma_s(\text{g/cm}^3)$	U (%)	Carga Aplicada p/ Camada (kg)		
		1ª	2ª	3ª
1,689	10,3	976,4	1167,0	1167,0
1,741	13,2	936,7	1421,0	1571,8
1,779	14,1	940,7	1881,4	2131,4
1,758	17,1	607,3	1464,6	1476,6
1,743	17,4	436,6	1047,9	1024,1

Tabela 2 - Solo: PIPI

$\gamma_s(\text{g/cm}^3)$	U (%)	Carga Aplicada p/ Camada (kg)		
		1ª	2ª	3ª
1,879	9,5	698,6	1683,0	1698,8
1,978	11,3	1063,8	2659,4	1897,6
2,022	11,8	1246,3	3540,6	3588,2
1,986	13,7	928,8	2012,4	2000,5
1,942	15,1	412,8	1159,0	1087,6

Tabela 3 - Solo: VSMA

$\gamma_s(\text{g/cm}^3)$	U (%)	Carga Aplicada p/ Camada (kg)		
		1ª	2ª	3ª
1,740	11,3	722,4	1301,9	1278,1
1,811	13,1	393,0	905,0	762,1
1,898	13,8	821,6	1881,4	1976,7
1,896	14,2	428,7	1159,0	1143,1
1,883	15,3	297,7	881,2	845,4

SOLO: PIPI

Tabela 4 - Compactação Dinâmica

γ_s (g/cm ³)	U (%)	R.C.S.(KPa)	R.C.S. Média (KPa)	VARIAÇÃO %
1,900	8,4	264 270 233	256	- 8,8 + 5,5
2,001	10,1	218 208 206	210	- 2,2 + 3,5
2,032	11,3	186 168 165	173	- 4,7 + 7,8
2,010	12,4	101 - 112	107	± 5,0
1,964	14,2	59 67 66	64	- 8,0 + 5,2

Tabela 5 - Compactação Estática

γ_s (g/cm ³)	U (%)	R.C.S. (KPa)	R.C.S. Média	VARIAÇÃO %
1,879	9,5	261 - 264	262	± 0,6
1,978	11,3	207 211 220	213	- 2,7 + 3,3
2,022	11,8	198 194 205	199	- 2,5 + 2,9
1,986	13,7	88 - 88	88	0,0
1,942	15,1	48 48 -	48	0,0

Tabela 6 - Compactação Dinâmica

γ_s (g/cm ³)	U (%)	R.C.S. (KPa)	R.C.S. Média (KPa)	VARIAÇÃO %
1,752	10,5	343 311 381	345	- 9,9 + 10,4
1,826	12,1	255 - 284	269	± 5,3
1,911	13,2	200 202 190	197	- 3,4 + 2,2
1,905	14,1	150 142 -	146	± 2,6
1,882	15,2	104 96 85	95	- 10,4 + 9,5

Tabela 7 - Compactação Estática

γ_s (g/cm ³)	U (%)	R.C.S. (KPa)	R.C.S. Média	VARIAÇÃO %
1,740	11,3	377 421 457	418	- 9,8 + 9,2
1,811	13,1	221 217 -	219	± 0,8
1,898	13,8	353 365 -	359	± 1,7
1,896	14,2	193 193 167	184	- 9,2 + 4,8
1,883	15,3	121 129 -	125	± 2,9

SOLO: GIPI

Tabela 8 - Compactação Dinâmica

Massa Específica Aparente Seca (g/cm ³)	Teor de Umidade (%)	R.C.S. (KPa)	R.C.S. Média (KPa)	Variação (%)
1,738	9,9	311 289 -	300	± 3,7
1,757	12,7	282 302 292	292	- 3,3 + 3,4
1,772	14,7	256 257 230	248	- 7,0 + 3,7
1,759	17,0	- 202 201	201	± 0,4
1,732	18,3	115 116 117	116	- 0,8 + 0,9

Tabela 9 - Compactação Estática

Massa Específica Aparente Seca (g/cm ³)	Teor de Umidade (%)	R.C.S. (KPa)	R.C.S. Média (KPa)	Variação (%)
1,689	10,3	324 313 -	319	± 1,6
1,741	13,2	254 264 286	268	- 5,1 + 8,0
1,779	14,1	295 280 287	287	- 2,5 + 2,6
1,758	17,1	205 205 178	196	- 9,2 + 4,6
1,743	17,4	171 163 153	162	- 5,8 + 5,4

Gráfico 1

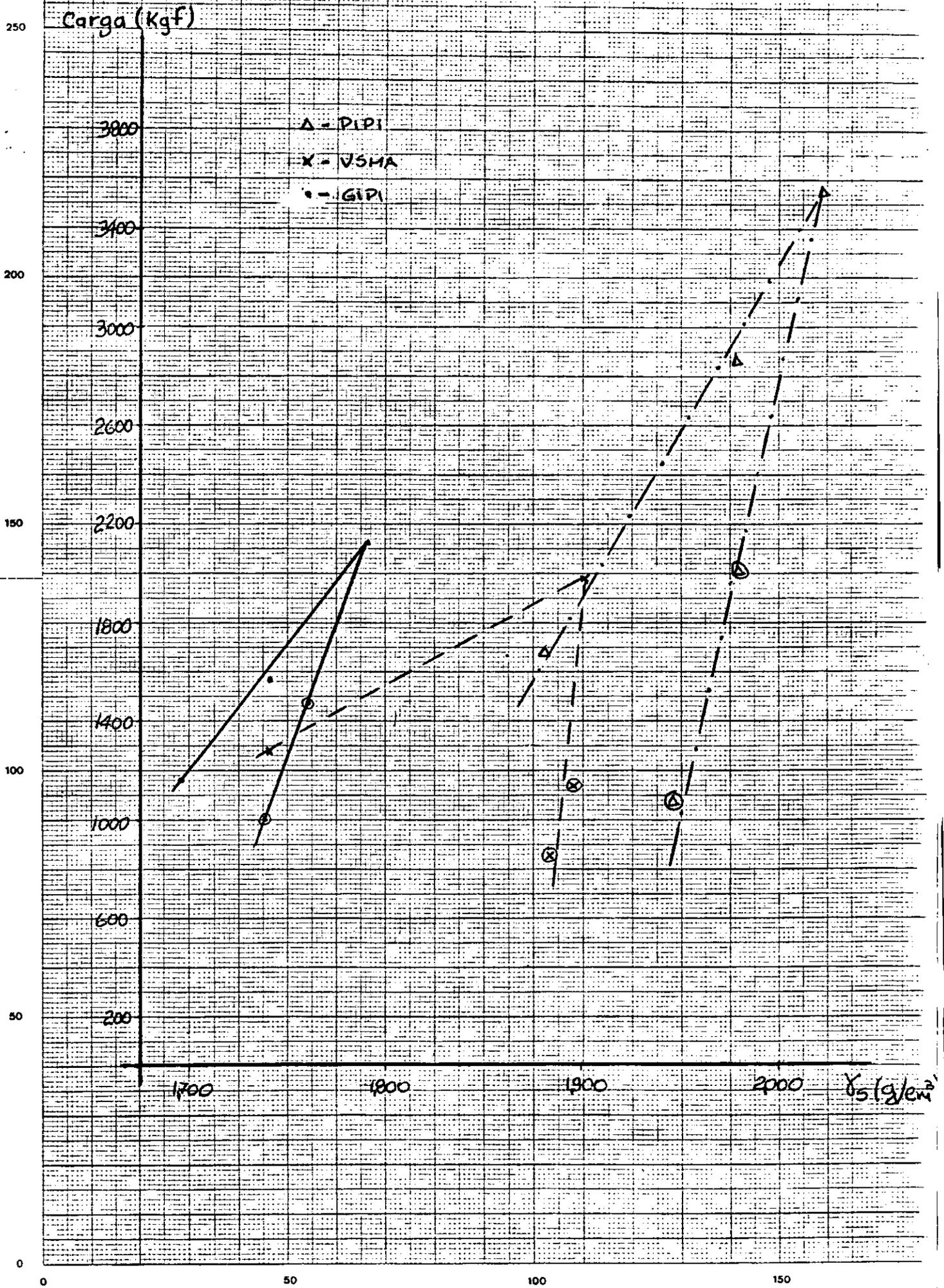
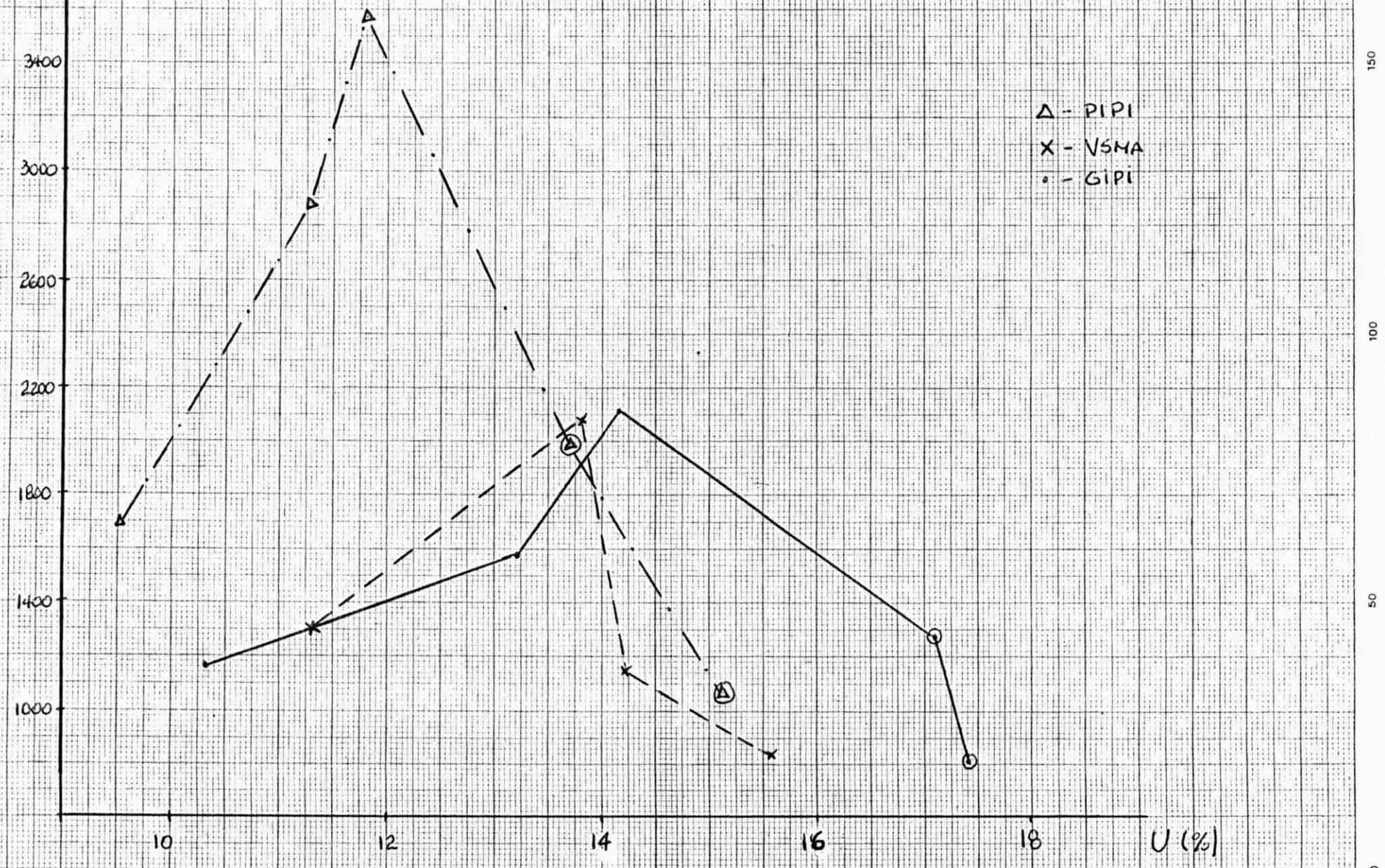


Gráfico 2

Carga (Kgf)

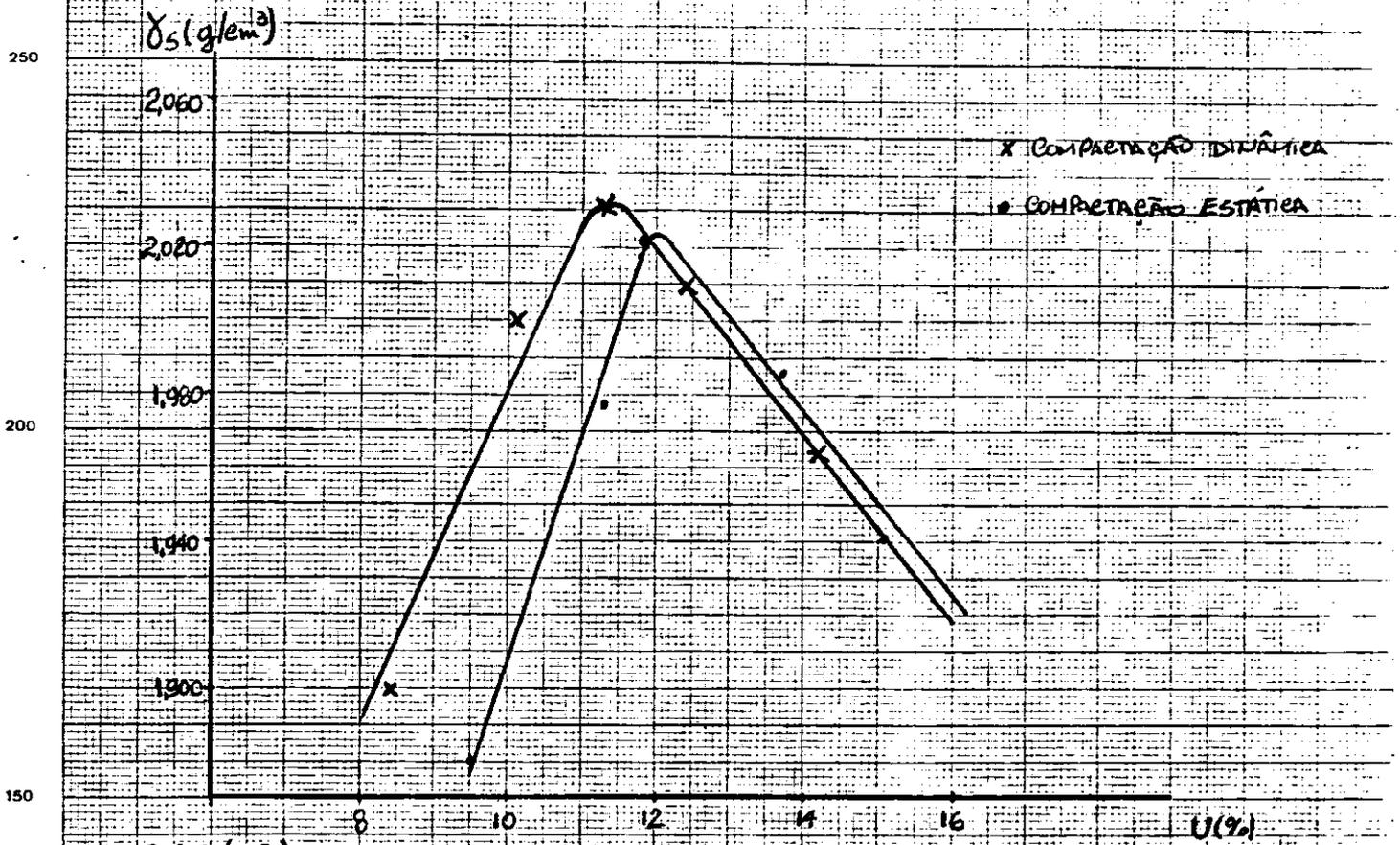


Δ - PIPI
X - VSMA
• - GIPI

U (%)

Gráfico 3

SOLO: P1P1



R.E.S (KPa)
Média

Gráfico 4

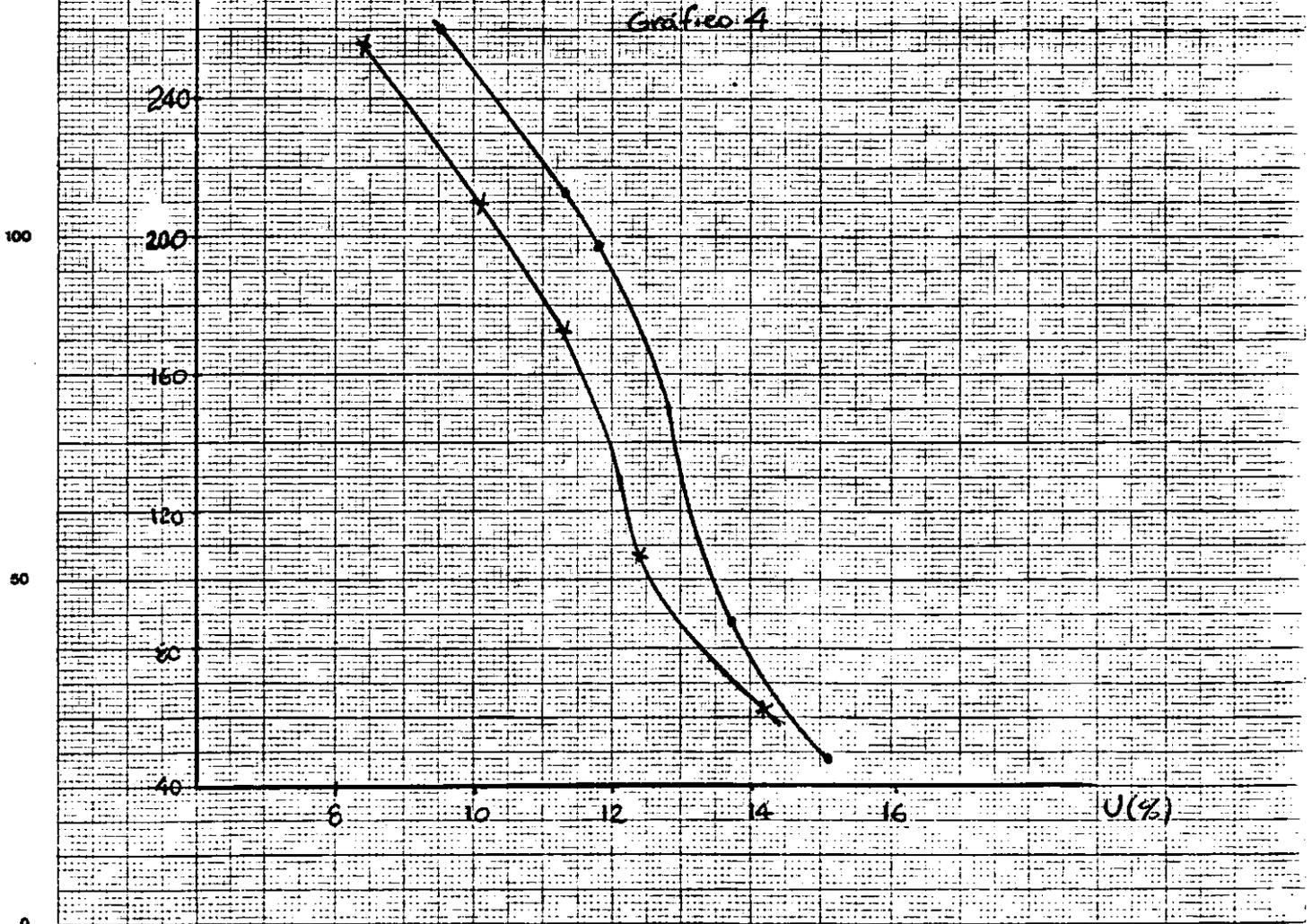


GRÁFICO 5

SOLO: PIPÍ
 $\sigma \times \epsilon$

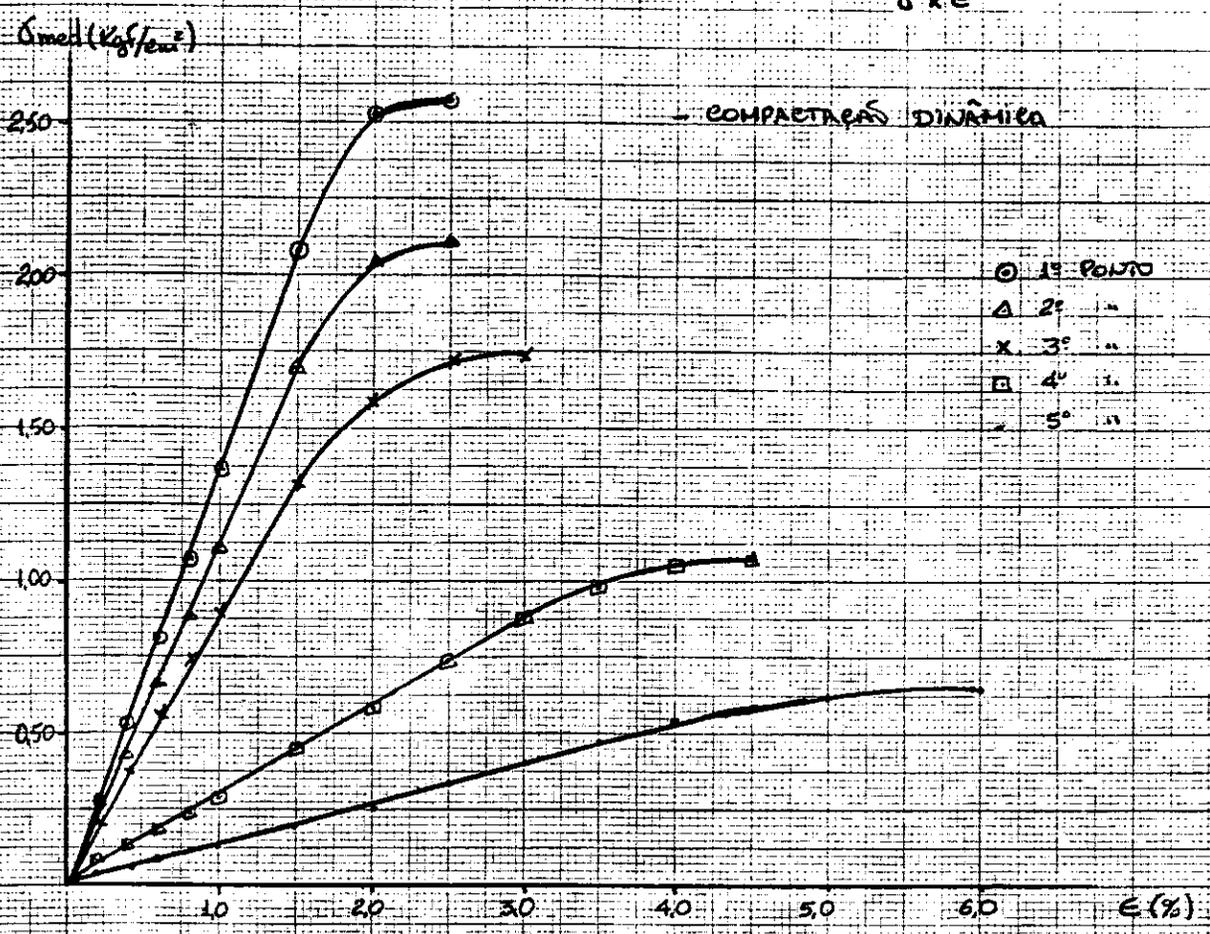


Gráfico 6

COMPACTACIÓN ESTÁTICA

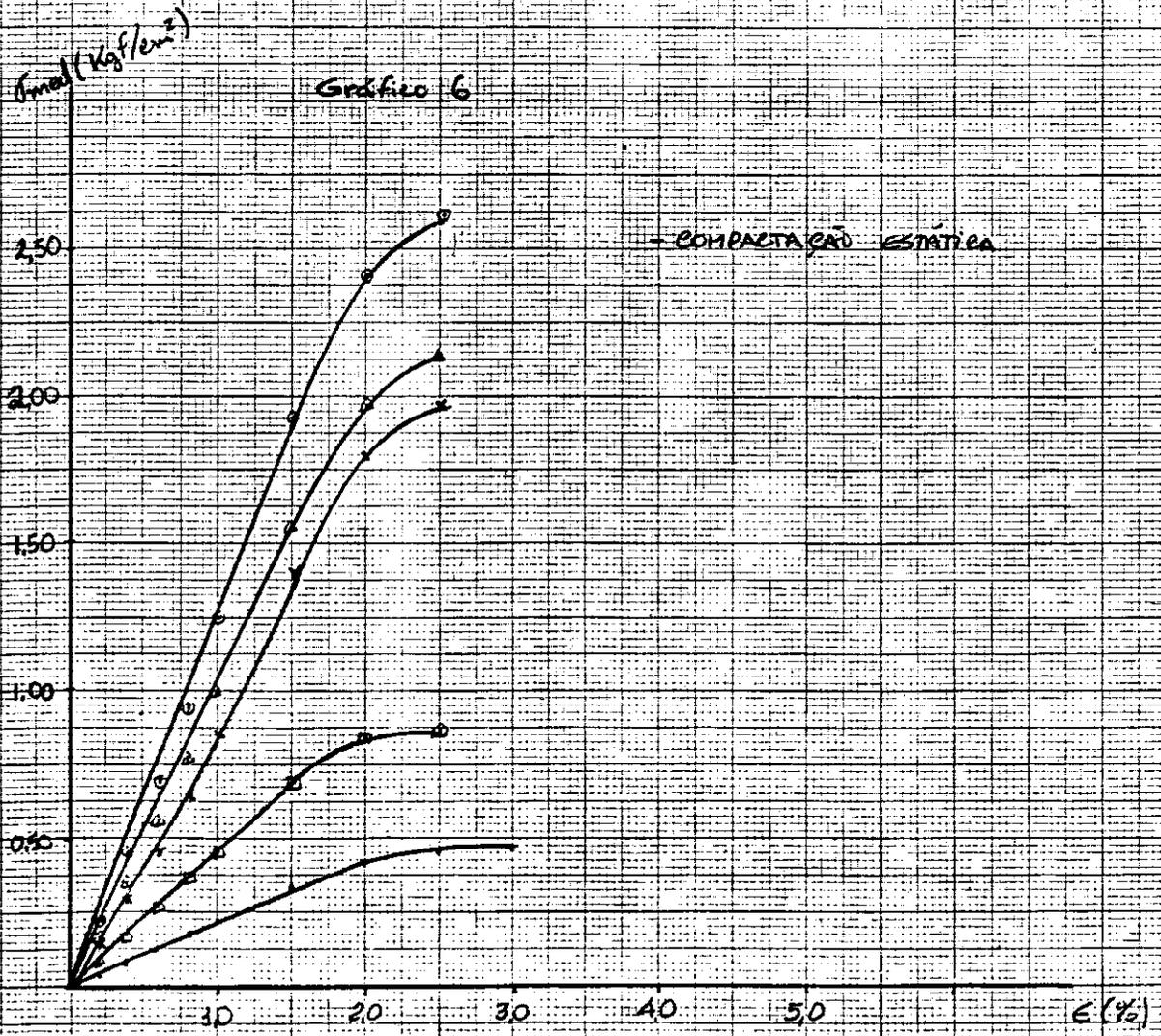


Gráfico 7

SOLO: VSMA

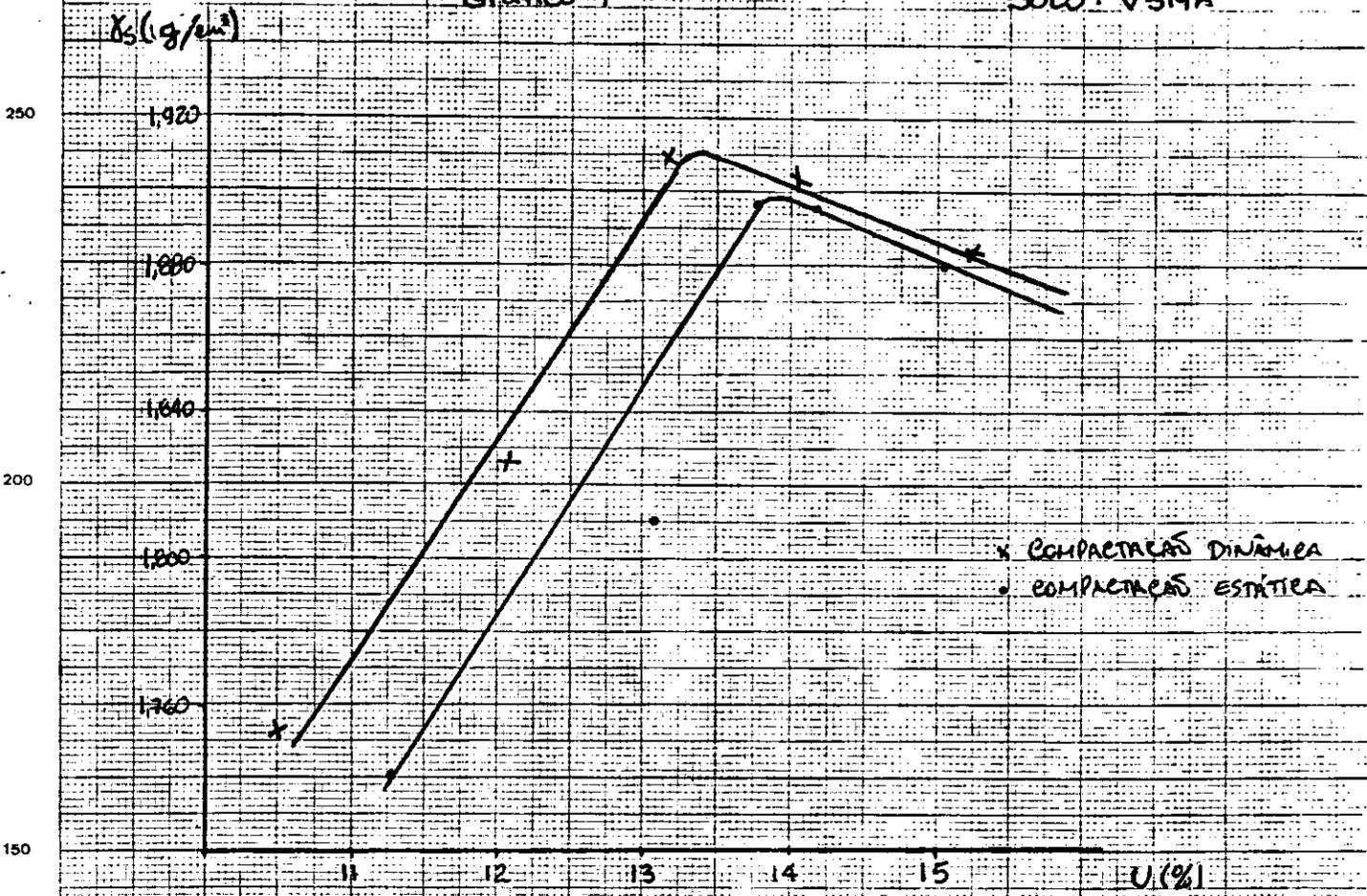


Gráfico 8

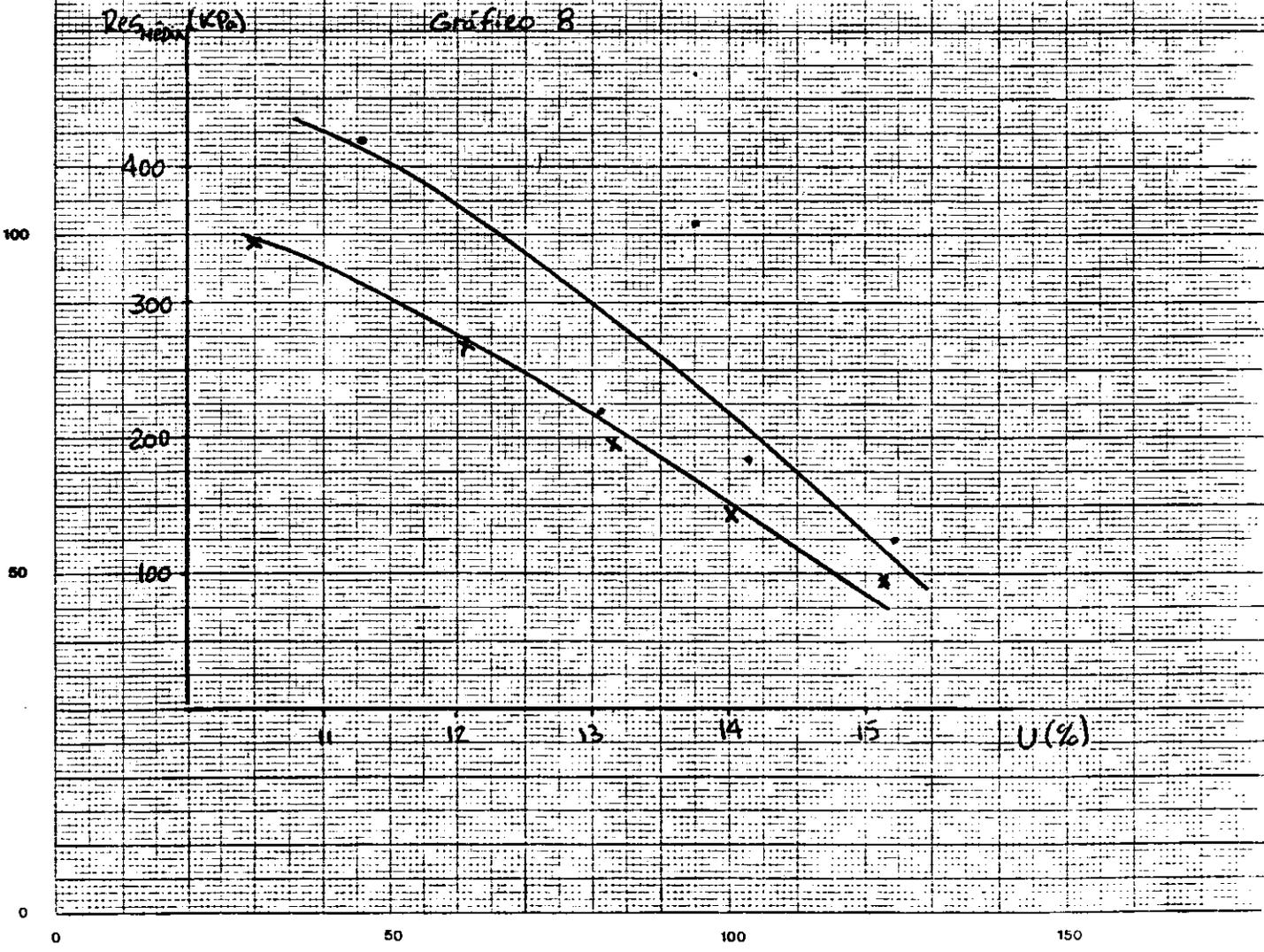


Gráfico 9

SOLO: VSMA
5 x E

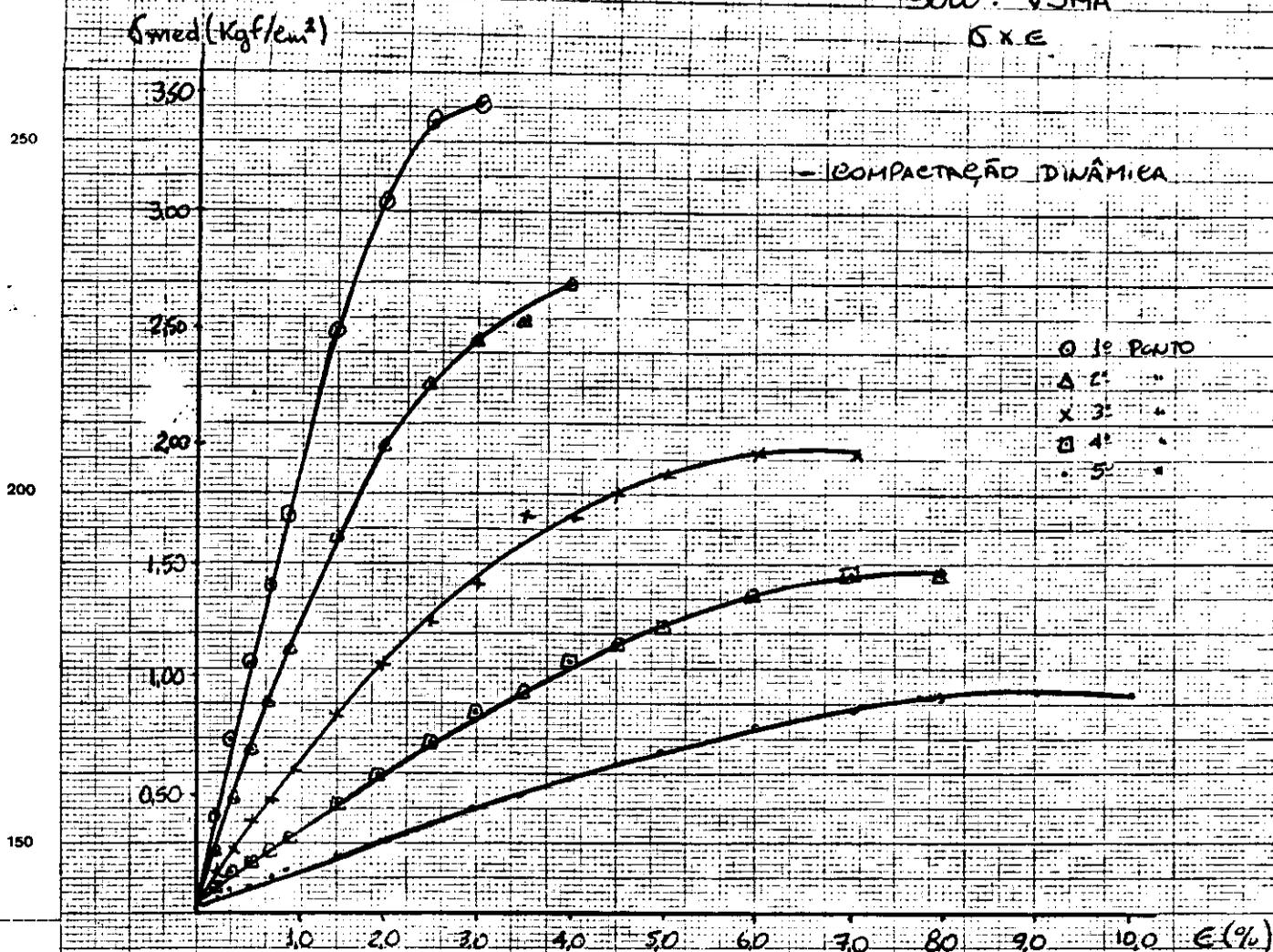


Gráfico 10

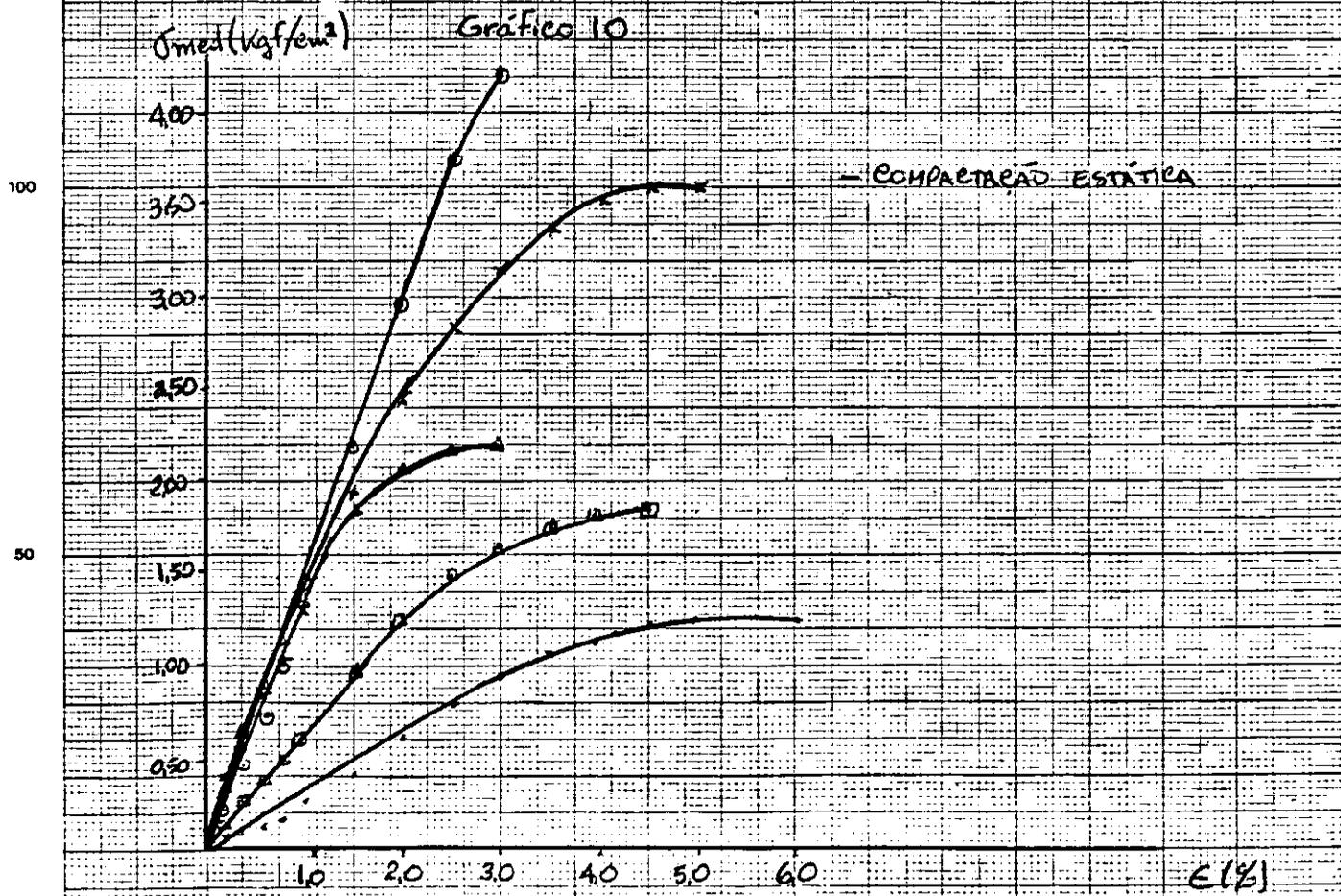
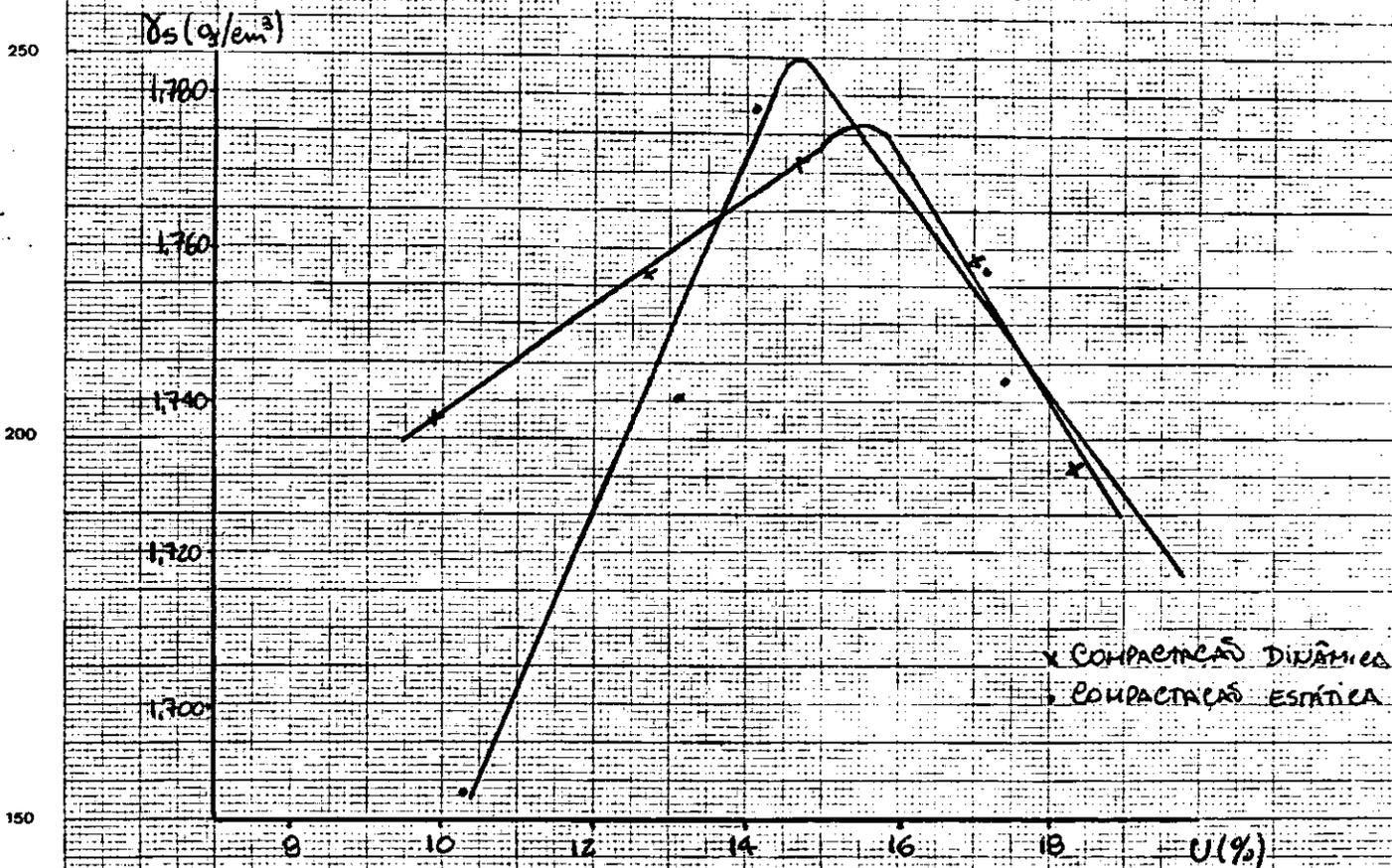


Gráfico 11

SOLO: GIP1



R.C.S. (KPa)
MÉDIA

Gráfico 12

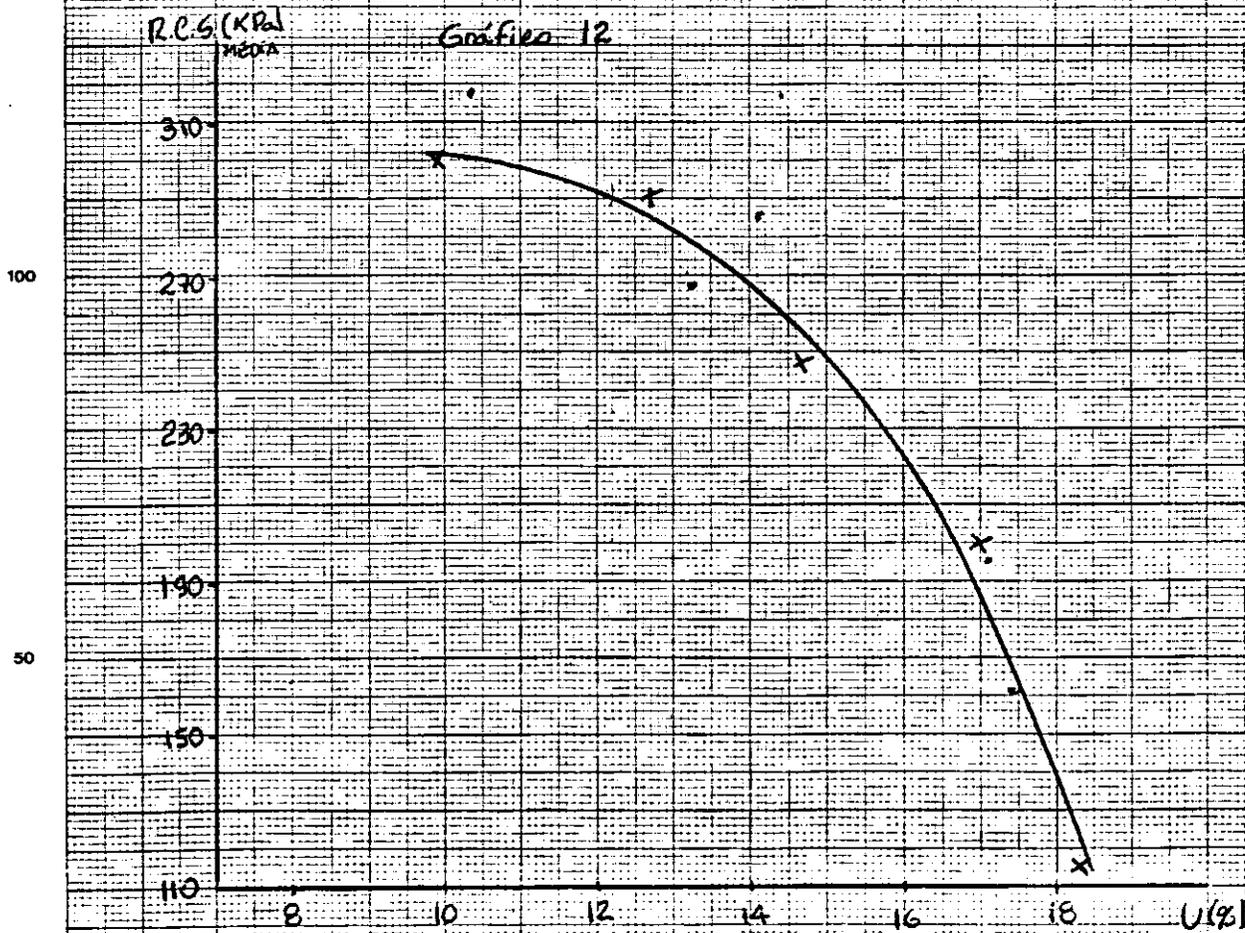


Gráfico 13

SOLO: GIPÍ
5x6

σ_{med} (Kg/cm²)

- COMPACTAÇÃO DINÂMICA

- 1º Ponto
- △ 2º "
- × 3º "
- 4º "
- 5º "

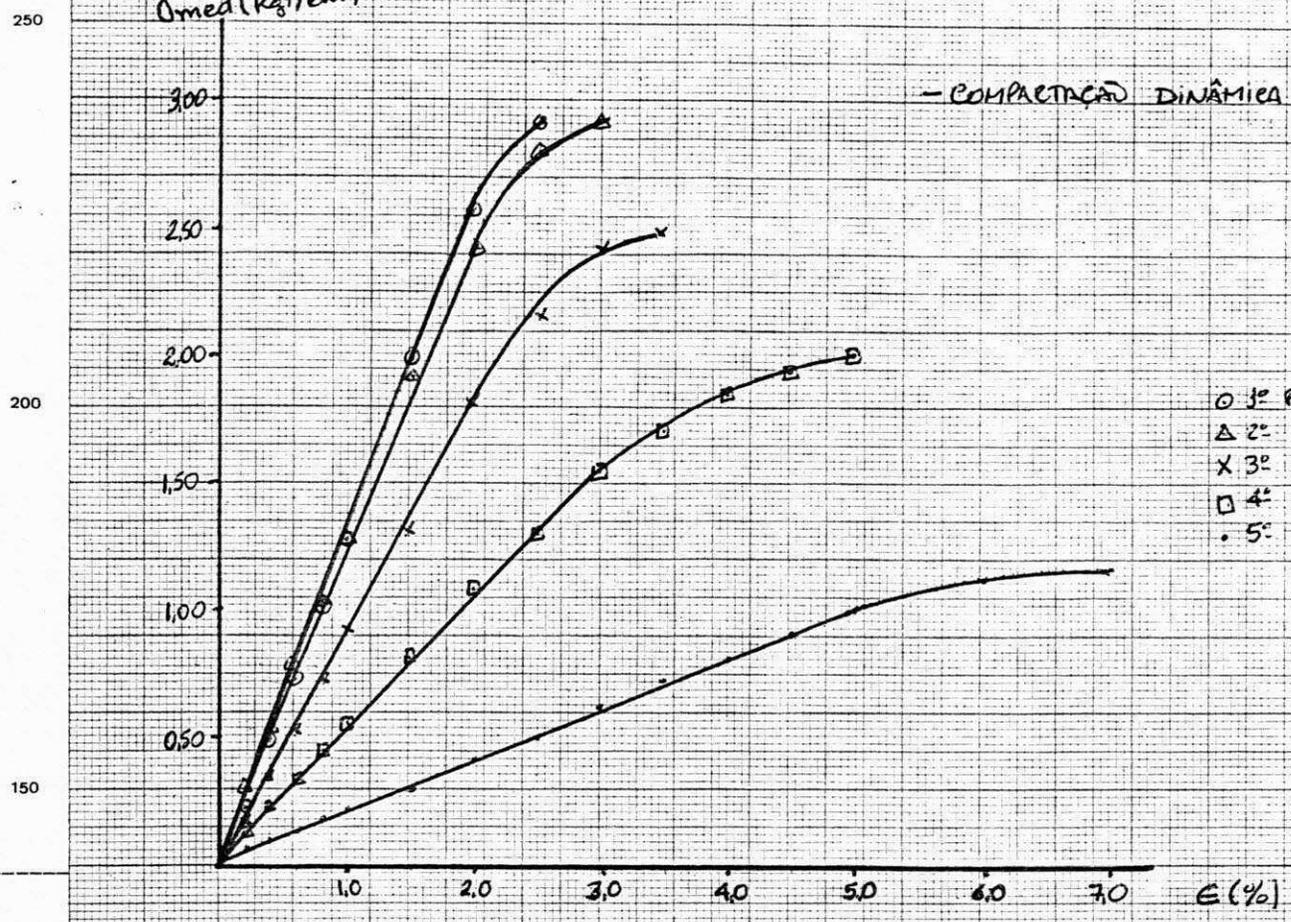


Gráfico 14

- COMPACTAÇÃO ESTÁTICA

σ_{med} (Kg/cm²)

