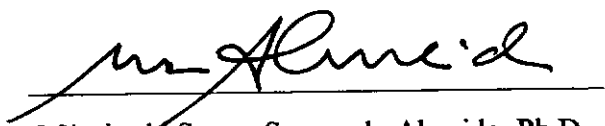


# DESENVOLVIMENTO E UTILIZAÇÃO DE UM EQUIPAMENTO DE PALHETA ELÉTRICO IN SITU

*Jonú Neves de Souza do Nascimento*

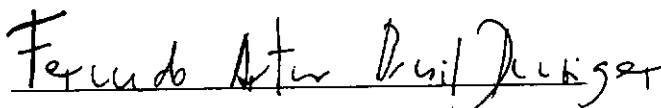
TESE SUBMETIDA AO CORPO DOCENTE DA COORDENAÇÃO DOS PROGRAMAS DE PÓS-GRADUAÇÃO DE ENGENHARIA DA UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO DE JANEIRO – UFRJ, COMO PARTE DOS REQUISITOS NECESSÁRIOS À OBTENÇÃO DO GRAU DE MESTRE EM CIÊNCIAS EM ENGENHARIA CIVIL.

Aprovado por:

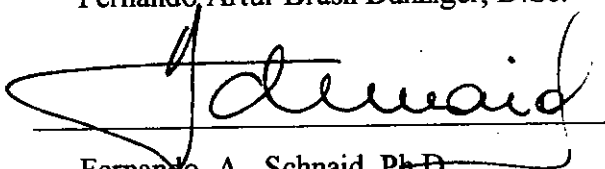


Márcio de Souza Soares de Almeida, Ph.D.

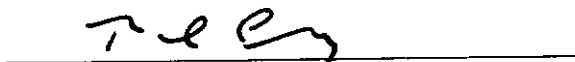
Presidente



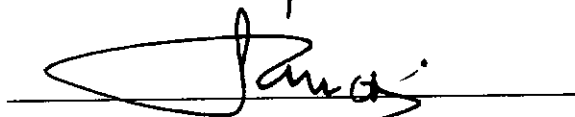
Fernando Artur Brasil Danziger, D.Sc.



Fernando A. Schnaid, Ph.D.



Roberto Quental Coutinho, D.Sc.



Sandro Salvador Sandroni, Ph.D.

Rio de Janeiro / RJ - Brasil

Abril / 1998

NASCIMENTO, IONÁ N. DE SOUZA DO.

Desenvolvimento e utilização de um equipamento de palheta elétrico in situ (Rio de Janeiro) 1998.

VIII, 134 p. 29,7cm (COPPE/UFRJ, M.Sc., Engenharia Civil, 1998).

Tese – Universidade Federal do Rio de Janeiro, COPPE

1. Ensaio de palheta in situ
2. Equipamento de palheta elétrico

I – COPPE/UFRJ      II – Título

Dedicado esta tese aos meus pais  
Sebastião e Maria das Graças e ao  
meu marido Edson.

## AGRADECIMENTOS

Ao professor Márcio Almeida pela orientação, incentivo e apoio durante a elaboração desta tese.

Ao professor Fernando Danziger pelo estímulo e valiosa colaboração para a realização deste trabalho.

Ao professor Roberto Coutinho pelo apoio e colaboração durante a primeira campanha de ensaios, e pela compreensão fornecendo o equipamento pertencente à UFPE nas outras duas campanhas seguintes.

Aos professores da área de Geotecnia da COPPE/UF RJ pelo incentivo.

Aos funcionários do laboratório de Geotecnia pelo carinho e amizade.

Aos funcionários da secretaria do Programa de Engenharia Civil pela atenção.

Ao SENAC-RJ, na pessoa dos engenheiros Daniel A. Soares e Francisco Bittencourt, responsáveis pela execução da obra SENAC, pela atenção, compreensão e apoio recebidos.

A GROM, em especial, aos engenheiros Sílvio P. da Silva Júnior e Ronaldo C. da Silva pelo auxílio prestado para a realização deste trabalho.

A Geotécnica S/A, em especial, aos engenheiros Clemente Luz dos Santos e Paulo César F. Pessanha pela compreensão e apoio recebidos.

Aos engenheiros Eduardo Nazareth, Hélcio Souza, Ricardo Gil Domingues e Sérgio Iório e aos técnicos Max Souza e Luís Mário Fernandes pelo apoio e agradável convívio durante as campanhas de ensaios.

Ao Eng. Joaquim T. R. de Oliveira pelo apoio durante a primeira campanha de ensaios e pelas sugestões.

Aos técnicos da obra SENAC Marcelo S. Santos, Leonardo Dupin Silva, Bruno P. Borda, Robson P. de Souza, Vinícius N. Goes, Marino B. Miranda e ao mestre Adão M. Silva pelo apoio e carinho recebidos.

A Luiz de França Vieira pelo carinho e cuidadoso trabalho na elaboração dos desenhos. Josias C. Romão auxiliou na digitação.

Ao engenheiro e amigo Marcos Bergman pelo companheirismo. E ao engenheiro Alexandre Spotti pela compreensão me substituindo nestes últimos meses na obra SENAC.

Às minhas irmãs Ione, Iná e Ignez pelo carinho.

À amiga Kárida por estar sempre presente. E à tia Solange por sua constante dedicação.

Aos membros da banca examinadora professores Fernando Danziger, Fernando Schnaid, Roberto Coutinho e Sandro Sandroni pela apreciação do presente trabalho.

Resumo de Tese apresentada à COPPE/UFRJ como parte dos requisitos necessários para obtenção do grau de Mestre em Ciências (M.Sc.).

## DESENVOLVIMENTO E UTILIZAÇÃO DE UM EQUIPAMENTO DE PALHETA ELÉTRICO IN SITU

Ioná Neves de Souza do Nascimento

Abril, 1998

Orientador: Márcio de Souza Soares de Almeida

Programa: Engenharia Civil

O presente trabalho descreve uma experiência com o equipamento de palheta elétrica desenvolvido pela COPPE/UFRJ em conjunto com a GROM, através do emprego de ensaios de palheta in situ, em duas campanhas de ensaios realizadas no terreno do SENAC, Rio de Janeiro, e em duas outras campanhas auxiliares: uma em área junto à fábrica da Cia Paraibuna de Metais, Juiz de Fora, e outra na Estação de Tratamento de Esgotos de Alegria, Caju.

O trabalho também apresenta os aspectos operacionais do equipamento, e estabelece comparações entre resultados obtidos com o equipamento elétrico e o convencional tipo Geonor.

É incluída ainda a verificação do aumento da resistência não drenada do depósito de argila mole existente no terreno do SENAC, após a execução da primeira etapa do aterro, através da segunda campanha de ensaios realizada no local.

Conclusões e sugestões são apresentadas visando melhorar os resultados obtidos através de ensaios de palheta in situ, para sua aplicação em diversos projetos de engenharia.

Abstract of Thesis Presented to COPPE/UFRJ as Partial Fulfillment of the Requirements for the Degree of Master of Science (M.Sc.).

DEVELOPMENT AND USE OF AN  
ELECTRIC VANE EQUIPMENT

Ioná Neves de Souza do Nascimento

April, 1998

Thesis Supervisor: Márcio de Souza Soares de Almeida

Department: Civil Engineering

The present work describes the experience with an electric vane equipment developed at COPPE/UFRJ in conjunction with the company GROM. Test programmes to verify the reliability of the equipment have been carried out at the SENAC site and in Caju district, Rio de Janeiro, and also at Juiz de Fora, Minas Gerais.

The equipment is described in detail together with all operational and calibration aspects of the equipment. Comparisons with tests performed with the traditional Geonor equipment are also included. The gain in strength as a result of the consolidation of an embankment on soft clay with vertical drains is also assessed.

Conclusions and suggestions are presented with the purpose to further improve the equipment and the results obtained to be applied to actual engineering works.

## ÍNDICE

<b>1 INTRODUÇÃO</b>	<b>2</b>
1.1 Considerações Preliminares	2
1.2 Objetivo da Tese	2
1.3 Organização	3
<b>2. BREVE REVISÃO BIBLIOGRÁFICA</b>	<b>6</b>
2.1 Introdução	6
2.2 Equipamentos de Palheta In Situ	7
2.2.1 Principais Componentes do Equipamento	11
2.3 O Ensaio de Palheta In Situ	15
2.3.1 Execução do Ensaio	15
2.3.1.1 Equipamento sem Perfuração Prévia	16
2.3.1.2 Equipamento com Perfuração Prévia	16
2.4 Fatores que Influenciam os Resultados dos Ensaios de Palheta	17
2.4.1 Inserção da Palheta	17
2.4.2 Tempo entre Cravação e Rotação da Palheta	17
2.4.3 Velocidade de Rotação da Palheta	19
2.4.4 Atrito	21
2.5 Interpretação do Ensaio	23
<b>3. O EQUIPAMENTO DE PALHETA ELÉTRICO DESENVOLVIDO</b>	<b>27</b>
3.1 Introdução	27
3.2 Descrição Geral do Equipamento	27
3.2.1 Características Técnicas	30
3.3 Calibração do Equipamento de Palheta	32
3.3.1 O Sistema de Calibração	32
3.3.2 Resultados das Calibrações	33
3.4 O Sistema de Aquisição de Dados	36
3.5 O Procedimento para a Realização do Ensaio	37
3.5.1 Procedimentos que Antecedem o Ensaio	37
3.5.2 Procedimentos de Ensaio Propriamente Ditos	39

<b>4. CAMPANHAS DE ENSAIOS REALIZADAS</b>	<b>45</b>
4.1 Introdução	45
4.2 Características Geotécnicas do Local	45
4.3 Alguns Aspectos Importantes da Obra SENAC	52
4.4 Primeira Campanha de Ensaios no Terreno do SENAC	56
4.4.1 Resultados dos Ensaios	58
4.4.2 Problemas Observados na Primeira Campanha no Terreno do SENAC	61
4.5 Campanhas Auxiliares	65
4.5.1 Introdução	65
4.5.2 Ensaios Realizados na Fábrica Cia Paraibuna de Metais	65
4.5.3 Dificuldades Encontradas na Campanha de Juiz de Fora	66
4.5.4 Ensaios Realizados na Estação de Tratamento de Esgotos Alegria	70
4.5.4.1 Resultados dos Ensaios	72
4.6 Segunda Campanha de Ensaios no Terreno do SENAC	74
4.6.1 Resultados Obtidos	75
4.6.2 Dificuldades Encontradas na Segunda Campanha no Terreno do SENAC	77
<b>5. INTERPRETAÇÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS</b>	<b>79</b>
5.1 Introdução	79
5.2 Comparação entre as Curvas de Torque versus Rotação	80
5.3 Comparação entre os Ângulos de Rotação para o Torque Máximo	82
5.4 Comparação entre os Valores de $S_u$ Obtidos	84
5.5 Verificação do Aumento de $S_u$ do Depósito de Argila Mole do SENAC	88
<b>6. CONCLUSÕES</b>	<b>91</b>
<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b>	<b>94</b>
<b>APÊNDICE A</b>	<b>98</b>

**Capítulo 1**  
**Introdução**

# 1 INTRODUÇÃO

## 1.1 Considerações Preliminares

Os parâmetros de resistência e compressibilidade dos solos, principalmente em terrenos moles, podem sofrer influências significativas em função do processo de amostragem, que, além do efeito de amolgamento, provoca alterações no estado de tensões em que a amostra estava submetida no interior do terreno.

Os ensaios *in situ* são realizados no interior da massa de solo, obtendo-se resultados que considerem a heterogeneidade de camadas e aspectos inerentes à constituição geológica-geotécnica do depósito. Estes ensaios desenvolveram-se significativamente nos últimos quinze anos, mas seus equipamentos ainda são fundamentalmente mecânicos, com acionamento dos mais diversos tipos.

O ensaio de palheta *in situ* é o método mais utilizado para a determinação da resistência não drenada  $S_u$  do solo mole, e o mais apropriado do ponto de vista técnico-econômico.

## 1.2 Objetivo da Tese

Visando aprimorar os resultados fornecidos pelos ensaios de palheta *in situ*, a COPPE/UFRJ desenvolveu em conjunto com a GROM, da Incubadora de Empresas, com participação da UFPE, um equipamento de palheta elétrico dotado de uma célula de torque próxima à palheta. Esta célula utiliza extensômetros elétricos, sendo capaz de fornecer medidas com elevada acurácia.

O equipamento, após sua fabricação, foi colocado em operação para se verificar não só a qualidade dos valores medidos, como também sua operacionalidade. O objetivo desta tese é descrever com detalhe o equipamento de palheta elétrico desenvolvido e as etapas que se seguiram para a colocação do equipamento totalmente operacional. Este último aspecto é enfatizado no presente trabalho.

A escolha do local constituiu-se em fator preponderante à pesquisa, pois necessitava-se de uma área de referência de estudos geotécnicos, considerando-se que não havia recursos disponíveis para uma ampla campanha de ensaios. Optou-se, então, pelo terreno do SENAC onde já havia sido feita uma campanha de investigação para obtenção de parâmetros geotécnicos, descrita por Almeida (1995).

O presente trabalho descreve os ensaios realizados com os dois equipamentos de palheta elétricos desenvolvidos, o primeiro para a Universidade Federal de Pernambuco, e o segundo para a COPPE/UFRJ. Foram realizadas duas campanhas de ensaios no terreno do SENAC, e mais duas campanhas de ensaios através de projetos COPPETEC. Todas essas experiências, que permitiram avaliar a operacionalidade e a confiabilidade dos resultados obtidos pelos novos equipamentos, são relatadas neste trabalho.

### **1.3 Organização**

Esta tese apresenta seis capítulos, incluindo-se a introdução, sendo os cinco demais relacionados abaixo.

O Capítulo 2 apresenta uma breve revisão bibliográfica sobre ensaios de palheta *in situ*, relatando-se de forma sucinta os estudos clássicos. São apresentadas, também, as recomendações sugeridas pela norma ABNT para ensaios de palheta *in situ* – NBR 10905 de outubro/1989.

O desenvolvimento e a descrição do equipamento de palheta elétrico, como também os procedimentos para a realização de ensaios com este equipamento, são apresentados no Capítulo 3.

No Capítulo 4 apresentam-se, inicialmente, as características geotécnicas do depósito ensaiado e alguns aspectos importantes da obra do SENAC, implantada para ser a futura sede do Centro de Tecnologia da Educação. Logo após é detalhada a primeira campanha de ensaios realizada em terreno natural com o equipamento de palheta elétrico desenvolvido para a UFPE, e com o equipamento convencional tipo Geonor. São apresentados os resultados obtidos com os dois equipamentos, como

também a avaliação quanto à operacionalidade do equipamento desenvolvido e as modificações realizadas em decorrência dos problemas verificados. Em seguida, são descritas as duas campanhas auxiliares realizadas através de projetos COPPETEC, uma em área junto à fábrica da Cia Paraibuna de Metais, Juiz de Fora, e outra na Estação de Tratamento de Esgotos Alegria, Caju. Finalmente, apresenta-se a segunda campanha de ensaios realizada no terreno do SENAC, quatro meses após o término da construção da primeira etapa do aterro.

No Capítulo 5 são analisados os resultados dos ensaios, e são feitas comparações entre os resultados obtidos com os equipamentos de palheta elétrico e o convencional tipo Geonor.

Conclusões e sugestões são apresentadas no Capítulo 6. São apresentadas ainda em Apêndices as curvas torque versus rotação para todos os ensaios realizados nas quatro campanhas de ensaios.

## **Capítulo 2**

### **Breve Revisão Bibliográfica**

## 2 BREVE REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

### 2.1 Introdução

O ensaio de palheta foi um dos primeiros procedimentos destinado à determinação da resistência não drenada do solo. Os relatos mais antigos datam do final da década de 20, na Suécia e na Alemanha.

O primeiro protótipo do equipamento de palheta foi desenvolvido por John Olsson (Flodin e Broms, 1981), para o projeto de construção de uma ponte em Estocolmo, no período de 1917 – 1926. O equipamento desenvolvido apresentava a geometria das palhetas e os procedimentos dos ensaios diferentes dos utilizados atualmente.

Somente a partir da década de 40 maior interesse foi suscitado sobre o assunto, conforme estudos relatados por Smith (1945) sobre trabalhos realizados pelo exército Britânico. Uma versão moderna do equipamento foi apresentada por Carlsson e Cadling (1948), no Segundo Congresso Internacional de Mecânica dos Solos e Engenharia de Fundações de Rotterdam.

Outros trabalhos foram apresentados por Skempton (1948) e Vey e Schlesinger (1949). Mas foi na Suécia que Cadling e Odenstad (1950) apresentaram uma versão mais avançada do equipamento, que logo foi aceita por toda comunidade geotécnica. Este equipamento possuía dimensões das palhetas, velocidade de rotação e até mesmo o procedimento para a determinação da sensibilidade do solo semelhantes aos utilizados nos equipamentos em dias atuais.

Este capítulo relata de forma sucinta os estudos mais clássicos até 1978, visto que a tese de Collet, defendida na COPPE/UFRJ naquele ano, apresenta com detalhes as pesquisas realizadas até aquele ano. Procurou-se, então, relatar os estudos mais recentes, como os descritos por Chandler (1988), e enfatizar as recomendações sugeridas pela norma da ABNT para ensaios de palheta in situ – NBR 10905 de outubro/1989.

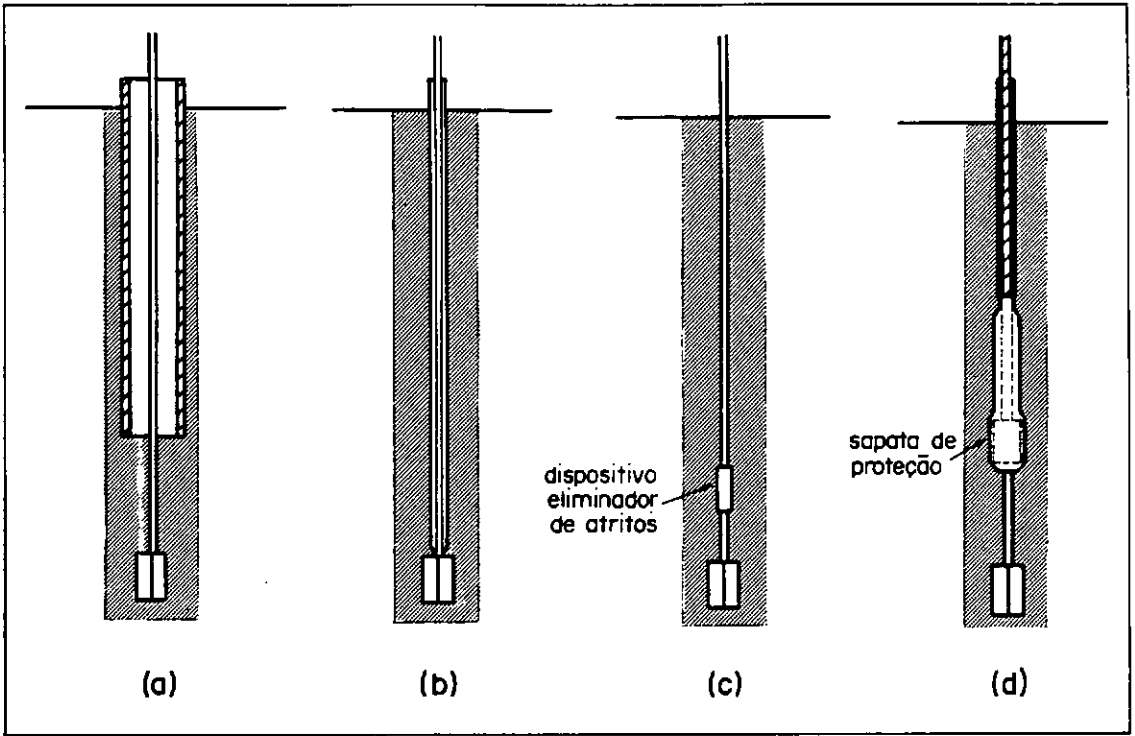
## 2.2 Equipamentos de Palheta In Situ

O equipamento de palheta in situ, quanto ao método de instalação, pode ser classificado em quatro tipos distintos (Ortigão e Collet, 1986), como pode ser observado na Fig. 2.1.

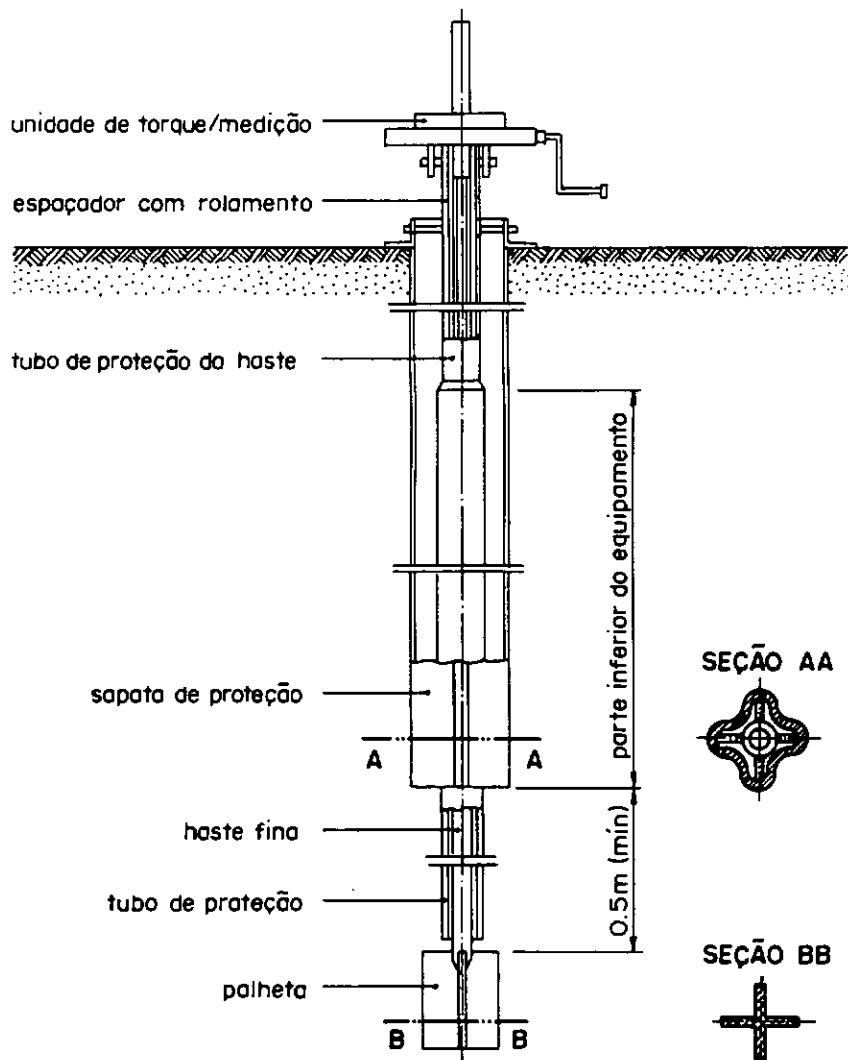
- a) Palheta Inserida em Perfuração Prévia, com Haste não Protegida – Este equipamento permitiu os primeiros trabalhos com o ensaio de palheta in situ, e foi o tipo de equipamento escolhido por Collet (1978) para a realização de seus estudos;
- b) Haste Protegida e Palheta não Protegida – É o caso do equipamento desenvolvido pelo Laboratoire Central des Ponts et Chaussées (Lemasson, 1973);
- c) Palheta e Hastes não Protegidas, com Eliminador de Atrito – É o caso do equipamento fabricado pela firma Sueca Nilcon;
- d) Palheta e Hastes Protegidas – A concepção original do equipamento é devida a Cadling e Odenstad (1950). A palheta é recolhida numa sapata de proteção, e as hastes são protegidas do contato solo-haste, minimizando o atrito. É o caso do equipamento fabricado pela firma Geonor. O equipamento de palheta elétrico, objeto do presente trabalho, inspirou-se neste tipo de concepção de equipamento.

Apesar dos quatro tipos de equipamentos citados acima, a norma brasileira para ensaios de palheta in situ NBR 10905 de outubro de 1989 prevê apenas dois tipos básicos de equipamento de palheta: um tipo que realiza ensaios sem necessidade de perfuração prévia, conforme apresentado na Fig. 2.2, e um outro tipo que realiza ensaios com perfuração prévia, conforme Fig. 2.3. Em ambos os casos, os equipamentos são constituídos basicamente de palheta, haste fina, tubo de proteção da haste fina, unidade

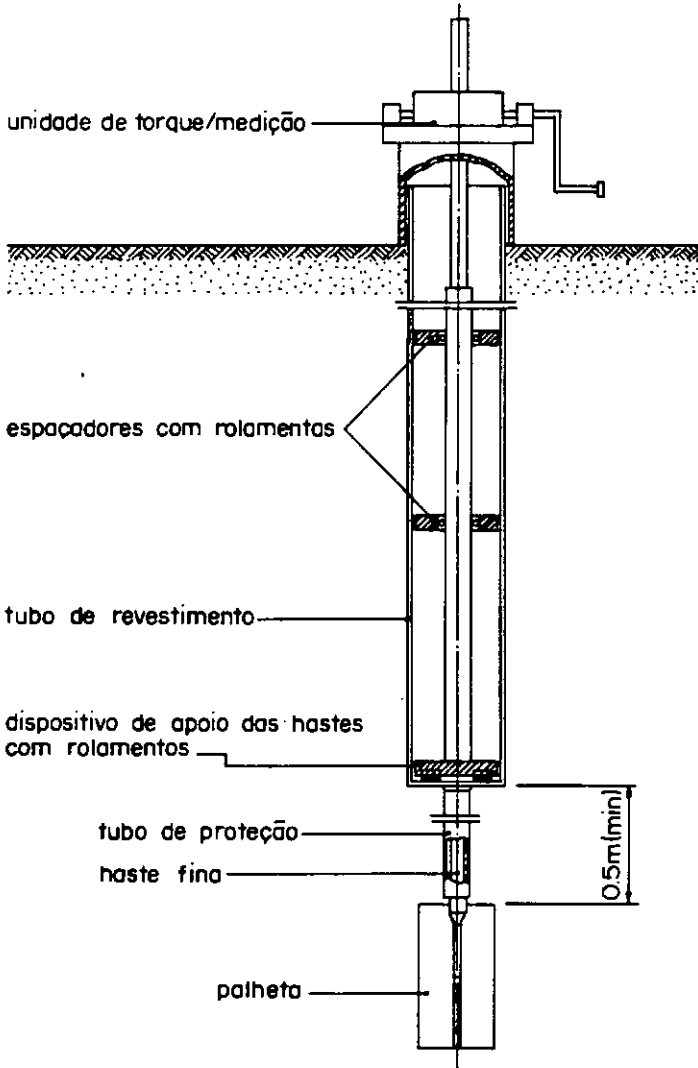
de torque e medição, e um conjunto de hastes de extensão, as quais servem para atingir as diversas profundidades do ensaio.



**Fig. 2.1 Classificação dos Equipamentos para Ensaio de Palheta de Campo**  
( Ortigão e Collet, 1986 )



**Fig. 2.2 Equipamento sem Perfuração Prévia**  
**( NBR 10905/1989 )**



**Fig. 2.3 Equipamento com Perfuração Prévia  
( NBR 10905/1989 )**

### 2.2.1 Principais Componentes do Equipamento

Ao longo dos anos, várias pesquisas foram feitas com o objetivo de se aperfeiçoar cada um dos componentes que constituem o equipamento de palheta in situ. A seguir são relatadas algumas destas pesquisas.

#### *A Palheta*

A palheta foi o objeto de maior interesse por parte de diversos pesquisadores. Várias pesquisas foram feitas sobre as possíveis influências de tamanho, forma, número de lâminas, relações entre dimensões, no valor da resistência obtida nos ensaios.

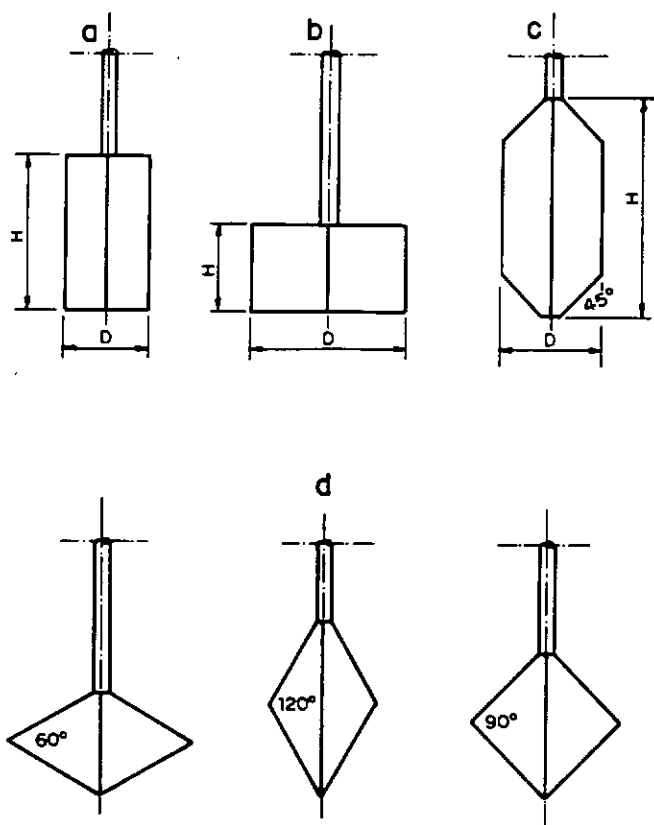
Vey e Schlessinger (1949), utilizando palhetas com duas lâminas (palhetas planas) e com quatro lâminas (palhetas em forma de cruz), obtiveram pouca diferença na resistência não drenada.

Cadling e Odenstad (1950), pesquisando sobre o número de lâminas, obtiveram valores de resistência ligeiramente menores utilizando palhetas planas do que com a palheta em cruz. Os autores não consideraram os resultados conclusivos pela limitada quantidade de ensaios realizados, pois se por um lado um número menor de lâminas torna mais desuniforme a distribuição de tensões sobre a superfície de ruptura, favorecendo a ruptura progressiva e a diminuição do valor de  $S_u$ , por outro lado um número maior de lâminas causaria uma perturbação maior do solo durante a inserção, o que ocasionaria também a diminuição do valor de  $S_u$ .

Mesmo sem estudos mais conclusivos, passou-se a adotar em geral palhetas com quatro lâminas, em forma de cruz (Collet, 1978).

Quanto à forma, a palheta mais usada é a retangular. Para o caso de argilas mais consistentes, palhetas com extremidades cônicas podem facilitar e melhor dirigir a penetração. Para estudos de anisotropia, palhetas losangulares podem ser utilizadas.

Os diversos tipos de palheta foram resumidos por Collet (1978) e podem ser observados na Fig. 2.4.



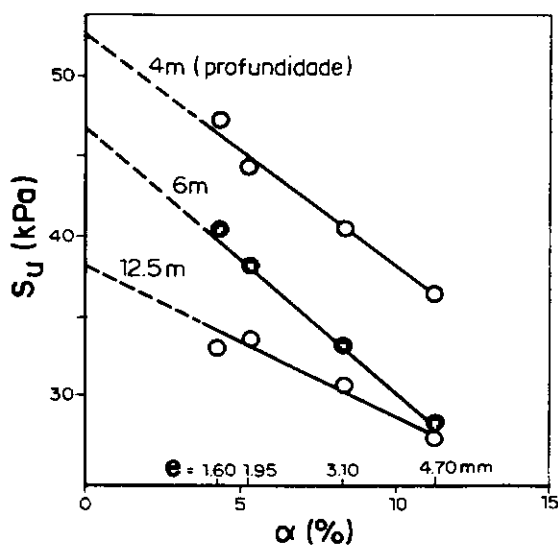
**Fig. 2.4 Tipos de Palheta (Collet, 1978)**

Aas (1965) e Wiesel (1973) propuseram a determinação da anisotropia em termos de  $S_u$  através de ensaios com palhetas de diferentes geometrias. Wroth (1984), estudando as argilas de Londres, observou que, para o caso de palheta retangular padrão ( $H=2D$ ), 94% (noventa e quatro por cento) do valor de  $S_u$  mobilizado provém do plano vertical. Este fator torna os estudos de anisotropia com pouco sentido, visto que a resistência dominante é a do plano vertical. Este estudo será melhor abordado ainda neste capítulo.

Cheah (1981), estudando quatro palhetas com dimensões diferentes, observou que o valor de  $S_u$  diminui com o aumento do diâmetro da palheta. Davies e outros (1989) observaram que palhetas de dimensões diferentes não produzem necessariamente os mesmos resultados.

As medidas da palheta retangular recomendadas pela norma brasileira são: altura  $H=130\text{mm}$  e largura  $D=65\text{mm}$ , padrão ( $H=2D$ ). Quando o ensaio é executado em argila com resistência não drenada superior a  $50\text{kPa}$ , a norma brasileira permite o uso de palheta retangular com  $50\text{mm}$  de largura e  $100\text{mm}$  de altura.

A influência devida à espessura da palheta foi estudada por La Rochelle e outros (1973). A Fig. 2.5 apresenta os resultados obtidos com ensaios utilizando palhetas de dimensões  $H=95\text{mm}$  e  $D=47,5\text{mm}$ , mas com diferentes espessuras, variando de  $1,6$  a  $4,7\text{mm}$ . Observou-se que o valor de  $S_u$  diminuía com o aumento de espessura da palheta. Também foi pesquisada a influência da espessura pela relação entre a área da seção transversal da palheta dividida pela área do círculo varrido pela palheta ( $\alpha$ ). O valor máximo desta relação não poderia ultrapassar  $10\%$  (dez por cento), segundo recomendações de Hvorslev (1949). Hoje, pode-se dizer que as lâminas finas da palheta, com aproximadamente  $2\text{mm}$ , e a razão da área da seção transversal da palheta pela área do círculo varrido pela palheta ser especificado menor que  $12\%$  (doze por cento), representam um consenso internacional (Chandler, 1988). A norma brasileira estabelece que a palheta tenha lâmina com  $2\text{mm}$  de espessura, incluindo-se no padrão estabelecido internacionalmente.



**Fig. 2.5 A Influência da Espessura da Palheta**  
(La Rochelle e outros, 1973)

### ***A Haste Fina***

A haste fina na qual está soldada a palheta é constituída de aço capaz de suportar os torques aplicados à palheta. Deverá ter o menor diâmetro possível, compatível com o torque máximo a que estará submetida. Cadling e Odenstad (1950), estudando a influência do comprimento da haste fina, observaram valores de  $S_u$  crescentes com o aumento do comprimento da haste fina, pois há um maior distanciamento da palheta da região amolgada. Andressen e Bjerrum (1956) realizaram ensaios com comprimentos de hastes finas de 0,5m e 0,35m, e obtiveram resultados com valores médios de  $S_u$  9% (nove por cento) maiores para os ensaios com hastes de 0,5m.

A norma NBR 10905 determina que a haste fina dos equipamentos atuais tenha diâmetro de  $(13 \pm 1)$ mm e que seja capaz de cravar a palheta 0,5m no solo.

### ***O Tubo de Proteção da Haste Fina***

Este tubo serve para minimizar o atrito solo-haste fina, e deve ser mantido estacionário durante a execução do ensaio. O tubo de proteção da haste fina deve ter um diâmetro de  $(20 \pm 1)$ mm, conforme a NBR 10905.

### ***As Hastes de Extensão***

São utilizadas para vencer as diversas profundidades do ensaio. Devem ser constituídas de aço capaz de transmitir, sem romper, o torque à palheta. São compostas de segmentos acopláveis com 1m de comprimento, e estes não devem permitir deslizamento ou rotação entre as hastes durante o ensaio, conforme recomendações da norma brasileira.

### ***A Unidade de Torque e Medição***

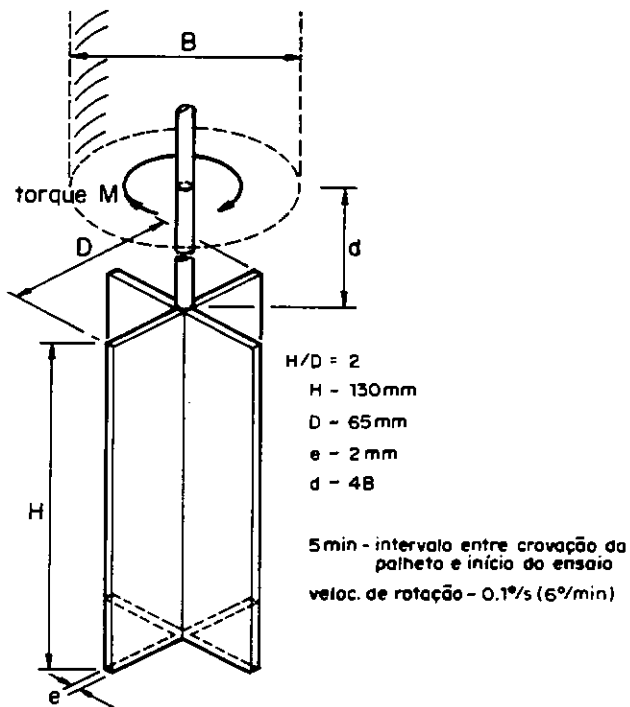
A norma estabelece que o equipamento de unidade de torque imprima através de engrenagens uma rotação às hastes de  $(6 \pm 0,6)^\circ/\text{min}$  e que permita medição do torque aplicado. O mecanismo deve ser dotado de coroa e pinhão e acionado por manivela. Durante a execução do ensaio, a norma também recomenda a realização de leituras a cada  $2^\circ$  de rotação para a construção da curva torque versus rotação.

## 2.3 O Ensaio de Palheta In Situ

### 2.3.1 Execução do Ensaio

O ensaio de palheta consiste basicamente na rotação de uma palheta cruciforme, inserida no solo, com velocidade padrão constante, conforme ilustra a Fig. 2.6. Uma leitura atenta da literatura revela que existe um padrão internacional sobre a maior parte dos elementos que constituem o ensaio. Estes elementos foram resumidos por Chandler (1988) e são apresentados na Fig.2.6.

O tempo estabelecido entre a cravação da palheta e início de ensaio é de 5 min. A velocidade de rotação da palheta é invariavelmente estabelecida por  $6^\circ/\text{min}$  ou  $12^\circ/\text{min}$ . O tempo entre a cravação da palheta e início do ensaio e a velocidade de rotação da palheta são fatores que influenciam de forma significativa a resistência não drenada, e serão abordados posteriormente.



**Fig. 2.6 Resumo dos Elementos Padronizados para Ensaio de Palheta In Situ (Chandler, 1988)**

A seguir, são descritos os procedimentos utilizados para execução de ensaios com equipamentos sem perfuração prévia e equipamentos com perfuração prévia, de acordo com a norma NBR 10905.

### **2.3.1.1 Equipamento sem Perfuração Prévia**

Os ensaios são realizados da seguinte forma:

- a) O equipamento com a palheta na posição recolhida dentro da sapata é cravado estaticamente no terreno com o auxílio de macaco ou tripé de sondagem;
- b) Atingida a profundidade desejada, as hastes de extensão são forçadas cravando-se a palheta no solo 0,5m à frente da sapata de proteção, sem rodá-la;
- c) A unidade de torque e medição é então posicionada, e os instrumentos zerados;
- d) Aplica-se o torque, realizando-se leituras a cada 2° de rotação e registra-se o torque máximo. A norma recomenda que o tempo decorrido entre o fim da cravação da palheta e o início da rotação aplicada não deve ser superior a 5 min.;
- e) Após a determinação do torque máximo, aplicam-se dez revoluções completas à palheta e refaz-se o ensaio para a determinação da resistência amolgada. Da mesma forma, a norma recomenda que o intervalo de tempo entre os dois ensaios não deve ser superior a 5 min.

### **2.3.1.2 Equipamento com Perfuração Prévia**

São os seguintes os procedimentos para a realização do ensaio:

- a) O conjunto palheta-espaçadores-hastes é introduzido em uma perfuração previamente executada com diâmetro de 75mm, preferencialmente, sempre que necessário, a perfuração deve ser revestida em toda sua extensão para evitar desmoronamentos;

- b) Quando este conjunto tocar o fundo do furo, crava-se a palheta no solo, sem rodá-la, num comprimento maior que 0,5m e não inferior a quatro vezes o diâmetro do furo de sondagem;
- c) Os demais procedimentos são realizados conforme descrito nos itens 2.3.1.1-c. a 2.3.1.1-e.

## **2.4 Fatores que Influenciam os Resultados dos Ensaios de Palheta**

Além da forma e dimensões da palheta, como foi visto anteriormente, observou-se que vários outros fatores influenciavam os resultados dos ensaios de palheta. De forma sucinta, são descritos a seguir esses fatores e os estudos realizados.

### **2.4.1 Inserção da Palheta**

Como já foi dito anteriormente, o ensaio de palheta pode ser realizado por dois tipos de equipamentos. Apesar da norma prever a utilização de ambos os equipamentos, a própria norma recomenda a utilização do equipamento sem perfuração prévia.

Estudos realizados por Andressen (1981) indicam que em ambos os casos a palheta deve ser cravada a uma distância entre 3 a 6 diâmetros do furo abaixo do fundo do mesmo de forma a minimizar os efeitos de amolgamento. Ortigão e Collet (1986) realizaram ensaios com os dois tipos de equipamentos e obtiveram diferentes perfis de  $S_v$ .

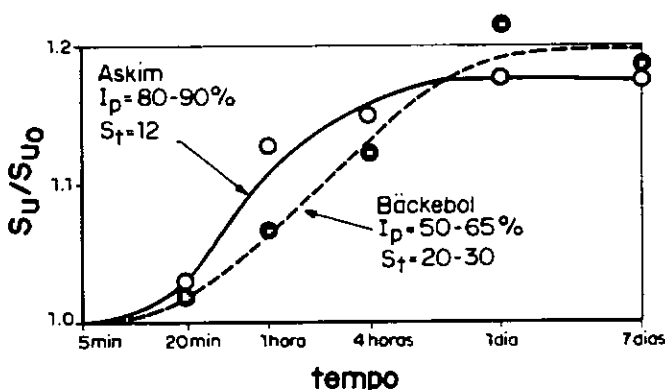
### **2.4.2 Tempo entre Cravação e Rotação da Palheta**

O tempo decorrido entre a inserção e a rotação da palheta influencia o resultado do ensaio, devido à dissipação das poro-pressões geradas pela cravação da palheta e o ganho de resistência decorrente.

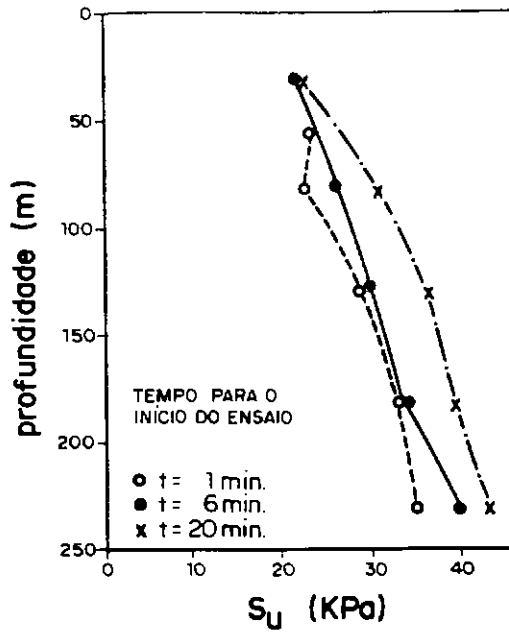
A Fig. 2.7 apresenta os resultados obtidos por Torstensson (1977) para argilas de dois locais diferentes da Suécia, ambas as argilas com alta plasticidade e sensíveis. Foram realizados ensaios padronizados variando-se apenas o tempo de espera entre cravação e rotação da palheta de 5min até 7 dias. Observa-se que após o período de 10-20 horas é atingido 90% (noventa por cento) do valor da resistência para o período de sete dias. O acréscimo verificado para o período de 24 horas após a inserção da palheta é de cerca de 20%.

Aas (1965), estudando argilas norueguesas de baixa plasticidade e altamente sensíveis, verificou um acréscimo no valor da resistência da ordem de 50% para os ensaios realizados logo após a inserção da palheta e para os ensaios realizados 24 horas depois.

A Fig. 2.8 apresenta os resultados obtidos em ensaios de laboratório por Almeida (1984), estudando a influência de três diferentes tempos entre a cravação e a rotação da palheta. Observa-se que após vinte minutos de inserção da palheta ocorre um considerável aumento no valor da resistência medida.



**Fig. 2.7 Influência entre o Tempo de Cravação e Rotação da Palheta (Torstensson, 1977)**



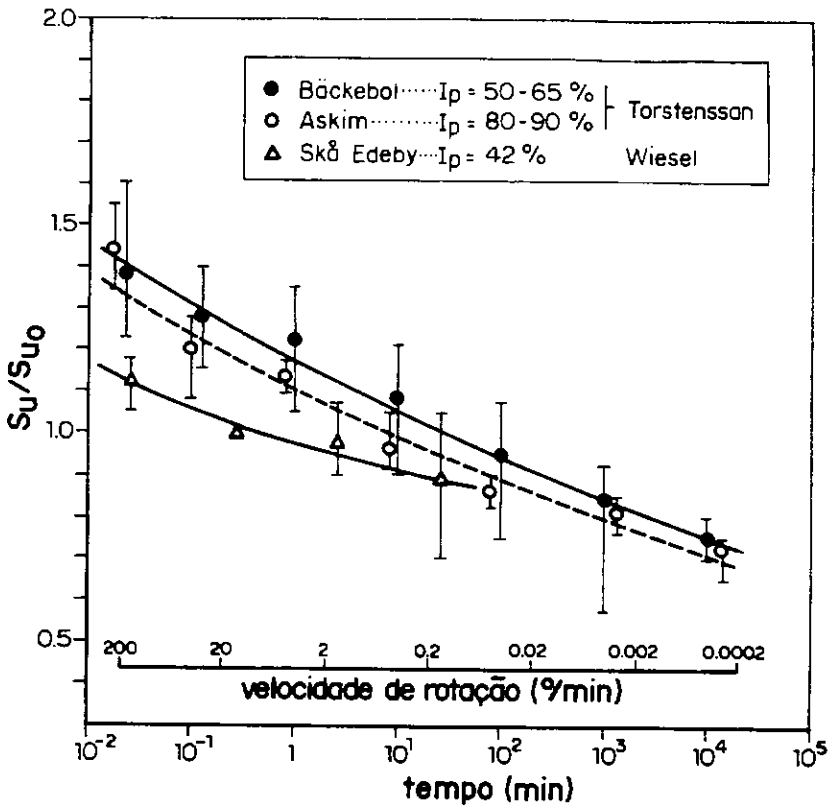
**Fig. 2.8 Influência entre o Tempo de Cravação e Rotação da Palheta em Ensaios de Laboratório (Almeida, 1984)**

### 2.4.3 Velocidade de Rotação da Palheta

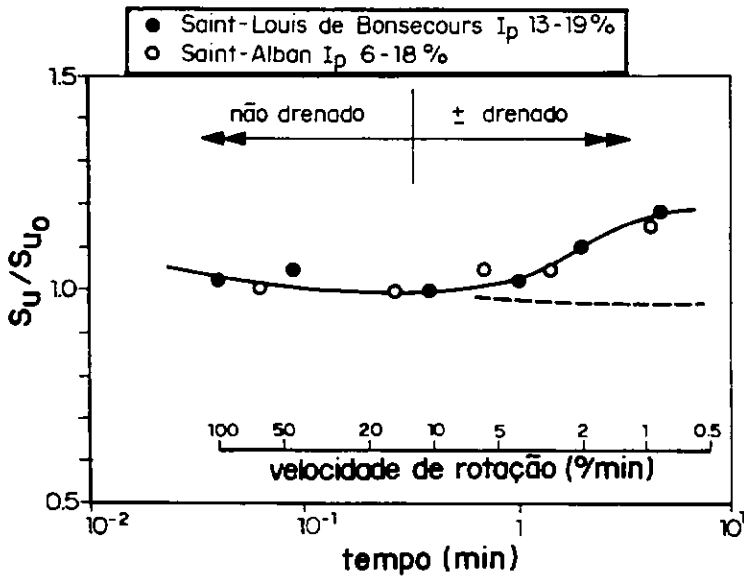
O comportamento do solo depende da velocidade de deformação imposta. Estudos variando a velocidade de rotação da palheta têm sido realizados por diversos autores.

Cadling e Odenstad (1950) realizaram vários ensaios variando a velocidade de rotação entre  $6^\circ/\text{min}$  e  $60^\circ/\text{min}$ , e verificaram que a resistência não drenada diminui com a velocidade de rotação. Com isso, os autores sugeriram a velocidade de  $6^\circ/\text{min}$ .

Wiesel (1973) realizou ensaios com argilas suecas de alta plasticidade, empregando as seguintes velocidades de rotação:  $0,06^\circ/\text{min}$ ,  $0,6^\circ/\text{min}$ ,  $6^\circ/\text{min}$  e  $60^\circ/\text{min}$ . Outros autores também estudaram esse assunto como Tortensson (1977) para argilas suecas com alta plasticidade, e Roy e Leblanc (1988) para argilas canadenses de baixa plasticidade. Os resultados destes ensaios são apresentados nas Fig. 2.9 e 2.10. Estes autores verificaram que o valor da resistência diminuía com menores velocidades de rotação.



**Fig. 2.9 Efeitos da Velocidade de Rotação para Argilas de Alta Plasticidade (Chandler, 1988)**



**Fig. 2.10 Efeitos da Velocidade de Rotação para Argilas de Baixa Plasticidade (Roy and Leblanc, 1988)**

De forma geral, os estudos concluíram que a velocidade padrão de 6°/min assegura, na maioria dos casos, a condição não-drenada necessária para a realização dos ensaios.

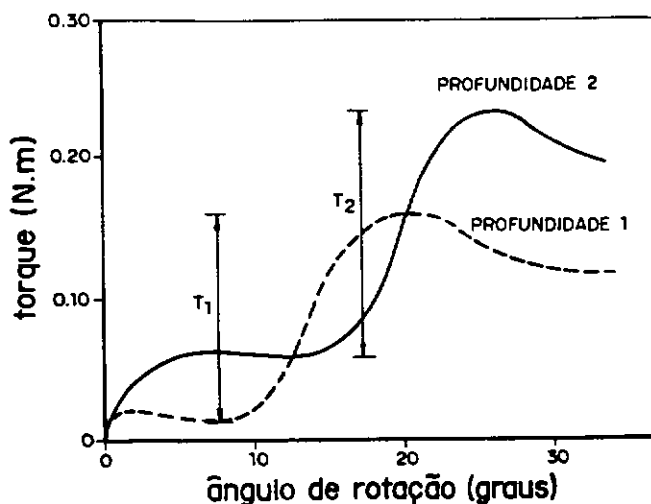
Alguns autores (Andressen, 1981) recomendam dobrar a velocidade de rotação para profundidades superiores a 15m. Isso porque é difícil assegurar a velocidade de rotação constante para grandes profundidades, tendo em vista a flexibilidade à rotação do sistema de hastes que transmite o torque da palheta até a superfície. Uma outra alternativa para este problema é aumentar a rigidez das hastes, o que pode aumentar o peso e dificultar a operacionalização dos ensaios.

Decidiu-se, quando do projeto do equipamento elétrico aqui desenvolvido, pela opção de utilização de hastes mais rígidas.

#### **2.4.4 Atrito**

Em geral, a medição de torque se dá através de dispositivo mecânico instalado na superfície do terreno. Dessa forma, quando o ensaio é realizado a grandes profundidades, é comum o atrito causado pelos espaçadores que são utilizados para evitar a flexão das hastes, como também o atrito causado pelo contato haste-solo.

A Fig. 2.11 apresenta resultados obtidos por Almeida (1984) através de ensaios realizados com um equipamento de palheta elétrico de laboratório.



**Fig. 2.11 Influência do Atrito Solo-Haste no Torque Medido  
(Almeida, 1984)**

O atrito solo-haste é praticamente inexistente no equipamento de palheta com sapata de proteção, mas atenção deve ser dada aos dispositivos internos do equipamento.

Equipamentos de palheta elétricos dotados de célula de torque próxima à palheta vêm sendo desenvolvidos para fins de pesquisa, desde 1973.

O equipamento aqui relatado é o primeiro equipamento de palheta elétrico desenvolvido no Brasil, com o objetivo de medir apenas o torque devido ao cisalhamento do solo. O desempenho deste equipamento será avaliado no decorrer deste trabalho. É importante salientar, que a Universidade Federal do Rio Grande do Sul encontra-se no momento desenvolvendo também um equipamento de palheta elétrico.

## 2.5 Interpretação do Ensaio

A interpretação e cálculo do ensaio de palheta são baseados na hipótese fundamental de condição não drenada, ou seja, considera-se a não ocorrência de drenagem após a cravação da palheta bem como durante a realização do ensaio. Assim, a resistência obtida in situ com o ensaio de palheta pode ser comparada com as resistências obtidas através de ensaio não consolidado não drenado UU de laboratório.

Outras hipóteses importantes são admitidas para a interpretação do ensaio, tais como a superfície de ruptura cilíndrica formada pela palheta durante a sua rotação, isotropia e homogeneidade do solo, e a resistência ao cisalhamento é considerada mobilizada a um mesmo tempo em todas as superfícies.

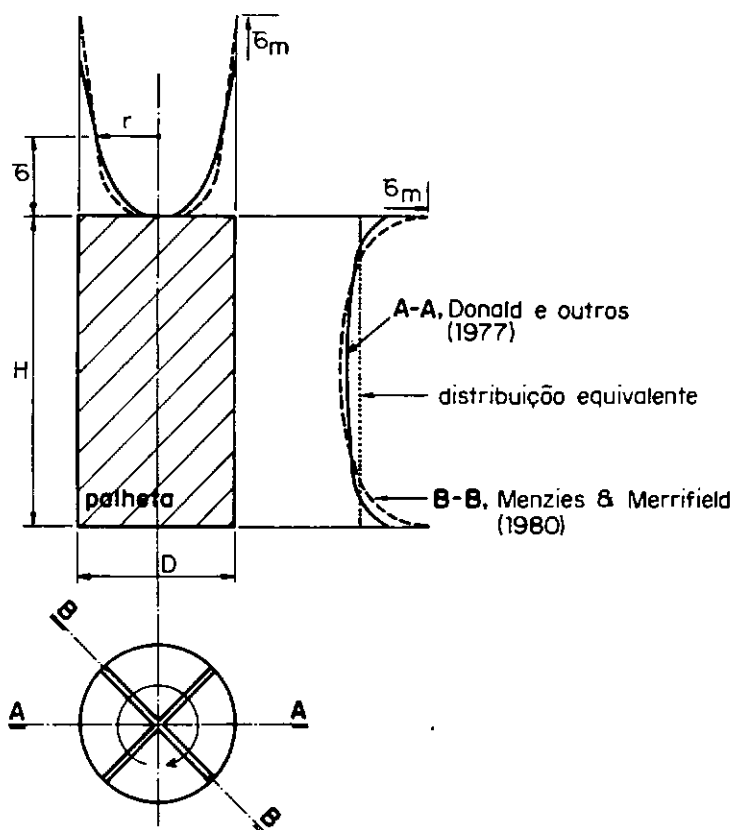
Para as hipóteses mencionadas acima e razão entre a altura e a largura da palheta igual a 2, o valor da resistência pode ser expresso pela equação:

$$S_u = \frac{2T}{\pi D^2 \left( H + \frac{D}{3} \right)}, \quad \text{como } \frac{H}{D} = 2$$

$$S_u = \frac{0,86T}{\pi D^3} \quad (2.1)$$

sendo T o torque máximo aplicado.

Wroth (1984), estudando o problema da distribuição de tensões na superfície cilíndrica formada pela rotação da palheta, apresentou o resultado de duas investigações analisadas e descritas por Donald e outros (1977), e resultados experimentais apresentados por Menzies e Merrifield (1980). As tensões foram determinadas no meio e nas extremidades da palheta, como pode ser observado na Fig. 2.12.



**Fig. 2.12 Distribuição de Tensões na Superfície Cilíndrica Formada pela Rotação da Palheta (Wroth, 1984)**

Os estudos mostraram uma distribuição de tensão na superfície vertical do cilindro razoavelmente uniforme, ao contrário da distribuição na superfície horizontal que é altamente desuniforme. A distribuição obtida em ambos os casos foi muito semelhante.

Diante dos resultados Wroth (1984) sugeriu que a distribuição de tensões na superfície da palheta pudesse ser dada por:

$$\frac{\tau}{\tau_m} = \left( \frac{r}{0,5D} \right)^n, \text{ que para o caso de argilas de Londres com } n=5 \text{ resulta em}$$

$$S_u = \frac{0,94T}{\pi D^3}$$

Com isto, conclui-se que, no caso das argilas de Londres, 94% (noventa e quatro por cento) do torque é fornecido pela superfície vertical, comparado com 86% (oitenta e seis por cento) da interpretação convencional. Logo, a hipótese de isotropia é menos importante, visto que a resistência dominante é a do plano vertical.

Foi utilizada a interpretação convencional para a obtenção da resistência não drenada dos ensaios executados nas quatro campanhas descritas no presente trabalho, visto que, a interpretação sugerida por Whoth (1984), refere-se à estudos realizados nas argilas de Londres, não cabendo a aplicação destes resultados aos estudos aqui apresentados.

### **Capítulo 3**

## **O Equipamento de Palheta Elétrico Desenvolvido**

### **3. O EQUIPAMENTO DE PALHETA ELÉTRICO DESENVOLVIDO**

#### **3.1 Introdução**

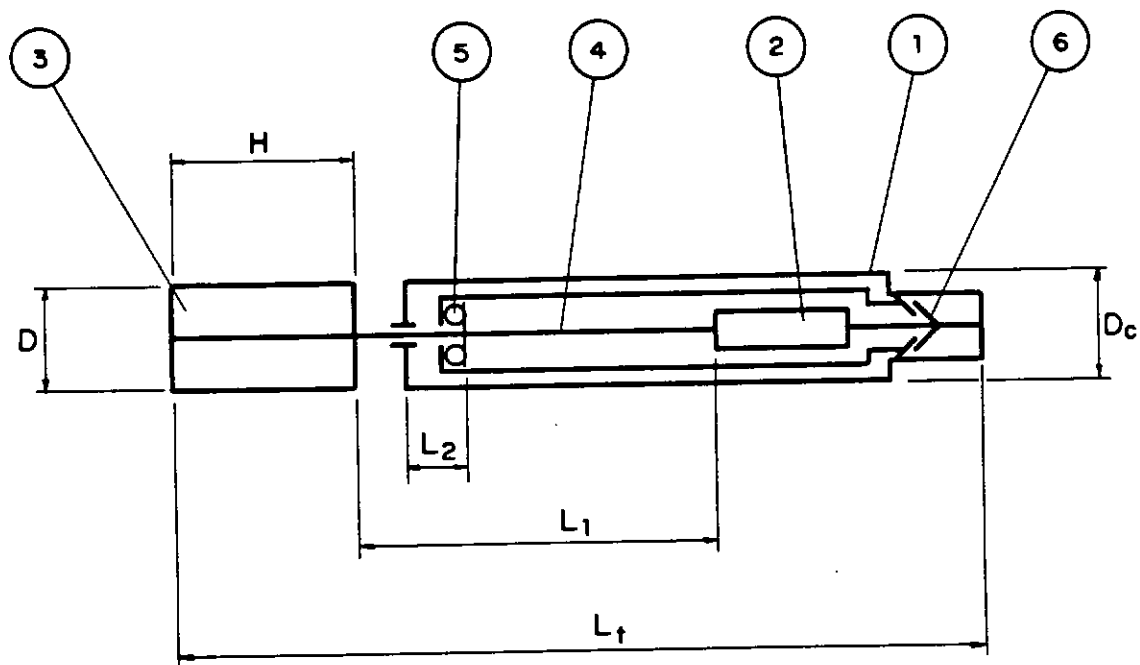
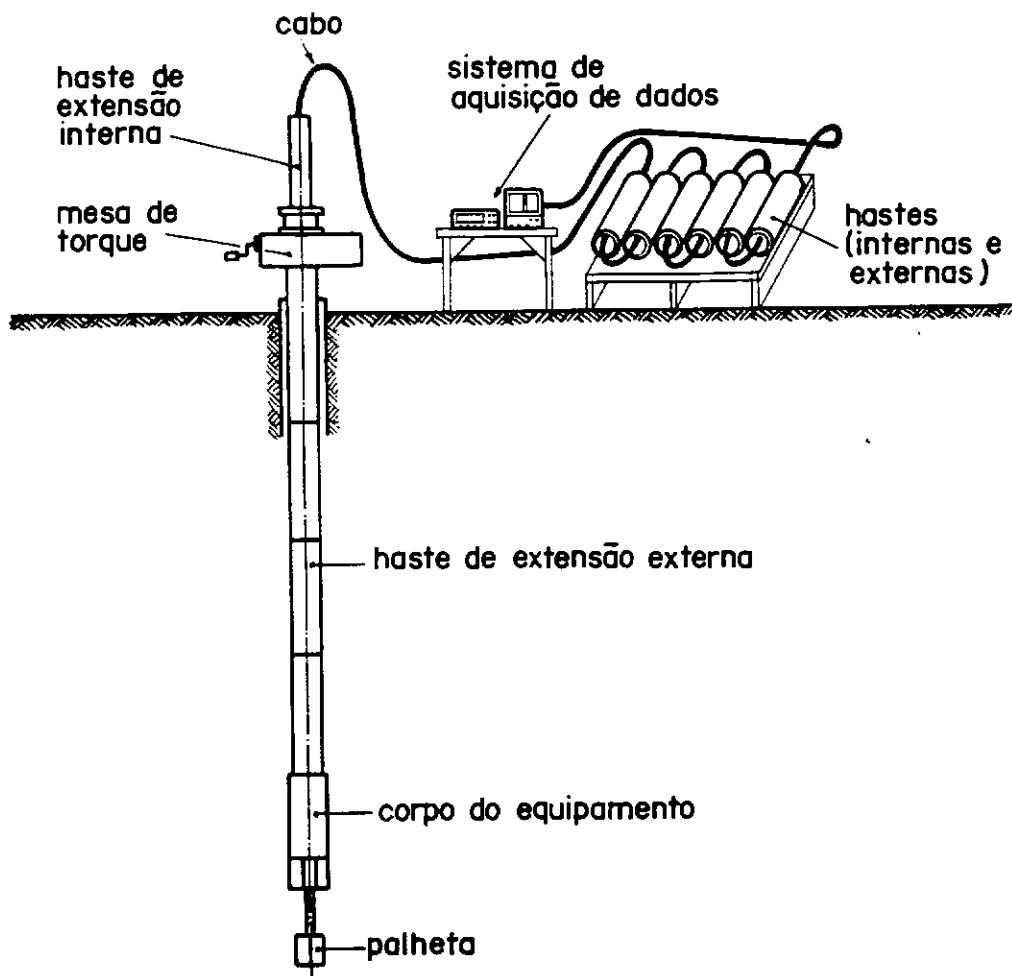
O equipamento de palheta elétrica objeto da presente tese é resultado do desenvolvimento conjunto entre a GROM e a COPPE/UFRJ, com participação da UFPE. Entende-se como desenvolvimento do equipamento o conjunto de atividades que incorporam não apenas o projeto e fabricação do equipamento mas também, todas as alterações realizadas ao longo das quatro campanhas de ensaios relatadas. A responsabilidade técnica pelo desenvolvimento do equipamento é do Eng. Mecânico Silvio P. Silva Júnior da GROM.

Apresenta-se neste capítulo uma descrição detalhada do equipamento com seus principais componentes e função de cada um deles. Descrevem-se também os sistemas de calibração e de aquisição de dados. Finalmente são apresentados os procedimentos adotados para a realização dos ensaios.

#### **3.2 Descrição Geral do Equipamento**

O equipamento de palheta elétrica, ao contrário dos equipamentos convencionais, realiza a medição de torque próximo à palheta, com o objetivo de evitar que as medidas sejam afetadas pela distorção angular das hastes e os atritos internos. O esquema geral do equipamento é ilustrado na Fig.3.1

A parte inferior do equipamento de palheta elétrica é composta de dois subconjuntos importantes: o conjunto interno e o corpo do equipamento. O conjunto interno é composto de todos os componentes que estão relacionados à leitura do torque resistente do solo. Os componentes do conjunto interno mais importante são: a célula de torque ou sensor, a haste principal, a palheta, o sistema de fixação axial e o sistema de suporte axial. O esquema da parte inferior do equipamento consta da Fig.3.2, com as seguintes partes descritas:



- Palheta (3): é a peça mais importante e tem largura  $D = 65\text{mm}$  e altura  $H = 130\text{mm}$ ;
- Corpo do equipamento (1): é o revestimento protetor dos componentes do conjunto interno e tem diâmetro externo  $D_c = 90\text{mm}$ . Seu componente mais importante é a sapata de proteção;
- Célula de torque (2): é o sensor que transmite o torque aplicado à palheta;
- Haste principal (4): é o componente do sistema que transmite o torque da célula de torque à palheta. É revestida pela bainha que tem por finalidade evitar que a haste principal sofra atrito com o solo;
- Sistema de suporte axial (5): composto de um pequeno conjunto de peças que suporta o peso do equipamento sem transmiti-lo à palheta, para que a leitura não seja influenciada por este;
- Sistema de fixação axial (6): este conjunto permite a cravação da palheta.

A célula de torque do equipamento utiliza extensômetros elétricos, sendo capaz de fornecer medidas com elevada acurácia. A célula de torque se localiza a uma distância  $L_1$  capaz de permitir a cravação da palheta a um comprimento ( $L_1-L_2$ ) igual a  $0,5\text{m}$ , como indicado na Fig. 3.2. Tanto a voltagem de excitação da célula como o sinal de resposta são transmitidos por um cabo que liga a célula de torque com a superfície. O cabo passa no interior das hastes internas que têm forma tubular.

O equipamento possui uma unidade de torque que realiza a redução de uma velocidade de duas voltas por segundo ( $4\pi \text{ rad./s}$ ) na entrada, para velocidade de ensaio igual a seis graus por minuto ( $6^\circ/\text{min}$ ), ou seja uma redução na relação de transmissão de sete mil e duzentos. A unidade de torque efetua a redução em dois estágios, um por engrenagens de dentes retos, e o outro por um par coroa/parafuso sem-fim.

O equipamento é descido até a posição do ensaio com a palheta recolhida dentro da sapata de proteção. Posicionado o equipamento a palheta é retirada de dentro da sapata de proteção e avançada 0,5m dentro do solo. Após o ensaio ter sido realizado o operador recolhe a palheta travando o sistema de fixação axial.

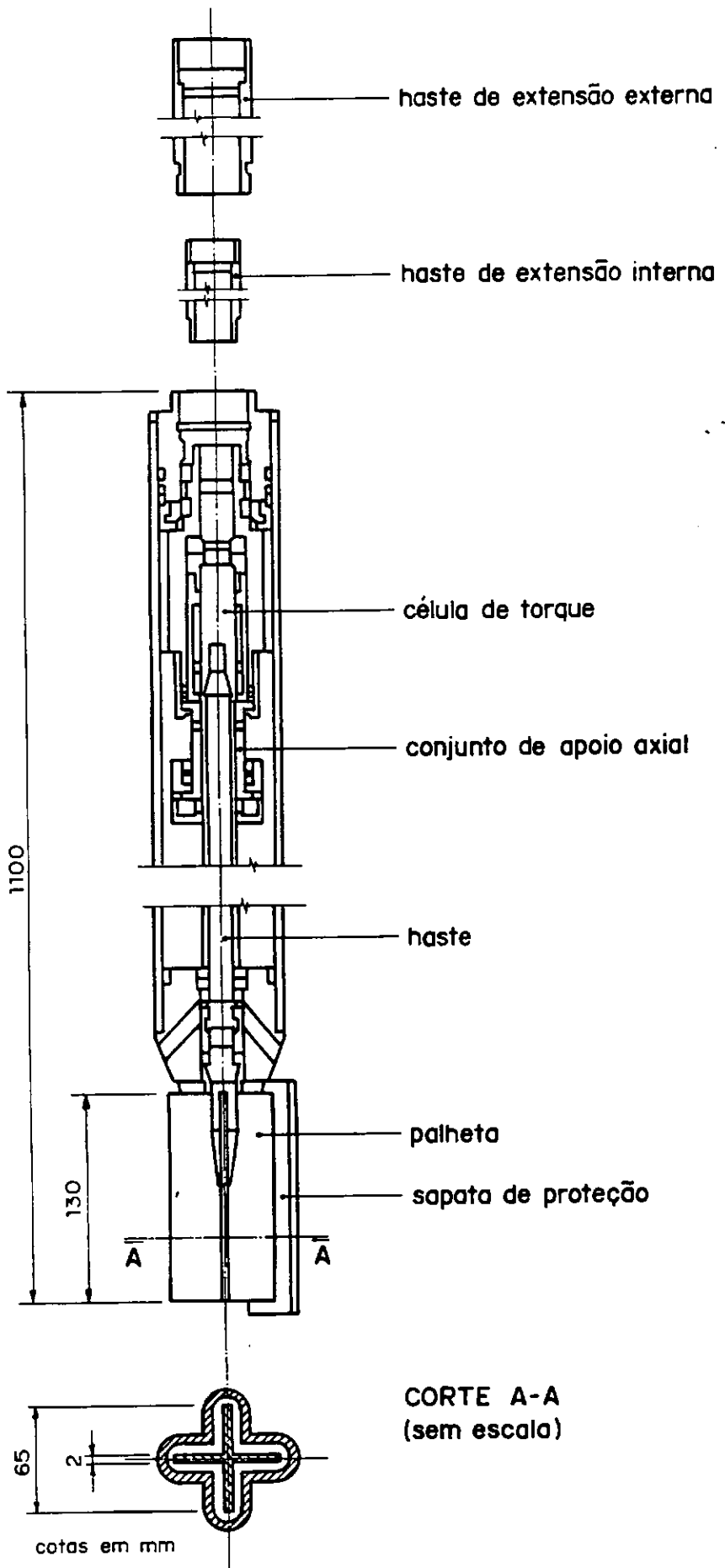
A mesa de torque transmite a rotação para a palheta, através das hastes de extensão internas, e estas o transmitem ao conjunto interno. No conjunto interno o torque é transmitido do sensor para a palheta. O torque medido no sensor é o torque resistente do solo.

O equipamento de palheta elétrico é composto de várias peças. Cada peça atende uma requisição de desempenho do sistema. A Fig. 3.3 apresenta o conjunto do equipamento de palheta elétrico.

### 3.2.1 Características Técnicas

Em resumo, o equipamento de palheta elétrico desenvolvido possui as seguintes características técnicas:

- Torque máximo: 60 Nm – Equipamento COPPE/UFRJ  
100 Nm – Equipamento UFPE;
- Velocidade de rotação da palheta: 6°/min;
- Largura da palheta: 65mm;
- Altura da palheta: 130mm;
- Comprimento total recolhido: 1.100mm;
- Alimentação do sinal:  $\pm 10V$ ;
- Sinal de saída: 0 a 13mV.



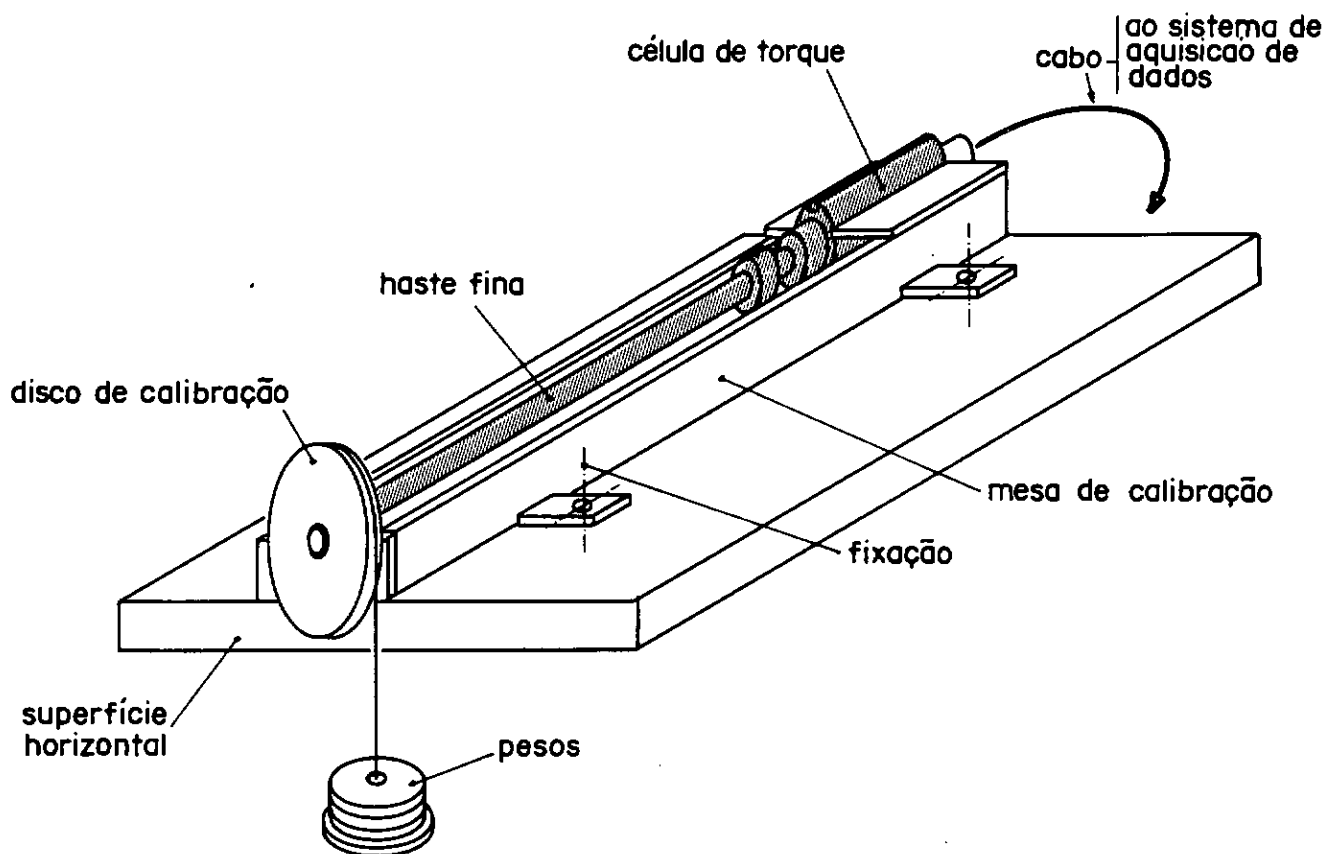
**Fig. 3.3** Desenho do Conjunto do Equipamento de Palheta Elétrica

### 3.3 Calibração do Equipamento de Palheta

#### 3.3.1 O Sistema de Calibração

Foi desenvolvido um sistema de calibração especialmente para a realização da calibração do equipamento de palheta elétrico.

Este sistema é muito simples, constando basicamente de uma mesa de calibração e um disco para aplicação do torque. A Fig. 3.4 mostra esquematicamente os dispositivos de calibração do equipamento.



**Fig. 3.4** Esquema do Sistema de Calibração

Para a realização da calibração é necessário que o equipamento seja retirado do corpo de proteção e esteja sem a palheta. A mesa de calibração deve ser posicionada em uma base rígida, com superfície horizontal. Recomenda-se fixar a mesa em dois pontos, usando-se grampos de fixação.

O equipamento é então posicionado na mesa de calibração, e rosqueia-se o disco na extremidade da haste principal, onde antes encontrava-se a palheta. O disco deve ser apoiado pelo seu rolamento na superfície cilíndrica da mesa de calibração. É importante certificar-se que a extremidade livre do cabo de aço tangencia o disco, para que se tenha a certeza do torque aplicado.

Em seguida, o suporte dos pesos é rosqueado no parafuso da extremidade do cabo de aço. Os pesos são colocados suavemente no suporte, e faz-se a leitura do torque correspondente.

Cuidados foram tomados para que o sistema de aquisição de dados e o cabo, que une a célula de torque ao sistema de aquisição de dados, utilizados durante a calibração do equipamento fossem os mesmos utilizados nos ensaios de campo.

### **3.3.2 Resultados das Calibrações**

Apresenta-se na Tabela 3.1 o resumo dos resultados das calibrações obtido com os equipamentos de palheta elétricos. Observa-se uma repetibilidade nos valores encontrados, o que mostra um bom desempenho da célula de torque. A diferença observada nos parâmetros a e b nas calibrações realizadas com o equipamento da UFPE em 30/07/96 e 17/10/96 foi devida à abertura da célula de carga para garantir a estanqueidade da mesma. Nesta época aproveitou-se para retirar um resistor que seria necessário para a leitura numa unidade antiga, não mais usada.

Inicialmente calibrou-se o equipamento com faixa de valores que variavam entre 0 a 70 ou 80 Nm. Com a execução das primeiras campanhas de ensaios verificou-se que os valores de torque máximo medidos encontravam-se bem abaixo do valor de torque máximo de calibração. Com isso, procurou-se nas calibrações seguintes, aproximar a faixa de valores de calibração com a faixa de valores medidos durante a execução dos ensaios.

É importante ressaltar, que, o equipamento de palheta Geonor utilizado na primeira campanha de ensaios executada no terreno do SENAC, não foi calibrado pela COPPE/UFRJ. Foi apresentado pela Geotécnica S/A um Certificado de Calibração datado de aproximadamente um mês antes da campanha de ensaios.

Tabela 3.1

## RESUMO DOS RESULTADOS DAS CALIBRAÇÕES

Equipamento	Data	Faixa de Valores (N.m)	Ciclo	Parâmetros		Coeficiente de Correlação	Erro padrão da estimativa (Nm)	Histerese (%)	Não linearidade (%)	Não retorno ao zero (%)
				a Nm	b Nm/mV					
UFPE	18/03/96	0 a 80	1	-1,998	-9,350	-1,000	0,317	1,1	0,6	0,0
UFPE	18/03/96	0 a 80	2	-1,993	-9,349	-1,000	0,300	1,0	0,5	0,0
UFPE	18/03/96	0 a 80	3	-2,020	-9,356	-1,000	0,310	1,0	0,5	0,1
UFPE	30/07/96	0 a 70	1	-1,313	9,273	1,000	0,175	0,7	0,5	0,0
UFPE	30/07/96	0 a 70	2	-1,322	9,277	1,000	0,156	0,6	0,5	0,0
UFPE	17/10/96	0 a 45	1	-1,630	4,680	1,000	0,234	1,2	0,5	0,6
UFPE	17/10/96	0 a 45	2	-1,757	4,691	1,000	0,220	1,2	0,7	0,1
COPPE	14/10/97	0 a 30	1	-0,461	5,695	1,000	0,078	0,7	0,2	0,4
COPPE	14/10/97	0 a 30	2	-0,528	5,706	1,000	0,060	0,6	0,3	0,1

### 3.4 O Sistema de Aquisição de Dados

O sistema de aquisição de dados utilizado é composto basicamente por um conversor analógico digital, da marca HP, com saída em mV, e uma fonte estabilizada, ambos alimentados por uma tensão de 127V em corrente alternada. Os dados são registrados manualmente.

A Fig. 3.5 mostra o sistema de aquisição de dados utilizado na campanha de ensaios realizada na Estação de Tratamento de Esgotos Alegria.

Este sistema foi utilizado em todas as campanhas de ensaios, não apresentando qualquer tipo de problema quanto à confiabilidade dos dados fornecidos.

Nas campanhas realizadas no terreno do SENAC, o sistema foi alimentado por uma extensão vinda das guaritas de segurança, não apresentando perdas de energia. Já nas duas campanhas auxiliares, o sistema foi alimentado por um gerador, que também alimentava a máquina de cravação do piezocone, também empregado naquelas campanhas. A operacionalidade do sistema de aquisição de dados é avaliada no Capítulo 4.

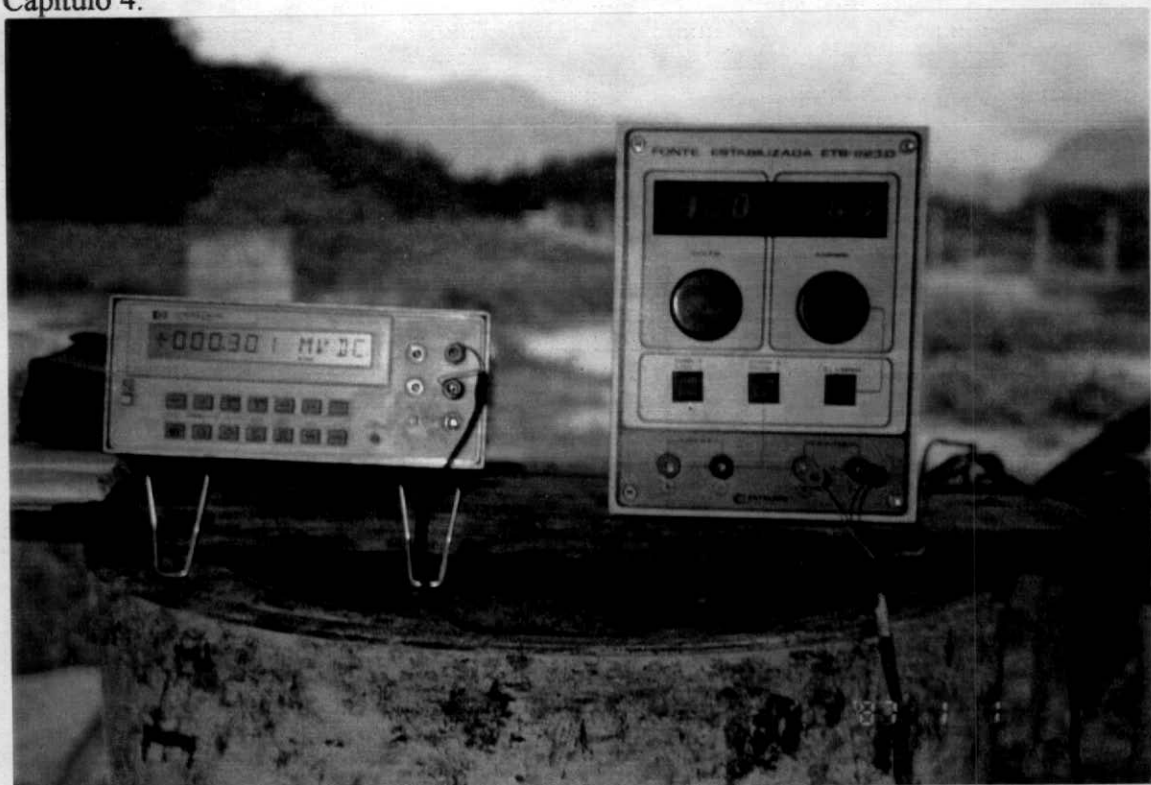


Fig. 3.5 Sistema de Aquisição de Dados

### **3.5 O Procedimento para a Realização do Ensaio**

Após a realização de alguns ensaios com o equipamento de palheta elétrico desenvolvido, observou-se que uma determinada seqüência de procedimentos favorecia a execução dos ensaios, os quais são descritos a seguir. Tais procedimentos incorporam o aprendizado obtido ao longo das quatro campanhas de ensaios descritas no Capítulo 4.

#### **3.5.1 Procedimentos que Antecedem o Ensaio**

Antes da realização do ensaio em si, alguns procedimentos, a seguir descritos, são necessários.

1) O equipamento de palheta elétrico deve estar limpo e montado de acordo com o desenho de conjunto apresentado na Fig. 3.3. A limpeza prévia é importante tendo em vista que o solo, dentro do equipamento, porventura já ressecado de ensaios anteriores pode, durante a realização dos ensaios, prender o sistema de fixação axial do equipamento, não permitindo o travamento ou destravamento do mesmo.

2) O equipamento deve ser posicionado em área limpa, estar bem apoiado e próximo ao local do ensaio. As hastes internas devem estar dentro das hastes externas, e no mesmo sentido da rosca. As hastes também devem estar próximas ao equipamento, em local limpo e bem apoiadas, como pode ser observado na Fig. 3.6.

3) A extremidade do cabo que contém o conector fêmea deve ser passado pelo interior da peça bucha da haste interna, e encaixado no conector macho localizado no equipamento. Cuidado deve ser tomado, para que nenhum conector das extremidades do cabo entre em contato com a água. Em seguida, deve-se posicionar a arruela de fixação e rosquear a peça bucha da haste interna no corpo do equipamento, realizando-se dessa forma o travamento do cabo junto ao equipamento.

4) A outra extremidade do cabo deve ser passada pelo interior da primeira haste interna, que deve ser rosqueada na peça bucha da haste interna, já fixada ao equipamento. Depois, esta deve ser passada pelo interior da haste externa, que é rosqueada na peça topo do corpo do equipamento.

5) Posiciona-se o equipamento de palheta elétrico no local do ensaio, e alternadamente rosqueia-se um metro de haste interna e um metro de haste externa, até que seja atingida a profundidade desejada, como pode ser visto na Fig. 3.7. Não se deve esquecer da passagem do cabo pelo interior destas hastes. Nas primeiras campanhas, foi utilizado um cabo contínuo não segmentado que, por dificuldades operacionais, discutidas no Capítulo 4, foi substituído por um cabo com quatro segmentos, apresentado na Fig. 3.8. No caso do cabo contínuo, antes de se posicionar o equipamento no local de ensaio, é necessário que o cabo seja passado pelo interior de todas as hastes (internas e externas), como mostrado na Fig. 3.6, com o máximo cuidado, de forma a não danificar a proteção externa do cabo.



**Fig.3.6** Posicionamento do Equipamento



**Fig. 3.7 Posicionamento do Equipamento no Local do Ensaio**

### **3.5.2 Procedimentos de Ensaio Propriamente Ditos**

Os procedimentos executados a partir deste ponto são muito semelhantes aos descritos no Capítulo 2. Mesmo assim, prefere-se transcrever todas as etapas necessárias à execução do ensaio com o equipamento de palheta desenvolvido, para que nenhuma dúvida permaneça no que toca à operacionalidade do mesmo.



**Fig. 3.8 Novo Cabo**

1) Já com o equipamento na profundidade de ensaio desejada, deve-se posicionar a mesa de torque com as castanhas orientadas para cima, como observado na Fig. 3.9, e fixá-la na haste externa, através do parafuso contido na parte inferior da mesa, como mostrado na Fig. 3.10. Rosqueia-se então mais um metro da haste interna.

2) Conecta-se o cabo à unidade de leitura já aquecida. Realiza-se o movimento de destravamento de fixação axial, puxando para cima a haste de extensão interna de modo a proporcionar um deslocamento relativo entre as hastes interna e externa. Este movimento permite que a palheta seja cravada 0,5m no solo.



**Fig. 3.9 Detalhe das Castanhas da Mesa de Torque**

3) As castanhas devem ser fechadas para que o torque seja transmitido às hastes de extensão internas e conseqüentemente à palheta. Aplica-se o torque com uma rotação às hastes de  $(6 \pm 0,6)^\circ/\text{min}$ , e realizam-se leituras a cada  $2^\circ$  de rotação, como ilustra a Fig. 3.11.

4) Após a determinação do torque máximo, as castanhas devem ser abertas para a aplicação de dez revoluções completas à palheta. Estas revoluções são aplicadas diretamente às hastes de extensão internas, no sentido de aperto das roscas, como pode ser visto na Fig. 3.12. Fecham-se a seguir as castanhas, e refaz-se o ensaio para a determinação da resistência amolgada  $S_{ur}$ .



**Fig. 3.10 Posicionamento e Fixação da Mesa de Torque**

5) Novamente as castanhas são abertas para se realizar o movimento de travamento de fixação axial, puxando para cima as hastes internas. Este movimento permite que a palheta seja recolhida novamente à sapata de proteção.

6) Desloca-se a mesa de torque para a colocação de mais um metro de haste de extensão externa e interna, e crava-se o equipamento até a posição de ensaio desejada. Repetem-se os procedimentos descritos acima para a execução de um novo ensaio.



**Fig. 3.11 Detalhe das Castanhas Fechadas e Aplicação do Torque**



**Fig. 3.12 Aplicação das Revoluções para a Realização do Ensaio Amolgado**

**Capítulo 4**  
**Campanhas de Ensaio**  
**Realizadas**

## **4 CAMPANHAS DE ENSAIOS REALIZADAS**

### **4.1 Introdução**

A obra aqui denominada simplesmente SENAC situa-se na Av. Ayrton Senna, 5.555, Barra da Tijuca – RJ, localizada na Baixada de Jacarepaguá. O projeto do Centro de Tecnologia da Educação prevê várias edificações e se tornará a futura sede nacional do SENAC.

O terreno do SENAC é constituído em seu trecho superior, de aproximadamente 12m, basicamente de solos muito moles, tendo sido realizados desde 1995 diversos estudos para a caracterização e determinação de parâmetros geotécnicos do material. Os resultados de alguns destes estudos serão apresentados no decorrer deste capítulo.

A solução construtiva proposta pela COPPE/UFRJ, através do projeto COPPETEC ET-150651/95, previa a construção de aterro em 2 etapas, e um intervalo de tempo para adensamento entre as duas etapas.

A primeira campanha de ensaios com o equipamento de palheta elétrico foi realizada no terreno natural, em maio de 1996. A segunda campanha de ensaios foi realizada quatro meses após o término da construção da primeira etapa do aterro, em novembro e dezembro de 1997, sob o aterro. Entre as duas campanhas de ensaios realizadas no terreno do SENAC, o equipamento de palheta elétrico teve a oportunidade de ser utilizado em outras duas campanhas auxiliares realizadas através de projetos COPPETEC, uma em área junto à fábrica da Cia Paraibuna de Metais, Juiz de Fora, e outra na Estação de Tratamento de Esgotos Alegria, Caju, cujas experiências serão relatadas no presente capítulo.

### **4.2 Características Geotécnicas do Local**

Para a elaboração do projeto do aterro da obra SENAC, houve a necessidade de se realizar uma extensa campanha de investigações geotécnicas.

Esta campanha iniciou-se com a realização de sondagens à percussão e retirada de amostras indeformadas para a execução de ensaios de laboratório. Foram realizados, também, ensaios de palheta com o equipamento Geonor pela equipe da Geotécnica S/A e ensaios de piezocone pela equipe da COPPE/UFRJ.

Os resultados desta campanha de ensaios foram apresentados em relatórios COPPETEC do projeto ET-150651 ao longo de 1995, e também por Almeida (1995), estando incluídos no presente item com a finalidade de se fornecer uma visão geral do depósito.

A Fig. 4.1 apresenta a locação dos furos de sondagem realizados no terreno, e um perfil geotécnico típico é apresentado na Fig. 4.2.

Uma camada de turfa é verificada na parte superior do perfil com até 3m de espessura. A camada seguinte é uma argila mole de cor cinza, com fragmentos de concha, com espessura de até 12m.

Ocorrem, sob o pacote argiloso mole, camadas de solo arenoso e argilo-siltoso, as quais são sobrejacentes ao solo residual.

As características de umidade e limites de Atterberg de amostras retirada de um furo próximo ao local dos ensaios com o equipamento de palheta elétrico são apresentadas na Fig. 4.3.

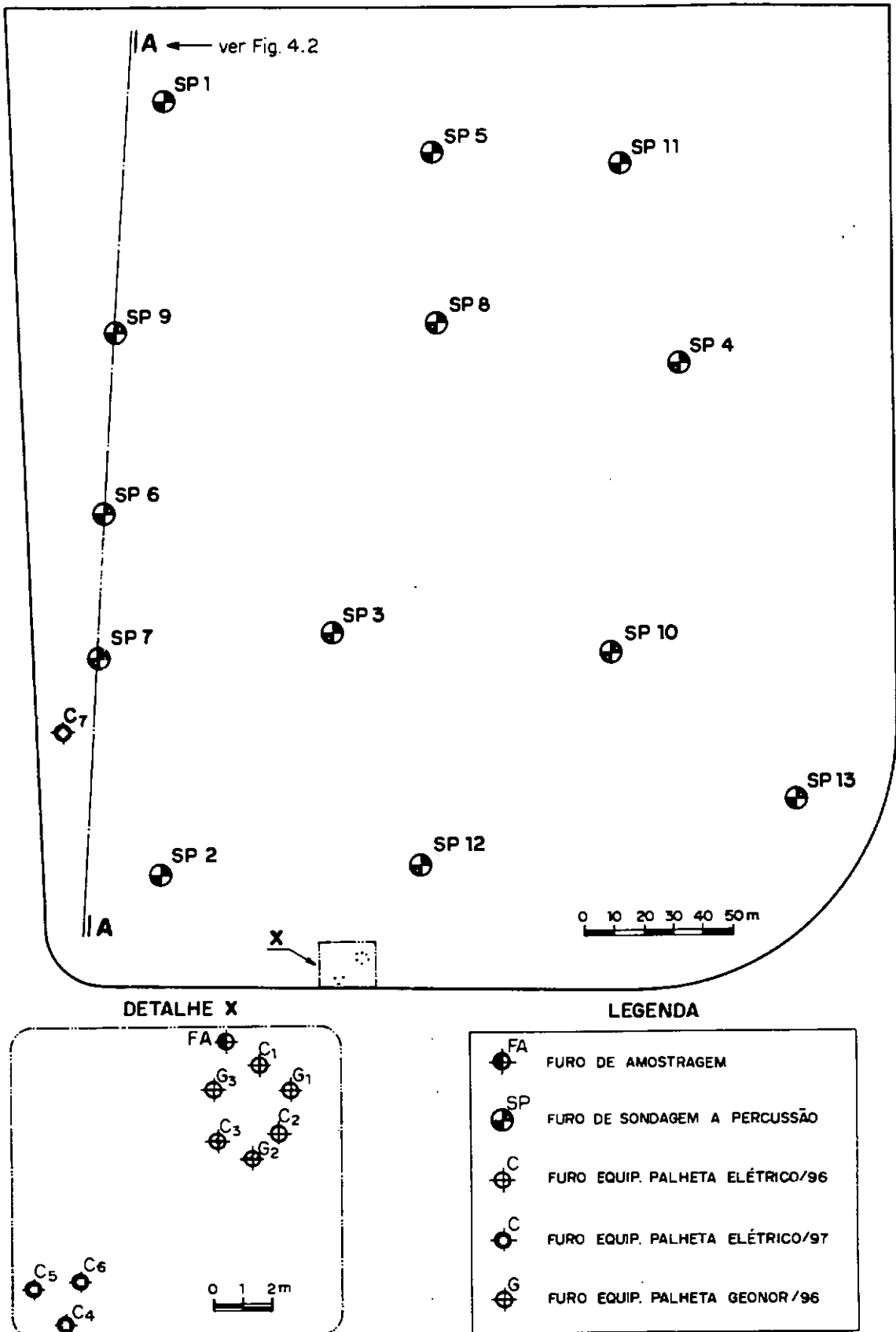


Fig. 4.1 Localização de Sondagens e Ensaio no Terreno SENAC

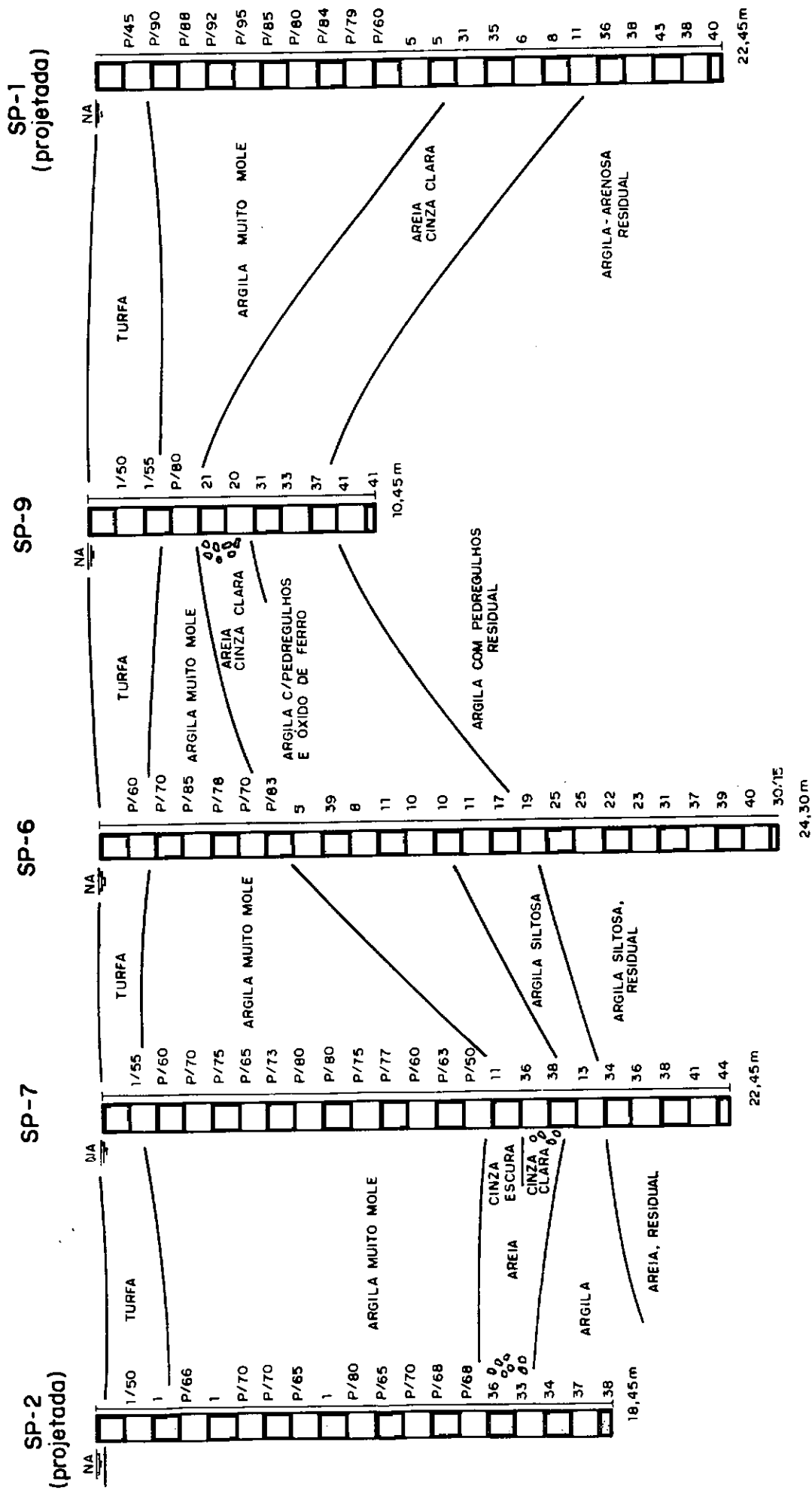
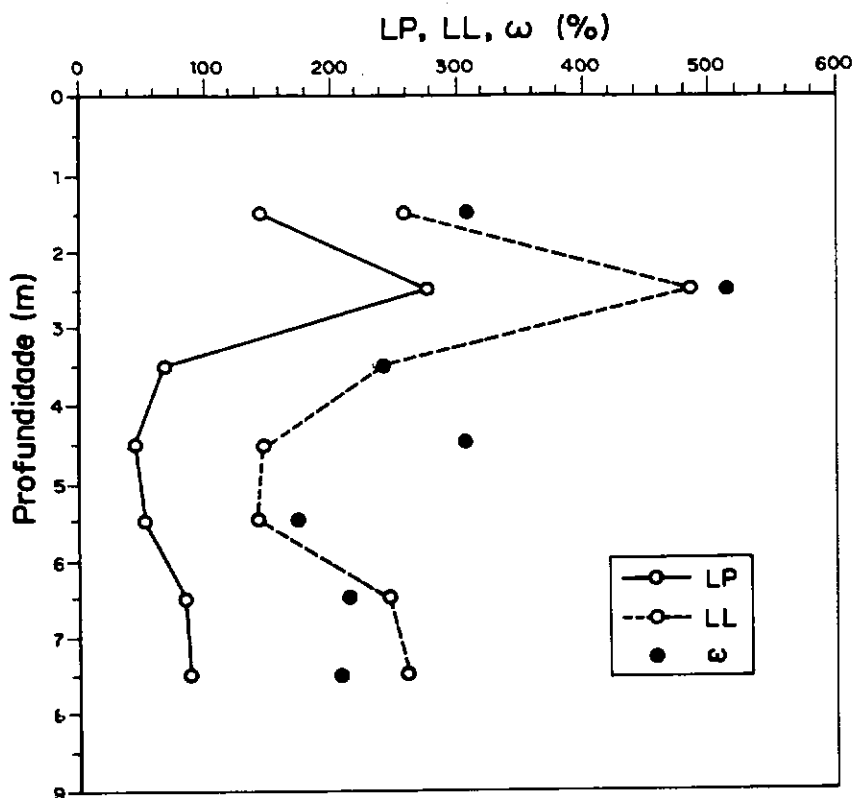


Fig. 4.2 Perfil Geotécnico ao Longo do Eixo A-A (Fig. 4.1)



**Fig. 4.3 Características de Umidade e Limites de Atterberg de Amostras Retiradas em um Furo Próximo ao Local dos Ensaios**

Os valores da tensão de pré-adensamento  $\sigma'_{vm}$  e da razão de pré-adensamento OCR foram obtidos por Almeida (1995). O valor médio da tensão de pré-adensamento é da ordem de 34 kPa. O valor de OCR decresce com a profundidade, tornando-se constante com média de 1,5 a partir dos 4m de profundidade, como pode ser observado na Fig. 4.4.

O coeficiente de adensamento vertical  $c_v$  obtido através de ensaios de piezocone para a condição normalmente adensada apresenta o valor médio de  $12 \times 10^{-8} \text{ m}^2/\text{s}$ , como mostra a Fig. 4.5.

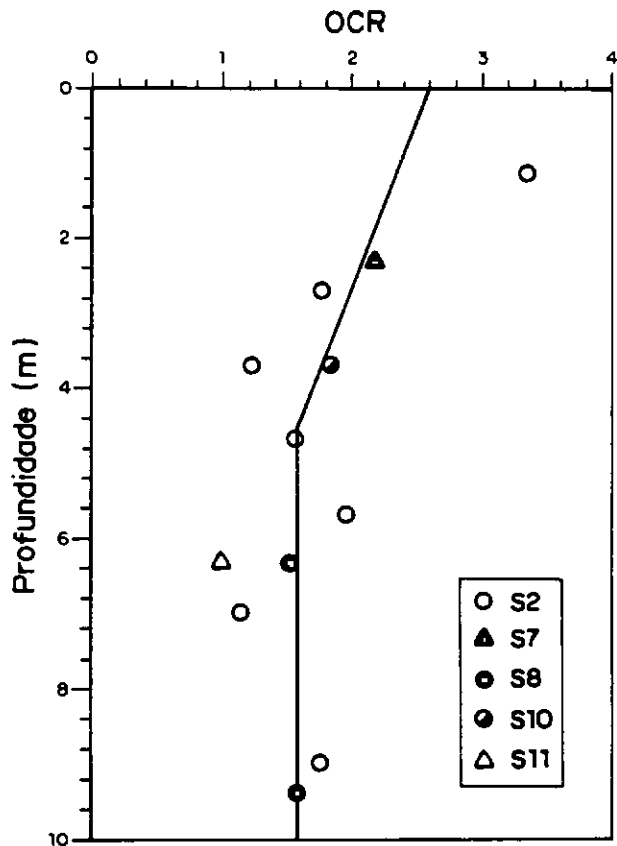


Fig. 4.4 Valores de OCR

(Almeida, 1995)

$C_v$  ( $10^{-8} \text{ m}^2/\text{s}$ )

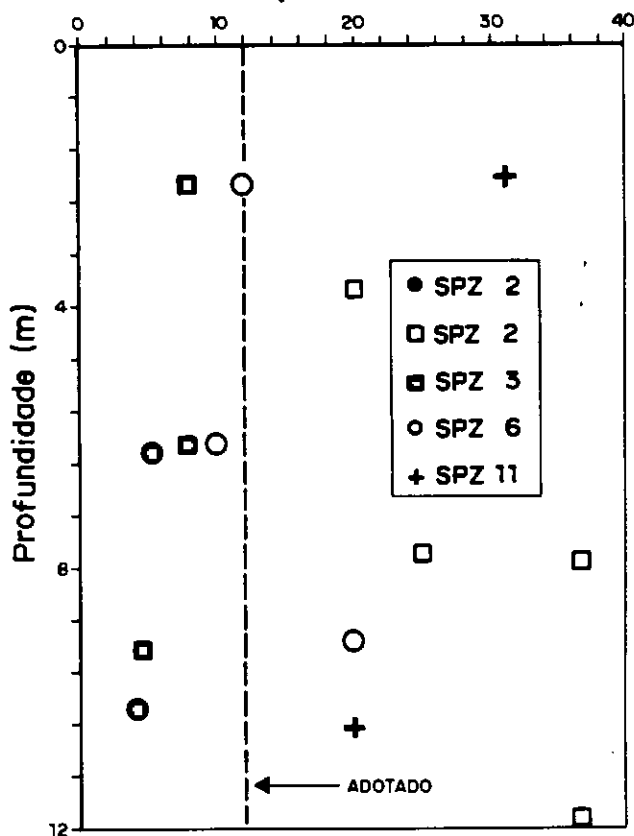
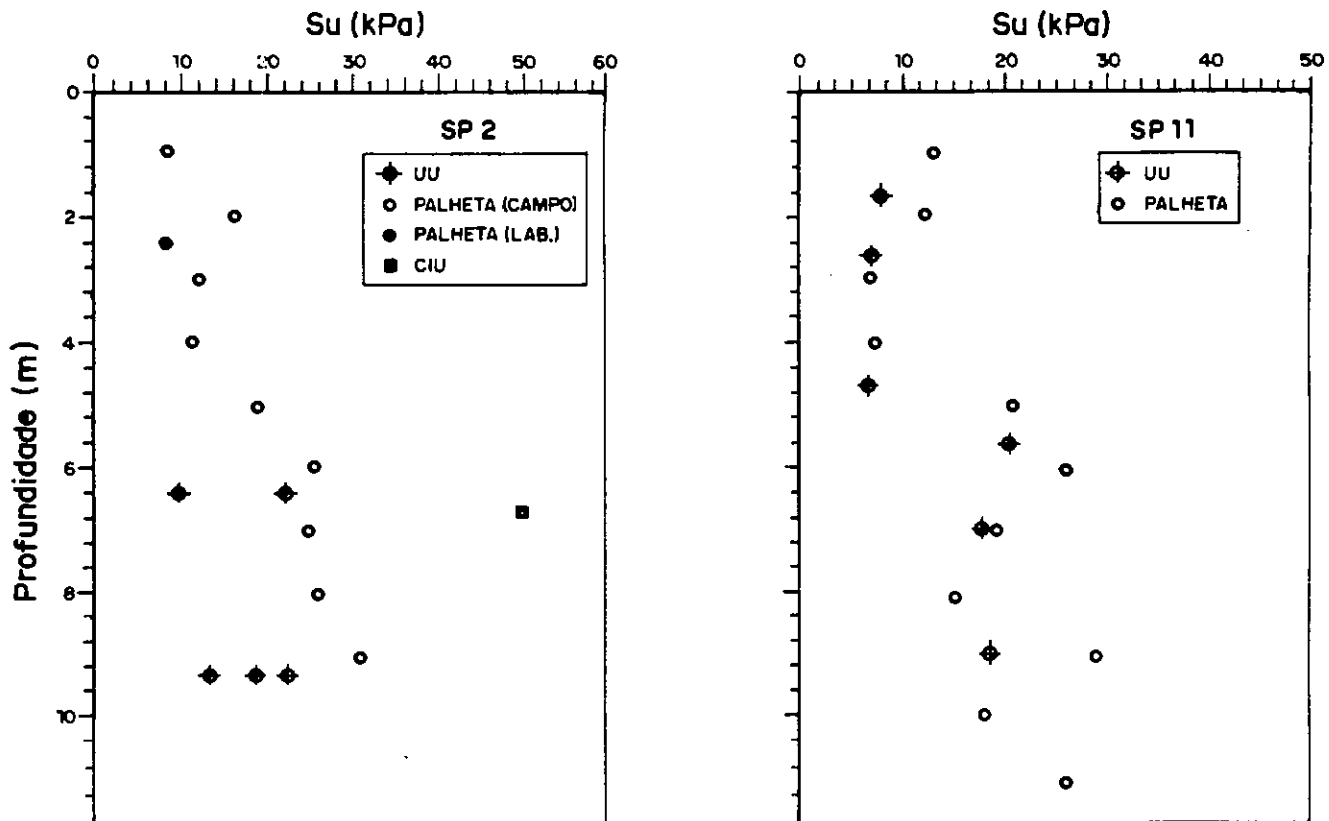


Fig. 4.5 Coeficiente de Adensamento Vertical

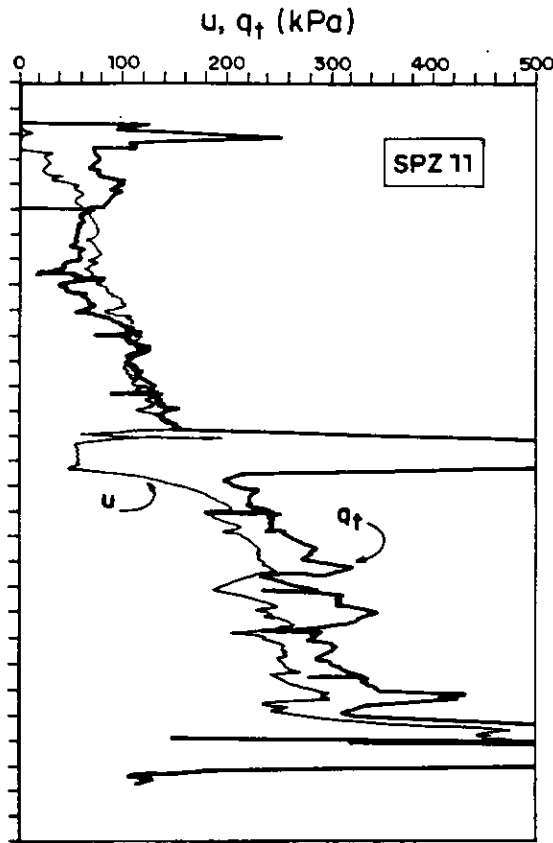
(Almeida, 1995)

No que diz respeito à resistência não drenada da argila, foram realizados ensaios do tipo UU e CIU para obtenção de  $S_u$ , obtendo-se valores entre 10 kPa e 20kPa. Os ensaios de palheta apresentaram resistências crescentes com a profundidade, e serão utilizados como base de comparação com o ensaio de palheta elétrico. A sensibilidade da argila tem valor médio igual a 5. A Fig. 4.6 apresenta os resultados destes ensaios.

Quanto aos ensaios de piezocone, a Fig. 4.7 mostra o resultado do ensaio na vertical SPZ11, próxima ao furo de sondagem SP11.



**Fig. 4.6 Perfil de  $S_u$  em Função da Profundidade**



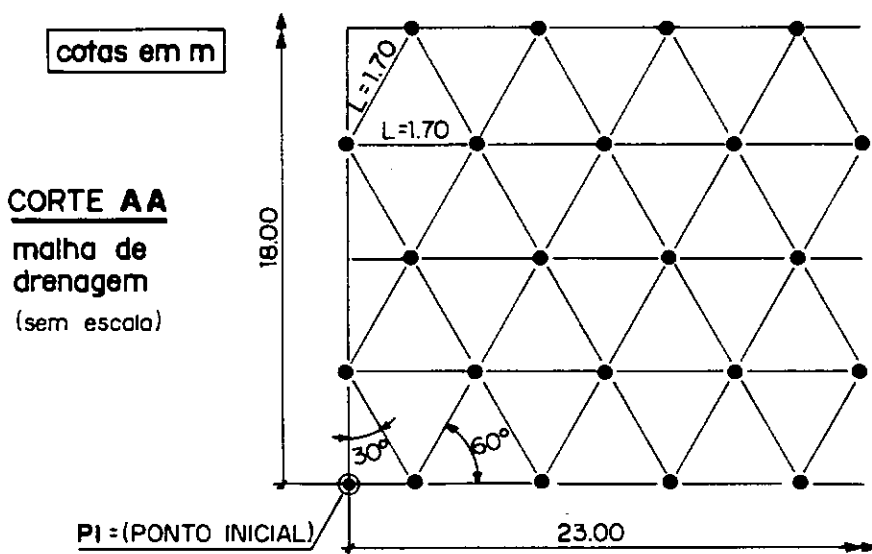
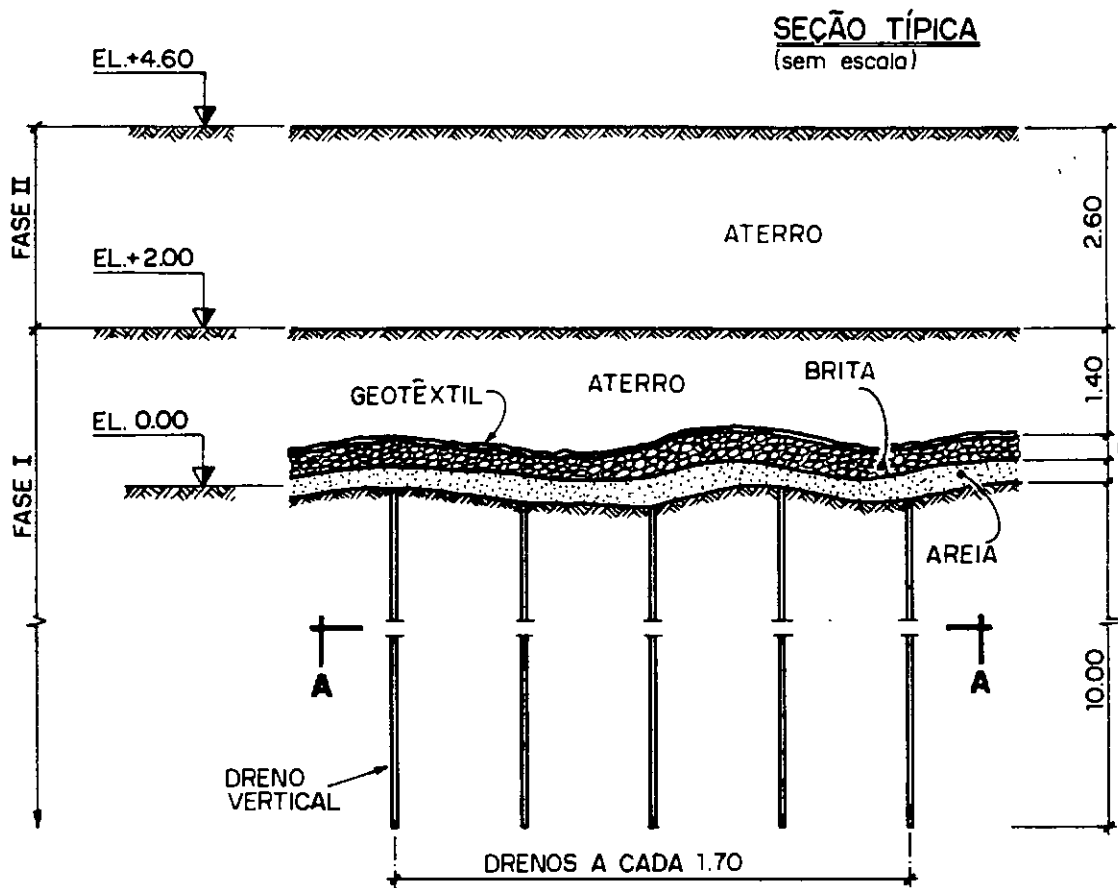
**Fig. 4.7 Resultado do Ensaio de Piezocone**

### 4.3 Alguns Aspectos Importantes da Obra SENAC

A partir dos resultados obtidos com a realização dos ensaios de campo e de laboratório, a COPPE/UFRJ desenvolveu o projeto do aterro do SENAC. A Fig.4.8 apresenta de forma esquemática as etapas da metodologia construtiva adotada para a execução do aterro, descritas a seguir.

- a) Instalação da instrumentação geotécnica (piezômetros elétricos e Casagrande, placas de recalques e extensômetros magnéticos), o que pode ser vista na Fig.4.9.
- b) Colocação da primeira camada do colchão drenante de areia com 0,30 m de espessura e compactação da camada através da passagem de equipamentos leves.

- c) Instalação dos drenos verticais pré-fabricados instalados em malha triangular com espaçamento de 1,7 m, como observado na Fig. 4.10.
- d) Finalização do colchão drenante para a espessura de 0,60 m com brita "0", e compactação da camada através da passagem de equipamentos leves.
- e) Colocação de geotêxtil não tecido sobre o colchão drenante.
- f) Execução de 1,40 m de aterro utilizando solo areno argiloso compactado em camadas de 0,30 m de espessura.
- g) Espera para adensamento e ganho de resistência da argila mole.
- h) Execução da segunda fase de alteamento do aterro, conforme monitoramento da primeira fase da obra.



**Fig. 4.8 Metodologia Construtiva do Aterro SENAC**



**Fig. 4.9** Instalação da Instrumentação Geotécnica



**Fig. 4.10** Instalação dos Drenos Verticais

Desde o início de 1996 a COPPE/UFRJ monitora recalques e poro-pressões na argila mole sob o aterro. As observações indicam que os drenos pré-fabricados têm funcionado satisfatoriamente, tendo a argila atingido grau de adensamento de cerca de 90% (noventa por cento) 400 dias após a execução do aterro. O valor de  $t_{90}$  para drenagem vertical com duas faces drenantes seria de cerca de 12 anos.

O aterro do SENAC será em breve submetido à segunda etapa de carregamento e pretende-se adotar uma sobre-altura em alguns locais de forma a acelerar ainda mais os recalques, e também diminuir recalques por adensamento secundário no futuro.

#### **4.4 Primeira Campanha de Ensaios no Terreno do SENAC**

A primeira campanha de ensaios de palheta foi realizada no terreno do SENAC no período de 30 de abril a 17 maio de 1996. Foram realizados seis furos dispostos na forma de um hexágono e utilizados dois equipamentos, o tradicional da marca Geonor, mostrado na Fig. 4.11, pertencente à Geotécnica S/A, e o equipamento de palheta elétrico desenvolvido pela COPPE/UFRJ em conjunto com a GROM. A Fig.4.1 apresenta a localização dos ensaios e a distribuição dos furos, conforme o tipo de equipamento utilizado. Esta campanha contou com a presença dos professores Márcio Almeida da COPPE/UFRJ e Roberto Coutinho da UFPE, como também teve a valiosa colaboração do Eng. Joaquim Oliveira da UFPE.

Os ensaios iniciaram-se na profundidade de 2m e foram realizados a cada metro até atingir a profundidade aproximada de 12m. Utilizou-se o tempo padrão de 2 min entre a cravação da palheta e o início de ensaio. O mesmo intervalo de tempo foi adotado entre os ensaios indeformado e amolgado. A rotação da palheta foi calculada em função da velocidade de rotação, que é aplicada no topo do equipamento.

É importante ressaltar que, antes do início dos ensaios, havia sido lançada no terreno uma camada de aproximadamente 0,3m de areia, referente à primeira camada do colchão drenante. Após se ultrapassar esta camada de areia, foi encontrada turfa com

restos de vegetais, o que dificultou a execução dos ensaios no primeiro metro da camada de solo. Assim sendo, estabeleceu-se como padrão a profundidade de 2m para início dos ensaios.



**Fig. 4.11 Equipamento Geonor**

A equipe da Geotécnica S/A auxiliou a execução dos ensaios com o equipamento Geonor, bem como dos ensaios com o equipamento elétrico. Os ensaios foram realizados conforme a norma NBR 10905. Os procedimentos de execução dos ensaios são descritos no capítulo 2, para o equipamento convencional, e no Capítulo 3, para o equipamento elétrico desenvolvido.

#### 4.4.1 Resultados dos Ensaios

Na Tabela 4.1 são apresentados os valores de  $S_u$  obtidos com o equipamento de palheta elétrico e a Tabela 4.2 apresenta os resultados obtidos com o equipamento Geonor.

Os resultados dos ensaios realizados na vertical  $C_1$  foram prejudicados devido ao mal contato ocorrido na ponta do cabo que se encontrava desencapado durante a execução dos ensaios. Apenas ao final da vertical é que se descobriu o ocorrido e, por isso, preferiu-se não se considerar os resultados obtidos.

Um dos resultados que pode ser considerado típico para o equipamento elétrico é mostrado na Fig. 4.12. As curvas de torque versus rotação da palheta para cada profundidade ensaiada das verticais  $C_2$ ,  $C_3$ ,  $G_1$  e  $G_3$  são apresentadas no Apêndice A. As curvas de torque versus rotação da palheta para a vertical  $G_2$  não foram apresentadas por ter sido esta vertical a primeira a ser executada, registrando-se apenas o torque máximo. A autora limitou-se, durante a execução dos ensaios da vertical  $G_2$ , a observar o trabalho da equipe da Geotécnica, para que no final pudesse estabelecer alguns padrões importantes a serem utilizados ao longo de toda a campanha de ensaios.

A boa qualidade da curva apresentada e o fato do torque máximo ser atingido para um ângulo de rotação  $\theta \approx 10^\circ$ , são indícios de um bom resultado. Em geral não se atingiu o pico nas amostras amolgadas. Estes resultados serão melhor avaliados no Capítulo 5.

Tabela 4.1

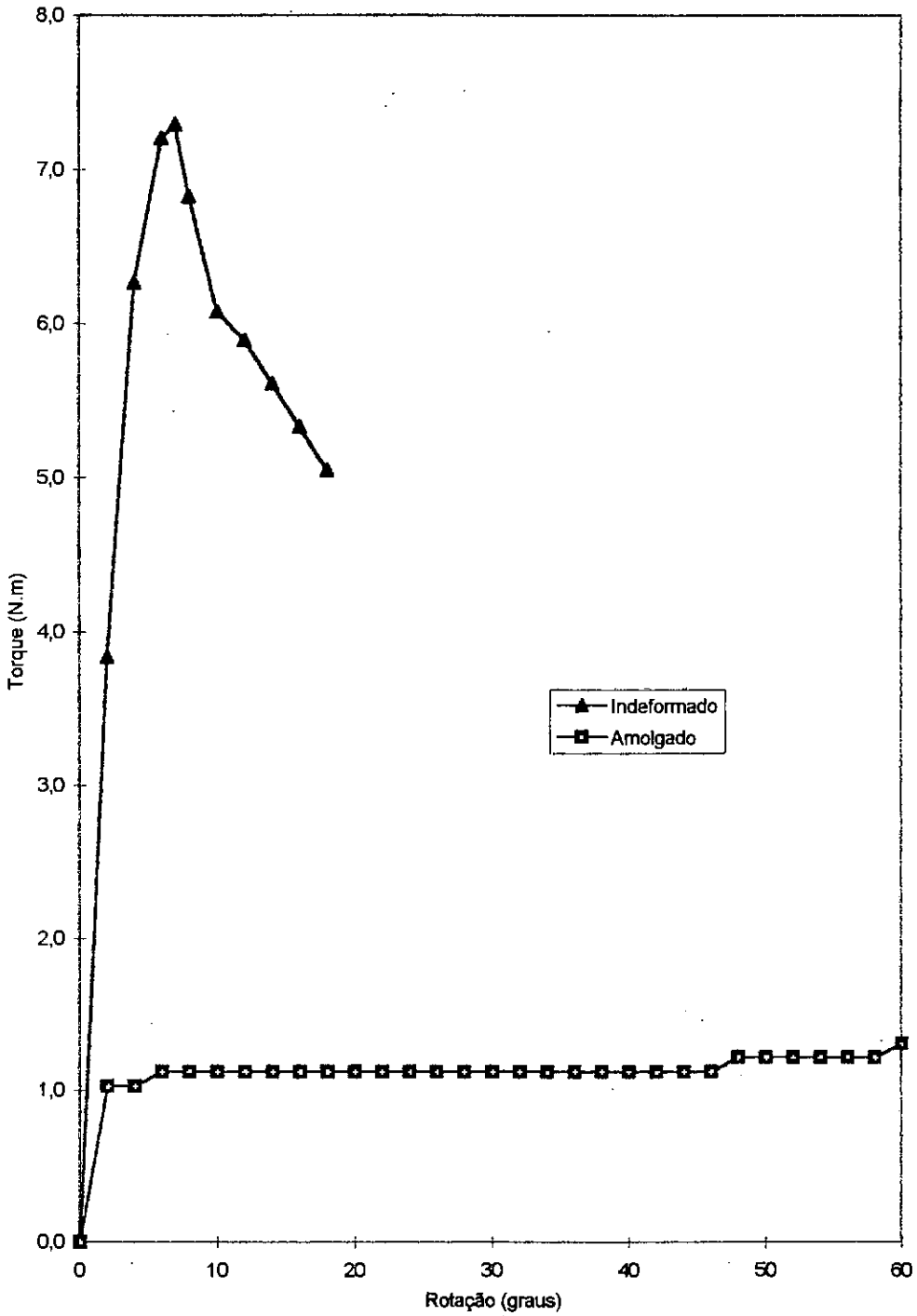
Valores de  $S_u$  (kPa) – Equipamento de Palheta Elétrico

Profundidade (m)	Vertical C <sub>2</sub>		Vertical C <sub>3</sub>	
	Indeformado	Amolgado	Indeformado	Amolgado
2	3,26	2,43	6,33	2,15
3	7,55	1,31	4,38	1,00
4	5,12	1,03	4,48	0,96
5	6,40	1,02	6,14	1,28
6	9,64	1,89	5,43	1,49
7	17,57	2,32	17,38	2,07
8	15,37	2,91	12,79	2,52
9	14,27	1,92	9,23	1,63
10			12,41	3,73
11			6,92	2,33

Tabela 4.2

Valores de  $S_u$  (kPa) – Equipamento de Palheta Geonor

Profundidade (m)	Vertical G <sub>1</sub>		Vertical G <sub>2</sub>		Vertical G <sub>3</sub>	
	Indef.	Amolg.	Indef.	Amolg.	Indef.	Amolg.
2	12,45	3,39	10,98	2,40	12,35	1,03
3	10,76	2,27	8,23	2,95	6,18	0,69
4	3,39	3,39	5,83	0,69	6,18	1,38
5	10,20	0,56	7,54	0,69	4,80	1,37
6	4,52	4,52	15,10	1,71	15,44	0,69
7	16,99	6,20	16,81	2,06	15,79	1,03
8	14,72	2,27	13,72	1,03	15,79	1,71
9	14,72	2,27	13,72	1,38	14,41	1,03
10	22,10	4,53	18,19	1,38	17,84	1,37
11	13,03	3,39	12,70	1,72	16,48	4,12
12	19,27	3,39	16,13	1,38	21,96	2,74



Vertical C2 - prof. 3m - Equip.Elétrico

**Fig. 4.12 Resultado Típico da Primeira Campanha de Ensaio SENAC**

#### 4.4.2 Problemas Observados na Primeira Campanha no Terreno do SENAC

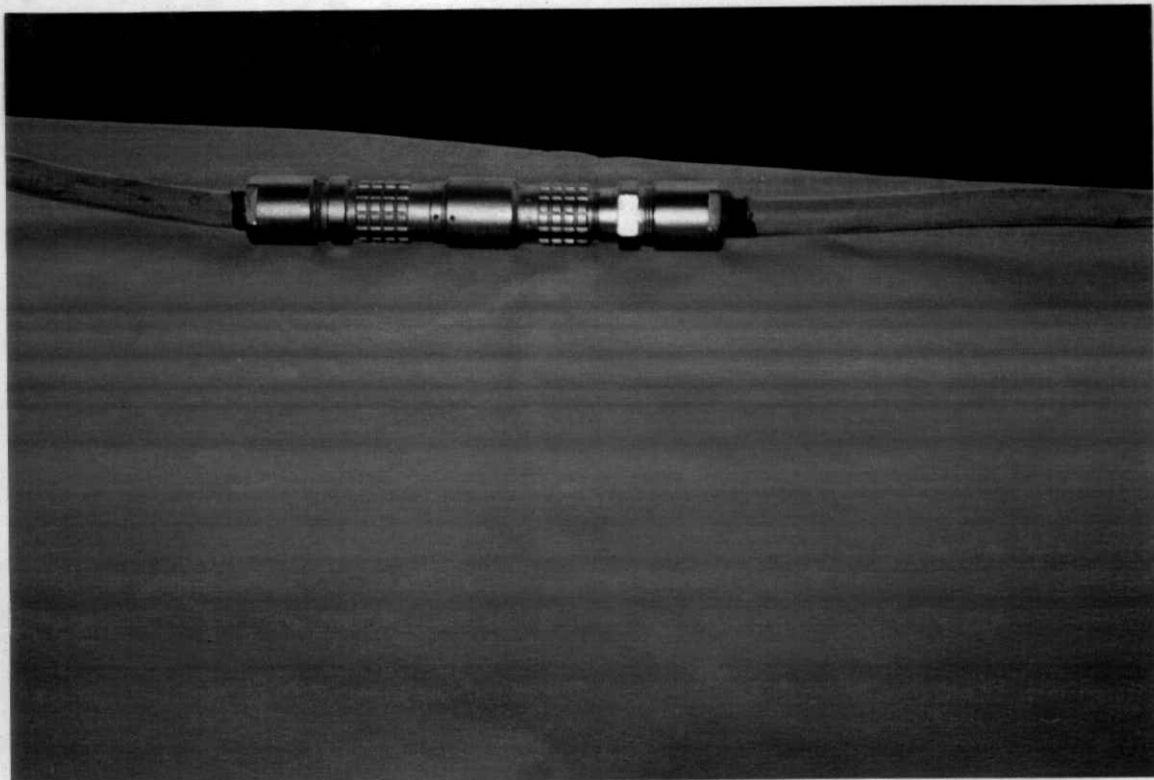
Durante a realização dos ensaios foram observadas várias dificuldades operacionais com o equipamento de palheta elétrico, o que acarretou uma nova reunião entre a GROM e a COPPE/UFRJ para discussão das alterações a serem efetuadas. As dificuldades verificadas e as soluções encontradas são relatadas a seguir.

##### *Cabo*

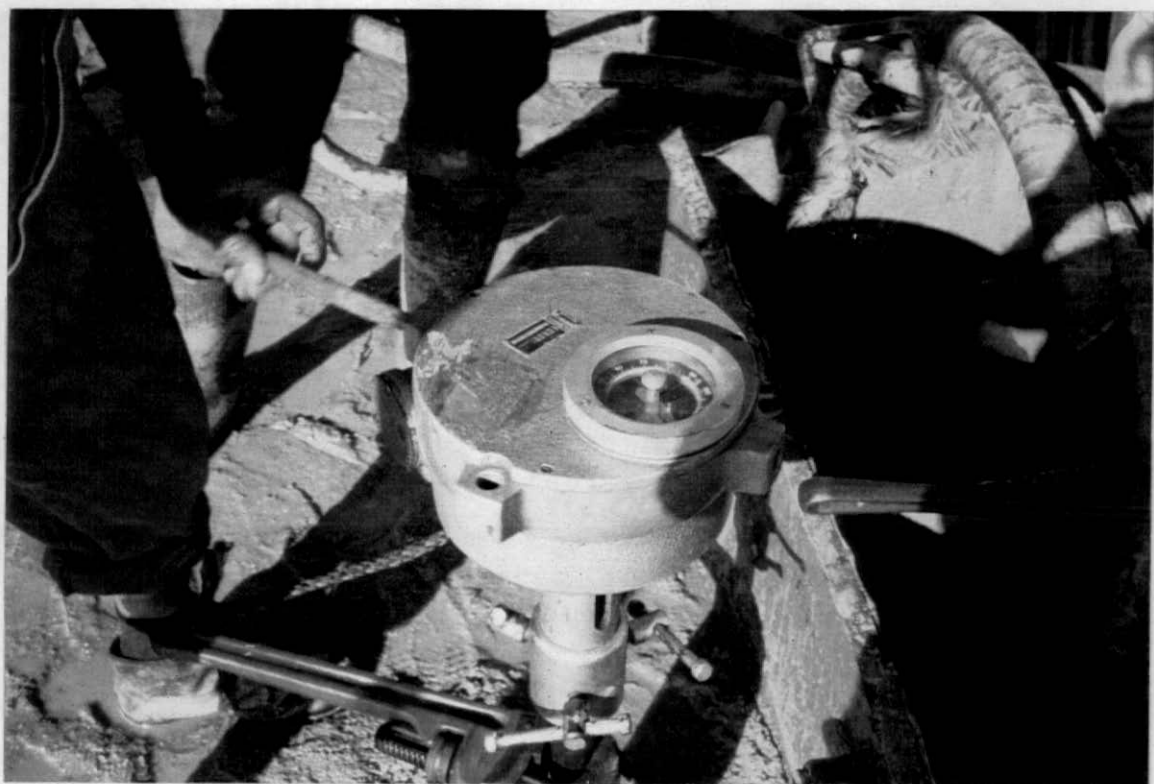
O cabo conectado nas duas extremidades (uma à célula de torque e a outra à unidade de leitura) era contínuo (não segmentado), e se verificava após a realização de alguns ensaios a torção do cabo, e uma grande dificuldade em acrescentar novas hastes de extensão. Outro aspecto é que por causa do cabo ser contínuo, antes de se iniciarem os ensaios de uma vertical, o cabo já deveria estar passado por todas as hastes de extensão (internas e externas) necessárias para a realização dos ensaios naquela vertical, o que também era relativamente trabalhoso a nível de execução. Chegou-se à conclusão de que se poderia fabricar um cabo em 4 segmentos de 5m, 10m, 15m e 20m, num total de 50m de cabo, unidos por conectores que garantissem total estanqueidade ao cabo, como pode ser observado na Fig. 4.13.

##### *Mesa de Torque*

A mesa que contém as engrenagens para aplicação do torque foi considerada pesada para os movimentos repetitivos de desposicionar a mesa, acrescentar as hastes de extensão e reposicionar a mesa para a realização de outro ensaio. Da mesma forma a manivela responsável pela aplicação das dez revoluções completas à palheta para a realização dos ensaios amolgados foi considerada muito lenta. A solução encontrada para resolver o problema do peso da mesa de torque seria a fabricação de uma nova mesa, utilizando materiais mais leves, como o alumínio, para o seu acabamento, o que geraria custos não disponíveis no momento, por isso essa modificação não foi realizada. Quanto à manivela para a aplicação das revoluções, preferiu-se abandoná-la, e aplicar as revoluções diretamente às hastes de extensão internas, como ilustra a Fig. 3.12 apresentada no Capítulo 3, semelhantemente ao equipamento Geonor que aplica as revoluções diretamente à mesa de torque, como pode ser observado na Fig. 4.14.



**Fig. 4.13 Detalhe dos Conectores Utilizados para Emenda dos Cabos**



**Fig. 4.14 Aplicação das Revoluções para a Realização do Ensaio Amolgado com o Equipamento Geonor**

### ***Fixação da Haste Externa***

Todos os ensaios foram executados com o auxílio de um tripé de sondagem. Mesmo assim, havia grande dificuldade em se fixar o equipamento de palheta para a realização dos ensaios. Observou-se, também, que, durante a execução dos ensaios para treino dos operadores, era hábito de tais técnicos, após a cravação da palheta, mexer no equipamento para fixá-lo com chave de grifo. Este procedimento provocava pequenas rotações na palheta antes do início dos ensaios, que normalmente acarretava curvas de comportamento atípico quando o ensaio era efetivamente executado. Para solucionar este problema, confeccionou-se uma peça que fixasse não só a haste de extensão externa, como também o revestimento, o qual é muito utilizado para a limpeza das profundidades iniciais. A peça fabricada pode ser vista na Fig. 4.15. Enquanto não se fabricava a peça sugerida, ficou estabelecido fixar o equipamento com chave de grifo, através da haste de extensão externa, sempre antes da palheta ser cravada no solo. Este mesmo tipo de problema foi observado com o equipamento Geonor. Como solução, adotou-se o mesmo critério de fixar o equipamento com chave de grifo sempre antes da palheta ser cravada no solo.

### ***Içamento do Equipamento***

Outra dificuldade encontrada era o içamento do equipamento após o término da execução de um furo completo. Para a solução deste problema foi sugerida a fabricação de uma peça que se fixasse nas hastes de extensão externas e pudesse ser puxada pela ponta do cabo de aço do tripé, como mostra a Fig. 4.16, sistema semelhante ao da peça utilizada para içamento do equipamento Geonor.

### ***Proteção da Célula de Torque***

Como já foi dito no Capítulo 3, após a realização de uma vertical de ensaios era aconselhável a limpeza do equipamento para que restos de solo seco não atrapalhassem a realização dos ensaios da vertical seguinte. Para isso, normalmente desconectava-se o cabo, e o equipamento ficava sujeito à entrada d'água na célula de torque, o que poderia causar a interrupção da campanha de ensaios. Para a solução deste problema foi proposta a fabricação de um tampão que seria conectado ao equipamento, toda vez que este não estivesse conectado ao cabo.



**Fig. 4.15 Detalhe da Peça de Fixação do equipamento**



**Fig. 4.16 Detalhe da Peça para Içamento do Equipamento**

### ***Solução dos Problemas Observados***

Dos cinco problemas observados, somente um foi solucionado imediatamente, através da aplicação das revoluções diretamente às hastes de extensão internas. O tampão foi utilizado nos dois projetos COPPETEC seguintes e o novo cabo, juntamente com as peças que auxiliavam a fixação e o içamento do equipamento, somente foram utilizados na segunda campanha de ensaios realizada no SENAC.

## **4.5 Campanhas Auxiliares**

### **4.5.1 Introdução**

O presente item descreve a experiência de duas campanhas de ensaios realizadas com o equipamento de palheta elétrico, pertencente à UFPE, através de projetos COPPETEC. A primeira foi executada em área junto à Fábrica da Cia Paraibuna de Metais, próxima à cidade de Juiz de Fora, MG, no período de 19 a 25 de agosto de 1996. A segunda campanha foi realizada na Estação de Tratamento de Esgotos de Alegria – Caju, RJ, no período de 18 a 24 de outubro de 1996.

Infelizmente, ambas as campanhas foram interrompidas por motivos diversos, apresentando um pequeno número de ensaios. Mesmo assim, considerou-se importante relatá-las em função do aprendizado obtido com os fatos ocorridos.

### **4.5.2 Ensaios Realizados na Fábrica Cia Paraibuna de Metais**

Com o objetivo de dar subsídios para o projeto de construção por etapas de um aterro de contenção de resíduos de mineração, a COPPE/UFRJ realizou um programa de investigações geotécnicas na Cia Paraibuna de Metais, consistindo apenas de ensaios de campo.

Os parâmetros geotécnicos de projeto mais relevantes neste caso são a resistência não drenada  $S_u$  da argila e o ganho  $\Delta S_u$  com o tempo, controlado pelo coeficiente de adensamento da argila. Com este objetivo foram realizados apenas ensaios de palheta e

de piezocone, incluindo-se também ensaios de dissipação. Foge ao escopo da tese a análise dos resultados dos ensaios e a definição dos parâmetros geotécnicos.

A proposta inicial era a de realizar três verticais com ensaios de palheta a cada metro. A Tabela 4.3 apresenta as datas e as profundidades máximas ensaiadas em cada vertical.

**Tabela 4.3 – Ensaios de Palheta de Campo Realizados**

Vertical	Data	Profundidade do Revestimento (m)	Profundidade Inicial do Ensaio (m)	Profundidade Final do Ensaio (m)
V1	23/08	6,0	-	6,0
V2	22/08	4,5	6,0	9,6
V3	25/08	3,5	5,3	8,0

A vertical V1 foi lavada e revestida até a profundidade de 6m, não sendo encontrada argila mole até esta profundidade. Resolveu-se então, abandonar a vertical.

Na vertical V2 o último ensaio foi realizado na profundidade de 9m, pois o equipamento não conseguiu avançar no solo para a execução do ensaio seguinte. Já na vertical V3, apesar do equipamento conseguir atingir a profundidade de 8m, os altos valores de torque medido, muito próximos ao limite do equipamento, fizeram com que os ensaios fossem interrompidos.

A Fig. 4.17 apresenta a curva típica dos resultados obtidos nesta campanha. Curvas de torque versus rotação para cada profundidade ensaiada são apresentadas no Apêndice A deste trabalho.

#### **4.5.3 Dificuldades Encontradas na Campanha de Juiz de Fora**

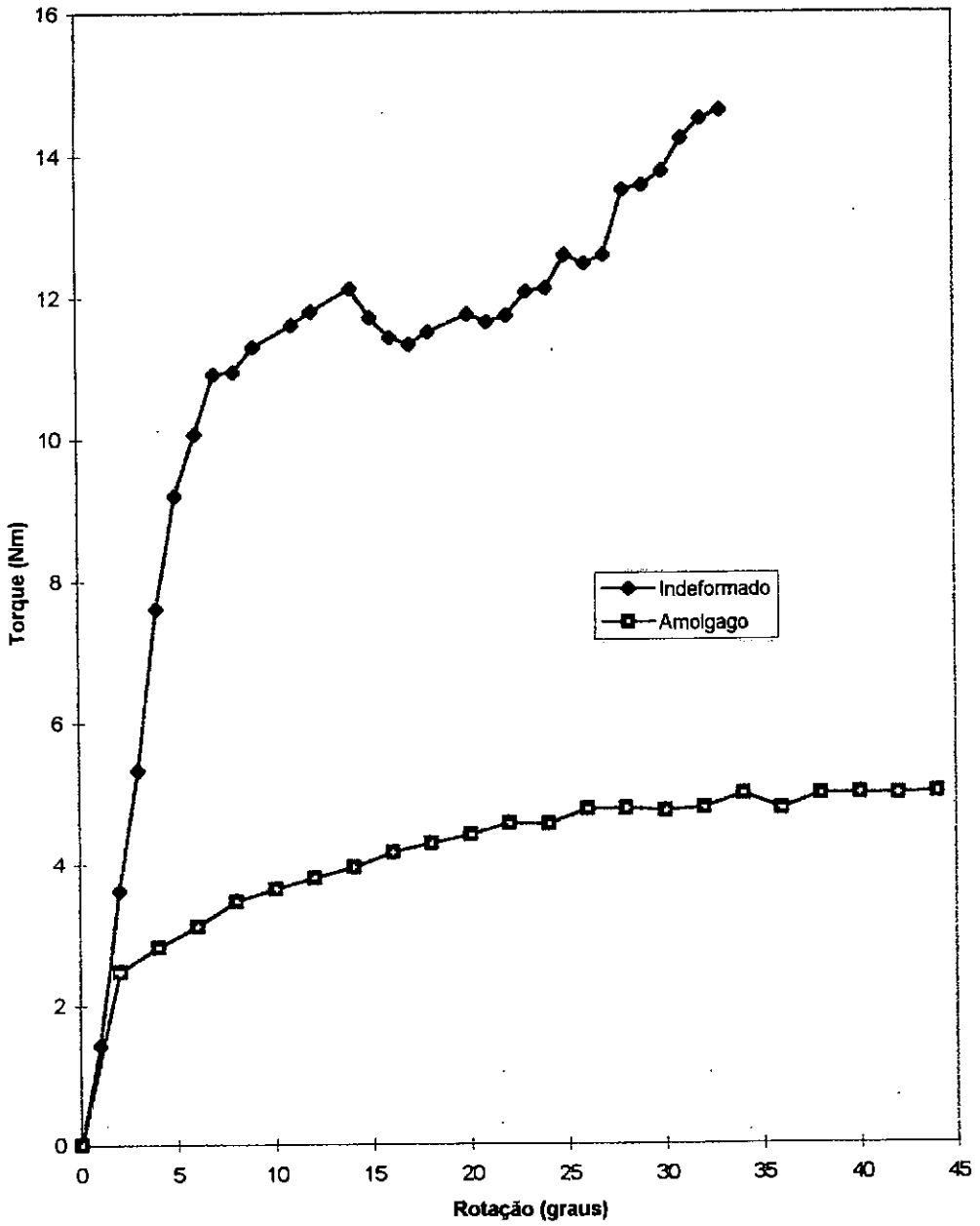
A região ensaiada não apresentava características apropriadas para o ensaio de palheta. Foram encontradas várias lentes de areia e, em diversos locais, nas primeiras camadas foi encontrado aterro com pedras, como pode ser verificado nos resultados dos

ensaios de piezocone apresentados no relatório COPPETEC-ET150704/96. Este fato acarretou uma redução do número de verticais de ensaios de palheta e aumento no número de verticais de ensaios de piezocone.

Além deste fato, outro problema relacionado ao equipamento fez com que os resultados não fossem satisfatórios. Logo no início da campanha o equipamento ultrapassou uma camada mais arenosa e observou-se que os valores medidos durante a realização dos ensaios não eram coerentes, apresentando curvas de torque versus rotação com comportamento atípico.

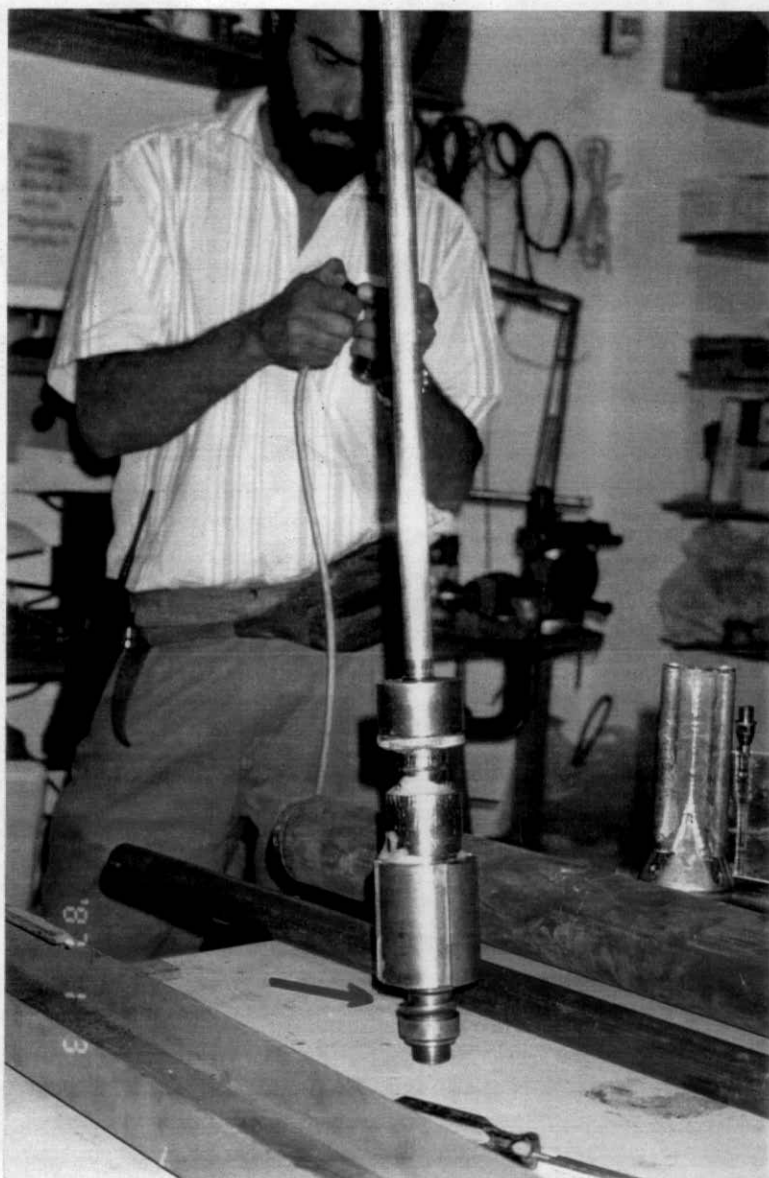
Após a realização de alguns ensaios, chegou-se à conclusão de que havia entrado água na célula de torque. A GROM foi chamada para realizar a manutenção do equipamento, e foi improvisada uma solução para tentar dar continuidade à campanha de ensaios.

Com o término da campanha, o equipamento voltou para o laboratório para que se pudesse realizar testes que garantissem a estanqueidade da célula de torque, como pode ser visto na Fig. 4.18.



Vertical V2 - prof. 7m - Equip. Elétrico

Fig. 4.17 Resultado Típico da Campanha de Juiz de Fora



**Fig. 4.18 Detalhe da Célula de Torque**

Para a realização de leituras utilizou-se o mesmo sistema de aquisição de dados utilizado nas campanhas SENAC: um conversor analógico digital, com saída em mV, e uma fonte estabilizada, ambos alimentados por uma tensão de 127V. O fato do local dos ensaios não apresentar energia fez com que um gerador fosse alugado. Isto só foi viável porque o gerador também alimentava a máquina de cravação do piezocone.

Considerando que este tipo de ensaio normalmente é realizado em locais de difícil acesso e sem energia elétrica, é interessante a utilização de uma unidade de leitura com a opção de bateria e saída já em Nm. Verificou-se que a Sodmex fabrica a unidade de leitura ILT-300 que possui as características necessárias para a realização dos ensaios. Foi adquirida uma unidade de leitura ILT-300 que foi enviada para a Universidade Federal de Pernambuco. Infelizmente, ainda não foi possível a aquisição desta unidade para o equipamento de palheta elétrico de propriedade da COPPE/UFRJ.

#### **4.5.4 Ensaios Realizados na Estação de Tratamento de Esgotos Alegria**

A investigação geotécnica visando o projeto da ETE Alegria inclui sondagens com medida de SPT, ensaios de dilatômetro e caracterização completa, realizados pela Geomecânica, e ensaios de palheta, piezocone, adensamento e triaxiais UU realizados pela COPPE/UFRJ. Esta também prestou consultoria à CEDAE durante o projeto executivo e atualmente acompanha o monitoramento da obra. Foge do escopo da presente tese a apresentação dos resultados dessa investigação geotécnica.

Na campanha da ETE Alegria foram realizadas duas verticais com ensaios em diferentes profundidades. A Tabela 4.4 apresenta as datas e as profundidades ensaiadas em cada vertical.

Para a realização de leituras utilizou-se o mesmo sistema de aquisição de dados utilizado nas campanhas anteriores. Assim como Juiz de Fora o local dos ensaios não apresentava energia elétrica, o que fez com que um gerador novamente fosse alugado para a execução dos ensaios. Como Juiz de Fora, isto só foi viável porque o gerador também alimentava a máquina de cravação do piezocone. A Fig. 4.19 apresenta o gerador utilizado nesta campanha de ensaios.

**Tabela 4.4 – Ensaio de Palheta Realizados**

Vertical	Profundidade (m)	Data
VT1	2,00	18/10/96
	3,00	18/10/96
	4,00	18/10/96
	5,50	18/10/96
	6,00	18/10/96
	7,00	18/10/96
	8,00	19/10/96
	9,00	19/10/96
VT2	4,00	19/10/96
	5,00	23/10/96
	7,50	24/10/96
	7,95	24/10/96
	8,50	24/10/96
	9,00	24/10/96
	9,50	24/10/96
	10,00	24/10/96

**Fig. 4.19 Gerador Utilizado na Campanha ETE Alegria**

#### 4.5.4.1 Resultados dos Ensaios

A Fig. 4.20 apresenta um comportamento típico das curvas obtidas. Observou-se que os ensaios realizados resultaram em curvas de torque versus rotação de boa qualidade, o que confirma os bons resultados obtidos, apesar do pequeno número de ensaios realizados.

No início da campanha houve um pequeno atraso devido a problemas na mesa de torque. O parafuso sem fim localizado na parte inferior da mesa perdeu a rosca, e não estava fixando a mesa à haste de extensão externa. Isso foi rapidamente resolvido e deu-se continuidade aos ensaios.

Após o término da segunda vertical, a campanha foi interrompida devido ao tombamento do tripé de sondagem sobre o pé da autora. Quanto ao acidente, cabe observar a importância da fixação adequada do tripé de sondagem, principalmente em se tratando de solo mole, visto que o acidente ocorreu em função de um dos calços do tripé não ter resistido ao peso do mesmo e rompido, desequilibrando todo o tripé. Se um dos operários não tivesse empurrado a autora, o acidente ocorrido poderia ter sido gravíssimo. Assim, fica aqui o alerta para que se dê a devida importância quanto à segurança nos ensaios de campo de forma geral, visto que estes normalmente são realizados com equipamentos pesados, sujeitando as pessoas que trabalham em torno a riscos se alguns cuidados não forem tomados.

As curvas de torque versus rotação da palheta para as duas verticais realizadas são apresentadas no Apêndice A deste trabalho.

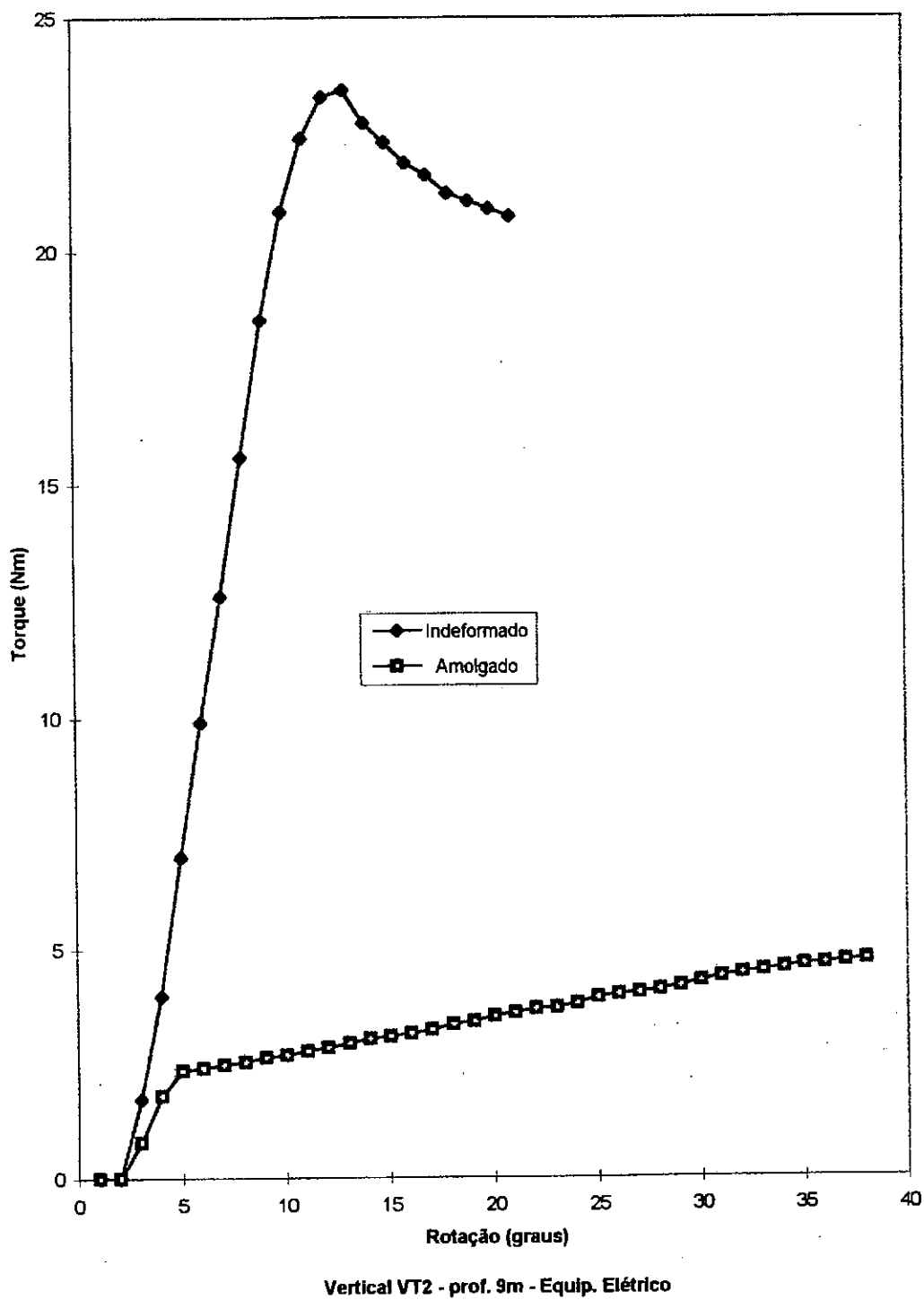


Fig. 4.20 Resultado Típico da Campanha ETE Alegria

#### 4.6 Segunda Campanha de Ensaios no Terreno do SENAC

A segunda campanha de ensaios foi realizada quatro meses após o término da construção da primeira etapa do aterro, no período de 20 de novembro a 03 de dezembro de 1997, ocasião em que o solo já tinha atingido cerca de 90% (noventa por cento) do grau de adensamento.

Foram realizadas quatro verticais de ensaios, três próximas à região da primeira campanha de ensaios e uma outra vertical entre as placas de recalques PR18 e PR19. Escolheu-se este local tendo em vista que ocorreu durante a execução da primeira etapa do aterro uma movimentação excessiva do mesmo, sugerindo uma ruptura localizada decorrente do excesso de material lançado indevidamente.

Nesta campanha foi utilizado o equipamento de palheta elétrica fabricado para a COPPE/UFRJ, já com as modificações sugeridas durante a primeira campanha de ensaios descritas no item 4.4.2.

Os ensaios foram executados sob a camada de aterro com espessura de 2,3m, incluindo o colchão drenante. Achou-se importante lavar e revestir o furo até a profundidade de 4,4m, devido a restos de vegetais encontrados na turfa, o que dificultou a execução dos ensaios logo abaixo da camada de aterro. Os ensaios iniciaram-se na profundidade de 6m, tendo sido realizados a cada metro até se atingir a profundidade aproximada de 12m.

Assim como na primeira campanha, utilizou-se o tempo padrão de 2 min entre cravação da palheta e início do ensaio, como também entre os ensaios indeformados e amolgados. A equipe de sondagem da Empresa Tengel auxiliou a execução dos ensaios e os procedimentos utilizados foram idênticos aos descritos no Capítulo 3. É importante ressaltar que, por se tratar de outra equipe de apoio, novamente houve a necessidade de se realizar ensaios testes para treino de pessoal.

#### 4.6.1 Resultados Obtidos

A Tabela 4.5 apresenta os valores de  $S_u$  obtidos para as quatro verticais realizadas com o equipamento de palheta elétrica.

**Tabela 4.5**  
**Valores de  $S_u$  (kPa) – Equipamento de Palheta Elétrica**

Profundidade (m)	Vertical C4		Vertical C5		Vertical C6		Vertical C7	
	Indef.	Amolg.	Indef.	Amolg.	Indef.	Amolg.	Indef.	Amolg.
6,00	-	-	11,74	2,93	10,15	1,64	-	-
6,50	-	-	-	-	12,03	1,40	-	-
7,00	19,49	3,42	19,15	2,30	18,21	1,75	12,26	1,31
8,00	-	-	19,76	1,81	18,93	1,74	18,38	1,66
8,50	13,83	1,59	-	-	16,65	2,46	-	-
9,00	17,33	2,01	19,59	2,57	16,50	2,43	10,32	0,96
9,50	-	-	-	-	12,75	1,04	-	-
10,00	-	-	15,62	1,78	15,98	1,25	19,98	2,43
10,50	-	-	17,86	2,48	20,98	3,29	-	-
11,00	-	-	23,36	3,77	20,16	2,98	16,52	2,41
11,50	-	-	-	-	13,93	2,31	-	-
12,00	-	-	16,55	2,01	15,51	2,19	-	-
12,50	-	-	-	-	20,10	3,04	-	-

Apresentam-se no Apêndice A as curvas torque versus rotação para as diversas profundidades ensaiadas. Estas apresentam comportamento típico, como pode ser observado na Fig. 4.21.

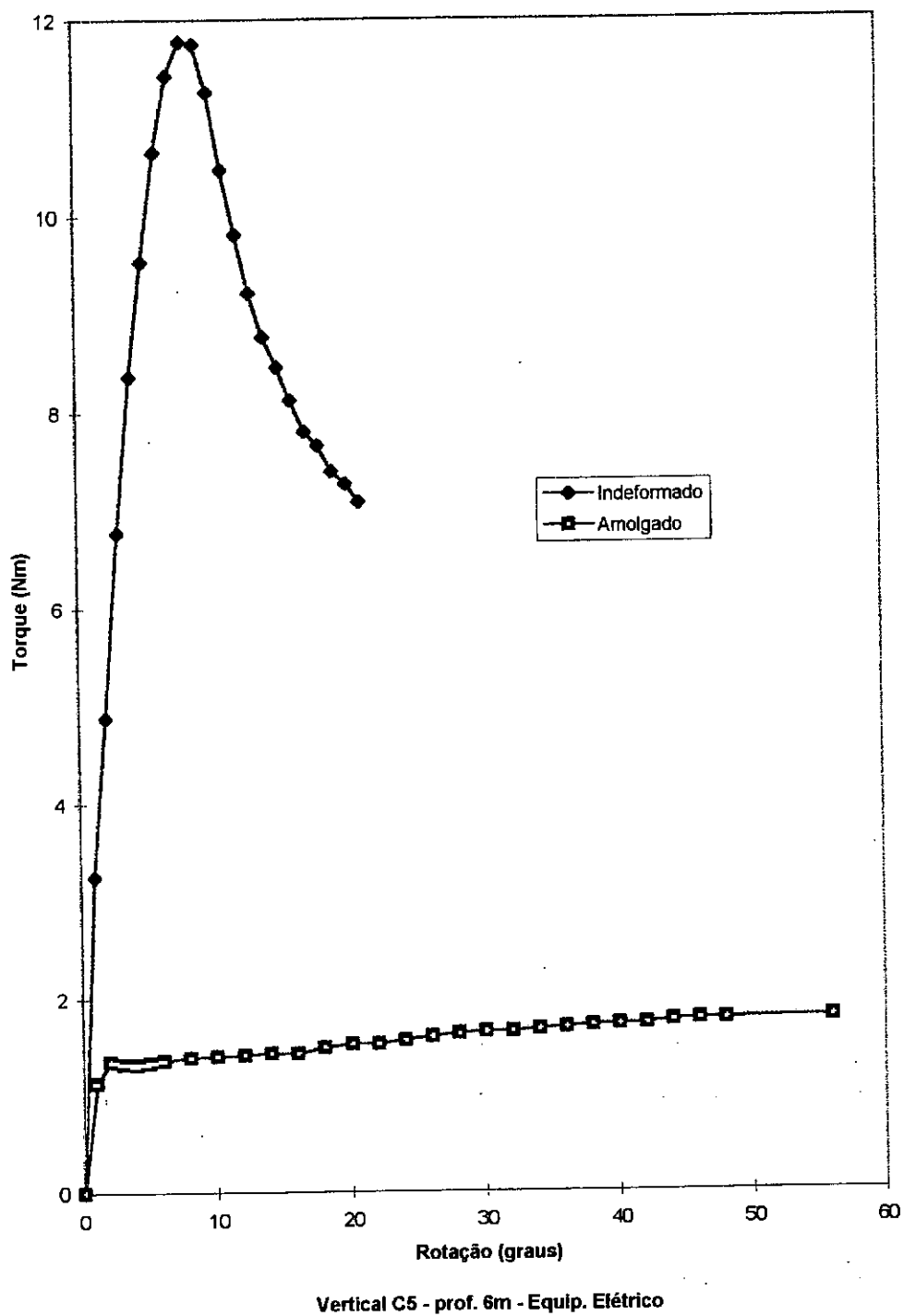


Fig. 4.21 Resultado Típico da Segunda Campanha de Ensaio SENAC

#### 4.6.2 Dificuldades Encontradas na Segunda Campanha no Terreno SENAC

Por se tratar da primeira campanha de ensaios realizada com este novo equipamento de palheta elétrico, visto que o primeiro equipamento desenvolvido já havia sido entregue à Universidade Federal de Pernambuco, ocorreram novamente algumas dificuldades. Tais dificuldades geraram um atraso de uma semana no cronograma previsto. Como a equipe de sondagem que auxiliava a execução dos ensaios era financiada pelo SENAC, e o custo final da campanha não deveria ultrapassar o valor previsto, o atraso no início dos ensaios acarretou a diminuição da quantidade dos mesmos.

A seguir são descritos os problemas ocorridos durante a execução desta campanha de ensaios.

- 1) As castanhas pertencentes à mesa de torque encontravam-se soltas, não transmitindo o torque às hastes de extensão internas, tendo sido necessária, para a colocação desta peça na posição correta, a desmontagem da mesa de torque.
- 2) Dos quatro novos segmentos de cabo, dois apresentavam-se nas extremidades, junto aos conectores, com pequenos cortes no isolamento, que foram ocasionados durante a montagem do conector. Por esta ocorrência ter sido observada no início do ensaio, antes do contato com a água, não chegou a acontecer nenhum dano ao equipamento. Estes cabos retornaram à GROM para uma nova montagem.
- 3) Um dos anéis que garantia o travamento do sistema de fixação axial, após a realização de um dos ensaios testes, estava se deslocando indevidamente, não permitindo o travamento da palheta. Uma nova peça teve de ser usinada para que se pudesse realizar o travamento da palheta. O anel que ocasionou problemas no equipamento COPPE/UFRJ é indicado pela seta na Fig. 4.18, que apresenta o equipamento UFPE desmontado realizando testes para a verificação da estanqueidade da célula de torque, após a realização da campanha de Juiz de Fora.

## **Capítulo 5**

### **Interpretação e Análise dos Resultados**

## 5. INTERPRETAÇÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS

### 5.1 Introdução

Os valores de  $S_u$  aqui apresentados foram obtidos através da interpretação convencional, visto que esta é a recomendada pela norma brasileira para o ensaio de palheta in situ. Outras interpretações do ensaio são apresentadas na literatura citando-se, por exemplo, a interpretação sugerida por Wroth (1984), não aplicada no presente trabalho por ser tratar de estudos realizados para a argila de Londres. Admitindo-se a hipótese fundamental da não ocorrência de drenagem durante a realização do ensaio de palheta, os resultados obtidos são comparáveis aos ensaios de laboratório tipo UU e ensaios de compressão simples.

Foge do escopo desta dissertação uma interpretação aprofundada dos ensaios de palheta. Entretanto, apresenta-se a seguir a comparação dos resultados obtidos em termos de valores de  $S_u$ , ângulos de rotação para o torque máximo e qualidade das curvas entre os dois tipos de equipamentos utilizados: o equipamento elétrico desenvolvido e o equipamento Geonor. Comparações também são feitas entre os resultados encontrados na campanha de investigação para obtenção de parâmetros geotécnicos de projeto, realizada ao longo de 1995, e na primeira campanha de ensaios de palheta com o equipamento desenvolvido, em maio de 1996, no terreno do SENAC. Apresenta-se, ainda, a verificação do aumento da resistência não drenada do depósito de argila mole existente no terreno do SENAC, após a execução da primeira etapa do aterro, através da segunda campanha de ensaios realizada no local.

É importante salientar que todas as comparações feitas entre o equipamento de palheta elétrico e o convencional referem-se apenas aos resultados obtidos na primeira campanha de ensaios realizada no terreno do SENAC, em maio de 1996.

## 5.2 Comparação entre as Curvas de Torque versus Rotação

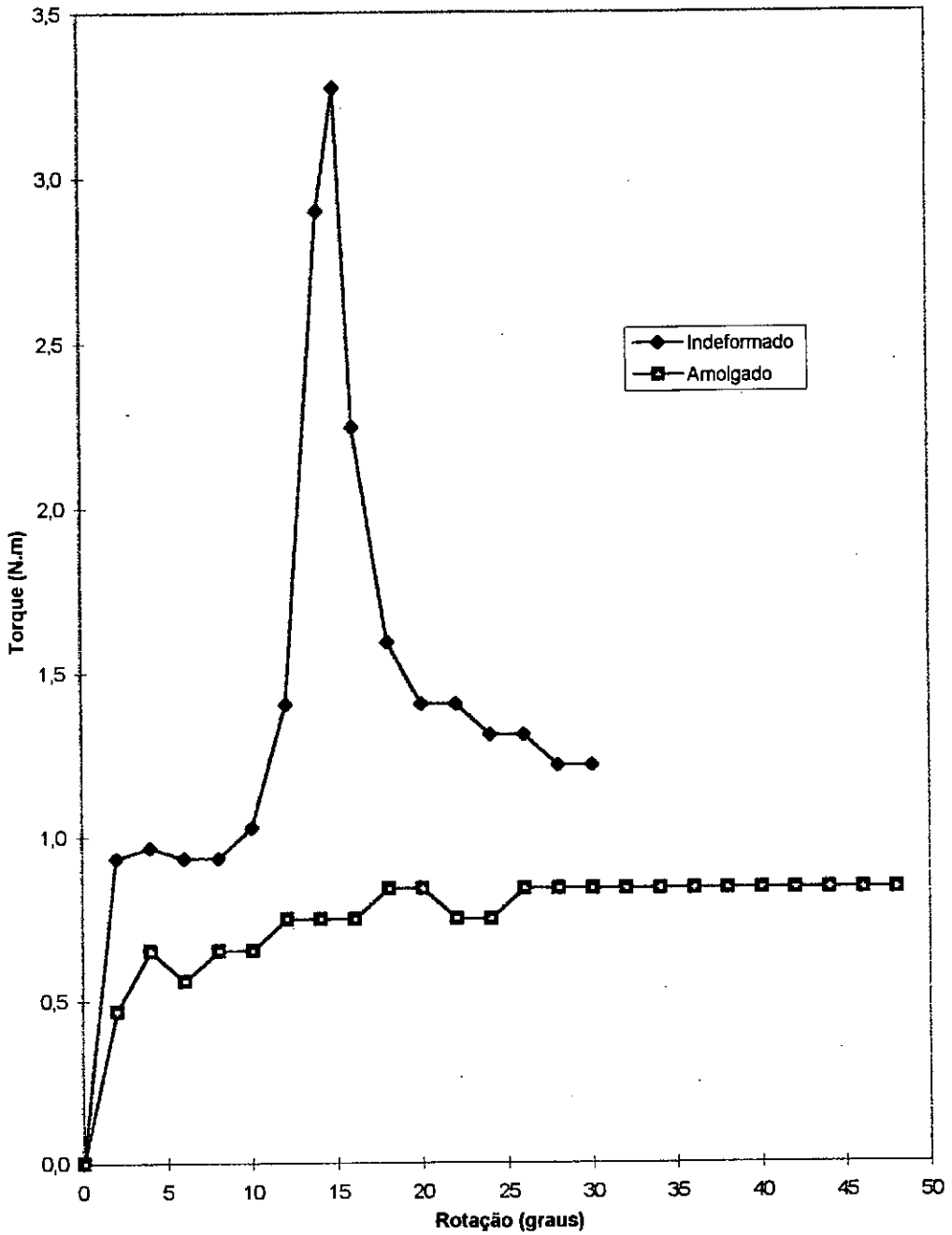
As curvas apresentadas no Apêndice A foram elaboradas de acordo com as leituras realizadas no campo, sem nenhum ajuste para apresentação. A preocupação quanto à fidelidade de apresentação das mesmas foi para que se pudesse fazer uma melhor avaliação possível entre os resultados obtidos com os dois diferentes equipamentos.

As curvas obtidas com o equipamento elétrico apresentaram em sua maioria comportamentos típicos e são de melhor qualidade que as obtidas com o equipamento Geonor. Certos comportamentos atípicos de algumas curvas do equipamento elétrico acredita-se que possam ser explicados, o que é difícil se avaliar das curvas obtidas pelo equipamento Geonor, pois estas não apresentaram um comportamento padrão.

O comportamento das curvas apresentadas pelas figuras A.1, A.14, A.15, A.44, A.52 e A.58 acredita-se ser devido ao pouco aperto dado às hastes internas, quando da colocação de mais um metro de haste para a realização do próximo ensaio. Por isso, a tendência da curva de se manter quase na horizontal por um certo período de tempo, até que, devido à rotação aplicada às hastes, as roscas sejam efetivamente apertadas. Este tipo de comportamento pode ser observado na Fig. 5.1.

Haveria outro comportamento aparentemente explicável para o aspecto das curvas apresentadas pelas figuras A.5, A.17, A.51, A.54 e A.55. Para estes ensaios a autora observou que, no momento de cravar a palheta 0,5m no solo, houve pela equipe de apoio um maior esforço, que provocou uma pequena rotação na palheta. Comportamento de curva semelhante a este também foi observado nos ensaios testes, quando a equipe de apoio provocava pequenas rotações à palheta na tentativa de fixar o equipamento, como foi mencionado no Capítulo 4.

O ensaio realizado na vertical VT2, profundidade 5m, sofreu variação na velocidade de rotação, o que explica o comportamento da curva mostrada na Fig. A.57.



Vertical C2 - prof. 2m - Equip. Elétrico

Fig. 5.1 Resultado Atípico devido ao pouco Aperto Dado às Hastes Internas

Este é outro fator que influencia os resultados dos ensaios, que, se não observado durante a execução dos mesmos, acarreta curvas de comportamento atípico, sem nenhuma explicação aparente.

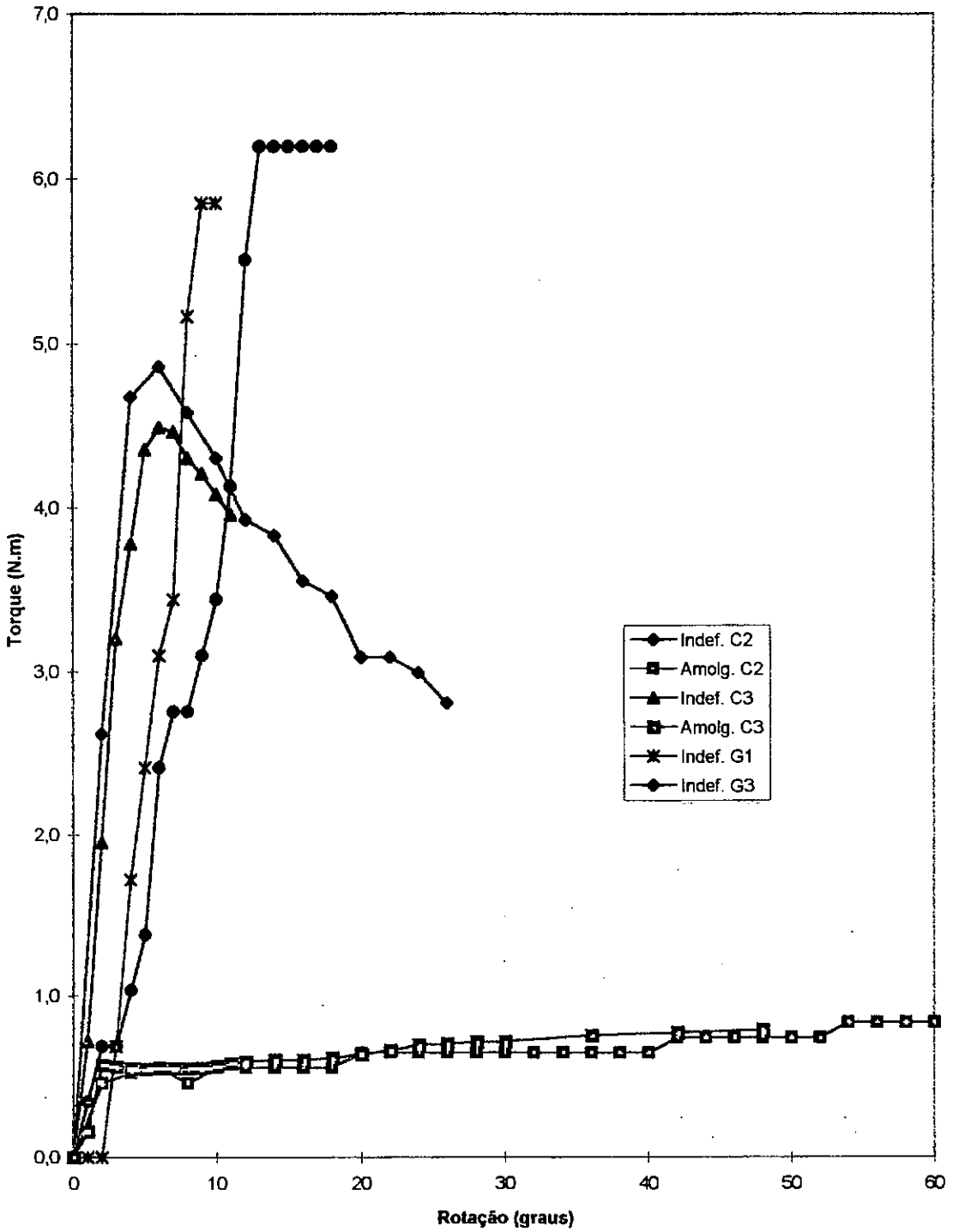
As curvas obtidas com o equipamento de palheta elétrico desenvolvido e o equipamento convencional, podem ser melhor observadas na Fig. 5.2. Esta figura apresenta curvas de torque versus rotação da palheta dos ensaios realizados nas verticais C2, C3, G1 e G3 na mesma profundidade de 4m. Uma comparação entre os resultados permite a verificação da melhor qualidade das curvas obtidas com o equipamento de palheta elétrico.

### 5.3 Comparação entre os Ângulos de Rotação para o Torque Máximo

Observa-se nas curvas de torque versus rotação, apresentadas no Apêndice A, que os ângulos de rotação para o torque máximo dos ensaios realizados com o equipamento Geonor são maiores que os realizados com o equipamento elétrico, para o caso dos ensaios executados no terreno do SENAC. Em geral, os ângulos de rotação máxima para os ensaios com o equipamento Geonor encontram-se entre  $10^\circ$  e  $35^\circ$ , com uma leve tendência a ângulos maiores com a profundidade. Tal fato causou surpresa, pois esperava-se maiores diferenças angulares com o aumento da profundidade, devido às distorções angulares provocadas nas hastes de extensão.

Para o equipamento elétrico estes resultados podem ser avaliados em dois grupos: O grupo de curvas que apresentaram boa qualidade e, portanto, um comportamento típico, onde se observa uma pequena variação nos valores dos ângulos de rotação máxima, normalmente verificados entre  $6^\circ$  e  $15^\circ$ ; e o grupo de curvas com comportamentos atípicos, onde se verifica uma variação entre  $20^\circ$  e  $35^\circ$ .

Na Fig. 5.2 pode-se observar que o ângulo de rotação para o torque máximo das curvas C2 e C3 obtidas com o equipamento elétrico é de  $6^\circ$ , enquanto que as curvas G1 e G3 obtidas com o equipamento Geonor são respectivamente  $10^\circ$  e  $16^\circ$ .



**Fig. 5.2 Comparação entre Curvas Obtidas com os Dois Tipos de Equipamento para Ensaios Realizados na mesma Profundidade**

#### 5.4 Comparação entre os Valores de $S_u$ Obtidos

A Fig.5.3 apresenta os valores de  $S_u$  com a profundidade tanto para o equipamento de palheta elétrico como para o equipamento Geonor. Observa-se que, em geral, menores valores de  $S_u$  foram obtidos com o equipamento elétrico. Acredita-se que esta diferença cresça com a profundidade, mas considera-se insuficientes a quantidade de ensaios para se fazer tal afirmação.

As Figuras 5.4 e 5.5 foram elaboradas com o objetivo de comparar os resultados de resistência não drenada obtidos durante a campanha de investigações geotécnicas realizada no terreno SENAC, em 1995, para a obtenção de parâmetros de projeto, com os resultados da primeira campanha de ensaios de palheta também realizada no terreno do SENAC, com os equipamentos de palheta elétrico e Geonor, em maio de 1996. A Fig. 5.4 consta, além dos resultados obtidos no presente estudo, de resultados de ensaios triaxiais tipo UU e de palheta de laboratório de amostras retiradas próximas aos furos de sondagens localizados na Fig.4.1. A Fig. 5.5 apresenta junto com os resultados do presente trabalho, os resultados de ensaios de palheta de campo com o equipamento Geonor realizados pela equipe da Geotécnica S/A. Para a elaboração das figuras 5.4 e 5.5, tomou-se o cuidado de descontar os 0,30m iniciais de areia lançada no terreno do SENAC quando da execução da primeira campanha de ensaios de palheta com o equipamento desenvolvido.

Comparando-se os resultados da Fig. 5.4 verifica-se uma proximidade entre os valores obtidos com os equipamentos de palheta elétrico e Geonor, utilizados na primeira campanha de ensaios, e os valores obtidos nos ensaios de laboratórios. Os resultados obtidos com o equipamento de palheta elétrico em sua grande maioria apresenta valores pouco conservativos, o que acredita-se estar relacionado a excelente qualidade dos ensaios.

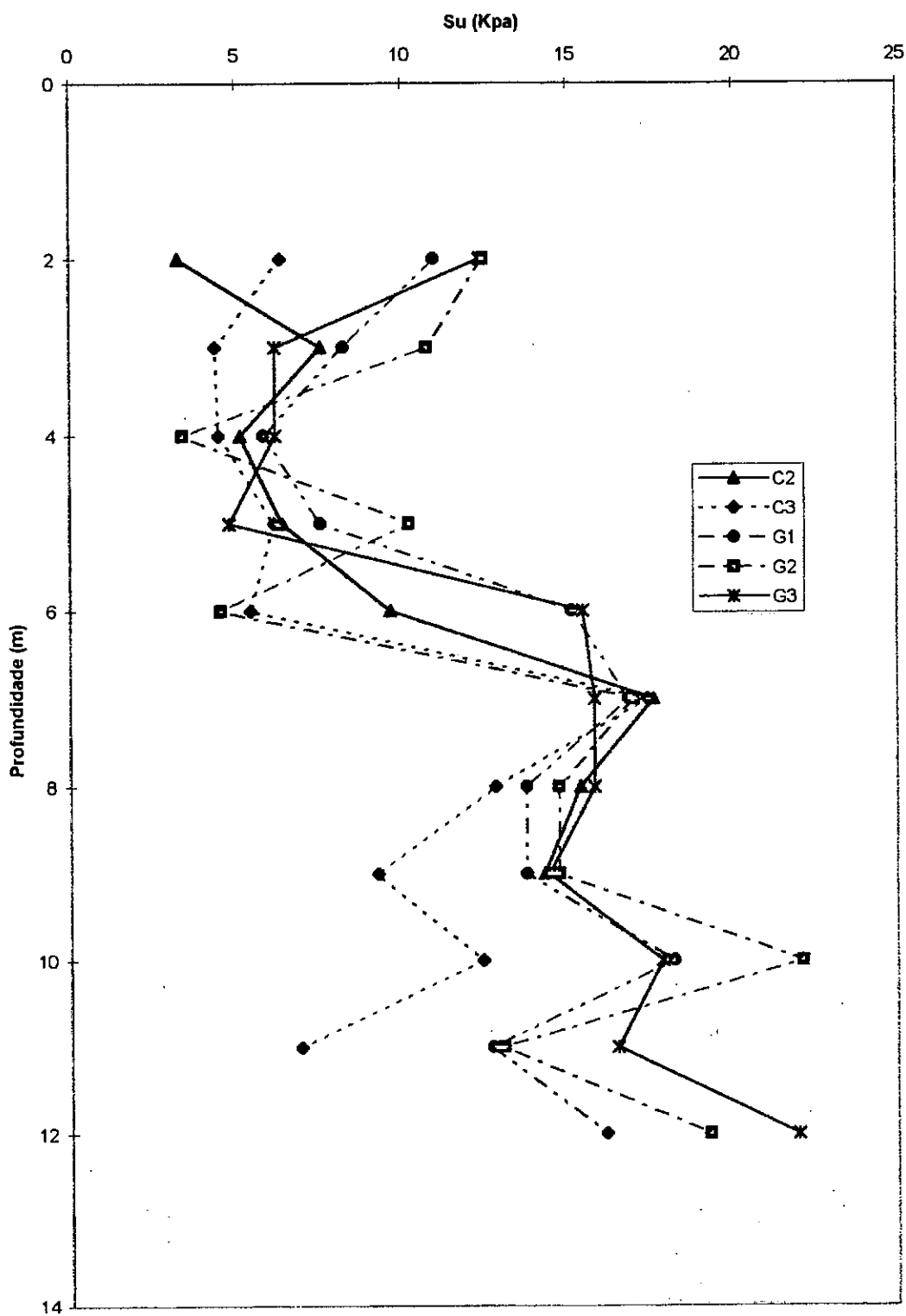
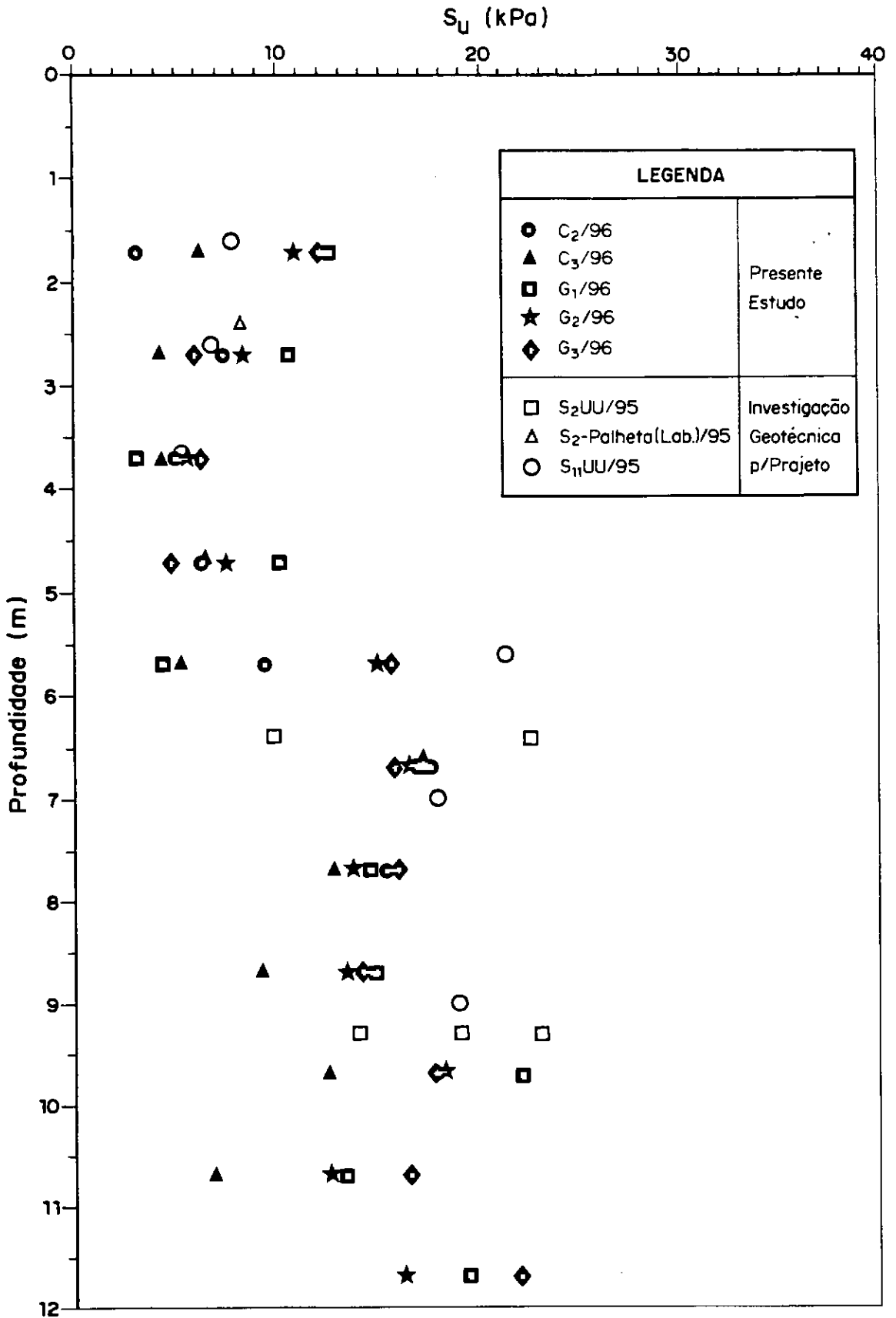
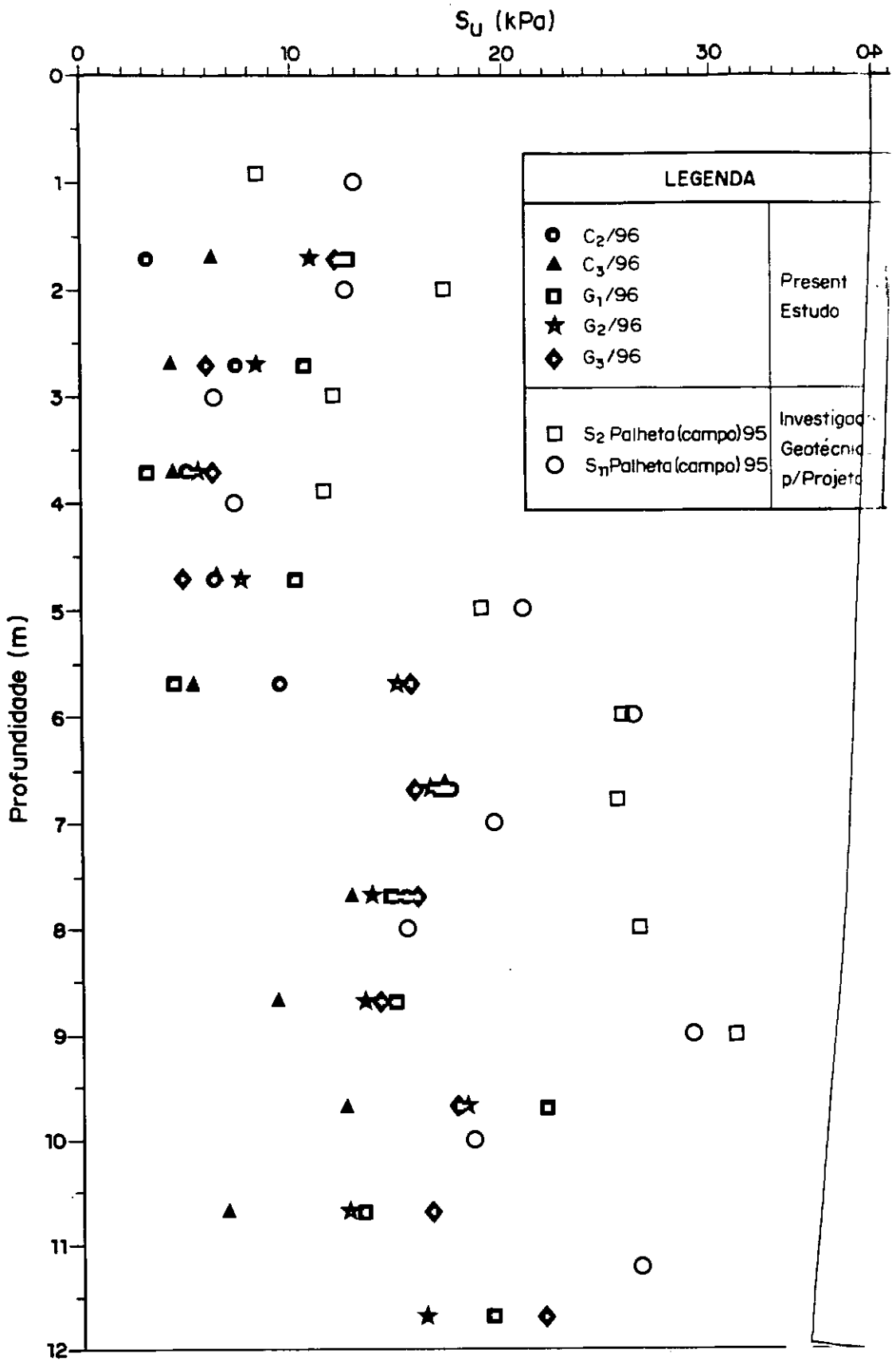


Fig. 5.3 Perfil de  $S_u$  com a Profundidade



**Fig. 5.4 Comparação dos Resultados Obtidos no Presente Estudo com Ensaios de Laboratórios de Investigações Anteriores**



**Fig. 5.5 Comparação dos Resultados Obtidos no Presente Estudo com Ensaios de Campo de Investigações Anteriores**

Observa-se na Fig. 5.5 uma dispersão nos resultados encontrados nos ensaios de palheta com o equipamento Geonor realizados durante a campanha de investigação geotécnica para projeto, principalmente os realizados nas proximidades do furo SP11, com os resultados obtidos no presente estudo. Os ensaios realizados na campanha de investigações geotécnicas para projeto foram executados pela equipe da Geotécnica S/A sem o acompanhamento da COPPE/UFRJ, o que dificulta maiores explicações quanto à dispersão dos resultados.

### **5.5 Verificação do Aumento de $S_u$ do Depósito de Argila Mole do SENAC**

A segunda campanha de ensaios realizada no terreno do SENAC quatro meses após o término da construção da primeira etapa do aterro, teve a oportunidade de verificar o aumento da resistência não drenada do depósito de argila mole. A Fig. 5.6 apresenta os valores de  $S_u$  com a profundidade obtidos nas duas campanhas de ensaios. As análises correspondentes ao ganho de resistência não fazem parte do escopo desta tese.

Observando-se a Fig. 5.6 verifica-se um considerável aumento nos valores da resistência não drenada. Nas primeiras camadas, até a profundidade aproximada de 7m, observa-se um ganho de resistência bem maior que nas camadas mais profundas, o que certamente está relacionado ao maior valor do teor de umidade verificado nestas camadas iniciais. O teor de umidade nas camadas iniciais varia de 180% (cento e oitenta por cento) até 500% (quinhentos por cento), em contraste com as camadas finais que varia de 200% (duzentos por cento) até 50% (cinquenta por cento).

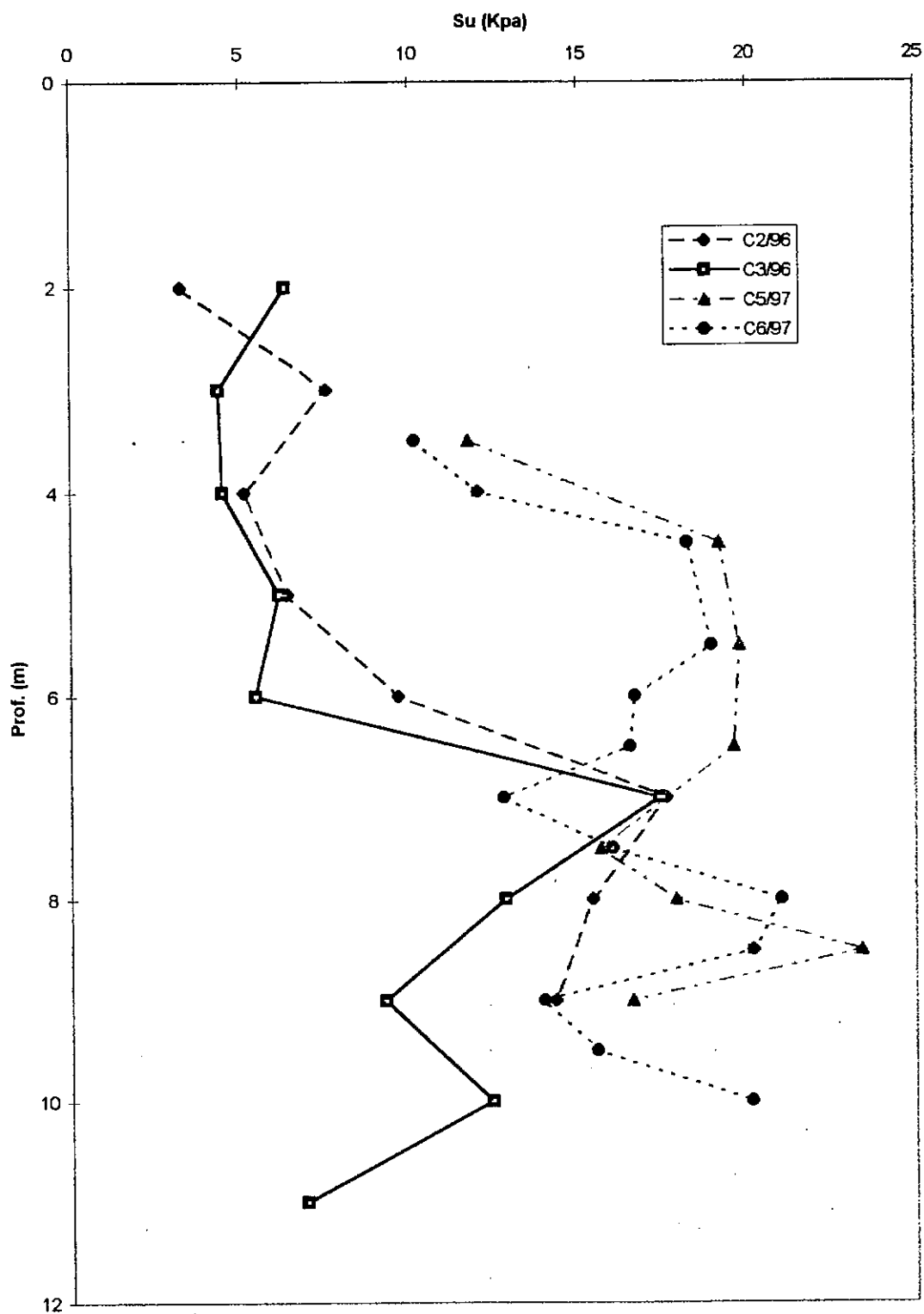


Fig. 5.6 Valores de  $S_u$  Obtidos nas Duas Campanhas SENAC

**Capítulo 6**  
**Conclusões**

## 6 CONCLUSÕES

1. Foi desenvolvido pela COPPE/UFRJ, em conjunto com a GROM e participação da UFPE, um equipamento de palheta elétrico que se encontra hoje plenamente operacional.
2. Este equipamento foi testado em quatro campanhas de ensaios: duas realizadas no terreno do SENAC e outras duas na Estação de Tratamento de Esgotos Alegria e na Cia Paraibuna de Metais, no período de maio de 1996 a dezembro de 1997.
3. A comparação dos resultados obtidos entre os dois diferentes tipos de equipamentos, o elétrico desenvolvido e o convencional, mostra que o equipamento de palheta elétrico não só apresenta valores confiáveis, como possui padrão de qualidade superior ao equipamento de palheta convencional.
4. Os ângulos de rotação para o torque máximo dos ensaios realizados com o equipamento de palheta Geonor são maiores que os obtidos com o equipamento de palheta elétrico desenvolvido. Pode-se atribuir essa diferença à deformação angular das hastes ocorrida durante os ensaios, que são incorporadas às medidas obtidas com o equipamento Geonor. Acredita-se que esta deformação angular seja tão maior quanto maior for a profundidade ensaiada. A pouca quantidade de ensaios realizada com os dois equipamentos não permite que tal afirmação possa ser feita, mas pode-se observar nos resultados obtidos uma tendência de ângulos de rotação para o torque máximo maiores com a profundidade.
5. A grande vantagem do ensaio de palheta sobre os outros métodos de campo ou laboratório para a determinação de  $S_u$  constitui-se na rapidez e no seu baixo custo. Este novo equipamento ratifica esta vantagem, por apresentar melhores resultados e ter custos e tempo de execução semelhantes ao equipamento convencional.

6. Quanto à operacionalidade do equipamento de palheta elétrico desenvolvido são as seguintes as principais conclusões:

- a) A metodologia do ensaio de palheta com este equipamento foi bem estabelecida e segue os procedimentos apresentados no Capítulo 3.
- b) Recomenda-se o uso de unidade de leitura à bateria para a maior versatilidade do equipamento.
- c) Cuidado quanto à limpeza do equipamento deve ser tomada para melhor eficiência dos ensaios.
- d) Das quatro experiências vividas atenta-se a importância de um encarregado experiente à frente da equipe de apoio, como também de pessoas que já tenham experiência para a execução do ensaio. Das quatro diferentes equipes que auxiliaram os ensaios, apenas na primeira campanha realizada no terreno do SENAC é que os integrantes da equipe tinham noção da execução do ensaio, o que garantiu o bom resultado da campanha. Isso também explica os erros repetitivos observados nas outras três campanhas seguintes, e a maior dificuldade por parte de quem orientava os ensaios objetivando bons resultados.

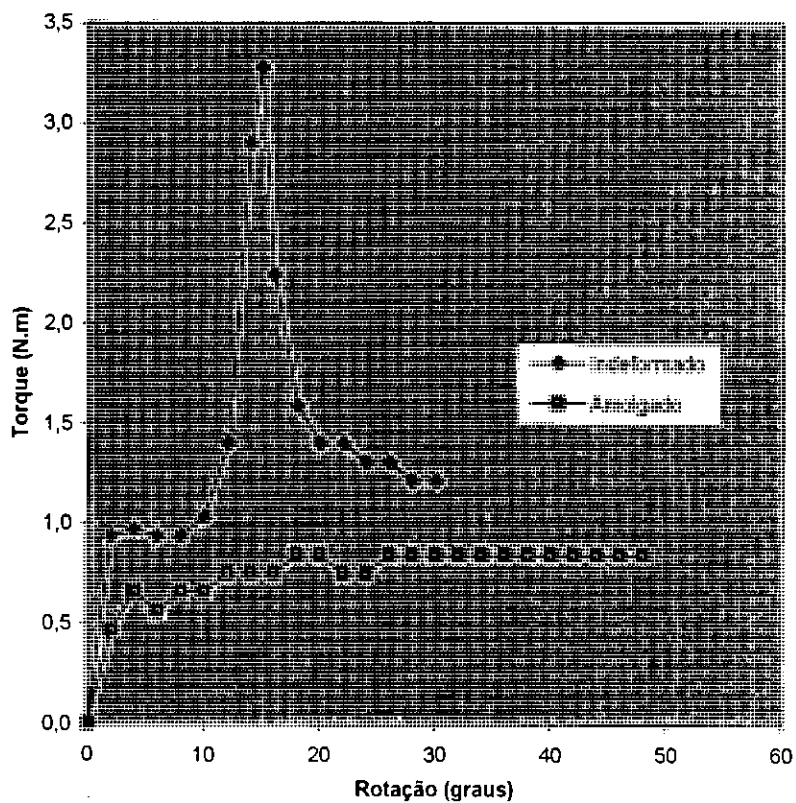
## **Referencias Bibliográficas**

- 1) AAS, G. (1965), "A Study of the Effect of Vane Shape and Rate of Strain on the Measured Values of In Situ Strength of Clays". Proc., VI ICSMFE, Montreal, Vol. 1, pp. 141-145.
- 2) ALMEIDA, M.S.S. (1984), "Stage Constructed Embankments on Soft Clays". Ph.D. Thesis, Cambridge University, UK.
- 3) ALMEIDA, M.S.S. (1995), "Engineering Properties of Regional Soils: Residual Soils and Soft Clays". Proc., X Panamerican Conference on Soil Mechanics and Foundation Engineering.
- 4) ANDRESSEN, A., BJERRUM, L. (1956), "Vane Testing in Norway". Contributions from Scandinavia. Discussion. Society for Testing Materials. Special Technical Publications, n° 193, pp. 54-60.
- 5) ANDRESSEN, A. (1981), "Exploration, Sampling and In-Situ Testing of Soft Clay". Soft Clay Engineering, Elsevier, pp. 241-308.
- 6) CADLING, L., ODENSTAD, S. (1950), "The vane borer. An Apparatus for Determining the Shear Strength of Clay Soils Directly in the Ground". Swedish Geotechnical Institute, Stockholm, Proc., No. 2.
- 7) CARLSSON, L., (1948), "Determination In Situ of the Shear Strength of Undisturbed Clay by Means of a Rotating Auger". Proc., VI ICSMFE, Vol. 1, pp. 265-270.
- 8) CHANDLER, R.J. (1988), "The In Situ Measurement of the Undrained Shear Strength of Clays Using the Field Vane". Vane Shear Strength Testing in Soils: Field and Laboratory Studies, ASTM STP 1014, A. F. Richards, Ed., American Society for Testing and Materials, Philadelphia, pp. 13-44.

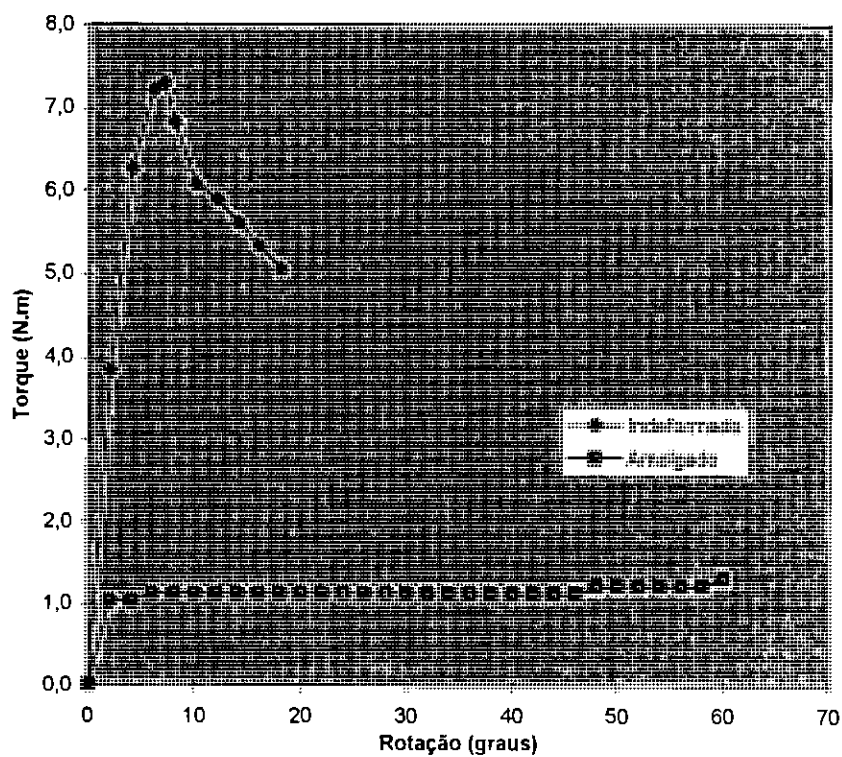
- 9) CHEAH, H. (1981), "Site Investigation Techniques for Laboratory Soil Models". Master of Philosophy Thesis, Cambridge University, England.
- 10) COLLET, H. B. (1978), "Ensaio de Palheta de Campo em Argilas Moles da Baixada Fluminense". Tese M.Sc., COPPE/UFRJ.
- 11) DAVIES, M.C.R., ALMEIDA, M.S.S., PARRY, R.H.G. (1989), "Studies with Centrifuge Vane and Penetrometer in a Normal Gravity Field". ASTM Geotechnical Testing Journal, Vol. 12, N° 3.
- 12) DONALD, I.B., JORDAN, D.O, PARKER, R.J., TOH, C.T. (1977), "The Vane Test - A Critical Appraisal". Proc., IX ICSMFE, Vol. 1, pp.81-88.
- 13) FLODIN, N., BROMS, B. (1981), "Historical Development of Civil Engineering in Soft Clay". Soft Clay Engineering, Elsevier, pp. 27-156.
- 14) HVORSLEV, M.J. (1949), "Subsurface Exploration and Sampling of Soils for Civil Engineering Purposes". U.S. Army Waterways Expt. Sta., Vicksburg, Miss., 521 pp.
- 15) LA ROCHELLE, P., ROY, M., TAVENAS, F. (1973), "Field Measurements of Cohesion in Champlain Clays". Proc., VII ICSMFE, Moscow, Vol. 1, pp. 229-236.
- 16) LEMASSON, H. (1973), "Ensemble Carottier à Piston Stationnaire, Scissometre". Remblais sur Sols Compressibles Spécial T - Laboratoire des Ponts et Chaussées, pp. 276-281.
- 17) MENZIES, B. K., MERRIFIELD, C.M. (1980), Geotechnique, Vol. 30, pp. 314-318.
- 18) NBR - 10905 (1989), Ensaio de Palheta In Situ.

- 19) ORTIGÃO, J.A.R., COLLET, H.B. (1986), "A Eliminação de Erros de Atrito em Ensaios de Palheta". Solos e Rochas, Vol. 9, Nº 2, pp. 33-45.
- 20) ROY, M., LEBLANC, A. (1988), "Factors Affecting the Measurements and Interpretation of the Vane Strength in Soft Sensitive Clays". Vane Shear Strength Testing in Soils: Field and Laboratory Studies, ASTM STP 1014, A. F. Richards, Ed., American Society for Testing and Materials, Philadelphia, pp. 117-128.
- 21) SKEMPTON, A.W. (1948), "Vane Tests in the Alluvial Plain of the River Forth near Grangemouth". Geotechnique, Vol. 1, pp. 11-124.
- 22) SMITH, A.H.V. (1945), "Some Preliminary Trials with the Army Operational Research Group Vane Apparatus".
- 23) TORSTENSSON, B.A. (1977), "Time-Dependent Effects in the Field Vane Test". Proc., International Symposium on Soft Clay, Bangkok, pp. 387-397.
- 24) VEY, E., SCHLESSINGER, L. (1949), "Soil Shear Tests by Means of Rotating Vanes". Proc., XXIX Annual Meeting, Highway Research Board, pp. 544-553.
- 25) WIESEL, C.E. (1973), "Some Factors Influencing In Situ Vane Test Results". Proc., VIII ICSMFE, Moscow, Vol. 1.2, pp. 475-479.
- 26) WROTH, P. (1984), "The Interpretation of In Situ Soils Tests". Geotechnique, Vol. 34, Nº 4, pp. 449-489.

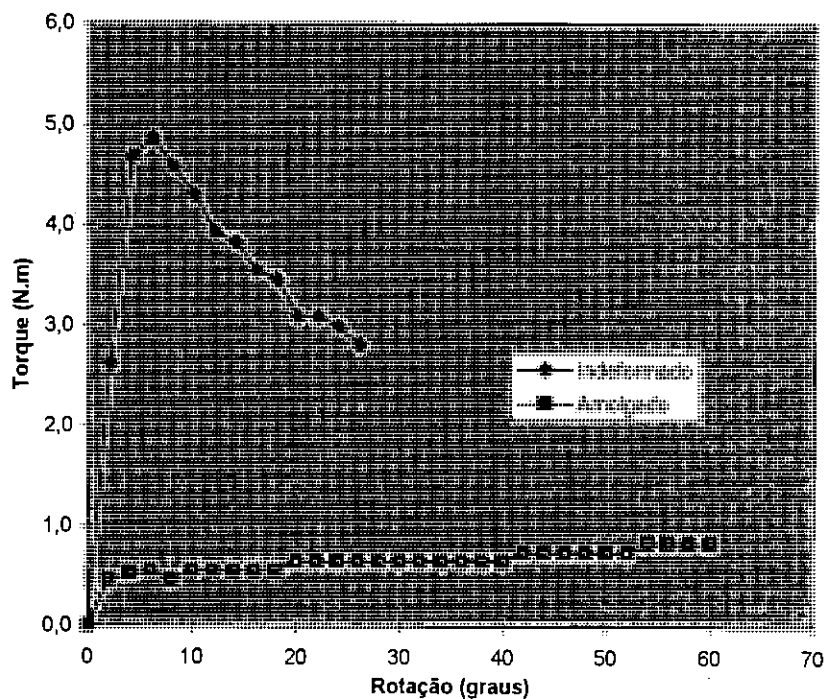
**APÊNDICE A**



Curva torque versus rotação para prof. 2,0m - equip. COPPE / UFRJ  
1a campanha Senac  
FIG.A.1 - Vertical C2

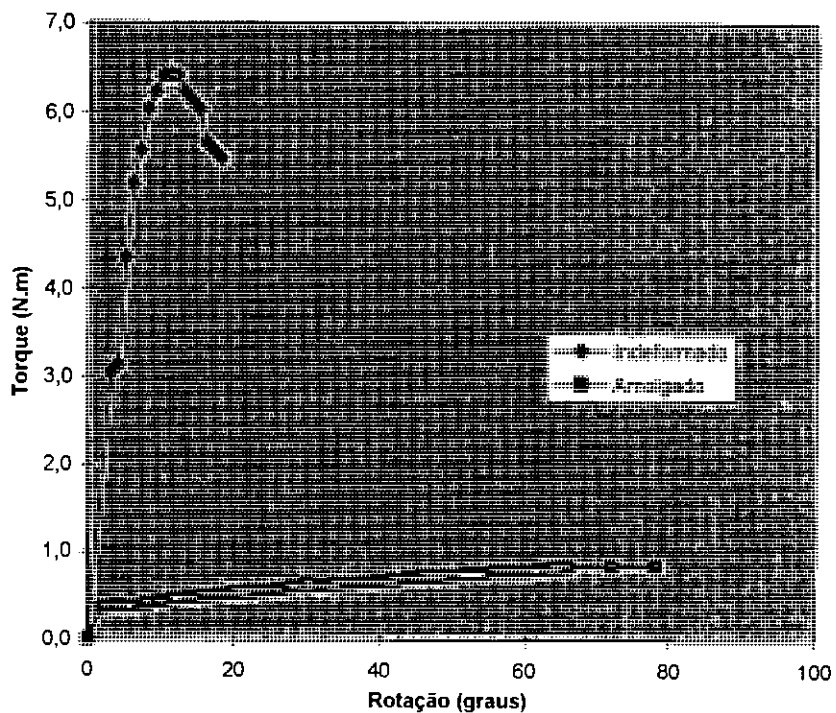


Curva torque versus rotação para prof. 3,0m - equip. COPPE / UFRJ  
1a campanha Senac  
FIG.A.2 - Vertical C2



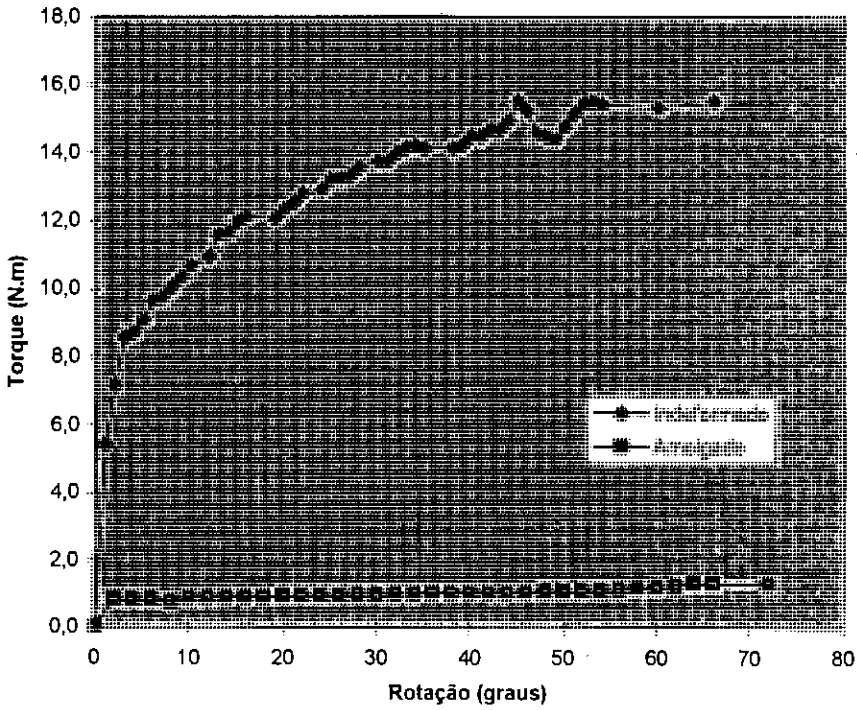
Curva torque versus rotação para prof. 4,0m - equip. COPPE / UFRJ  
1a campanha Senac

FIG.A.3 - Vertical C2



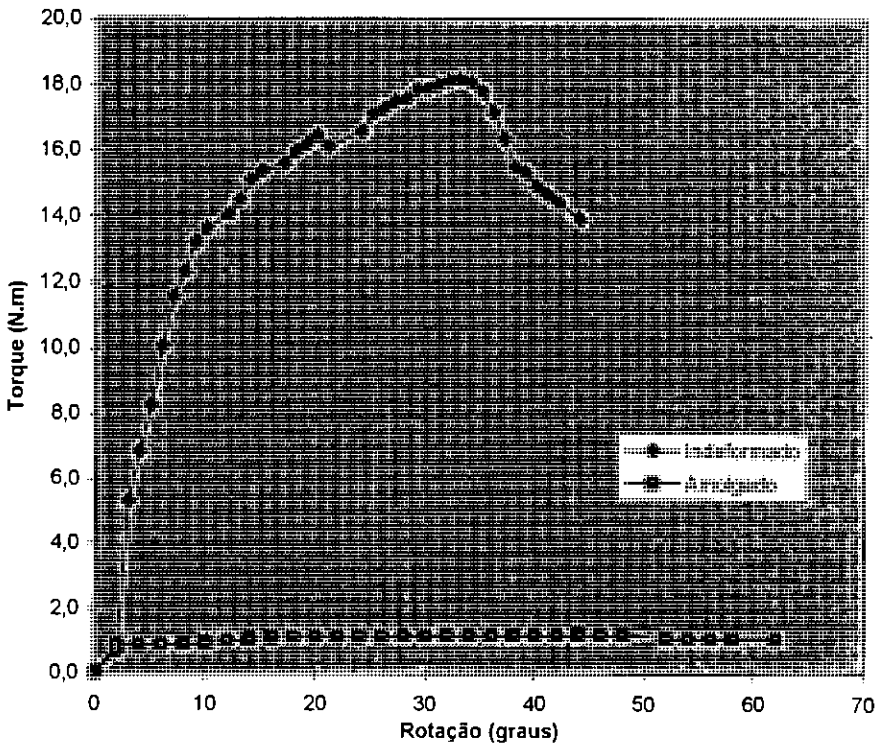
Curva torque versus rotação para prof. 5,0m - equip. COPPE / UFRJ  
1a campanha Senac

FIG.A.4 - Vertical C2



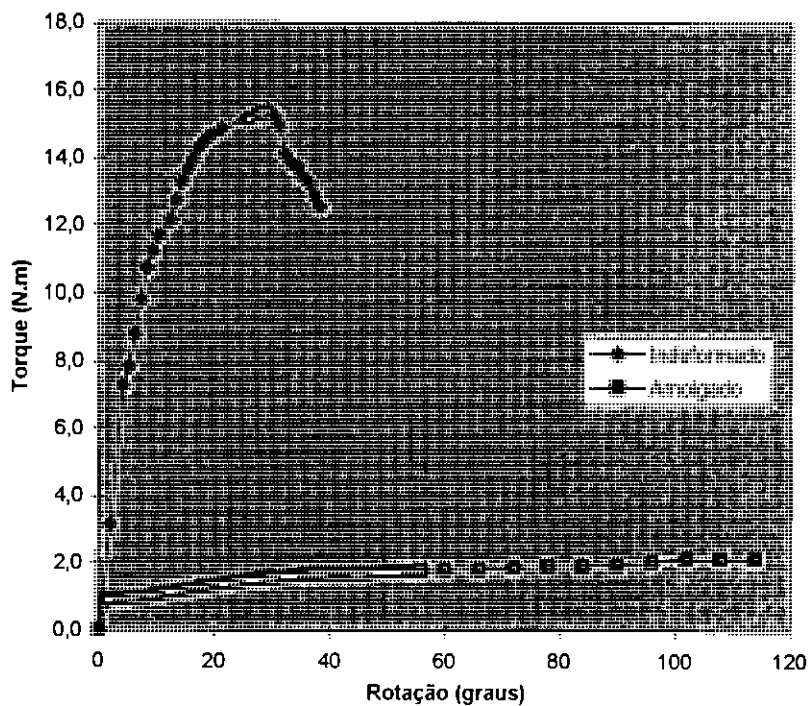
Curva torque versus rotação para prof. 6,0m - equip. COPPE / UFRJ  
1a campanha Senac

FIG.A.5 - Vertical C2



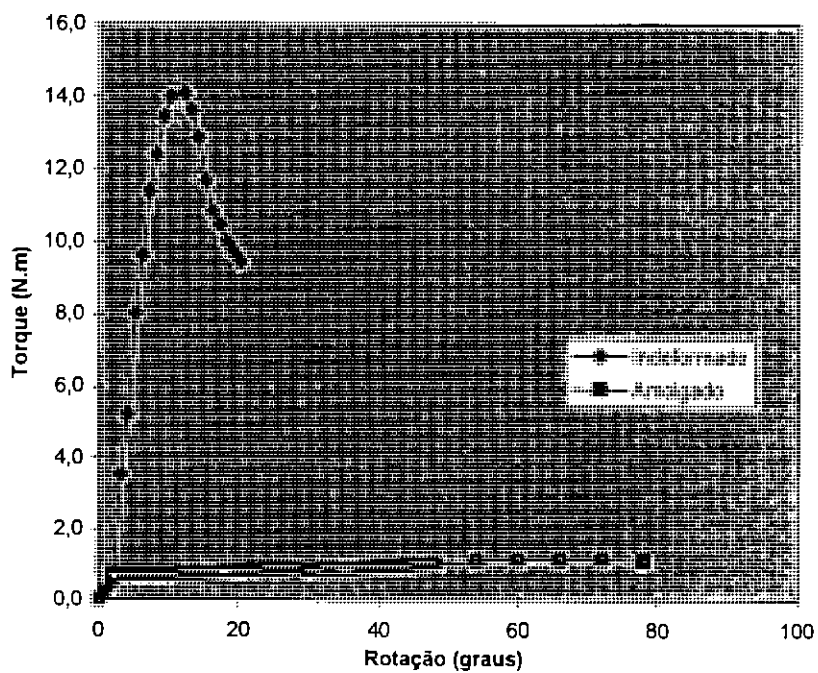
Curva torque versus rotação para prof. 7,0m - equip. COPPE / UFRJ  
1a campanha Senac

FIG.A.6 - Vertical C2



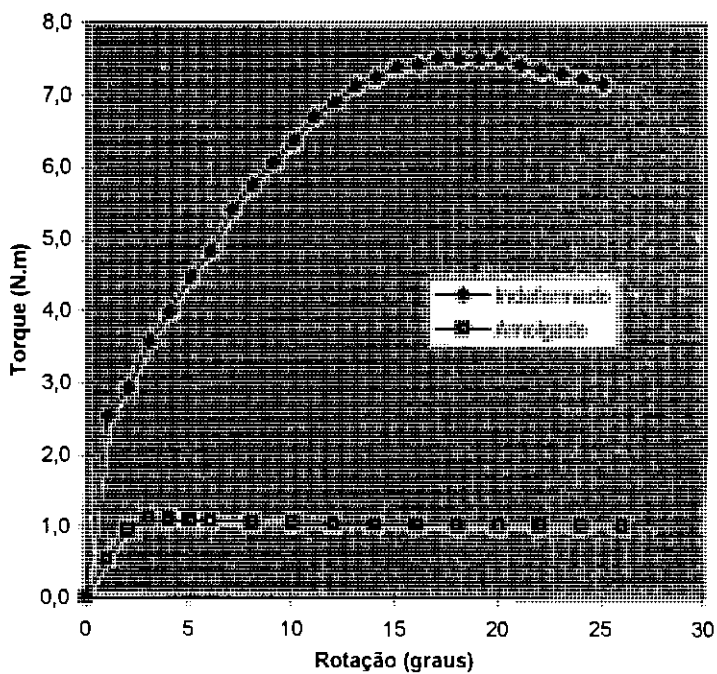
Curva torque versus rotação para prof. 8,0m - equip. COPPE / UFRJ  
1a campanha Senac

FIG.A.7 - Vertical C2



Curva torque versus rotação para prof. 9,0m - equip. COPPE / UFRJ  
1a campanha Senac

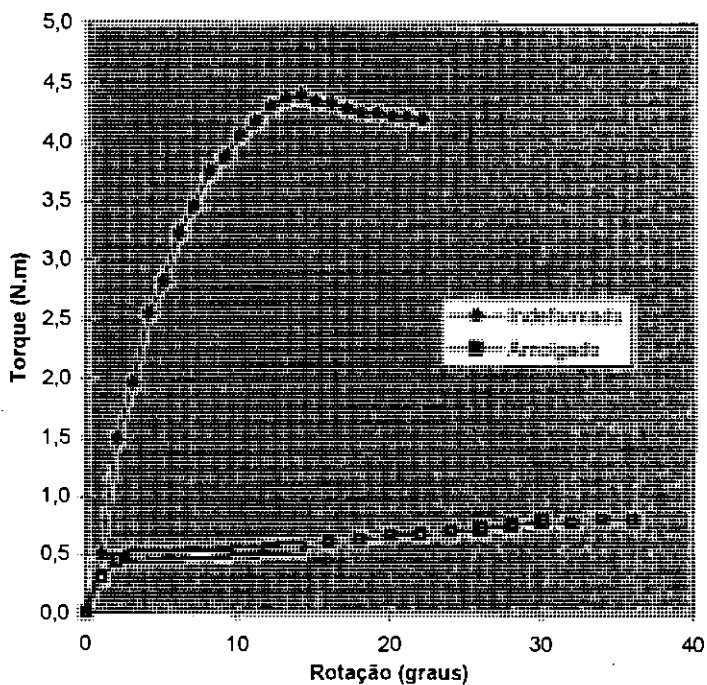
FIG.A.8 - Vertical C2



Curva Torque versus Rotação - Prof. 2m -Equip. COPPE / UFRJ

1a campanha Senac

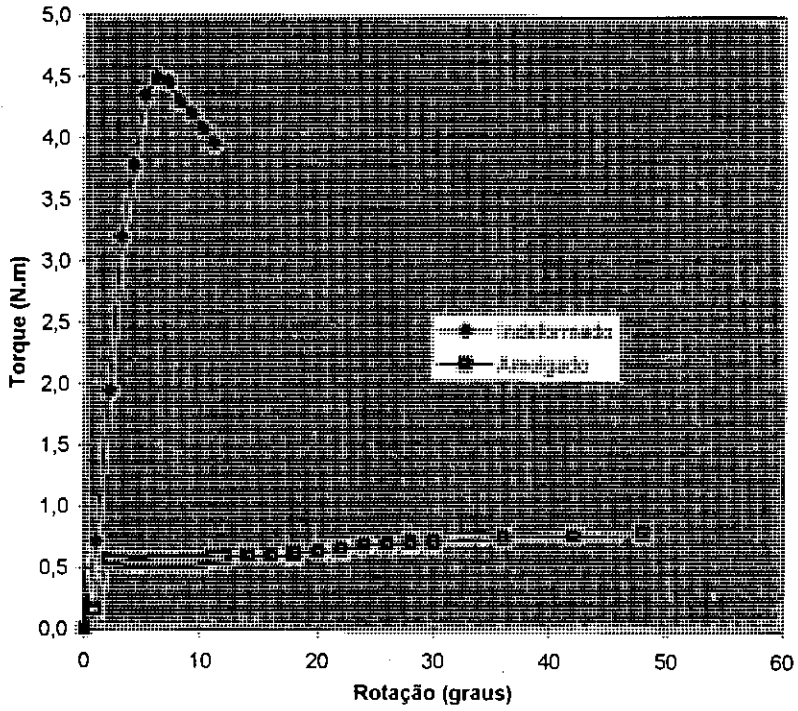
FIG.A.9 - Vertical C3



Curva Torque versus Rotação - prof. 3m - Equip. COPPE / UFRJ.

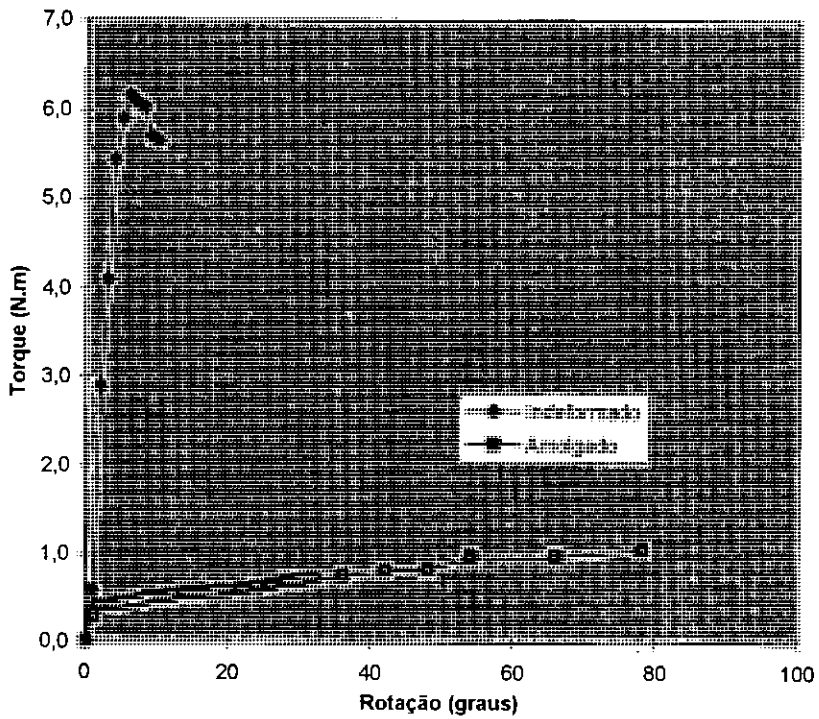
1a campanha Senac

FIG.A.10 - Vertical C3



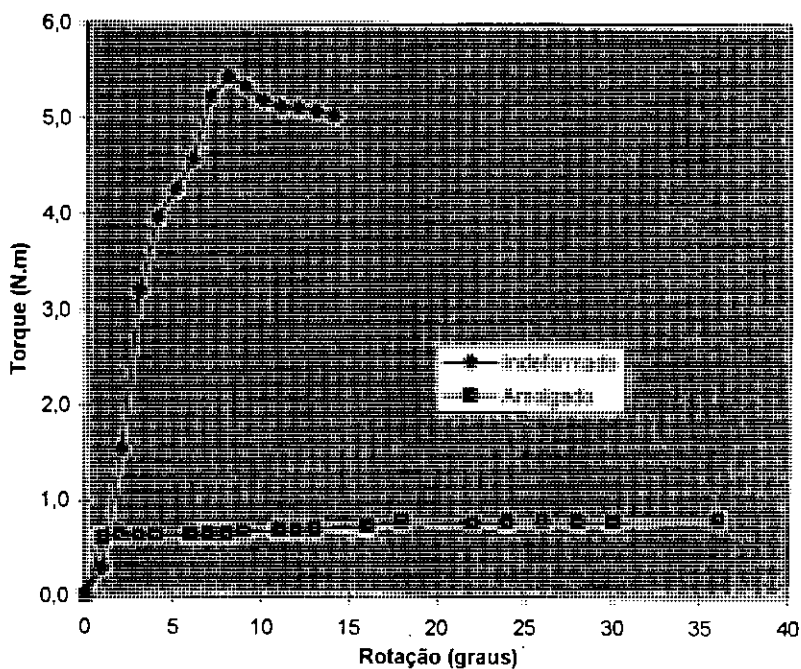
Curva torque versus rotação para prof. 4,0m - equip. COPPE / UFRJ  
1a campanha Senac

FIG.A.11 - FURO C3



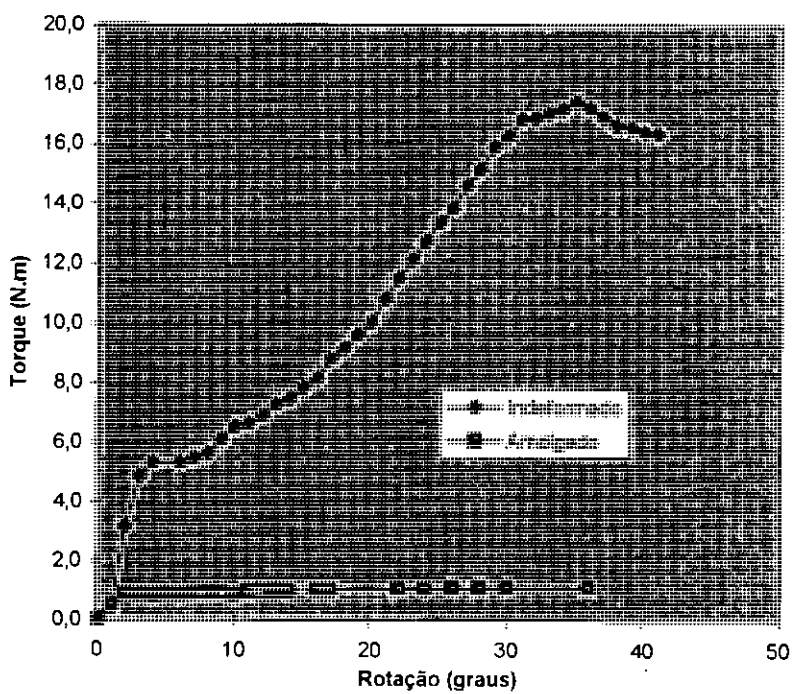
Curva torque versus rotação para prof. 5,0m - equip. COPPE / UFRJ  
1a campanha Senac

FIG.A.12 - Vertical C3



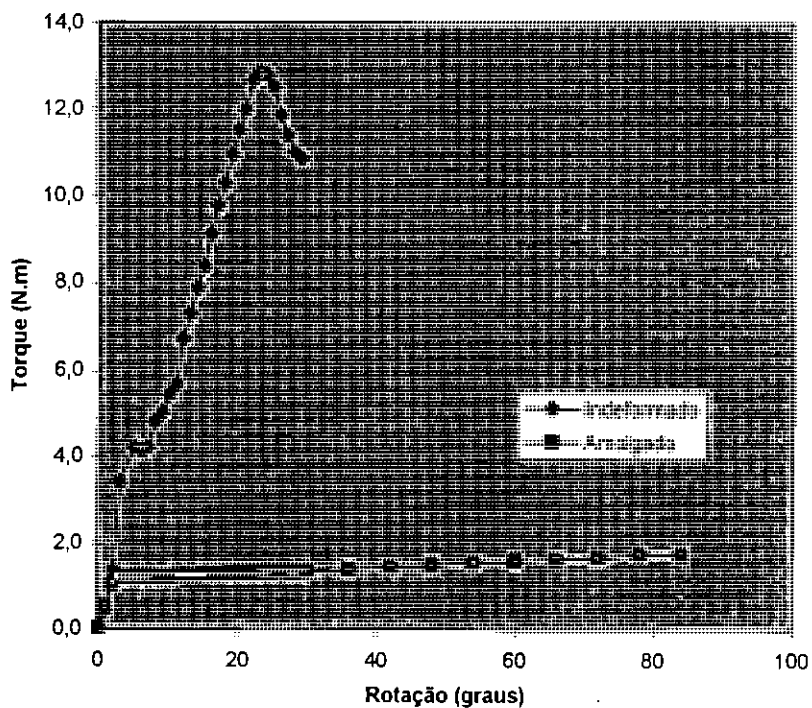
Curva torque versus rotação para prof. 6,0m - equip. COPPE / UFRJ  
1a campanha Senac

FIG.A.13 - Vertical C3



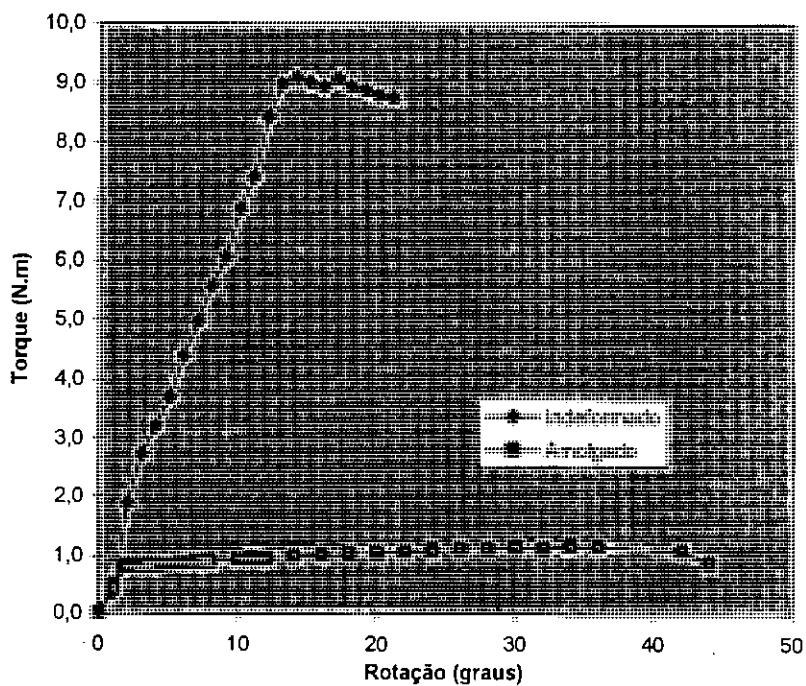
Curva torque versus rotação para prof. 7,0m - equip. COPPE / UFRJ  
1a campanha Senac

FIG.A.14 - Vertical C3



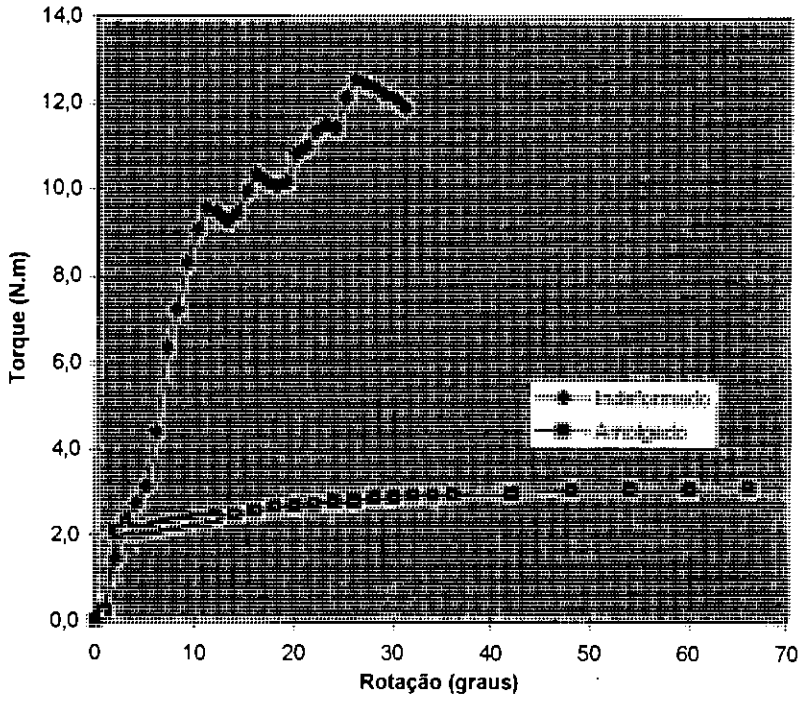
Curva torque versus rotação para prof. 8,0m - equip. COPPE / UFRJ  
1a campanha Senac

**FIG.A.15 - Vertical C3**



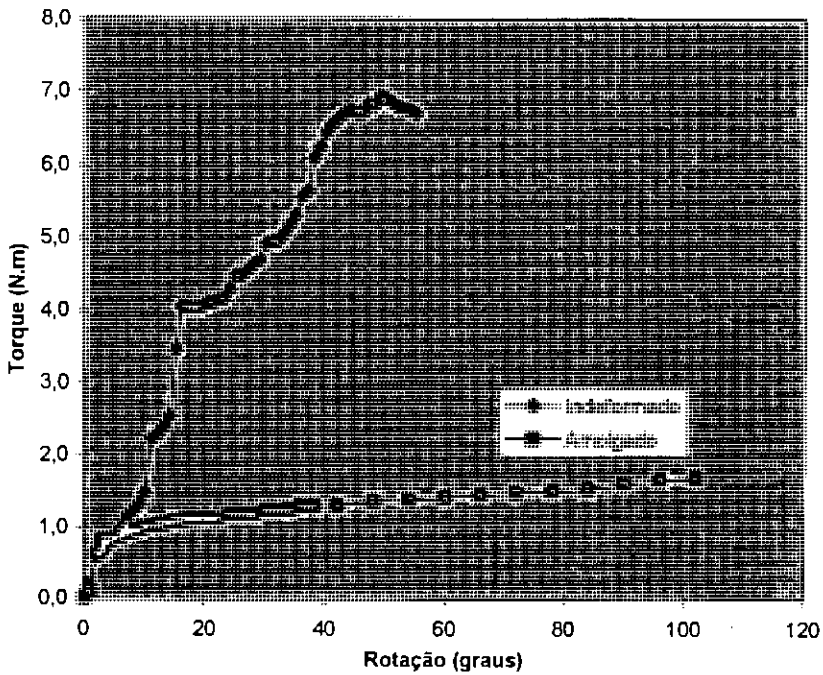
Curva torque versus rotação para prof. 9,0m - equip. COPPE / UFRJ  
1a campanha Senac

**FIG.A.16 - Vertical C3**



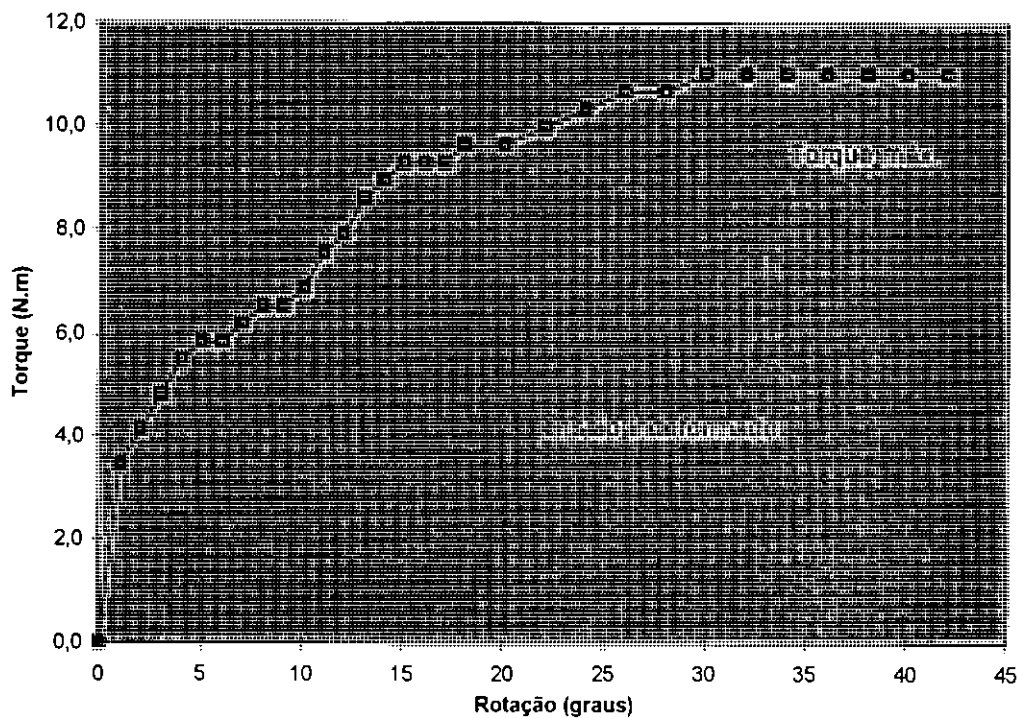
Curva torque versus rotação para prof. 10,0m - equip. COPPE / UFRJ  
1a campanha Senac

FIG.A.17 - Vertical C3



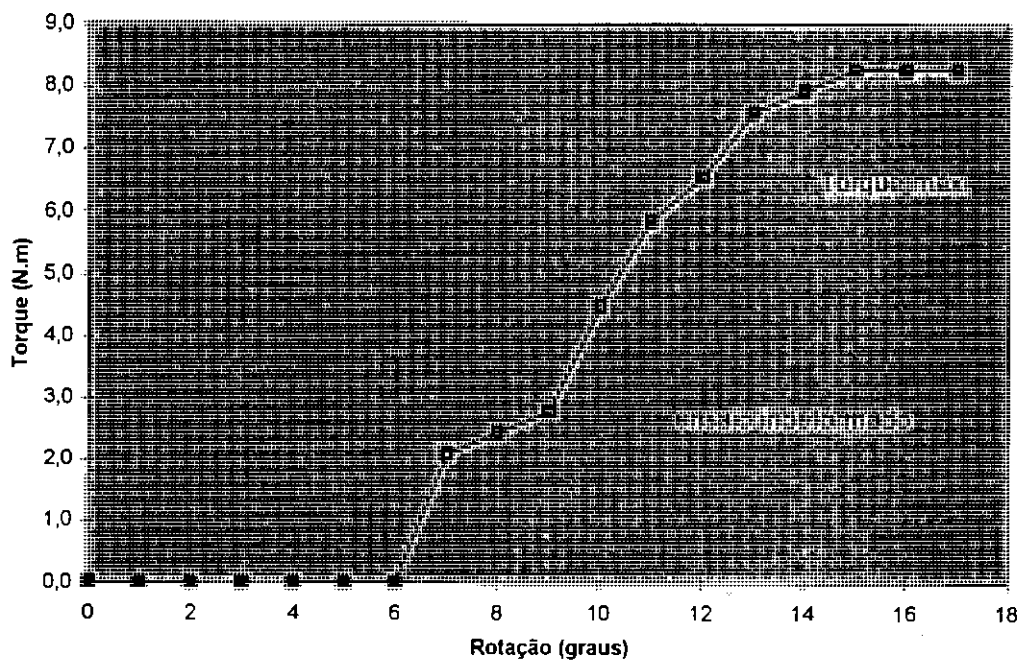
Curva Torque versus rotação para prof. 11,0m - equip. COPPE /  
UFRJ

FIG.A.18 - Vertical C3



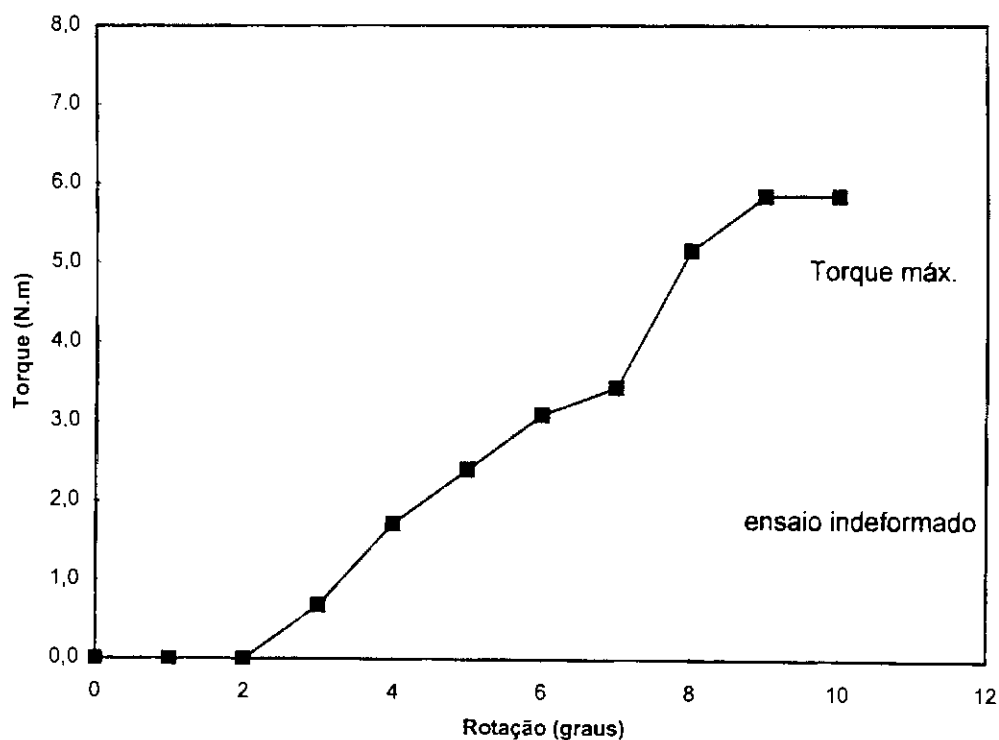
Curva toque versus rotação para prof. 2,0m - equip. Geonor  
1a campanha Senac

**FIG.A.19 - Vertical G1**



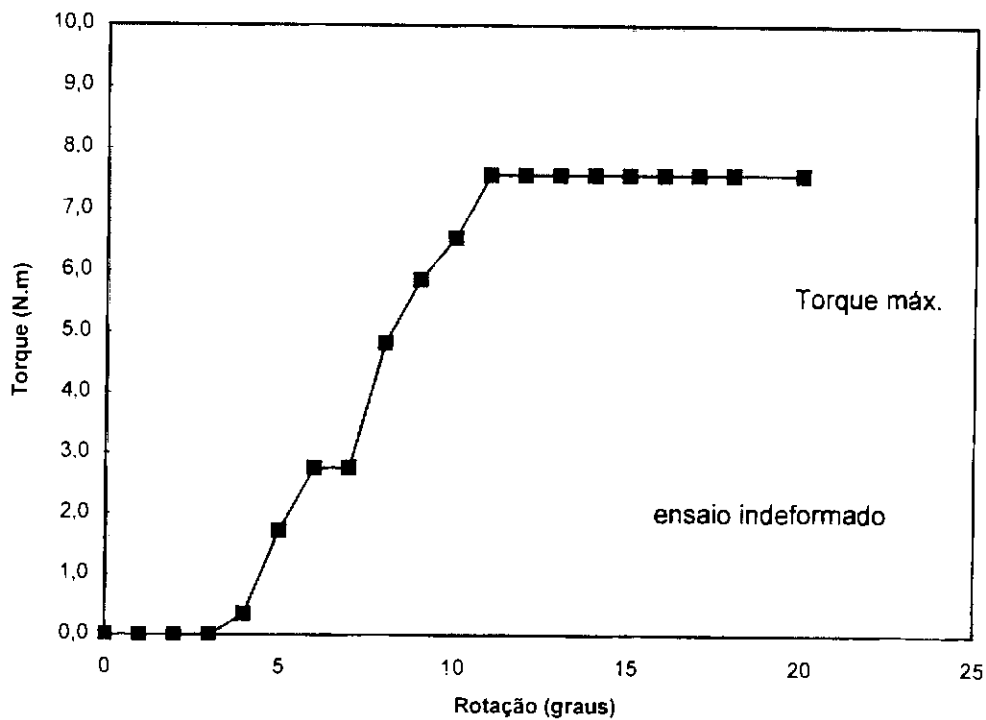
Curva torque versus rotação para prof. 3,0m - equip. Geonor  
1a campanha Senac

**FIG.A.20 - Vertical G1**



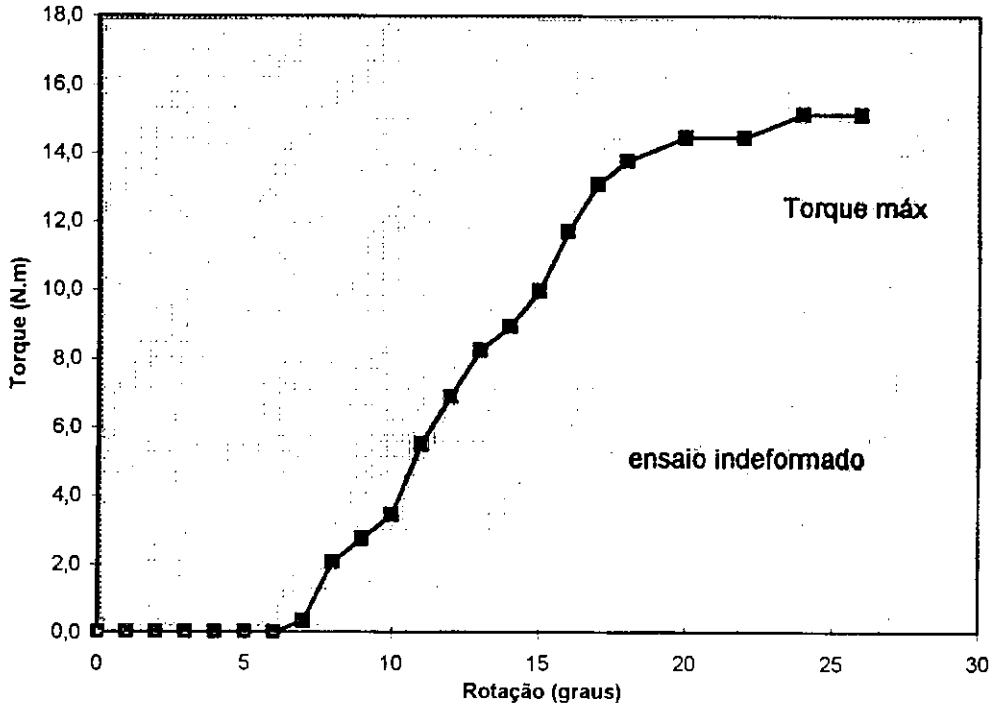
Curva torque - rotação para prof. 4,0m - equip. Geonor  
1a campanha Senac-Barra

**FIG.A21 - FURO G1**

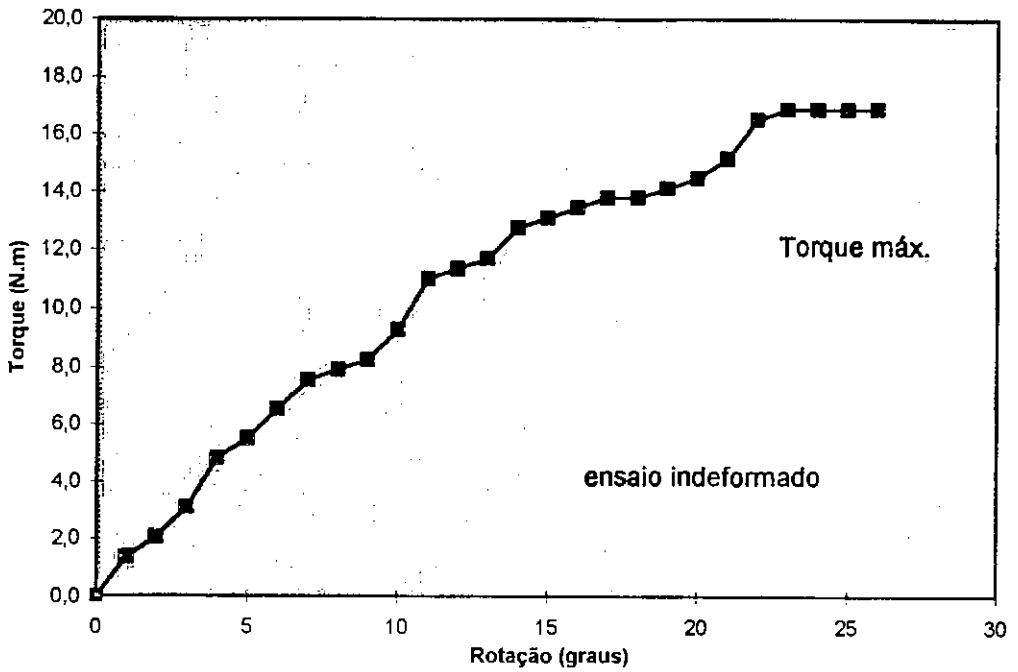


Curva torque - rotação para prof. 5,0m - equip. Geonor  
1a campanha Senac-Barra

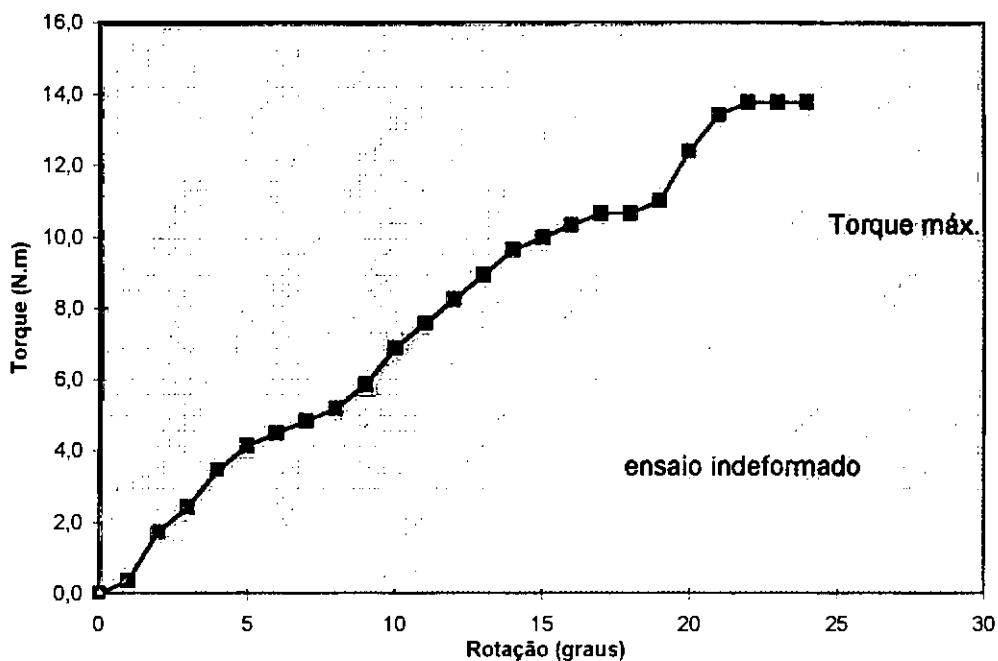
**FIG.A22 - FURO G1**



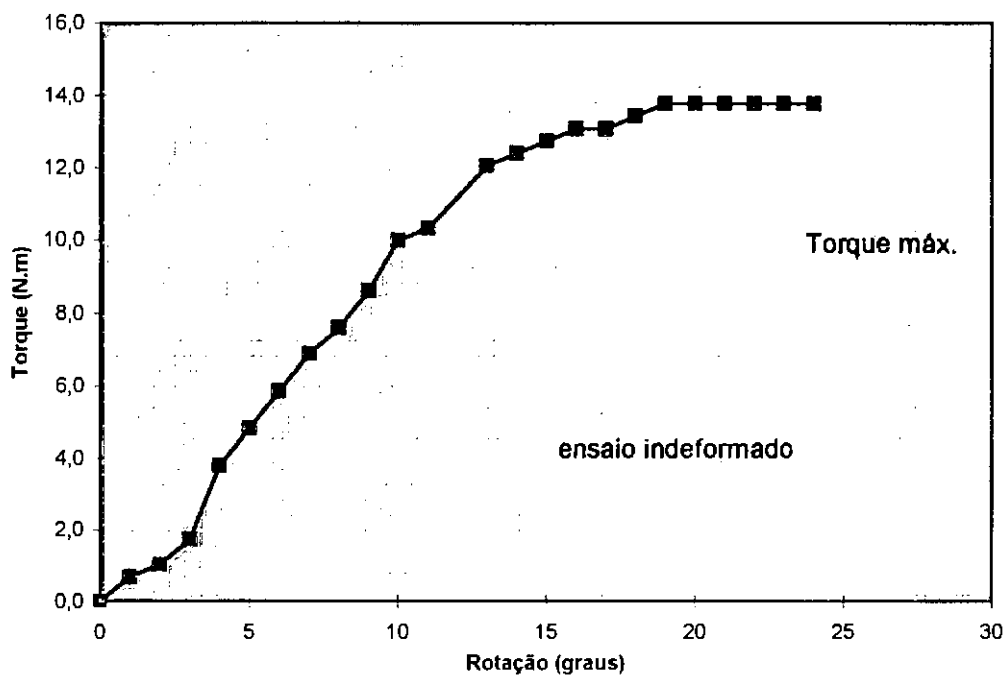
Curva torque versus rotação para prof. 6,0m - equip. Geonor  
1a campanha Senac  
FIG.A.23 - Vertical G1



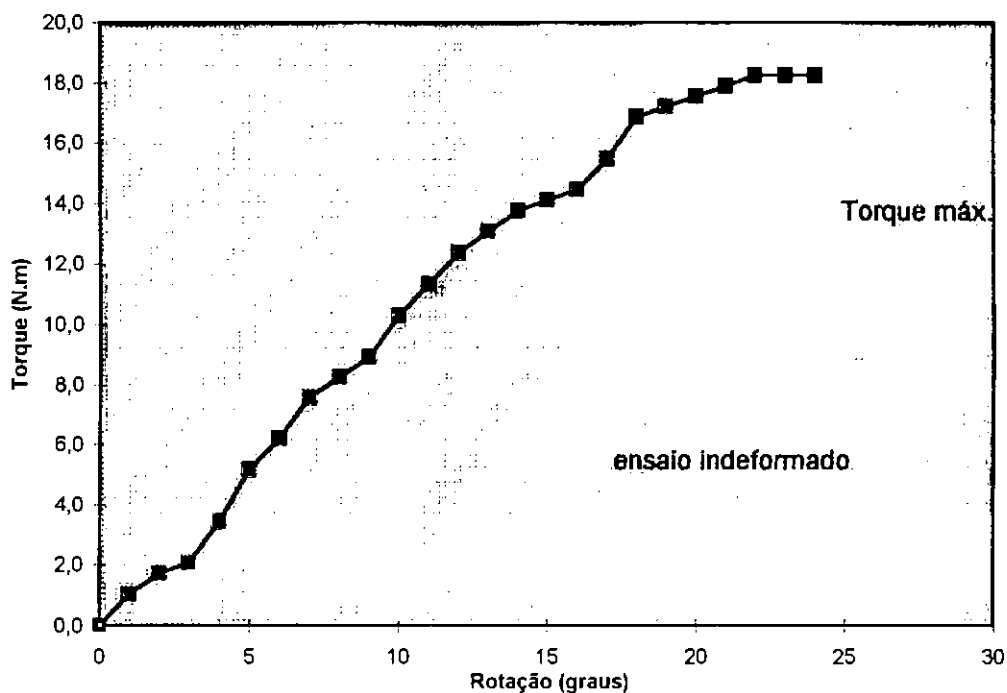
Curva torque versus rotação para prof. 7,0m - equip. Geonor  
1a campanha Senac  
FIG.A.24 - Vertical G1



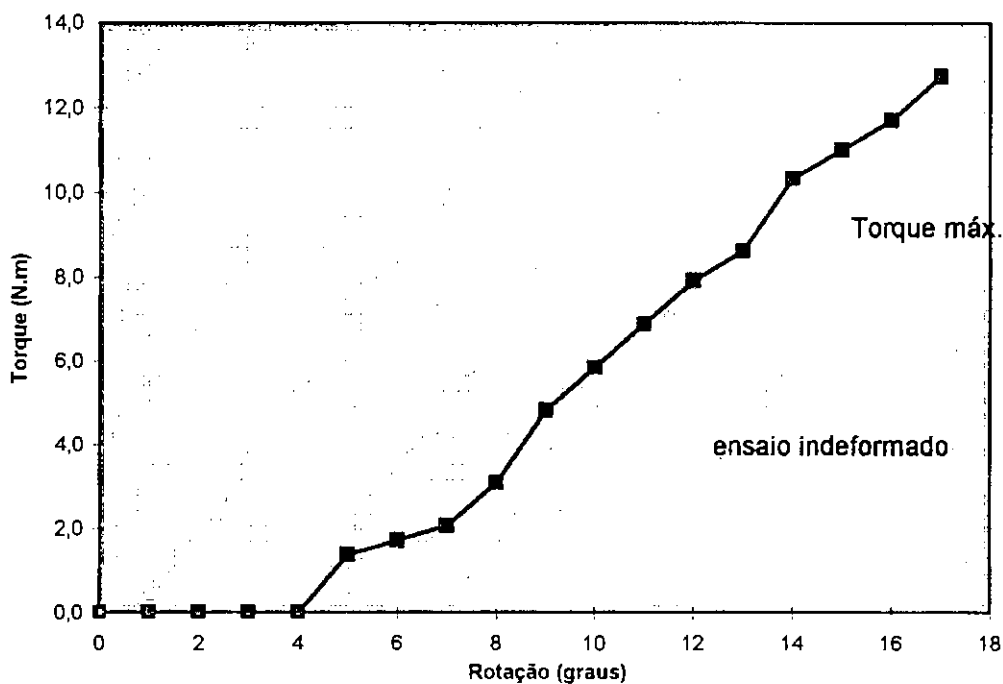
Curva torque versus rotação para prof. 8,0m - equip. Geonor  
1a campanha Senac  
FIG.A.25 - Vertical G1



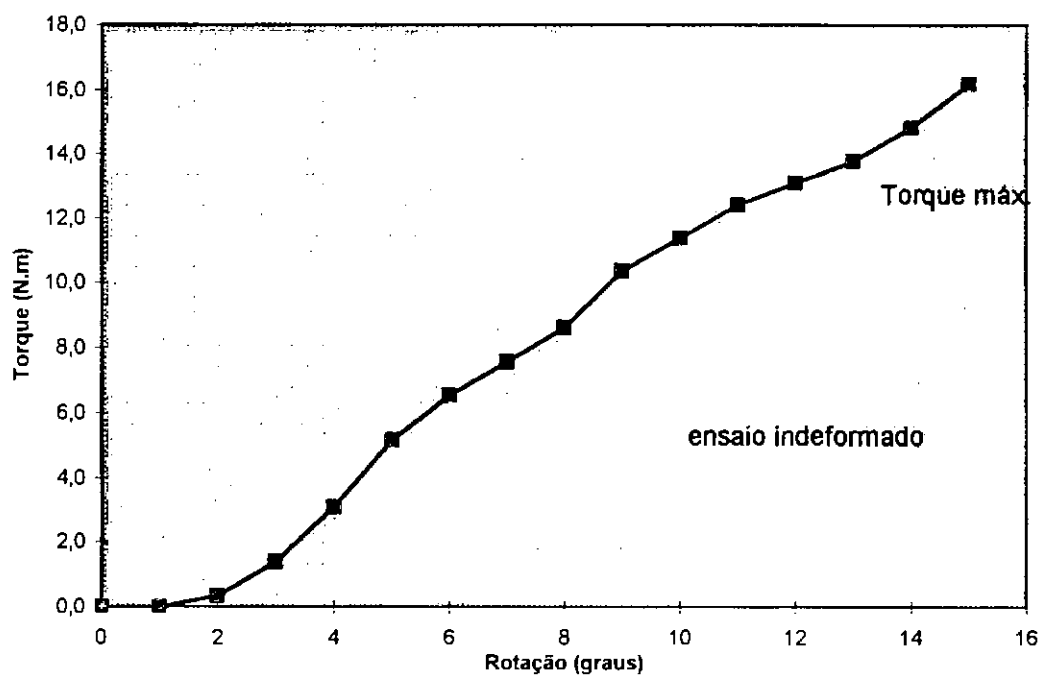
Curva torque versus rotação para prof. 9,0m - equip. Geonor  
1a campanha Senac-Barra  
FIG.A.26 - Vertical G1



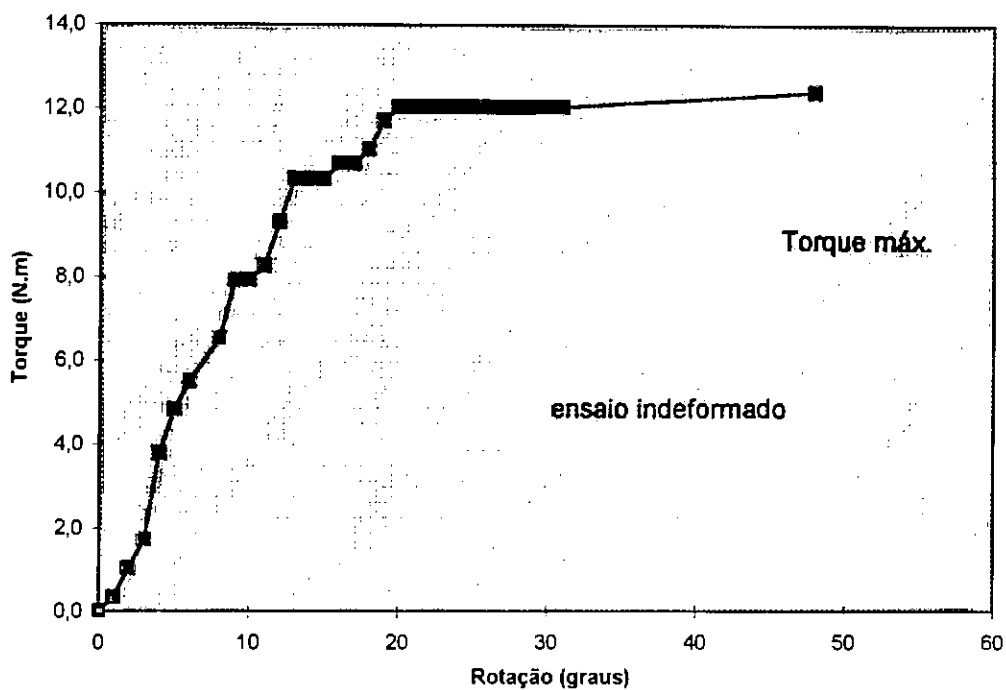
Curva torque versus rotação para prof. 10,0m - equip. Geonor  
1a campanha Senac  
FIG.A.27 - Vertical G1



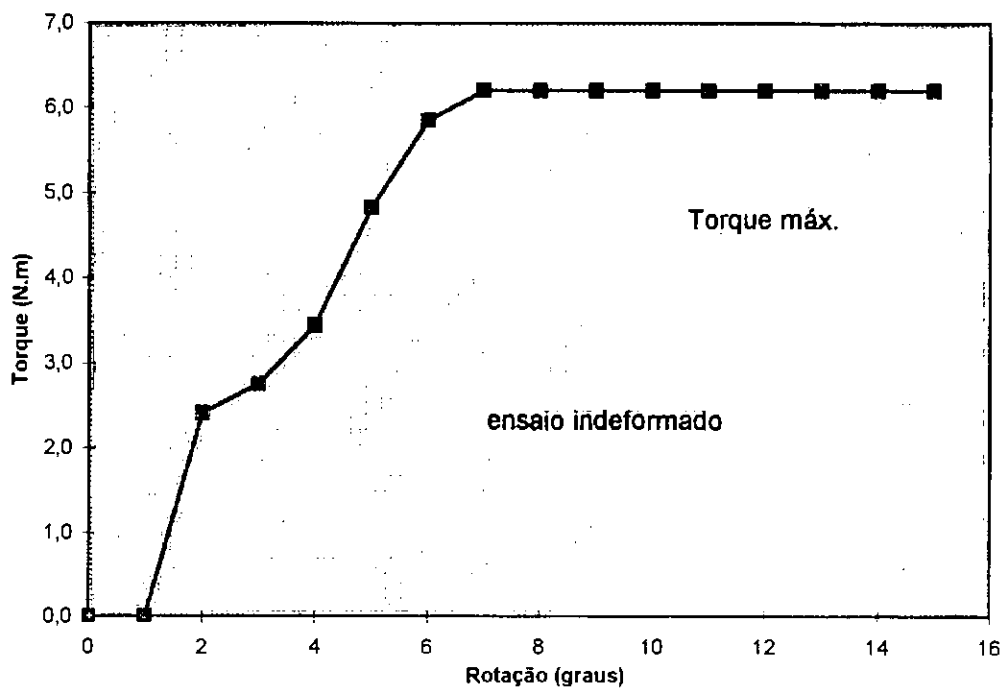
Curva torque versus rotação para prof. 11,0m - equip. Geonor  
1a campanha Senac  
FIG.A.28 - Vertical G1



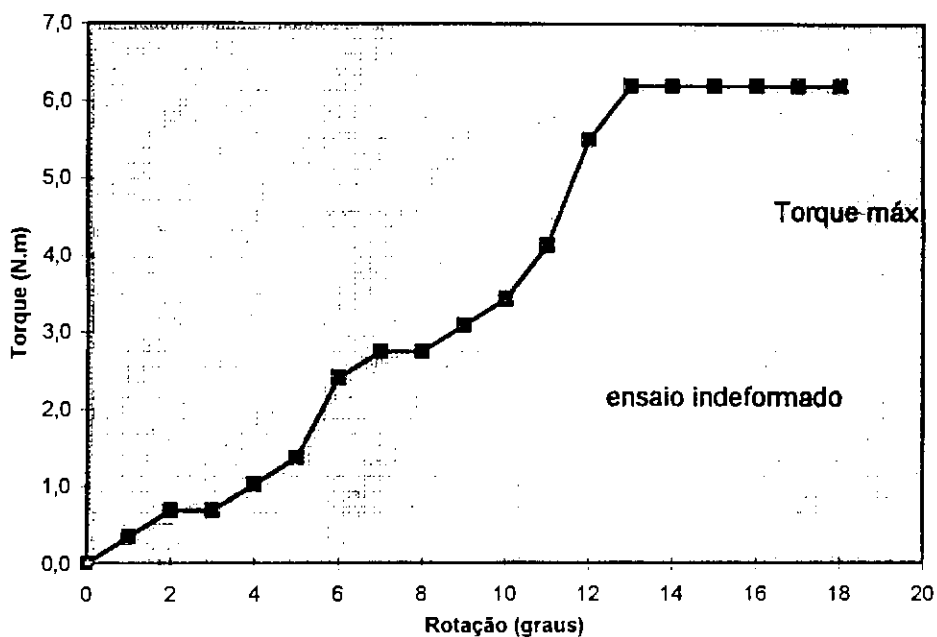
Curva torque versus rotação para prof. 12,0m - equip. Geonor  
1a campanha Senac  
**FIG.A.29 - Vertical G1**



Curva torque versus rotação para prof. 2,0m - equip. Geonor  
1a campanha Senac  
FIG.A.30 - Vertical G3

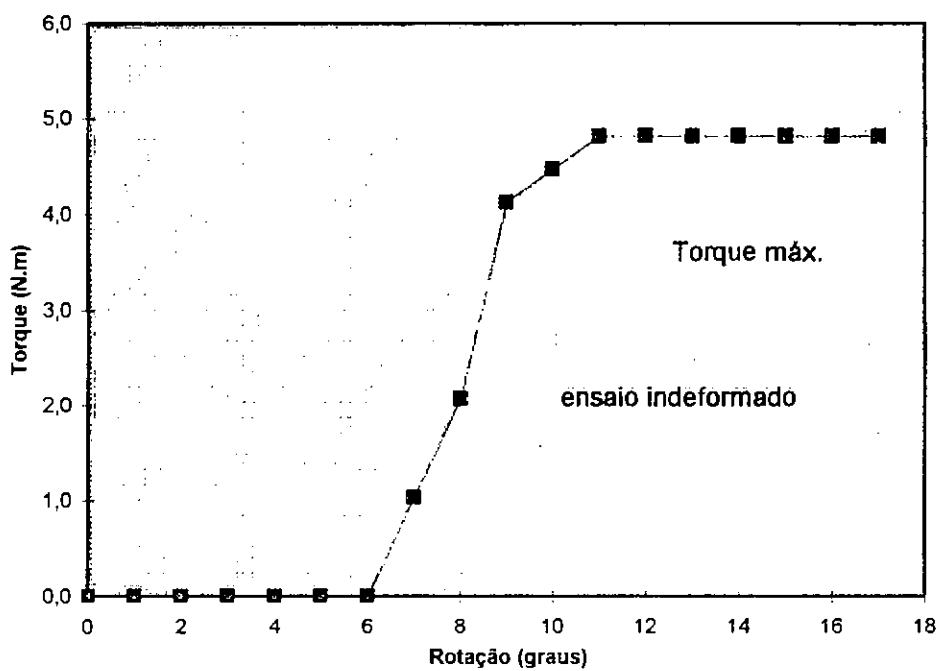


Curva torque versus rotação para prof. 3,0m - equip. Geonor  
1a campanha Senac  
FIG.A.31 - Vertical G3



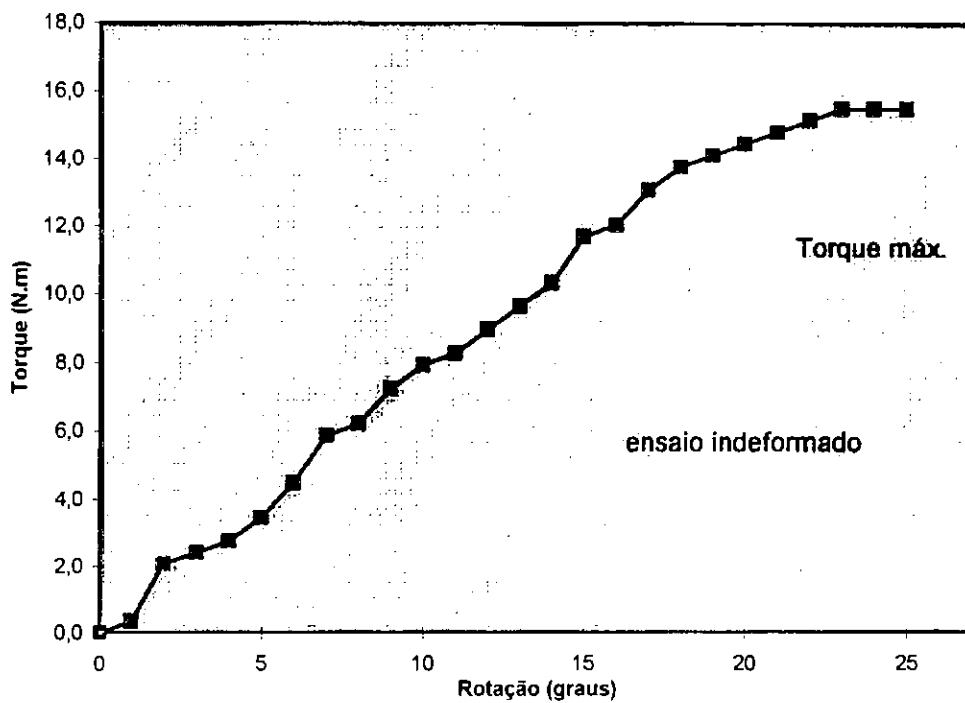
Curva torque versus rotação para prof. 4,0m - equip. Geonor  
1a campanha Senac

FIG.A.32 - Vertical G3

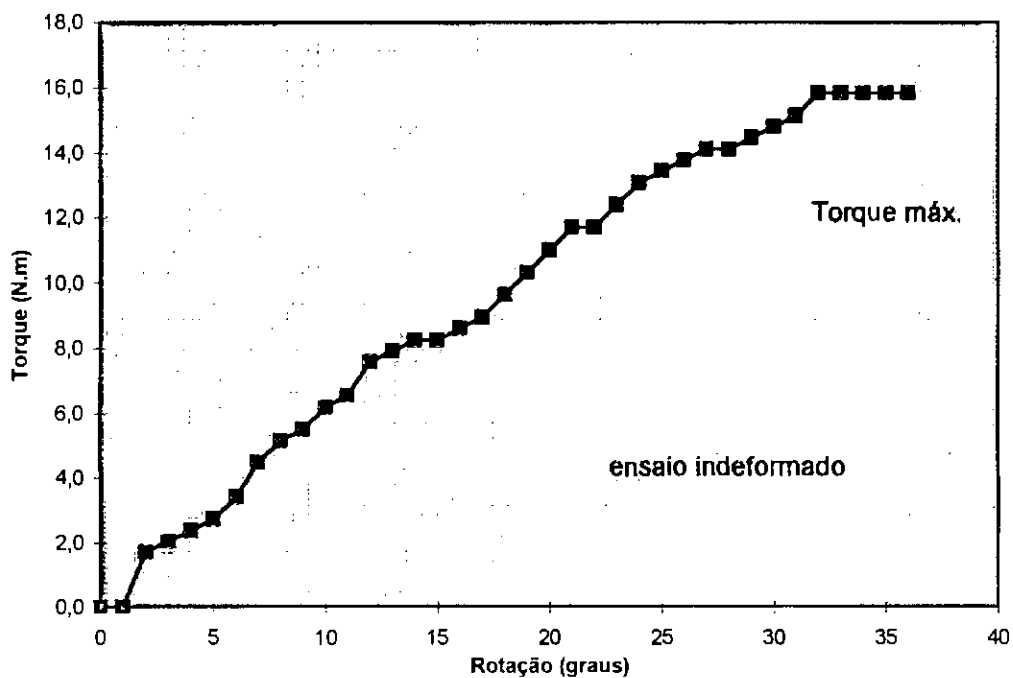


Curva torque versus rotação para prof. 5,0m - equip. Geonor  
1a campanha Senac

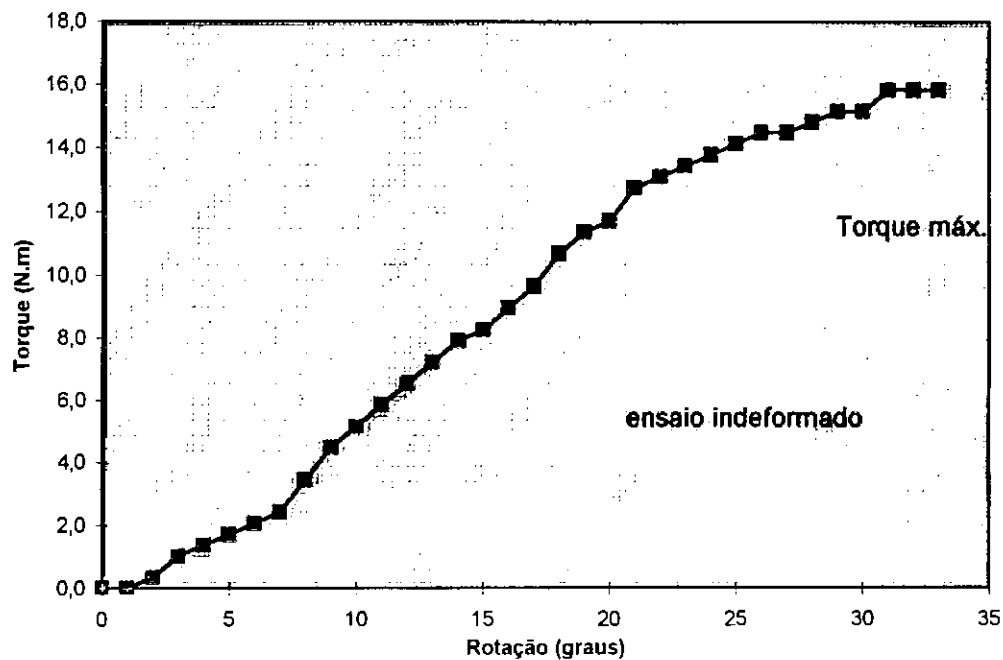
FIG.A.33 - Vertical G3



Curva torque versus rotação para prof. 6,0m - equip. Geonor  
1a campanha Senac  
FIG.A.34 - Vertical G3

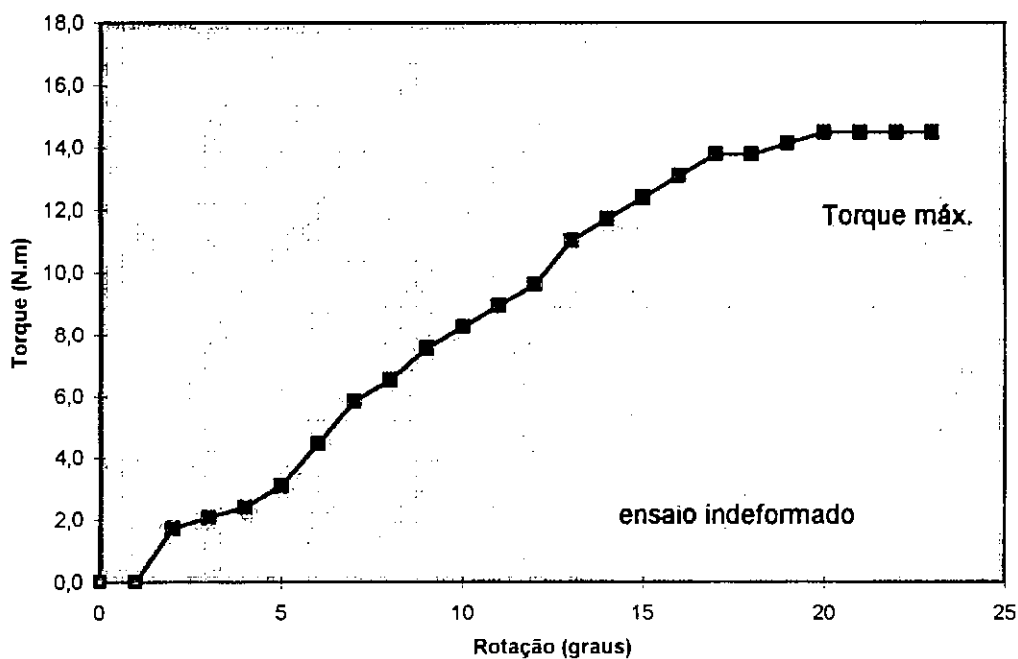


Curva torque versus rotação para prof. 7,0m - equip. Geonor  
1a campanha Senac  
FIG.A.35 - Vertical G3



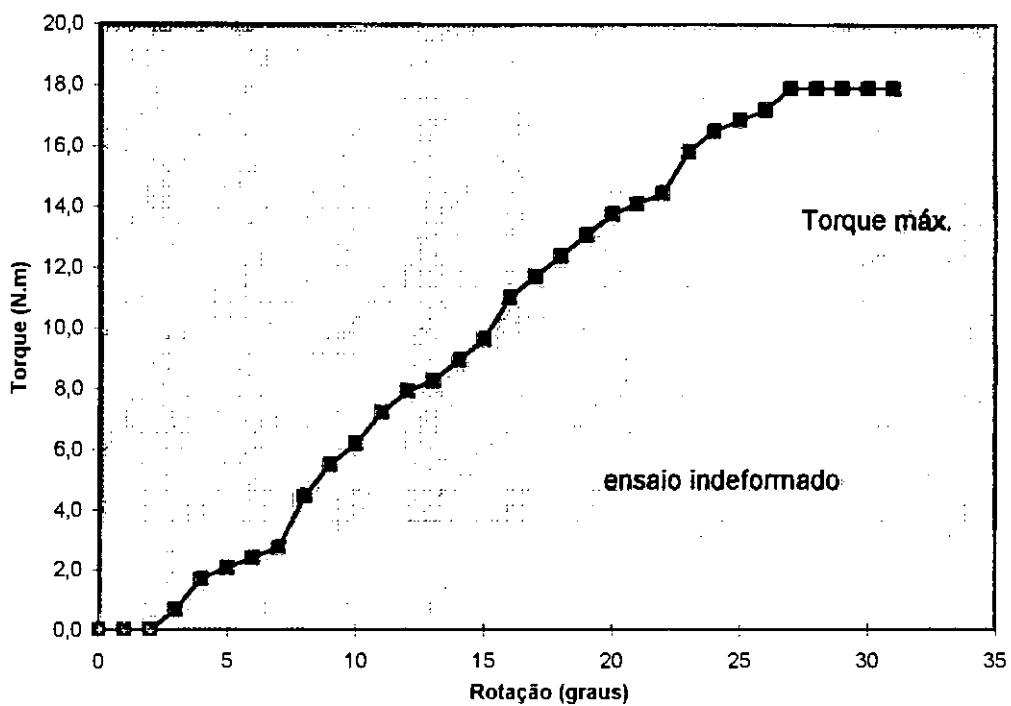
Curva torque versus rotação para prof. 8,0m - equip. Geonor  
1a campanha Senac

FIG.A.36 - Vertical G3

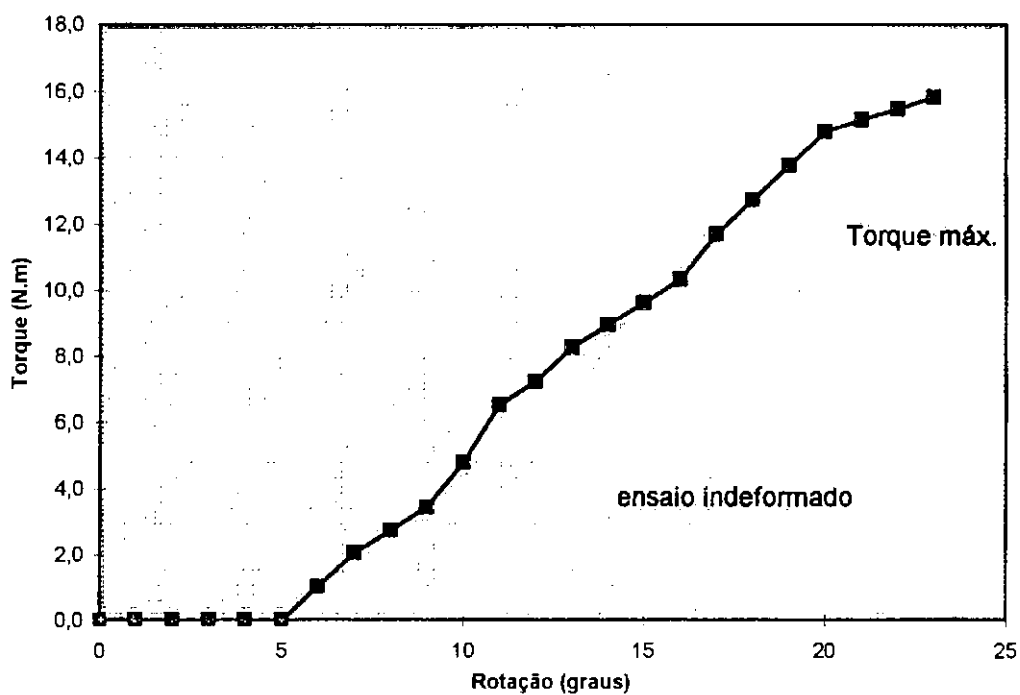


Curva torque versus rotação para prof. 9,0m - equip. Geonor  
1a campanha Senac

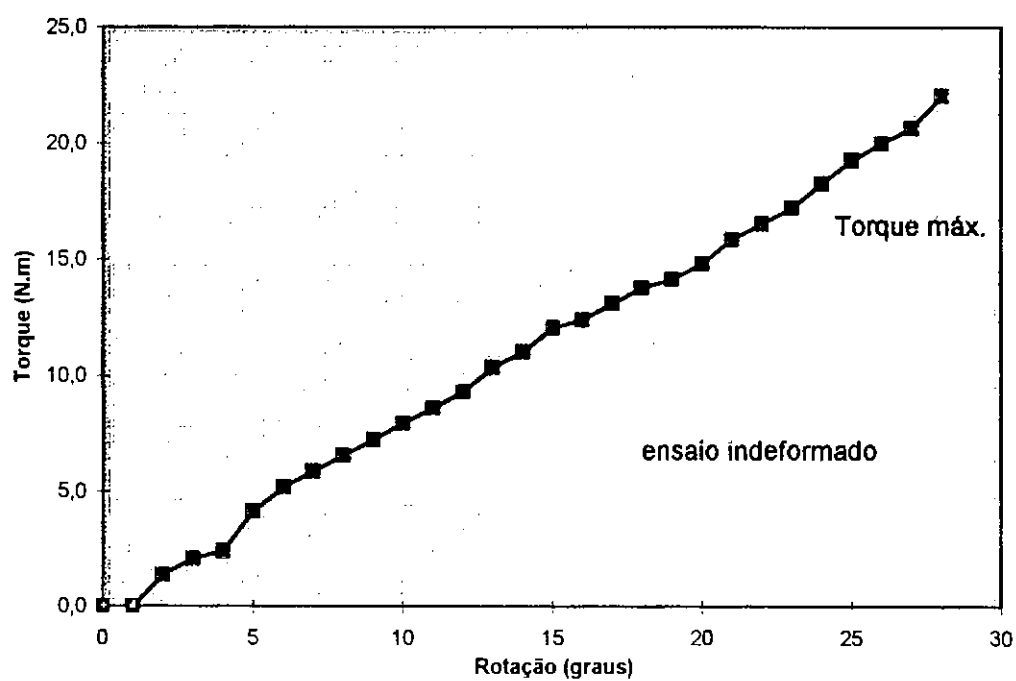
FIG.A.37 - Vertical G3



Curva torque versus rotação para prof. 10,0m - equip. Geonor  
1a campanha Senac-Barra  
FIG.A.38 - Vertical G3

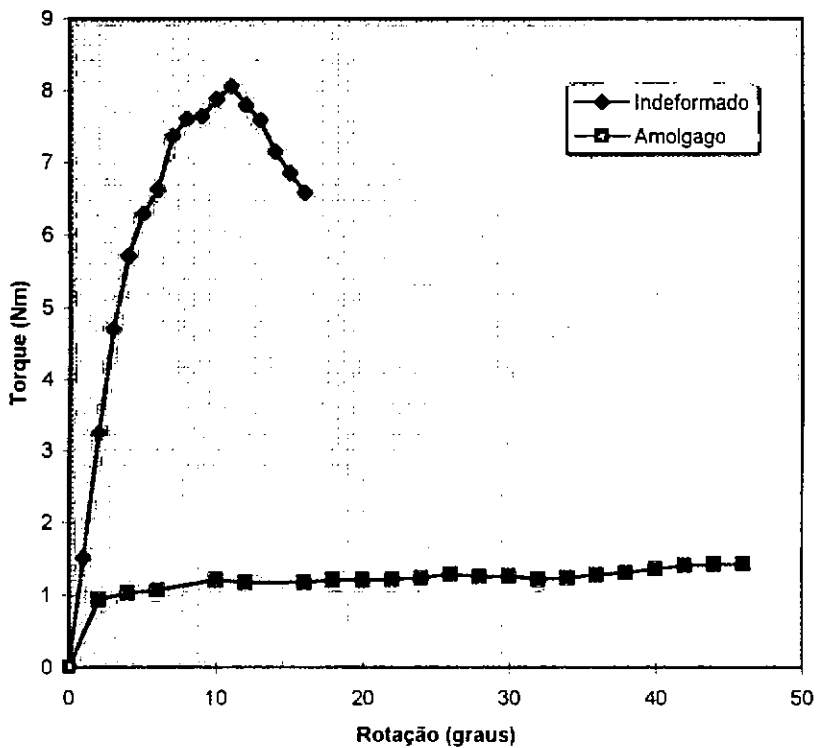


Curva torque versus rotação para prof. 11,0m - equip. Geonor  
1a campanha Senac  
FIG.A.39 - Vertical G3

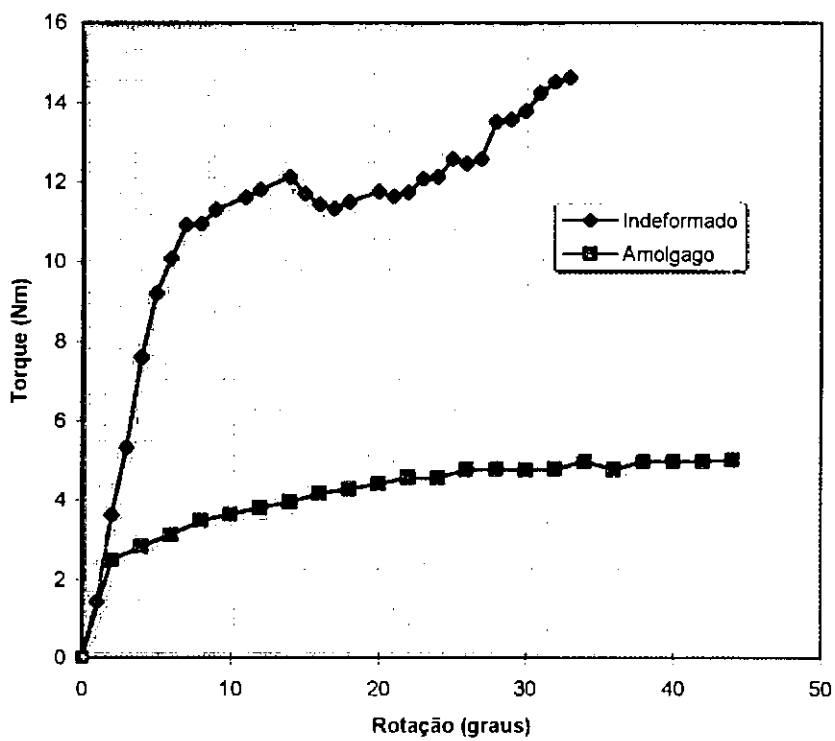


Curva torque versus rotação para prof. 12,0m - equip. Geonor  
1a campanha Senac

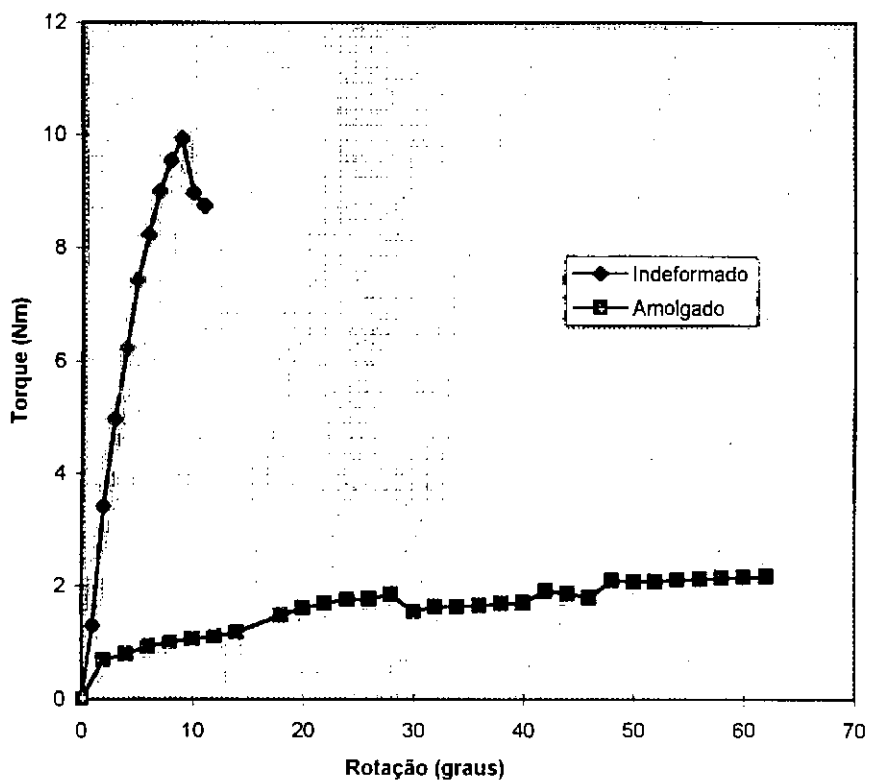
FIG.A.40 - Vertical G3



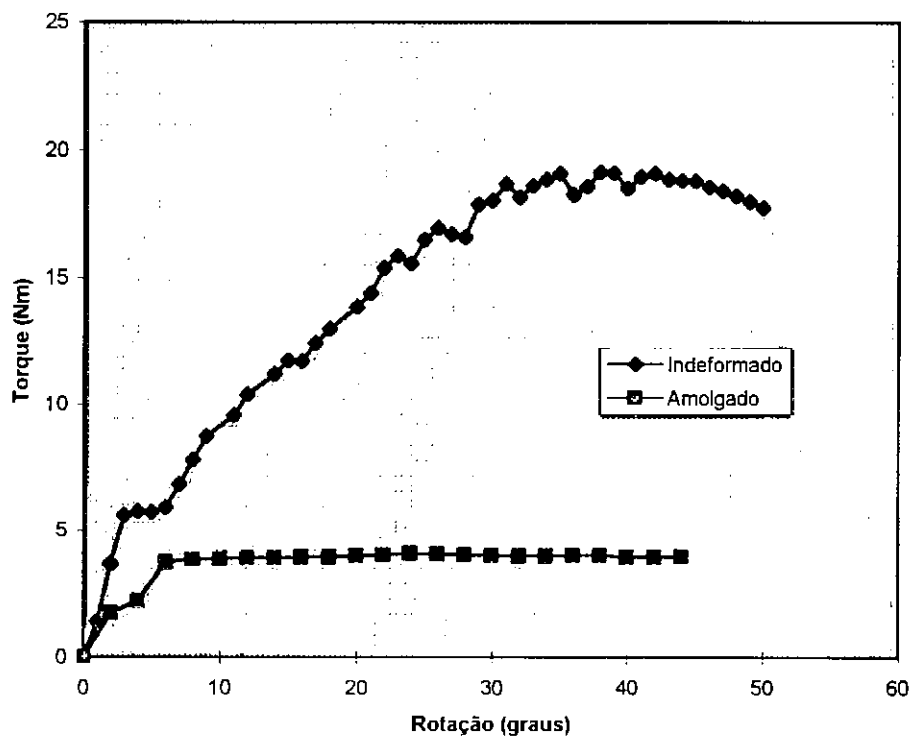
VERTICAL V2 - PROF. 6m  
FIG. A.41 JUIZ DE FORA



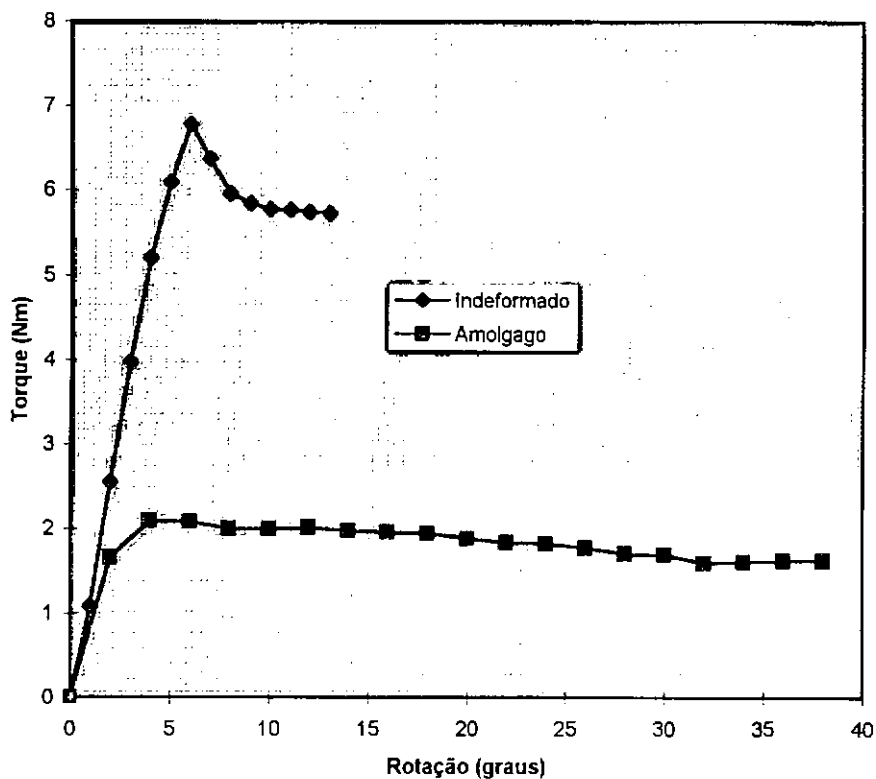
VERTICAL V2 - PRF. 7m  
FIG. A.42 JUIZ DE FORA



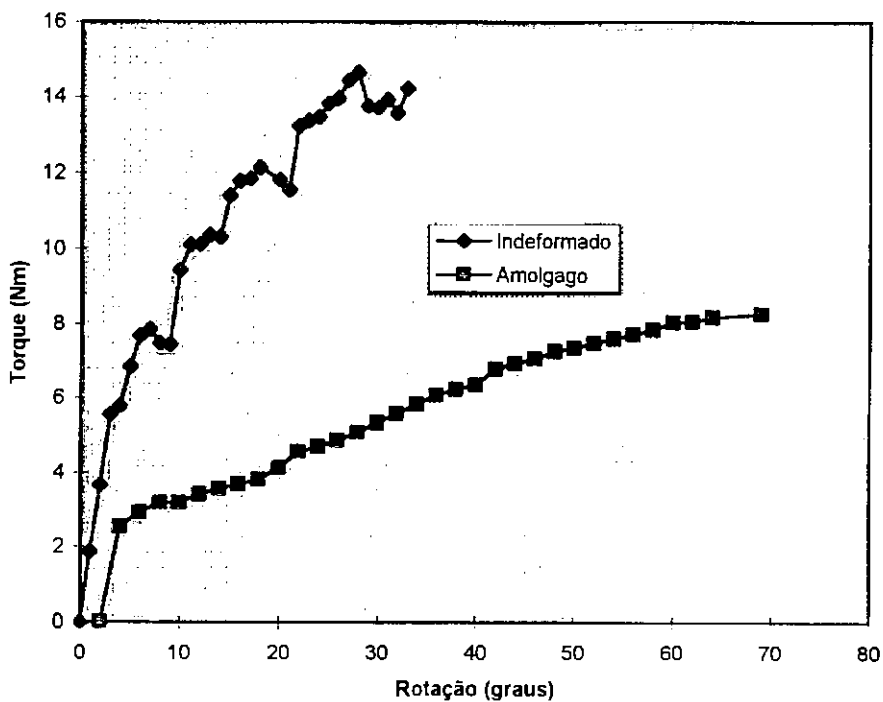
VERTICAL V2 - PROF. 8m  
FIG. A.43 JUIZ DE FORA



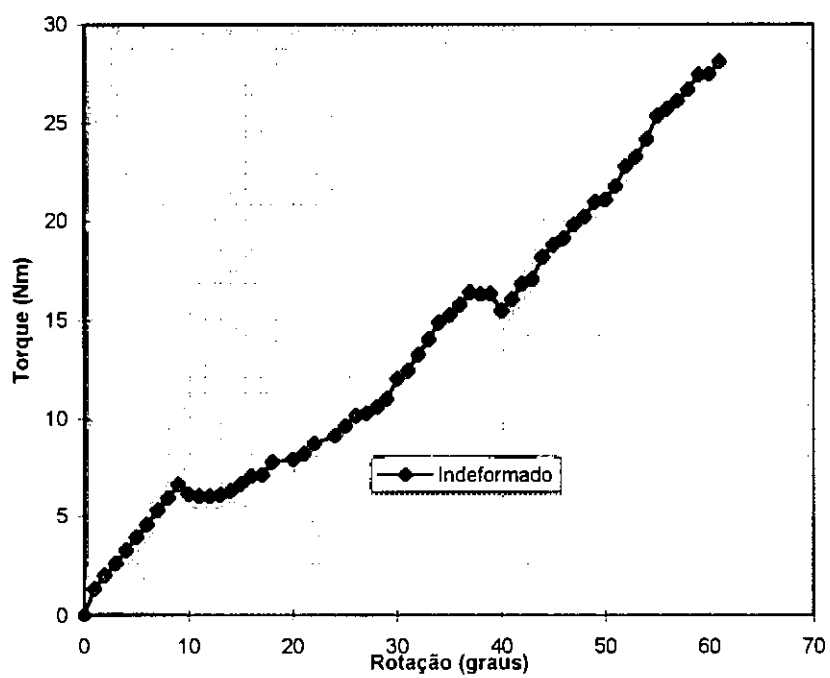
VERTICAL V2 - PROF. 9m  
FIG. A.44 JUIZ DE FORA



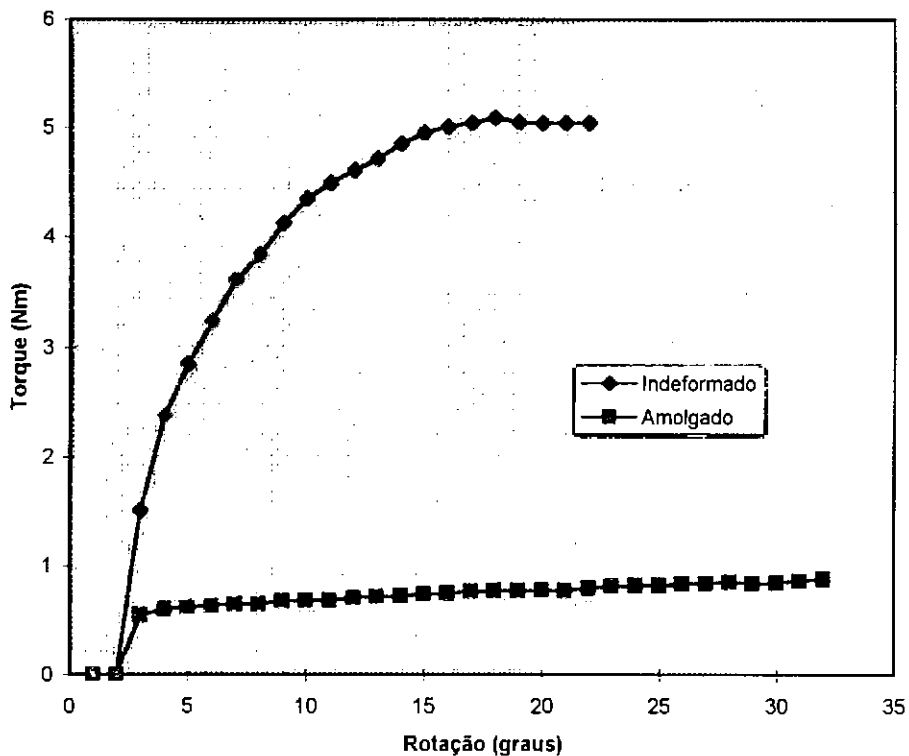
VERTICAL V3 - PROF. 5,25m  
FIG. A.45 JUIZ DE FORA



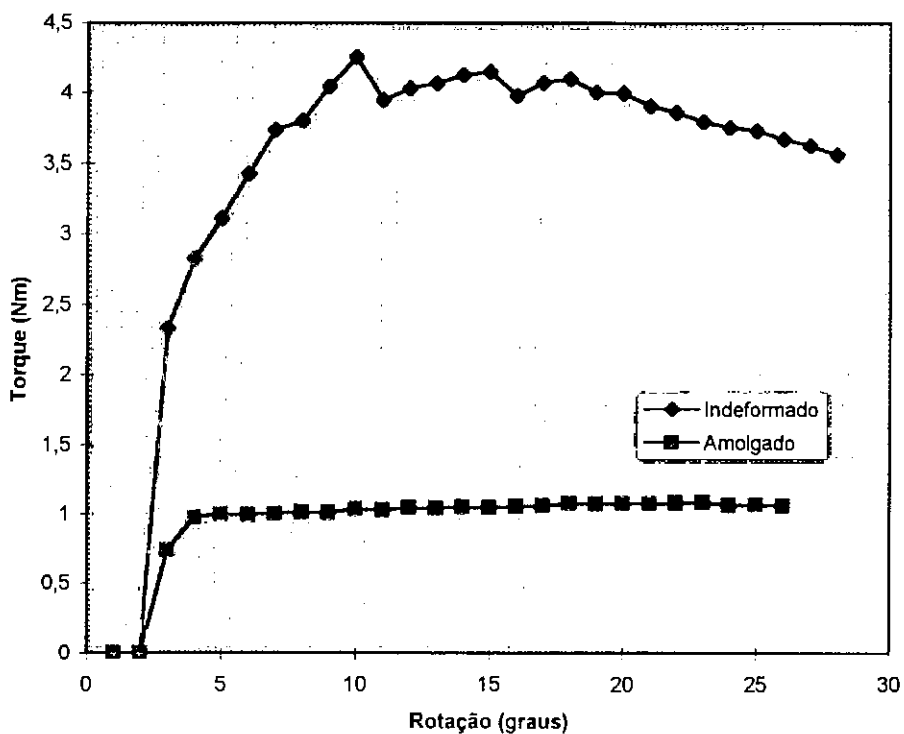
VERTICAL V3 - PRF. 7m  
FIG. A.46 JUIZ DE FORA



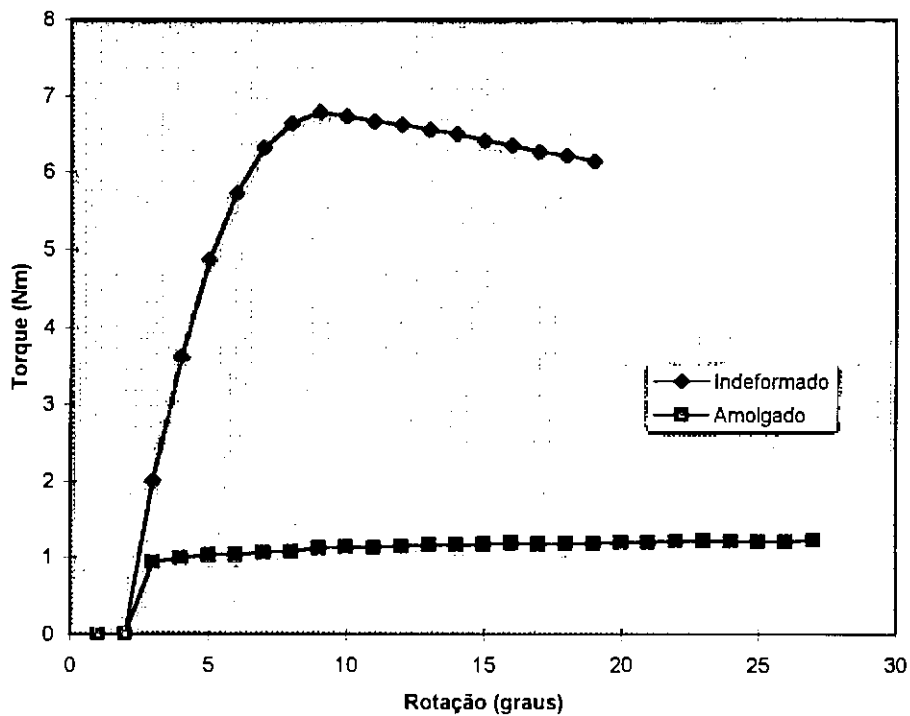
VERTICAL V3 - PRF. 8m  
FIG. A.47 JUIZ DE FORA



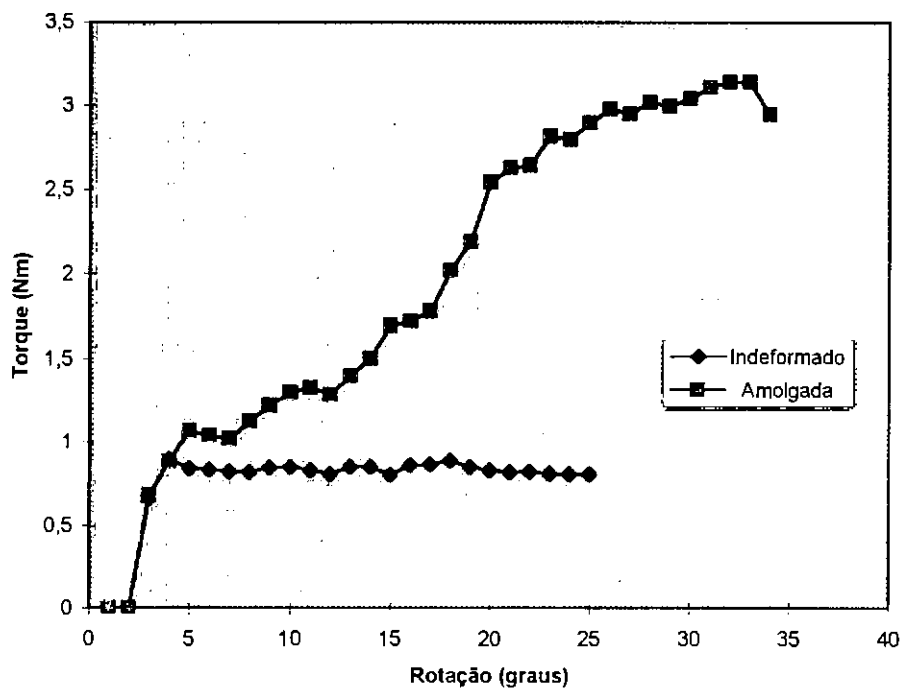
VERTICAL VT1 - PROF. 2m  
FIG. A.48 - ETE ALEGRIA



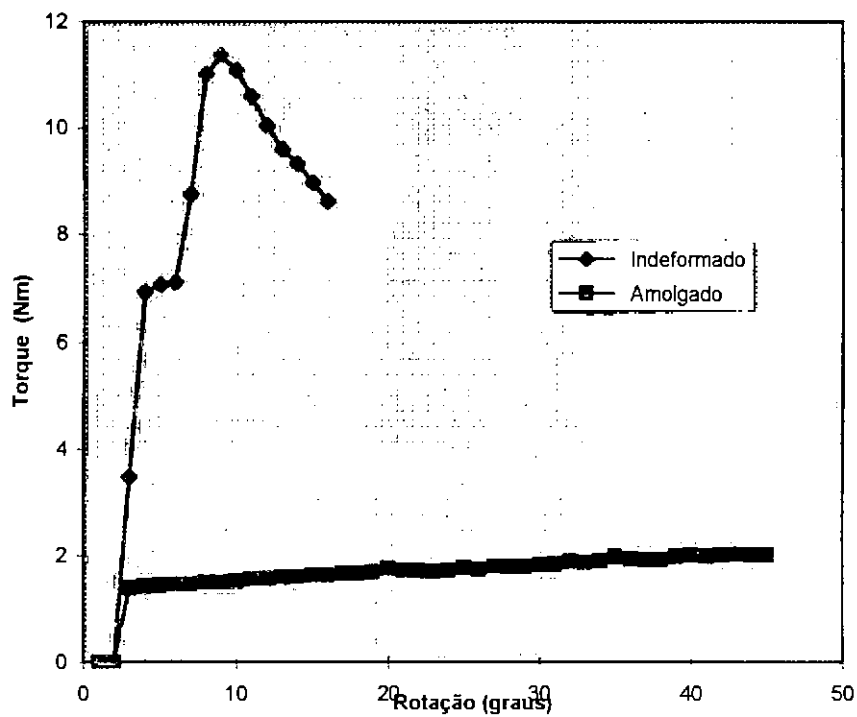
VERTICAL VT1 - PROF. 3m  
FIG. A.49 - ETE ALEGRIA



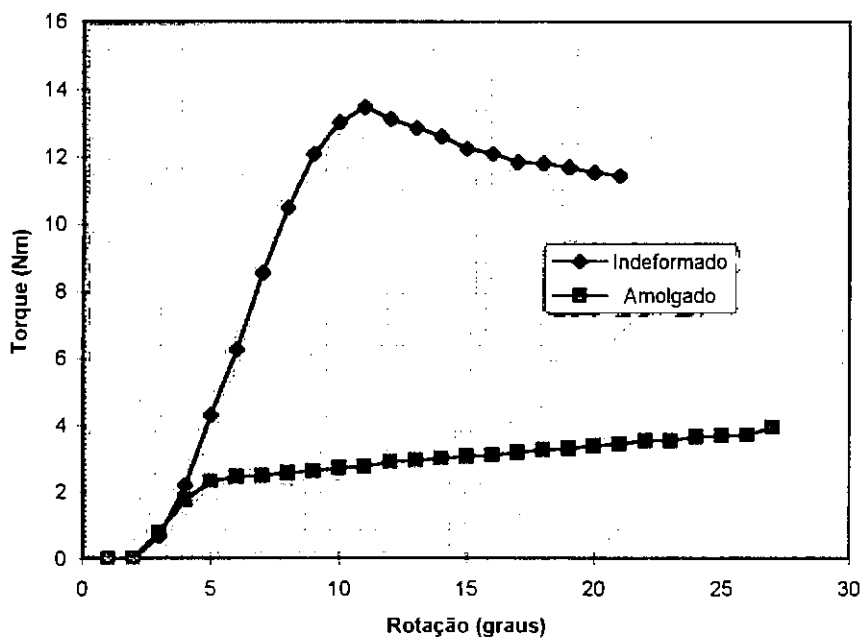
VERTICAL VT1 - PROF. 4m  
FIG. A.50 - ETE ALEGRIA



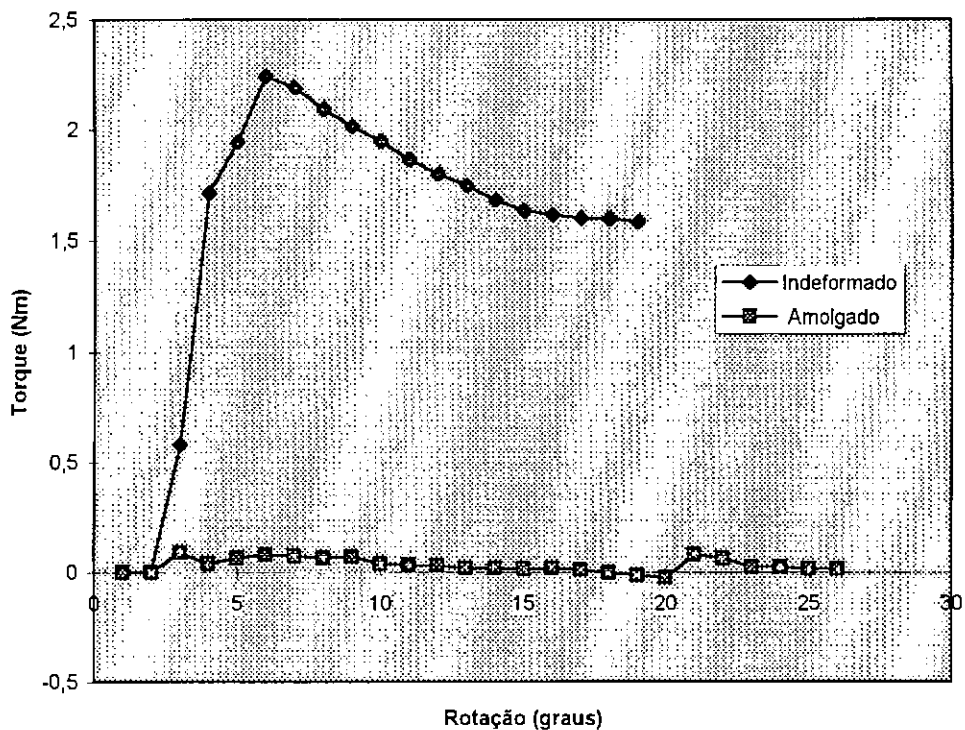
VERTICAL VT1 - PROF. 5,50m  
FIG. A.51 - ETE ALEGRIA



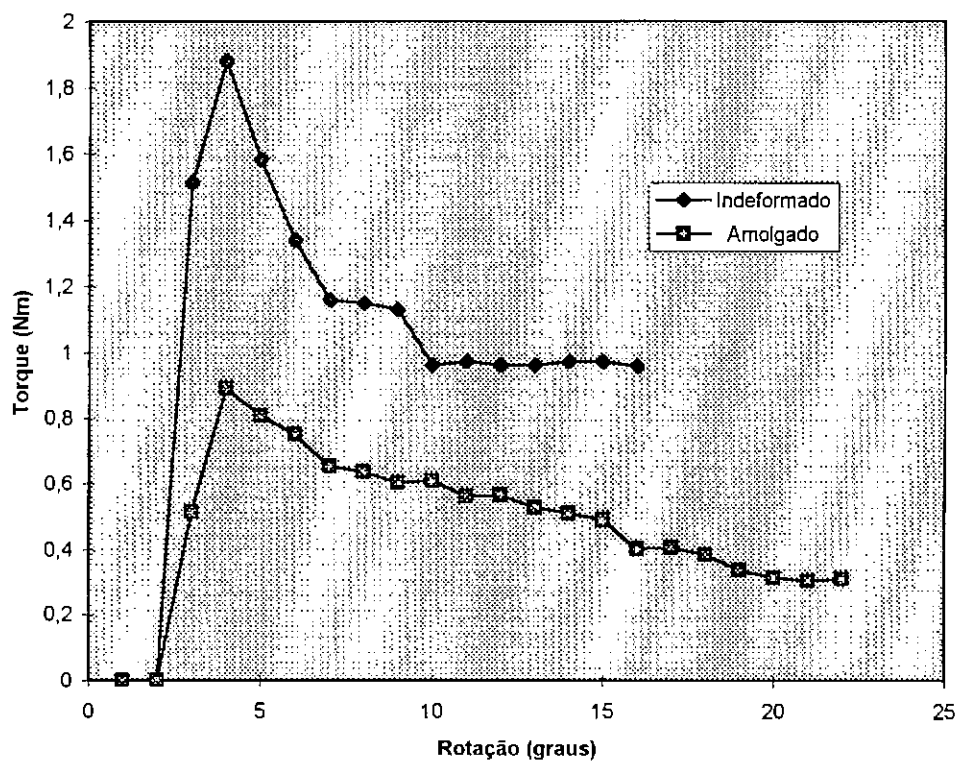
VERTICAL VT1 - PROF. 6m  
FIG. A.52 - ETE ALEGRIA



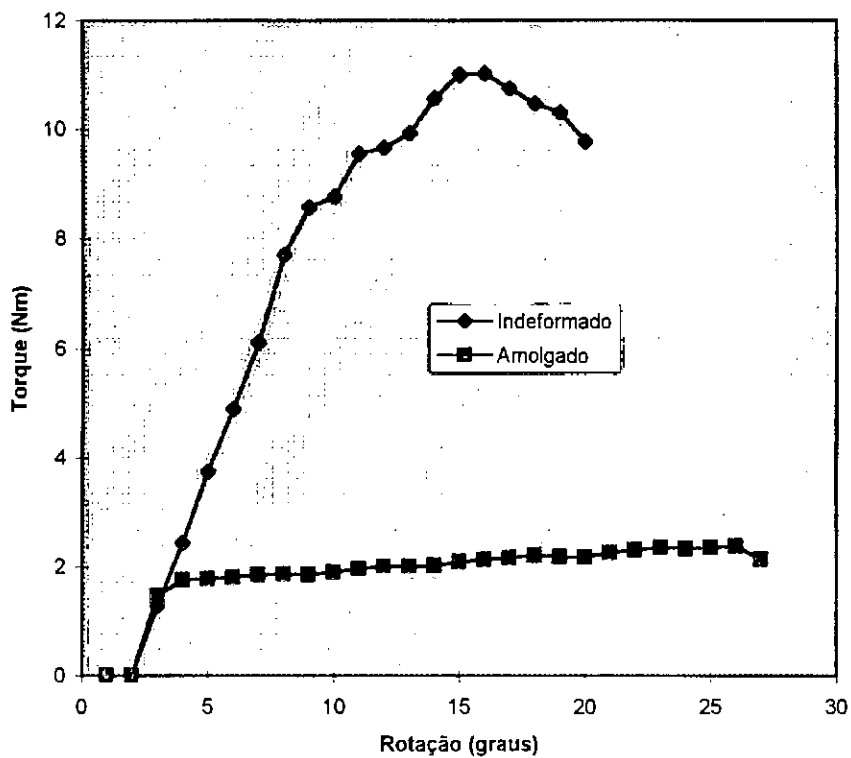
VERTICAL VT1 - PROF. 7m  
FIG. A.53 ETE ALEGRIA



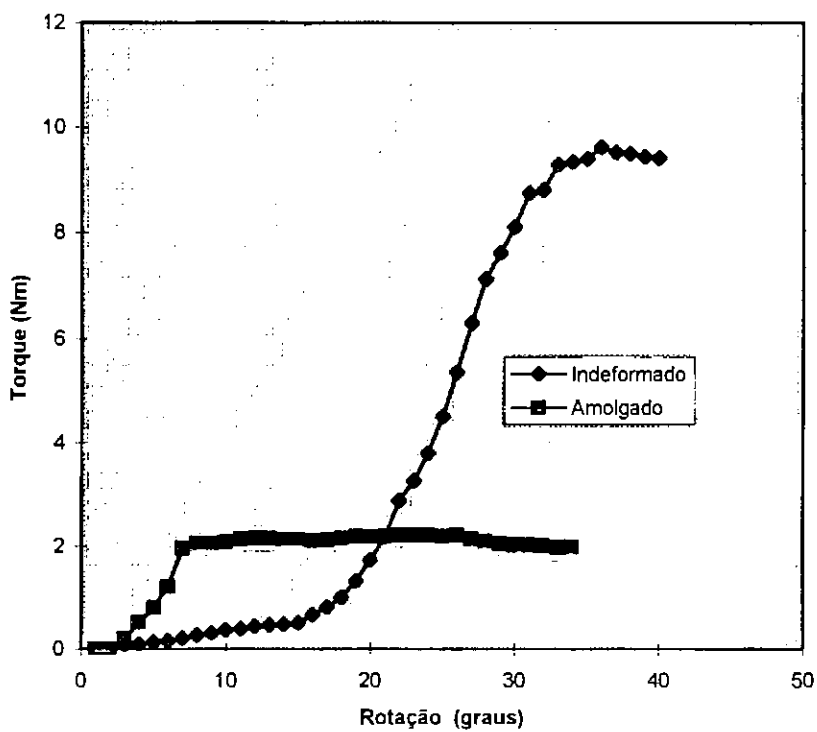
VERTICAL VT1 - PROF. 8m  
FIG. A.54 ETE ALEGRIA



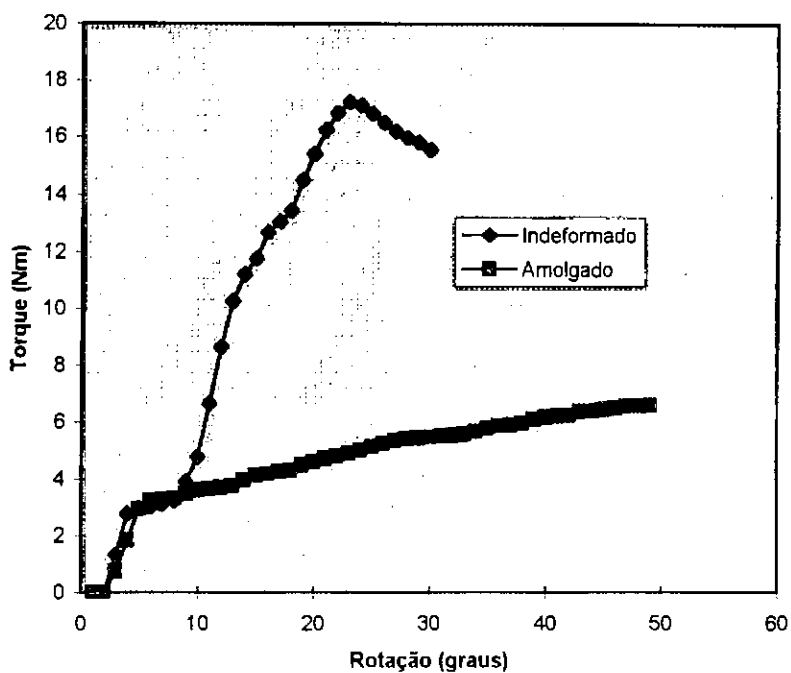
VERTICAL VT1 - PROF. 9m  
FIG. A.55 ETE ALEGRIA



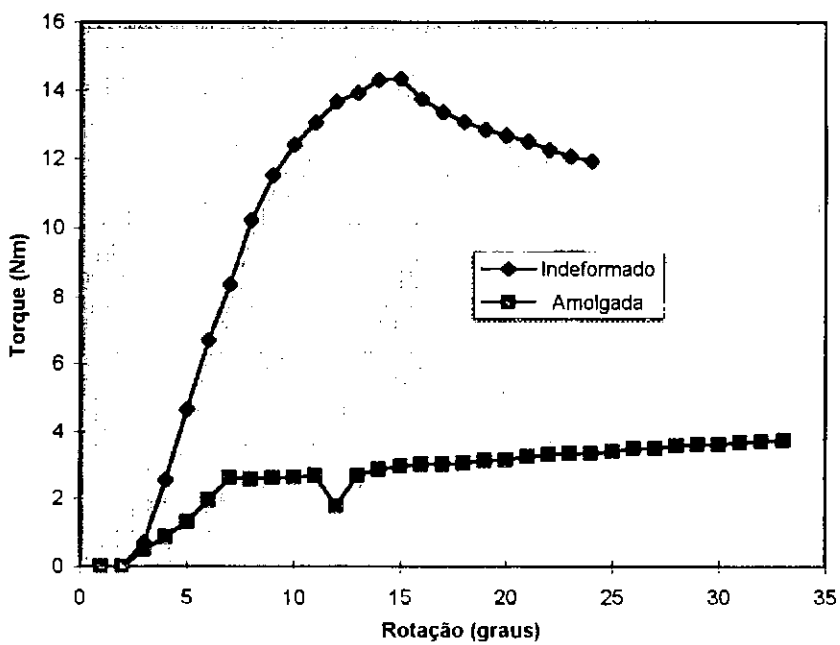
VERTICAL VT2 - PROF. 4m  
FIG. A.56 ETE ALEGRIA



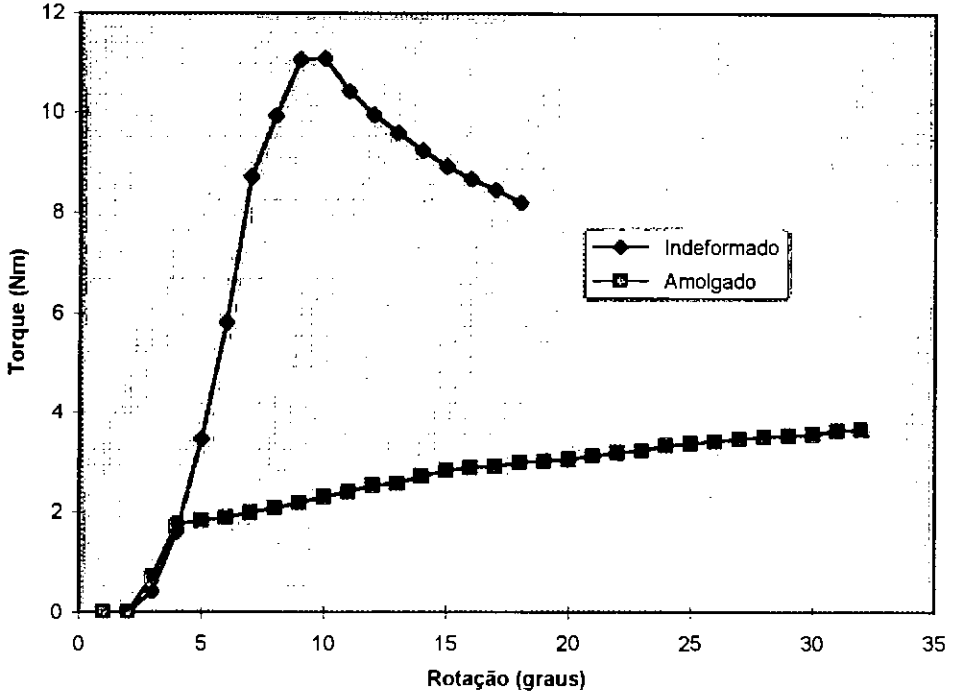
VERTICAL VT2 - PROF. 5m  
FIG. A.57 ETE ALEGRIA



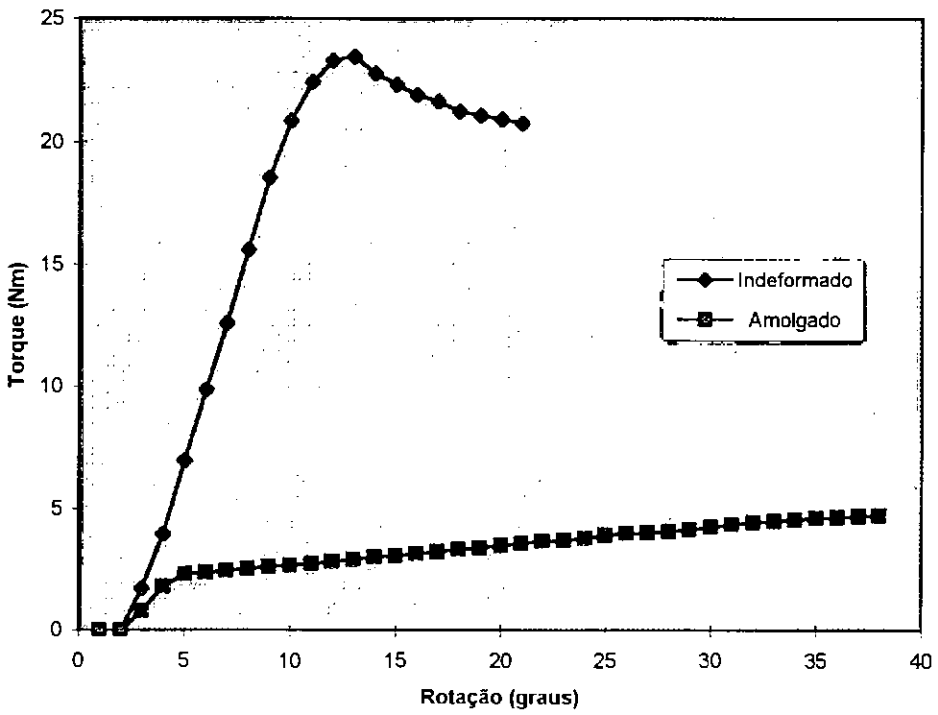
VERTICAL VT2 - PROF. 7,5m  
FIG. A.58 ETE ALEGRIA



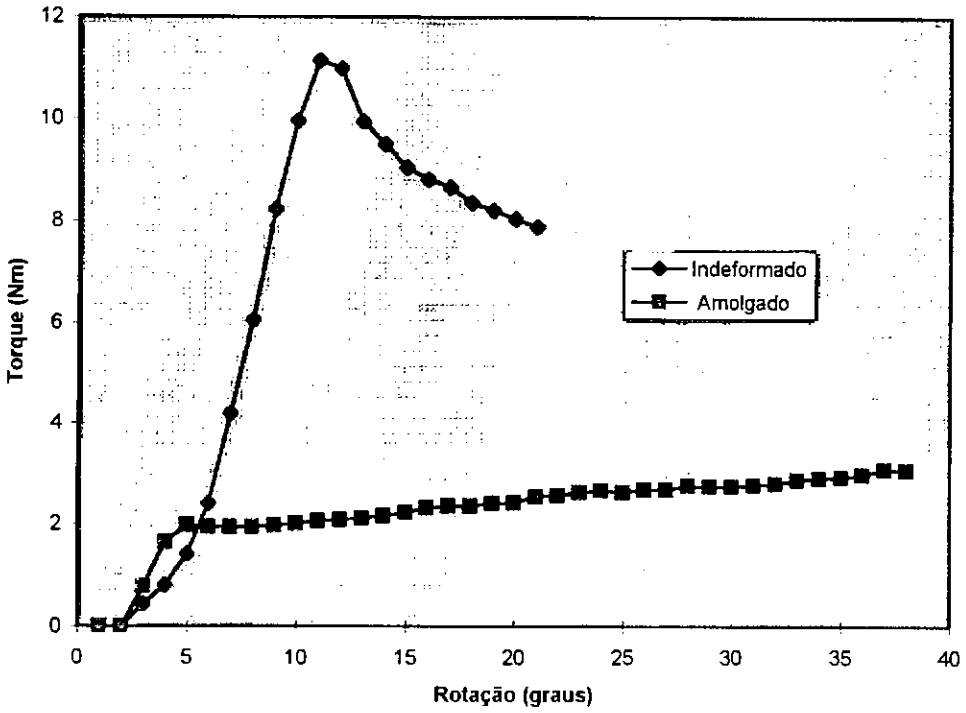
VERTICAL VT2 - PROF. 8m  
FIG. A.59 ETE ALEGRIA



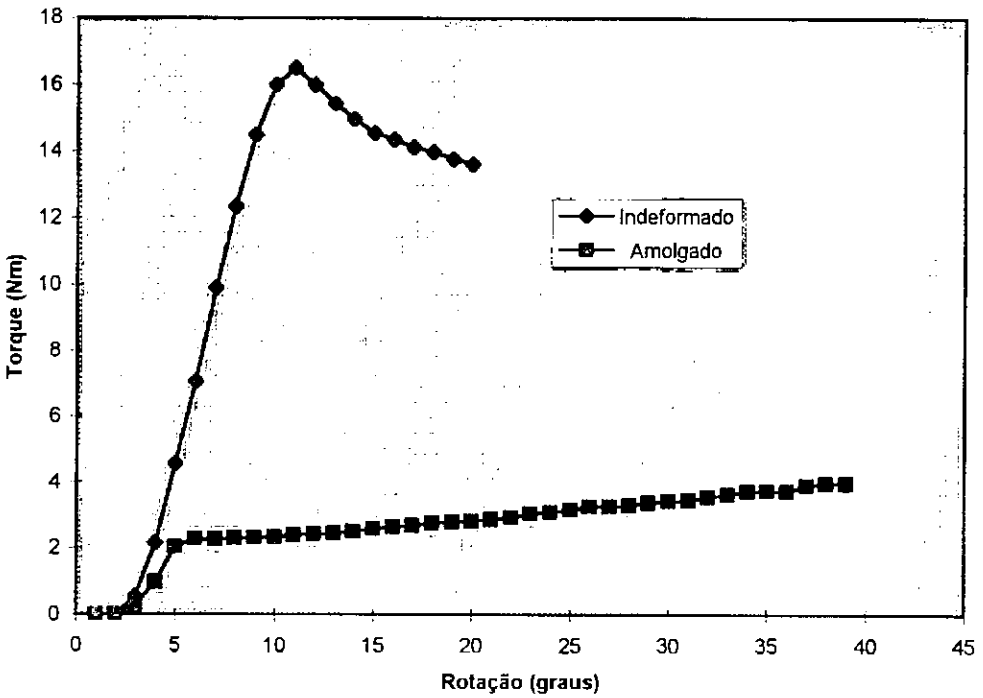
VERTICAL VT2 - PROF. 8,5m  
FIG. A.60 ETE ALEGRIA



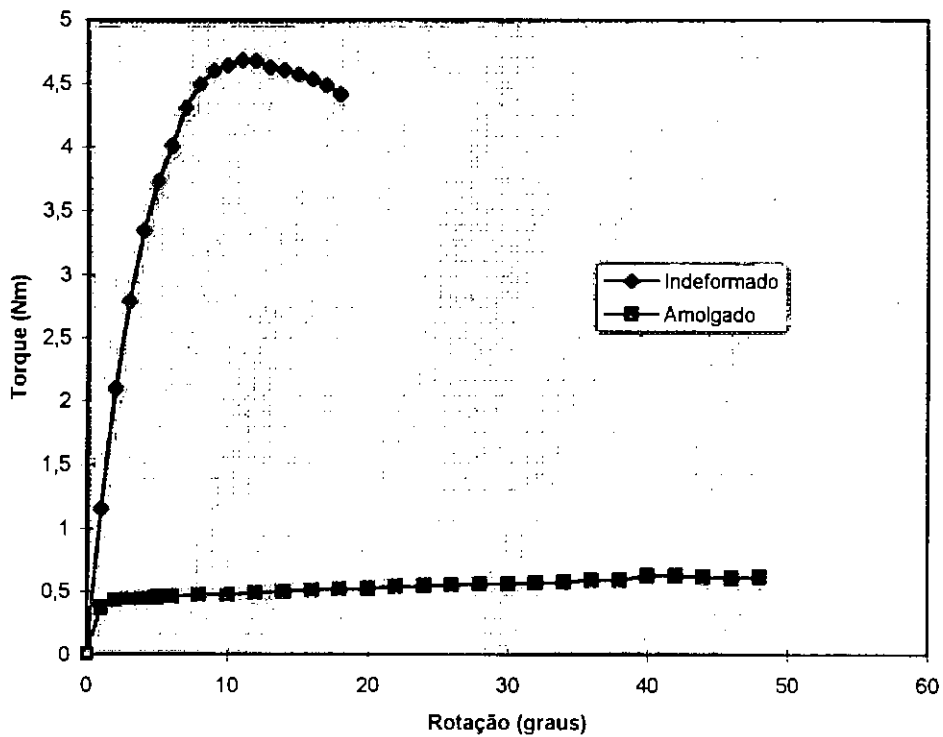
VERTICAL VT2 - PROF. 9m  
FIG. A.61 ETE ALEGRIA



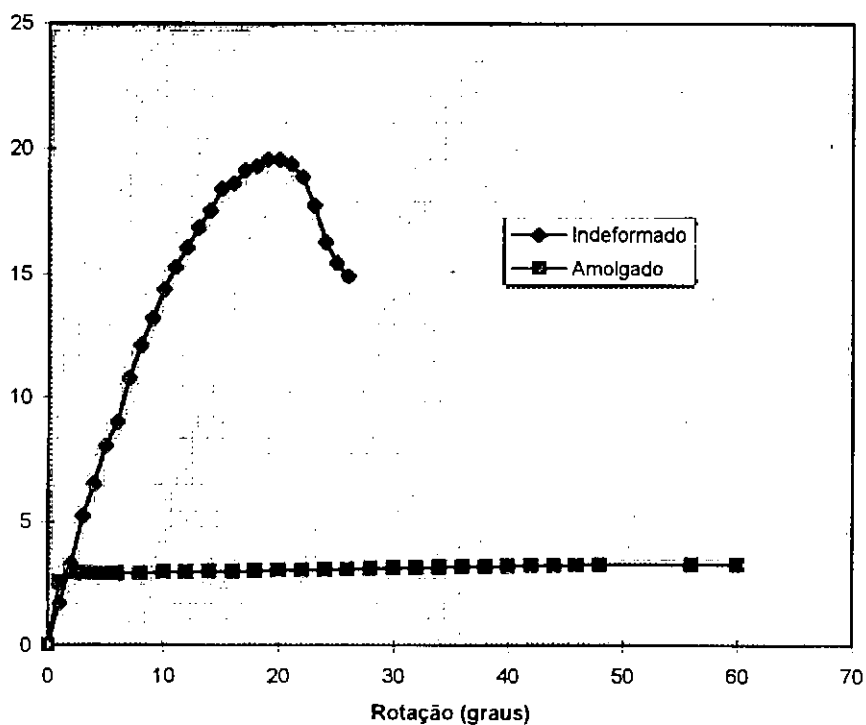
VERTICAL VT2 - PROF. 9,5m  
FIG. A.62 ETE ALEGRIA



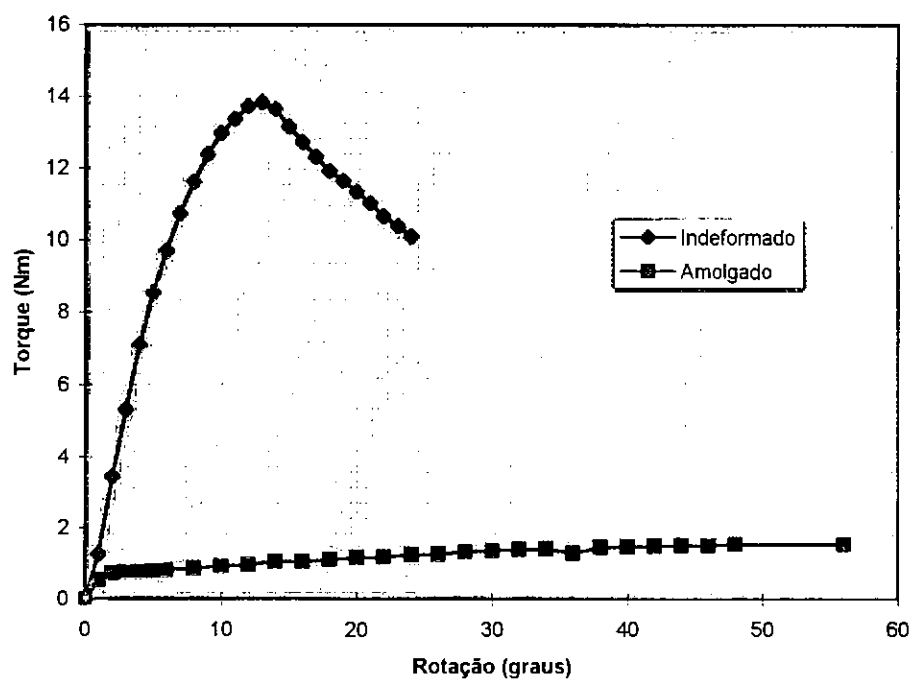
VERTICAL VT2 - PROF. 10m  
FIG.A.63 ETE ALEGRIA



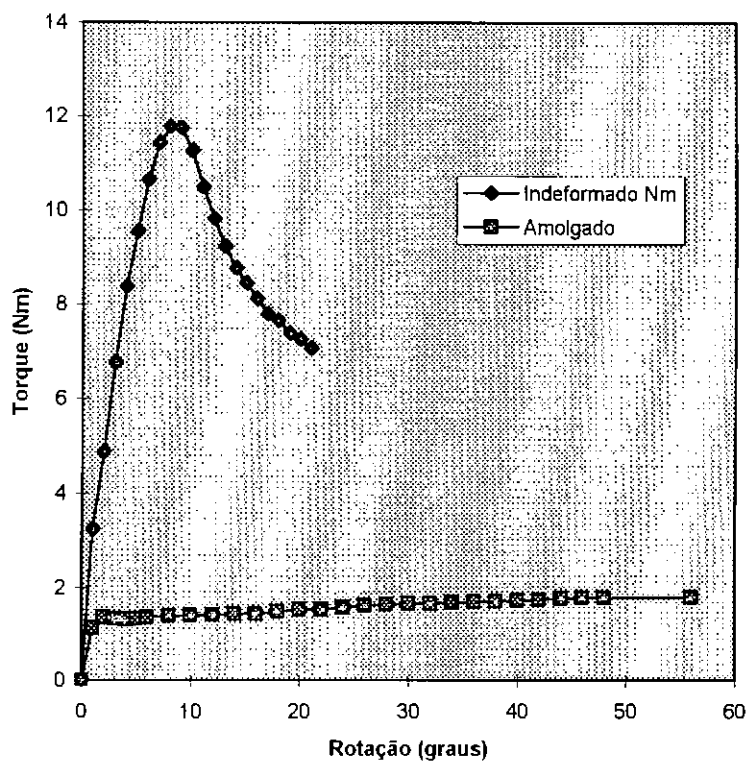
VERTICAL C4 - PROF. 6m  
FIG. A.64 2a CAMPANHA SENAC



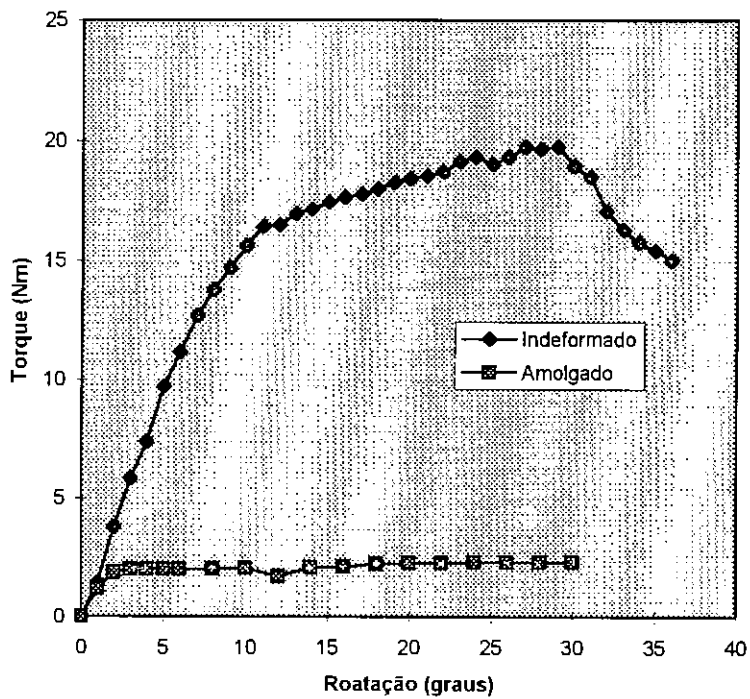
VERTICAL C4 - PROF. 7m  
FIG. A.65 2a CAMPANHA SENAC



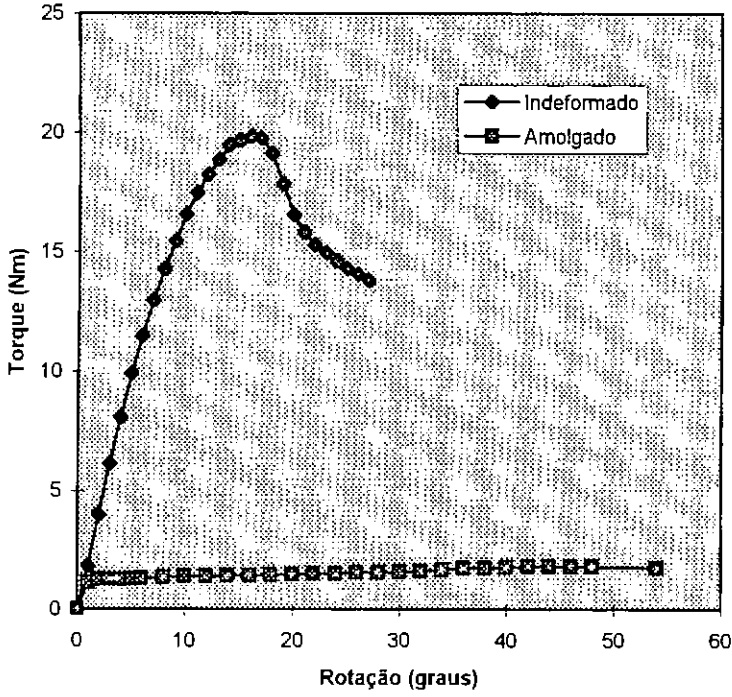
VERTICAL C4 - PROF. 8.5m  
FIG. A.66 2a CAMPANHA SENAC



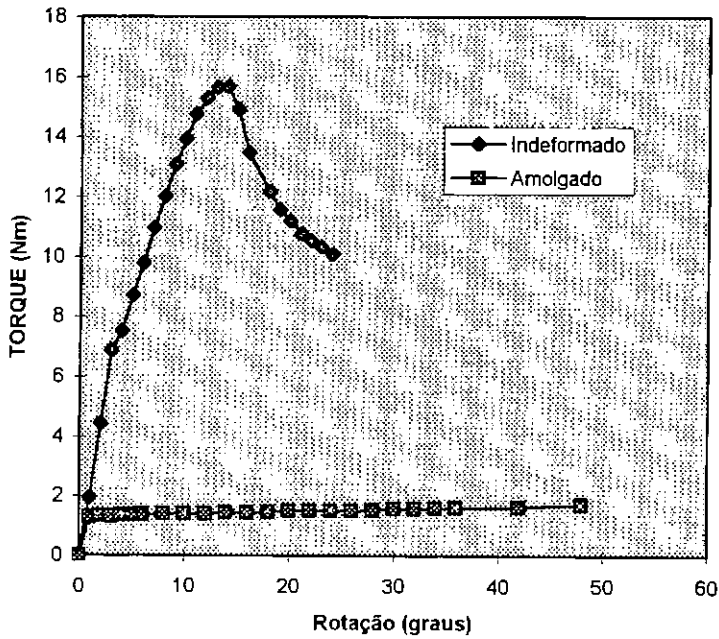
VERTICAL C5 - PROF. 6m  
FIG. A.67 2a CAMPANHA SENAC



VERTICAL C5 - PROF. 7m  
FIG. A.68 2a CAMPANHA SENAC



VERTICAL C5 - PROF. 8m  
FIG. A.69 2a CAMPANHA SENAC



VERTICAL C5 - PROF. 10m  
FIG. 70 2a CAMPANHA SENAC