

TENTATIVA DE CORRELAÇÃO ENTRE OS PARÂMETROS DOS SOLOS ARGILOSOS E O RENDIMENTO NA DRAGAGEM

Correlation between basic parameters of clayey soils and dredging results

por MARIA JOSÉ C. P. ALVES DE LIMA*

RESUMO - O trabalho descreve os estudos geotécnicos executados para a dragagem do Canal de Acesso ao Cais de Minério e Carvão do Porto do Rio de Janeiro, procurando estabelecer correlações entre os parâmetros representativos dos solos coesivos encontrados.

Com as informações obtidas na dragagem do canal, tenta-se estabelecer uma correlação entre o rendimento da dragagem, a consistência dos solos e a medida do índice de resistência à penetração.

Trata-se de estudo preparado para o Instituto Nacional de Pesquisas Hidroviárias - DNPVN, a cujo Director Geral a Tecnosolo agradece a autorização de publicar.

SYNOPSIS - The paper describes the geotechnical studies executed to dredge the Channel of Approach to the Ore and Coal Dock of Rio de Janeiro's Port, with a view to establishing interrelations between the parameters representatives of the cohesive soils found.

With the information obtained on channel dredging, an attempt is made to establish an inter-relation between the dredging results, the consistency of the soils and the standard penetration test.

These studies have been prepared for the Instituto Nacional de Pesquisas Hidroviárias - DNPVN-MT. Tecnosolo is grateful to its General Director for the authorization to publish this matter.

INTRODUÇÃO

A Mecânica dos Solos dispõe de recursos para solucionar os mais variados problemas relativos ao projecto e construção de obras de terra, fundações, pavimentos rodoviários, contenção de taludes, enfim, de todos os ramos da Engenharia Civil que envolvam o solo, seus parâmetros e seu comportamento.

* Engenheira do Instituto Nacional de Pesquisas Hidroviárias - Rio de Janeiro

Chegou-se a esta etapa de desenvolvimento, com apoio não só nos fundamentos teóricos da Mecânica dos Solos, mas principalmente, correlacionando-se as informações e parâmetros obtidos experimentalmente, como o comportamento das obras e serviços nos quais eles foram elementos de projecto. Deste modo, tornou-se possível através de resultados de sondagens padronizadas à percussão, complementadas em alguns casos por ensaios de laboratório, escolher o tipo de fundação e a profundidade da camada de apoio, avaliando-se ainda a sua capacidade de carga.

Entretanto, não tem sido objecto de estudos e pesquisas um problema semelhante aos citados, cuja importância não é meramente científica, mas resulta essencialmente das consequências que dele podem advir. Trata-se da correlação entre as características do solo e seu comportamento durante a dragagem para se poder prever em cada caso particular o tipo de draga mais eficiente e o rendimento que se poderá obter.

Até recentemente, os estudos que precediam o projecto de dragagens consistiam em sondagens que forneciam apenas uma classificação visual e sumária dos materiais existentes, sendo a consistência dos mesmos avaliada de forma empírica, pela dificuldade de penetração no terreno de uma haste com dimensões não padronizadas.

Era comum então, quando da realização da dragagem, constatar-se que o equipamento escolhido não era o mais adequado e o rendimento muito inferior ao esperado, acarretando conseqüentemente, modificações acentuadas no orçamento elaborado com base nos volumes dos diferentes materiais a dragar, por sua vez classificados de modo impreciso pelos estudos preliminares.

Por outro lado, sendo mais trabalhoso o acompanhamento da dragagem com o levantamento de secções batimétricas, o cálculo do volume de material escavado era feito geralmente em função do rendimento ou factor de produção da draga, que evidentemente varia com a natureza do material a dragar.

Dragagens mais recentes e de maior vulto contaram com a realização de sondagens à percussão com circulação de água nas quais foram medidas as resistências à penetração com o amostrador consagrado nesse tipo de investigação. Obteve-se nesses casos uma informação mais completa do subsolo com a avaliação numérica da resistência do terreno. A interpretação dos resultados deparou-se entretanto, com a dificuldade já mencionada: inexistência de correlação entre os parâmetros do solo determinados pelos processos usuais e o comportamento na dragagem.

Tendo em vista o custo elevado das investigações geotécnicas executadas no mar e sendo mais onerosa ainda a realização de uma dragagem, o desenvolvimento de uma pesquisa dessa natureza só se torna viável quando o órgão patrocinador ou executor de dragagens toma a iniciativa da colecta de informações sobre os solos.

O presente trabalho aproveita a oportunidade surgida através de um estudo mandado executar pelo Departamento Nacional de Portos e Vias Navegáveis, quando da dragagem do Canal de Acesso ao Parque de Minério e Carvão do Porto do Rio de Janeiro e objectiva, tão somente divulgar as conclusões daquele estudo e estabelecer uma primeira tentativa de correlação entre as diversas informações disponíveis. Esses elementos, juntamente com os que venham a ser obtidos em futuras investigações, poderão estabelecer os critérios definitivos dos estudos geotécnicos para fins de dragagem.

1 – HISTÓRICO DO PROBLEMA

Em 1962, a Administração do Porto do Rio de Janeiro, contratou com a firma TECNOSOLO – Engenharia de Solos e Materiais S/A., a realização de sondagens à percussão no Canal de acesso ao Cais de Minério do referido porto, as quais deveriam ser levadas até à cota aproximada de -15.0 m, em relação ao zero hidrográfico local.

Com base nos resultados dessas sondagens foram traçados perfis gerais do subsolo, definindo-se os diferentes horizontes de materiais, pela classificação visual das amostras extraídas e pelas medidas de resistência à penetração. Foi então elaborado um programa para levar o canal em questão até à cota -12.0 m em relação ao zero hidrográfico, o qual se situa 3,60 m abaixo do coroamento do cais. Estimou-se também os volumes dos diferentes materiais a dragar.

Ao ser efectuada a dragagem, levantou-se o problema de que o rendimento conseguido na dragagem seria inferior ao que era lícito esperar pela classificação dos materiais, feita pelos critérios usuais em Mecânica dos Solos, além de constatar-se que alguns dos materiais presentes provocavam desgaste maior do que o previsível no desagregador da draga.

Esses factos levaram o Departamento Nacional de Portos e Vias Navegáveis, patrocinador dos serviços de dragagem, a prosseguir as investigações tendo como objectivo estabelecer uma relação entre as características mecânicas do

material a ser dragado e o rendimento da escavação. Deste modo, em 1967, o DNPVN contratou com a firma Ródios S/A – Perfuração e Consolidações, a realização de estudos geotécnicos incluindo: sondagens para extracção de amostras indeformadas, ensaios de laboratório e um estudo da relação entre a dureza do material e sua dificuldade de dragagem. Em função desses estudos foram traçados perfis do subsolo ao longo das linhas de sondagem, onde se destacam as camadas de resistência semelhante, definidas com base em parâmetros dos solos obtidos nos ensaios de laboratório.

2 – OBJECTIVOS DO TRABALHO

Pelo exposto no item anterior, constata-se que são distintos os critérios de reconhecimento dos solos, adoptados nas duas etapas dos estudos no Canal de Acesso ao Cais de Minério do Porto do Rio de Janeiro. Enquanto a TECNO-SOLO S/A apoiou as suas conclusões nos resultados de sondagens de sondagens à percussão com medida de resistência à penetração, a Ródio S.A. efectuou um reconhecimento das características geotécnicas das diversas camadas do solo através de ensaios de laboratório e procurou estabelecer uma relação entre as características mecânicas do material a ser dragado e o rendimento da escavação.

Sendo as sondagens à percussão o processo mais difundido e expedito de reconhecimento de solos, torna-se do maior interesse correlacionar os resultados dos dois estudos mencionados e procurar exprimir o rendimento da dragagem em relação aos índices de resistência à percussão.

As razões expostas levaram o Instituto Nacional de Pesquisas Hidroviárias, através do seu Laboratório de Solos e Materiais, a elaborar o presente trabalho, objectivando principalmente:

- a) Comparar e correlacionar as informações do subsolo obtida nos dois estudos geotécnicos executados no Canal de Acesso ao Cais de Minério do Porto do Rio de Janeiro.
- b) Estabelecer correlações entre os diversos parâmetros obtidos em ensaios de laboratório os quais permitem a classificação dos solos encontrados e uma comparação com os materiais de outros locais.
- c) Divulgar as conclusões estabelecidas, oferecendo assim elementos para o prosseguimento das pesquisas sobre dragagens.

- d) Estabelecer um critério para a classificação dos solos com base no índice de resistência à penetração, com vistas ao rendimento da escavação na dragagem.

3 – DESCRIÇÃO DAS INVESTIGAÇÕES GEOTÉCNICAS

As investigações geotécnicas, nas duas etapas dos estudos no canal de acesso ao Cais de Minério do Porto do Rio de Janeiro, incluíram os serviços a seguir discriminados

3.1. *Sondagens de reconhecimento à percussão*

3.1.1. *Programação das sondagens*

Para o presente estudo considerou-se as sondagens executadas em alinhamentos paralelos, afastados de 150 metros e correspondentes às margens do canal. Essas sondagens, são designadas pela letra “T” (TECNOSOLO) na planta de localização anexa n.º 2.

As sondagens tiveram como referência de nível a cota +3,60 metros do coroamento do Cais de Minério.

3.1.2. *Processo de execução*

As perfurações foram executadas por percussão, com auxílio de circulação de água e protegidas por revestimento de 2” (50,8 mm) de diâmetro nominal.

A extração de amostras foi feita com a cravação de um amostrador padrão de 1” 1/16 (27,0 mm) e 1” 13/16 (46,1 mm) de diâmetro interno e externo, respectivamente.

Anotou-se o número de golpes de um peso de 65 kg, que cai em queda livre de uma altura igual a 75 cm, para cravar um comprimento igual a 0,30 m do amostrador descrito acima, nas camadas de solos atravessadas.

O número obtido, definido como índice de resistência à penetração, fornece a indicação da compacidade (caso dos solos de predominância arenosa ou siltosa) ou a consistência (caso dos solos de predominância argilosa) dos solos em estudo.

3.2. *Sondagens para colecta de amostras indeformadas*

3.2.1. *Programação das Sondagens*

Inicialmente foi executada uma linha com 23 sondagens (R 1 a R 23) espaçadas de 100 m no trecho parcialmente dragado e distando 20 m da margem do canal, que se situa do lado do Cais da Gamboa.

Em outra linha paralela à primeira, situada no trecho não dragado e distando 30 m da outra margem do canal foram executadas as perfurações R 24 a R 42, também com afastamento de 100 m. As sondagens R 25 e R 26, inicialmente programadas, não puderam ser realizadas devido a obstáculos no local.

Todas as sondagens tiveram como referência de nível a cota +3,60 m do coroamento do Cais de Minérios, onde era anotada a variação da maré durante a operação.

3.2.2. *Processo de execução*

As sondagens foram executadas à percussão e rotação sobre flutuante sendo a lâmina de água, que atingiu em média 13,0 m de espessura, atravessada por tubulação de 8”.

Na camada de lodo e argila arenosa mole e média a perfuração foi feita à percussão com revestimento de 8” e a colecta de amostras utilizou amostrador especial.

Nas camadas mais resistentes foi empregada a sondagem rotativa utilizando-se coroas de vídia de 6” de diâmetro.

Para permitir a retirada de amostras indeformadas foi utilizado o barrilete duplo que isola a amostra tanto da água de circulação como do movimento rotativo do conjunto de perfuração. As amostras indeformadas com 15 cm de diâmetro e comprimento variando de 30 a 70 cm foram devidamente parafinadas para que fosse preservado o seu teor de humidade e enviadas ao Laboratório de Mecânica dos Solos.

3.3. *Ensaio de Laboratório*

As amostras indeformadas representativas das camadas atravessadas foram submetidas a ensaios de caracterização, cisalhamento directo, compressão simples, adensamento e “vane-test” miniatura.

Os ensaios de caracterização constaram da análise granulométrica com sedimentação, limites de liquidez e plasticidade, além da determinação da

massa específica real dos grãos do solo e teor de humidade natural. Todos esses ensaios foram efectuados segundo os métodos preconizados pela Associação Brasileira de Normas Técnicas.

Os resultados dos ensaios de compressão simples, foram expressos através de q_u , ou seja a tensão máxima vertical observada na ruptura do corpo de prova. Nos solos puramente coesivos a coesão foi tomada igual a metade q_u .

Os ensaios de cisalhamento directo foram do tipo rápido, executados em corpos de prova cilíndricos com $S = 19,6 \text{ cm}^2$ e $h = 5,35 \text{ cm}$. A velocidade de deformação horizontal foi 12 mm/hora.

Nas amostras de solos que devido a baixa consistência não permitiam a moldagem do corpo de prova para ensaio à compressão simples foram executados ensaios de “vane-test” miniatura. Nesses ensaios a coesão do material é calculada pela expressão $C = \frac{2M}{\pi D^2 (DH + D/3)}$ onde H e D são a altura e o diâmetro respectivamente da palheta do aparelho e M o momento torsor máximo aplicado.

Dispõe-se ainda do índice de compressão C_c de algumas amostras de solo as quais foram submetidas a ensaios de adensamento com drenagem vertical.

4 – APRESENTAÇÃO DOS ESTUDOS GEOTÉCNICOS

Os resultados das sondagens estão apresentados através de perfis gerais do subsolo constantes dos anexos 3 e 4, traçados segundo os dois alinhamentos das sondagens da Ródio S.A.

Nas posições daquelas sondagens, os rectângulos representam a posição e numeração das amostras indeformadas extraídas.

As classificações geotécnicas dos solos encontrados estão representadas graficamente, de acordo com as convenções indicadas nos desenhos.

Sobre esses perfis projectou-se os resultados das sondagens à percussão, assinalando-se os diferentes valores dos índices de resistência à penetração expressos em $n.^o$ golpes/cm, nas profundidades em que foram obtidos. Indicou-se ainda as cotas batimétricas nos locais desses furos na época em que foram executados. A pequena variação observada em alguns pontos entre cotas do terreno determinada pelas sondagens à percussão (sondagens T) e pela sondagem de coleta de amostras mais proxima (sondagens R) decorre não só da diferença de localização entre essas sondagens mas também do facto de terem sido

executadas em épocas diferentes. Assim, na região das sondagens T 11 e T 15 onde a diferença de cotas é mais acentuada, as sondagens R 2 a R 6 foram realizadas após o local ter sido parcialmente dragado.

As diferentes camadas assinaladas nos perfis gerais foram obtidas agrupando-se os solos da mesma consistência, independentemente das suas classificações geotécnicas.

Os resultados dos ensaios de laboratório e as classificações correspondentes estão consignados na tabela I folhas 1 a 7.

5 – CRITÉRIO PARA CLASSIFICAÇÃO DOS SOLOS

5.1. *Granulometria e Plasticidade*

Todas as amostras, isto é, as indeformadas e as obtidas nas sondagens à percussão foram submetidas a uma classificação visual onde se definiu o tipo de solo e a cor de cada testemunho. Com as amostras indeformadas foram executados os ensaios de granulometria, mencionados no ítem 3.3.1. e a classificação com base na composição granulométrica foi feita pelo sistema adoptado pela Massachusetts Institute of Technology (MIT), que considera:

Tipo de Solo	Tamanho das Partículas em mm
Areia	0,06 Ø 2,0
Silte	0,002 Ø 0,06
Argila	Ø 0,002

Na Tabela I apresentou-se apenas as percentagens de partículas de diâmetros menores do que 0,002 mm e a percentagem de material que passa na peneira N.%200 (0,074 mm).

Para representar e comparar as propriedades dos solos, adoptou-se o gráfico devido a A. Casagrande em que se considera como abcissa o limite de liquidez e como ordenada o índice de plasticidade. Nesse gráfico, denominado “Carta de Plasticidade”, os solos finos agrupam-se de um modo específico, sendo que em cada zona da carta se situam solos com características

de plasticidade e propriedades mecânicas e hidráulicas quantitativamente definidas. Os solos cujas partículas finas apresentam maior plasticidade situam-se em linhas inclinadas, na parte superior do gráfico, os solos com baixo teor de matéria orgânica bem como os que contêm finos de baixa plasticidade se situam nas zonas baixas.

Os anexos 5 e 6 contêm os Gráficos de Plasticidade onde estão representados os solos investigados.

5.2. *Consistência*

A consistência de um solo é a resistência que o mesmo oferece às deformações dando, portanto, uma indicação do seu comportamento reológico.

Diferentes solos têm consistência diferente em diferentes teores de humidade natural e a especificação desta condição dá alguma informação sobre o tipo de material.

O teor de humidade natural (W%) de um solo coesivo, indeformado, pode ser correlacionado com o seu limite de liquidez e limite de plasticidade, por meio da seguinte expressão que define o Índice de Consistência.

$$IC = \frac{LL - W}{IP}$$

sendo:

LL – Limite de Liquidez (%)

W – Teor de Humidade natural (%)

IP = (LL – LP) – Índice de Plasticidade (%)

Conclue-se que, quando o teor de humidade natural (W) se aproxima do limite de plasticidade (LP) o solo coesivo torna-se mais consistente, o seu estado de consolidação aumenta, e o índice de consistência tende para 1. Se a humidade natural é menor do que o limite de plasticidade (índice de consistência maior do que 1) o solo não pode ser amolgado.

Por outro lado quando W tende para o limite de liquidez o IC aproxima-se de zero. Se $W > LL$ ou seja, índice de consistência negativo, um processo de amolgamento transforma o solo numa lama viscosa.

Neste trabalho, para classificação das argilas quanto ao índice de consistência adoptou-se o seguinte critério:

Consistência	Índice de consistência
Mole	0,0 0,5
Média	0,5 1,0
Dura	> 1,0

Quando um solo muda de um estado de consistência para outro a sua resistência às deformações também muda. A resistência à deformação pode ser quantitativamente medida em termos de resistência ao cisalhamento ou resistência do solo na compressão simples.

O critério adoptado para correlacionar a consistência com o resultado da compressão simples (q_u) consta da tabela a seguir:

Consistência	q_u (kg / cm ²)
Mole	0,0 0,5
Média	0,5 1,0
Dura	> 1,0

5.3. *Actividade*

Poucas relações, válidas para todos os solos, têm sido desenvolvidas com base nos parâmetros fundamentais tais como componente mineralógico, condições ambientes, etc. Essas propriedades básicas são difíceis de serem medidas em laboratório e são avaliadas indirectamente, por experiências simples tais como os ensaios de Atterberg. Skempton introduziu com esse propósito o conceito de “actividade” do solo, a qual é definida pela relação entre índice de plasticidade e a percentagem em peso das partículas de solo com diâmetros inferiores a 2μ . Assim, o tipo de mineral (determinado pelo índice

de plasticidade) e a quantidade da fracção de argila mineral acentuam a importância da contribuição das partículas mais finas de argila mineral no comportamento do solo.

$$a_c = \frac{I P}{\% \text{ Fracção argila } (< 2 \mu)}$$

Quanto à actividade, as argilas classificam-se em:

Inactivas - $a_c < 0,75$

Normais - $0,75 < a_c < 1,25$

Activas - $a_c > 1,25$

No anexo n.º 7 está apresentada uma carta de actividade para os solos investigados.

6 - DESCRIÇÃO DO SUBSOLO - PARÂMETROS CARACTERÍSTICOS

Nos perfis gerais acima mencionados, anexos 3 e 4, verifica-se que o subsolo em estudo é composto basicamente de três camadas:

1.ª camada: Encontrada superficialmente em toda a região investigada, com espessura bastante variável, apresentando alguns bolsões, até 6,5 m de profundidade.

Os solos que constituem essa camada classificam-se como argila siltosa, cinza escura e cinza esverdeada ou argila siltosa com areia, cinza escura, contendo, em diversos locais, pedaços de madeira em decomposição, fragmentos de conchas e matéria orgânica. Pelas suas características e baixa consistência esses solos podem ser classificados como lama ou vasa.

2.ª camada: Esta camada ocorre mais escassamente, sempre subjacente à camada de lodo e é composta, predominantemente, por argila siltosa e argila

com inclusões de percentagens variadas de areia fina, média e grossa, consistência média.

3.^a camada: Localiza-se, praticamente, em toda a área estudada abaixo do lodo ou da argila de consistência média, e é composta de argila arenosa, cinza clara ou cinza com veios amarelos.

A Tabela I, com os resultados dos ensaios de laboratório, foi organizada agrupando-se os valores correspondentes às amostras colhidas em cada uma das camadas destacadas nos perfis longitudinais e acima especificadas. Acrescentou-se ainda nessa tabela os valores dos índices de resistência à penetração (IRP) medidos nas sondagens a percussão, próximos às diferentes amostras.

No Gráfico de Plasticidade traçado para a 1.^a camada (anexo 5, as amostras com elevado teor de humidade natural – mais do que 100%) e classificadas como solo orgânico, situaram-se numa região abaixo da linha A, correspondente aos solos OH, isto é, argilas orgânicas de alta plasticidade, confirmando portanto a classificação visual.

O ajustamento pelo método dos mínimos quadrados de uma recta entre os pontos representativos desse material conduziu à equação $IP = 0,704 (LL) - 21,3$.

As demais amostras dessa camada representaram-se acima da linha A e classificam-se como solos CL e CH isto é, argilas inorgânicas de média e alta plasticidade. A recta ajustada entre os pontos desses solos tem a equação $IP = 0,724 (LL) - 10,1$.

Os solos da 2.^a e 3.^a camada foram representados no Gráfico de Plasticidade constantes do anexo 6, classificando-se também como solos CL e CH, sendo a recta ajustada entre os pontos $IP = 0,580 (LL) - 3,60$.

Aplicados os critérios de classificação quanto à consistência, mencionadas no item 5 deste trabalho, verifica-se que na primeira camada os índices de consistência, na grande maioria das amostras, é negativo, havendo ocorrência em menor número entre 0 e 0,50. Convencionou-se chamar os primeiros de muito moles e os outros de moles.

Os solos das 2.^a e 3.^a camadas classificam-se, respectivamente, como de consistência média e dura.

Levando-se em conta os diferentes tipos de material existente em cada camada, após eliminar os valores discrepantes dos vários conjuntos, calcularam-se

as médias dos parâmetros necessários para definir as características dos solos em estudo e organizou-se a tabela seguinte:

PARÂMETRO	1.ª Camada		MOLE	2.ª Camada	3.ª Camada		
	MUITO MOLE					MÉDIA	DURA
	Orgânico	Não Orgânico					
w %	140	57	35	36	18		
δ g/cm ³	2,61	2,60	2,64	2,58	2,65		
#200	77	47	47	55	48		
LL %	70	45	45	48	51		
IP %	29	22	23	25	26		
IC %	- 1,86	- 0,57	0,32	0,74	1,31		
Cvane kg/cm ²	0,04	0,08	0,32	-	-		
qu kg/cm ²	-	-	-	0,92	3,51		
IRP golpes/cm	0/120	0/120	1/30	10/30	13/30		

Os diferentes símbolos representam:

w – teor de humidade natural

δ – massa específica dos grãos do solo

#200 – percentagem de material que passa na peneira n.º 200 (diâmetro < 0,075 mm)

LL – Limite de Liquidez

IP – Índice de Plasticidade

IC – Índice de Consistência

Cvane – Coesão do solo obtida no ensaio de “vane-test” miniatura.

q_u – Resistência à compressão simples

IRP – Índice de resistência à penetração medido na sondagem à percussão onde o numerador representa o número de golpes do martelo necessários para fazer o amostrador penetrar o comprimento indicado em cm no denominador.

No anexo 7 consta uma Carta de Actividade dos Solos onde estão representadas as rectas obtidas pelo método dos mínimos quadrados, aplicado aos pares de valores fracção argila ($< 2\mu$) - índice de plasticidade das diferentes camadas do subsolo. Na primeira camada, os solos orgânicos apresentam uma actividade $a_c = 5,33$ e os não orgânicos $a_c = 1,58$. Ambos podem portanto, ser classificados como argila activa, no conceito de Skempton.

Os solos da 3.^a camada, chamados de consistência dura, têm actividade $a_c = 1,19$, o que os torna uma argila normalmente activa.

Da 2.^a camada não se dispõe de valores da fracção argila, daí não se ter determinado a actividade.

Os solos duros foram submetidos a ensaios rápidos de cisalhamento directo e os resultados obtidos distribuem-se em duas faixas de valores, como pode ser verificado no gráfico do anexo 8.

Os solos mais finos classificados como argila silto-arenosa, com percentagens médias de material de grãos menores que 0,075 mm e fracção argila ($< 2\mu$), respectivamente de 58 % e 25 % definiram o feixe de rectas que pode ser representado pela recta de cisalhamento com coesão = 1,2 kg/cm² e ângulo de atrito $\phi = 11^\circ$.

No outro grupo de solos, constituído por argilas arenosas, tendo 38 % de solos com grãos menores que 0,075 mm e 16 % de fracção argila, a recta de cisalhamento média tem coesão $c = 0,7$ kg/cm² e ângulo de atrito $\phi = 24^\circ$.

7 – CORRELAÇÕES ENTRE PARÂMETROS DO SOLO

As correlações entre as propriedades dos solos são de frequente ajuda aos engenheiros projectistas. Isto é particularmente verdadeiro com relação aos estudos marítimos devido à grande dificuldade geralmente encontrada em obter-se suficientes informações. Na literatura especializada encontra-se vários exemplos da validade dessas correlações.

Terzaghi e Peck (1948), seguindo um trabalho de Skempton (1944) publicaram uma equação para um grupo de argilas normalmente consolidadas indicando um aumento linear do índice de compressão C_c com o limite de liquidez (LL) do tipo $C_c = 0,009 (LL - 10)$. Mais recentemente, Sherman e Hadjidakis (1962) estabeleceram a seguinte relação baseada em análise estatística de amostras de solos normalmente consolidados do Vale do Mississipi. $C_c = 0,011 (LL - 16)$.

Aplicando-se o método dos mínimos quadrados aos pares de valores $C_c - LL$ obtidos nos ensaios em amostras da argila de consistência dura, chegou-se à expressão, $C_c = 0,002 (LL - 26)$ e ao gráfico do anexo 8.

A importância prática desta correlação reside no facto de se poder estimar grosseiramente a compressibilidade de um sedimento sem a realização de ensaios de adensamento.

Tentou-se ainda estabelecer uma correlação entre a resistência ao cisalhamento e o índice de consistência dos solos das 1.^a e 3.^a camadas onde se dispunha de valores em quantidade suficiente para um tratamento estatístico.

No tratamento 9 verifica-se que a recta $C_v = 0,005 IC + 0,07$ representa a variação entre o índice de consistência e a resistência ao cisalhamento no “vane” miniatura dos solos moles.

Por outro lado, a resistência à compressão simples das argilas duras cresce com o índice da consistência de acordo com a equação $q_u = 0,24 IC + 2,41$.

De acordo com o exposto anteriormente neste trabalho, a classificação dos solos quanto à consistência baseou-se até aqui nos valores obtidos em ensaios de laboratório para índices de consistência e resistência à compressão simples das diferentes amostras de solos.

Entretanto, no exame dos perfis geotécnicos longitudinais e do quadro de parâmetros médios do ítem 6, observa-se que os valores do índice de resistência à penetração medidos nas várias camadas do subsolo variam em torno de valores médios, diferentes para cada tipo de material, aumentando com a consistência desses.

É, portanto, lícito procurar estabelecer um critério de classificação dos solos com base no índice de resistência à penetração, semelhante aos adoptados neste trabalho para o índice de consistência e a resistência a compressão simples.

Inicialmente, submeteu-se os valores dos índices de consistência, resistência à compressão simples e vane-miniatura a estimativas dos valores máximos e determinando-se o desvio padrão (σ) e estimativas dos valores máximos e mínimos que esses parâmetros podem assumir ($X_{máx.}$ e $X_{mín.}$).

As determinações disponíveis de IC , q_u e C_v constituem um conjunto parcial com um número finito de elementos (N) ou seja uma amostra do universo de valores que esses parâmetros podem assumir. Consequentemente ter-se-á de estimar em função desses elementos, (σ) o desvio padrão e (μ) o valor médio para um número infinito de observações ou média do universo de valores.

Para o desvio padrão a estimativa assume a expressão:

$$\sigma = \sqrt{\frac{(X - \bar{X})^2}{N - 1}} \text{ onde:}$$

X – valor individual referente a uma determinada característica.

\bar{X} – média aritmética dos valores disponíveis

N – número de valores disponíveis

A estimativa da média feita admitindo-se a probabilidade de ocorrer 10% de valores fora do intervalo:

$$\mu = \bar{X} \pm \frac{z \cdot \sigma}{N} = \bar{X} \pm \frac{1.29\sigma}{N}$$

O coeficiente $z = 1,29$ é obtido da curva de distribuição de Gauss para aquela probabilidade.

Os valores X máx. e X min. foram calculados pelas expressões X máx. = $\mu + Z \sigma$ e X min. = $\mu - Z \sigma$ sendo $Z_1 = 0,68$ o coeficiente correspondente a um risco de 25% de X , assumir valores fora do intervalo.

A análise estatística para as características dos solos em questão conduziu à tabela seguinte:

PARÂMETRO ESTATÍSTICO	1. ^a Camada						2. ^a		3. ^a	
	MUITO MOLE				MOLE		MÉDIO		DURO	
	Orgânico		Não Orgânico							
	IC	Cv	IC	Cv	IC	Cv	IC	qu	IC	qu
N	7	9	14	13	4	5	12	5	39	25
\bar{X}	-1,86	0,04	0,57	0,08	0,32	0,32	0,74	0,92	1,31	3,51
σ	0,52	0,02	0,32	0,02	0,07	0,11	0,12	0,14	0,07	1,30
X máx.	-1,26	0,06	-0,24	0,10	0,41	0,45	0,37	0,99	1,40	4,72
X min.	-2,46	0,02	-0,90	0,06	0,23	0,20	0,61	0,54	1,26	2,30

Convenções:

- N – n.º de valores disponíveis
- \bar{X} – média aritmética
- σ – desvio padrão
- X máx. – estimativa do valor máximo
- X mín. – estimativa do valor mínimo
- IC – índice de consistência
- Cv – resistência do “vane” – miniatura
- q_u – resistência à compressão simples.

Pelos resultados anteriores verifica-se que os valores máximos e mínimos que IC, q_u e Cv podem assumir nos diferentes materiais estão contidos nos intervalos adoptados para classificá-los quanto à consistência e próximos aos limites daqueles intervalos.

Estes factos indicam o acerto dos critérios adoptados para a classificação e sugerem que se aplique tratamento estatístico semelhante ao Índice de Resistência à Penetração (IRP).

Assim procedendo, chegou-se aos seguintes resultados para os solos de consistência média e dura.

Parâmetro Estatístico	2.ª Camada	3.ª Camada
	MÉDIO	DURO
N	8	7
\bar{X}	10/30	13/30
σ	1,3	2,0
X máx.	11/30	15/30
X mín.	8/30	11/30

Para os solos muito moles não teria sentido físico a efectivação desses cálculos pois os valores de IRP variam em torno da média 0/120, isto é o barrilete amostrador penetra no terreno sob o peso próprio das hastes.

Os resultantes acima expostos sugerem a seguinte tabela para classificação dos solos argilosos em apreço, quanto ao índice de resistência a penetração:

muito mole	-	<1
mole	-	1 a 3
médios	-	4 a 10
duros	-	> 10

A aplicação desta tabela a outros solos argilosos, ficará na dependência de estudos semelhantes em materiais de diferentes localizações e origens.

8 – INFORMAÇÕES SOBRE A DRAGAGEM DE SOLOS

A produção obtida numa dragagem depende de muitos factores entre os quais:

- natureza do solo;
- potência da bomba de dragagem;
- potência e tipo de desagregador;
- distância de recalque;
- regime de trabalho (número de horas de trabalho no mês);
- eficiência da operação, isto é, horas produtivas em relação às horas trabalhadas. Nesse caso, as paralizações inevitáveis que ocorrem variam com as condições locais e têm grande influência na produção.

Conclui-se, portanto, da dificuldade existente em obter-se uma correlação entre a produção da dragagem e os parâmetros do solo, objectivo deste trabalho. Uma melhor aproximação seria estabelecer a relação $m^3/HP/h$ para diferentes solos, o que não vem sendo possível pela falta de informações nesse sentido, entre as quais a realização de estudos geotécnicos antes da dragagem.

Obteve-se as seguintes informações de dragas operando-se no Brasil, fornecendo subsídios para a pesquisa em tela.

- De uma dragagem executada pela draga “Sergipe” na ponta da Ribeira, Ilha do Governador, Guanabara, observaram-se os seguintes valores:
 - Material mole (argila arenosa, média) – $535m^3/h$.
 - Material duro (argilas rijas e duras) – $378m^3/h$.

A classificação de solos acima foi feita por inspecção visual, na falta de investigações geotécnicas.

A draga “Sergipe” tem as seguintes características:

- potência na bomba de dragagem 3.200 Hp
- potência no desagregador 600 Hp
- distância média de recalque 1.400 m

b) A draga “King” produziu em média 200 m³/hora, removendo material solto na Lagoa dos Patos. Esta mesma draga na argila dura do canal de São Gonçalo (Pelotas – RGS) teve a produção reduzida a 50 m³/hora.

Nos rendimentos citados já foram consideradas as paralizações que se verificam em maior número para limpeza e reparo do desagregador e todas as demais operações decorrentes da mudança de características dos materiais dragados.

Verifica-se também que o rendimento de uma draga operando em material solto, que necessita apenas ser desagregado, e não cortado, é quatro vezes maior do que o rendimento que esta mesma draga apresenta trabalhando em argila dura.

9 – COMPORTAMENTO NA DRAGAGEM DAS ARGILAS EM ESTUDO

A dragagem objecto deste trabalho foi executada pela draga “Brasil” com as seguintes características:

- potência na bomba de dragagem – 5460 Hp.
- desagregador eléctrico, com dentes – 277 kva.
- diâmetros dos tubos de recalque – 700 mm
- distância média de recalque – 500 m

Foram colhidas as seguintes informações nesta dragagem:

a) Materiais definidos como constituintes da 1.^a camada (Argila mole).

Dada a natureza e a consistência deste material não houve qualquer problema quanto à utilização da draga de sucção.

A produção obtida, levando em conta as paralizações poderá ser considerada da ordem de 180.000 m³/mês.

b) Materiais definidos como constituídos da 2.^a camada. (Argila de consistência média).

As dificuldades de dragagem iniciaram-se nesta camada, onde a alta plasticidade confere ao material propriedades ligantes e a areia grossa torna o material com características abrasivas.

Por essas condições, a produção foi bastante reduzida com relação à da camada anterior, não tendo ultrapassado 50.000 m³/mês.

- c) Materiais definidos como constituintes da 3.^a camada. (Argila de consistência rija e dura).

O rendimento na dragagem deste material é muito baixo, devido não só à dureza das argilas, mas também ao alto teor abrasivo fornecido pelas partículas arenosas que estão intimamente ligadas à massa argilosa. Esse material necessita de uma operação cortante, não sendo apenas desagregado. Devido ao baixo teor de umidade natural, esta camada não apresenta “in-situ” as propriedades ligantes da anterior sendo cortada na operação de dragagem em fatias finas, que não oferecem maiores dificuldades de serem transportadas pela sucção.

Entretanto, na continuação do processo de dragagem, as partículas não transportadas vão adquirindo umidade, transformando-se no material pegajoso e aderindo ao desagregador, em pouco tempo bloqueiam-no totalmente, interrompendo o fluxo de sucção e recalque.

Devido às condições descritas a produção mensal da dragagem nesta faixa não ultrapassou 25.000 m³/mês.

10 – CONCLUSÕES

10.1. O subsolo do canal de acesso ao Cais de Minério do Porto do Rio de Janeiro, compõe-se essencialmente de três tipos de material com características distintas e bem definidas a saber:

- a) 1.^a camada: Argila siltosa, mole, com areia fina, cinza escura, muito activas, contendo solos OH, CL e CH.
- b) 2.^a camada: Argila siltosa, consistência média, com areia fina e grossa, cinza clara, contendo solos CL e CH.
- c) 3.^a camada: Argila arenosa, consistência dura, cinza clara ou cinza com veios amarelos, normalmente activa, classificada como CL e CH.

10.2. As sondagens e os ensaios executados por duas empresas em etapas diferentes concordaram satisfatoriamente. Complementados pela análise das produções da dragagem, permitiram o estabelecimento de uma tentativa de correlacionamento entre as características geotécnicas dos materiais do Canal de Acesso ao Cais de Minério e a produção de dragagem, traduzido no quadro da página seguinte:

SOLO	IC	qu kg/cm ²	vane kg/cm ²	IRP golpes/cm	Rendimento
Argila mole	0,4	–	0,45	1/30	180.000 m ³ /mês
Argila média	0,60 a 0,87	0,54 a	–	4/30 a 10/30	até 50.000 m ³ /mês
Argila dura	1,26 a 1,40	2,30 a 4,72	–	11/30 a 15/30	ate 25.000 m ³ /mês

10.3. Os valores acima são válidos para solos com as características das argilas investigadas neste trabalho e para dragagem com as características e dificuldades desta obra específica. Com o prosseguimento das investigações poderão ser ampliadas a outros materiais.

10.4. A coerência observada entre os resultados do IRP das sondagens a percussão e os ensaios de laboratório deixa prever que as mesmas podem vir a representar no projecto de dragagens o mesmo papel que já desempenham nos estudos de Mecânica dos Solos, em geral.

10.5. Para julgar-se do comportamento de um solo numa dragagem, é preciso analisar-se não só os seus parâmetros de resistência mas também a sua plasticidade e a presença de elementos que lhe possam conferir efeitos abrasivos, tais como areia de granulação grossa.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- 1 – Badillo, E. J. e Rodriguez, A. R. (1970) – “Mecânica de Suelo” – Tomo I – México – Central de Artes Gráficas S. A.
- 2 – Kögler, F. C. – (1967) “Geotechnical Properties of Recent Marine Sediments from the Arabian Sea and the Baltic Sea” Marine Geotechnique – Illinois – Adrian F. Richards Editor.
- 3 – Lopes de Souza, M. (1969) – “Pavimentação” – Vol. II – Instituto Militar de Engenharia.
- 4 – Lopes de Souza, M. (1969) – “Estimativa de Qualidades nos Serviços Rodoviários. – Planos de Amostragem Publicação n.º 400 – Instituto de Pesquisas Rodoviárias.

- 5 - Mc Clelland, B - (1967) "Progress of Consolidation in Delta Front and Prodelta Clays of the Mississippi River" - Marine Geotechnique - Illinois - Adrian F. Richards, Editor.
- 6 - Richards, A. F. e Hamilton, E. L. - (1967) "Investigations of Deep - Sea Sediment Cores III Consolidation" - Marine Geotechnique - Illinois - Adrian F. Richards, Editor.
- 7 - Ródio S. A. (1967) - Relatório 312-02 relativo à sondagens e ensaios executados no Canal de Acesso ao Cais de Minérios e Carvão do Porto do Rio de Janeiro, para o DNPVN.
- 8 - Sherman, W. C., e Hadjidakis, C. C. - (1962) - "Engineering Properties of Fine-grained Mississippi Valley Alluvial Soils, Meander Belt and Backswamp Deposits" Vicksburg, Mississippi, U. S. Report 3 - 604.
- 9 - Singh, A - (1967) - "Soil Engineering in Theory and Practice" - Índia - Ásia Publishing House.
- 10 - Skempton, A. W e Northy, R. D. - (1953) "The Sensitivity of Clay" - Geotechnique, Vol. 3 - pp - 30 - 53.
- 11 - Tecnosolo S. A. (1962) - Relatório 1721/62 relativo às sondagens a percussão executadas no Canal de Acesso ao Cais de Minério e Carvão do Porto do Rio de Janeiro, para a APRJ.
- 12 - Terzaghi, K. e Peck, R. (1948) - "Soil Mechanics in Engineering Practice" - N. Y. - John Willey and Sons.

RESULTADOS DE ENSAIOS-1a. CAMADA MATERIAL MOLE

Número da Anostra	Furo da Rodio	COTAS (m)		CARACTERIZAÇÃO							Índice de Consistência	Vane - test kg/ cm ²	I.R.P.
		INICIAL	FINAL	% #/ 200	% <2 μ	LL %	LP %	IP %	W %	δ g/cm ³			
1	42	-10,05	-12,55	76	5	67	38	29	128	2,64	-2,10	0,03	
2	42	-12,35	-14,77	86	4	61	40	21	102	-	-1,95	0,06	0/110
3	37	-11,30	-12,72	72	5	85	45	40	130	2,63	-1,22	0,03	
5	38	- 9,40	-11,47	75	4	66	42	24	116	2,63	-2,09	0,03	
7	36	- 8,20	-10,25	78	6	83	39	44	166	2,63	-7,88	0,04	
14	35	- 8,40	-10,45	81	5	59	38	21	124	2,61	-6,00	0,02	
18	40	- 9,75	-12,27	74	6	77	48	29	154	2,59	-2,65	0,04	
20	34	- 8,85	-11,37	79	6	-	-	-	-	2,60	-	0,02	1/120
91	18	- 9,90	-11,30	70	7	54	33	21	78	2,62	-1,14	0,02	0/50
6	38	-11,47	-14,82	77	4	52	24	28	64	2,54	-0,43	0,07	
26	33	- 8,75	- 9,97	30	7	42	23	19	30	2,65	0,63	0,13	
28	32	- 8,00	- 9,60	45	12	52	24	28	62	2,68	-0,36	0,06	0/200
31	31	- 9,40	-10,70	39	5	46	23	23	60	2,64	-0,61	0,09	0/20
34	30	- 8,55	-10,30	42	19	30	20	10	34	2,60	-0,40	0,05	
37	29	- 8,70	- 9,00	33	9	34	19	15	46	2,66	-0,80	0,12	0/30

TABELA I

1.

RESULTADOS DE ENSAIOS 1a. CAMADA MATERIAL MOLE

Número da Amostra	Furo da Rodio	COTAS (m)		CARACTERIZAÇÃO							Índice de Consistência	Vane-test Kg/cm ²	I.R.P.
		INICIAL	FINAL	% # 200	% <2 μ	LL %	LP %	IP %	W %	ρ g/cm ³			
40	23	- 8,40	-10,30	30	8	31	18	13	28	2,66	0,23	0,06	
43	27	-10,75	-11,15	76	3	49	27	22	75	2,64	-1,18	0,12	
45	24	- 9,95	-12,65	32	3	NP	NP	-	55	2,60	-	-	0/245 1/45
46	24	-12,65	-15,35	42	8	36	19	17	41	2,64	-0,29	0,25	1/60
49	3	-11,67	-12,73	31	-	38	14	24	-	2,64	-	-	
52	4	-12,55	-15,40	-	-	-	-	-	-	2,67	-	-	
56	6	-11,71	-12,20	73	6	53	27	26	57	2,62	-0,15	0,07	0/70
57	7	-10,05	-11,05	13	5	-	-	-	-	2,62	-	-	
59	8	- 9,40	-10,10	38	17	50	20	30	39	2,65	0,36	0,40	
62	9	- 9,10	-10,00	38	12	45	21	24	21	2,42	-	0,10	0/100
65	10	- 8,47	- 9,42	71	27	48	25	23	34	2,68	0,60	0,18	
69	11	-11,30	-13,06	49	21	55	27	28	44	2,64	0,39	0,40	
71	12	- 9,30	-11,32	48	15	52	22	30	62	2,63	-0,33	-	0/70
76	13	- 9,10	-10,00	58	16	56	22	34	75	2,56	-0,56	-	
81	15	- 9,65	-10,67	40	10	41	17	23	45	2,59	-0,17	-	
84	16	- 9,60	-10,01	36	11	39	20	19	29	2,65	0,55	0,40	3/30

RESULTADOS DE ENSAIOS 1a. CAMADA MATERIAL MOLE

Número da Amostra	Furo da Radío	COTAS (m)		CARACTERIZAÇÃO							Índice de Consistência	Vane - test kg/ cm ²	I.R.P.
		INICIAL	FINAL	% # 200	% < 2 μ	LL %	LP %	IP %	W %	δ γ/cm ³			
88	17	-9,65	-10,45	61	20	47	22	25	39	2,57	0,32	0,23	
93	19	-9,15	-11,30	38	10	40	26	14	30	2,58	-2,35	0,09	
96	20	-8,60	-11,70	48	4	42	26	16	33	2,44	-2,56	0,03	
98	21	-9,40	-11,09	42	7	51	25	26	30	2,60	-1,10	0,06	0/180
101	22	-8,20	-11,80	47	4	48	26	22	63	2,55	-0,68	0,09	
103	23	-8,85	-10,70	44	11	43	25	13	59	2,53	-0,89	0,22	0/200

TABELA I 3.

RESULTADOS DE ENSAIOS 2a. CAMADA - MATERIAL MÉDIO

Número da Amostra	Furo da Rodia	COTAS (m)		CARACTERIZAÇÃO							Índice de Consistência	COMPRESSÃO SIMPLES		IRP
		INICIAL	FINAL	% #	%	LL	LP	IP	W	δ		qu	C	
				200	$< 2 \mu$	%	%	%	%	g/cm ³				
4	37	-12,72	-13,67	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	9/30
15	35	-10,45	-11,67	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	11/30
21	34	-11,37	-12,80	-	-	-	-	-	42	-	0,69	-	-	
24	41	-10,42	-11,80	-	-	-	-	-	30	-	0,84	1,70	0,35	9/30
29	32	- 9,60	-11,40	-	-	44	24	20	32	-	0,59	-	-	10/30
38	29	- 9,00	-11,95	-	-	55	23	32	35	2,67	0,90	-	-	10/30
41	28	-10,30	-12,15	27	8	37	18	19	23	2,63	0,74	0,80	0,40	8/30
44	27	-11,15	-15,10	-	-	-	-	-	-	-	-	0,80	0,40	-
50	3	-12,73	-15,03	26		34	13	21	-	-	0,91	-	-	
53	4	-15,40	-17,91	80		76	44	32	72	2,63	0,12	0,50	0,25	
89	17	-10,45	-12,25	-	-	-	-	-	-	-	0,85	-	-	4/30
92	18	-11,45	-14,60	88	4	65	26	39	43	2,38	0,60	-	-	12/30 11/30
95	19	-12,15	-13,35	-	-	-	-	-	-	-	0,80			
97	20	-11,70	-13,90	-	-	-	-	-	-	-	0,80			
100	21	-12,05	-14,20	-	-	55	35	20	45	2,62	0,50			
102	22	-11,80	-15,30	-	-	-	-	-	-	-	0,74	0,80	0,40	

TABELA I

RESULTADOS DE ENSAIOS 3a. CAMADA - MATERIAL DURO

Número da Amostra	Furo da Rodão	COTAS (m)		CARACTERIZAÇÃO							Índice de Consistência	COMPRESSÃO SIMPLES		CISALHAMENTO DIRETO		I.R.P.
		INICIAL	FINAL	% #	%	LL	LP	IP	W	δ		q_u	c	c	ϕ	
				200	< 2 μ	%	%	%	%	g/cm ³		kg/cm ²	kg/cm ²	kg/cm ²	graa	
8	36	-10,25	-12,10	-	-	-	-	-	-	-	-	2,80	1,40	1,1	7	
9	36	-12,10	-12,90	-	-	-	-	-	-	-	-	4,20	2,10	-	-	13/30
11	39	-9,55	-11,07	57	20	51	26	25	14	2,66	1,49	1,70	0,30	1,9	11	
12	39	-11,07	-11,72	47	20	43	22	21	16	2,60	1,28	5,50	2,70			
13	39	-11,72	-13,10	-	-	-	-	-	-	-	1,33	-	-			
16	35	-11,67	-12,37	-	-	-	-	-	-	-	1,10	3,40	1,70	-	-	11/30
17	35	-12,37	-13,02	-	-	-	-	-	-	-	1,73	4,20	2,10	-	-	17/30
19	40	-12,27	-14,02	33	14	38	20	18	16	2,61	1,22	4,40	2,20	0,6	15	
22	34	-12,80	-13,57	-	-	54	35	19	34	-	1,10	3,40	1,70			
25	41	-11,80	-12,95	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	10/30
32	31	-10,70	-11,70	74	33	71	44	27	43	2,55	1,03	1,40	0,70	0,4	16	-
33	31	-11,70	-13,40	-	-	-	-	-	-	-	1,73	2,20	1,10	-	-	13/30
35	30	-10,30	-11,75	79	37	75	29	46	26	2,67	1,73	2,20	1,10	1,1	5	
36	30	-11,75	-13,30	72	33	77	27	50	28	2,60	0,98	1,70	0,80	1,2	4	-
39	29	-11,95	-13,20	46	19	87	32	55	17	2,62	1,27	2,50	1,30	0,9	14	23/30
42	28	-12,15	-13,02	-	-	42	23	19	21	2,60	1,09	6,60	3,30			

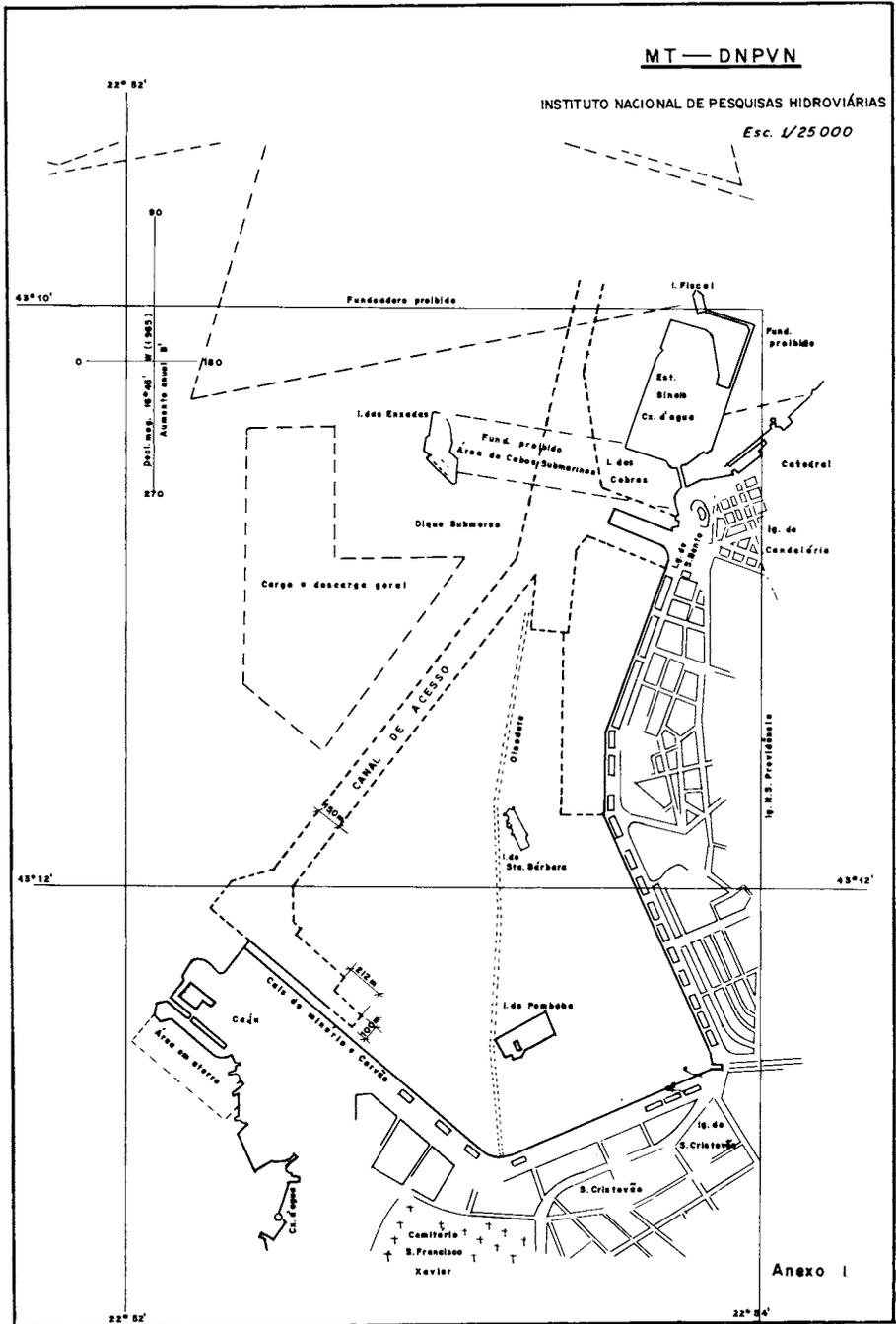
TABELA I 5.

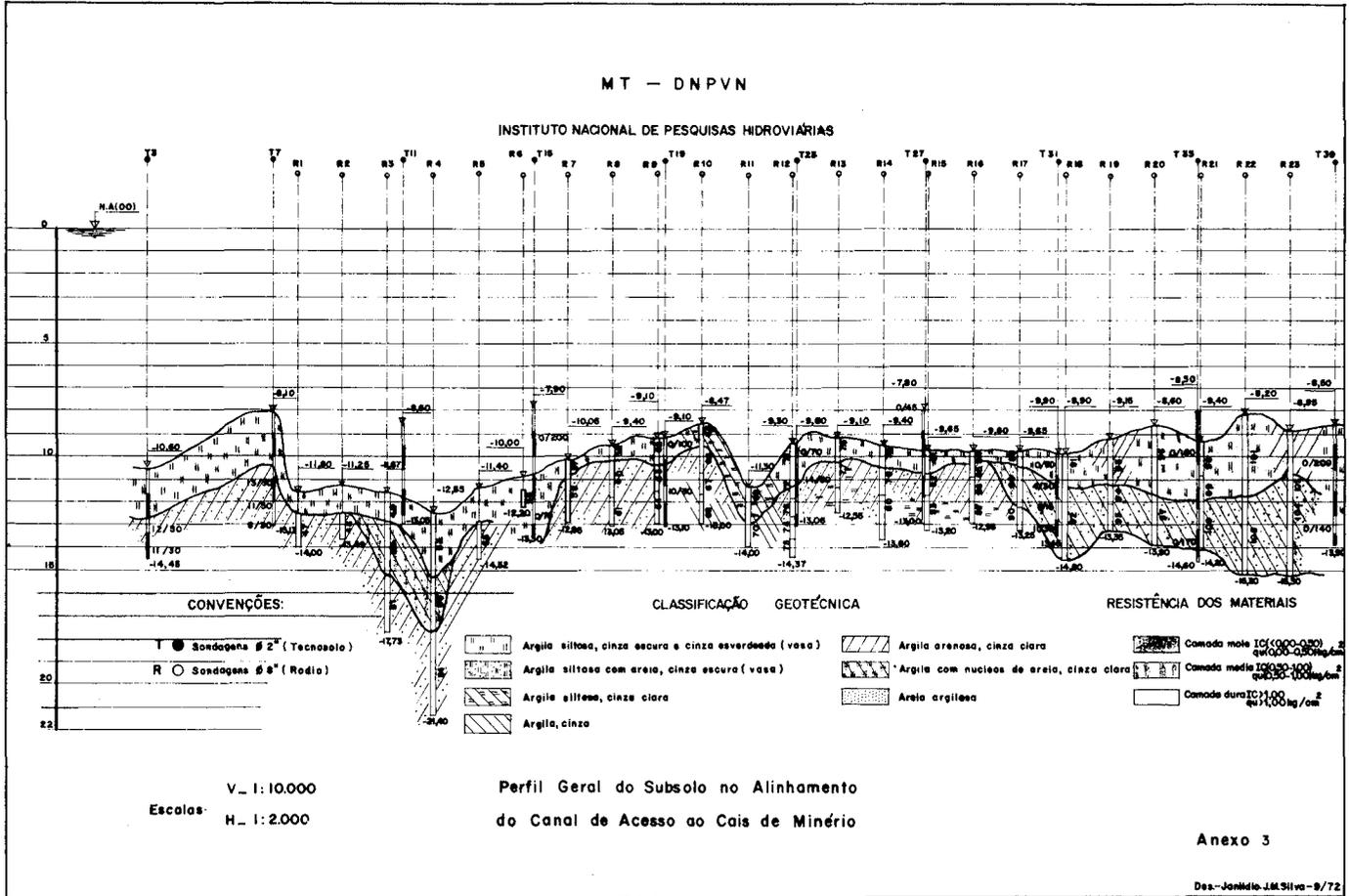
RESULTADOS DOS ENSAIOS - 3a. CAMADA MATERIAL DURO

Número da Amostra	Furo da Rodio	COTAS (m)		CARACTERIZAÇÃO							Índice de Consistência	COMPRESSÃO SIMPLES		CISALHAMENTO DIRETO		IRP
		INICIAL	FINAL	% #	%	LL	LP	IP	W	δ		σ_u	c	c	ϕ	
				200	< 2 μ	%	%	%	%	g/cm ³		kg/cm ²	kg/cm ²	kg/cm ²	graus	
47	1	-12,30	-14,00	50	21	56	21	35	22	2,65	0,97	3,00	1,50	-	-	13/30 11/30
48	2	-12,44	-13,49	40	16	36	13	23	11	2,67	1,09	6,60	3,30	-	-	-
51	3	-15,03	-17,73	58	-	30	12	19	12	2,61	1,00	-	-			
54	4	-17,91	-21,40	49	25	58	24	34	12	2,65	1,30	2,90	1,40	10,0	30	
55	5	-13,07	-14,52	60	27	43	21	22	22	2,65	0,95	2,00	1,00	0,7	14	-
58	7	-11,05	-12,95	55	28	54	22	32	18	2,61	1,10	3,40	1,70	1,2	7	-
60	8	-10,10	-12,00	40	13	26	14	12	13	2,67	1,08	2,10	1,00	0,2	29	
61	8	-12,00	-13,05	64	30	48	21	27	12	2,65	1,33	-	-	8,0	10	-
63	9	-10,00	-11,60	19	9	30	13	17	9	2,68	1,24	5,00	2,50	2,7	35	10/30
64	9	-11,60	-13,00	62	22	61	35	26	10	2,65	1,96	-	-	1,0	60	
66	10	-9,42	-10,90	27	12	60	34	26	15	2,68	1,73	4,20	2,10	0,4	42	
67	10	-10,90	-11,80	88	36	59	35	24	33	2,76	1,08	1,10	0,60	0,6	12	
68	10	-11,80	-13,00	73	30	61	36	25	30	2,87	1,24	2,60	1,30	1,2	21	
70	11	-13,06	-14,00	42	13	62	33	29	31	2,69	1,07	-	-	-	-	
72	12	-11,32	-11,87	23	13	56	26	30	14	2,64	1,40	2,40	1,20	0,8	25	14/30
73	12	-11,87	-12,52	38	19	35	17	18	9	2,66	1,45	-	-	2,6	30	

RESULTADOS DOS ENSAIOS - 3a. CAMADA MATERIAL DURO

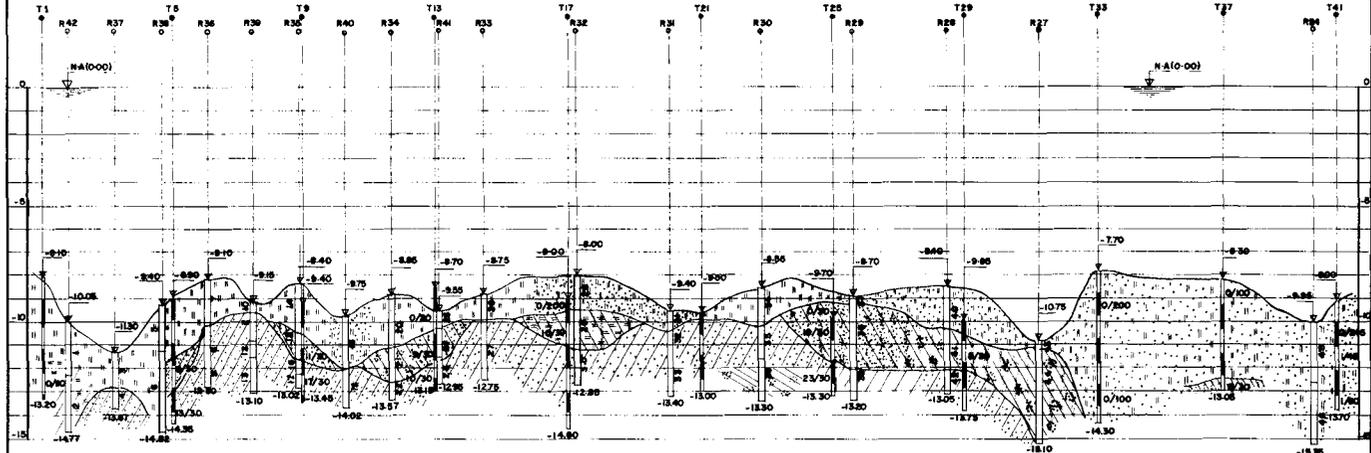
Número da Amostra	Furo da Rodio	COTAS (m)		CARACTERIZAÇÃO							Índice de Consistência	COMPRESSÃO SIMPLES		CISALHAMENTO DIRETO		I.R.P.
		INICIAL	FINAL	% #	%	LL	LP	IP	W	δ		σ_u	c	c	ϕ	
				200	<2	%	%	%	%	g/cm ³		kg/cm ²	kg/cm ²	kg/cm ²	grãos	
74	12	-12,52	-13,57	36	19	34	17	17	11	2,63	1,35	2,60	1,30	0,6	20	
75	12	-13,57	-14,37	20	7	42	22	20	13	2,59	1,46	3,10	4,00	-	-	
77	13	-10,00	-11,30	53	19	41	23	18	10	2,64	1,72	1,40	0,72	0,7	13	
79	14	-10,60	-11,70	51	19	62	23	34	16	2,62	1,36	2,80	1,40	3,0	12	
80	14	-11,70	-13,60	20	9	43	21	22	4	2,62	1,77	3,90	4,50	0,9	30	
82	15	-10,67	-11,81	46	19	44	24	20	16	2,66	1,40	7,00	3,50	1,4	16	
83	15	-11,81	-13,20	55	16	66	37	29	25	2,57	1,41	3,10	4,00	2,2	13	
85	16	-10,01	-10,75	42	26	47	24	23	15	2,65	1,40	3,20	4,10	2,4	6	
86	16	-10,75	-12,15	44	21	57	29	28	17	2,67	1,43	3,80	1,90	0,3	23	
87	16	-12,15	-12,95	37	12	29	15	14	15	2,65	1,00	3,00	1,50	0,3	24	





MT - DNPVN

INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS HIDROVIÁRIAS



CONVENÇÕES

- T ● Sondagens #2 (Tecnosolo)
- R ○ Sondagens #8" (RODIO)

CLASSIFICAÇÃO GEOTÉCNICA

- Argila siltosa, cinza escura e cinza averdeada (vase)
- Argila arenosa, cinza clara
- Argila com núcleos de areia, cinza clara
- Argila siltosa, cinza escura (vase)
- Argila, siltosa, cinza clara
- Argila, cinza
- Areia argilosa

RESISTÊNCIA DOS MATERIAIS

- Camada mole $I_c(0,00-0,50)$
 $q(0,00-0,50)$ kg/cm²
- Camada média $I_c(0,50-1,00)$
 $q(0,50-1,00)$ kg/cm²
- Camada dura $I_c > 1,00$
 $q > 1,00$ kg/cm²

Escalas:
V_ 1:10.000
H_ 1:2.000

Perfil Geral do Subsolo no Alinhamento
do Canal de Acesso ao Cais de Minério

Anexo 4

Des. - Janildo J.M. Silva - 9/72

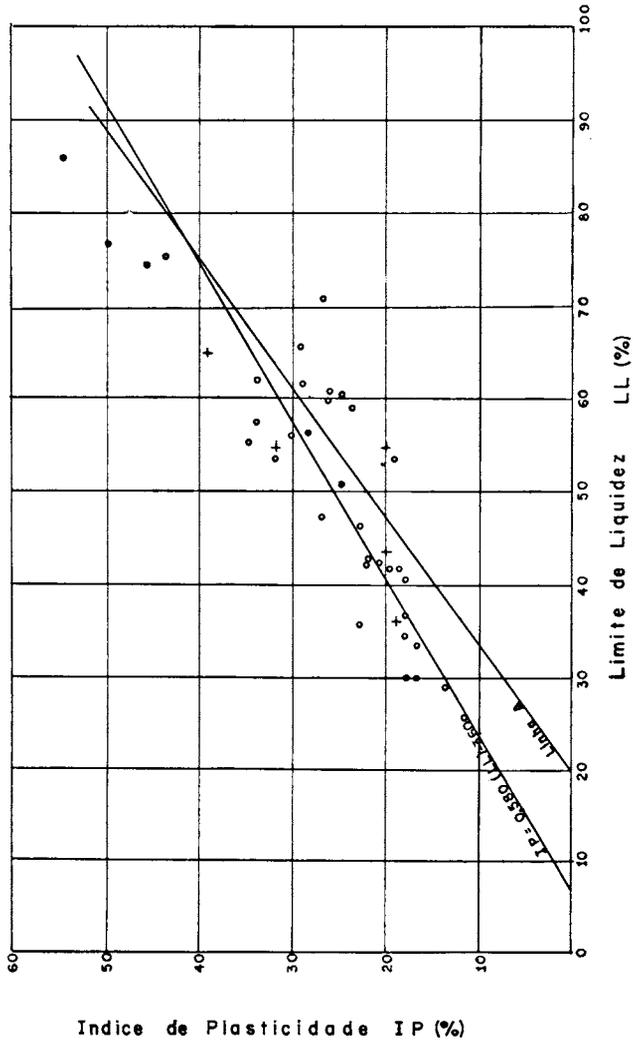


M.T.
D.N.P.V.N.
I.N.P.H.

GRÁFICO de PLASTICIDADE MATERIAL MÉDIO • DURO

Nº 5
DES. *Amadeu Lima*
VISTO *W. J. P.*
DATA - OUT. 971

Convenções:
+ Material médio
o Material duro

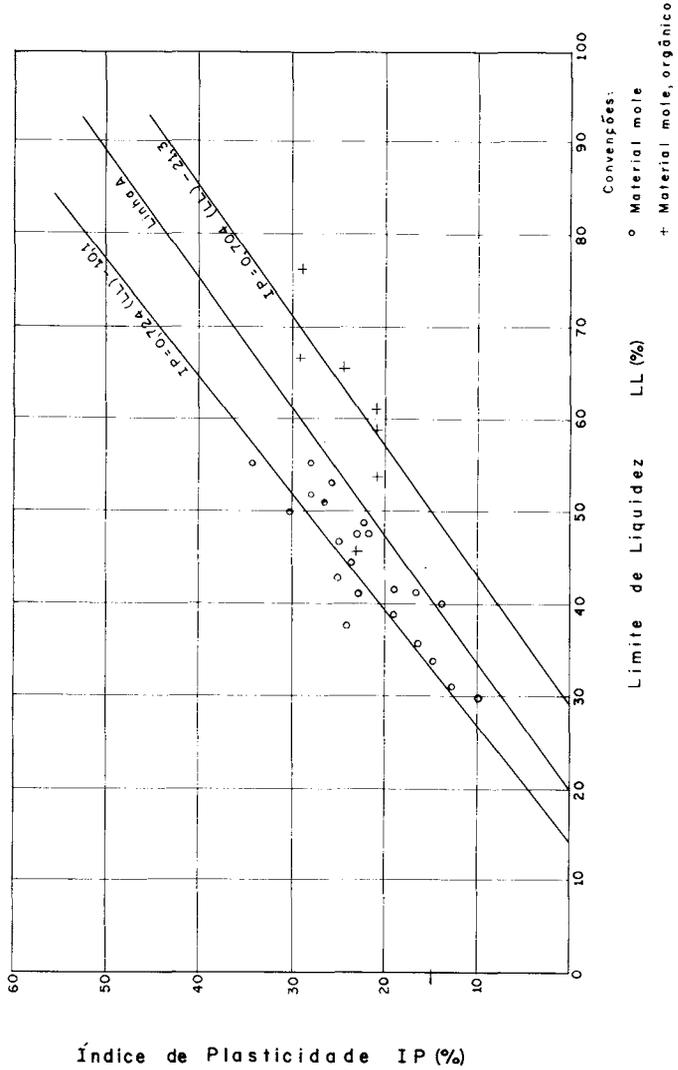




M.T.
D.N.P.V.N.
I.N.P.H.

GRÁFICO de PLASTICIDADE MATERIAL MOLE

Nº 6
DES. *Aracelis Lima*
VISTO
DATA - OUT 971

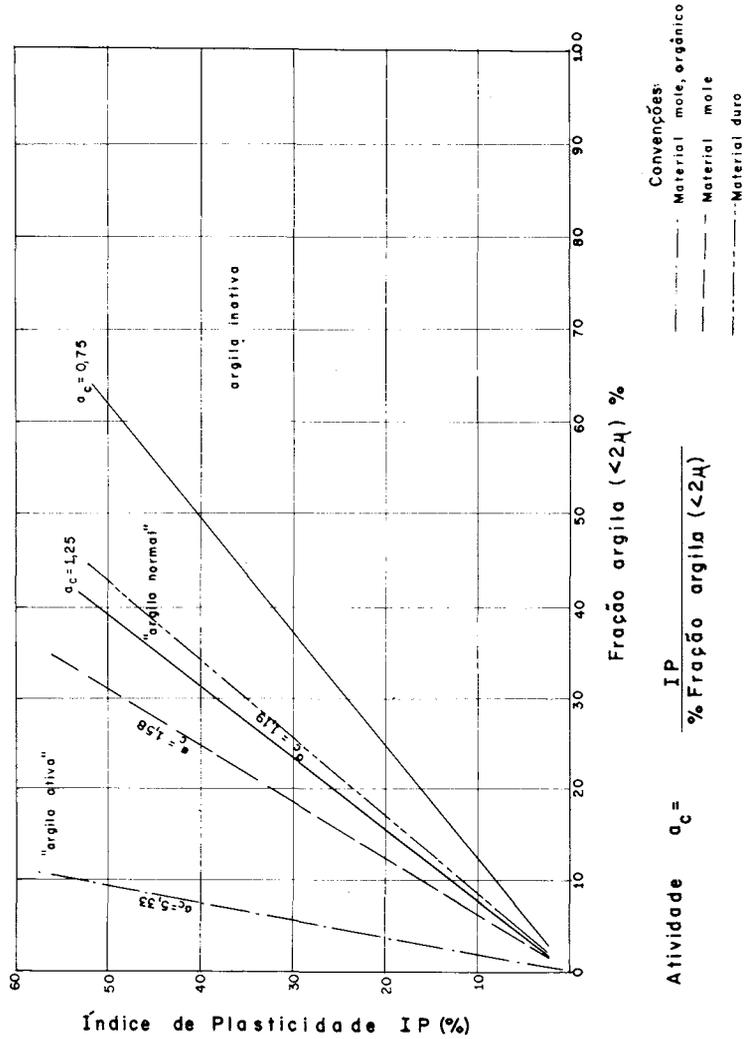




M.T.
D.N.P.V.N.
I.N.P.H.

CARTA de ATIVIDADE dos Solos

Nº 7
DES. *Paulo Costa*
VISTO *[assinatura]*
DATA - OUT. 971



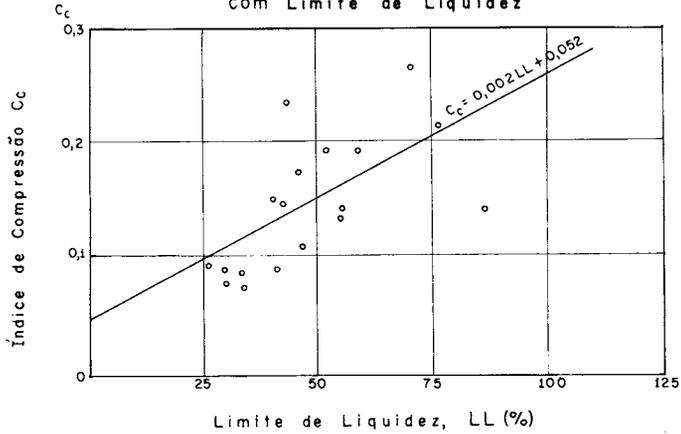


M.T.
D.N.P.V.N.
I.N.P.H.

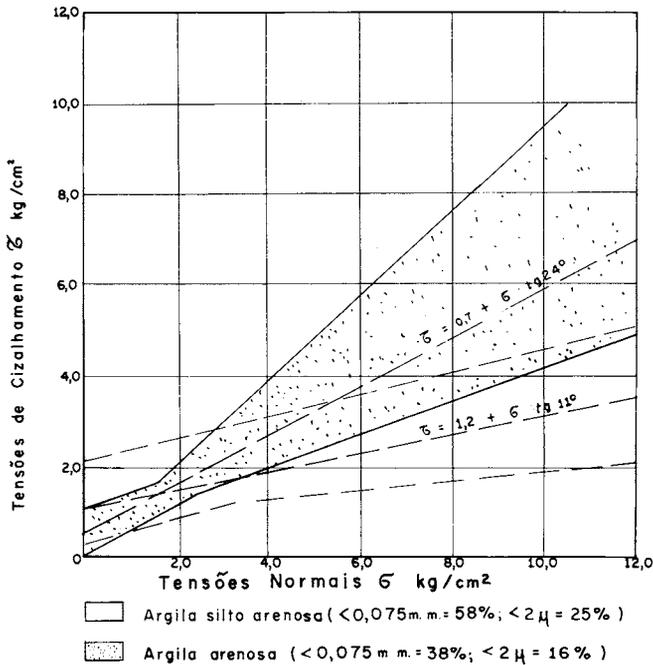
PROPRIEDADES do MATERIAL DURO

Nº 8
DES. *Amalio Roberto*
VISTO *[Signature]*
DATA - Maio 1972

Correlação do Índice de Compressão com Limite de Liquidez



Ensaio Rápido de Cisalhamento Direto





M.T.
D.N.P.V.N.
I.N.P.H.

CORRELAÇÃO ÍNDICE de CONSISTÊNCIA RESISTÊNCIA ao CIZALHAMENTO

Nº 9
DES. *Paulo Lente*
VISTO *2/1/71*
DATA - OTU 971

Material Mole

