

FRANCISCO DE ASSIS MAIA LIMA

Engenheiro Agrônomo

Auxiliar de Ensino da Escola de Agronomia da
Universidade Federal do Ceará

CONSISTÊNCIA DO SOLO

Friabilidade em três séries de solos do Município de Piracicaba

Tese para obtenção do título de «Magis-
ter Scientiae» apresentada á Escola
Superior de Agricultura «Luiz
de Queiroz», da Universidade de
São Paulo

PIRACICABA

Estado de São Paulo - Brasil

1970

PRINCIPAIS CORRIGENDAS

<u>Pág.</u>	<u>Alínea</u>	<u>Onde se lê</u>	<u>Leia-se</u>
II	23	Agregação Natural, Agrega ção Artificial e	Agregação Natural, Artificial e
III	2	Idem	Idem
III	7	Idem	Idem
7	17	as condições de cultivo	as condições para se trabalhar
8	20	medida de cultivo	medida para aração
9	10	materialmente decescido	materialmente decrescido
10	35	pelo cultivo	pelo trabalho
14	26	8,4%	8,8%
16	27	20,16	8,33
16	28	5,31	1,46
16	28	20,16	9,16
22	-	Curvas de	Curva Observada de
25	26	em duplicatas	em triplicatas
26	16	Idem	Idem
29	16	0,0008	0,0288
31	7	Os Parâmetros constantes	Os parâmetros constantes
34	18	0,96	0,86
34	24	a Curva Observada	a Curva dos Valores Observados
41	24	Idem	Idem
42	17	a Curva Calculada	a Curva dos Valores Calculados
48	20	a Curva Observada	a Curva dos Valores Observados
49	18	a Curva Calculada	a Curva dos Valores Calculados
53	30	barro argiloso, também	barro argiloso e barro, também
54	34	para as quatro	para as três
58	12	As Médias dos mínimos	As Médias dos números
63	15	e Mario Lobo Azevedo	e Ário Lobo Azevedo
67	12	os Soils	of Soils
75	17	0,0008	0,0288

Observação: Por um lapso na numeração das páginas não aparece a de número 44, a qual inexistente.

À meus pais,
 espôsa
 e filho,

DEDICAO.

A G R A D E C I M E N T O S

Ao Professor Edmar José Kiehl , do Departamento de Solos e Geologia da Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz" , pela orientação geral dêste trabalho;

Ao Professor Cássio Roberto de Melo Godoi , Instrutor do Departamento de Matemática e Estatística da E. S. A. "Luiz de Queiroz" , pela orientação estatística;

A todos aquêles que de uma maneira ou de outra cooperaram direta ou indiretamente para a elaboração do presente trabalho, nossos p^enhorados agradecimentos.

C O N T E Ú D O

	Pág.
1 - <u>INTRODUÇÃO</u>	1
2 - <u>REVISÃO BIBLIOGRÁFICA</u>	2
2.1 - <u>Agregação Natural</u>	2
2.2 - <u>Friabilidade</u>	7
2.3 - <u>Umidade de Murchamento</u>	9
2.4 - <u>Capacidade de Campo</u>	9
2.5 - <u>Limite de Plasticidade</u>	9
2.6 - <u>Limite de Liquidez</u>	11
2.7 - <u>Terminologia</u>	12
3 - <u>MATERIAIS E MÉTODOS</u>	14
3.1 - <u>Materiais</u>	14
3.1.1 - Solos	14
a) Horizonte Ap da Série Luiz de Queiroz	15
b) Horizonte Ap da Série Guamium	15
c) Horizonte A/B da Série Pau d'Alho	16
3.1.2 - Aparelhos Utilizados	17
a) Peneirador Mecânico (usado na determinação de Agregação)	17
b) Betoneira de Agregação (usado na determinação da Friabilidade)	17
c) Membrana de RICHARDS (usada na determinação da Umidade de Murchamento)	19
d) Placa Porosa (usada na determinação da Capacidade de Campo)	19

	Pág.
e) Material necessário para a determinação do Limite de Plasticidade	19
f) Aparelho de CASAGRANDE (usado na determinação do Limite de Liquidez)	19
3.2 - <u>Métodos</u>	19
3.2.1 - Análise de Agregados pelo método preconizado por TIULIN , modificado por YODER e do Índice de Agregação de VAN BAVEL	19
3.2.2 - Determinação da Umidade Ótima de Agregação pelo método KIEHL e CESAR	20
3.2.3 - Determinação da Umidade de Murchamento pela Membrana de RICHARDS	25
3.2.4 - Determinação da Capacidade de Campo pela Placa Porosa	26
3.2.5 - Determinação do Limite de Plasticidade pelo método de ATTERBERG	27
3.2.6 - Determinação do Limite de Liquidez pelo método de CASAGRANDE	27
3.2.7 - Determinação do Índice de Plasticidade	28
3.2.8 - Análise Estatística	29
4 - <u>RESULTADOS</u>	31
4.1 - <u>Série Luiz de Queiroz</u>	31
4.1.1 - Agregação Natural , Agregação Artificial e Índice de Agregação Natural e Artificial	31
4.1.2 - Curva de Friabilidade	34
4.1.3 - Limites Hídricos	37

	Pág.
4.2 - <u>Série Guamium</u>	38
4.2.1 - Agregação Natural, Agregação Artificial e Índice de Agregação Natural e Artificial	38
4.2.2 - Curva de Friabilidade	41
4.2.3 - Limites Hídricos	45
4.3 - <u>Série Pau d'Alho</u>	46
4.3.1 - Agregação Natural , Agregação Artificial e Índice de Agregação Natural e Artificial	46
4.3.2 - Curva de Friabilidade	48
4.3.3 - Limites Hídricos	51
5 - <u>DISCUSSÃO</u>	53
6 - <u>CONCLUSÕES</u>	59
6.1 - <u>Conclusões Parciais</u>	59
Série Luiz de Queiroz	59
Série Guamium	59
Série Pau d'Alho	59
6.2 - <u>Conclusões Gerais</u>	60
7 - <u>RESUMO</u>	61
8 - <u>SUMMARY</u>	62
9 - <u>BIBLIOGRAFIA CITADA</u>	63
10 - <u>ANEXOS</u>	68

T A B E L A S

	Pág.
Tabela 1 - Distribuição das séries utilizadas neste trabalho com relação a área do município e dentro do grande grupo	14
Tabela 2 - Relêvo das Séries utilizados neste trabalho	15
Tabela 3 - Características químicas dos horizontes superficiais das series utilizadas	16
Tabela 4 - Características químicas dos horizontes superficiais das series utilizadas	16
Tabela 5 - Características físicas dos horizontes superficiais das séries utilizadas	17
Tabela 6 - Resumo dos cálculos para determinação do teste t	29
Tabela 7 - Resumo dos cálculos para determinação da variação explicada	30
Tabela 8 - Agregação Natural, Artificial e Índice de Agregação Natural e Artificial da Série Luiz de Queiroz	32
Tabela 9 - Valores Observados para a Série Luiz de Queiroz	34
Tabela 10 - Valores Calculados através da equação (1) para a Série Luiz de Queiroz	36
Tabela 11 - Valores Calculados através da equação (1) para os dados observados para a Série Luiz de Queiroz	37
Tabela 12 - Limites Hídricos da Série Luiz de Queiroz.....	38
Tabela 13 - Agregação Natural, Artificial e Índices de Agregação Natural e Artificial da Série Guamium	40
Tabela 14 - Valores Observados para a Série Guamium	41
Tabela 15 - Valores Calculados através da equação (4) para a Série Guamium	43

	Pág.
Tabela 16 - Valores Calculados através da equação (4) para os dados observados para a Série Guamium	45
Tabela 17 - Limites Hídricos da Série Guamium	46
Tabela 18 - Agregação Natural, Artificial e Índice de Agregação Natural e Artificial da Série Pau d'Alho	47
Tabela 19 - Valores observados para a Série Pau d'Alho	48
Tabela 20 - Valores calculados através da equação (7) para a Série Pau d'Alho	50
Tabela 21 - Valores calculados através da equação (7) para os dados observados para a Série Pau d'Alho	51
Tabela 22 - Limites Hídricos da Série Pau d'Alho	52
Tabela 23 - Valores obtidos para as Agregações Naturais, Médias e somatórios das Médias das porcentagens das diversas classes de agregados para as diversas séries de solos	69
Tabela 24 - Valores obtidos para as Agregações Artificiais Médias e somatórios das Médias das porcentagens das diversas classes de agregados para as diversas séries de solos	70
Tabela 25 - Cálculos para o Coeficiente de Determinação da Série Luiz de Queiroz	71
Tabela 26 - Cálculos para o Coeficiente de Determinação da Série Guamium	72
Tabela 27 - Cálculo para o Coeficiente de Determinação da Série Pau d'Alho	73
Tabela 28 - Cálculos das Médias dos Índices de Agregação Natural e Artificial da Série Luiz de Queiroz	74

	Pág.
Tabela 29 - Cálculos das Médias dos Índices de Agregação Natural e Artificial da Série Guanium	75
Tabela 30 - Cálculos das Médias dos Índices de Agregação Natural e Artificial da Série Pau d'Alho	76
Tabela 31 - Repetições das determinações para Umidade de Murchamento , Capacidade de Campo e Limites de Plasticidade das diversas séries	77

1 - INTRODUÇÃO

A produtividade de um solo é consequência de fatores de diferentes grandezas. As condições climáticas são tidas como os fatores primários por serem, justamente, as mais limitantes quando se cogita da instalação das culturas comerciais. As condições físicas do solo são classificadas como os fatores secundários, por serem difíceis e onerosas as correções de uma terra quando estas propriedades são inadequadas. Finalmente, as condições químicas, como a fertilidade do solo, são reconhecidas como os fatores terciários da produtividade por serem mais facilmente corrigidos.

A melhoria das propriedades físicas de um solo é, portanto, tarefa mais difícil que a correção da fertilidade.

Diante do exposto, constituem problema fundamental para os agricultores, a correção das propriedades do solo desfavoráveis para a vida das plantas, bem como a aplicação de práticas de manejo que visem incrementar, na medida do possível, as propriedades físicas do solo. Dentre as práticas agrícolas recomendáveis para a melhoria da estrutura do solo, e conseqüentemente, da sua porosidade ao ar e à água tornando-os mais fofos e menos densos, está o preparo da terra quando o teor de umidade é adequado ou no "estado de sazão", como se diz na prática.

2 - REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 - Agregação Natural

Um grande número de métodos de análises de agregados têm sido propostos e usados. A maneira de interpretar os resultados, também, tem recebido valiosas contribuições dos estudiosos do assunto. Desta forma, Keen, em 1936, recomenda apresentar a distribuição do peso dos agregados, encontrado sobre cada peneira, como sendo uma amostra representativa do solo, (RUSSEL, 1938).

RUSSEL (1938) afirma que três principais tipos de determinações têm sido usadas para especificação da estrutura do solo, principalmente, determinações da permeabilidade, porosidade e distribuição de agregados no solo. Este mesmo autor, contudo, ressalta que, a desvantagem do método usado por Keen é que, uma pequena variação no número dos torrões retidos numa peneira, pode acarretar uma considerável variação no valor da distribuição nas outras frações.

Vershinin e Konstantinova, em 1937, conforme relata RUSSEL (1938) mostraram que a densidade aparente do solo tinha seu máximo valor no ponto onde a porosidade total devia ser mínima; mas eles não determinaram, se isto foi devido ao adensamento das partículas do solo nos agregados individuais, ou ao adensamento dos agregados entre si.

A estrutura do solo, de acordo com RUSSEL (1938), pode ser alterada dentro de amplos limites pelo preparo do solo. Solos vegetados permanentemente com capim, em geral, apresentam estrutura granular mais pronunciada e mais estável do que quando usado numa sucessão de culturas anuais.

A estrutura do solo definida por ARENA (1941), como sendo a disposição que tomam os constituintes mecânicos elementares ao serem agrupados pelos componentes coloidais (argila e húmus), para constituir agregados, pode ser estudada pela investigação da porosidade, da dinâmica da água e da análise dos agregados.

A eleição do método depende do horizonte do solo e do objetivo da investigação. A análise de distribuição dos agregados é de particular interesse no estudo das camadas superficiais, especialmente para estabelecer o comportamento físico do solo com respeito ao preparo e cultivo da terra, ao alqueive, às rotações e sobretudo para o conhecimento da resistência da estabilidade natural oferecida aos agentes climáticos (chuvas, geadas, calor, etc.) e à erosão (ARENA, 1941).

Ainda o mesmo autor afirma que a análise dos agregados é fundamental no estudo físico do solo ; permite precisar a estabilidade da estrutura e grau de resistência à erosão ; conhecer o efeito das arações, correções, cultivos e manejo em geral do solo, sobre as suas condições físicas como elemento integrante da produtividade. Os resultados das análises dos agregados dependem das condições em que as mesmas se realizam e do teor de umidade do solo ; devem ficar estas condições bem estabelecidas para que tenham valores reais e se possa vinculá-los ao objetivo prático que se tem em vista.

Baver , citado por ARENA (1941) , sustenta que, a análise de agregados deve ser feita com o solo no seu teor natural de umidade, particularmente com os horizontes profundos, pois, a dessecação artificial cria condições de estabilidade da estrutura que não têm valor prático, salvo no horizonte superficial onde há interesse em se conhecer a resistência mecânica dos torrões às chuvas fortes.

A maneira de se umedecer a amostra é, portanto, fundamental, de vez que a estabilidade dos agregados é reduzida na proporção direta à rapidez com que se realiza essa operação. As amostras de terra a serem analisadas devem ser umedecidas por capilaridade ou ao vácuo, ou acrescentando água suavemente com um pulverizador de jacto, o mais fino possível (ARENA , 1941) .

O estado de agregação dum solo num dado momento pode ser expresso conforme BOTELHO DA COSTA e AZEVEDO (1943) pelo "coeficiente de estrutura", definido, segundo alguns autores, como a proporção de partículas de diâmetro menor do que d que existe em agregados de diâmetro maior do que d . Se representarmos pelas letras D , a porcentagem de partículas de diâmetro menor do que d (obtida pela análise mecânica) e S , a porcentagem de material menor do que d (obtida por análise de agregados) , o coeficiente de estrutura (CE) será:

$$(D - S) / D \quad \text{ou} \quad \frac{D - S}{D} \cdot 100 .$$

Se a agregação for perfeita, $S = 0$ e o coeficiente de estrutura será 100 se não houver agregação, $S = D$ e o coeficiente será nulo.

Ao estudar quatro solos de Iowa , RUSSEL e FENG (1947) , reconheceram a importância das condições de estrutura em relação à conservação do solo e da água e ao crescimento das plantas. Observaram, ainda, que uma característica que deve ser comum para todas as estruturas desejáveis de solos é a estabilidade em água dos agregados. É evidente que somente as unidades estruturais que resistam à desintegração em laboratório, quando sujeitas a um excesso de água, são também, resistentes sob as condições de campo.

LAURITZEN (1948) afirma que a estrutura do solo proporciona um melhor crescimento das plantas através de uma melhor aeração.

VEIHMEYER e HENDRICKSON (1948) encontraram, estudando a penetração de raízes do girassol, que a densidade do solo na qual a penetração não se faz, não é necessariamente a mesma para todos os solos. Nenhuma raiz foi encontrada em densidade superior a 1,9. Em diversos casos quando a densidade foi 1,7 ou 1,8, do mesmo modo, não houve penetração de raízes. Não houve penetração de raízes em solo da classe textural argila, quando a densidade atingiu valores até 1,6 ou 1,7.

A progressiva destruição da estrutura do solo acompanha, frequentemente, as culturas mantidas ao limpo; isto ocorre com mais frequência em solos de textura fina e pode estar associada com a exposição dos horizontes inferiores, alcançado pela aração, como consequência da erosão. Outras características evidentes das indesejáveis alterações físicas da superfície do solo são a sua facilidade para atolarem, quando molhado e a sua dureza e impraticabilidade, quando seco. O abaixamento da estabilidade dos agregados em água, pode se apresentar associado com a redução da produtividade da terra, além de outros casos de indesejáveis alterações físicas. É provável, ainda, que a preservação da estrutura favorável produzida no solo pela aração esteja na dependência da estabilidade em água dos torrões de maiores tamanhos. É este fato que atua como um reforço mecânico contra o atolamento, encharcamento e enlameamento. Sobre este ponto de vista, atenção deverá ser dirigida, à estabilidade em água não somente como uma característica de distintos agregados de solo, mas como uma imensurável propriedade do solo (BRYANT et al., 1948).

BRYANT et al. (1948) já reconheciam que o método de análise de agregados, como foi escrito por Yoder, e o que tem sido mais usado.

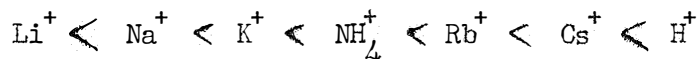
Desde que os solos diferem em sua friabilidade (HUBBELL e STATEN, 1951), e até podendo não mostrar diferenças mensuráveis na quantidade de agregados estáveis em água, algum outro fator deve, efetivamente, influenciar na sua friabilidade. Sob condições normais a quantidade de agregados estáveis em água depende do conteúdo de argila de 2 - μ no solo, e quando ocorre agregação máxima, parece provável que toda, ou quase toda argila de 2 - μ está nos agregados. Os métodos usuais de separação e medida dos agregados, não são, portanto, bastante precisos para mostrar pequenas quantidades de argila não agregada.

Finalmente, no estudo da estrutura do solo os fatores que causam friabilidade, conforme HUBBEIL e STATEN (1951), são: agregação potencial máxima, dispersão negativa de argila de $2 - \mu$ e ótimo de espaço poroso.

HAGIN (1952) cita que muitos pesquisadores usaram a análise de tamanho e estabilidade de agregados em água, como uma indicação da estruturação do solo. Em Israel, Ravikovits e Hagin usaram a análise de agregados como uma medida da estruturação. Verificaram que a porcentagem de matéria orgânica aumentou nos agregados menores. Hagin concluiu que os agregados maiores produziram no solo um melhor crescimento de plantas, do que os solos de agregados menores.

MAZURAK (1953) encontrou que prevalece a idéia de que agregado com cátions bivalentes ou trivalentes concorrem para a agregação, enquanto os cátions monovalentes favorecem a formação de solos dispersos. O conceito de que íons monovalentes dispersam os solos não é necessariamente verdadeiro. Agregados formados com Li^+ , Na^+ , NH_4^+ e para alguns íons K^+ não são estáveis. Rb^+ e Cs^+ produzem agregados grande e maiores do que os formados com Ca^{++} .

A presença de Li^+ ou Na^+ aumentou grandemente a dispersão dos agregados quando comparados com outros cátions. A ordem da média geométrica dos diâmetros dos agregados formados após 2000 minutos de agitação foi



Ao estudarem a agregação do solo em East Bengal em relação com sua composição química, ISLAN e HOSSAIN (1954), encontraram que o máximo de agregados ocorre nas frações granulométricas de areia grossa, seguindo-se pelas de areia fina.

BEACHER e STRICKLING (1955) definiram o empastamento do solo como sendo considerado o oposto de agregação em prática agrônômica. Tem sido definido como a redução na densidade aparente de um solo pelo trabalho mecânico; o decréscimo na densidade aparente é usado como uma medida do grau de empastamento, conforme BODMAN e RUBIN (1949).

O empastamento do solo é definido, continuam os mesmos autores, como a mudança no valor da densidade aparente por unidade de trabalho, e ênfase é colocada sobre a alteração no volume que ocorre no empastamento. Para diversos conteúdos de umidade tem sido constatado diferentes graus de empastamento e presumivelmente, estes tendem para um máximo quando em um nível de umidade próximo da saturação.

A densidade aparente do solo, conforme Mc George , atinge um valor mínimo para um conteúdo crítico de umidade, onde os espaços porosos são grandemente eliminados (BEACHER e STRICKLING , 1955) .

De acôrdo com êstes conceitos o empastamento acarreta um progressivo aumento na densidade aparente do solo, tendo Day e Holgren observado alteração na macroporosidade. Aldefer e Merkle , encontraram uma correlação estreita entre densidade aparente e estabilidade de agregados de solo. Outros, como Robinson e Page encontraram que o empastamento não reduz a estabilidade de agregados em solos e que a densidade aparente dos agregados dos solos e sua estabilidade não são correlacionadas (BEACHER e STRICKLING , 1955) .

A estabilidade dos agregados do solo é significativamente alterada por empastamento e outros tratamentos (BEACHER e STRICKLING , 1955) .

A densidade aparente foi uma das propriedades mais altamente correlacionadas com a redução em crescimento e rendimento do milho em campo. Outros fatores foram responsáveis pela redução no crescimento segundo PHILLIPS e KIRKHAM (1962) .

ZIRMMERNAN e KARDOS (1961) encontraram para a soja uma correlação significativa ao nível de 1% , ($r = - 0,4939$) e o grau de liberdade igual a 55 e para o Capim Sudão êstes valores foram respectivamente: - 0,4582 e 61 , para um experimento densidade x penetração de raízes em pêso.

Olmstead in WITSELL e HOBBS (1965) mostrou que a agregação na camada arada (0,00 a 15,24 cm ou 0 a 6 polegadas) em Hays , Kansas , tinha sido reduzida de 80% durante 45 anos de cultivo.

O termo estado de agregação foi sugerido por BAVER (1966) para designar a porcentagem de agregados num dado pêso de solo.

• mesmo autor afirma que o número de partículas secundárias é uma medida da capacidade do solo decompor-se em fragmentos, ou do seu estado de agregação. Embora uma idéia relativa do estado de agregação possa ser obtida pela observação da maneira como o solo se porta quando manipulado, um índice muito melhor é o proporcionado pela análise de agregados.

Afirma ainda que a estabilidade de estrutura refere-se à resistência que o agregado do solo oferece à desintegração causada pela água e aos trabalhos mecânicos. A estabilidade do agregado é de particular importância em formar e preservar relações de boa estrutura no solo. Agregados bastante coerentes e compactos podem ser encontrados no estado sêco, mas se esta partícula secundária desintegra-se em água, a agregação não é muito estável.

O pêsso do diâmetro médio dá uma estimativa da média de tamanho dos agregados do solo e permite a visualização de uma análise de agregados quando mostrado em uma figura. Van Bavel, comentado por BAVER (1966), achou ser este método um indicador sensível das condições de tratamento recebido pelo solo.

2.2 - Friabilidade

As sugestões de Atterberg (1912), citadas por BAVER (1966), podem ser condensadas em quatro formas essenciais (não incluindo o estado fluido) de consistência que a maioria dos solos podem exibir.

- a) A consistência tenaz, a qual tem as características pronunciadas de dureza;
- b) A consistência macia caracterizada pela friabilidade;
- c) A consistência plástica, manifestada pela capacidade de ser moldada;
- d) A consistência pegajosa evidenciada pela propriedade de aderir a objetos.

BAVER (1966) confirma que a consistência friável representa a faixa de umidade do solo, na qual, as condições de cultivo estão num ótimo, e apresenta o seguinte quadro:

Estados de Umidade	Aumento de umidade			
	S Ê C O	Ú M I D O	M O L H A D O	
Formas de Consistência	Dura ou Tenaz	Macia, Friável	Plástica, Pegajosa	Viscosa, Pegajosa
Características do Solo	Formam-se torrões	Ótimas condições para trabalho	O solo empasta	O solo deslisa

CHRISTENSEN (1930) definiu o termo friabilidade como se referindo, àquela característica do material na qual ele é facilmente triturado, fragmentado ou separado de suas partículas das quais é composto.

Segundo Cameron (1908) in (DELMAR et al., 1936), muitas maneiras têm sido sugeridas para medir a friabilidade de solos. Pesquisadores no United States Bureau of Chemistry and Soils tentaram a medida pela resistência oferecida pelo solo à penetração de uma ferramenta aguçada. Pesquisadores ingleses, segundo Haines (1925) in (CHRISTENSEN, 1930) investigaram o problema de determinar a friabilidade, através do estudo da coesão e da plasticidade de solos.

No IX Congresso Brasileiro de Ciência do Solo , KIEHL e CESAR (1963) , descreveram um método de determinação do teor de umidade do solo para a mais acentuada formação de agregados quando manipulado e observaram ainda que este teor de água, tentativamente denominado por eles de Umidade Ótima de Agregação , ocorria dentro do intervalo de friabilidade do solo. Conforme quadro apresentado no mesmo trabalho a friabilidade determinada coincidia com o conhecido "estado de sazão" .

Um solo é considerado úmido quando apresenta um conteúdo de umidade equivalente à aproximadamente a média entre seco ao ar e a capacidade de campo (SOIL SURVEY MANUAL , 1951) . Segundo CAMARGO (1966) a consistência do solo quando úmido é caracterizada pela friabilidade, devendo ser determinada num estado de umidade intermediário entre o seco ao ar e a capacidade de campo.

A consistência friável do solo pode ser determinada de maneiras diferentes:

KEEN (1933) recomenda medir a distribuição de torrões por tamanho, no campo, por peneiramento direto para determinar o estado de sazão do solo.

HÉNIN (1936) empregou um penetrômetro para obter um índice para preparo do solo. Este instrumento mede a força de penetração de uma ponta metálica no solo, como uma função da profundidade. A força requerida para penetração é considerada uma medida de cultivo.

SCOTT-BLAIR (1938) propôs usar a compressibilidade. Quanto mais o solo pudesse ser comprimido, melhor seriam as condições para ser trabalhado.

Friabilidade, conforme definida por BAVER (1966) , é caracterizada pelo fácil tritramento do solo. O teor de umidade no qual os solos são friáveis é também o teor no qual as condições são ótimas para se os trabalhar. Solos estão comumente em bons estados para serem trabalhados, quando eles são friáveis e os grânulos individuais estão macios. Conseqüentemente, vários métodos têm sido propostos para obter-se uma medida de friabilidade como um índice para aração.

Nota-se, portanto, primeiramente a insegurança dos autores para uma quantificação exata da faixa de friabilidade, bem como do estado de sazão. Isto devido às próprias dificuldades dos diversos métodos e às suas imperfeições, visto que, são processos indiretos.

2.3 - Umidade de Murchamento

Foi definida por BRIGGS e SHANTZ (1912) como sendo a porcentagem de água que um solo encerra quando as plantas que nele crescem, adquirem um estado de murchamento permanente e do qual não retornam, mesmo se colocadas em ambiente saturado de umidade

2.4 - Capacidade de Campo

Conforme VEIHMEYER e HENDRICKSON (1931) a capacidade de campo é definida como a umidade retida no solo depois que o excesso de água gravitacional tenha sido drenada e a média do abaixamento do movimento de água tenha materialmente decaído. Então, concluem, a capacidade de campo supostamente representa o conteúdo de água existente no solo em um certo local dum perfil, em um determinado tempo e depois de ter sido adequadamente umedecido.

2.5 - Limite de Plasticidade

Atterberg (1911, 1912), citado por BAVER (1966), foi quem primeiro apontou que as partículas finas e de forma laminar são as mais plásticas. Partículas grosseiras não exibem plasticidade. Estudou a plasticidade sob o ponto de vista da faixa de umidade sobre a qual essa forma de consistência se manifestava. Ele sugeriu o limite inferior de plasticidade ou seja aquele teor de umidade no qual o solo simplesmente pode ser rolado, formando um basto nete. Ele propôs, ainda o limite superior de plasticidade, como sendo o conteúdo de umidade no qual o solo deslizará, quando sobre ele for aplicada uma força. O número de plasticidade, corresponde à diferença entre o limite de plasticidade superior e o inferior. A diferença entre os dois limites é tomada como um índice de plasticidade. De acordo com Jenkins, (CAPUTO, 1967), classificam-se os solos de acordo com o número de plasticidade em:

fracamente plástico	-	$1 < N^{\circ} P < 7$
medianamente plástico	-	$7 < N^{\circ} P < 15$
altamente plástico	-	$N^{\circ} P < 15$

MELLOR (1922), definiu a plasticidade como sendo a propriedade na qual massas argilosas mudam sua forma, sem quebrar-se, quando sujeitas a uma força de deformação.

WILSON (1927) visualisa a plasticidade como sendo a propriedade de um material que pode ser deformado sem ruptura quando está sujeito a uma força além do valor suportável.

O limite inferior de plasticidade conforme MARCOS et al. (1967) pode ser considerado como o teor de umidade no qual a massa do solo pode apenas ser rolada para formar um cilindro de aproximadamente 3 mm de diâmetro. Este limite inferior de plasticidade corresponde ao ponto em que o solo começa a apresentar plasticidade. Corresponde ainda, a porcentagem de umidade acima da qual o solo empasta quando trabalhado.

Vários métodos indiretos têm sido usados para avaliar a plasticidade de dos solos - BAVER (1966) . Entre eles estão: a velocidade de saciar de briquetes secos, o uso de adsorção de água e o conteúdo de coloide, como um índice de plasticidade. Tem sido mostrado, portanto, que a plasticidade não pode ser caracterizada suficientemente por significados indiretos. Estudos de solos no estado plástico têm mostrado, sem dúvida, bons resultados. Técnica muito empregada na indústria cerâmica para determinar a plasticidade, é o emprego de passagem de pastas de argila através de tubos capilares.

O número de plasticidade é uma medida indireta da tensão do filme de umidade, que também é uma medida da força requerida para modelar o solo; é ainda a diferença entre a quantidade de umidade na qual o solo cessa de ser friável e o limite onde o solo começa a fluir.

O limite inferior de plasticidade, conforme CAPUTO (1967) , é determinado pelo cálculo da porcentagem de umidade na qual o solo começa a se fraturar, quando se tenta moldar, com êle, um cilindro de 3 mm de diâmetro e cerca de 10 cm de comprimento.

O limite inferior de plasticidade é determinado agora da mesma maneira como Atterberg propôs inicialmente.

O limite inferior de plasticidade representa o conteúdo de umidade na mudança da consistência friável para consistência plástica.

TERZAGHI (1926) , sugeriu também que o número de plasticidade podia servir como um índice para a classificação de solos. Caso o número de plasticidade fosse alto, eles continham uma abundância de partículas achatadas.

RUSSEL (1928) , encontrou que as constantes de Atterberg são um índice satisfatório de consistência e do grau de acumulação de argila no perfil do solo.

WEHR (1924) interpretou o limite inferior de plasticidade, como sendo aquela umidade acima da qual, o solo está em perigo de se tornar empastado pelo cultivo. O número de plasticidade se baixo , é interpretado como denotando a facilidade para o empastamento do solo. Caso este número seja elevado há considerável perigo de empastamento do solo, se êle está sendo trabalhado ny

ma unidade acima do limite inferior de plasticidade. As constantes de Atterberg são consideradas como o melhor índice de cultivo do solo. Portanto, considera-se o limite inferior de plasticidade como o ponto no qual o solo empastará se manuseado acima deste conteúdo de umidade.

As constantes de Atterberg são grandemente usadas em estudos para construção de estradas.

BODMAN e RUBIN (1949) tinham introduzido o termo empastamento, para expressar a susceptibilidade dos solos para compactar-se. É definido como a redução no volume de um solo aumentando a massa específica aparente quando se faz trabalho mecânico sobre ele. Empastamento portanto é a mudança no volume específico aparente de um solo por unidade de trabalho despendido.

O efeito de compressão e corte sobre o Yolo Silt Clay foram estudados pelos mesmos autores e concluíram que:

- 1 - provavelmente o significado mais importante é o aumento na destruição dos microporos com um aumento no conteúdo de umidade;
- 2 - a compressão é a maior força responsável pelo empastamento dentro da faixa de umidade que foi usada;
- 3 - o efeito de corte torna-se mais pronunciado quando o conteúdo de umidade aumenta.

2.6 - Limite de Liquidez

Atterberg (1911, 1912) citado por BAVER (1966) estudou a plasticidade sob o ponto de vista do teor de umidade sobre o qual a plasticidade foi manifestada. Ele sugeriu três valores que tem sido bastante usados pelos pesquisadores de solos. Dentre eles o primeiro foi o limite superior de plasticidade, que é aquele no qual o solo simplesmente fluirá sob uma força.

CAPUTO (1967) referiu-se ao limite de liquidez afirmando: quando a umidade de um solo é muito elevada ele se apresenta como um fluido denso e se acha no estado líquido. À medida que evapora a água, ele se endurece e para um certo $H = LL$ (limite de liquidez) perde sua capacidade de fluir, porém, pode ser moldado facilmente e conservar sua forma. (1)

(1) Nota do autor: A letra H representa um determinado conteúdo de umidade.

Conforme MARCOS et al. (1967) o limite superior de plasticidade é o conteúdo de umidade no qual a massa do solo quase flui. Os filmes de água em torno das partículas se tornam tão espessos que a coesão diminui e a massa do solo fluirá sob a ação de uma força. É também chamado de Limite de Liquidez ou Limite Superior de Liquidez.

2.7 - Terminologia

Dado a carência de uma terminologia adequada, na literatura, para certos vocábulos empregados aqui, e a fim de facilitar um melhor entendimento, propomos fique convencionado neste trabalho a seguinte relação de termos:

- Agregação Natural - será usada como definindo a agregação que existe nas condições naturais em um solo, ou sejam, os conhecidos agregados estáveis em água ; por extensão, os grânulos serão chamados Agregados Naturais.
- Agregação Artificial - será usada como definindo a agregação que é provocada em um solo ; obtida quando da determinação da Umidade Ótima de Agregação (KIEHL e CESAR , 1963) , ou quando do preparo do solo numa umidade conveniente, e os grânulos Agregados Artificiais.
- Índice de Agregação Natural - corresponde ao Índice de Agregação de VAN BAVEL, ou seja, o índice que representa a distribuição porcentual do peso do diâmetro médio dos agregados estáveis em água e que existem em condições naturais no solo.
- Índice de Agregação Artificial - representa a distribuição porcentual do peso do diâmetro médio dos Agregados Artificiais estáveis em água.
- Friabilidade Máxima (F_{Máx.}) - será tomada para permanecer em lugar da Umidade Ótima de Agregação de KIEHL e CESAR (1963) e a Agregação Potencial Máxima de HUBBEL e STATEN(1951) . Ela pode ser definida , como o ponto a partir do qual o solo contendo um certo teor de umidade, se fôsse trabalhado, começariam a se tornar difíceis as condições para uma aração conveniente. Isto, portanto, corresponde ao antigo L P , proposto por ATTERBERG (1911 , 1912) e interpretado por WEHR (1924), como sendo aquêla umidade acima da qual o solo está em perigo de se tornar empastado pelo preparo do solo.

- Friabilidade Mínima (F_{Mín}) - será proposta para indicar o início da friabilidade de um solo, ou seja, o começo do estado de sazão, representada por uma faixa que vai da Friabilidade Mínima à Friabilidade Máxima.
- Índice de Friabilidade (I. F.) - será proposto, como representando o estado de sazão, ou seja, a faixa de umidade de um solo, representado pela diferença entre a F_{Máx.} e a F_{Mín.} em que êle pode ser trabalhado sem inconvenientes e sem prejuízo para suas propriedades físicas.
- Limites Hídricos - foi tomado para se poder agrupar numa só tabela, os valores correspondentes para cada série de solo estudada, as constantes hídricas (Umidade de Murchamento e Capacidade de Campo) , as constantes de Atterberg e os termos F_{Máx.} , F_{Mín} e I. F.
- Valores Observados - são os dados obtidos através da determinação da Umidade Ótima de Agregação para cada série de solo , e servem para construir com êstes uma curva chamada Curva Observada a qual representa a Friabilidade Observada.
- Valores Calculados - são os dados obtidos através da equação conseguida para cada série de solo, e servem para construir com esta uma curva chamada Curva Calculada a qual representa a Friabilidade Esperada.

3 = MATERIAIS E MÉTODOS

No presente trabalho foram empregados os materiais e os métodos que vem descritos a seguir:

3.1 - Materiais

3.1.1 - Solos

As amostras de solos utilizadas neste trabalho são provenientes de horizontes superficiais Ap de unidades taxonômicas distintas, designadas por RANZANI et al. (1966) como Série Luiz de Queiroz e Série Guamium ; e ainda o horizonte A/B da Série Pau d'Alho .

Os dados analíticos da terra fina seca ao ar (T.F.S.A.) utilizada por RANZANI et al. (1966) , apresentados nos quadros 3 , 4 e 5 possuíam para o diâmetro máximo das partículas, o limite de 2 mm . Enquanto a T.F.S.A. utilizada em nosso trabalho possui o diâmetro máximo para as partículas, o limite de 1 mm . Vale ressaltar que nenhum inconveniente provém do uso de T.F.S.A. (1 mm) , pois, MELLO MORAES e COURY (1936) citam que franceses e russos, que seguem as pegadas de Gedroiz usam a terra fina obtida depois que a amostra a travessa a peneira com abertura de malha de 1 mm .

As unidade de solos aqui utilizadas pertencem ao Grande Grupos dos Latossóis, e cobrem as seguintes áreas de acôrdo com RANZANI et al. (1966) , no Município de Piracicaba:

Tabela 1 - Distribuição das séries utilizadas neste trabalho com relação a área do Município e dentro do Grande Grupo

Série de Solo	Área do Município	Área do Grande Grupo
Luiz de Queiroz	6,1 %	24,4 %
Guamium	6,2 %	24,8 %
Pau d'Alho	2,1 %	8,8 %

Ainda de acôrdo com êstes autores, apresentamos a tabela seguinte.

Tabela 2 - Relêvo das séries utilizadas neste trabalho

Séries de Solos	R E L Ê V O					
	Tipo	Classe	Declive	Forma	Extensão	Uniformidade
Luiz de Queiroz	Normal	suave ondulado	B	convexa	muito longo	uniforme
Guamium	Normal	suave ondulado	B	convexa	muito longo	uniforme
Pau d'Alho	Normal	Fortemente ondulado	D	convexa	longo	irregular

a) Horizonte Ap da Série Luiz de Queiroz

A coleta da amostra de terra foi feita, junto à margem direita da Estrada Piracicaba - Monte Alegre, nas proximidades do Aeroporto "Pedro Morganti".

O horizonte superficial Ap estudado tem as seguintes características:

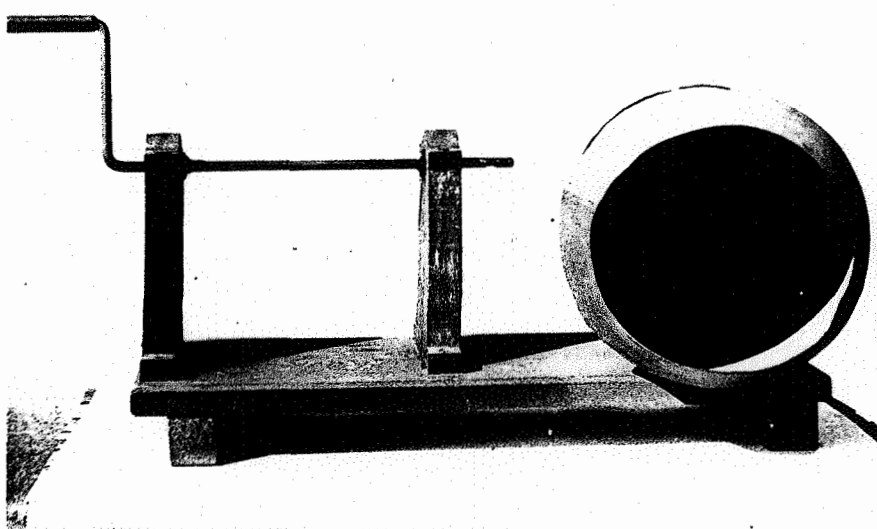
Ap 0 - 35 cm ; pardo avermelhado (2,5YR 4/4 ; 3/4 úmido) ; barro argiloso ; granular, média a grossa, moderada a forte ; duro, friável, ligeiramente plástico, ligeiramente pegajoso ; raízes finas, abundantes ; cascalhos (1 cm) angulosos, raros ; pH = 6,0 ; limite ondulado, claro.

b) Horizonte Ap da Série Guamium

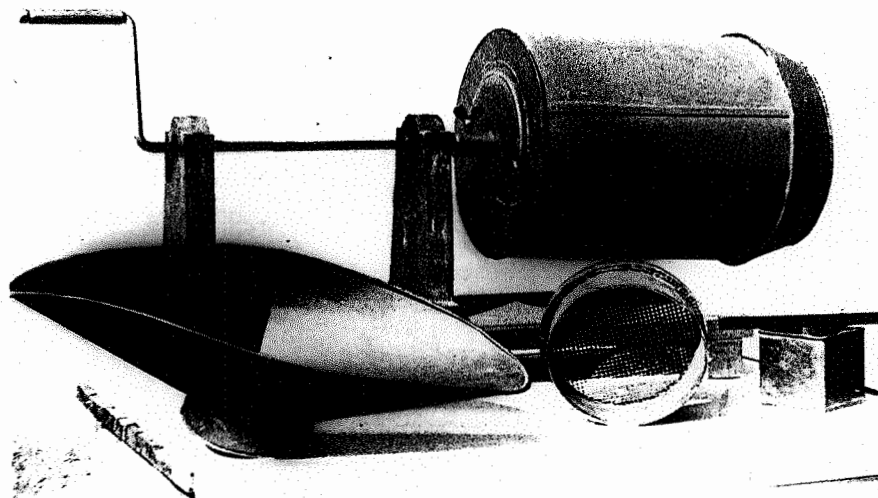
A coleta da amostra foi feita na Fazenda Três Municípios na região Norte de Piracicaba, divisa com Rio Claro.

O horizonte superficial Ap estudado tem as seguintes características:

Ap 0 - 10 cm ; pardo avermelhado (5 YR 4/3 ; 3/4 úmido) ; argila ; blocos subangulares, muito pequeno, muito fraco ; macio, friável, plástico, pegajoso ; deposição de grande quantidade de sementes de favorita ; raízes muito finas, abundantes ; pH = 5,6 ; limite suave, difuso.



Fotografia 1 - Betoneira de Agregação



Fotografia 2 - Betoneira de Agregação e seus
Accessórios

c) Horizonte A/B da Série Pau d'Alho

A amostra foi coletada na região Norte de Piracicaba, bairro Godinhos, vertente direita do campo Laranja Azêda, variante (500 m) à esquerda da estrada para Godinhos.

O horizonte A/B estudado tem as seguintes características:

A/B 0-50 cm ; pardo avermelhado escuro (2,5 Y R 3/4) ; argila ; blocos subangulares, pequeno a médio, moderado ; ligeiramente duro a duro, friável, plástico, pegajoso ; raízes finas, abundantes ; pH = 6,2 ; limite suave, difuso.

Apresentamos um quadro que resume os resultados analíticos dos horizontes estudados (extraído da Carta de Solos de Município de Piracicaba) das três Séries de Solos.

Tabela 3 Características químicas dos horizontes superficiais das séries utilizadas

Séries de Solos	Matéria Orgânica		Óxido de ferro livre Fe ₂ O ₃ %	Capacidade de troca cationica C T C	p H	
	Carbono Orgânico %	C/N %			H ₂ O 1:1	KCl 1:1
Luiz de Queiroz	1,30	10	10,1	8,52	6,5	5,5
Guamium	1,54	10	12,0	16,23	5,6	4,9
Pau d'Alho	1,67	9	12,2	22,31	6,2	5,8

Tabela 4 - Características químicas dos horizontes superficiais das séries utilizadas

Séries de Solos	Iões trocáveis em m.e. / 100 g						Saturação em bases V %
	Ca	Mg	K	H + Al	PO ₄	Ca + Mg	
Luiz de Queiroz	7,07	1,26	0,09	0,11	0,03	20,16	98,7
Guamium	3,85	5,31	0,10	10,85	0,06	20,16	33,3
Pau d'Alho	9,26	1,68	1,00	9,87	0,09	11,44	55,8

Tabela 5 - Características físicas dos horizontes superficiais das séries utilizadas

Séries de Solos	Horizonte	Análise Mecânica (mm) , Pipeta NaOH							Clas. TEXT.	Densidade	
		AMG	AG	AM	AF	AMF	L	Arg.		Dr	Da
Luiz de Queiroz	Ap	1,2	2,3	4,7	18,6	7,1	27,5	38,4	br	2,8	1,7
Guamium	Ap	0,5	2,6	5,2	12,8	4,7	30,8	43,4	r	2,7	1,4
Pau d'Alho	A/B	2,0	3,4	5,0	13,1	5,6	45,0	25,9	b	2,5	-

3.1.2 - Aparêlhos utilizados

a - Peneirador Mecânico (usado na determinação de Agregação)

Utilizamos para o peneiramento das amostras em água um aparelho cuja descrição FREIRE (1967) apresentou.

O aparelho é semelhante ao usado por Yoder em 1936 .

A utilização do mesmo requer o uso dos seguintes materiais: estufa , frasco lavador , vidros de relógio , cápsulas de alumínio , pulverizador de água e uma régua.

b - Betoneira de Agregação (usada na determinação de Friabilidade)

Conforme KIEHL e CESAR (1963) , o aparelho assemelha-se a uma pequena betoneira para concreto, de forma cilíndrica fechada em uma das extremidades e medindo 35 x 50 cm , com um rebordo cônico de 8 cm na face aberta e tendo três pequenas pás fixadas ao longo das paredes internas do tambor. (Vide fotografia 1) .

Os citados autores usaram ainda um pulverizador para aplicar a água necessária ao umedecimento da amostra de solo, além de um tamís de 4 mm de abertura de malha e de um recipiente de forma cúbica feito de chapa galvanizada medindo internamente 10 x 10 x 10 cm com uma das faces abertas, portanto, com um litro de capacidade.

Para melhores esclarecimentos veja-se fotografia da Betoneira de Agregação com os seus acessórios na fotografia 2) .

- c - Membrana de RICHARDS (usada na determinação de Umidade de Murchamento)
 - Placa de Richards e seus acessórios. Material para a determinação da umidade de amostra de terra;
- d - Placa Porosa (usada na determinação da Capacidade de Campo)
 - Placa Porosa e acessórios. Material para a determinação da umidade de amostras de terra
- e - Material necessário para a determinação do Limite de Plasticidade
 - Placa de vidro , Espátula , Água , Balança Analítica , Vidros de Relógio;
- f - Aparelho de CASAGRANDE (usado na determinação do Limite de Liquidez)
 - Aparelhos e seus acessórios. Espátula , Água , Balança Analítica.

3.2 - Métodos

- 3.2.1 - Determinação da análise de agregados pelo método preconizado por TIULIN e modificado por YODER (1936) e do Índice de Agregação de VAN BAVEL (1949)

O método usado para a análise dos agregados foi o do peneiramento em água, segundo as indicações de YODER (1949) adaptado por nós no que diz respeito ao tamanho das peneiras. Esta modificação, justifica-se apenas, por não dispormos daqueles tamises que YODER usou. Enquanto aquêl autor empregou peneiras com abertura de malha de 5 ; 2 ; 1 ; 0,5 ; 0,25 ; e 0,1 mm , usamos peneiras com abertura de malha de 2,00 ; 0,84 ; 0,42 ; e 0,25 mm , correspondentes aos tamises n.ºs 10 , 20 , 40 , 60 respectivamente. Também modificamos o período de oscilações que ficaram em um tempo de metade do usado por YODER , no nosso caso em 15 minutos.

A marcha analítica consistiu no seguinte:

- a - Foram colhidas amostras com estrutura natural nos horizontes superficiais de cada série de solo estudada, e em seguida foi feito o pré-tratamento recomendado por YODER (1949) , que consistiu em se deixar a secar ao ar, a amostra de solo, a fim de que sua umidade ficasse em equilíbrio com a umidade do ar ambiente. Cuidado foi tomado para que as amostras não fossem coletadas a uma maior profundidade do que a dos horizontes superficiais dos solos em apreço.

- b - Em seguida as amostras foram passadas em um jôgo de tamises de 8 e de 4 mm . Esta operação permitiu separar os torrões dos agregados sendo êstes os considerados na presente análise;
- c - Tomaram-se sub-amostras da fração retida no tamís de 4 mm nas quais foram determinadas as umidades higroscópicas;
- d - Tomaram-se sub-amostras equivalentes a 5 gr de material sêco em estufa.
- e - As amostras após colocadas em cápsulas de porcelanas foram umedecidas com auxílio de um atomizador e cobertas com vidro de relógio a fim de evitar a evaporação. O atomizador foi usado para que o agregado não se rompesse com um molhamento brusco, por imersão;
- f - Após cada amostra haver permanecido em tais condições de umidade, por uma noite, foi transferida para a peneira superior do jôgo de tamises;
- g - Levada ao aparelho de Yoder (oscilador mecânico) sofreu um peneiramento úmido durante 15 minutos, tendo sido regulado o aparelho para dar movimentos com 3,8 cm de amplitude;
- h - Findo êste tratamento, recolhemos os agregados retidos em cada tamís para cápsulas de alumínio identificadas e com taras previamente determinadas;
- i - A seguir colocamos em estufa graduada para 110 °C a fim de se determinar os pesos sêcos dos agregados retidos em cada peneira.;
- j - Finalmente, transformamos os pesos de cada grupo de agregados em porcentagens ;
- l - De posse dêstes resultados calculamos os Índices de Agregação de acôrdo com a proposição de VAN BAVEL (1949) .

3.2.2 - Determinação da Umidade Ótima de Agregação

Um método original para, tentativamente, se determinar a "Umidade Ótima de Agregação" é aquêle que KIEHL e CESAR (1963) em Fortaleza , apresentaram ao IX Congresso Brasileiro de Ciência do Solo ; não obstante êste trabalho haver sido aprovado, ainda não foi publicado, razão pela qual aqui transcrevemos o método integralmente.

Dois quilogramas de terra fina sêca ao ar são colocados no aparelho misturador. A quantidade de terra deve ser tal que não transborde do tambor ; o aparelho deve ficar com uma inclinação suficiente para que o solo fique levemente acumulado no fundo do tambor, evitando perdas, e quando isto

ocorre o material é recebido em uma pequena bandeja e devolvido em seguida ao tambor.

Colocada a terra no aparelho e preparado o pulverizador, pode-se iniciar a determinação. Para isto, faz-se girar o tambor tentando dar uma volta por minuto e pulveriza-se cêrca de 1% de água. Em seguida remove-se o solo e tamisa-se todo o material, recebendo no recipiente de um litro de capacidade. Pesa-se o recipiente cheio com terra, após ter passado uma régua sôbre a bôca do mesmo, para nivelar com os bordos, o solo nêle contido.

Volta-se tôda a terra para o misturador e junta-se mais 1% de água. Repetem-se as operações de tamisar, nivelar e pesar o recipiente cheio de terra. Prossegue-se juntando-se novas quantidades de água repetindo as demais operações até observar que a massa do litro de amostra de terra, que inicialmente cái consideravelmente, começa a apresentar pequena diferença de pêso. Neste ponto, desejando-se, pode-se juntar 0,5 % de água de cada vez. No momento em que duas pesagens consecutivas se repetirem, ou houver um pequeno acréscimo na seguinte, coleta-se uma pequena amostra de terra e determina-se o seu teor de água. A porcentagem de água encontrada será a Umidade Ótima para a Agregação do solo em estudo. Não devemos considerar a porcentagem total de água juntada progressivamente como a Umidade Ótima de Agregação, devido às evaporações ocorridas nas manipulações de terra.

Quando se atinge a Umidade Ótima de Agregação observa-se que o solo apresenta-se bem granulado, com a mínima densidade aparente, com perfeita friabilidade, no conhecido estado de sazão. Êste é determinado tomando-se um punhado de terra na palma da mão e fechando-a com fôrça. Ao abrí-la, a terra deve estar compacta, modelada, com as marcas dos dedos do operador impressos no torrão formado. Revolvendo êste torrão entre os dedos a terra deve esboroar-se perfeitamente, podendo-se repetir essas duas operações várias vêzes sem que haja empastamento.

Propomos aqui alguns melhoramentos no método anterior:

- a - O método permite a obtenção de dados para a construção de um gráfico que representa a faixa de friabilidade da amostra de solo, desde que para isto se tire uma pequena porção de terra a cada momento em que se terminou de acrescentar 0,5 % ou 1,0 % de água e se determinar em estufa o teor de umidade naquela porção. Naturalmente o trabalho aumentará, todavia se terá não só a Umidade Ótima de Agregação, ou seja o máximo de friabilidade, mas também o mínimo e os pontos intermediários da friabilidade. Do que se poderá obter, pode melhor ser observado nos gráficos 1, 2 e 3;

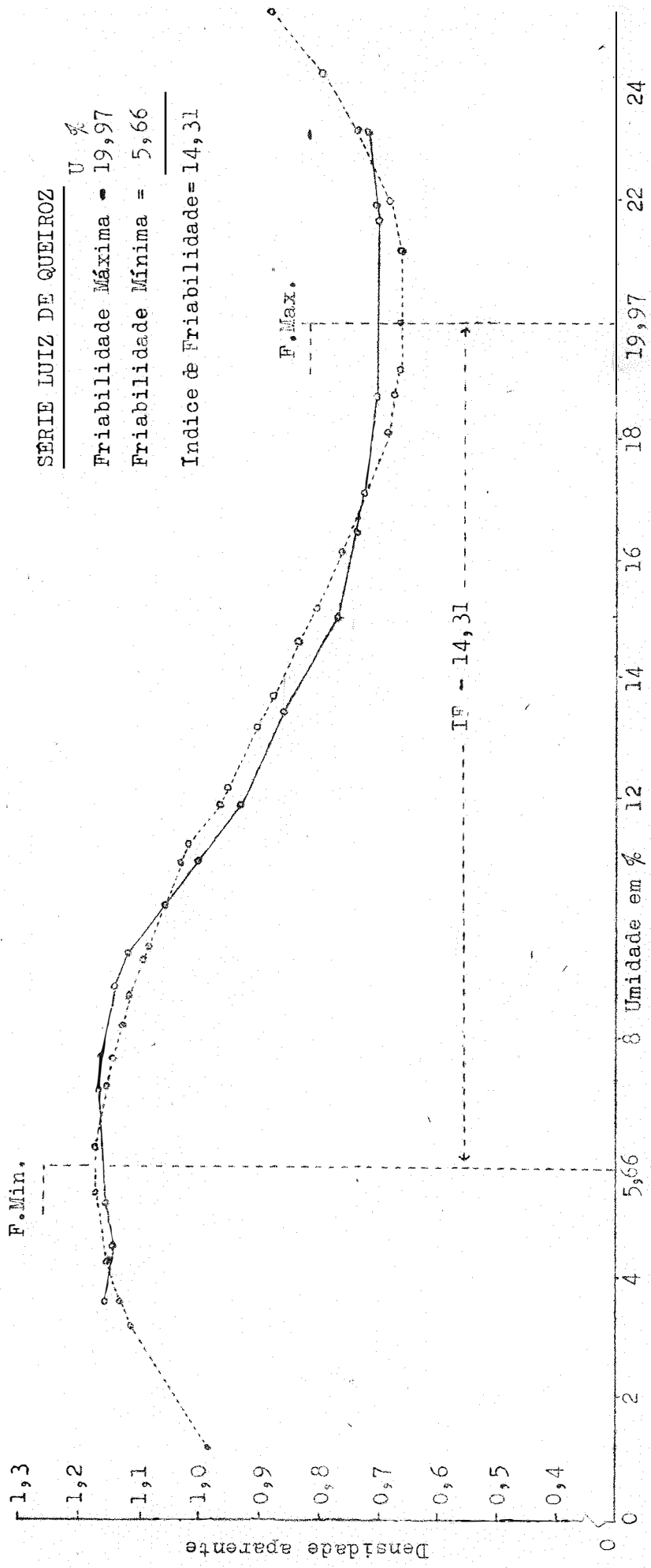


Gráfico 1 - Curvas de Friabilidade da Série "Luiz de Queiroz"

Legenda: Curva dos valores Calculados
 ——— Curva dos valores Observados

SÉRIE GUAMÍUM

Friabilidade Máxima = U % = 20,94
 Friabilidade Mínima = 8,26
 Índice de Friabilidade = 12,68

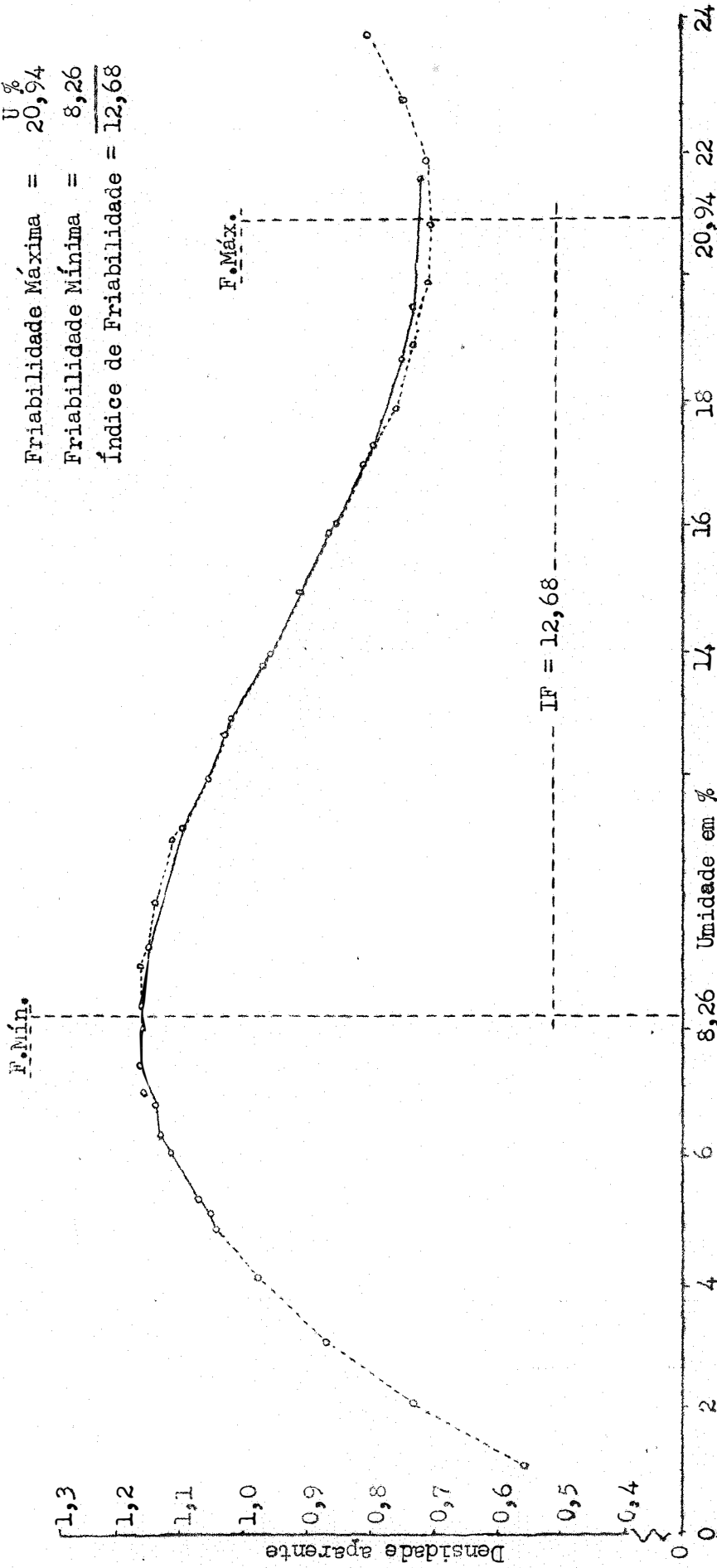


Gráfico 2 - Curva Observada de Friabilidade da Série Guamium

Curva Calculada de Friabilidade da Série Guamium

Legenda: Curva dos Valores Calculados
 Curva dos Valores Observados

SÉRIE PAU d'ALHO

U % = 18,46
 Friabilidade Máxima = 6,17
 Friabilidade Mínima = 12,29
 Índice de Friabilidade = 12,29

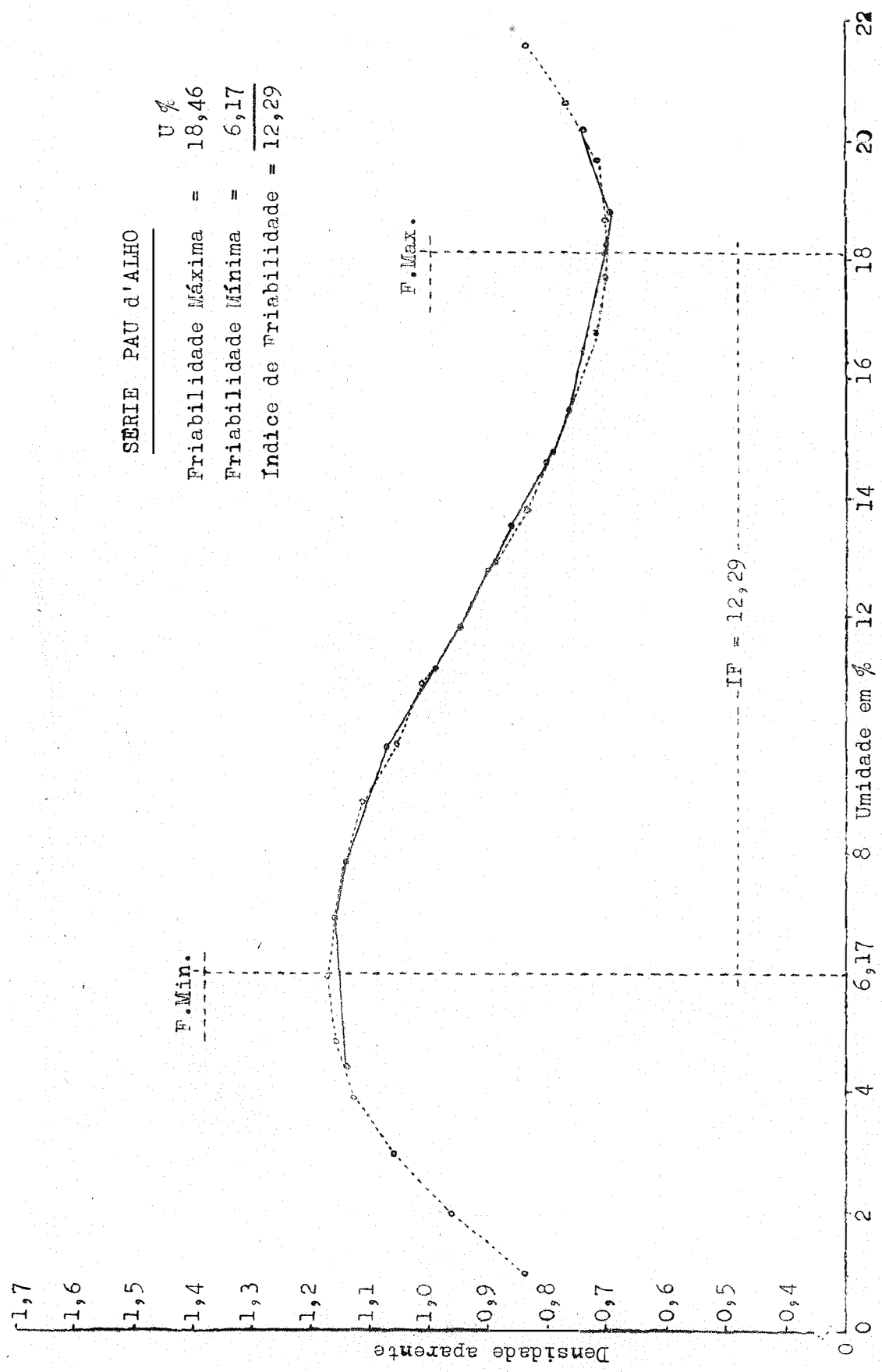


Gráfico 3 - Curva Observada de Friabilidade da Série Pau d'Alho
 Curva Calculada de Friabilidade da Série Pau d'Alho

Legenda: - - - - - Curva dos Valores Calculados
 ○ - ○ - ○ Curva dos Valores Observados

- b - O autor propõe, ainda, que ao se girar o tambor, se deverá ir batendo, no mesmo, com um martelo de borracha. Esta operação é indispensável, porque a medida que, o teor de umidade vai aumentando, o solo tende a aderir às paredes do tambor. De certa forma esta aderência do solo às paredes do tambor é justificada por que sabemos que antes de terminar a faixa de consistência friável, no estado úmido, parte da amostra de solo apresenta algumas características de plasticidade e pegajosidade, típicas do estado molhado. Batendo-se desta maneira provoca-se uma melhor homogeneização da amostra, evitando-se que certas porções de solo fiquem mais úmidas que outras e que haja aderência às paredes do tambor ;
- c - Lembramos que a construção da curva de friabilidade não pode ser feita levando-se em conta o teor de água total acumulado que se adiciona ao solo.

A evaporação da água ou mesmo as perdas por gotejamento do pulverizador fora do tambor, ocasionam falhas que não podem ser computadas. Isto acarreta um falso teor de umidade a cada momento na amostra de solo. Portanto, se quisermos construir a curva de friabilidade deveremos tomar diversas sub-amostras em cada momento da operação e determinarmos em estufa o teor de umidade em cada uma delas para termos a umidade real para os diferentes pontos da curva.

3.2.3 - Determinação da Umidade de Murchamento pela membrana de RICHARDS

- Método - Extrator de membrana de Richards.
- Procedimento:
- a - Instalar a membrana de celulose, previamente umedecida ;
- b - Colocar os anéis retentores, de borracha, sobre a membrana;
- c - Encher os anéis com amostras de T.F.S.A. em duplicatas, despejando de uma vez, com auxílio de um funil ,
- d - Colocar água destilada, em excesso, sobre a membrana e deixar as amostras durante 12 - 15 horas, para obter saturação por capilaridade ;
- e - Remover o excesso de umidade, com auxílio de uma pipeta ;
- f - Fechar o extrator e aplicar pressão, gradualmente, de 25 em 25 libras, até atingir 220 libras. A água contida nas amostras começará a drenar ;

- g - No caso de solos muito argilosos, que apresentam contração durante a desidratação, torna-se necessário aplicar uma diferença de pressão de 4 libras sôbre o diafragma do extrator, forçando, assim, a manutenção do contato entre o solo e a membrana ;
- h - Após o equilíbrio (quando cessar a saída de água pelo tubo de drenagem) , e vacuar a pressão e abrir o extrator ;
- i - Passar rapidamente, as amostras para cápsulas de alumínio e pesar ;
- j - Colocar as cápsulas em estufa a 105 °C , durante 12 - 24 horas ;
- l - Retirar para dessecador e pesar.

Calculos:

$$\% \text{ Umidade a } 15 \text{ atm} = \frac{\text{Pêso (item i - item l)}}{\text{item l - pêso da cápsula}} \cdot 100$$

3.2.4 - Determinação da Capacidade de Campo pela placa porosa

- Procedimento:

- a - Colocar os anéis retentores de borracha sôbre a placa porosa ;
- b - Encher os anéis com a amostra de T.F.S.A. em duplicatas, despejando de uma vez com auxílio de um funil ;
- c - Colocar água destilada em excesso, sôbre a placa porosa, e deixar as amostras durante 12 - 15 horas para se obter a saturação por capilaridade ;
- d - Retirar o excesso de água e colocar a placa com as amostras na câmara de pressão, fechando-a ;
- e - Aplicar a pressão de 5 libras ;
- f - Após o equilíbrio (quando cessar a saída de água pelo tubo de drenagem da placa) , evacuar a pressão e abrir a câmara ;
- g - Passar, rapidamente, as amostras para cápsulas de alumínio e pesar ;
- h - Colocar as cápsulas em estufa a 105 °C durante 12 - 24 horas ;
- i - Retirar para dessecador e pesar.

- Cálculos:

$$\% \text{ Umidade a } 1/3 \text{ atm} = \frac{\text{Pêso (item g - item i)}}{\text{item i - pêso da cápsula}} \cdot 100$$

3.2.5 - Determinação do Limite de Plasticidade pelo método de ATTERBERG

O método é citado por MARCOS et al. (1967) e consta do seguinte:

- a - Tomar aproximadamente 200 g de T.F.S.A. ;
- b - Passar para uma placa de vidro ;
- c - Juntar água e homogeneizar a massa com uma espátula até desfazer todos os agregados ;
- d - Separar uma porção da massa de terra úmida e tentar construir um cilindro de 100 mm de comprimento por 3 mm de diâmetro. Tentar curvar o cilindro até que suas extremidades se toquem ;
- e - Passar o cilindro para um vidro de relógio identificado e de tara conhecida ;
- f - Determinar o peso do vidro de relógio mais o cilindro de terra (P) ;
- g - Levar à estufa durante 24 horas ;
- h - Deixar esfriar em dessecador ;
- i - Repetir a operação de construir o cilindro de terra com diferentes porcentagens de água de forma a se obter vários cilindros; um que se rompa ao ser encurvado e cuja porcentagem de água seja considerada $a_1\%$, outro que apenas trinque e seja considerada $a_2\%$ de água e um terceiro que não apresente sinais de trinca ao ser recurvado e seja considerada $a_3\%$ de água ;
- j - Calcular o limite inferior de plasticidade (LP) pela fórmula:

$$LP = \frac{a_1\% + a_2\% + a_3\%}{3}$$

3.2.6 - Determinação do Limite de Liquidez pelo método de CASA-GRANDE

O Limite Superior de Plasticidade é a porcentagem de água que limita a consistência plástica da viscosa. O método também é citado por MARCOS et al. (1967) e consta do seguinte:

- a - Tomar 200 g de T.F.S.A., juntar água até que comece a escorrer e homogeneizar com espátula ;

- b - Passar uma quantidade de massa de terra molhada para a metade anterior da concha do Aparelho de CASAGRANDE ;
- c - Distribuir a massa de terra de maneira a formar uma camada regular de aproximadamente 1 cm de espessura ;
- d - Fazer um sulco longitudinal na massa de terra com o estilete especial que acompanha o aparelho ;
- e - Acionar a manivela do aparelho a 60 r.p.m. contando o número de golpes necessários para que os bordos inferiores do sulco se unam na extensão de 1 cm ;
- f - Repetir esta operação empregando três diferentes teôres de umidade de forma que se obtenha o fechamento do sulco com um número de golpes entre 10 a 40 ;
- g - Depois de cada operação retirar amostras da massa de terra da região onde os bordos se uniram e passá-las para cápsulas de alumínio identificadas e de taras previamente determinadas: t_1, t_2, t_3 ;
- h - Determinar os pesos (p_1, p_2, p_3) correspondentes à tara da cápsula e da amostra de terra ;
- i - Levar à estufa durante 24 horas. Deixar esfriar em dessecador e determinar os respectivos pesos (P_1, P_2 e P_3) do material seco ;
- j - Anotar os dados e os resultados numa ficha ;
- l - Construir um gráfico, relacionando num sistema ortogonal os números de golpes sobre abcissa, em escala logarítmica, com às respectivas umidades sobre ordenada em escala natural ;
- m - Interpolar a umidade correspondente a 25 golpes no gráfico construído.

3.2.7 - Determinação do Índice de Plasticidade

O Índice de Plasticidade de ATTERBERG (LAMBE, 1951) consta do seguinte:

O Índice de Plasticidade é calculado pela fórmula

$$\text{Índice de Plasticidade} = \text{Limite de Liquidez} - \text{Limite de Plasticidade}$$

ou:

$$I P = L L - L P$$

O Número de Plasticidade de ATTERBERG também é denominado Índice de Plasticidade e é representado pela quantidade de água que deve ser adicionada ao solo para passar do Limite Plástico ao Limite de Liquidez (RANZANI 1959) .

3.2.8 - Análise estatística

Para comparação entre as médias dos Índices de Agregação Natural e Artificial foi usado o teste t , por ser um teste recomendado para comparação entre médias (PIMENTEL GOMES, 1961) .

Os cálculos (ver ANEXOS Tabelas 28 , 29 e 30) podem ser assim resumidos.

Tabela 6 - Resumo dos cálculos para a determinação do teste t

	Séries de Solos		
	Luiz de Queiroz	Guamium	Pau d'Alho
ma	0,9487	0,8628	0,7315
mb	0,3166	0,2435	0,2784
s	0,0556	0,0008	0,0930
t	18,0600 **	12,2800 **	7,7300 **

** Valor significativo ao nível de 1% (SNEDECOR , 1948) .

sendo:

- ma = média aritmética de cinco determinações para o Índice de Agregação Natural ;
- mb = média aritmética de cinco determinações para o Índice de Agregação Artificial ;
- s = desvio padrão ;
- t = valores de t encontrados.

Para o cálculo do Coeficiente de Determinação r^2 (Variação explicada) foi usada a seguinte metodologia:

$$S. Q. \text{ Resíduo} = \sum (X_0 - X_e)^2 = \sum d_i^2 \quad (i = 1, 2, \dots, n)$$

$$S. Q. Total = \sum X_0^2 - \frac{(\sum X_0)^2}{n}$$

$$S. Q. Regressão = S. Q. Total - S. Q. Resíduo$$

$$r^2 = \frac{S. Q. Regressão}{S. Q. Total}$$

sendo:

X_0 = valores de X (gramas de solo/litro) , observados na determinação da Unidade Ótima de Agregação ;

X_e = valores de X (gramas de solo/litro) , calculadas a partir da equação;

n = número de observações para X .

Para cada equação da curva de friabilidade dos solos estudados foram determinados seus respectivos coeficientes de determinação (ANEXOS , Tabelas 25 , 26 e 27) .

Os dados obtidos podem ser assim resumidos.

Tabela 7 - Resumo dos cálculos para determinação da variação explicada

	Séries de Solos		
	Luiz de Queiroz	Guanium	Pau d'Alho
S. Q. Resíduo	99.162,01	106.497,80	25.100,10
S. Q. Total	15.553.743,00	15.491.117,80	9.510.090,30
S. Q. Regressão	15.433.581,00	15.384.620,00	9.484.990,20
$r^2 = \frac{S. Q. Regressão}{S. Q. Total}$	0,9936	0,9931	0,9973

4 - RESULTADOS

Dados os materiais (solos e aparelhos) e métodos utilizados, estritamente em condições de laboratório, calculámos os seguintes resultados: Os Índices de Agregação Natural e Artificial, com suas respectivas médias e erros das médias; as Friabilidades Observadas, representadas pelos Valores Observados a partir do método da Determinação da Unidade Ótima de Agregação KIEHL e CESAR (1963); os Parâmetros constantes, lineares, quadráticos e cúbicos, conseguidos através da análise de regressão polinomial e calculados pelo computador eletrônico, modelo IBM-1130, do Departamento de Matemática e Estatística, da Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz"; através destes parâmetros, as equações do 3.º grau; a partir destas, por derivação, as do 2.º grau, as quais resolvidas, forneceram duas raízes que, tentativamente, correspondem às Friabilidades Máximas e Mínimas; a partir das equações do 2.º grau, os valores para construção das curvas calculadas; por diferenças entre as $F_{Máx.}$ e $F_{Mín.}$ os Índices de Friabilidade para as séries utilizadas neste trabalho.

4.1 - Série Luiz de Queiroz

4.1.1 - Agregação Natural, Artificial e Índice de Agregação Natural e Artificial

Para estas determinações foram obtidos os seguintes dados conforme se vê na tabela seguinte:

Tabela 8 - Agregação Natural, Artificial e Índices de Agregação Natural e Artificial da Série Luiz de Queiroz

TAMÍS	Abertura de Malha (em mm)	R E P E T I Ç Õ E S				
		a	b	c	d	e
		Agregados Naturais (em %)				
60	0,25	3,16	4,04	4,10	2,67	3,57
40	0,42	5,79	8,35	9,49	5,79	9,49
20	0,84	16,30	18,64	20,27	18,73	21,59
10	2,00	62,51	57,30	51,14	60,78	48,90
Σ % dos Agregados Naturais		87,76	88,33	85,00	87,97	83,55
Índice de Agregação Natural		1,0220	0,9540	0,8975	1,0240	0,8460
Média do Índice de Agregação Natural (*)		0,9487	--	--	--	--
Erro da Média		0,0352	--	--	--	--
		Agregados Artificiais (em %)				
60	0,25	9,94	12,60	12,58	13,43	15,70
40	0,42	36,40	28,22	37,16	33,56	33,72
20	0,84	23,69	25,57	26,31	28,04	23,06
10	2,00	0,91	0,70	0,43	0,32	0,56
Σ % dos Agregados Artificiais		70,94	77,09	76,48	75,35	73,04
Índice de Agregação Artificial		0,3100	0,3250	0,3275	0,3205	0,3000
Média do Índice de Agregação Artificial (*)		0,3166	--	--	--	--
Erro da Média		0,0044	--	--	--	--

(*) Para os cálculos das médias dos Índices de Agregação Natural e Artificial e dos Erros das Médias vide ANEXOS (Tabela 28).

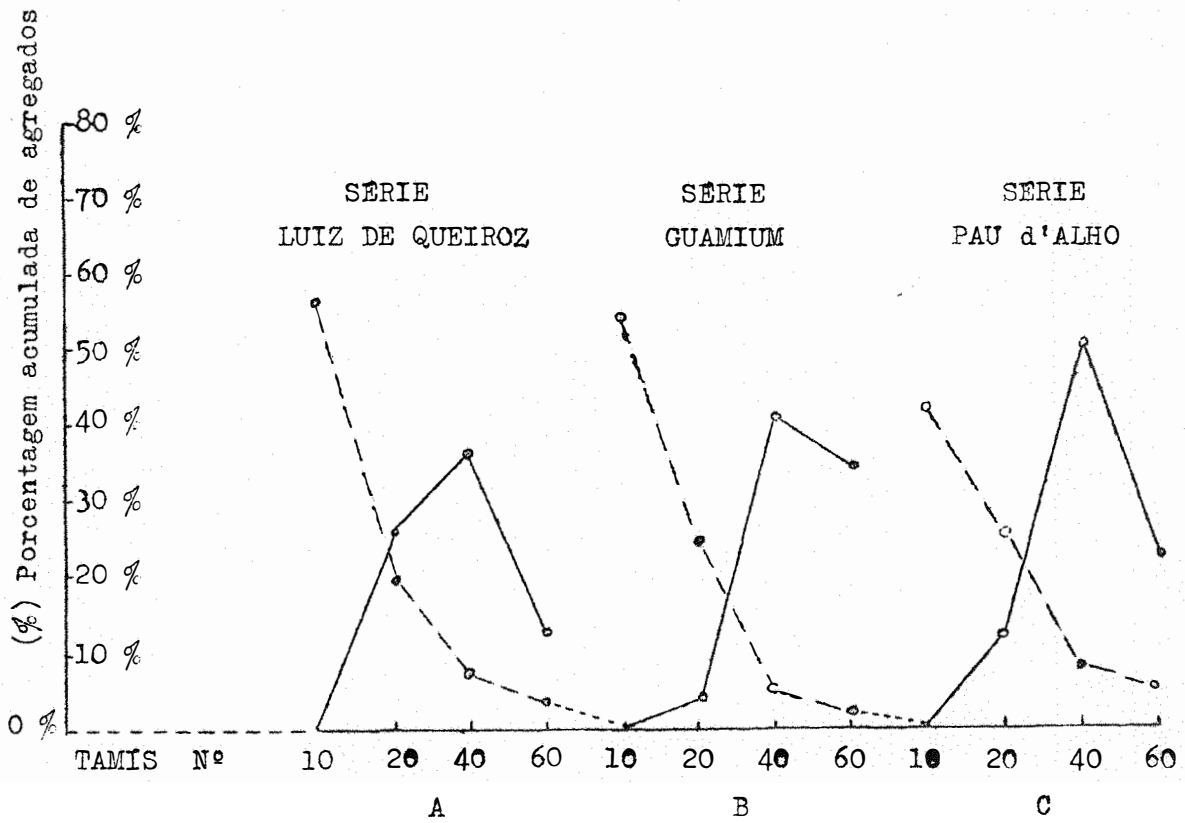


Gráfico 4 - Distribuição, em porcentagem acumulada, dos agregados das diversas séries de solos.

Legenda: - - - - - Agregados Naturais
- - - - - Agregados Artificiais

Os dados da tabela anterior podem melhor ser visualizados no Gráfico: 4-A .

4.1.2 - Curva de friabilidade

Para a construção da Curva Observada de friabilidade desta série , obtivemos os dados da tabela 9 , conforme se segue:

Tabela 9 - Valores Observados para a Série Luiz de Queiroz

Umidade em %	Densidade Aparente	Gramas de solo / litro
3,4	1,15	1.154,20
4,3	1,15	1.158,60
5,1	1,16	1.168,00
6,1	1,17	1.171,00
6,9	1,17	1.174,10
7,5	1,17	1.173,30
8,5	1,15	1.157,80
9,2	1,13	1.137,00
10,7	1,02	1.023,00
11,7	0,95	952,10
13,5	0,96	866,10
15,0	0,79	795,60
16,3	0,76	769,30
18,6	0,73	737,60
21,8	0,73	737,40
23,0	0,76	764,00

De posse desta tabela construímos a Curva Observada do Gráfico 1 que representa a friabilidade observada.

Mediante os dados da tabela anterior obtivemos, os parâmetros que nos forneceram a seguinte equação:

$$\hat{y} = 0,3281 x^3 - 12,6134 x^2 + 111,2079 x + 898,2521 \quad (1)$$

a qual aproximando até a segunda casa decimal vem:

$$\hat{y} = 0,33 x^3 - 12,61 x^2 + 111,21 x + 898,25 \quad (2)$$

com uma variação explicada de

$$(r^2) = 99,36 \%$$

Derivando esta equação, encontramos:

$$\hat{y}' = 0,99 x^2 - 25,22 x + 111,21 \quad (3)$$

a qual resolvendo-se nos fornece as seguintes raízes:

$$x_1 = 19,97 = \text{FMax.}$$

$$x_2 = 5,66 = \text{FMin.}$$

O Índice de Friabilidade é:

$$\begin{aligned} x_1 - x_2 &= 19,97 - 5,66 \\ &= 14,31 \end{aligned}$$

Substituindo-se na equação (1) os valores de x de 1 a 25 obtemos os valores da tabela 10 que permite construir a Curva Calculada pela equação para a friabilidade.

Podemos melhor visualizar a Curva Calculada pelo Gráfico 1 que representa a friabilidade esperada.

Tabela 10 - Valores Calculados através da equação (1) para a Série Luiz de Queiroz

Unidade em %	Densidade Aparente	Gramas de solos / litro
1	0,99	997,18
2	1,07	1.072,84
3	1,12	1.127,21
4	1,16	1.162,27
5	1,17	1.179,97
6	1,18	1.182,29
7	1,17	1.171,19
8	1,14	1.148,65
9	1,11	1.116,62
10	1,07	1.077,09
11	1,03	1.032,02
12	0,98	983,37
13	0,93	933,13
14	0,88	833,24
15	0,83	835,69
16	0,79	792,45
17	0,75	755,47
18	0,72	726,73
19	0,70	708,20
20	0,70	701,84
21	0,70	709,64
22	0,73	733,55
23	0,77	755,54
24	0,83	837,58
25	0,92	921,64

Tabela 11 - Valores Calculados através da equação (1) para os dados observados para a Série Luiz de Queiroz

Umidade em %	Densidade Aparente	Gramas de solos/litro
3,4	1,14	1.143,44
4,3	1,16	1.169,31
5,1	1,18	1.180,86
6,1	1,18	1.181,75
6,9	1,17	1.172,85
7,5	1,16	1.161,22
8,5	1,13	1.133,70
9,2	1,10	1.109,25
10,7	1,04	1.046,00
11,7	0,99	998,23
13,5	0,90	908,02
15,0	0,83	835,69
16,3	0,78	780,61
18,6	0,71	714,26
21,8	0,72	727,38
23,0	0,77	775,54

4.1.3 - Limites Hídricos

Comparações entre os diversos estados de umidade podem ser tiradas mediante a seguinte tabela de resultados analíticos.

Tabela 12 - Limites Hídricos da Série Luiz de Queiroz

Limites Hídricos	% de agua
Umidade de Murchamento	17,73 (*)
Capacidade de Campo	24,86 (*)
Limite de Plasticidade	28,93 (*)
Limite de Liquidez	40,00
Friabilidade Máxima	19,97
Friabilidade Mínima	5,66
Número de Plasticidade	12,07
Índice de Friabilidade	14,31

(*) Média de três determinações - Ver ANEXOS (Tabela 31)

A presente tabela pode ser melhor visualizada no Gráfico 5 .

4.2 - Série Guamium

4.2.1 - Agregação Natural , Artificial e Índice de Agregação Natural e Artificial

Para estas determinações foram obtidas os seguintes dados conforme se vê na tabela seguinte.

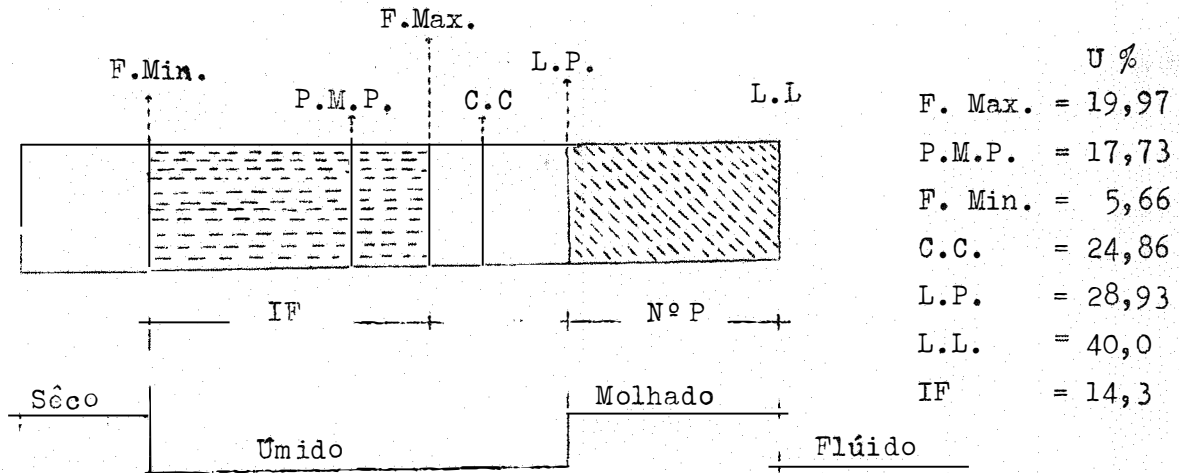


Gráfico - 5 - Limites Hídricos para a Série "Luiz de Queiroz".

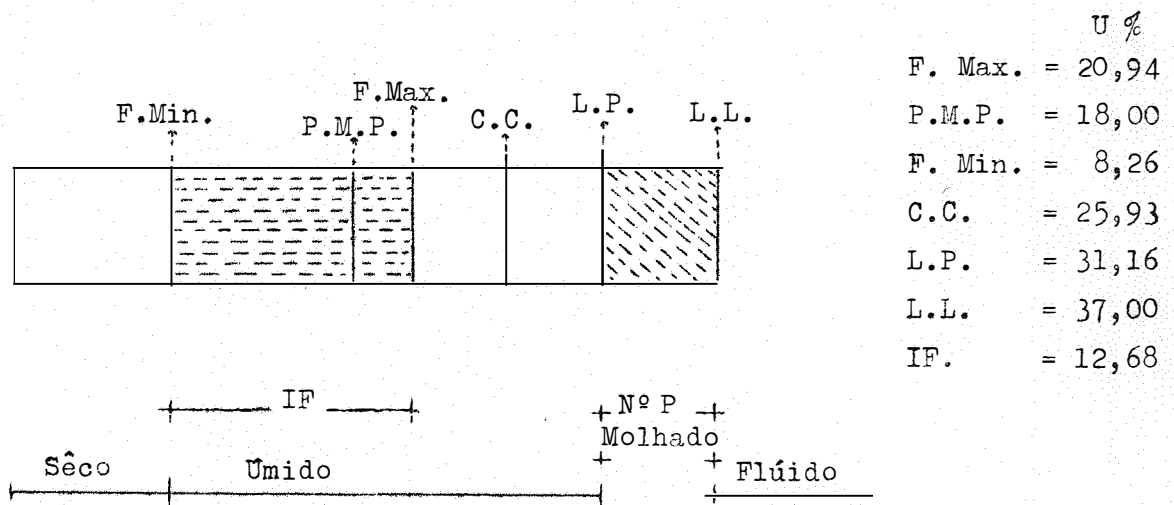


Gráfico 6 - Limites Hídricos para a Série Guanium.

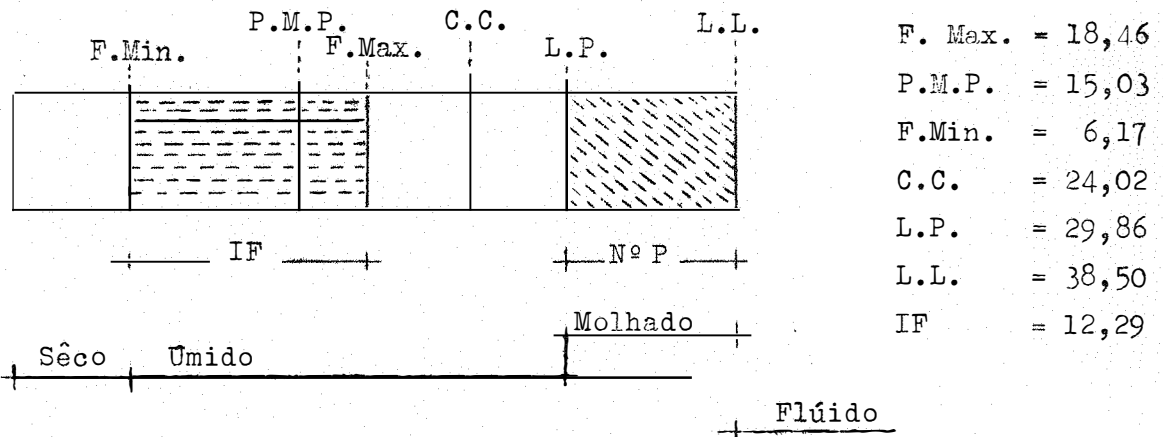


Gráfico 7 - Limites Hídricos para a Série Pau d'Alho.

Tabela 13 - Agregação Natural, Artificial e Índice de Agregação Natural e Artificial da Série Guamium

TAMÍS	Abertura de Malha (em mm)	R E P E T I Ç Õ E S				
		a	b	c	d	e
		Agregados Naturais (em %)				
60	0,25	3,35	1,76	2,37	2,10	3,60
40	0,42	7,41	4,23	5,08	5,38	7,23
20	0,84	24,57	27,70	26,44	22,50	23,22
10	2,00	51,17	54,90	53,80	58,65	53,10
Σ % dos Agregados Naturais		86,50	88,59	87,69	88,63	87,15
Índice de Agregação Natural		0,8790	0,9185	0,8410	0,8530	0,8225
Média do Índice de Agregação Natural (*)		0,8628	- -	- -	- -	- -
Erro da Média		0,0169	- -	- -	- -	- -
		Agregados Artificiais (em %)				
60	0,25	33,44	34,50	39,63	33,47	29,73
40	0,42	39,57	36,99	45,38	31,39	49,57
20	0,84	3,33	3,49	5,76	2,79	4,24
10	2,00	0,12	0,02	0,10	0,07	0,18
Σ % dos Agregados Artificiais		76,46	75,00	90,87	67,72	83,72
Índice de Agregação Artificial		0,2555	0,2495	0,2525	0,2155	0,2445
Média do Índice de Agregação Artificial (*)		0,2435	- -	- -	- -	- -
Erro da Média		0,0064	- -	- -	- -	- -

(*) Para os cálculos das Médias dos Índices de Agregação Natural e Artificial e dos Erros das Médias Natural e Artificial vide ANEXOS (Tabelas 29) .

Os dados da tabela anterior podem melhor ser visualizados no Gráfico 4-B .

4.2.2 - Curva de Friabilidade

Para a construção da Curva Observada de friabilidade, obtivemos os dados da tabela 14 conforme se segue:

Tabela 14 - Valores Observados para a Série Guanium

Umidade em %	Densidade Aparente	Gramas de solos / litro
4,8	1,07	1.072,00
5,3	1,10	1.100,00
6,0	1,11	1.114,60
6,3	1,12	1.124,60
6,8	1,14	1.138,60
7,4	1,15	1.146,30
8,3	1,15	1.150,00
9,3	1,15	1.147,30
11,2	1,14	1.141,50
12,7	1,09	1.086,00
13,8	0,97	966,60
16,1	0,84	844,30
17,4	0,78	774,80
18,8	0,72	723,00
19,6	0,70	699,00
21,7	0,71	710,00

De posse desta tabela construímos a Curva Observada do Gráfico 2 , que representa a friabilidade observada.

Mediante os dados da tabela anterior, obtivemos, a seguinte equação

$$\hat{y} = 0,4478 x^3 - 19,7145 x^2 + 233,4852 x + 334,4925 \quad (4)$$

a qual aproximando até a segunda casa decimal vem:

$$\hat{y} = 0,45 x^3 - 19,72 x^2 + 233,49 x + 334,49 \quad (5)$$

Com uma variação explicada de

$$(r^2) = 99,31 \%$$

Derivando esta equação encontramos:

$$\hat{y}' = 1,35 x^2 - 39,44 x + 233,49 \quad (6)$$

A qual resolvendo-se nos fornece as seguintes raízes:

$$x_1 = 20,94 = F\text{Máx.}$$

$$x_2 = 8,26 = F\text{Mín.}$$

O Índice de Friabilidade é:

$$\begin{aligned} x_1 - x_2 &= 20,94 - 8,26 \\ &= 12,68 \end{aligned}$$

Substituindo-se na equação (4) os valores de x de 1 a 24 obtemos os valores da tabela 15 que permite construir a Curva Calculada pela equação para a friabilidade.

Podemos melhor visualizar a Curva Calculada pelo Gráfico 2, que representa a friabilidade esperada.

Tabela 15 - Valores Calculados através da equação 4 para a Série Guanium

Umidade em %	Densidade Aparente	Gramas de solos/litro
1	0,55	548,72
2	0,73	726,23
3	0,87	869,72
4	0,98	981,89
5	1,07	1.065,44
6	1,12	1.123,07
7	1,16	1.157,48
8	1,17	1.171,37
9	1,17	1.167,44
10	1,15	1.148,39
11	1,12	1.116,92
12	1,08	1.075,73
13	1,03	1.027,52
14	0,98	974,99
15	0,92	920,84
16	0,87	867,77
17	0,82	818,48
18	0,78	775,67
19	0,74	742,04
20	0,72	720,29
21	0,71	713,12
22	0,72	723,23
23	0,75	753,32
24	0,81	806,09

Tabela 16 - Valores Calculados através da equação 4 para os dados observados para a Série Guamium

Umidade em %	Densidade Aparente	Gramas de solos/litro
4,8	1,05	1.050,88
5,3	1,09	1.085,32
6,0	1,12	1.123,07
6,3	1,14	1.135,70
6,8	1,15	1.152,32
7,4	1,17	1.165,33
8,3	1,17	1.171,93
9,3	1,16	1.163,18
11,2	1,11	1.109,37
12,7	1,04	1.042,55
13,8	0,99	985,71
16,1	0,86	862,61
17,4	0,80	800,41
18,8	0,75	747,90
19,6	0,73	727,39
21,7	0,72	718,21

4.2.3 - Limites Hídricos

Comparações entre os diversos estados de umidade podem ser tiradas mediante a seguinte tabela de resultados analíticos:

Tabela 17 - Limites Hídricos da Série Guanium

Limites Hídricos	% de água
Umidade de Murchamento	18,00 (*)
Capacidade de Campo	25,93 (*)
Limite de Plasticidade	31,16 (*)
Limite de Liquidez	37,00
Friabilidade Máxima	20,94
Friabilidade Mínima	8,26
Número de Plasticidade	5,84
Índice de Friabilidade	12,68

(*) Média de três determinações - Ver ANEXOS (Tabela 31)

A presente tabela pode ser melhor visualizada no Gráfico 6 .

4.3 - Série Pau d'Alho

4.3.1 - Agregação Natural , Artificial e Índice de Agregação Natural e Artificial

Para estas determinações foram obtidos os seguintes dados conforme se vê na tabela seguinte:

Tabela 18 - Agregação Natural, Artificial e Índice de Agregação Natural e Artificial da Série Pau d'Alho

TAMIS	Abertura de Malha (em mm)	R E P E T I Ç Õ E S				
		a	b	c	d	e
		Agregados Naturais (em %)				
60	0,25	5,81	6,06	6,84	6,62	3,98
40	0,42	8,58	8,79	9,29	9,84	6,04
20	0,84	19,66	30,92	33,28	23,44	19,97
10	2,00	48,30	35,87	30,49	40,50	54,31
Σ % dos Agregados Naturais		82,35	81,64	79,90	80,40	84,30
Índice de Agregação Natural		0,7625	0,6385	0,6320	0,6805	0,9440
Média do Índice de Agregação Natural (*)		0,7315	- -	- -	- -	- -
Erro da Média		0,0587	- -	- -	- -	- -
		Agregados Artificiais (em %)				
60	0,25	21,74	23,56	23,08	23,94	18,66
40	0,42	49,57	50,37	53,25	49,75	47,24
20	0,84	10,69	11,16	11,98	10,01	15,78
10	2,00	0,60	0,20	0,26	0,13	0,34
Σ % dos Agregados Artificiais		82,60	85,29	88,57	83,83	82,02
Índice de Agregação Artificial		0,2625	0,2890	0,2855	0,2710	0,2940
Média do Índice de Agregação Artificial (*)		0,2784	- -	- -	- -	- -
Erro da Média		0,0004	- -	- -	- -	- -

(*) Para os cálculos dos Índices de Agregações Natural e Artificial e para os Erros das Médias Vide ANEXOS (Tabela 30) .

Os dados da tabela anterior podem melhor serem visualizados no gráfico 4-C .

4.3.2 - Curva de Friabilidade

Para a construção da Curva Observada de friabilidade obtivemos os dados da tabela 19 conforme se segue:

Tabela 19 - Valores Observados para a Série Pau d'Alho

Umidade em %	Densidade Aparente	Gramas de solos / litro
4,5	1,14	1.144,00
7,0	1,14	1.152,00
8,0	1,14	1.139,00
9,9	1,07	1.074,00
11,3	1,01	1.009,00
13,1	0,94	935,00
13,7	0,86	856,00
14,8	0,79	789,00
15,7	0,75	752,00
18,5	0,74	735,00
19,1	0,74	735,00
20,5	0,76	759,00

De posse desta tabela construímos a Curva Observada no gráfico 3 que representa a friabilidade observada.

Mediante os dados da tabela anterior obtivemos, a seguinte equação:

$$\hat{y} = 0,5130 x^3 - 18,9059 x^2 + 176,2468 x + 681,2058 \quad (7)$$

a qual aproximando até a segunda casa decimal, vem:

$$\hat{y} = 0,51 x^3 - 18,91 x^2 + 176,25 x + 681,21 \quad (8)$$

com uma variação explicada de

$$(r^2) = 99,73 \%$$

Derivando esta equação encontramos:

$$\hat{y}' = 1,53 x^2 - 37,80 x + 176,25 \quad (9)$$

A qual resolvendo-se nos fornece as seguintes raízes:

$$x_1 = 18,46 = F\acute{M}ax.$$

$$x_2 = 6,17 = F\grave{M}in.$$

O Índice de Friabilidade é

$$\begin{aligned} x_1 - x_2 &= 18,46 - 6,17 \\ &= 12,29 . \end{aligned}$$

Substituindo-se na equação (7) os valores de x de 1 a 22 obtemos os valores da tabela 20 que permite construir a Curva Calculada pela equação para a friabilidade.

Podemos melhor visualizar a Curva Calculada pelo Gráfico 3 que representa a friabilidade esperada.

Tabela 20 - Valores Calculados através da equação 7 para a Série Pau d'Alho

Umidade em %	Densidade Aparente	Gramas de solos / litro
1	0,84	839,06
2	0,96	962,15
3	1,05	1.053,54
4	1,12	1.116,29
5	1,15	1.153,46
6	1,17	1.168,11
7	1,16	1.163,30
8	1,14	1.142,00
9	1,11	1.107,54
10	1,06	1.062,72
11	1,01	1.010,66
12	0,95	954,45
13	0,90	897,79
14	0,84	841,79
15	0,80	791,46
16	0,75	749,21
17	0,72	718,10
18	0,70	701,19
19	0,70	701,54
20	0,72	722,21
21	0,77	766,26
22	0,84	836,75

Tabela 21 - Valores Calculados através da equação 7 para os dados observados para a Série Pau d'Alho

Umidade em %	Densidade Aparente	Gramas de solos/litro
4,5	1,14	1.137,88
7,0	1,16	1.163,30
8,0	1,14	1.142,09
9,9	1,07	1.067,57
11,3	0,99	994,10
13,1	0,89	891,47
13,7	0,86	858,01
14,8	0,80	800,97
15,7	0,76	760,85
18,5	0,70	699,02
19,1	0,70	702,64
20,5	0,74	741,13

4.3.3 - Limites Hídricos

Comparações entre os diversos estados de umidade podem ser tiradas mediante a seguinte tabela de resultados analíticos.

Tabela 22 - Limites Hídricos da Série Pau d'Alho

Limites Hídricos	% de água
Umidade de Murchamento	15,03 (*)
Capacidade de Campo	24,02 (*)
Limite de Plasticidade	29,86 (*)
Limite de Liquidez	38,50
Friabilidade Máxima	18,46
Friabilidade Mínima	6,17
Número de Plasticidade	8,64
Índice de Friabilidade	12,29

(*) Média de três determinações - Ver ANEXOS (Tabela 31)

A presente tabela pode ser melhor visualizada no Gráfico 7 .

5 - DISCUSSÃO

A recomendação de Keen 1936 (RUSSEL, 1938) para o estudo da agregação não foi por nós utilizada neste trabalho por achar êste, que há desvantagem no método usado por aquêle.

Vershinin e Konstantinova (RUSSEL, 1937) mostraram que a densidade aparente do solo tinha seu máximo valor no ponto onde a porosidade total devia ser mínima. Encontramos, neste trabalho, que a densidade aparente em todas as séries de solos estudadas tinham seu valor máximo no ponto onde a umidade correspondia a $F_{Mín.}$, que no caso são: 5,66 % , 8,26 % e 6,17 % , respectivamente para as Séries Luiz de Queiroz , Guamium e Pau d'Alho (Equações 3 , 6 e 9) .

Das três maneiras de estudar a estrutura, citadas por (ARENA, 1941) escolhemos a análise dos agregados por ser a que mais diretamente estava ligada ao método da determinação da Umidade Ótima de Agregação. O método foi escolhido, ainda, pelas razões citadas pelo mesmo autor.

A maneira de se umedecer as amostras foi acrescentando-se água suavemente com um pulverizador de jacto fino, conforme as recomendações de (ARENA, 1941) , por haverem sido satisfatórios os resultados.

RUSSEL e FENG (1949) reconheceram que uma característica que deve ser comum para todas estruturas desejáveis de solos, é a estabilidade em água dos agregados ; por isto, o método por nós escolhido teria que ser um no qual fosse a estabilidade dos agregados testada em água.

VEYMEYER e HENDRICKSON (1948) , observaram que não houve penetração de raízes em solos da classe textural argila, quando a densidade aparente atingiu valores de 1,6 a 1,7 ; pode-se inferir que, na Série Guamium por ser da mesma classe textural, não haveria problemas de penetração de raízes, visto que as densidades maiores, encontradas em nossas análises jamais atingiram aquêles valores (Tabela 14 , 15 , 16) . Por maiores razões se supõe que as Séries Luiz de Queiroz e Pau d'Alho de textura mais grosseira, pertencentes às classes texturais respectivas barro argiloso , também não apresentariam os mesmos problemas (Tabelas 9 , 10 e 11 ; 19 , 20 e 21) .

Considerando as palavras de BRYANT et al. (1948) , queríamos saber se a produção de Agregados Artificiais causava indesejáveis alterações físicas no solo. A determinação da Agregação Artificial mostrou que os agregados produzidos eram, também, estáveis em água, embora apresentando uma distribuição diferente ; (Série Luiz de Queiroz , Tabela 8 e 24 e Gráfico 4-A ;

Série Guanium , Tabelas 13 e 24 e Gráfico 4-B ; e Série Pau d'Alho , Tabelas 18 e 24 e Gráfico 4-C) .

HAGIN (1952) concluiu que os agregados de tamanhos maiores produziram no solo um melhor crescimento de plantas do que nos solos de tamanho de agregados menores, donde se supõe que a Agregação Artificial provavelmente diminuirá o crescimento das plantas. Neste trabalho vimos que a produção total de Agregados Artificiais de tamanho maiores apresentaram baixos valores em porcentagem de frequência, tendo-se em vista a quantidade total dos mesmos ; (Série Luiz de Queiroz , Tabelas 8 e 24 e Gráfico 4-A ; Série Guanium , Tabelas 13 e 24 e Gráfico 4-B ; e Série Pau d'Alho , Tabelas 18 e 24 e Gráfico 4-C) .

ISLAN e HOSSAIN (1954) encontraram que o máximo de agregados ocorre nas frações granulométricas de areia grossa, seguindo-se pelas de areia fina. Como em nossas determinações de Agregação Artificial não interferiu a areia grossa (item 3.1.1) verifica-se que o máximo de agregados se deveu, unicamente, à presença de areia fina, conforme se pode verificar nas análises granulométricas das três séries estudadas (Tabela 5) .

Conforme BEACHER e STRICKLING (1955) a agregação é o oposto do empastamento ; logo, percebe-se que, se houver produção de agregados pelo preparo do solo, haverá maior dificuldade para ocorrer o empastamento. A afirmativa dos autores retro-citados fica confirmada com as palavras de BODMAN e RUBIN (1949) quando asseveraram: o decréscimo na densidade aparente pode ser usado como uma medida do grau de empastamento. Em nossas determinações verificamos que, os mínimos das densidades aparentes ocorrem quando os solos das Séries Luiz de Queiroz , Guanium e Pau d'Alho encontram-se nas Friabilidades Máximas respectivas (19,97 % , 20,94 % e 18,46 % ; Equações 3 , 6 e 9 Gráficos 1 , 2 e 3) . É nestes pontos, de acordo com KIEHL e CESAR (1963) , que ocorrem as mais acentuadas formações de agregados para as diferentes séries estudadas. Presumiram BODMAN e RUBIN (1949) que o grau de empastamento tendia para um nível de umidade próximo da saturação. Nas três séries estudadas este grau de empastamento ocorreu antes que os solos atingissem suas respectivas Capacidades de Campo (Tabelas 12 , 17 e 22 e Gráficos 5 , 6 e 7) .

Day e Holgren , (BEACHER e STRICKLING , 1955) , disseram que o empastamento acarreta um progressivo aumento na densidade aparente do solo. Os resultados de nossas determinações de Agregados Artificiais para as quatro séries estão coerentes com estes autores, conforme se pode perceber nas respectivas Tabelas e Gráficos das curvas de friabilidade calculada (Tabelas 11 , 16 e 21 e Gráficos 1 , 2 e 3) .

A afirmativa de BAVER (1966) de que o Índice de Agregação de VAN BAVEL é um indicador sensível das condições de tratamento recebido pelo solo, nos levou à obtenção de resultados satisfatórios daquele índice, para a comparação e interpretação dos resultados entre a Agregação Natural e Artificial. (Tabelas 8, 13, 18, 23 e 24).

Verifica-se que a Agregação Natural apresentou para a Série Luiz de Queiroz uma Média para o Índice de Agregação Natural de 0,9487 enquanto a Agregação Artificial apresentou, uma Média para o Índice de Agregação Artificial 0,3166 (Tabela 8); para a Série Guanium uma Média para o Índice de Agregação Natural de 0,8628, enquanto a Agregação Artificial representou uma Média para o Índice de Agregação Artificial de 0,2435 (Tabela 13) e para a Série Pau d'Alho uma Média para o Índice de Agregação Natural de 0,7315, enquanto a Agregação Artificial uma Média de 0,2784 (Tabela 18). As Médias dos Índices de Agregação Natural e Artificial foram comparadas série a série, e em todas elas os valores foram altamente significativos (1%) pelo teste t de comparação entre médias (Tabela 6). Esta variação entre os Índices de Agregação se deve, provavelmente, ao fato de que os Agregados Naturais se formaram num tempo pedológico, enquanto os Artificiais se formaram no curto espaço de tempo necessário para se atingir a $F_{\text{Máx}}$ durante a determinação da sua Umidade Ótima de Agregação. Através das Tabelas 8, 13, 18, 23 e 24 e Gráfico 8) observa-se que a estabilidade total em água dos agregados na Agregação Natural, foi maior que na Agregação Artificial em duas das três séries estudadas; como exceção apresentou-se a Série Pau d'Alho, em que a estabilidade total em água dos agregados na Agregação Natural, foi menor.

Por meio das Tabelas 8, 13, 18 e 23 e Gráficos 4-A, 4-B e 4-C constata-se que a porcentagem de Agregados Naturais, decresce nas três séries, na seguinte ordem: de 2,00 mm; para 0,25 mm. Enquanto a porcentagem de Agregados Artificiais na Série Luiz de Queiroz decresce na ordem seguinte:

0,42 mm 0,84 mm ; 0,25 mm ; 2,00 mm ,
para as outras séries a ordem é:

0,42 mm 0,25 mm 0,84 mm 2,00 mm .

Atterberg, 1912, (BAVER, 1966), sugeriu quatro formas essenciais de consistência do solo, entre as quais, a consistência macia, caracterizada pela friabilidade. BAVER, (1966) confirma que a consistência friável representa a faixa de umidade do solo, na qual as condições de aração estão num ótimo. Partindo-se daquela sugestão e desta confirmação, tentamos estimar os valores que nos indicassem os limites da faixa de umidade friável do solo, no caso as $F_{\text{Mín}}$ e $F_{\text{Máx}}$.

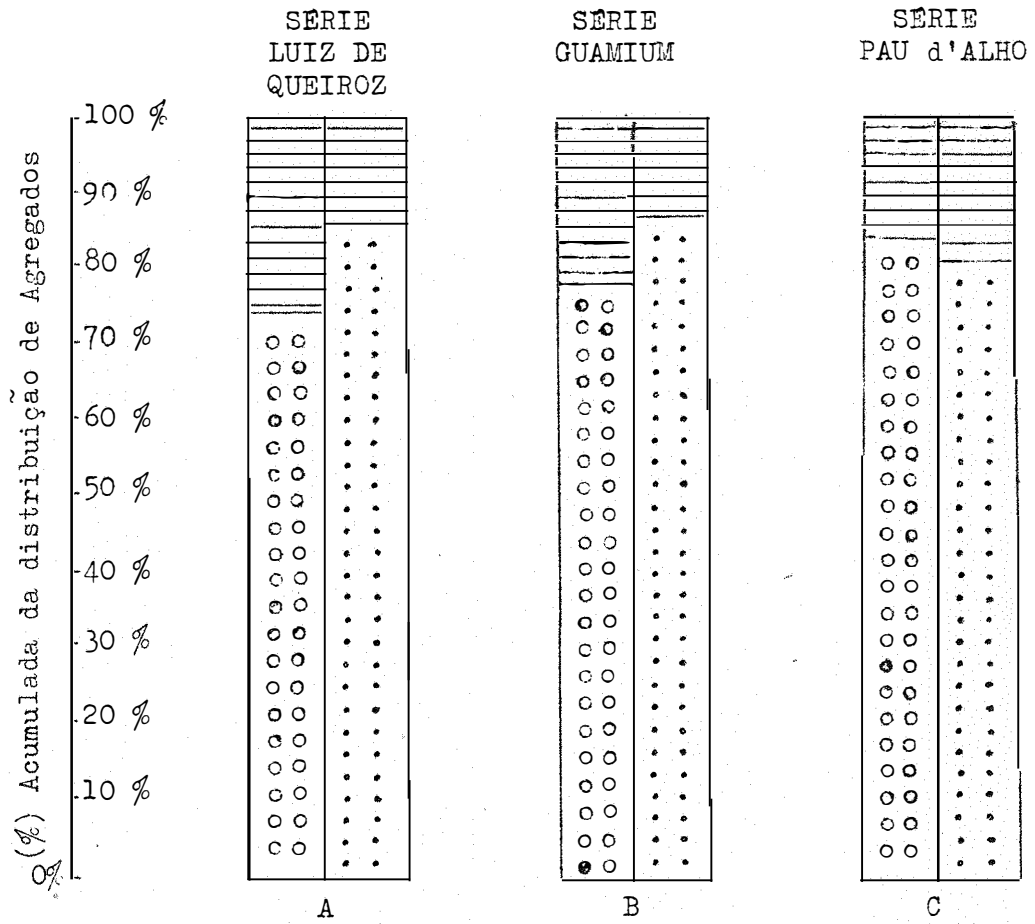
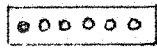


Gráfico 8 - Média da porcentagem acumulada do total de agregados das diversas séries de solos.

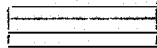
Legenda:



Agregados Naturais



Agregados Artificiais



Material de diâmetro inferior a 0,25 mm.

Em todos os trabalhos de pesquisa consultados constatamos que os autores tecem considerações a respeito da friabilidade do solo, sem contudo, apresentarem valores numéricos precisos (SOIL SURVEY MANUAL, 1951); (KIEHL e CESAR 1963); (CAMARGO, 1966). Outros pesquisadores sugeriram diferentes maneiras para estimar a friabilidade, Cameron 1908, in (DELMAR et al., 1936); (CHRISTENSEN, 1930); (KEEN, 1933); (HÉNIN, 1936); (SCOTT-BLAIR, 1938) e (KIEHL e CESAR, 1963). O método empregado neste trabalho foi o da Determinação da Unidade Ótima de Agregação dos dois últimos autores, com as modificações anteriormente apresentadas (item 3.2.2).

A construção da Curva Calculada de Friabilidade para cada série foi feita a partir dos dados das Tabelas 9, 14 e 19. O mínimo de friabilidade nestas Tabelas apresentam as seguintes unidades: Série Luiz de Queiroz, 5,66% Guanium, 8,26% e Pau d'Alho, 6,17%. Estes pontos foram determinados através das raízes das equações 3, 6 e 9 derivadas da equação do 3º grau 2, 5 e 8. De maneira idêntica foi determinado o máximo de friabilidade para a série Luiz de Queiroz, 19,97% Guanium, 20,94% e Pau d'Alho, 18,46% (Tabelas 12, 17 e 22 e Gráficos 1, 2 e 3).

Observando-se esta mesma ordem, para as séries de solos, a diferença entre a $F_{Máx.}$ e a $F_{Mín.}$ corresponde à faixa de umidade na qual o solo pode ser trabalhado e é de 14,31%, 12,60% e 12,29% (Tabelas 12, 17 e 22) e Gráficos 1, 2 e 3). As $F_{Máx.}$ (Tabelas 12, 17 e 22), poderão ser calculadas, também, através do produto da média da Capacidade de Campo pelo fator específico para cada série de solo; os fatores k são obtidos pela divisão da $F_{Máx.}$ pela média da capacidade de campo, sendo os seguintes para a série Luiz de Queiroz, Guanium e Pau d'Alho, respectivamente:

$$0,8037 \quad , \quad 0,8076 \quad , \quad 0,7685$$

Para a Umidade de Murchamento usamos a definição de BRIGGS e SHANTZ (1912) e para a determinação desta constante de umidade usamos a membrana porosa de RICHARDS e os dados médios para as séries foram: Luiz de Queiroz 17,73%; Guanium, 18,00% e Pau d'Alho, 15,03% (Tabelas 12, 17 e 22).

Considerando as definições de VEIHMEYER e HENDRICKSON (1931) para a Capacidade de Campo usamos o método da Placa Porosa de RICHARDS e os dados médios obtidos para as séries foram: Luiz de Queiroz, 24,86%; Guanium, 25,93% e Pau d'Alho, 24,02% (Tabelas 12, 17 e 22).

Estudámos as séries quanto à plasticidade por apresentarem as texturas, elevadas percentagens de argila 38,4 ; 43,4 e 25,9 (Tabela 5) e por Atterberg (1911 , 1912) , (BAVER, 1966) , haver apresentado que as partículas finas e de forma laminar são as mais plásticas. Criou então o limite inferior de plasticidade cujas Médias foram determinadas para a Série Luiz de Queiroz 28,93 % ; Guanium 31,16 % e Pau d'Alho 29,86 % (Tabelas 12 , 17 e 22) .

Em 1932 ATTERBERG e GASAGRANDE criaram o limite superior de plasticidade e este último autor, ainda criou um aparelho para esta determinação. Usamos este e as médias obtidas para as séries foram: Luiz de Queiroz 40,00 % ; Guanium 37,00 % e Pau d'Alho 38,50 % (Tabelas 12 , 17 e 22) .

As Médias dos mínimos de plasticidade foram determinadas e são as seguintes, para Série Luiz de Queiroz , 12,07 % ; Guanium , 5,84 % e Pau d'Alho 8,64 % (Tabelas 12 , 17 e 22) . De acôrdo com Jenkins in(CAPUTO, 1967) e (MARCOS et al., 1967) , estes valores classificam as séries em: medianamente plástica , fracamente plástica e medianamente plástica.

6 - CONCLUSÕES

Nas condições de laboratório em que o estudo foi realizado, para os métodos de análises, para os solos aqui utilizados, os dados obtidos, analisados e interpretados estatística e pedologicamente, permitiram as seguintes conclusões:

6.1 - Conclusões Parciais

- Série Luiz de Queiroz

1.^a - A equação da Curva Calculada de friabilidade é:

$$\hat{y} = 0,33 x^3 - 12,61 x^2 + 111,21 x + 898,25$$

com uma variação explicada de: $r^2 = 99,36 \%$.

2.^a - A diferença entre a F_{Máx.} (19,97 %) e a F_{Mín.} (5,66 %) , dá para o Índice de Friabilidade o valor igual a 14,31 % .

3.^a - O produto da Média da Capacidade de Campo (24,86 %) pelo fator (k = 0,8037) , dá para a F_{Máx.} o valor igual a 19,97 % .

- Série Guanium

1.^a - A equação da Curva Calculada de friabilidade é:

$$\hat{y} = 0,45 x^3 - 19,72 x^2 + 233,49 x + 334,49$$

com uma variação explicada de: $r^2 = 99,31 \%$

2.^a - A diferença entre a F_{Máx.} (20,94 %) e a F_{Mín.} (8,26 %) , dá para o Índice de Friabilidade o valor igual a 12,68 % .

3.^a - O produto da Média da Capacidade de Campo (25,93 %) pelo fator (k = 0,8076) , dá para a F_{Máx.} o valor igual a 20,49 % .

- Série Pau d'Alho

1.^a - A equação da Curva Calculada de friabilidade é:

$$\tilde{y} = 0,51 x^3 - 18,91 x^2 + 176,25 x + 681,21$$

com uma variação explicada de: $r^2 = 99,37 \%$.

- 2.^a - A diferença entre a FMax. (18,46 %) e a FMin. (6,17 %) dá para o Índice de Friabilidade o valor igual a 12,29 % .
- 3.^a - O produto da Média da Capacidade de Campo (24,02 %) , pelo fator (k = 0,7685) , dá para a FMax. o valor igual a 18,46 % .

6.2 - Conclusões Gerais

- 1.^a - De acôrdo com o diâmetro dos Agregados Naturais, a ordem decrescente em porcentagem de sua maior frequência, para tôdas as séries estudadas é: 2,00 mm ; 0,84 mm ; 0,42 mm e 0,25 mm ; e para os Agregados Artificiais a ordem é: 0,42 mm ; 0,84 mm , 0,25 mm e 2,00 mm .
- 2.^a - A Série Pau d'Alho, com relação às demais Séries estudadas, apresentou Média total de Agregados Naturais inferior à Média total dos Agregados Artificiais.
- 3.^a - A Média do Índice de Agregação Natural, para tôdas as séries estudadas, é sempre maior que, a Média do Índice de Agregação Artificial.
- 4.^a - Embora não se tenha feito análise estatística, observa-se que a Média da soma dos Agregados Naturais para tôdas as séries estudadas, com relação a Média da soma dos Agregados Artificiais é maior, exceto para a Série Pau d'Alho em que apresentou-se menor.
- 5.^a - As Médias dos Índices de Agregação Natural e Artificial são, para tôdas as séries estudadas, significamente diferentes ao nível de 1% pelo teste t .
- 6.^a - Somente a Série Guamium classificou-se quanto ao Número de Plasticidade, como sendo fracamente plástica, enquanto tôdas as outras séries classificaram-se como medianamente plásticas.
- 7.^a - Com a modificação proposta para o método KIEHL e CESAR se obteve dados para a construção de um gráfico que representa a faixa de friabilidade de cada série de solo.

7 - RESUMO

O presente estudo trata sôbre Friabilidade de três séries de solos do Município de Piracicaba , Estado de São Paulo , Brasil.

O autor propõe melhoramentos no método analítico para a determinação da Umidade Ótima de Agregação e sugere substituir êste termo por Friabilidade Máxima (F_{Máx.}) . Propõe que o termo Friabilidade Mínima (F_{Mín.}) deverá expressar o início da friabilidade ou o mínimo do conteúdo de umidade que o solo deverá ter, no conhecido estado de sazão. Esta diferença entre a F_{Máx.} e a F_{Mín.} pode ser tomada como sendo o Índice de Friabilidade (I. F.) , por definir o termo Friabilidade, ou a Faixa de Friabilidade do Solo.

A equação da curva de friabilidade dos horizontes superficiais das Séries, Luiz de Queiroz , Guamium e Pau d'Alho , foram determinadas.

As constantes de Atterberg , bem como a Capacidade de Campo e Ponto de Murchamento Permanente para cada série de solo foi determinada e discutida com relação a F_{Máx.}

Determina ainda os Índices de Agregação Natural e Artificial e o total de Agregações Naturais e Artificiais.

8 - SUMMARY

The present study deals with the friability of four soil series from the municipality of Piracicaba , State of São Paulo , Brazil.

The author proposes to improve the analytical method for the determination of optimum soil moisture content for aggregate formation and to substitute this term for Friability Maximum (F.Max.) . It is suggested that the term Friability Minimum (F.Min.) be used to express the initiation of friability of the minimum moisture content that a soil should have when cultivated. This subtraction may be substituted for the Index of Friability (I.F.) for defining the term friability or the range of friability.

The equation of the curve of friability of the surface horizons of the series, Luiz de Queiroz , Guanium and Pau d'Alho , was determined.

The Atterberg constants as well as the Field Capacity , and permanent wilting point for each soil series were determined and discussed with respect to F. Max.

9 - BIBLIOGRAFIA CITADA

ARENA, A. A.

1941 - El Analisis de los Agregados del Suelo. Revista del Centro Estudiantes de Agronomia de Buenos Aires. Tomo 30: (3) , 233-260 .

BAVER, L. D.

1966 - Soil Physics. Third Edition John Wiley and Sons , Inc. N. Y ; Chappman e Hall Limited London , 390 págs.

BEACHER, B. F. e EDWARD STRICKLING

1955 - Effect of Puddling on Water Stability and Bulk Density of Aggregates of Certain Maryland Soils. Soil Sci. 80: 363-373 .

BODMAN, G. B. e J. RUBIN

1949 - Soil Puddling. Soil Sci. Soc. Am. Proc. 13: 27-36 .

BOTELHO DA COSTA, J. V. e MÁRIO LOBO AZEVEDO

1943 - Algumas Considerações Sobre a Análise de Agregados. Anais do Instituto Superior de Agronomia. Lisboa 14: 83-90 .

BRYANT, J. C. ; T. W. BENDIXEN e C. S. SLATER

1948 - Measurement of the Water Stability of Soils. Soil Sci. 65: (4) 341-345 .

BRIGGS, L. J. e H. L. SHANTZ

1912 - The Wilting Coefficient for Different Plants and its Indirect Determination. U. S. Dept. Agr. Bureau of Plant Industry Bull. 230 .

CAMARGO, M. N.

1966 - Treinamento para Levantamentos de Solos. Consistência de Solos. 506 págs.

CAPUTO, H. P.

1967 - Mecânica dos Solos e suas Aplicações. Volume 1 . Cap. VI Plasticidade e Conservação dos Solos. 58-67 .

CHRISTENSEN, O.

1930 - An Index of Friability of Soils. Soil Sci. 29: (2) , 119-136 .

DELMAR, H. WEBB ; D. S. JENNINGS e J. DARREL PETERSON

1936 - The Effect of Replaceable Bases of the Physical Properties of Soils with Special Reference to the Effect of Replaceable Calcium and Sodium on Index of Friability. Soil Sci. 41: (1) , 13-24 .

DUTT, A. K.

1948 - Certain Aspects of Mechanism of Aggregate Stability in Water. Soil Sci. 65: (5) , 393-416 .

FREIRE, O.

1967 - Agregação de Solos. Efeito da Matéria Orgânica, Calagem, Adubação e Vegetação. Tese para a obtenção do Título de Docente-Livre da Cadeira de Solos e Agrotécnia. Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz" - U. S. P. - Piracicaba Estado de São Paulo. 103 págs.

HAGIN, J.

1952. Influence of Soil Aggregation on Plant Growth. Soil Sci. 74: (6) , 471-478 .

HÉNIN, S.

1936 - Quelques Résultat Obtenus dans l'Étude des Sols à l'Aide de la Sonde Dynamométrique de Demolon - Hénin . Soil Research 5: (1) .

ISLAM, M. A. e M. HOSSAIN

1954 - Aggregation of East Bengal Soil in Relation to their Chemical Composition. Soil Sci. 78: (6) , 429-434 .

KEEN, B. A.

1933 - Experimental Methods for the Study of Soil Cultivation. Empire J. Exp. Agr. 1: 97-102 .

KIEHL, E. J. e C. M. CESAR

1963 - Determinação da Umidade Ótima de Agregação e da Friabilidade Máxima. Nota prévia apresentada ao IX Congresso Brasileiro de Ciência do Solo. Fortaleza , Ceará.

LAMBE, T. WILLIAN

1951 - Soil Testing for Engineers. New York , John Wiley and Sons , Inc. 165 págs.

LAURITZEN, G. W.

1948 - Apparent Specific Volume and Shrinkage Characteristics of Soils Materials. Soil Sci. 65: (2) , 155-179 .

MARCOS, Z. Z. ; J. L. I. DEMATTÊ e G. V. FRANÇA

1967 - Curso Prático de Solos. Centro Acadêmico "Luiz de Queiroz". E. S. A. "Luiz de Queiroz" - U. S. P. - Piracicaba, Estado de São Paulo , 151 págs.

MAZURAK, A. P.

1953 - Aggregation of Colloidal Clay from Hesperia Sandy Loam as Affected by Univalent and Calcium Ions. Soil Sci. 73: (3), 181-191 .

MELLO MORAES, J. e TUFI COURY

1936 - Análises dos Solos. Revista "O Solo". Ano XXVIII (7-12): 160-169 .

MELLOR, J. W.

1922 - On the Plasticity of Clays. Trans. Faraday Soc. 17: 354-365 .

PHILLIPS, R. E. e DON KIRKMAN

1962 - Soil Compaction in the Field and Corn Growth. Agronomy Journal 54: (1) , 29-34 .

PIMENTEL GOMES, F.

1963 - Curso de Estatística Experimental. 2^a Ed. E. S. A. "Luiz de Queiroz" - U. S. P. - Piracicaba , Est. São Paulo , 384 págs.

RANZANI, G.

1955 - Manual de Levantamento de Solos. Editora da Universidade de São Paulo. 112 págs.

----- e E. J. KIEHL

1959 - Prática de Solos. Centro Acadêmico "Luiz de Queiroz". E. S. A. "Luiz de Queiroz" - U. S. P. - Piracicaba , Estado de S. Paulo.

----- ; O. FREIRE e T. KINJO

1966 - Carta de Solos do Município de Piracicaba. Centro de Estudos de Solos. E. S. A. "Luiz de Queiroz" - U. S. P. - Piracicaba , Estado de São Paulo. 85 págs.

RICHARDS, L. A.

1948 - Porous Plate Apparatus for Measuring Moisture Retention and Transmission by Soil. Soil Sci. 66: (2) , 105-110 .

1954 - Diagnosis Improvement Saline and Alkali Soils. Handbook n.º 60 . U.S.D.A. , 60 págs.

ROAD RESEARCH LABORATORY ,

1951 - Mecânica dos Solos para Engenheiros Rodoviários. Traduzido por Evelynna Bloem Silveira e Araken Silveira. Editora Edgard Blucher. São Paulo , 302 págs.

RUSSEL, J. C.

1928 - Report of Committee on Soil Consistency. Am. Soil Survey Assoc. 9 págs.

RUSSEL, E. W.

1938 - Soil Structure. Imperial Bureau of Soil Science. Rothamsted Experimental Station 37 , 40 págs.

RUSSEL, M. B. e C. L. FENG

1947 - Characterization of the Stability of Soil Aggregates. Soil Sci. 63: (4) , 299-304 .

SCOTT-BLAIR, G. W.

1938 - A New Laboratory Method for Measuring the Effects of Land Amelioration Process. Trans. 6th Comm. Intern. Soil Sci. (Zurich). Vol. B 417-422 , em 1937 . Também Journ. Agr. Sci. 28: 367-378 .

SNEDECOR, G. W.

1948 - Métodos de Estatística, su Aplicación a Experimentos en Agricultura y Biología (Trad. E. Marino). Buenos Ayres. Acme Agency Soc. Resp. Ltda. 577 págs.

SOIL SURVEY MANUAL

1951 - U. S. Dept. Agriculture Handbook n.º 18 Soil Survey Staff. Bureau of Plant Industry Soils, and Agricultura Enginnering. 403 págs.

TERZAGHI, C.

- 1926 - Simplified Soil Test for Subgrades and their Physical Significance. Pub. Roads 7: 153-162 .

VAN BAVEL, C. H. M.

- 1949 - Mean Weight Diameter of Soil Aggregates as Statistical Index. Soil Sci. 14: 2-23 .

VEIHMEYER, J. J. e A. H. HENDRICKSON

- 1948 - Soil Density and Root Penetration. Soil Sci. 65: (6) , 487-493 .

- 1931 - The Moisture Equivalent as a Measure of the Field Capacity of Soils. Soil Sci. 32: 181-183 .

WEHR, I. M.

- 1924 - The Atterberg Consistency Constants of Some Nebraska Soils in Relation to Tilt. Unpublished Master's Thesis. University of Nebraska.

WILSON, H.

- 1927 - Ceramics, Clay Technology. Mc Graw Hill Book Co. New York , 55 pages.

WITTSEL, L. E. e J. A. HOBBS

- 1965 - Soil Compaction Effects on Field Plant Growth. Agronomy Journal 57: (6) , 534-537 .

YODER, R. E.

- 1936 - A Direct Method of Aggregate Analysis of Soils and a Study of the Physical Nature of Erosion Losses. Journal of the American Society of Agronomy. 28: (5) , 337-350 .

ZIMMERNAN, R. P. e L. T. KARDOS

- 1961 - Effect of Bulk Density on Root Growth. Soil Sci. 91: (4) , 280-288 .

10 - A N E X O S

Tabela 23 - Valores obtidos para as Agregações Naturais, Médias e somatórias das Médias das porcentagens das diversas classes de agregados para as diversas séries de solos

Série Tamis	Luiz de Queiroz				Guanium			
	10	20	40	60	10	20	40	60
- -	62,51	16,30	5,79	3,16	51,17	24,57	7,41	3,35
- -	57,30	18,64	8,35	4,04	54,90	27,70	4,23	1,76
- -	51,14	20,27	9,49	4,10	53,80	26,44	5,08	2,37
- -	60,78	18,73	5,79	2,67	58,65	22,50	5,38	2,10
- -	48,90	21,59	9,49	3,57	53,10	23,22	7,23	3,60
Total	280,63	95,53	38,91	17,54	271,62	124,43	29,73	13,18
Média	56,13	19,11	7,78	3,51	54,28	24,88	5,86	2,63

Série Tamis	Pau d'Alho			
	10	20	40	60
- -	48,30	19,66	8,53	5,81
- -	35,87	30,92	8,79	6,06
- -	30,49	33,28	9,29	6,84
- -	40,50	23,44	9,84	6,62
- -	54,31	19,97	6,04	3,98
Total	210,47	127,27	42,54	29,31
Média	42,09	25,45	8,51	5,86

Σ da Média das porcentagens dos Agregados Naturais Totais das Séries:	
Luiz de Queiroz =	86,53
Guanium =	87,69
Pau d'Alho =	81,91

Tabela 24 - Valores obtidos para as Agregações Artificiais, Médias e somatórios das Médias das porcentagens das diversas classes de agregados para as diversas séries de solos.

Série Tamis	Luiz de Queiroz				Guamium			
	10	20	40	60	10	20	40	60
- -	0,91	23,69	36,40	9,94	0,12	3,33	39,57	33,44
- -	0,70	25,57	38,22	12,60	0,02	3,49	36,99	34,50
- -	0,43	26,31	37,16	12,58	0,10	5,76	45,38	39,63
- -	0,32	28,04	33,56	13,42	0,07	2,79	31,39	33,47
- -	0,56	23,06	33,72	15,70	0,18	4,24	49,57	29,73
Total	2,92	126,67	179,06	64,24	0,49	19,61	202,90	170,77
Média	0,59	25,33	35,81	12,85	0,10	3,92	40,58	34,15

Série Tamis	Pau d'Alho			
	10	20	40	60
- -	0,60	10,64	49,57	21,74
- -	0,20	11,16	50,37	23,56
- -	0,26	11,98	53,25	23,08
- -	0,13	10,01	49,75	23,94
- -	0,34	15,78	47,24	18,66
Total	1,53	59,60	250,18	110,98
Média	0,31	11,92	50,03	22,19

Σ da Média das porcentagens dos Agregados Artificiais Totais das Séries:	
Luiz de Queiroz =	74,58
Guamium =	78,75
Pau d'Alho =	84,45

Tabela 25 - Cálculos para o Coeficiente de Determinação da Série Luiz de Queiroz.

$X_0 - X_E =$	$X_0^2 =$
1.143,14 - 1.154,20 = 11,06	1.143,14 ² = 1.306.769,06
1.169,31 - 1.158,60 = 10,71	1.169,31 ² = 1.367.285,88
1.180,86 - 1.168,00 = 12,86	1.180,86 ² = 1.394.430,34
1.181,75 - 1.173,00 = 10,75	1.181,75 ² = 1.396.533,06
1.172,85 - 1.174,10 = 1,25	1.172,85 ² = 1.375.577,12
1.161,22 - 1.173,30 = 12,08	1.161,22 ² = 1.348.431,89
1.133,70 - 1.157,80 = 24,10	1.133,70 ² = 1.285.275,69
1.109,25 - 1.137,00 = 27,75	1.109,25 ² = 1.230.435,56
1.046,00 - 1.023,00 = 23,00	1.046,00 ² = 1.094.116,00
998,23 - 952,10 = 46,13	998,23 ² = 996.463,13
908,02 - 866,10 = 41,92	908,02 ² = 824.500,32
835,69 - 795,60 = 40,09	835,69 ² = 698.377,78
780,61 - 769,30 = 11,30	780,61 ² = 609.351,97
714,26 - 737,60 = 23,34	714,26 ² = 510.167,35
727,38 - 737,40 = 10,02	727,38 ² = 529.081,66
775,54 - 764,00 = 11,54	775,54 ² = 601.462,29
$\Sigma (X_0 - X_E)^2 = (314,90)^2$	$\Sigma X_0^2 = 16.568.259,10$

S. Q. Resíduo = 99.162,0100

$$S. Q. Total = \Sigma X_0^2 - \frac{(\Sigma X_0)^2}{16} = 16.568.259,10 - \frac{16.568.259,10}{16} =$$

$$= 16.568.259,10 - 1.035.516,10 = 15.532.743,00$$

S. Q. Regressão = 15.532.743,00 - 99.162,01 = 15.433.581,00

$$r^2 = \frac{15.433.581,00}{15.532.743,00} = 0,9936$$

Tabela 26 - Cálculos para o Coeficiente de Determinação da Série Guaniam

$X_0 - X_E =$	$X_0^2 =$
1.050,88 - 1.072,00 = 21,12	1.050,88 ² = 1.104.348,77
1.085,32 - 1.100,00 = 14,68	1.085,32 ² = 1.177.919,50
1.123,07 - 1.114,60 = 8,47	1.123,07 ² = 1.261.286,23
1.135,70 - 1.124,60 = 11,10	1.135,70 ² = 1.289.814,49
1.152,32 - 1.138,60 = 13,72	1.152,32 ² = 1.327.841,38
1.165,33 - 1.146,30 = 19,03	1.165,33 ² = 1.357.994,01
1.171,93 - 1.150,00 = 21,93	1.171,93 ² = 1.373.419,93
1.163,18 - 1.147,30 = 15,88	1.163,18 ² = 1.352.987,71
1.109,37 - 1.141,50 = 32,13	1.109,37 ² = 1.230.701,80
1.042,55 - 1.086,00 = 43,75	1.042,55 ² = 1.086.910,50
985,71 - 966,60 = 19,11	985,71 ² = 971.624,20
862,61 - 844,30 = 18,31	862,61 ² = 744.096,01
800,41 - 774,80 = 25,61	800,41 ² = 640.656,17
747,90 - 723,00 = 24,90	747,90 ² = 559.354,41
727,39 - 699,00 = 28,39	727,39 ² = 529.096,21
718,21 - 710,00 = 8,21	718,21 ² = 515.825,60
$\Sigma (X_0 - X_E)^2 = (326,34)^2$	$\Sigma X_0^2 = 16.523.858,92$

S. Q. Resíduo = 106.497,7956

$$S. Q. Total = \Sigma X_0^2 - \frac{(\Sigma X_0)^2}{16} = 16.523.858,92 - \frac{16.523.858,92}{16} = 16.523.858,92 - 1.032.741,1 = 15.491.117,8$$

S. Q. Regressão = 15.491.117,8 - 106.497,8 = 15.384.620,0

$$r^2 = \frac{15.384.620,0}{15.491.117,8} = 0,9931$$

Tabela 27 - Cálculos para o Coeficiente de Determinação da Série Pau d'Alho

X_0 - X_E =	X_0^2 =
1.137,88 - 1.144,00 = 6,12	1.037,88 ² = 1.294.770,89
1.163,30 - 1.152,00 = 11,30	1.163,30 ² = 1.353.266,89
1.142,09 - 1.139,00 = 3,09	1.142,09 ² = 1.315.790,47
1.067,57 - 1.074,00 = 6,43	1.067,57 ² = 1.139.705,71
994,10 - 1.009,00 = 14,90	994,10 ² = 988.234,81
891,47 - 935,00 = 43,53	891,47 ² = 974.718,76
858,01 - 856,00 = 2,01	858,01 ² = 736.181,16
800,97 - 789,00 = 11,97	800,97 ² = 641.552,94
760,85 - 752,00 = 8,85	760,85 ² = 578.816,64
699,02 - 735,00 = 35,98	699,02 ² = 488.628,96
702,64 - 735,00 = 32,36	702,64 ² = 493.702,97
741,13 - 759,00 = 17,87	741,13 ² = 549.273,67
$\Sigma (X_0 - X_E)^2 = (158,43)^2$	$\Sigma X_0^2 = 10.374.643,87$

S. Q. Resíduo = 25.100,0649

$$S. Q. Total = \Sigma X_0^2 - \frac{(\Sigma X_0)^2}{12} = 10.374.643,90 - \frac{10.374.643,90}{12} = 10.374.643,9 - 864.553,6 = 9.510.090,3$$

S. Q. Regressão = 9.510.090,3 - 25.100,1 = 9.484.990,2

$$r^2 = \frac{9.484.990,2}{9.510.090,3} = 0,9973$$

Tabela 28 - Cálculos das Médias dos Índices de Agregações Natural e Artificial da Série Luiz de Queiroz

$$A \begin{cases} 1,0220 \\ 0,9540 \\ 0,8975 \\ 1,0240 \\ 0,8460 \end{cases}$$

$$B \begin{cases} 0,3100 \\ 0,3250 \\ 0,3275 \\ 0,3205 \\ 0,3000 \end{cases}$$

$$\Sigma xa = 4,7435 \div 5 = 0,9487 = ma$$

$$\Sigma xb = 1,5830 \div 5 = 0,3166 = mb$$

$$t = \frac{ma - mb}{s \sqrt{2/n}} = \frac{0,9487 - 0,3166}{0,0556 \cdot 0,63} = \frac{0,6321}{0,0350} = 18,060$$

$$s^2 = \frac{\Sigma x^2 a - \frac{(\Sigma xa)^2}{5} + \Sigma x^2 b - \frac{(\Sigma xb)^2}{5}}{5 + 5 - 2}$$

$$= \frac{4,5244 - 4,5000 + 0,5017 - 0,5012}{8} = \frac{5,0261 - 5,0012}{8}$$

$$= \frac{0,0249}{8} = 0,0031$$

∴

$$s = \sqrt{0,0031} = 0,0556$$

$$s = 0,0556$$

$$t_{5\%} = 2,31$$

$$ma = 0,9487$$

$$t_{1\%} = 3,36$$

$$mb = 0,3166$$

$$(\Sigma xa)^2 = 4,7435^2 = 22,5008$$

$$\frac{(\Sigma xa)^2}{5} = \frac{22,5008}{5} = 4,5000$$

$$(\Sigma xb)^2 = 1,5830^2 = 2,5059$$

$$\frac{(\Sigma xb)^2}{5} = \frac{2,5059}{5} = 0,5012$$

$$\Sigma x^2 a = 1,0220^2 + 0,9540^2 + 0,8975^2 + 1,0240^2 + 0,8460^2 = 4,5244$$

$$\Sigma x^2 b = 0,3100^2 + 0,3250^2 + 0,3275^2 + 0,3205^2 + 0,3000^2 = 0,5017$$

Tabela 29 - Cálculos das Médias dos Índices de Agregações Natural e Artificial da Série Guanium

$$A \begin{cases} 0,8790 \\ 0,9185 \\ 0,8410 \\ 0,8530 \\ 0,8225 \end{cases}$$

$$B \begin{cases} 0,2555 \\ 0,2495 \\ 0,2525 \\ 0,2155 \\ 0,2445 \end{cases}$$

$$\Sigma x_a = 4,3140 \div 5 = 0,8628 = m_a$$

$$\Sigma x_b = 1,2175 \div 5 = 0,2435 = m_b$$

$$t = \frac{m_a - m_b}{s \sqrt{2/n}} = \frac{0,8628 - 0,2435}{0,082 \cdot 0,63} = \frac{0,6193}{0,0504} = 12,28$$

$$s^2 = \frac{\Sigma x^2 a - \frac{(\Sigma x_a)^2}{5} + \Sigma x^2 b - \frac{(\Sigma x_b)^2}{5}}{5 + 5 - 2} = \frac{3,7277 - 3,7221 + 0,2975 - 0,2964}{8} = \frac{0,0067}{8}$$

$$= 0,0008$$

∴

$$s = \sqrt{0,0008}$$

$$s = 0,0008$$

$$t_{5\%} = 2,31$$

$$m_a = 0,8628$$

$$t_{1\%} = 3,36$$

$$m_b = 0,2435$$

$$(\Sigma x_a)^2 = 4,3140^2 = 18,6106$$

$$\frac{(\Sigma x_a)^2}{5} = \frac{18,6106}{5} = 3,7221$$

$$(\Sigma x_b)^2 = 1,2175^2 = 1,4823$$

$$\frac{(\Sigma x_b)^2}{5} = \frac{1,4823}{5} = 0,2964$$

$$\Sigma x^2 a = 0,8790^2 + 0,9185^2 + 0,8410^2 + 0,8530^2 + 0,8225^2 = 3,7277$$

$$\Sigma x^2 b = 0,2555^2 + 0,2495^2 + 0,2525^2 + 0,2155^2 + 0,2445^2 = 0,2975$$

Tabela 30 - Cálculos das Médias dos Índices de Agregações Natural e Artificial da Série Pau d'Alho

$$A \begin{cases} 0,7625 \\ 0,6385 \\ 0,6320 \\ 0,6805 \\ 0,9440 \end{cases}$$

$$B \begin{cases} 0,2525 \\ 0,2890 \\ 0,2855 \\ 0,2710 \\ 0,2940 \end{cases}$$

$$\Sigma x_a = 3,6575 \div 5 = 0,7315 = m_a$$

$$\Sigma x_b = 1,3920 \div 5 = 0,2784 = m_b$$

$$t = \frac{m_a - m_b}{S \sqrt{2/n}} = \frac{0,7315 - 0,2784}{0,093 \cdot 0,63} = \frac{0,4531}{0,0586} = 7,73$$

$$s^2 = \frac{\Sigma x^2 a - \frac{(\Sigma x_a)^2}{5} + \Sigma x^2 b - \frac{(\Sigma x_b)^2}{5}}{5 + 5 - 2} = \frac{2,7427 - 2,6755 + 0,3887 - 0,3875}{8} = \frac{0,0684}{8}$$

$$= 0,0085$$

∴

$$S = \sqrt{0,0085} = 0,093$$

$$S = 0,0930$$

$$m_a = 0,7315$$

$$m_b = 0,2784$$

$$t_{5\%} = 2,31$$

$$t_{1\%} = 3,36$$

$$(\Sigma x_a)^2 = 3,6575^2 = 13,3773$$

$$\frac{(\Sigma x_a)^2}{5} = \frac{13,3773}{5} = 2,6755$$

$$(\Sigma x_b)^2 = 1,3920^2 = 1,9377$$

$$\frac{(\Sigma x_b)^2}{5} = \frac{1,9377}{5} = 0,3875$$

$$\Sigma x^2 a = 0,7625^2 + 0,6385^2 + 0,6320^2 + 0,6805^2 + 0,9440^2 = 2,7427$$

$$\Sigma x^2 b = 0,2525^2 + 0,2890^2 + 0,2855^2 + 0,2710^2 + 0,2940^2 = 0,3887$$

Tabela 31 - Repetições das determinações para: Umidade de Murchamento, Capacidade de Campo e Limite de Plasticidade das diversas séries

Limites Hídricos	Séries de Solo	Repetições (em % de água)		
		a	b	c
Umidade de Murchamento	Luiz de Queiroz	17,67	17,85	17,68
Capacidade de Campo	Luiz de Queiroz	24,79	25,11	24,68
Limite de Plasticidade	Luiz de Queiroz	28,49	29,16	28,70
Umidade de Murchamento	Guamium	17,93	18,27	17,82
Capacidade de Campo	Guamium	25,77	25,96	26,07
Limite de Plasticidade	Guamium	31,11	31,17	31,10
Umidade de Murchamento	Pau d'Alho	14,97	15,34	14,88
Capacidade de Campo	Pau d'Alho	24,11	23,89	24,26
Limite de Plasticidade	Pau d'Alho	29,59	29,89	30,11