



Limites de Consistência


Marcio Varela



Limites de Consistência

- **Introdução**

- O comportamento dos solos finos irá depender de diversos fatores, tais como:
 - como sua composição química e mineralógica;
 - sua umidade;
 - sua estrutura e
 - seu grau de saturação.
- Quanto menor a partícula de um solo, maior será sua superfície específica e, portanto, maior será sua plasticidade.

- 
- Limite de Consistência ou Limites de Atterberg
 - Em função da quantidade de água presente em um solo, podemos ter os seguintes estados de consistência:
 - líquido;
 - plástico;
 - semi-sólido e;
 - sólido:





O estado líquido é caracterizado pela ausência de resistência ao cisalhamento e o solo assume a aparência de um líquido.


Quando o solo começa a perder umidade, passa a apresentar o comportamento plástico, ou seja, deforma-se com variação volumétrica (sem fissurar-se ao ser trabalhado).

Ao perder mais água, o material torna-se quebradiço (semi-sólido).

No estado sólido, não ocorrem mais variações volumétricas pela secagem do solo.

- 
- Os teores de umidade correspondentes às mudanças de estado são denominados:
 - Limite de Liquidez (LL);
 - Limite de Plasticidade (LP) e;
 - Limite de Contração (LC).
 - O LL é o teor de umidade que delimita a fronteira entre o estado líquido e plástico.
 - O LP delimita o estado plástico do semi-sólido e;
 - O LC, o estado semi-sólido do sólido.
 - Os valores de LL e LP são de uso mais corriqueiro na engenharia geotécnica.

- 
- Definição do Limite de Liquidez: teor de umidade para o qual o sulco se fecha com 25 golpes.
 - A resistência que o solo oferece ao fechamento do sulco, medida pelo nº de golpes requeridos, provém de sua “Resistência ao Cisalhamento” correspondente à umidade que apresenta. Experimentalmente, obteve-se no LL, esta resistência que tem o valor de 25 g/cm^2 para todos os solos plásticos.



ABNT (NBR 6459) – Limite de Liquidez

- Do material que passa na peneira 0,42 mm (#40), separa-se cerca de 200 g, das quais serão utilizadas:
 - Cerca de 100 g para determinação do Limite de Liquidez (LL).
 - Cerca de 50 g para determinação do Limite de Plasticidade (LP).
- Separar uma amostra de solo passado na # 40 e devidamente destorroada e homogeneizada é colocada no prato do aparelho de Casagrande, observando-se que esta deve ter 1cm de espessura no centro do prato (1º ponto 35 golpes).



- É feito, então, um sulco longitudinal com o auxílio do cinzel.
- Por meio de um excêntrico imprimi-se ao prato, repetidamente, quedas da altura de 1cm e de intensidade constante e igual a duas quedas por segundo.
- O número de golpes necessários para provocar o fechamento deste sulco é registrado.



Ensaio de Limite de Liquidez
(Aparelho de Casagrande)

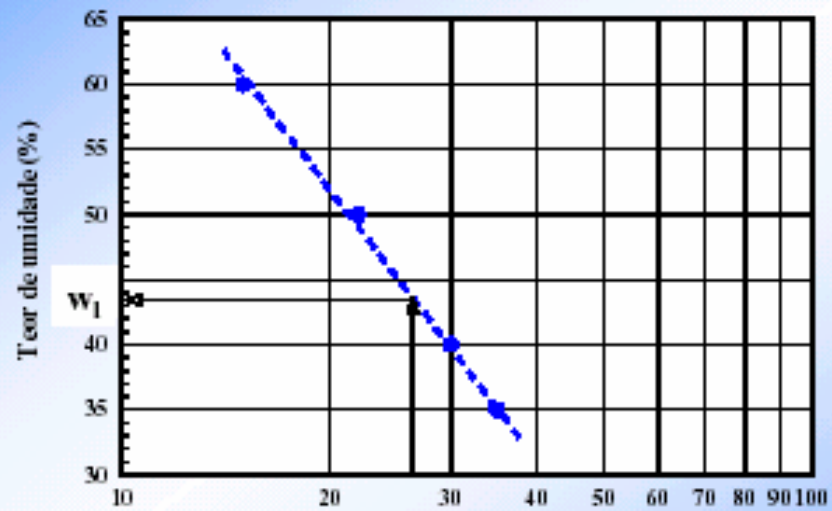




- Adicionando água à amostra repete-se o procedimento variando a umidade.
- Com os resultados obtidos traça-se a linha de escoamento do material (umidade X nº de golpes). Recomenda-se a determinação de, pelo menos, seis pontos.
- O LL será o teor de umidade correspondente a 25 golpes.



Limite de Liquidez




W_L = Limite de liquidez = LL

Limite de Liquidez
(cone)




NBR 7180 – Limite Plasticidade

- Limite de Plasticidade
 - Quando o solo se encontra no estado plástico ele perde a capacidade de fluir conservando a sua forma e podendo ser facilmente moldado.
 - Se ele continuar perdendo umidade, este estado desaparece até que, para um certo valor denominado Limite de Plasticidade (LP), o solo se desmancha ao ser trabalhado: é o estado semi-sólido.


- 
- O ensaio deste limite é determinado pela ABNT NBR 7180, que regulamenta o cálculo do teor de umidade para o qual o solo começa a se fraturar quando se tenta moldá-lo na forma de uma amostra cilíndrica de 3 mm de diâmetro.
 - A amostra é rolada com a mão, em um movimento de vaivém, sobre uma placa de vidro fosco, e a umidade correspondente ao início do fraturamento calculada.

- Normalmente, são realizadas três medidas de umidade para a determinação do LP com o mesmo solo fissurado. Outras dimensões do cilindro comparativo também podem ser utilizadas nesse ensaio.



- 
- Através dos valores dos limites de consistência é comum proceder-se ao cálculo de outros dois índices, a saber: o índice de plasticidade (IP) e o índice de consistência (IC).
 - Esses índices são chamados de índices de consistência e são de utilização muito comum na prática. No entanto, o IC por não acompanhar com fidelidade as variações de consistência de um solo, tem caído em desuso. O valor do IP pode ser obtido pela diferença entre o LL e o LP:


- $IP = LL - LP$

- 
- O índice de plasticidade procura medir a plasticidade do solo e, fisicamente, representa a quantidade de água necessária a acrescentar ao solo para que este passe do estado plástico para o líquido. A seguir, são apresentados alguns intervalos do IP para a classificação do solo quanto a plasticidade.
 - $IP = 0$ Não Plástico
 - $1 < IP < 7$ Pouco Plástico
 - $7 < IP < 15$ Plasticidade Média
 - $IP > 15$ Muito Plástico


- 
- Índice de Consistência

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

- h - teor de umidade natural do solo
- Segundo o IC as argilas são classificadas em:
 - IC = 0 muito moles
 - $0 < IC < 0,5$ moles
 - $0,5 < IC < 0,75$ médias
 - $0,75 < IC < 1,0$ rijas
 - IC > 1,0 duras

- 
- Limite de Contração
 - Busca-se determinar o teor de umidade que ainda ocuparia os vazios de um solo colocado a secar em estufa até não mais contrair.

$$LC = \frac{P_{ini} - P_s}{P_s} - \frac{(V_{ini} - V_{sec}) \times \gamma_{ag}}{P_s}$$

- 
- onde:
 - h_{ini} → teor de umidade inicial da amostra;
 - P_{ini} → peso inicial da amostra úmida;
 - P_s → peso da amostra seca;
 - V_{ini} → volume inicial da amostra;
 - V_{sec} → volume da amostra após seca em estufa;

- 
- Determinação do LC através dos índices físicos:

$$LC = \left(\frac{1}{\gamma_s} - \frac{1}{\delta} \right)$$

- 
- Grau de Contração do Solo

$$C = \frac{(V_{ini} - V_{sec})}{V_{ini}}$$

- Solos bons $\rightarrow C < 5\%$;
- Solos regulares $\rightarrow 5 < C < 10\%$;
- Solos ruins $\rightarrow 10 < C < 15\%$;
- Solos péssimos $\rightarrow C > 15\%$


- Alguns solos podem apresentar LL superior a 600%, necessitando de muita água para mudar de estado. Porém, os valores típicos para solos brasileiros encontram-se

SOLOS	LL	IP
Arenoso fino, laterítico (a)	29	11
Arenoso fino, laterítico (b)	44	13
Solos de basalto, laterítico	43	16
Solo saprolítico de gnaise	48	16
Solo saprolítico de granito	48	16
Argila orgânica de várzeas quaternárias	70	30
Argilas orgânicas de baixadas litorâneas	120	60




- **Atividade das Argilas**

- Como a constituição mineralógica dos argilo-minerais é bastante variada, pode acontecer que em determinado tipo de solo os valores dos índices de consistência sejam elevados enquanto o teor de argila presente é baixo. Quando isso ocorre, diz-se que a argila é *muito ativa*.

- 
- Essa pequena fração da argila presente no solo consegue transmitir a este um comportamento argiloso. A esse fenômeno, Skempton chamou de *atividade da fração argilosa*. Segundo Skempton, a medida da atividade da fração argilosa no solo pode ser feita pela seguinte expressão:

$$A = \frac{IP}{\% < 0,002mm}$$

- 
- IP é o índice de Plasticidade e o termo % < 0,002 mm representa a percentagem de partícula com diâmetro inferior a 2 μ m presente no solo.
 - De acordo com a proposta de Skempton, a argila presente no solo poderá ser classificada conforme a sua atividade:
 - Argila inativa: $A < 0,75$
 - Argila normal: $0,75 < A < 1,25$
 - Argila ativa: $A > 1,25$



- EXERCÍCIOS:

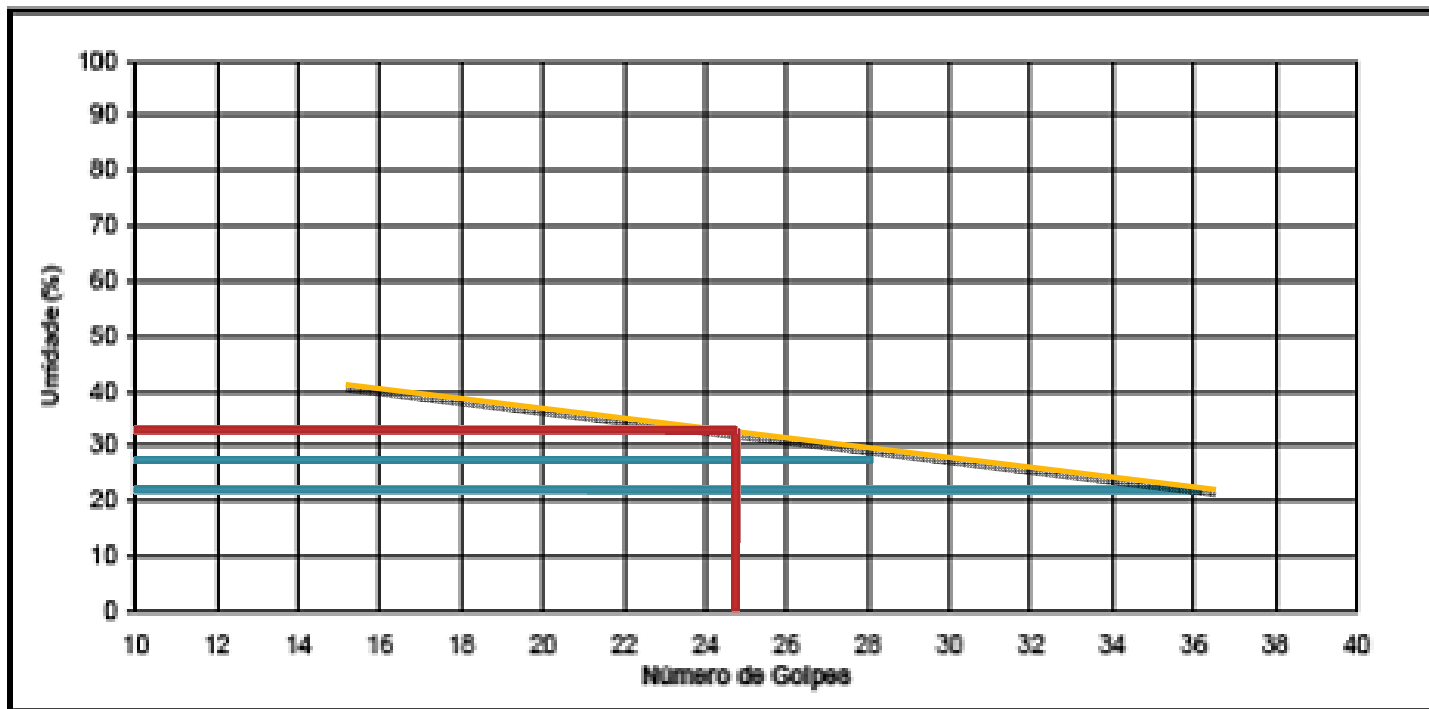
- 1) Na determinação do LL de um solo, utilizou-se o método do aparelho de Casagrande. Assim, foram obtidos os seguintes valores:
 - - para um teor de umidade de 22 %, foram necessários 36 golpes, para um teor de umidade de 28 % foram necessários 30 golpes
- Qual o valor do LL deste solo?


Interpolação Linear: $\frac{22 - 28}{22 - LL} = \frac{36 - 30}{36 - 25}$


$$\frac{-6}{22 - LL} = \frac{11}{6}$$

$$22 - LL = -11$$

$$LL = 33\%$$



- 
- 2) Para um determinado solo foi colhida uma amostra, a qual foi analisada no laboratório, sendo obtidos os seguintes dados:
 - - teor de umidade natural da amostra igual a 30%;
 - - experiência de Casagrande: $h_1 = 30\% \rightarrow N_1 = 30$ golpes; $h_2 = 45\% \rightarrow N_2 = 20$;
 - - LP = 24%;
 - - peso específico aparente do solo seco igual a $26,00 \text{ kN/m}^3$;
 - - densidade relativa das partículas igual a 3,00;
 - - o volume inicial da amostra que era de $5,00 \text{ dm}^3$, passou a ser de $4,50 \text{ dm}^3$ após a secagem na estufa.

- 
- Determinar:
 - a) LL;
 - b) IP;
 - c) IC;
 - d) LC;
 - e) C (grau de contração do solo);
 - f) As características do solo quanto à plasticidade, à consistência e à contração;