Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Ceará | IFCE
Departamento de Construção Civil

Fundamentos de Engenharia Geotécnica
Classificação dos Solos

Nota de Aula | Prof. Marcos Porto

1. Classificação dos Solos

A diversidade e diferentes comportamentos apresentados pelos solos, considerando as solicitações de interesse da engenharia, levou ao seu natural agrupamento em conjuntos distintos, aos quais podem ser atribuídas algumas propriedades. Desta tendência racional de organização da experiência acumulada, surgiram os sistemas de classificação dos solos. O objetivo da classificação dos solos, sob o ponto de vista de engenharia, é o de poder estimar o provável comportamento do solo ou, pelo menos, o de orientar o programa de investigação necessário para permitir a adequada análise de um problema. Apesar das limitações a que estão sujeitas as diferentes classificações, estas constituem um meio prático e indispensável para a identificação dos solos.

1.1 Principais Sistemas de Classificação dos Solos

No Brasil, os principais sistemas considerados para classificação dos solos são:

- Sistema Unificado de Classificação dos Solos (SUCS): Método resultante de um trabalho conjunto desenvolvido por órgãos de engenharia americanos ("Bureau of Reclamation" e "Corps of Engineers") assistido pelo professor Arthur Casagrande, da Universidade de Harvard, sendo publicado em 1953 pelo "Waterways Experiment Station" como aperfeiçoamento e ampliação do sistema elaborado por Casagrande para aeroportos em 1943. O SUCS baseia-se na identificação dos solos de acordo com as suas qualidades de textura e plasticidade, agrupando-os de acordo com seu comportamento quando usados em estradas, aeroportos, aterros e fundações;

- Sistema de Classificação TRB ("Transportation Research Board"): Procedimento aprovado em 1945 nos Estados Unidos constitui um aperfeiçoamento do antigo sistema da "Public Roads Administration", proposto em 1929. Nesse sistema são considerados resultados de ensaios de granulometria e limites de Atterberg, sendo principalmente utilizado em projetos rodoviários.

- Sistema de Classificação MCT (Miniatura Compactada Tropical): Sistema desenvolvido no Brasil por Nogami e Villibor (1981), tendo em vista considerar características específicas de solos de regiões tropicais, é baseada em propriedades obtidas em corpos de prova cilíndricos compactados em equipamento miniatura e padronizado de acordo com DNER (1996).

1.1.1 Sistema Unificado de Classificação de Solos – SUCS

O SUCS baseia-se na identificação dos solos de acordo com as suas qualidades de textura e plasticidade, a partir de resultados de ensaios de granulometria e índices de

Atterberg, e organiza-os em grupos de acordo com seu comportamento quando usados em estradas, aeroportos, aterros e fundações.

Nesse sistema, são consideradas as seguintes características dos solos:

a) Percentagens de pedregulhos, areia e finos (fração que passa na peneira nº 200 ou 0,075mm: silte e argila);
b) Forma da curva granulométrica;
c) Plasticidade e Compressibilidade.

As principais divisões são: solos de granulação grossa (mais de 50% em peso retido na peneira nº 200), solos de granulação fina (mais de 50% em peso passando na peneira nº 200) e solos altamente orgânicos (facilmente identificáveis pelo seu aspecto).

As vantagens do emprego do SUCS estão no exercício da identificação de campo, na adoção de uma simbologia que diz da natureza do solo e no valor prático das indicações que a classificação proporciona aos vários ramos da engenharia de solos.

a) Gráfico de Plasticidade

Idealizado pelo Prof. Artur Casagrande o gráfico de plasticidade (Figura 01), é um diagrama cartesiano com limite de liquidez (LL) em abcissas e o índice de plasticidade (IP) em ordenadas, onde são identificadas duas linhas, uma reta inclinada, chamada linha "A", e a outra vertical com LL = 50. A linha "A" representa uma importante fronteira empírica entre as argilas tipicamente sem matéria orgânica (CL e CH), em geral acima dessa linha, os solos plásticos contendo colóides orgânicos (OL e OH) ou solos siltosos sem matéria orgânica (ML e MH). A linha vertical LL = 50 separa os siltes e argilas, com baixo LL (L), daqueles que têm LL alto (H).

Na parte inferior do gráfico, abaixo de LL = 50, com aproximadamente IP entre 4 e 7, há considerável superposição nas propriedades dos solos argilosos e dos siltosos. Por esse motivo, a linha "A" nessa zona limita uma área, e os solos ai situados são classificados como limítrofes.

A experiência tem demonstrado que a compressibilidade é aproximadamente proporcional ao LL, e que os solos com o mesmo LL têm aproximadamente a mesma compressibilidade, supondo que os outros fatores sejam essencialmente os mesmos.

Verificou-se que nos solos como o mesmo LL, quando cresce o IP, crescem também as características coesivas e diminui a permeabilidade.

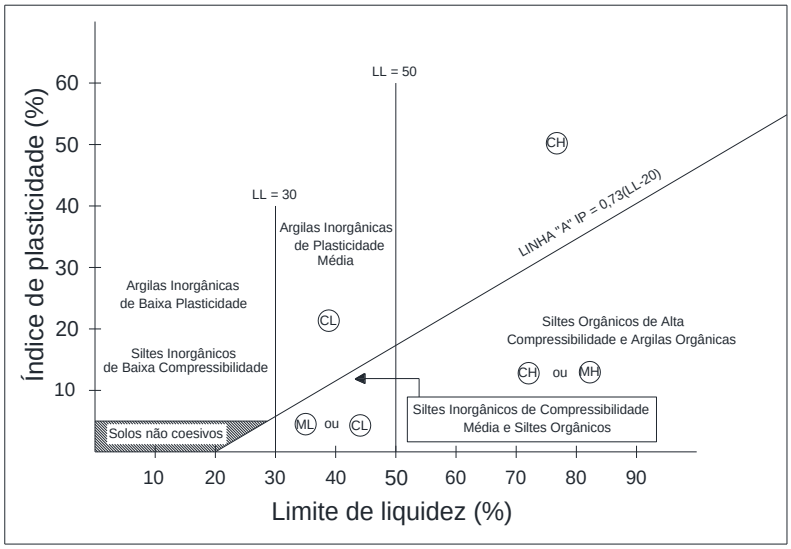

Figura 01 – Gráfico de plasticidade.

b) Terminologia

Neste sistema de origem americana, as iniciais adotadas nos símbolos têm os significados apresentados na Tabela 01. A Tabela 02 mostra exemplos de terminologia de grupos de solo.

Tabela 01 – Terminologia utilizada no SUCS.

Símbolos	**Significado**	
	Inglês	**Português**
G	Gravel	Cascalho (pedregulho)
S	Sand	Areia
C	Clay	Argila
W	Well graded	Bem graduado
P	Poor graded	Mal graduado
F	Fines	Finos (passando na peneira nº 200)
M	Mo	Mó ou limo (areia fina)
O	Organic	Matéria orgânica
L	Low Liquid Limit	LL baixo
H	High Liquid limit	LL alto
Pt	Peat	Turfa

Tabela 02 – Grupos de solos.

Símbolos dos Grupos	Significado dos Símbolos dos Grupos de Solos
GW	Cascalho bem graduado, cascalho e areia sem muito finos.
GP	Cascalho mal graduado, cascalho e areia sem muito finos.
GM	Cascalho siltoso com areia.
GC	Cascalho argiloso com areia
SW	Areia bem graduada, com cascalho e sem muito finos.
SP	Areia mal graduada, com cascalho e sem muito finos.
SM	Areia siltosa, mistura de areia e silte ou limo.
SC	Areia argilosa, mistura de areia e argila.
ML	Material siltoso e areias muito finas, pó-de-pedra, areias finas siltosas ou argilosas, ou siltes argilosos com baixa plasticidade.
CL	Argilas magras, argilas de plasticidade baixa ou média, argilas com cascalho, areia ou silte.
OL	Siltes orgânicos, argilosos ou não, com baixa plasticidade.
MH	Siltes, limos, areias finas micáceas ou diatomáceas, solos siltosos, siltes elásticos.
CH	Argilas gordas de plasticidade média ou alta.
OH	Argilas orgânicas de plasticidade média ou alta, siltes orgânicos.
Pt	Turfa e outros solos altamente orgânicos

c) Granulometria

As curvas granulométricas dos solos, além de nortear a identificação inicial dos grupos de solos, permitem a determinação dos coeficientes de não uniformidade ou uniformidade (CNU) e de curvatura (CC) necessários a este sistema de classificação.

- Coeficiente de Não-Uniformidade ou Uniformidade

O coeficiente de não uniformidade (CNU), também chamado de coeficiente de uniformidade, indica a amplitude dos tamanhos de grãos e é calculado, conforme equação a seguir, em função de D_{10} e D_{60}, parâmetros obtidos da curva granulométrica de acordo com a Figura 02.

$$CNU = \frac{D_{60}}{D_{10}} \qquad (01)$$

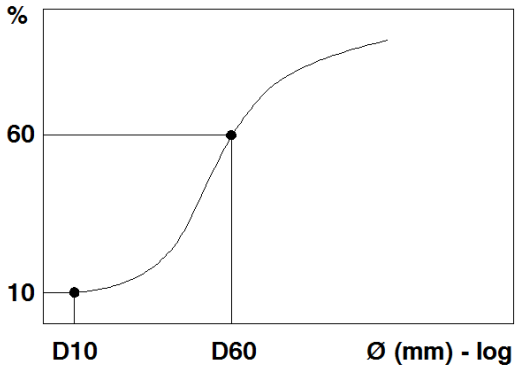

Figura 02 – Curva granulométrica com indicação de D_{10} e D_{60}.

- Coeficiente de Curvatura

O coeficiente de curvatura (CC), como mostra a equação que segue, identifica o formato da curva granulométrica e acusa eventuais descontinuidades ou concentração muito elevada de grãos mais grossos. Os parâmetros da curva granulométrica D_{10}, D_{30} e D_{60} são utilizados para obtenção de CC (Figura 03).

$$CC = \frac{(D_{30})^2}{D_{10}.D_{60}} \qquad (02)$$

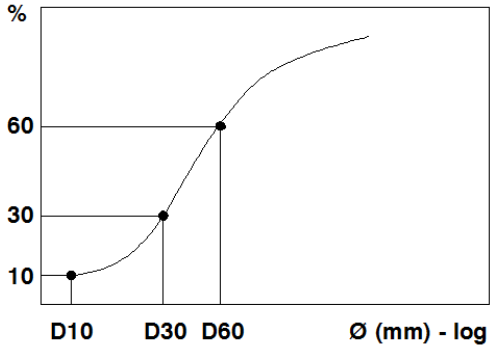

Figura 03 – Curva granulométrica com indicação de D_{10}, D_{30} e D_{60}.

Para que um solo (areia ou pedregulho) possa ser classificado como bem graduado, deve satisfazer as condições apresentadas na Tabela 03.

Tabela 03 – Condições para um solo bem graduado.

GW	CNU ≥ 4	1 ≤ CC ≤ 3
SW	CNU ≥ 6	

Para a classificação de solos, de acordo com o SUCS, são apresentadas, em anexo, as Figuras A01, A02, A03 e A04, respectivamente, com o fluxograma geral de classificação SUCS, o fluxograma de classificação SUCS considerando somente os solos de granulação grossa, o fluxograma de classificação SUCS considerando somente os solos de granulação fina e o gráfico de plasticidade.

1.1.2 Sistema de Classificação do TRB ("Transportation Research Board")

Muito empregado na engenharia rodoviária em todo o mundo, o sistema TRB foi originalmente proposto nos Estados Unidos e considera resultados de ensaios de granulometria e limites de Atterberg.

Os parâmetros utilizados são:

- Limite de Liquidez (LL);
- Índice de Plasticidade (IP);
- Granulometria;
- Índice de Grupo (IG).

Neste sistema de classificação de solos, parte-se da constatação da porcentagem de material que passa na peneira nº 200, sendo considerados solos de granulação grossa os que têm menos de 35% passando nesta peneira. Estes são os solos dos grupos A-1, A-2 e A-3. Os solos com mais de 35% passando na peneira nº 200 formam os grupos A-4, A-5, A-6 e A-7 como segue. A identificação dos solos de acordo com o sistema TRB é apresentada na Tabela 04.

Tabela 04 – Identificação dos solos de acordo com a classificação TRB.

Classificação TRB	Grupo	Sub-grupo
Solos granulares - p # 200 < 35%	A-1	a; b
	A-2	4; 5; 6; 7
	A-3	-
Solos finos - p # 200 > 35%	A-4	-
	A-5	-
	A-6	-
	A-7	5; 6

- Índice de Grupo

No sistema de classifica de solos TRB utiliza-se o Índice de Grupo (IG), que varia de 0 a 20, qualificando o solo quanto a quantidade de finos e resistência de maneira decrescente. O referido parâmetro pode ser obtido por meio da equação que segue e com o ábaco da Figura A05, em anexo.

$$IG = 0{,}2a + 0{,}005ac + 0{,}01bd \qquad (03)$$

Onde:

a = p # 200 – 35 (0 < a < 40)
b = p # 200 – 15 (0 < b < 40)
c = LL – 40 (0 < c < 20)
d = IP – 10 (0 < d < 20)

Sendo p # 200 a porcentagem que passa na peneira nº 200.

Para classificação de solos de acordo com o sistema TRB, são apresentados, em anexo, a Tabela A01 e o ábaco da Figura A05.

1.1.3 Sistema Miniatura Compactada Tropical – MCT

Este sistema de classificação foi desenvolvido por Nogami e Villibor (1981) com a finalidade básica de melhor caracterizar os solos tropicais. A técnica permite avaliar propriedades fundamentais dos solos associados à contração, permeabilidade, expansão, coeficiente de penetração d'água, coesão, capacidade de suporte e famílias de curvas de compactação, utilizando corpos-de-prova de dimensões reduzidas.

A sistemática inicialmente proposta foi simplificada com a introdução do ensaio de compactação desenvolvido por Parsons (1976), envolvendo a determinação do parâmetro MCV, que adaptado a corpos-de-prova miniaturas foi designado ensaio mini-MCV. Este ensaio permite determinar, dentre outras, uma propriedade empírica do solo (mini-MCV), que está associada a sua aptidão à compactação, indicação do teor de umidade e energia de compactação mais adequada, identificação dos solos problemáticos à compactação.

Para fins de classificação dos solos lateríticos ou saprolíticos, foi introduzido por aqueles pesquisadores um novo ensaio para avaliar o comportamento de corpos-de-prova obtidos no ensaio de mini-MCV, após a imersão de água e sob condições padronizadas, resultando como subproduto, uma nova sistemática classificatória de solos para fins rodoviários, denominada MCT – Miniatura Compactada Tropical.

A metodologia MCT permite retratar as peculiaridades dos solos quanto ao comportamento laterítico ou saprolítico, quantificando propriedades importantes para uso em serviços rodoviários. Considera duas classes distintas de solos, ou seja, de comportamento laterítico (L) e de comportamento não laterítico (N) e sete subclasses

correspondentes, conforme a Figura 04. A execução da metodologia MCT baseia-se resumidamente no seguinte procedimento:

a) Compactação de cerca de 200 g de solos com diferentes umidades, em molde cilíndrico de 50 mm de diâmetro, para determinação de curvas de compactação (γ_d x w) em diferentes energias, ou número de golpes aplicados por soquete padronizado e curvas correlacionando a redução de altura do corpo-de-prova (Δh) em função do número de golpes aplicados.
b) Perda por imersão (P_i) dada pela relação percentual entre as massas seca e úmida da parte primitivamente saliente desprendida por imersão, cerca de 1,0 cm, do molde de compactação (DNER-ME 254:1989).

Os resultados obtidos são assoviáveis ao valor mini-MCV definido pela expressão:

$$MINI - MCV = 10logN \qquad (04)$$

Em que:

N é o número de golpes a partir do qual o solo compactado não sofre redução sensível de altura ($\Delta h \leq 1$ mm).

c) Conforme Figura 05, determinam-se os parâmetros classificatórios c', d', P_i e e', onde:

c' é a inclinação da reta que passa pelo ponto de mini-MCV = 10, interpolada entre os trechos retos das curvas mais próximas;

d' é a inclinação, multiplicada por 10^3, do ramo seco da curva de compactação correspondente a 10 golpes;

P_i é determinado para o mini-MCV = 10 e na curva relaciona as perdas por imersão dos corpos-de-prova, ensaiados e os mini-MCVs correspondentes, para ΔH = 2 mm;

$$e' = \sqrt[3]{\frac{P_i}{100} + \frac{20}{d'}} \qquad (05)$$

d) Com os valores de e' e c', o solo é classificado em subclasses (Figura 04); A Tabela 05 apresente as propriedades típicas dos solos, segundo os diferentes grupos classificatórios.

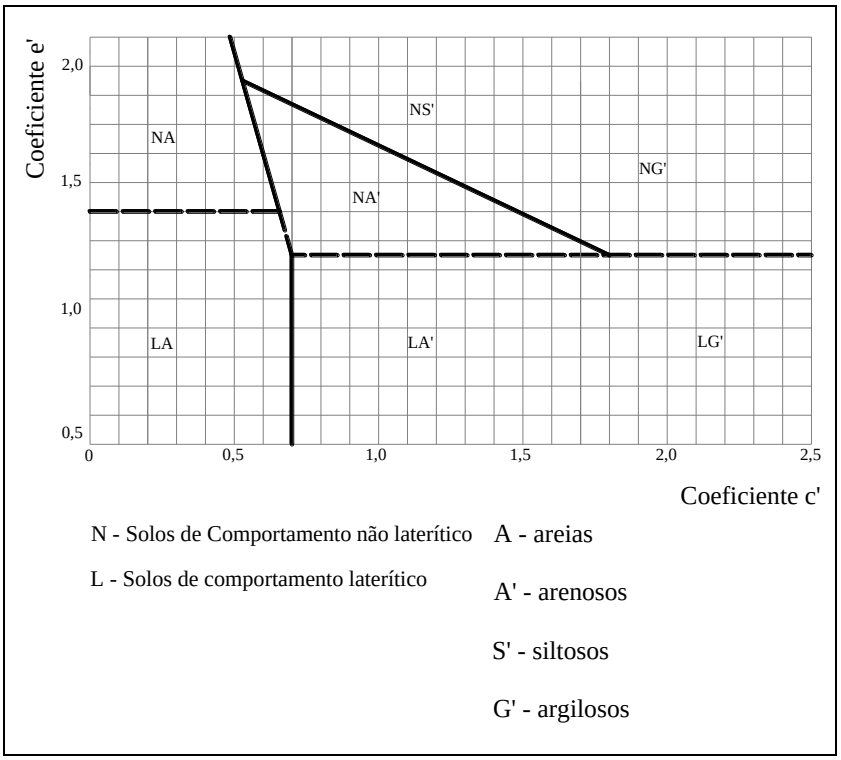

Figura 04 – Ábaco para classificação MCT

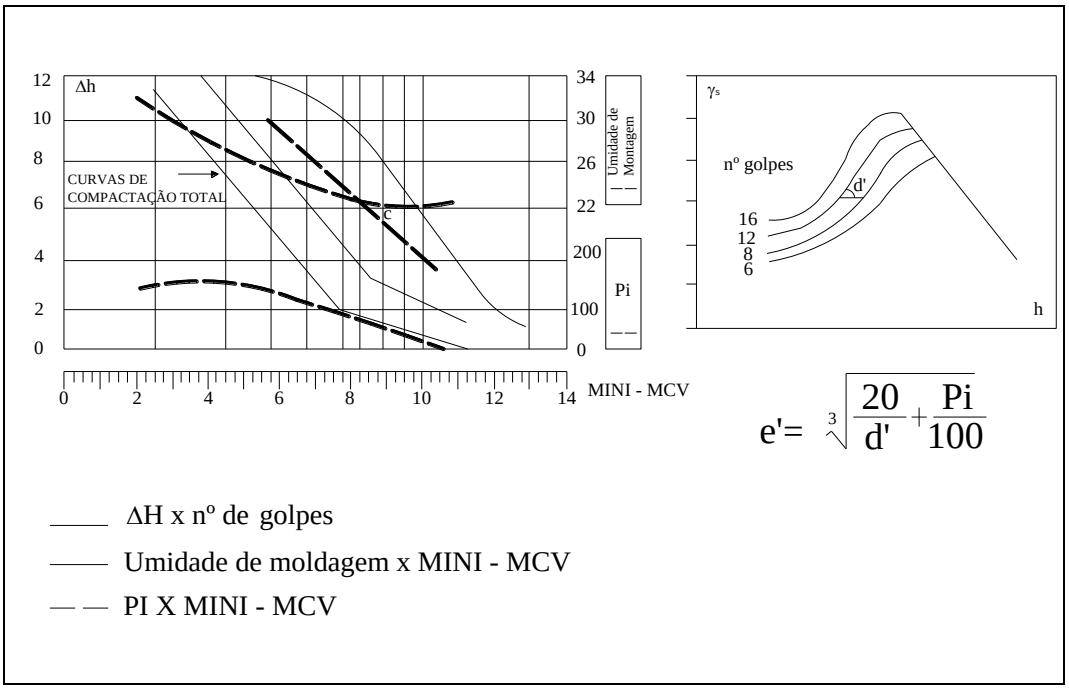

Figura 05 - Gráficos para Classificação MCT.

Tabela 05 – Propriedades típicas dos solos de acordo com a classificação MCT.

CLASSES			N - SOLOS DE COMPORTAMENTO "NÃO LATERÍTICO"				L - SOLOS DE COMPORTAMENTO "LATERÍTICO"		
GRUPOS			NA AREIAS	NA' ARENOSOS	N'S SILTOSOS	NG' ARGILOSOS	LA AREIAS	LA' ARENOSOS	LG' ARGILOSOS
GRANULOMETRIA TÍPICA (MINERAIS)(1)			Areias, areias siltosas, siltes (q)	Areias siltosas, areias argilosas	Silte (k, m), siltes arenosos e argilosos	Argilas, argilas arenosas, argilas siltosas	Areias com pouca argila	Areias argilosas, argilas arenosas	Argilas, argilas arenosas
CAPACIDADE DE SUPORTE (2)	MINI CBR sem imersão (%)	Muito alto >30	Alto a médio	Alto	Médio a alto	Alto	Alto	Alto a muito alto	Alto
		Alto 12-30							
		Média 4-12							
		Baixo <4							
	Perda de Suporte por imersão (%)	Alta >70	Média a baixa	Baixa	Alta	Alta	Baixa	Baixa	Baixa
		Média 40-70							
		Baixo <40							
EXPANSÃO	(%)	Alta >3	Baixa	Baixa	Alta	Alta a média	Baixa	Baixa	Baixa
	2	Média 0,5-3							
CONTRAÇÃO	(%)	Média 0,5-3	Baixa a média	Baixa a média	Média	Alta a média	Baixa	Baixa a média	Média a alta
	2	Baixa <0,5							
PERMEABILIDADE log (k(cm/s))	2	Alta > (-3)	Média a alta	Baixa	Média a baixa	Baixa a média	Média a baixa	Baixa	Baixa
		Média (-3) a (-6)							
		Baixa < (-6)							
PLASTICIDADE	(%)	IP LL	Baixo a NP	Média a NP	Média a alta	Alta	NP a baixa	Baixa a média	Média a alta
	Alto	>30 >70							
	Média	jul/30 30-70							
	Baixo	<7 <30							

ANEXOS

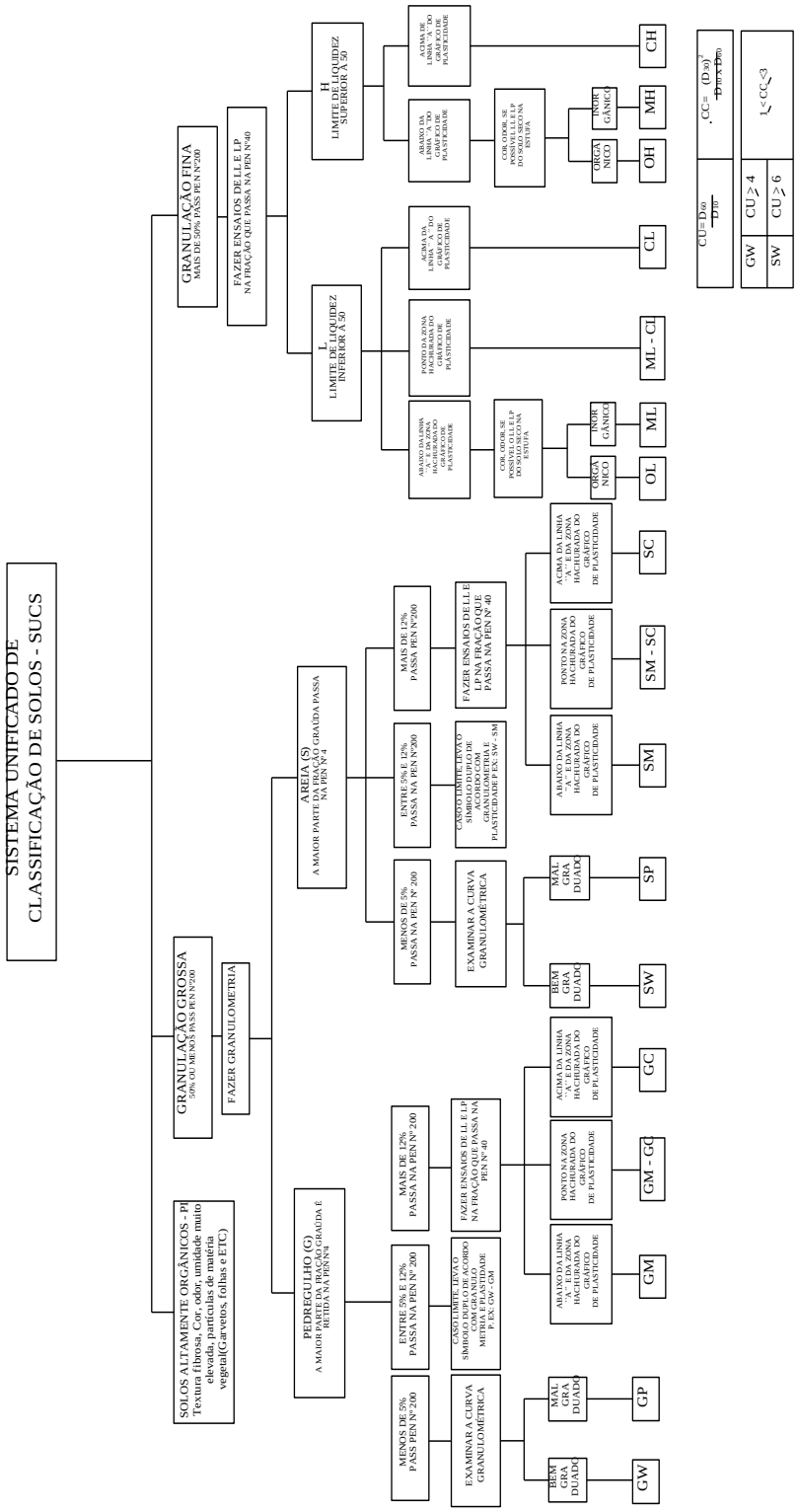

Figura A01 - Fluxograma geral de classificação SUCS.

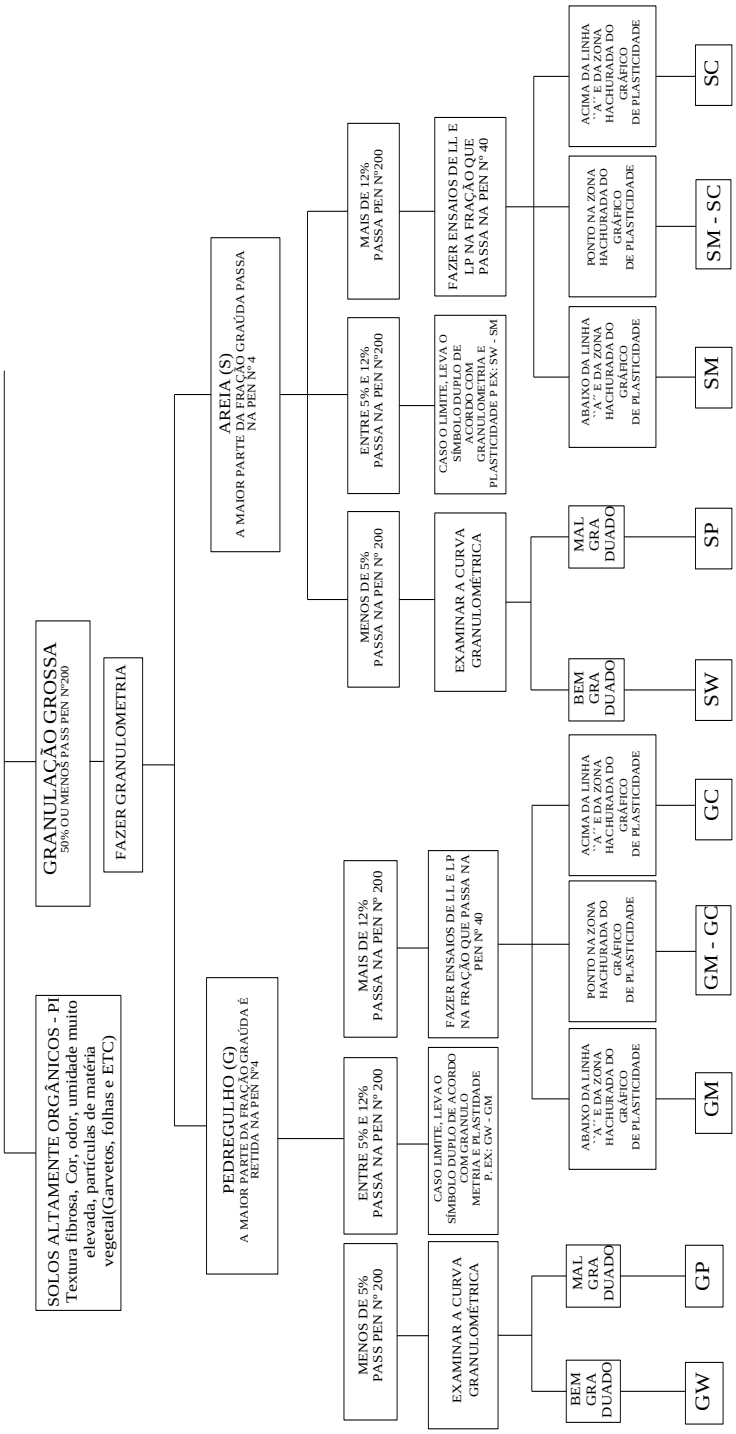

Figura A02 - Fluxograma de classificação SUCS considerando somente os solos de granulação grossa.

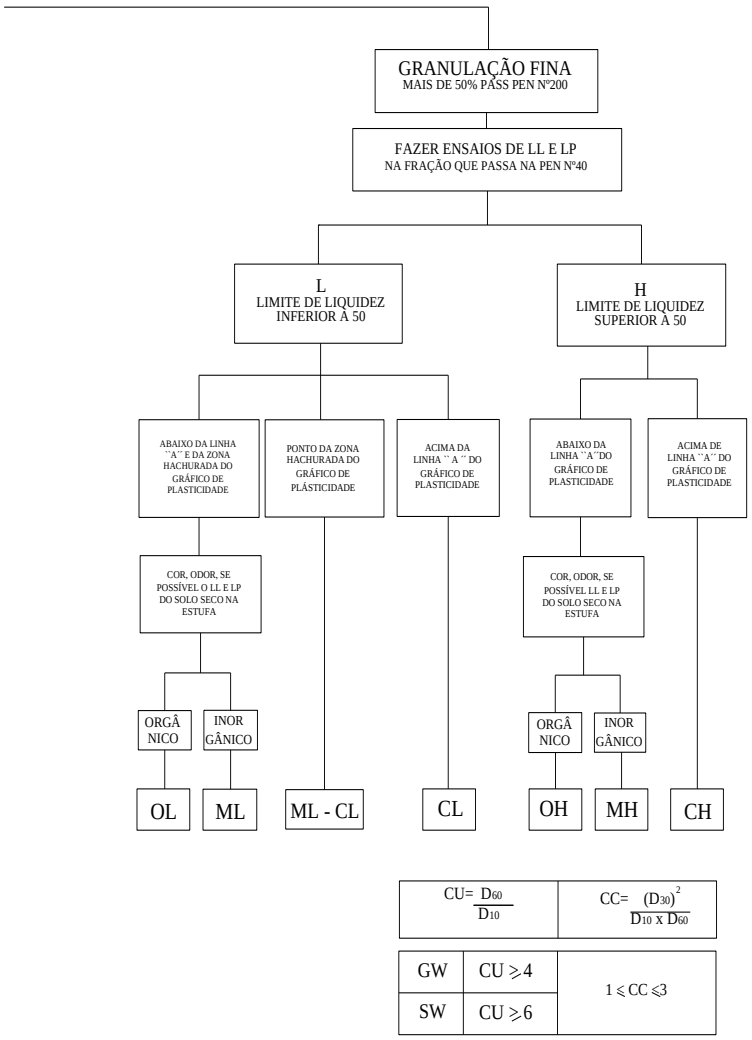

Figura A03 - Fluxograma de classificação SUCS considerando somente os solos de granulação fina.

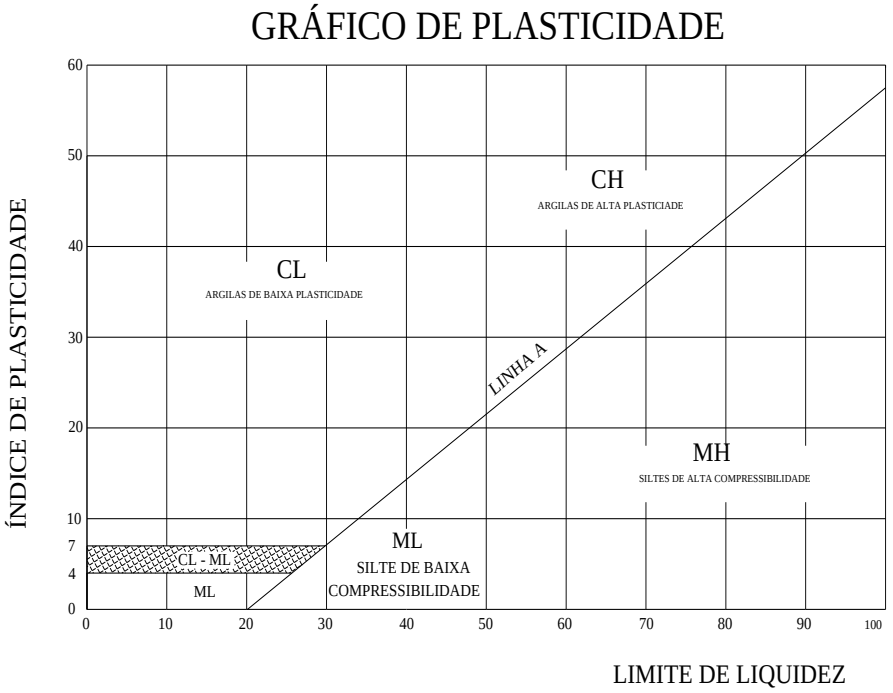

Figura A04 - Gráfico de plasticidade.

ÁBACOS PARA O CÁLCULO DO ÍNDICE DE GRUPO

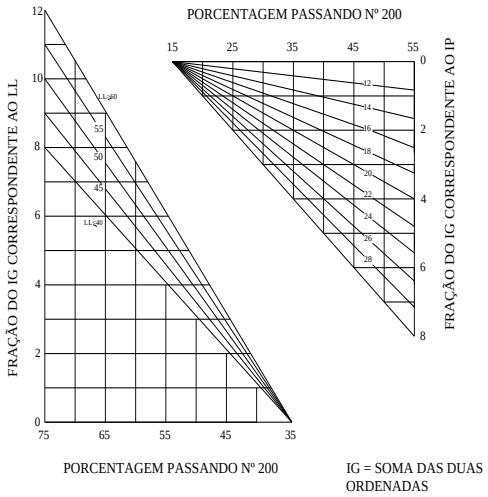

Figura A05 - Ábaco para obtenção do Índice de Grupo (IG).

Tabela A01 - Quadro de Classificação TRB.

SISTEMA DE CLASSIFICAÇÃO TRB

CLASSIFICAÇÃO GERAL	SOLOS GRANULARES							SOLOS SILTO - ARGILOSOS			
	$P_{200} \leq 35\%$							$P_{200} > 35\%$			
GRUPOS	A-1		A-3	A-2				A-4	A-5	A-6	A-7
SUB-GRUPOS	A - 1a	A - 1b		A-2-4	A-2-5	A-2-6	A-2-7				A-7-5 A-7 -6
P_{10}	≤ 50	-		-	-	-	-	-	-	-	-
P_{40}	≤ 30	≤ 30	> 50	-	-	-	-	-	-	-	-
P_{200}	≤ 15	≤ 25	≤ 10	≤ 35	≤ 35	≤ 35	≤ 35	> 35	> 35	> 35	> 35
LL	-	-		≤ 40	> 40	≤ 40	> 40	≤ 40	> 40	≤ 40	> 40
IP	≤ 6	≤ 6	NP	≤ 10	≤ 10	> 10	> 10	≤ 10	≤ 10	> 10	> 10
ÍNDICE DE GRUPO (IG)	0	0	0	0	0	≤ 4	≤ 4	≤ 8	≤ 12	≤ 16	≤ 20
TIPOS DE MATERIAL	FRAGMENTOS DE PEDRA, PEDREGULHO E AREIA		AREIA FINA	PEDREGULHOS E AREIAS SILTOSAS OU ARGILOSAS				SOLOS SILTOSOS		SOLOS ARGILOSOS	
CLASSIFICAÇÃO COMO SUBLEITO	EXCELENTE →				BOM	REGULAR	→			MAU	

A - 7 - 5	IP ≤ LL - 30
A - 7 - 6	IP > LL - 30

∴