



## Caraterização laboratorial de solos - Nova normalização

CARLA MANUELA VIANA MARTINS

julho de 2018

# **CARATERIZAÇÃO LABORATORIAL DE SOLOS – NOVA NORMALIZAÇÃO**

CARLA MANUELA VIANA MARTINS

Relatório de Estágio submetido para satisfação parcial dos requisitos do grau de

**MESTRE EM ENGENHARIA CIVIL – RAMO DE INFRAESTRUTURAS**

Orientador: Maria Manuela Martins de Carvalho

Supervisor: Adriano Manuel da Silva Teixeira (CICCOPN)

**JUNHO DE 2018**



Ao meu querido e memorável avô,

Bernardo Martins



# ÍNDICE GERAL

Índice Geral .....	iii
Resumo.....	v
Abstract .....	vii
Agradecimentos .....	ix
Índice de Texto .....	xi
Índice de Figuras.....	xv
Índice de Tabelas.....	xvii
Abreviaturas .....	xxi
CAPÍTULO 1    Introdução.....	1
CAPÍTULO 2    Estado da arte .....	7
CAPÍTULO 3    Teor em água .....	27
CAPÍTULO 4    Densidade das partículas / Massa volúmica das partículas.....	37
CAPÍTULO 5    Análise granulométrica .....	49
CAPÍTULO 6    Limites de consistência .....	85
CAPÍTULO 7    Considerações Finais.....	111
Referências Bibliográficas .....	115
Anexos I – Folhas de registo do teor em água .....	117
Anexo II – Folhas de registo da densidade/massa volúmica das partículas.....	119
Anexo III – Folhas de registo da análise granulométrica.....	123
Anexo IV – Folhas de registo dos limites de consistência .....	151
Anexo V – Dimensões e caraterísticas da concha de Casagrande e dos riscadores segundo NP-143: 1966 e ISO/FDIS 17892-12:2018 .....	167
Anexo VI - Dimensões e caraterísticas do cone de penetração segundo a ISO/FDIS 17892-12: 2018 ....	171



## RESUMO

O objetivo deste trabalho consistiu em fazer uma análise comparativa entre a antiga e a nova normalização para a caracterização laboratorial de solos, com a finalidade de avaliar o impacto desta alteração normativa nos procedimentos laboratoriais e nos resultados finais dos ensaios.

Este trabalho teve, também, o objetivo de avaliar a necessidade de investimento em equipamentos, que os laboratórios de geotecnia irão ter que realizar para se poderem adotar novas metodologias de ensaio.

Este tema de trabalho surgiu porque, em Portugal, a normalização na caracterização geotécnica de solos tem várias décadas e, em muito casos, pode considerar-se desatualizada. A evolução tecnológica e o crescimento populacional focalizado em grandes cidades, a par de uma cada vez mais rigorosa consciência ambiental, exigem a utilização de todos os solos, mesmo os de menor qualidade, o que requer um profundo conhecimento das suas características geológicas e geotécnicas o que só é possível adotando metodologias de estudo e ensaios mais inovadores e adequadas aos tempos atuais. Assim, nos últimos anos, têm sido elaboradas normas europeias que, em breve, passarão a ter caráter obrigatório em Portugal.

Este trabalho incidiu na realização de ensaios laboratoriais para caracterização física dos solos, designadamente a determinação do teor em água, da densidade/massa volúmica das partículas, da análise granulométrica e dos limites de consistência pela normalização antiga e pela nova normalização. Foram utilizados dois solos, um solo residual granítico e um solo de granulometria mais fina, de origem sedimentar. Sobre o solo residual granítico foram realizados todos os ensaios em estudo, enquanto que sobre o segundo solo só foram realizados ensaios para determinação dos limites de liquidez e de plasticidade.

Após a realização dos ensaios pelos diferentes documentos normativos, foi possível avaliar as principais diferenças metodológicas e o seu impacto na rotina dos laboratórios e nos resultados obtidos e, ainda, nos cadernos de encargos das obras geotécnicas.

**Palavras-chave:** normalização; solos; ensaios.



## **ABSTRACT**

The aim of this work was to make a comparative analysis between the old and the new standardization for the laboratory characterization of soils, in order to evaluate the impact of this normative change in the laboratory procedures and in the final test results.

Another purpose of this work was to evaluate the need for investment in new equipment that laboratories will have to carry out in order to adapt to the new test methodologies.

This work theme arose because in Portugal the standardization in the geotechnical characterization of soils has several decades and, in many cases, can be considered outdated. Technological evolution and population growth focused on large cities, together with an increasingly strict environmental awareness, require the use of all soils, even those of lower quality, which requires a thoughtful knowledge of their geological and geotechnical characteristics which is only possible adjusting research methodologies and more innovative and adequate trials to the current times. Thus, in recent years, European standards have been prepared and soon will become mandatory in Portugal.

This work focused on laboratory tests for physical characterization of soils, namely the determination of water content, density / density of particles, particle size analysis and Atterberg limits by the old normalization and by the new normalization. Two soils, a granitic residual soil and a sedimentary fine-grained soil were used. On the residual granitic soil, all the tests under study were performed, on the second soil only tests to determine the liquid limit and the plastic limit were carried out.

After the tests were carried out by different standardization documents, it was possible to evaluate the main methodological differences and their impact on the laboratory routine and on the results obtained, as well as tender documents of the geotechnical works.

**Keywords:** standardization; soils; tests.



## **AGRADECIMENTOS**

No decurso desta longa etapa académica foram várias as pessoas sem as quais tudo isto não seria possível. Pela importância que tiveram deixo aqui o meu mais sincero agradecimento a todas elas.

À Doutora Manuela Carvalho e ao Doutor Adriano Teixeira, agradeço por este desafio e a confiança que depositaram em mim. Agradeço também por todo o apoio, ajuda e partilha de conhecimentos que me proporcionaram ao longo do estágio.

Ao Mestre Eduardo Neves agradeço a disponibilidade, a inesgotável paciência, a boa disposição e partilha de conhecimentos. Obrigada por sempre me motivar.

À Mestre Joana Santos e ao Mestre Jorge Ribeiro. Aos Técnicos de laboratório, José Manuel, José Carlos, Maria José, Sandra Andrade, Óscar Carvalho e Fernando Barbosa. A todos eles agradeço a amizade, a estima e o apoio durante o estágio.

A todos os meus amigos, em especial à Andreia Castilho, por sempre acreditar em mim e dar-me tanto apoio ao longo destes anos.

À minha irmã Luísa Martins, e ao Diogo Silva. Obrigada pelo apoio, compreensão e pelo carinho que sempre me prestaram.

E por último, mas não menos importante, aos meus pais. Obrigada por me proporcionarem todas as condições para tornar tudo isto possível, mesmo nos momentos mais difíceis. Obrigada por nunca me terem deixado desistir. Espero um dia poder retribuir todo o esforço que fizeram por mim. Obrigada a toda a minha família.



# ÍNDICE DE TEXTO

CAPÍTULO 1	Introdução.....	1
1.1	Enquadramento geral .....	1
1.2	Âmbito .....	2
1.3	Organização do relatório .....	3
1.4	Apresentação da empresa .....	4
1.4.1	Organograma.....	5
CAPÍTULO 2	Estado da arte .....	7
2.1	Introdução.....	7
2.2	Normalização .....	8
2.3	Documentos de referência .....	10
2.3.1	Normalização internacional.....	11
2.3.2	Normalização europeia.....	13
2.3.3	Normalização nacional .....	13
2.3.4	Especificações LNEC.....	15
2.4	Os solos.....	16
2.4.1	Teor em água.....	19
2.4.2	Densidade das partículas / Massa volúmica das partículas .....	19
2.4.3	Análise granulométrica.....	20
2.4.4	Limites de consistência.....	22
2.5	Caderno de encargos .....	23
CAPÍTULO 3	Teor em água .....	27
3.1	Determinação do teor em água de acordo com a NP-84: 1965 .....	27

## ÍNDICE DE TEXTO

3.1.1	Equipamentos .....	27
3.1.2	Metodologia de ensaio .....	28
3.2	Determinação do teor em água de acordo com a EN ISO 17892-1: 2014 .....	28
3.2.1	Equipamentos .....	28
3.2.2	Metodologia de ensaio .....	29
3.3	Análise comparativa das normas NP-84: 1965 e EN ISO 17892-1: 2014 .....	30
3.3.1	Equipamentos .....	30
3.3.2	Metodologia de ensaio .....	32
3.4	Apresentação dos resultados .....	33
3.5	Análise e discussão dos resultados obtidos .....	34
CAPÍTULO 4	Densidade das partículas / Massa volúmica das partículas .....	37
4.1	Determinação da densidade das partículas de acordo com a NP-83: 1965 .....	37
4.1.1	Equipamentos .....	37
4.1.2	Metodologia de ensaio .....	38
4.2	Determinação da massa volúmica das partículas de acordo com a EN ISO 17892-3: 2015 .....	39
4.2.1	Equipamentos .....	39
4.2.2	Metodologia de ensaio .....	40
4.3	Análise comparativa das normas NP-83: 1965 e EN ISO 17892-3: 2015 .....	41
4.3.1	Equipamentos .....	42
4.3.2	Metodologia de ensaio .....	43
4.4	Apresentação de resultados .....	44
4.5	Análise e discussão dos resultados obtidos .....	47
CAPÍTULO 5	Análise granulométrica .....	49
5.1	Método de peneiração de acordo com a E 239: 1970 .....	49
5.1.1	Equipamentos .....	49
5.1.2	Metodologia de ensaio .....	50
5.2	Método de sedimentação de acordo com a E 196: 1966 .....	51

5.2.1	Equipamentos.....	52
5.2.2	Metodologia de ensaio.....	52
5.3	Método de peneiração de acordo com a EN ISO 17892-4: 2016.....	56
5.3.1	Equipamentos.....	56
5.3.2	Metodologia de ensaio.....	56
5.4	Método de sedimentação de acordo com a EN ISO 17892-4: 2016.....	58
5.4.1	Equipamentos.....	59
5.4.2	Metodologia de ensaio.....	59
5.5	Análise comparativa.....	62
5.5.1	Equipamentos.....	62
5.5.2	Metodologia de ensaio.....	68
5.6	Apresentação de resultados.....	71
5.7	Análise e discussão dos resultados obtidos.....	79
CAPÍTULO 6	Limites de consistência.....	85
6.1	Determinação do limite de liquidez de acordo com a NP-143: 1969.....	85
6.1.1	Equipamentos.....	85
6.1.2	Metodologia de ensaio.....	86
6.2	Determinação do limite de plasticidade de acordo com a NP-143: 1969.....	87
6.2.1	Equipamentos.....	87
6.2.2	Metodologia de ensaio.....	87
6.3	Determinação do limite de liquidez de acordo com a ISO 17892-12: 2018.....	88
6.3.1	Equipamentos.....	88
6.3.2	Metodologia de ensaio.....	88
6.4	Determinação do limite de plasticidade de acordo com a ISO/FDIS 17892-12: 2018.....	92
6.4.1	Equipamentos.....	92
6.4.2	Metodologia de ensaio.....	92
6.5	Análise comparativa.....	93

## ÍNDICE DE TEXTO

6.5.1	Equipamentos .....	93
6.5.2	Metodologia de ensaio .....	95
6.6	Apresentação de resultados .....	97
6.7	Análise e discussão dos resultados obtidos .....	107
CAPÍTULO 7	Considerações Finais .....	111
7.1	Conclusões .....	111
7.2	Desenvolvimentos Futuros .....	113
	Referências Bibliográficas.....	115
	Anexos I – Folhas de registo do teor em água.....	117
	Anexo II – Folhas de registo da densidade/massa volúmica das partículas.....	119
	Anexo III – Folhas de registo da análise granulométrica .....	123
	Anexo IV – Folhas de registo dos limites de consistência .....	151
	Anexo V – Dimensões e caraterísticas da concha de Casagrande e dos riscadores segundo NP-143: 1966 e ISO/FDIS 17892-12:2018.....	167
	Anexo VI - Dimensões e caraterísticas do cone de penetração .....	171

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1 – Organograma do laboratório LGMC. ....	5
Figura 2.1 – Diferentes níveis de normalização. [4] .....	11
Figura 2.2 – Processo de elaboração de normas. [4] .....	12
Figura 2.3 – Estrutura nacional de normalização. [4].....	14
Figura 2.4 – Normas implementadas a nível nacional até ao ano 2017. [5] .....	15
Figura 2.5 – Diferentes fases constituintes do solo e suas grandezas básicas. Adaptado de [10].....	17
Figura 2.6 – Materiais em estudo.....	18
Figura 2.7 – Gráfico para representação da curva granulométrica dos solos. [10] .....	21
Figura 2.8 – Comportamentos do solo em função do teor em água. ....	22
Figura 3.1 – Principais equipamentos utilizados para os ensaios do teor em água.....	32
Figura 4.1 – Principais equipamentos utilizados para o ensaio da densidade e massa volúmica das partículas.....	43
Figura 5.1 – Principais equipamentos utilizados no ensaio da análise granulométrica por peneiração. ..	65
Figura 5.2 - Principais equipamentos utilizados no ensaio da análise granulométrica por sedimentação. .....	68
Figura 5.3 - Material retido nos peneiros de abertura 20 mm a 0,063 mm. ....	77
Figura 6.1 – Faixas de penetração do cone no teste do limite de liquidez. [23].....	90
Figura 6.2 - Equipamento e execução do ensaio do limite de liquidez para o Solo 1. ....	99
Figura 6.3 - Equipamentos e execução do ensaio dos limites de liquidez para o Solo 2. ....	101
Figura 6.4 - Equipamento e execução do ensaio do limite de liquidez para o Solo 1. ....	103
Figura 6.5 - Equipamento e execução do ensaio do limite de liquidez para o Solo 2. ....	104
Figura 6.6 - Equipamento e execução do ensaio do limite de plasticidade para o Solo 1. ....	106

*ÍNDICE DE FIGURAS*

Figura 6.7 - Pormenores da execução do ensaio para determinação dos limites de plasticidade do Solo 2.  
..... 106

## ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 2.1 – Designação das partículas do solo em função das suas dimensões segundo AASHTO. [12].	20
Tabela 2.2 – Classificação unificada dos solos. [14]	25
Tabela 2.3 – Características do material para leito do pavimento. [14]	26
Tabela 3.1 - Valor da divisão da escala da balança conforme a massa do provete. [15]	27
Tabela 3.2 – Massa mínima do provete de ensaio. [16]	29
Tabela 3.3 – Equipamentos utilizados e investimentos a realizar.	31
Tabela 3.4 - Resultados obtidos durante o ensaio pela NP-84: 1965.	33
Tabela 3.5 - Resultados obtidos durante o ensaio pela EN ISO 17892-1: 2014.	33
Tabela 3.6 - Resumo e média dos resultados obtidos para a determinação do teor em água.	34
Tabela 3.7 - Resultados obtidos no teste de repetibilidade pelas normas estudadas.	34
Tabela 4.1 – Equipamentos utilizados e investimentos a realizar.	42
Tabela 4.2 – Resultados obtidos pela NP-83: 1965 para provetes com secagem prévia.	45
Tabela 4.3 - Resultados obtidos pela NP-83: 1965 para provetes sem secagem prévia.	45
Tabela 4.4 - Resultados obtidos pela EN ISO 17892-3: 2015 para provetes secos.	46
Tabela 4.5 - Resultados obtidos pela EN ISO 17892-3: 2015 para provetes húmidos.	46
Tabela 4.6 - Resumo e média dos resultados obtidos para provetes com secagem prévia.	47
Tabela 4.7 - Resumo e média dos resultados obtidos para provetes sem secagem prévia.	47
Tabela 4.8 - Resultados obtidos no teste de repetibilidade pelas normas para provetes secos em estufa. .....	48
Tabela 4.9 - Resultados obtidos no teste de repetibilidade pelas normas para provetes húmidos.	48
Tabela 5.1 - Massa mínima da fração retida no peneiro de 2,00 mm. [20]	50
Tabela 5.2 - Correção ( $C_T$ ) da temperatura (T) para densímetros calibrados a 20 °C. [21]	55

## ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 5.3 - Massas mínimas recomendadas para peneiração. [22] .....	56
Tabela 5.4 - Massa máxima retida em cada peneiro. [22] .....	58
Tabela 5.5 – Peneiros utilizados e investimentos a realizar.....	63
Tabela 5.6 – Equipamentos utilizados e investimentos a realizar.....	64
Tabela 5.7 – Equipamentos utilizados e investimentos a realizar.....	66
Tabela 5.8 – Massas dos provetes para o ensaio de peneiração húmida.....	71
Tabela 5.9 - Resultados obtidos durante o ensaio da análise granulométrica segundo a E 239: 1970. ....	72
Tabela 5.10 - Massas dos provetes utilizados nos ensaios.....	73
Tabela 5.11 - Resultados obtidos durante o ensaio da análise granulométrica segundo a E 196: 1966. ...	74
Tabela 5.12 - Massas dos provetes para o ensaio de peneiração.....	75
Tabela 5.13 - Resultados obtidos durante o ensaio de peneiração pela EN ISO 17892-4: 2016. ....	76
Tabela 5.14 – Massas dos provetes utilizados nos ensaios.....	77
Tabela 5.15 - Resultados obtidos durante o ensaio de peneiração e sedimentação pela EN ISO 17892-4: 2016.....	78
Tabela 5.16 – Valores médios dos acumulados passados obtidos nos ensaios. ....	80
Tabela 5.17 – Resultados obtidos no teste de repetibilidade para a E 239: 1970. ....	81
Tabela 5.18 - Resultados obtidos no teste de repetibilidade pela EN ISO 17892-4: 2016.....	82
Tabela 6.1 - Requisitos do cone de penetração. [23] .....	90
Tabela 6.2 - Requisitos do teste de Casagrande. [23] .....	91
Tabela 6.3 – Equipamentos utilizados e investimentos a realizar.....	94
Tabela 6.4 – Equipamentos utilizados e investimentos a realizar.....	95
Tabela 6.5 - Resultados obtidos durante o ensaio do limite de liquidez pela NP – 143: 1969. ....	97
Tabela 6.6 - Resultados obtidos durante o ensaio do limite de plasticidade pela NP – 143: 1969. ....	98
Tabela 6.7 – Dados da amostra do Solo 1. ....	99
Tabela 6.8 - Resultados obtidos durante o ensaio do limite de liquidez pela ISO/FDIS 17892 – 12: 2018. .....	100
Tabela 6.9 – Resultados das validações para o método da concha de Casagrande.....	102

Tabela 6.10 - Resultados obtidos durante o ensaio do limite de liquidez pela ISO/FDIS 17892 – 12: 2018. .....	103
Tabela 6.11 - Resultados obtidos durante o ensaio do limite de liquidez pela ISO/FDIS 17892 – 12: 2018. .....	103
Tabela 6.12 – Resultado das validações para o método do cone. ....	105
Tabela 6.13 - Resultados obtidos para o ensaio do limite de plasticidade pela ISO/FDIS 17892-12:2018. .....	106
Tabela 6.14 – Resultado das validações para o limite de plasticidade. ....	107
Tabela 6.15 - Resumo e média dos resultados obtidos para a determinação dos limites de consistência .....	107
Tabela 6.16 - Resultados obtidos no teste de repetibilidade pela NP-143: 1969 e ISO/FDIS 17892-12: 2018 para o limite de liquidez. ....	108
Tabela 6.17 - Resultados obtidos no teste de repetibilidade pela NP-143: 1969 e ISO/FDIS 17892-12: 2018 para o limite de plasticidade. ....	109



## ABREVIATURAS

AASHTO – “American Association of State Highway and Transportation Officials”

AICCOPN – Associação dos Industriais da Construção Civil e Obras Públicas

ASTM – “American Society for Testing and Materials”

CBR – “California Bearing Ratio”

CEN – Comité Europeu de Normalização

CEP – Comissão Eletrotécnica Portuguesa

CICCOPN – Centro de Formação Profissional da Indústria da Construção Civil e Obras Públicas do Norte

CT – Comissões Técnicas

$C_c$  – Coeficiente de curvatura

$C_u$  – Coeficiente de uniformidade

DIS – Projeto de Norma Internacional (ou “Draft International Standard”)

$D_{m\acute{a}x}$  – Diâmetro máximo das partículas

$D_{10}$  – Diâmetro da partícula a que corresponde 10 % de passados

$D_{30}$  – Diâmetro da partícula a que corresponde 30 % de passados

$D_{60}$  – Diâmetro da partícula a que corresponde 60 % de passados

E – Especificação LNEC

EN – Norma Europeia

FDIS – Projeto Final de Norma Internacional (ou “Final Draft International Standard”)

GT – Grupo de Trabalho

$G_s$  – Densidade das partículas sólidas

IEC – Comissão Eletrotécnica Internacional

IEFP – Instituto do Emprego e Formação Profissional

## ABREVIATURAS

IEP – Instituto Eletrotécnico Português

IP – Infraestruturas de Portugal

IPAC – Instituto Português de Acreditação

ISO – Organização Internacional de Normalização (“International Standard Organization”)

ISO/DIS – Projeto de Norma Internacional

ISO/FDIS – Projeto Final de Norma Internacional

ISO/PAS – Especificação Disponível Publicamente da ISO

ISO/R – Recomendação da ISO

ISO/TC – Comissão Técnica da ISO

ISO/TC/SC – Subcomités Técnicos da ISO

ISO/TS – Especificação Técnica da ISO

ISO/TR – Relatório Técnico da ISO

IPQ – Instituto Português da Qualidade

$I_p$  – Índice de plasticidade

IWA – Acordo técnico

LGMC – Laboratório de Geotecnia e Materiais de Construção

LL – Limite de liquidez

LNEC – Laboratório Nacional de Engenharia Civil

LP – Limite de plasticidade

LR – Limite de retração

$m_{min}$  – Massa mínima

NP – Norma Portuguesa

NP EN – Norma Portuguesa de Norma Europeia

NP EN ISO – Norma Portuguesa de Norma Europeia de Norma ISO

ONN – Organismo Nacional de Normalização

ONS – Organismos de Normalização Setorial

PAS – Especificação disponível publicamente

prEN – Projeto de normas europeias

PIA – Parte inferior do aterro

PSA – Parte superior do aterro

SC – Subcomissões

TC – Especificação técnica

TR – Relatório técnico

V – Volume total

$V_a$  - Volume de ar

$V_s$  - Volume de partículas sólidas

$V_v$  - Volume de vazios

$V_w$  - Volume de água

w – Teor em água

W – Peso total

$W_a$  - Peso de ar

$W_s$  - Peso das partículas sólidas

$W_w$  - Peso da água



# CAPÍTULO 1

## INTRODUÇÃO

### 1.1 ENQUADRAMENTO GERAL

Nas últimas décadas, principalmente após a 2ª Guerra Mundial o crescimento populacional tem decorrido a um ritmo acelerado. De acordo com dados da Organização das Nações Unidas, a população mundial era de 7,6 bilhões em 2017 e deverá atingir 8,6 bilhões em 2030 e 9,8 bilhões em 2050, sendo que mais de 50 % deste crescimento global deve ocorrer em África [1]. Tamanho crescimento, principalmente nos países em desenvolvimento, gera uma imensidão de oportunidades e desafios, mas também uma enorme responsabilidade. O desenvolvimento tecnológico das obras de engenharia civil e as preocupações crescentes em termos ambientais, com a necessidade de reutilização dos solos com fracas características, colocam desafios crescentes no conhecimento do comportamento dos solos como material de construção.

Torna-se assim importante o estudo das características e do comportamento dos solos em duas grandes áreas:

- A primeira incide nos projetos e obras de engenharia onde o terreno constitui o suporte, o material de escavação ou de construção. Aqui incluem-se as principais obras de infraestruturas, edificações, obras hidráulicas, marítimas, explorações mineiras, centrais de energia, entre outras. O estudo dos solos nestas atividades é fundamental para a segurança e economia;
- A segunda área refere-se à prevenção e controlo dos riscos geológicos, assim como os impactos ambientais de obras públicas, atividades industriais, mineiras e urbanas. [2]

Quando o solo é o próprio material de construção, pode ser utilizado, entre outras aplicações, em aterros rodoviários, bases para pavimentos e barragens de terra ou mistas, onde se torna o principal material de construção utilizado. É também intervencionado em inúmeras escavações necessárias à implantação das obras de engenharia e mineiras.

Nestes casos, como se trata de um material de construção é fundamental conhecer as suas características físicas e mecânicas, evitando assim trabalhar com um material desconhecido. As características básicas dos solos, tais como teor em água, granulometria, limites de consistência e densidade das partículas, devem

ser sempre determinadas. Com base no seu conhecimento é possível classificar o solo e verificar a sua aptidão para a construção. Para além destas características, também é de extrema importância avaliar outras propriedades tais como, permeabilidade, compressibilidade, deformabilidade, resistência e capacidade de carga, função do tipo de aplicação prevista.

Em função do tamanho dos grãos que compõem os solos, a mecânica dos solos divide os solos em três grupos básicos:

- Solos arenosos: compostos por grãos com maiores dimensões e facilmente visíveis a olho nu. Quando misturados com água não se formam agregados contínuos, mas separam-se dela com facilidade;
- Solos siltosos: melhor capacidade para reter a água comparativamente aos solos arenosos;
- Solos argilosos: compostos por partículas extremamente pequenos e invisíveis a olho nu. Estes solos apresentam uma grande capacidade para reter a água o que os torna, geralmente, nos materiais mais problemáticos. [2]

Na natureza é usual ocorrerem misturas diversas das diferentes frações granulométricas, sendo a granulometria dos solos um dos fatores que mais condiciona o seu comportamento. Os solos mais finos são, usualmente, mais compressíveis, menos resistentes e apresentam razoável a fraca trabalhabilidade. No entanto, principalmente no caso dos solos finos, estas características são também muito condicionadas pela plasticidade dos materiais.

### 1.2 ÂMBITO

O presente relatório foi desenvolvido no âmbito da unidade curricular de DIPRE (Dissertação/Projeto/Estágio), do 2º semestre do 2º ano do Mestrado em Engenharia Civil, ramo de Infraestruturas, do Instituto Superior de Engenharia do Porto.

O tema intitulado “Caraterização Laboratorial de Solos – Nova normalização” surgiu porque, a normalização utilizada em Portugal na caraterização geotécnica de solos tem várias décadas e, em muitos casos, pode considerar-se desatualizada. Nos últimos anos tem sido elaborado e implementado um conjunto de normas europeias que, muito brevemente, passarão a ter carácter obrigatório em Portugal. Estas normas refletem os avanços do conhecimento científico e apresentam mais rigor, nomeadamente, em termos metrológicos. Deste modo, os laboratórios serão obrigados a se adaptarem à nova legislação adquirindo novos equipamentos e definindo novas metodologias para a implementação das novas normas. Após várias décadas de utilização das normas antigas é importante avaliar as principais diferenças entre os ensaios realizados pelas duas normalizações e perceber os impactos que a nova normalização

européia de caracterização de solos terá nos procedimentos laboratoriais há muito estabelecidos e implementados e, ainda, nos cadernos de encargos das obras geotécnicas em Portugal.

Neste documento são apresentadas uma síntese bibliográfica dos principais aspetos normativos aplicáveis ao tema em estudo, as metodologias de ensaio, os resultados e todas as outras atividades realizadas no Laboratório de Geotecnia e Materiais de Construção (LGMC) do CICCOPN, Centro de Formação Profissional da Indústria da Construção Civil e Obras Públicas do Norte. Serão também interpretados e discutidos os resultados obtidos no trabalho experimental e apresentadas as principais conclusões.

### **1.3 ORGANIZAÇÃO DO RELATÓRIO**

O presente documento encontra-se dividido em sete capítulos onde se relata o trabalho desenvolvido ao longo do estágio curricular, se faz a interpretação dos resultados obtidos e finalmente, se apresentam algumas conclusões. Seguidamente, é apresentada uma descrição sumária de cada um dos capítulos.

Capítulo 1: Introdução – No primeiro capítulo desenvolve-se o enquadramento geral do trabalho realizado, o âmbito do estágio, a apresentação da empresa onde decorreu o estágio e a estrutura do relatório.

Capítulo 2: Estado da Arte – Este capítulo é dedicado ao estado da arte, baseia-se na pesquisa bibliográfica realizada e compreende o enquadramento normativo, a explicação da importância da normalização e dos órgãos responsáveis pela elaboração das normas. Neste capítulo, são, ainda, apresentados os solos como material geológico fundamental às diferentes atividades desenvolvidas pelo Homem, os solos utilizados nos ensaios laboratoriais realizados no decurso do estágio e, também, uma breve introdução às propriedades físicas dos solos e aos ensaios a realizar para a sua determinação, designadamente, teor em água, densidade/massa volúmica das partículas, análise granulométrica e limites de Atterberg. Por fim, é feita uma abordagem à importância dos cadernos de encargos disponíveis e ao modo como abordam e usam os parâmetros de caracterização dos solos.

Capítulo 3: Teor em água – Este capítulo é dedicado à apresentação dos procedimentos de ensaios laboratoriais realizados para determinação do teor em água, com base nas normas antigas e recentes. Nele é feita uma comparação dos equipamentos e metodologias de ensaios preconizadas pelas normas estudadas. Neste capítulo apresentam-se, igualmente, os resultados obtidos nos ensaios realizados e faz-se a discussão e análise dos mesmos.

Capítulo 4: Densidade / Massa volúmica das partículas – O capítulo 4 é dedicado à apresentação dos procedimentos dos ensaios laboratoriais realizados para determinar a densidade/massa volúmica das partículas, com base nas normas antigas e recentes. Nele é feita uma comparação dos equipamentos e

## CAPÍTULO 1

metodologias de ensaios. São também apresentados os resultados obtidos nos ensaios, a discussão e análise dos mesmos.

Capítulo 5: Análise granulométrica – Este capítulo é dedicado à apresentação dos procedimentos dos ensaios laboratoriais realizados para a determinação da análise granulométrica, com base nas normas antigas e recentes. É feita uma comparação de equipamentos e metodologias de ensaio entre as normas mencionadas e são apresentados os resultados obtidos nos ensaios, sua análise e discussão.

Capítulo 6: Limites de consistência – O capítulo 6 é dedicado à apresentação dos procedimentos dos ensaios laboratoriais realizados para a determinação dos limites de liquidez e de plasticidade, com base nas normas antigas e recentes. Nele é feita uma comparação dos equipamentos e metodologias de ensaios. São, também, apresentados os resultados obtidos nos ensaios, a discussão e análise dos mesmos.

Capítulo 7: Conclusões – No último capítulo, são apresentadas as conclusões obtidas ao longo do estágio curricular bem como algumas sugestões para desenvolvimentos futuros.

No final do relatório é ainda apresentada a bibliografia utilizada na elaboração deste documento bem como seis anexos que complementam o descritivo deste trabalho.

### **1.4 APRESENTAÇÃO DA EMPRESA**

O estágio curricular foi desenvolvido no LGMC - Laboratório de Geotecnia e Materiais de Construção do CICCOPN, Centro de Formação Profissional da Indústria da Construção Civil e Obras Públicas do Norte, localizado na Rua de Espinhosa, 4475-699 Avioso S. Pedro, Maia.

O CICCOPN foi fundado em 24 de julho de 1981 por acordo entre o Fundo de Desenvolvimento da Mão-de-Obra (atual IEFP – Instituto do Emprego e Formação Profissional) e a AICCOPN, Associação dos Industriais da Construção Civil e Obras Públicas. [3]

O objetivo do CICCOPN é a formação profissional para a valorização dos recursos humanos do setor da Construção Civil e Obras Públicas, desenvolvendo ações de formação que se adaptam às constantes mudanças técnicas e económicas, como na qualificação de pessoal e no apoio ao desenvolvimento e modernização das Pequenas e Médias Empresas do setor. As ações de formação abrangem as seguintes áreas:

- Qualificação inicial, orientada a jovens à procura do primeiro emprego;
- Formação contínua, presencial e à distância, dirigida à população de ativos;
- Formação contínua de formadores;
- Formação para desempregados. [3]

O Laboratório de Geotecnia e Materiais de Construção é um laboratório acreditado desde 1994 pelo IPAC, Instituto Português de Acreditação, para 50 ensaios nas diversas áreas da sua atividade. Este laboratório presta serviços relevantes ao setor e estabelece uma ligação direta às empresas de construção e outras entidades.

O LGMC é dotado de um grupo de trabalho com elevada capacidade técnica para a realização de ensaios de laboratório e de campo. Os colaboradores do LGMC possuem vasta experiência e conhecimento dentro das áreas respetivas e compreendem o funcionamento de setores próximos, assegurando uma agradável integração entre especialidades. Este laboratório desenvolve a sua atividade laboratorial nos seguintes setores e áreas [3]:

- Materiais de Construção;
- Solos (Geotecnia de Fundações e Geotecnia Rodoviária);
- Produtos Betuminosos;
- Sondagens e Prospeção;
- Química;
- Patologia dos Materiais;
- Pedra Natural.

#### 1.4.1 Organograma

Na Figura 1.1 é apresentado o organograma do laboratório LGMC inserido na empresa CICCOPN, onde foi realizado o estágio curricular.

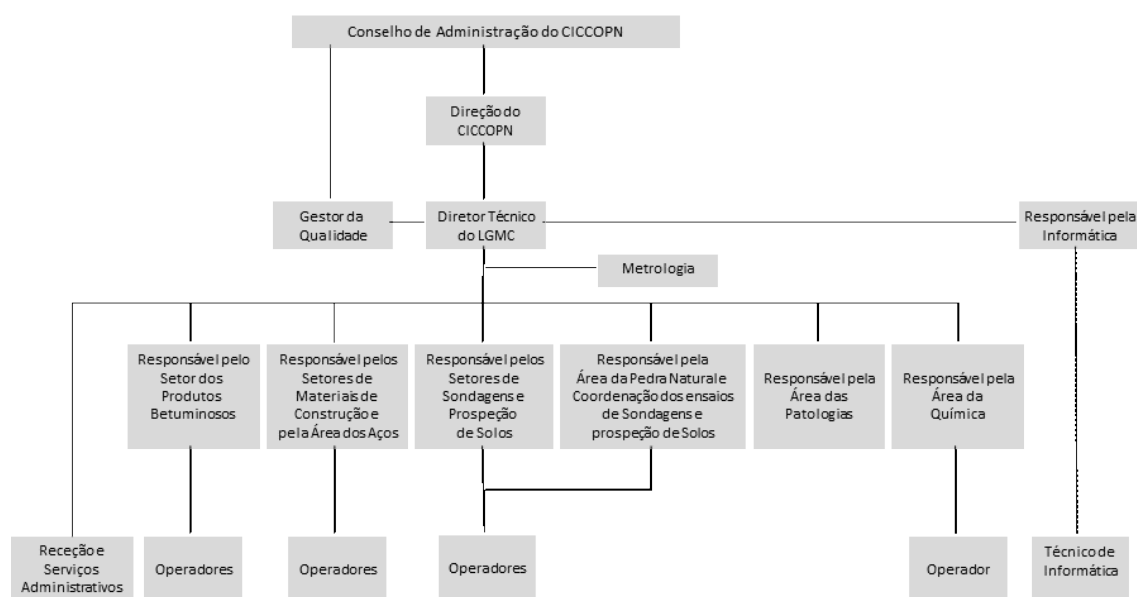


Figura 1.1 – Organograma do laboratório LGMC.



# CAPÍTULO 2

## ESTADO DA ARTE

### 2.1 INTRODUÇÃO

O conceito de normalização remonta à história da civilização. A primeira necessidade foi a da comunicação oral padronizando determinados sons e comportamentos sociais. À medida que a civilização evoluía, a necessidade de padronização aumentava. Com a revolução industrial do século XIX e com a industrialização verificada nos Estados Unidos da América, no início do século XX, surgiu a necessidade de estender a normalização aos níveis industrial e nacional com o surgimento da máquina a vapor. Com o avançar dos tempos e com as dificuldades sentidas nas comunicações durante a segunda guerra mundial, houve a necessidade de expandir a normalização a um nível internacional. Servem de exemplo, algumas das mais importantes etapas do processo de normalização [4]:

- Construção de pirâmides com blocos de pedra de dimensões unificadas, no Egito, por volta de 2500 a.C.;
- Utilização em aquedutos de tijolos e tubos de dimensões normalizadas, em Roma (séc. I a.C.);
- Elaboração de normas relativas à construção de veículos sobre carris, pelas Administrações Ferroviárias, e de segurança em navios, pelas Sociedades de Seguros, no séc. XIX;
- Fundação da Associação dos Engenheiros Alemães, em 1856, entidade responsável pela publicação da primeira recomendação sobre caldeiras e máquinas a vapor, em 1884;
- Criação da Comissão Eletrotécnica Internacional (IEC), para o desenvolvimento da atividade normativa internacional no domínio eletrotécnico, em Londres, em 1906, atualmente com sede em Genebra;
- Criação da Comissão Eletrotécnica Portuguesa (CEP), em 1929, antecessora do atual Instituto Eletrotécnico Português (IEP), constituído em 1981;
- Criação da Organização Internacional de Normalização (ISO), em 1947, com sede em Genebra;
- Criação do Comité Europeu de Normalização (CEN), em 1961, com o objetivo de permitir a elaboração de normas europeias.

Os solos desempenham um papel essencial no nosso planeta e na vida das populações. No âmbito das obras de engenharia civil os solos são frequentemente utilizados não só como material de construção, mas também como terreno recetor das solicitações. Na maioria destas situações é indispensável caracterizar os solos pelo que, também nesta área científico-tecnológica, foi necessário definir procedimentos/normas onde se estabelecessem os métodos e técnicas necessárias. A normalização ao nível dos procedimentos laboratoriais para a caracterização de solos surgiu há várias décadas e é de uso comum e repetido em todo o mundo. Existem vários sistemas de normalização que formulam, emitem e implementam o uso de procedimentos técnicos normalizados. Em Portugal, tanto o Laboratório Nacional de Engenharia Civil (LNEC) como o Instituto Português da Qualidade (IPQ) publicaram, no último meio século, uma vasta lista de normas e/ou especificações técnicas a utilizar na caracterização laboratorial de solos.

## 2.2 NORMALIZAÇÃO

De acordo com a NP EN 45020: 2009, “A **Normalização** é a atividade destinada a estabelecer, face a problemas reais ou potenciais, disposições para utilização comum e repetida, tendo em vista a obtenção do grau ótimo de ordem, num determinado contexto. Consiste, de um modo particular, na formulação, edição e implementação de Normas.”

A normalização obedece a seis princípios, sendo eles:

- **Voluntariedade:** Implica a cooperação voluntária de todos os representantes;
- **Representatividade:** Determina a consideração e representação de todas as partes interessadas (produtores, consumidores e entidades oficiais);
- **Transparência:** A todas as partes interessadas devem ser disponibilizadas, a qualquer tempo, as informações relativas ao controle, atividades e decisões sobre o processo de desenvolvimento de normas técnicas;
- **Paridade:** Equilíbrio das diferentes opiniões no processo de elaboração de normas;
- **Simplificação:** O processo de normalização deve ter regras e procedimentos simples e acessíveis, que garantam a coerência, a rapidez e a qualidade no desenvolvimento e implementação das normas;
- **Consenso:** Obriga a uma busca permanente de acordos coletivos nas decisões (que não significa unanimidade), isto é, na aceitação geral ou na ausência de firme oposição de um número significativo de partes interessadas quanto ao essencial de uma dada matéria. [5]

A NP EN 45020: 2009 define “**Norma** é um documento, estabelecido por consenso e aprovado por um organismo reconhecido, que define regras, linhas de orientação ou características para atividades ou seus resultados, destinadas à utilização comum e repetida, visando atingir um grau ótimo de ordem, num dado contexto. As normas deverão ser fundamentadas em conhecimentos da ciência, da técnica e da experiência, visando a otimização de benefícios para a comunidade, no respetivo contexto específico da sua aplicação.”

Segundo o Instituto Português da Qualidade (IPQ), as normas são documentos técnicos que fornecem regras, orientações ou características para produtos ou serviços. Estas normas são estabelecidas por consenso e aprovadas por um organismo de normalização reconhecido. Baseiam-se em resultados comprovados, científicos, técnicos ou experimentais. Pela sua natureza, uma norma é um documento de aplicação voluntária e tem como objetivo atingir um grau ótimo de ordem num determinado contexto [5].

Outra definição possível para norma poderá ser a existente no dicionário *online* de português que designa como “princípio que serve de regra, de lei; modelo, exemplo a ser seguido; padrão; aquilo que determina um comportamento, conduta, ação; reunião das regras determinadas sobre o que deve, ou não, ser utilizado numa língua”[6].

Assim, podemos afirmar que as normas destinam-se à otimização dos benefícios para a comunidade devido à sua função de orientação no mercado e têm um papel relevante nas relações industriais e comerciais.

Embora a aplicação das normas seja voluntária, estas tornam-se de cumprimento obrigatório se forem referidas em diploma legal, num contrato ou em normas de facto.

O estabelecimento das normas permite que a normalização procure a definição, a unificação e a simplificação, de forma racional, quer dos produtos acabados, quer dos elementos que se empregam para os produzir, ou seja, é uma forma de organizar as atividades pela criação e utilização de regras e normas.

Da atividade normativa, podem resultar várias vantagens e benefícios da sua utilização, como:

- Garantir a segurança dos produtos, equipamentos e sistemas;
- Diminuição de erros;
- Redução de custos;
- Permitir aos fabricantes o cumprimento da legislação europeia e nacional;
- Assegurar a compatibilidade e interoperabilidade;
- Refletir a investigação, o desenvolvimento e a inovação;
- Promover o entendimento técnico comum;

- Facilitar os atos contratuais;
- Facilitar a entrada em novos mercados.

Para garantir que um produto, processo ou serviço cumpre com os requisitos que lhe são aplicáveis são necessárias atividades de avaliação de conformidade. Esta avaliação pode ser legalmente exigida quando relacionada com a segurança do produto ou serviço e pode também ser uma exigência contratual ou uma garantia de que um dado produto ou serviço se adequa ao uso pretendido. Estas atividades de avaliação são desenvolvidas por entidades acreditadas em termos nacionais e/ou internacionais.

As entidades acreditadas avaliam e reconhecem a competência técnica de entidades para efetuarem atividades específicas de avaliação da conformidade, por exemplo, ensaios, calibrações, certificações e inspeções. Esta atividade de acreditação é realizada pelo Instituto Português de Acreditação, I.P. (IPAC), criado em 2004, sendo ele o organismo nacional de acreditação.

Para realizar as suas atividades de acreditação, o IPAC possui várias comissões técnicas que interatuam com as partes interessadas, envolvendo auditores e peritos externos. Possui, ainda, uma comissão consultiva que representa as partes interessadas na atividade de acreditação, supervisiona a imparcialidade da sua atuação e gere eventuais recursos sobre as decisões de acreditação.

A acreditação é demonstrada através de um certificado de acreditação onde é descrito o âmbito da acreditação, bem como os documentos de referência que a entidade utiliza nas atividades de calibração, ensaio, certificação ou inspeção. A acreditação não é obrigatória. No entanto, para o exercício de algumas atividades em determinadas áreas, o enquadramento legislativo pode tornar a acreditação uma condição necessária.

### **2.3 DOCUMENTOS DE REFERÊNCIA**

As normas europeias (EN) são elaboradas por comissões técnicas em três versões principais (inglês, francês e alemão).

As normas noutras línguas são obtidas pela tradução sob responsabilidade de um membro do CEN para a sua língua nacional, e são notificadas ao secretariado central. As normas noutras línguas que não o inglês, francês e alemão, têm o mesmo estatuto que as versões oficiais.

Os membros do CEN são os organismos nacionais de normalização dos seguintes países: Alemanha, Áustria, Bélgica, Bulgária, Chipre, Croácia, Dinamarca, Eslováquia, Eslovénia, Espanha, Estónia, Finlândia, França, Grécia, Hungria, Irlanda, Islândia, Itália, Letónia, Lituânia, Luxemburgo, Malta, Noruega, Países Baixos, Polónia, Portugal, Reino Unido, República Checa, Roménia, Suécia e Suíça.

No que diz respeito à caracterização de solos, estes organismos nacionais são responsáveis pela elaboração de (Figura 2.1):

- Normas internacionais: normas adotadas por uma organização internacional de normalização, ou, em certos casos, especificação técnica adotada por um organismo internacional com funções de normalização (exemplo: normas ISO);
- Normas regionais: normas adotadas por uma organização regional de normalização, ou, em certos casos, especificação técnica adotada por um organismo regional com funções de normalização (exemplo: normas EN);
- Normas nacionais: normas estabelecidas para todo um país, por um organismo nacional de normalização (exemplo: NP).

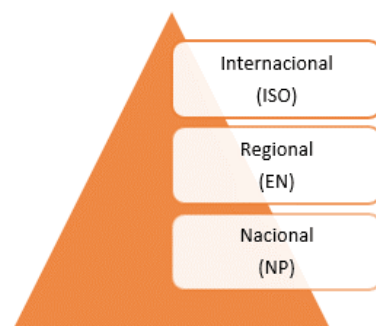


Figura 2.1 – Diferentes níveis de normalização. [4]

Atualmente, os trabalhos de normalização com interesse mundial são habitualmente desenvolvidos pela ISO e, quando o interesse é a nível europeu são acompanhados pelo CEN. Posteriormente, estas normas são adotadas como normas nacionais, pelos respetivos organismos nacionais de normalização (ONN).

### 2.3.1 Normalização internacional

A Organização Internacional de Normalização (ISO), tem carácter não-governamental e foi criada em 1947. É uma federação mundial de organismos nacionais de normalização de mais de 160 países sendo que cada país é representado por um organismo nacional. A ISO elabora normas desde janeiro de 1972, pois entre 1951 e 1972 os documentos normativos elaborados tinham apenas o estatuto de recomendações (ISO/R). O trabalho de elaboração das normas internacionais é entregue aos comités técnicos da ISO (ISO/TC) e aos seus subcomités (ISO/TC/SC). Cada organismo membro tem o direito de se fazer representar nesse comité quando interessado no assunto para o qual foi constituído esse comité. Participam também neste trabalho organizações internacionais, governamentais e não-governamentais, em cooperação com a ISO.

Os projetos de normas internacionais (ISO/DIS e ISO/FDIS) adotados pelos comités técnicos da ISO são submetidos a votação pelos organismos membros. Uma norma internacional só é publicada se na votação dos organismos membros obtiver pelo menos 75% de aprovação. [4]

A ISO publica normas e promove ainda a elaboração de outros documentos normativos:

- Especificação disponível publicamente (ISO/PAS);
- Especificação técnica (ISO/TS);
- Relatório técnico (ISO/TR);
- Acordo técnico (IWA).

O processo de desenvolvimento de uma norma compreende seis fases e é apresentada na Figura 2.2:

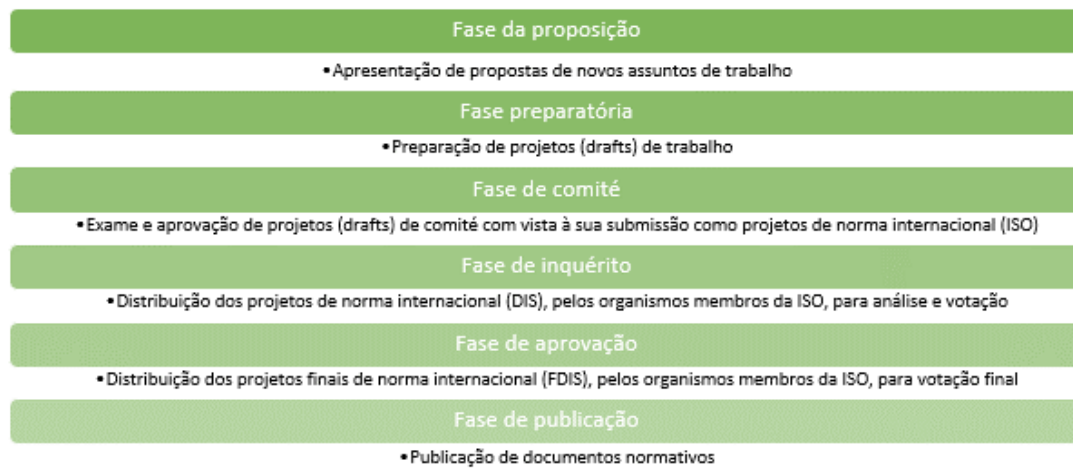


Figura 2.2 – Processo de elaboração de normas. [4]

O tempo médio de edição de uma norma é de três anos desde a primeira proposta até à publicação final. Durante o ciclo de vida de uma norma também são realizadas revisões, normalmente de cinco em cinco anos.

No processo de votações, que é a chave para o consenso, é possível surgirem novas propostas o que levará à revisão da norma e a possíveis comentários. Posteriormente decorrerá a votação final seguida da decisão se a norma é implementada ou retirada.

As publicações ISO são documentos comerciais e não podem ser copiados sem autorização explícita do gestor dos direitos de autor. No entanto, a ISO aceita o princípio de distribuição de publicações para fins de normalização.

### **2.3.2 Normalização europeia**

O Comité Europeu de Normalização (CEN), criado em 1961, é uma associação internacional de carácter científico e técnico, composta pelos organismos nacionais de normalização de trinta e quatro países europeus. Os membros do CEN são também membros da ISO. [7]

Em janeiro de 1986, com a entrada de Portugal na União Europeia, a normalização nacional passou a relacionar-se com a normalização europeia (CEN). Isto permitiu que o acervo normativo técnico nacional, nas últimas três décadas, tenha crescido devido à implementação de normas europeias publicadas como normas portuguesas. [8]

Geralmente, os trabalhos técnicos são realizados por comités técnicos (CEN/TC), sendo a publicação de normas EN antecedida pela elaboração de projetos de Norma Europeia (prEN).

O CEN apoia a atividade de normalização numa ampla gama de setores e produtos, incluindo, entre outros: produtos químicos, construção, energia, saúde e segurança, máquinas e transporte.

O papel do CEN na Europa é muito importante no que respeita ao desenvolvimento e consolidação do mercado único europeu tendo como objetivo fortalecer o desenvolvimento do comércio e da troca de serviços, contribuindo assim para a eliminação de entraves de natureza técnica. O reconhecimento das normas europeias tornou-se um padrão em todos os 34 países membros. Este grupo de países rege-se pelas mesmas normas o que facilita às empresas a venda aos clientes dos seus produtos e serviços.

### **2.3.3 Normalização nacional**

O Instituto Português da Qualidade (IPQ), criado em 1986, é o organismo nacional de normalização (ONN) em Portugal. Assegura a coordenação do subsistema da normalização e o seu objetivo é gerir o processo normativo. O IPQ realiza a edição de documentos normativos, a promoção das condições adequadas à participação das partes interessadas no desenvolvimento, manutenção, divulgação, distribuição e gestão do acervo normativo nacional.

O IPQ coordena os organismos de normalização setorial (ONS) e comissões técnicas de normalização (CT) que estão envolvidos na atividade normativa nacional. Enquanto ONN, o IPQ qualifica o organismo de normalização setorial, cria as comissões técnicas, promove a elaboração, a aprovação e a homologação dos documentos normativos portugueses e a adoção dos documentos normativos europeus. Na Figura 2.3 é apresentada a estrutura nacional de normalização.

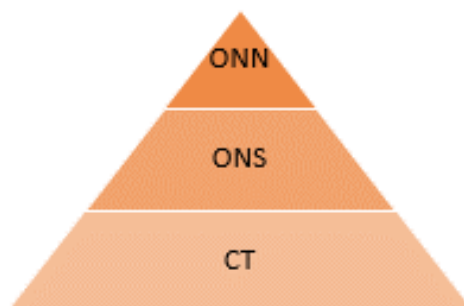


Figura 2.3 – Estrutura nacional de normalização. [4]

### Organismos de normalização setorial (ONS)

Os organismos de normalização setorial, que podem ser públicos, privados ou mistos, surgem como resultado das atividades normativas incidirem sobre diferentes domínios específicos, como: ambiente, área alimentar, área ferroviária, gestão da qualidade, construção naval, higiene e segurança no trabalho, manutenção industrial, entre outros.

Os ONS coordenam as comissões técnicas de normalização (CT) para o desempenho das suas funções, participam em reuniões europeias e internacionais, elaboram o plano e relatório de atividades do programa de normalização e divulgam as atividades normativas do seu setor, entre outros.

### Comissões técnicas portuguesas de normalização (CT)

As comissões técnicas portuguesas de normalização (CT) elaboram as normas portuguesas e emitem pareceres normativos em determinados domínios, a participação nestas comissões técnicas ocorre em regime de voluntariado. Estas comissões portuguesas acompanham os respetivos comités técnicos europeus (CEN) e internacionais (ISO).

As CT são identificadas por um número, título e âmbito de atividade. Podem ser permanentes ou terem uma duração limitada no tempo quando são criadas para realizarem trabalhos específicos. No caso dos solos, a comissão técnica correspondente é identificada por CT 156 SC 8. O “CT 156” corresponde à comissão técnica da Geotecnia em Engenharia Civil e o “SC 8” corresponde à subcomissão dos ensaios laboratoriais.

Dependendo do seu âmbito de atividade, as CT desenvolvem os seus trabalhos em reuniões entre as pessoas nomeadas como membros da CT e podem organizar-se em subcomissões (SC) e/ou grupos de trabalho (GT).

O IPQ possibilita que todas as entidades portuguesas participem nos trabalhos normativos em curso nas Organizações Europeias ou Internacionais quando assim manifestarem o seu interesse.

Internacionalmente, Portugal está representado na ISO desde 1949 e a nível europeu no CEN desde 1961 pelo IPQ e seus organismos antecessores.

O IPQ tem como obrigação, enquanto organismo nacional de normalização, a adoção das normas europeias tornando-as normas nacionais. As normas portuguesas, especificações técnicas, relatórios técnicos, guias, pré-normas e acordos técnicos, editados pelo IPQ, enquanto ONN, são documentos normativos que fazem parte do acervo normativo português. Este acervo normativo português é alvo de uma avaliação de cinco em cinco anos para garantir a sua atualização e coerência.

As normas portuguesas (NP) podem ser elaboradas pelas comissões técnicas ou através da adoção de normas europeias ou internacionais, com a elaboração das respetivas versões portuguesas (NP EN, NP EN ISO, NP ISO).

Enquanto membro da União Europeia, Portugal deve adotar as normas europeias (EN), elaboradas no CEN. As CT's ficam responsáveis pela elaboração de versões portuguesas que permitirão a edição destas normas como normas portuguesas com a designação de NP EN ou NP EN ISO. As normas com interesse mundial que tenham sido elaboradas pela ISO sem acompanhamento por parte do CEN devem, após a elaboração das versões portuguesas, ser adotadas pelo ONN como normas portuguesas, com a designação de NP ISO. Até ao ano 2017 o acervo normativo português era constituído por 27 420 normas (Figura 2.4).

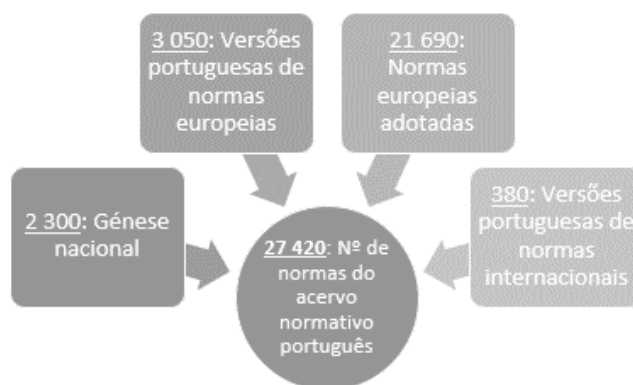


Figura 2.4 – Normas implementadas a nível nacional até ao ano 2017. [5]

### 2.3.4 Especificações LNEC

O Laboratório Nacional de Engenharia Civil (LNEC), criado em 1946, possui o estatuto de laboratório do estado e desenvolve investigação em todos os domínios da engenharia civil. Este laboratório atua internacionalmente desenvolvendo a sua atividade há mais de seis décadas em todos os continentes.

Em 1949 foi criada uma secção de normalização com o intuito de apoiar a elaboração das especificações LNEC. A primeira especificação LNEC, denominada “Vocabulário de Estradas e Aeródromos”, foi publicada em 1951, três anos antes da primeira norma portuguesa. [8]

Atualmente, o LNEC é um organismo de normalização setorial (ONS) assegurando a coordenação de comissões técnicas nacionais de normalização em várias áreas, entre elas a de geotecnia em engenharia civil.

As especificações LNEC tiveram uma grande influência e importância na normalização técnica nacional como prova o facto de cerca de metade das especificações existentes terem dado origem a normas portuguesas, por adaptação ou transposição de texto.

Como mencionado anteriormente, as normas portuguesas passaram a adotar normas europeias já publicadas e isto levou a que o LNEC não exercesse a sua atividade apenas na redação de especificações técnicas nacionais (normas portuguesas) mas que também contribuísse para o acompanhamento da elaboração das normas europeias, junto das comissões técnicas de normalização do CEN. Algumas das normas europeias foram elaboradas com matéria idêntica, na totalidade ou em parte, às especificações do LNEC o que levou à substituição dessas especificações pelas normas europeias idênticas, verificando-se, hoje em dia, a anulação de inúmeras especificações LNEC.

Ainda assim, a edição de especificações LNEC não deixará de existir, porque permitem divulgar ao meio técnico nacional da engenharia civil os conhecimentos adquiridos na investigação, particularmente quando relacionados com características dos materiais de construção e respetivos métodos de ensaio.

### **2.4 Os SOLOS**

O solo é um recurso natural precioso e não renovável à escala de tempo humana. Os solos encontram-se por todo o planeta e, entre outras funções, são suporte e/ou material de construção na grande maioria das obras de engenharia civil. O seu comportamento mecânico e hidráulico é extremamente relevante para a conceção, o projeto e a construção destas estruturas e o seu adequado uso deve contribuir para o desenvolvimento sustentável de cada região.

Os solos são misturas complexas e muito variadas, formadas a partir de materiais rochosos pré-existentes através da atuação na superfície da crosta terrestre de processos químicos, físicos e biológicos. Em função do litótipo da rocha mãe e do tipo e intensidades dos processos atuantes, formam-se diferentes tipos de solos com características mineralógicas, físicas, químicas e biológicas muito variadas. Quanto ao seu modo de formação, os solos são classificados em solos residuais e solos sedimentares. Os solos residuais são os solos que permaneceram no local de meteorização, no local de jazida da rocha mãe, pelo que os seus constituintes não sofreram transporte. Os solos sedimentares são aqueles que sofreram transporte, ou seja, os sedimentos foram removidos do seu local de origem pelos agentes de erosão e de transporte e posteriormente depositados, formando um depósito sedimentar.

Em Portugal Continental predominam os solos residuais resultantes da meteorização das rochas graníticas e das rochas xistosas e os solos sedimentares que se desenvolvem em ambientes fluviais ou marinhos recentes. [9]

Os solos são, genericamente, misturas trifásicas, constituídas por:

- Fase sólida – conjunto de partículas inorgânicas ou orgânicas, caracterizada pelo tamanho, forma, distribuição e composição mineralógica dos grãos;
- Fase líquida – geralmente água, que preenche parcial ou totalmente os vazios dos solos;
- Fase gasosa – constituída essencialmente por ar e vapor de água. Esta fase é mais compressível comparada com as fases líquida e sólida.

Esta característica multifásica dos solos dificulta em muito a compreensão do seu comportamento quando sujeito a diferentes solicitações externas, dependendo a resposta a estas solicitações da interação entre as diversas fases que compõem o solo.

O conhecimento das características das três fases mencionadas anteriormente permite determinar as grandezas necessárias à descrição do estado físico de um solo. Para a definição destas grandezas é necessário determinar os volumes das três fases ( $V_s$ ,  $V_w$  e  $V_a$ ), sendo o somatório das três fases dado pelo volume total ( $V$ ), e os seus pesos ( $W_s$ ,  $W_w$  e  $W_a$ ), em que o somatório dos três pesos é dado pelo peso total ( $W$ ), sendo que o peso da fase gasosa é considerado desprezável (Figura 2.5). A fase líquida e/ou a fase gasosa ocupam os vazios deixados pelas partículas sólidas definindo-se assim o volume de vazios ( $V_v$ ) pela soma destas duas fases.

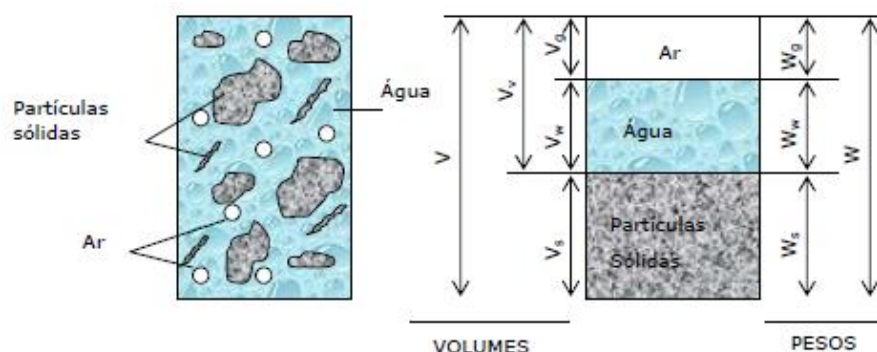


Figura 2.5 – Diferentes fases constituintes do solo e suas grandezas básicas. Adaptado de [10]

Quando os vazios estão preenchidos por ar, ou seja, não existe fase líquida, considera-se que o solo se encontra seco. Por outro lado, quando os vazios estão preenchidos totalmente por água o solo diz-se que está saturado.

As grandezas básicas que descrevem o estado físico dos solos são várias e encontram-se inter-relacionadas. Estas grandezas podem ser expressas como relações entre volumes, relações entre

## CAPÍTULO 2

pesos e relações entre pesos e volumes. De todas as existentes, este relatório foca apenas duas delas: o teor em água ( $w$ ) e a densidade das partículas sólidas ( $G_s$ ).

Para entender melhor o comportamento e a caracterização do solo é também fundamental determinar outras características que podem ser determinadas em laboratório através de ensaios de identificação, nomeadamente: a análise granulométrica (por peneiração e/ou sedimentação) e os limites de consistência.

Assim, a caracterização geotécnica de um solo é efetuada com recurso à execução de ensaios de identificação e ensaios de caracterização física e mecânica.

No presente trabalho foram estudados ensaios de identificação aplicados a dois solos, um residual e um sedimentar, designados por Solo 1 e Solo 2, respetivamente.

O Solo 1 é um solo residual granítico, vulgarmente designado por “saibro”. Este tipo de solo é normalmente constituído por areias e siltes, apresentando, por vezes, uma pequena percentagem de minerais de argila. Estes solos são, habitualmente, pouco plásticos ou não plásticos e, na sua maioria, são materiais excelentes a bons para utilização em aterros rodoviários. A amostra de solo utilizada nos ensaios realizados foi recolhida no distrito do Porto, concelho de Matosinhos, mais propriamente junto ao Norte Shopping, na Senhora da Hora.

O Solo 2 foi amostrado numa formação sedimentar formada por arenitos argilosos ou siltosos na localidade de Barrosa, concelho de Leiria. Trata-se de um solo fino, de cor acastanhada, rosada ou avermelhada que se considerou poder apresentar comportamento plástico.

Na Figura 2.6 são apresentados ambos os solos. Sobre o Solo 1 foram realizados ensaios para a determinação do teor em água, da densidade/massa volúmica das partículas, da composição granulométrica e dos limites de consistência. O Solo 2 foi exclusivamente utilizado na determinação dos limites de consistência.



a) Solo 1



b) Solo 2

Figura 2.6 – Materiais em estudo.

### 2.4.1 Teor em água

O teor em água dos solos, também conhecido como teor em humidade, é a relação, expressa em percentagem, entre a massa de água que se evapora do provete por secagem em estufa, a uma determinada temperatura, e a massa seca das partículas sólidas.

Quando se trata da determinação do teor em água natural, o ensaio deve ser efetuado o mais rápido possível aquando da receção das amostras para que estas não percam a sua humidade natural. Os valores obtidos durante os ensaios são registados nos boletins de ensaio elaborados para o efeito. Os procedimentos para a determinação do teor em água estão definidos na NP-84: 1965 e na EN ISO 17892-1: 2014.

O teor em água influencia várias características do solo, designadamente a sua resistência e compactação. Estes fatores podem influenciar a estabilidade e a trabalhabilidade do solo em obra e para evitar problemas futuros é necessário identificar e conhecer o teor em água do respetivo solo.

As variações do teor em água têm um efeito muito mais significativo em solos com elevados teores de finos, comparativamente com solos granulares. Na natureza, as variações do teor em água dependem de vários fatores, como os climatéricos, a profundidade de ocorrência e a posição do nível freático.

### 2.4.2 Densidade das partículas / Massa volúmica das partículas

A densidade das partículas de um solo define-se como o quociente entre a massa de um dado volume das partículas à temperatura de ensaio e a massa de igual volume de água destilada a 20°C. [11]

A determinação da densidade das partículas baseia-se na NP-83: 1965, que estabelece a avaliação da densidade das partículas do solo com dimensão inferior a 4,76 mm. Caso o solo seja também constituído por partículas superiores à dimensão citada a norma a utilizar será a NP-581: 1969 “Inertes para argamassas e betões. Determinação das massas volúmicas e da absorção de água das britas e godos” e deve separar-se a amostra em duas partes pelo peneiro de 4,76 mm de abertura (ASTM) e determinar a densidade de cada uma delas. A densidade do solo será dada pela média ponderada dos dois valores obtidos.

A massa volúmica das partículas é a massa seca das partículas sólidas a dividir pelo seu volume. Este ensaio é realizado segundo a norma EN ISO 17892-3: 2015 e compreende dois métodos:

- O método de medição de volume de líquido deslocado realizado com o picnómetro de líquido;
- O método de medição de volume de gás deslocado com auxílio do picnómetro de gás.

O picnómetro de líquido de 50 ml aplica-se a solos cuja dimensão das partículas é inferior a cerca de 4 mm. Caso haja solos com materiais mais grosseiros usam-se picnómetros maiores. A utilização do

picnómetro de gás está limitada à sua dimensão, o que por sua vez limita a dimensão das partículas a serem ensaiadas. Os provetes a serem ensaiados devem ser representativos do solo a ensaiar e podem ser ensaiados húmidos ou previamente secos em estufa.

Refira-se ainda que a densidade de um solo é numericamente igual à sua massa volúmica, sendo a grandeza apresentada sem unidades no primeiro caso e em megagramas por metro cúbico no caso da massa volúmica.

### 2.4.3 Análise granulométrica

A análise granulométrica é definida como a distribuição ponderal das partículas do solo de acordo com as suas dimensões. [10]

Este ensaio consiste na determinação dos diâmetros das partículas que compõem o solo e geralmente são utilizados dois métodos: ensaio de peneiração e ensaio de sedimentação. A escolha do método a utilizar depende do tamanho das partículas constituintes do solo. O ensaio de peneiração é realizado para partículas de dimensões superiores a 0,075 mm. Para partículas de dimensões inferiores a 0,075 mm usa-se, geralmente, o método de sedimentação. O ensaio de sedimentação tem como base a lei de Stokes e tem como objetivo determinar o tamanho das partículas finas, com base na sua velocidade de queda numa proveta com uma solução antifloculante em diferentes intervalos de tempo.

Na Tabela 2.1 estão representadas as designações das partículas em função das suas dimensões.

Tabela 2.1 – Designação das partículas do solo em função das suas dimensões segundo AASHTO. [12]

Cascalho	76,2 a 2 mm
Areia	2 a 0,075 mm
Silte	0,075 a 0,002 mm
Argila	< 0,002 mm

Após realizados os ensaios, os resultados obtidos na análise granulométrica são representados num gráfico semi-logarítmico como o representado na Figura 2.7, em que o eixo vertical representa a percentagem de material passado nos diferentes peneiros e no eixo horizontal as dimensões das partículas (em milímetros), obtendo assim a curva granulométrica representativa do solo em estudo.

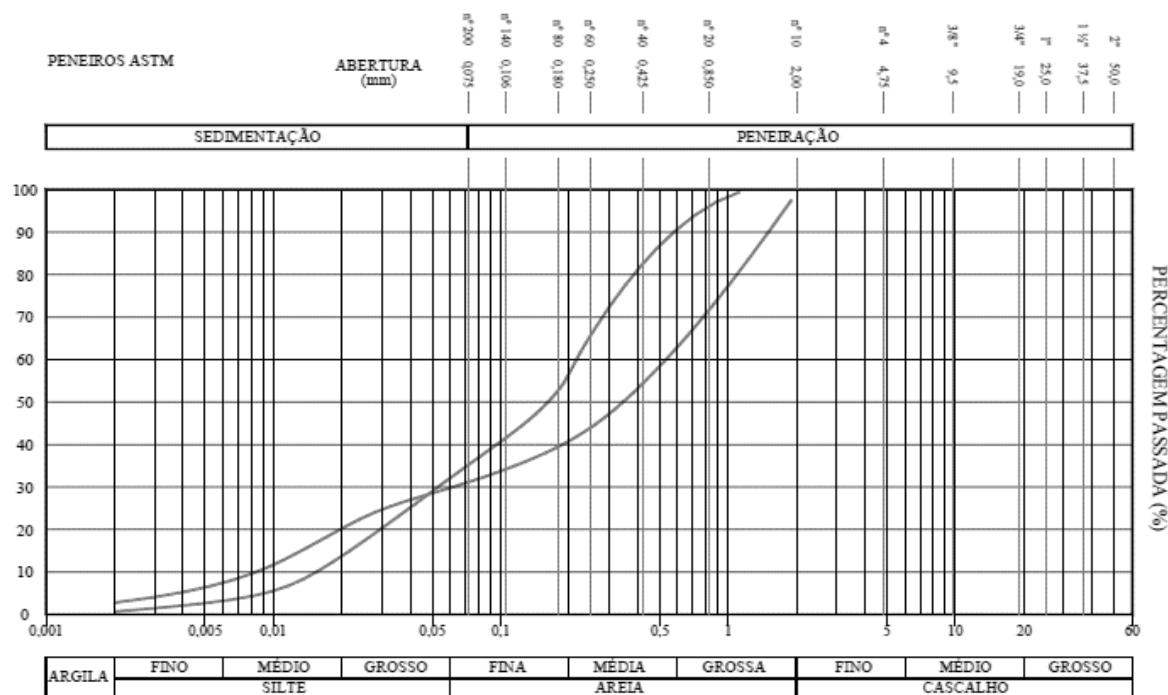


Figura 2.7 – Gráfico para representação da curva granulométrica dos solos. [10]

Conforme referido, a classificação das partículas dos solos pode ser feita em função das suas dimensões: argilas, siltes, areias e cascalhos. Os siltes, areias e cascalhos podem ainda dividir-se em finos, médios e grossos. As partículas cujos diâmetros estão entre 60 e 200 mm designam-se por calhaus e as de diâmetros superiores a 200 mm são denominadas por pedras. Constata-se assim, que o processo de peneiração é o mais adequado para areias e cascalhos, enquanto que para siltes e argilas, a distribuição granulométrica deve ser determinada por sedimentação.

A análise da curva granulométrica permite determinar outras informações importantes sobre o solo:

- Diâmetro efetivo ( $D_{10}$ ): Diâmetro da partícula a que corresponde 10% de passados. Este parâmetro é correlacionável com o coeficiente de permeabilidade de solo;
- $D_{60}$ : Diâmetro da partícula a que corresponde 60% de passados.;
- $D_{30}$ : Diâmetro da partícula a que corresponde 30% de passados.;
- Coeficiente de uniformidade ( $C_U$ ): dá uma ideia da variedade das dimensões das partículas e quanto maior for este coeficiente, maior será essa variedade. Assim, classifica-se o solo como sendo de granulometria extensa quando  $C_U > 4$ . Quando  $C_U \approx 1$  o solo diz-se uniforme. Este coeficiente é calculado aplicando a equação (2.1) seguidamente apresentada:

$$C_U = \frac{D_{60}}{D_{10}} \quad (2.1)$$

- Coeficiente de curvatura ( $C_c$ ): o coeficiente de curvatura está relacionado com a forma da curva granulométrica entre  $D_{60}$  e  $D_{10}$ . Se o valor de  $C_c$  estiver compreendido entre 1 e 3, o solo diz-se bem graduado. Este coeficiente é calculado aplicando a equação (2.2):

$$C_c = \frac{(D_{30})^2}{D_{10} \times D_{60}} \quad (2.2)$$

De acordo com a normalização portuguesa em vigor dispomos de três especificações LNEC para aplicar na determinação da composição granulométrica de um solo, designadamente:

- E 195-1966: “Preparação por via seca de amostras para ensaios de identificação.” A aplicar na preparação de amostras;
- E 239-1970: “Análise granulométrica por peneiração húmida.”;
- E 196-1966: “Análise granulométrica”, para o método de peneiração seguido de sedimentação da fração fina.

Segundo a nova normalização, a determinação da análise granulométrica é estabelecida pela EN ISO 17892-4: 2016. Esta norma inclui os dois métodos anteriormente referidos: o método de peneiração para as partículas de maiores dimensões e o método de sedimentação para as partículas de menores dimensões. Prevê ainda que a sedimentação, possa ser realizada aplicando ou método do densímetro ou o método da pipetagem.

#### 2.4.4 Limites de consistência

Os limites de consistência ou limites de Atterberg são recomendados, essencialmente, para solos com elevada fração fina e com presença de minerais argilosos. O seu conhecimento permite avaliar os teores em água fronteira entre diferentes comportamentos, limitando quatro zonas comportamentais. A fração fina dos solos, na presença de água, apresenta comportamentos distintos em função do seu teor em água. Para valores muito elevados do teor em água, os solos comportam-se como um líquido, mas reduzindo de forma progressiva o teor em água, o comportamento dos solos passa para moldável e depois para friável e finalmente para volume constante durante a secagem. Para estes três valores diferentes de teor em água, Atterberg definiu três limites de consistência: limite de liquidez (LL), limite de plasticidade (LP) e o limite de retração (LR). Na Figura 2.8 é apresentado um esquema dos diferentes comportamentos dos solos.



Figura 2.8 – Comportamentos do solo em função do teor em água.

Dos limites anteriormente citados, o limite de liquidez e o de plasticidade são os que, no âmbito da caracterização geotécnica, mais informações úteis fornecem acerca do comportamento do solo. A diferença entre estes valores designa-se por índice de plasticidade ( $I_p$ ) e é expresso em percentagem:

$$I_p = LL - LP \quad (2.3)$$

Os solos em que não é possível determinar o limite de liquidez e/ou o limite de plasticidade, dizem-se não plásticos.

Arthur Casagrande criou um aparelho de ensaio para determinação do limite de liquidez – a Concha de Casagrande. Mais tarde, John Olssen desenvolveu um novo método para a determinação do limite de liquidez que utiliza a queda de um cone (*fall cone test*). Este último método permitiu corrigir e melhorar alguns fatores que influenciavam negativamente os resultados obtidos pelo método da Concha de Casagrande.

Em Portugal, os procedimentos para estes ensaios estão definidos na norma portuguesa NP-143: 1969, que é aplicável a solos com cerca de 30%, ou mais, em massa, de partículas de dimensões inferiores a 0,05 mm, excluindo assim os solos predominantemente arenosos, sendo estudada a fração inferior a 0,420 mm. A nova normalização propõe a ISO/FDIS 17892-12: 2018, sendo aplicável à fração do solo com dimensões inferiores a 0,4 mm.

## 2.5 CADERNO DE ENCARGOS

Os cadernos de encargos são documentos que contêm uma coletânea de orientações e referências que devem ser obedecidas na conceção e execução das obras. Normalmente, essas orientações são editadas por uma empresa contratante, de modo que possa uniformizar condutas dos projetistas, construtores e fiscais de obra [13]. Os cadernos de encargos podem apresentar requisitos de aceitação de materiais e serviços, descrever metodologias de execução, de medição e de fiscalização e detalhes construtivos, entre outros.

Nem todos os solos possuem boas características para serem empregues em obra, designadamente na construção de aterros. Os materiais a utilizar nos aterros são definidos no projeto e são provenientes das escavações realizadas na obra ou de empréstimos, tendo que possuir as características mínimas exigidas para cumprirem a sua função.

Na área da mecânica dos solos, como exemplo da importância dos cadernos de encargos nas obras de engenharia, pode referir-se a situação da seleção de solos para utilizar na construção de aterros rodoviários. Para que não ocorram problemas após a construção do aterro, como roturas e assentamentos excessivos, os materiais constituintes do aterro devem ser bem caracterizados e devem ser adequadamente colocados na parte do aterro correspondente.

Grande parte das obras rodoviárias em Portugal adota o Caderno de Encargos das Infraestruturas de Portugal (IP) no que respeita à caracterização dos materiais.

Segundo este caderno de encargos, a estrutura dos aterros é composta por:

- Fundação do aterro: terreno sobre o qual o aterro será construído;
- Parte inferior do aterro (PIA): zona do aterro que assenta sobre a fundação;
- Corpo do aterro: parte do aterro compreendida entre a PIA e a PSA;
- Parte superior do aterro (PSA): zona do aterro sobre a qual apoia a camada de leito do pavimento;
- Leito do pavimento: é a última camada do aterro. Destina-se a conferir boas condições de fundação ao pavimento e pode ser construída por uma ou várias camadas;
- Espaldar: zona lateral do corpo do aterro que inclui os taludes. [14]

Sendo que a parte superior do aterro e o leito do pavimento constituem a fundação do pavimento.

Os materiais para colocação em aterro são divididos em três tipos, segundo a sua granulometria: solos, enrocamento e solo-enrocamento.

A classificação utilizada pelo Caderno de Encargos das Infraestruturas de Portugal para solos em aterro é baseada na classificação unificada de solos e apresenta seis classes, de S0 a S5, sendo S0 os solos de pior qualidade, como siltes e argilas plásticas e S5 os solos de melhor qualidade, como é o caso de cascalhos bem graduados. Na Tabela 2.2 é apresentada a classificação de solos segundo as IP, a sua correspondência com a classificação unificada e as possibilidades de os diferentes tipos de solo serem aplicados nas diferentes zonas estruturais dos aterros.

Tabela 2.2 – Classificação unificada dos solos. [14]

Classe	CBR (%)	Tipo de Solo	Descrição	Reutilização		
				PIA	Corpo	PSA
S0	< 3	OL	Siltes orgânicos e siltes argilosos de baixa plasticidade. (1)	N	N	N
		OH	Argilas orgânicas de plasticidade média a elevada; Siltes orgânicos. (2)	N	P	N
		CH	Argilas inorgânicas de plasticidade elevada; Argilas gordas. (3)	N	P	N
		MH	Siltes Inorgânicos; Areias finas e micáceas; Siltes micáceos. (4)	N	P	N
S1	≥ 3 a < 5	OL	Idem (1)	N	S	N
		OH	Idem (2)	N	S	N
		CH	Idem (3)	N	S	N
		MH	Idem (4)	N	S	N
S2	≥ 5 < 10	CH	Idem (3)	N	S	N
		MH	Idem (4)	N	S	N
		CL	Argilas inorgânicas de plasticidade baixa a média, Argilas com seixo, Argilas arenosas, Argilas siltosas e Argilas magras.	S	S	P
		ML	Siltes inorgânicos e areias muito finas; Areias finas, siltosas ou argilosas; Siltes argilosos de baixa plasticidade	S	S	P
		SC	Areia argilosa; Areia argilosa com cascalho. (5)	S	S	P
S3	≥ 10 a < 20	SC	Idem (5)	S	S	P
		SM d	Areia siltosa;	S	S	S
		SM u	Areia siltosa.	P	S	N
S4	≥ 20 a < 40	SP	Areias mal graduadas; Areias mal graduadas com cascalho.	S	S	S
		SW	Areias bem graduadas; Areias bem graduadas com cascalho.	S	S	S
		GC	Cascalho argiloso; Cascalho argiloso com areia.	S	S	S
		GM-u	Cascalho siltoso; Cascalho siltoso com areia. (6)	P	S	P
S5	≥ 40	GP	Cascalho mal graduado; Cascalho mal graduado com areia.(7)	S	S	S
		GM-d	Idem (6)	S	S	S
		GP	Idem (7)	S	S	S
		GW	Cascalho bem graduado; Cascalho bem graduado com areia.	S	S	S

S – Admissível; N – Não admissível; P – Possível

PIA – Parte inferior do aterro; PSA – Parte superior do aterro

A aplicação desta e de muitas outras classificações de solos obriga à realização de ensaios para obtenção dos parâmetros utilizados na classificação. É aqui, que mais uma vez, assume importância a normalização dos ensaios laboratoriais, como garantia da qualidade de todo este processo. Mas, os cadernos de encargos estabelecem para os resultados da caracterização laboratorial de solos outras funções, nomeadamente na seleção e definição da adequação construtiva destes materiais, por forma a garantir estabilidade às estruturas construídas. Vejamos o caso da seleção dos materiais a utilizar no leito do pavimento para os quais, o Caderno de Encargos das IP, exigem a satisfação do conjunto de características apresentadas na Tabela 2.3. Também neste caso, se destaca a importância da caracterização laboratorial dos solos.

Tabela 2.3 – Características do material para leito do pavimento. [14]

Dimensão máxima	75 mm
Percentagem de material que passa no peneiro nº 200 ASTM, máxima	20 %
Limite de liquidez, máximo	25 %
Índice de plasticidade, máximo	6 %
Equivalente de areia, mínimo	30 %
Valor de azul de metileno (material de dimensão inferior a 75 µm), máximo	2,0
CBR a 95% de compact. Relativa, e teor ótimo em água (Proctor Modificado), mínimo	10 %
Expansibilidade (ensaio CBR), máxima	1,5 %
Percentagem de matéria orgânica	0 %

## CAPÍTULO 3

### TEOR EM ÁGUA

Tal como referido em 2.4.1, a determinação do teor em água pode ser realizada com recurso às normas NP-84: 1965 e EN ISO 17892-1: 2014.

De acordo com as normas supracitadas, existem massas mínimas para os provetes de ensaio, dependentes do diâmetro máximo das partículas. Assim, foi realizada uma análise expedita da amostra para avaliar o diâmetro máximo das partículas e, posterior definição das massas mínimas a utilizar nos ensaios.

#### 3.1 DETERMINAÇÃO DO TEOR EM ÁGUA DE ACORDO COM A NP-84: 1965

Seguidamente, serão apresentados os aspetos mais relevantes no que respeita a equipamentos, a critérios para a definição da massa do provete a ensaiar e a procedimentos de ensaio.

##### 3.1.1 Equipamentos

A aplicação da NP-84: 1965 pressupõe a disponibilidade dos seguintes equipamentos:

- a) Recipiente para o provete, de boca larga circular e com tampa resistente à humidade e ao calor;
- b) Balança com limite de erro de 0,025% da massa do provete (Tabela 3.1);

Tabela 3.1 - Valor da divisão da escala da balança conforme a massa do provete. [15]

Massa do provete (g)	Divisão da escala (g)
30 a 50	0,01
50 a 200	0,025
200 a 1000	0,1
1000 a 5000	1

- c) Estufa para secagem entre 105 e 110 °C;
- d) Exsicador com sílica-gel anidra;

- e) Peneiros da série ASTM de malha quadrada de abertura: 2,38 mm, 19,1 mm e 38,1 mm.

### 3.1.2 Metodologia de ensaio

A definição da massa do provete a ensaiar deve ser realizada de acordo com os seguintes critérios:

- a) Se mais de 80% da massa das partículas passar no peneiro de abertura 2,38 mm (nº 8), é necessário tomar um provete de, pelo menos, 30 g;
- b) Se mais de 80% da massa das partículas passar no peneiro de abertura 19,1 mm, mas não passar no peneiro de abertura 2,38 mm, é necessário tomar um provete de, pelo menos, 300 g;
- c) Se mais de 80% da massa das partículas passar no peneiro de abertura 38,1 mm, mas não passar no peneiro de abertura 19,1 mm, é necessário tomar um provete de, pelo menos, 2000 g.

A execução do ensaio contempla a realização sequencial dos seguintes passos:

- a) Secar o recipiente e a tampa, pesar e registar o valor ( $m_1$ );
- b) Desagregar o provete, introduzir no recipiente e tapar. Esta operação deve ser realizada o mais rápido possível de modo a evitar trocas de humidade do provete com o ambiente;
- c) Pesar o conjunto e registar o valor ( $m_2$ );
- d) Colocar o recipiente na estufa, retirar a tampa e secar entre 105 e 110 °C, até que a diferença entre pesagens efetuadas a intervalos de cerca de 4h não seja superior a 0,1% da massa inicial do provete;
- e) Retirar o recipiente da estufa, pesar e registar o valor ( $m_3$ ). Para cada pesagem tapa-se o recipiente antes de o retirar da estufa e deixa-se arrefecer no exsiccador.

Para solos que contenham gesso, a norma portuguesa limita a temperatura de secagem do provete a 80 °C.

## 3.2 DETERMINAÇÃO DO TEOR EM ÁGUA DE ACORDO COM A EN ISO 17892-1: 2014

Seguidamente, serão apresentados os aspetos mais relevantes no que respeita a equipamentos, preparação do provete e metodologia para a execução do ensaio.

### 3.2.1 Equipamentos

A EN ISO 17892-1: 2014 estabelece a utilização dos equipamentos seguidamente descritos:

- a) Estufa equipada com ventilador de tiragem forçada e capaz de manter a temperatura constante em toda a câmara de secagem;
- b) Termómetro ou termopar, com exatidão de leitura de 1 °C;
- c) Balança com exatidão de leitura de 0,01 g ou 0,1 % da massa pesada;
- d) Recipientes para os provetes;
- e) Exsicador com sílica gel;
- f) Peneiros com aberturas de 63 mm, 31,5 mm, 10,0 mm, 2,0 mm e 0,063 mm.

### 3.2.2 Metodologia de ensaio

O provete deve ser preparado com base na seguinte metodologia:

- a) A determinação do teor em água deve ser determinada o mais rápido possível;
- b) Retirar uma amostra representativa da totalidade do solo, após a sua mistura. Registrar a descrição do provete de ensaio;
- c) Determinar a massa mínima do provete de ensaio húmido em função do diâmetro máximo das partículas, de acordo com a Tabela 3.2.

Tabela 3.2 – Massa mínima do provete de ensaio. [16]

Diâmetro das partículas $D_{máx}^{(a)}$ (mm)	0,063	2,0	10,0	31,5	63,0
Massa mínima recomendada $^{(b)}$ (g)	30	100	500	3000	21 000

(a) Diâmetro máximo das partículas do solo, excluindo quaisquer partículas grosseiras, eventualmente presentes.

(b) A utilização de um provete com massa inferior à mínima indicada deve ser feita com precaução, embora possa ser adequado para o objetivo do ensaio. O uso de um provete com massa inferior à recomendada deve constar no relatório de ensaio. Em muitos casos, quando se utiliza uma amostra pequena que contenha uma partícula grosseira relativamente grande, é conveniente não incluí-la no provete de ensaio. Se isto ocorrer, deverá registar-se no relatório de ensaio.

A execução do ensaio deve obedecer à seguinte metodologia:

- a) Colocar o provete húmido num recipiente limpo e seco de massa conhecida ( $m_c$ , incluindo a tampa se esta for utilizada) e determinar a massa total. Registrar o valor ( $m_1$ );

- b) Colocar o recipiente com o provete na estufa e secar entre 105 e 110 °C até a massa de solo seco não sofrer variações superiores a 0,1% durante um período de pelo menos 1 hora;
- c) Para solos finos, é suficiente um tempo de secagem de 16 horas. Os solos grosseiros podem ser secos até massa constante num período de cerca de 4 horas;
- d) Devem ser removidos os provetes secos antes de se colocar mais provete húmidos na estufa;
- e) Remover da estufa o recipiente que contém o provete seco, deixar arrefecer e determinar a massa do recipiente, tampa (se utilizada) e do provete seco. Registrar o valor ( $m_2$ ).

Para solos que contenham gesso, outros minerais com quantidades significativas de água quimicamente ligada ou solos que contenham uma quantidade significativa de material orgânico a temperatura de secagem deve ser inferior a 105-110 °C, por exemplo a 50 °C.

### **3.3 ANÁLISE COMPARATIVA DAS NORMAS NP-84: 1965 E EN ISO 17892-1: 2014**

Neste subcapítulo, será apresentada uma comparação entre as normas mencionadas em 3.1 e 3.2 no que respeita aos aspetos mais relevantes: equipamentos, preparação dos provetes e metodologias para a execução dos ensaios.

#### **3.3.1 Equipamentos**

Na Tabela 3.3, seguidamente apresentada, são comparados os equipamentos preconizados e apresentados os investimentos que são necessários realizar pelos laboratórios para se adaptarem à nova normalização.

Tabela 3.3 – Equipamentos utilizados e investimentos a realizar.

Designação	Exigências normativas		Investimentos necessários
	NP-84: 1965	EN ISO 17892-1: 2014	
Balança	Limite de erro:	0,025%	Com exatidão de leitura de 0,01 g ou 0,1% da massa pesada.
	Divisão da escala:	0,01 g	
		0,025 g	
		0,1 g	
	1 g		
Recipiente para provetes	Boca larga circular, com tampa vedante e resistente à humidade e ao calor.	Vidro, porcelana ou metais resistentes à corrosão com ou sem tampa vedante.	Nenhum.
Termómetro/termopar	Não exigido.	Com exatidão de leitura de 1°C.	Necessidade de aquisição.
Estufa	105 a 110 °C	105 a 110 °C	Necessidade de calibração. <sup>a)</sup>
Exsicador com sílica gel	Para materiais em que mais de 80% da sua massa passa pelo peneiro de abertura 2,38 mm.	Não é requerido se forem utilizados recipientes com tampa.	Nenhum.
Peneiro de abertura 63 mm	Não exigido.	ISO 3310-2	Necessidade de aquisição.
Peneiro de abertura 38,1mm	Série ASTM.	Não exigido.	Nenhum.
Peneiro de 31,5 mm	Não exigido	ISO 3310-2	Necessidade de aquisição.
Peneiro de 19,1 mm	Série ASTM	Não exigido.	Nenhum.
Peneiro de 10,0 mm	Não exigido.	ISO 3310-2	Necessidade de aquisição.
Peneiro de 2,38 mm	Série ASTM.	Não exigido.	Nenhum.
Peneiro de 2,0 mm	Não exigido.	ISO 3310-1	Necessidade de aquisição.
Peneiro de 0,063 mm	Não exigido.	ISO 3310-1	Necessidade de aquisição.
a) Poderá haver necessidade de calibração para diferentes patamares de temperatura pois a nova norma prevê uma temperatura de secagem entre 50 a 107,5 °C.			

Pela Tabela 3.3 é de fácil compreensão que os laboratórios terão de fazer alguns investimentos, essencialmente, em relação à aquisição de peneiros. No entanto, estes investimentos não são de grande monta.

Na Figura 3.1 são apresentados os principais equipamentos utilizados para a determinação do teor em água por ambas as normas.



a) Estufa.



b) Balança.



c) Exsicador.



d) Recipientes para provetes.

Figura 3.1 – Principais equipamentos utilizados para os ensaios do teor em água.

### 3.3.2 Metodologia de ensaio

As diferenças da preparação dos provetes de ensaio entre as duas normas em estudo são:

- a) A norma NP-84: 1965 especifica os peneiros de abertura 2,38, 19,1 e 38,1 mm para a determinação das massas mínimas do provete de ensaio, impondo três limites, 30, 300 e 2 000 g, respetivamente. A norma EN ISO 17892-1: 2014 altera estes peneiros para 0,063, 2,0, 10,0, 31,5 e 63 mm com as massas mínimas de provete de 30, 100, 500, 3 000 e 21 000 g, respetivamente. Na presença de solos finos, a massa de solo húmido não deve ser inferior a 30 g ou deve estar de acordo com os valores da Tabela 3.2, caso se observem partículas grosseiras.

As diferenças entre os procedimentos de ensaios incidem essencialmente em:

- a) Diferentes tempos de secagem dos provetes para obter massa constante:

- A norma antiga considera suficiente um tempo de secagem de 16 horas a 24 horas. Para confirmar se a massa se mantém constante devem-se efetuar pesagens a intervalos de cerca de quatro horas;
  - A norma recente aponta para solos finos, um tempo de secagem de 16 horas e para solos grosseiros 4 horas. Para confirmar se a massa se mantém constante, o provete deve ser sujeito a pesagens com intervalos de cerca de uma hora.
- b) Diferentes temperaturas de secagem para materiais que contenham gesso ou material orgânico:
- A norma antiga limita esta temperatura a 80 °C;
  - A norma recente não impõe limites, mas refere que deve ser inferior a 105 – 110 °C, por exemplo, 50 °C.

### 3.4 APRESENTAÇÃO DOS RESULTADOS

Na Tabela 3.4 apresentam-se os resultados obtidos nos ensaios para a determinação do teor em água pela NP-84: 1965.

Tabela 3.4 - Resultados obtidos durante o ensaio pela NP-84: 1965.

		Ensaio 1	Ensaio 2	Ensaio 3
$m_1$ : massa do recipiente	(g)	123,05	125,37	125,35
$m_2$ : massa do recipiente e do provete antes da	(g)	168,73	162,19	168,16
$m_3$ : massa do recipiente e do provete seco	(g)	162,82	157,50	162,79
<b>w: teor em água</b>	<b>(%)</b>	<b>14,9</b>	<b>14,6</b>	<b>14,3</b>

Na Tabela 3.5 apresentam-se os resultados obtidos no ensaio para a determinação do teor em água pela EN ISO 17892-1: 2014.

Tabela 3.5 - Resultados obtidos durante o ensaio pela EN ISO 17892-1: 2014.

		Ensaio 1	Ensaio 2	Ensaio 3
$m_c$ : massa do recipiente (e tampa se utilizada)	(g)	652,4	753,7	789,9
$m_1$ : massa do recipiente (e tampa se utilizada) e do provete húmido	(g)	1289,8	1287,3	1453,1
$m_2$ : massa do recipiente (e tampa se utilizada) e do provete seco	(g)	1209,8	1220,3	1371,2
<b>w: teor em água</b>	<b>(%)</b>	<b>14,4</b>	<b>14,4</b>	<b>14,1</b>

No Anexo I estão compiladas as folhas de registo com os valores obtidos durante a realização dos ensaios.

### 3.5 ANÁLISE E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS OBTIDOS

Da amostra de solo recolhida foi analisado, em primeiro lugar, o teor em água. Após a realização dos ensaios pelas duas normas para os três provetes representativos foi possível chegar às médias apresentadas na Tabela 3.6.

Tabela 3.6 - Resumo e média dos resultados obtidos para a determinação do teor em água.

NP-84: 1965		EN ISO 17892-1: 2014	
14,9 %		14,4 %	
14,6 %	<b>14,6 %</b>	14,4 %	<b>14,3 %</b>
14,3 %		14,1 %	

É possível verificar que os resultados obtidos apenas diferem em 0,3% o que permite afirmar que os resultados pela nova normalização são semelhantes aos obtidos pelo método antigo. Tendo em conta que não existem diferenças significativas na técnica de ensaio, nomeadamente quanto à temperatura de secagem dos provetes, não seria expectável encontrar-se diferenças significativas nos resultados finais dos ensaios.

Foram realizados três ensaios por cada norma em estudo sobre a mesma amostra com a finalidade de avaliar a repetibilidade dos métodos. Na Tabela 3.7 são apresentados os resultados obtidos para o teste de repetibilidade pela NP-84: 1965 e pela EN ISO 17892-1: 2014.

Tabela 3.7 - Resultados obtidos no teste de repetibilidade pelas normas estudadas.

		NP-84: 1965	EN ISO 17892-1: 2014
<b>Ensaio 1</b>	<b>Y<sub>1</sub></b>	14,9 %	14,4 %
<b>Ensaio 2</b>	<b>Y<sub>2</sub></b>	14,6 %	14,4 %
<b>Ensaio 3</b>	<b>Y<sub>3</sub></b>	14,3 %	14,1 %
<b>Média</b>	<b>Y</b>	14,6 %	14,3 %
<b>Desvio padrão</b>	<b>s</b>	0,30 %	0,17 %
<b>Variância de repetibilidade</b>	<b>sr<sup>2</sup></b>	0,0900 %	0,0300 %
<b>Coef. de variação de repetibilidade</b>	<b>CV<sub>r</sub></b>	0,0205	0,0121
<b>Limite de repetibilidade</b>	<b>r</b>	0,85 %	0,49 %

Com a intenção de avaliar os resultados obtidos nos testes de repetibilidade e atendendo ao facto de as normas europeias não apontarem valores admissíveis para estes testes, optou-se por consultar a norma ASTM D 2216-98\* para ter valores de referência e poder tirar conclusões. Assim, de acordo com a ASTM D 2216-98, o limite de repetibilidade para dois testes conduzidos pelo mesmo operador com o mesmo equipamento, não deve diferir em mais de 7,8 % da sua média. [17] Aplicando este critério aos resultados obtidos nos ensaios, verificou-se que para a norma antiga, o valor do limite de repetibilidade deve ser inferior a 1,14 e para a norma recente 1,12. Poderá então concluir-se que, em ambos os casos, os ensaios realizados apresentam boa repetibilidade uma vez que os valores obtidos, tanto para a NP-84: 1965 como para a EN ISO 17892-1: 2014, estão abaixo deste limiar.

As grandezas estatísticas que permitem a análise da repetibilidade foram calculadas através das seguintes expressões:

- Desvio padrão das médias obtidas:

$$s = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^p (Y_i - Y)^2}{p - 1}} \quad (3.1)$$

Onde  $p$  representa o número de ensaios.

- Variância da repetibilidade:

$$s_r^2 = s^2 \quad (3.2)$$

- Coeficiente de variação da repetibilidade:

$$CV_r = \frac{S_r}{Y} \quad (3.3)$$

- Limite de repetibilidade:

$$r = 2,83 \times s_r \quad (3.4)$$

---

\* Por indisponibilidade da nova versão desta norma, foi considerada esta versão.



## CAPÍTULO 4

### DENSIDADE DAS PARTÍCULAS / MASSA VOLÚMICA DAS PARTÍCULAS

A determinação da densidade/massa volúmica das partículas, como mencionado em 2.4.2, pode ser realizada com recurso às normas NP-83: 1965 e EN ISO 17892-3: 2015.

#### 4.1 DETERMINAÇÃO DA DENSIDADE DAS PARTÍCULAS DE ACORDO COM A NP-83: 1965

A norma portuguesa NP-83: 1965 permite que a determinação da densidade das partículas seja realizada com ou sem secagem prévia do provete. Quando a amostra é seca na estufa e contém sais solúveis em água, em vez de se utilizar água destilada pode-se recorrer ao uso de petróleo de iluminação (querosene) para molhar mais facilmente as partículas. Esta norma, toma em consideração a variação da densidade com a temperatura.

Segue-se a apresentação dos pontos mais relevantes no que respeita a equipamentos, definição da massa do provete a ensaiar e metodologias de ensaio.

##### 4.1.1 Equipamentos

Os equipamentos necessários para a realização do ensaio são:

- a) Picnómetro de, pelo menos, 100 cm<sup>3</sup>, ou de cerca de 500 cm<sup>3</sup> para solos argilosos;
- b) Termómetro com limites de erro de 0,5 °C;
- c) Peneiro da série ASTM de malha quadrada de 4,76 mm de abertura;
- d) Cápsula de porcelana;
- e) Exsiccador com sílica gel anidra;
- f) Balança com limites de erro de 0,01 g;
- g) Estufa para secagem com ventilação entre 105 a 110 °C.

#### 4.1.2 Metodologia de ensaio

A massa do provete para ensaio deve respeitar os seguintes critérios:

- a) Pode ser usado solo contendo humidade natural ou seco na estufa;
- b) Deve tomar-se, pelo menos, 25 g de fração de solo seco passada no peneiro de 4,76 mm de abertura;
- c) Se o solo for argiloso e apresentar humidade natural, deve-se dispersar o provete em água destilada, utilizando um agitador mecânico de, pelo menos, 10 000 rotações por minuto.

O procedimento de ensaio deve ser realizado com base na seguinte metodologia:

- a) Calibração do picnómetro:
  - Lavar o picnómetro, secar e pesar ( $m_1$ );
  - Encher com água destilada até ao traço de referência e pesar ( $m_2$ );
  - Determinar a temperatura da água ( $t_1$ ) e despejar o picnómetro.
- b) Determinação da densidade com secagem prévia do provete:
  - Introduzir o provete na cápsula tarada, manter na estufa até massa constante, deixar arrefecer no exsicador e pesar ( $m_4$ );
  - Transferir o provete, sem perdas, para o picnómetro. Encher com água destilada até três quartos da capacidade e deixar embeber durante, pelo menos, 12h;
  - Extrair o ar remanescente por ebulição e agitação durante, pelo menos, 10 min. Também pode ser utilizado um exsicador de vácuo reduzindo progressivamente a pressão (nunca abaixo dos 100 mm Hg);
  - Deixar o picnómetro em repouso até o seu conteúdo atingir a temperatura ambiente. Acrescentar água destilada até ao traço de referência, enxugar e pesar ( $m_5$ );
  - Determinar a temperatura do conteúdo do picnómetro ( $t_x$ ).
- c) Determinação da densidade sem secagem prévia do provete:
  - Introduzir o provete no picnómetro. Encher com água destilada até três quartos da capacidade e deixar embeber durante, pelo menos, 12h;
  - Extrair o ar remanescente por ebulição ou por agitação durante, pelo menos, 10 min. Também pode ser utilizado um exsicador de vácuo reduzindo progressivamente a pressão (nunca abaixo dos 100 mm Hg);

- Deixar o picnómetro em repouso até o seu conteúdo atingir a temperatura ambiente. Acrescentar água destilada até ao traço de referência, enxugar e pesar ( $m_5$ );
- Determinar a temperatura do conteúdo do picnómetro ( $t_x$ );
- Vazar o conteúdo do picnómetro na cápsula tarada, secar na estufa até massa constante e até evaporar a água;
- Deixar arrefecer no exsicador e pesar ( $m_4$ ).

Para solos que contenham gesso, a norma portuguesa limita a temperatura de secagem do provete a 80 °C.

## **4.2 DETERMINAÇÃO DA MASSA VOLÚMICA DAS PARTÍCULAS DE ACORDO COM A EN ISO 17892-3: 2015**

A determinação da massa volúmica das partículas pela EN ISO 17892-3: 2015 pode ser realizada com recurso ao picnómetro de líquido ou ao picnómetro de gás como mencionado anteriormente no Capítulo 2. Esta norma permite que o provete seja seco em estufa ou ensaiado húmido. [18]

No presente trabalho, apenas será abordado o método de medição de volume de líquido deslocado realizado com o picnómetro de líquido.

### **4.2.1 Equipamentos**

A determinação da massa volúmica das partículas através do picnómetro de líquido necessita dos seguintes equipamentos:

- a) Balança com exatidão de leitura de 0,01 g ou 0,1 % da massa de solo a pesar;
- b) Estufa com ventilação forçada capaz de manter a temperatura constante em toda a câmara de secagem;
- c) Material diverso: equipamento de trituração de amostras (por exemplo, um almofariz e um pilão macio), repartidor de amostras, exsicador com sílica gel; líquido de referência (por exemplo, água destilada);
- d) Picnómetro de líquido com um volume de, pelo menos, 50 ml, uma rolha de vidro e um tubo capilar;
- e) Banho-maria ou câmara com temperatura controlada, com temperaturas entre 10 a 30 °C e com uma variação não superior a  $\pm 0,5$  °C;

- f) Termómetro com exatidão de leitura de 0,1 °C;
- g) Aparelho para remover o ar retido, por exemplo, uma bomba de vácuo ou um aspirador de água.

#### 4.2.2 Metodologia de ensaio

O provete a ensaiar deve respeitar os seguintes requisitos:

- a) O provete pode ser seco em estufa ou ensaiado húmido;
- b) Deve ser seleccionado um provete representativo do solo a ensaiar. Se o solo passar por um peneiro de 4 mm (ou o equivalente mais próximo) deve utilizar-se um picnómetro de 50 ml e a massa seca do provete deve ter pelo menos 10 g. Se existirem partículas de maiores dimensões, estas podem ser esmagadas para satisfazer o limite dos 4 mm ou pode-se utilizar um picnómetro de maior capacidade;
- c) Se forem ensaiados materiais predominantemente orgânicos, deve utilizar-se picnómetros com um volume nominal de 100 ml ou superior, devendo este ser preenchido com um provete que ocupe um volume de pelo menos 75 % do volume do picnómetro.

A metodologia para a execução deste ensaio compreende os passos seguidamente apresentados:

- a) Calibração do picnómetro:
  - Secar o picnómetro e determinar a sua massa com uma aproximação de 0,01 g ou 0,1 % de massa de solo pesado ( $m_0$ );
  - Encher o picnómetro com o líquido de referência de modo a não ficar ar nem no picnómetro nem no tubo capilar;
  - Colocar o picnómetro em banho-maria ou câmara com temperatura controlada. Registrar a temperatura. Deixar apenas o gargalo, a tampa e o tubo capilar acima da superfície da água caso seja utilizado o banho-maria. Deixar o picnómetro em banho-maria, no mínimo 1 hora. Caso se utilize uma câmara de temperatura controlada este período deve ser prolongado, no mínimo 16 horas;
  - Verificar o nível de referência no picnómetro e adicionar ou remover líquido se necessário;
  - Retirar o picnómetro do banho e secar imediatamente;
  - Determinar de imediato a massa do picnómetro cheio com o líquido de referência, com uma aproximação de 0,01 g ou 0,1 % da massa de solo pesado ( $m_1$ ).
- b) Determinação da massa volúmica com os provetes secos em estufa (método A):

- Limpar o picnómetro, colocar a amostra seca e determinar a massa total com uma aproximação de 0,01 g ou 0,1 % da massa de solo pesado ( $m_2$ );
  - Adicionar o líquido de referência ao picnómetro até que o provete fique coberto com 10 a 20 mm de líquido. Remover o ar aprisionado no provete por um dos seguintes métodos: agitação mecânica, ligeiro aquecimento ou aplicação de vácuo;
  - Encher o picnómetro com o líquido de referência de modo a não ficar ar. Colocar o picnómetro em banho-maria, no mínimo 1 hora e registar a temperatura;
  - Verificar o líquido de referência no picnómetro e adicionar ou remover líquido se for necessário;
  - Retirar o picnómetro do banho e secar imediatamente as suas superfícies;
  - Sem demora, determinar a massa do picnómetro cheio com o provete saturado e com o líquido de referência, com uma aproximação de 0,01 g ou 0,1 % da massa de solo pesado ( $m_3$ ).
- c) Determinação da massa volúmica com os provetes húmidos (método B):
- Limpar o picnómetro e colocar o provete húmido;
  - Adicionar o líquido de referência ao picnómetro até que o provete fique coberto com 10 a 20 mm de líquido. Remover o ar aprisionado no provete por um dos seguintes métodos: agitação mecânica, ligeiro aquecimento ou aplicação de vácuo;
  - Encher o picnómetro com o líquido de referência de modo a não ficar ar. Colocar o picnómetro em banho-maria, no mínimo 1 hora e registar a temperatura;
  - Verificar o líquido de referência no picnómetro e adicionar ou remover líquido se necessário;
  - Retirar o picnómetro do banho e secar imediatamente as suas superfícies;
  - Sem demora, determinar a massa do picnómetro cheio com o provete saturado e com o líquido de referência, com uma aproximação de 0,01 g ou 0,1 % da massa de solo pesado ( $m_3$ );
  - Retirar o provete do picnómetro e secar até massa constante ( $m_4$ ).

### **4.3 ANÁLISE COMPARATIVA DAS NORMAS NP-83: 1965 E EN ISO 17892-3: 2015**

Seguidamente, será descrita a comparação entre as normas acima mencionadas no que respeita aos aspetos mais relevantes, ou seja, equipamentos, preparação do provete, calibração do picnómetro e execução do ensaio.

### 4.3.1 Equipamentos

Na Tabela 4.1 é apresentada a comparação dos equipamentos utilizados nas normas estudadas. São também apresentados os investimentos necessários quando a nova normalização entrar em vigor.

Tabela 4.1 – Equipamentos utilizados e investimentos a realizar.

Designação	Exigências normativas		Investimentos necessários	
	NP-83: 1965	EN ISO 17892-3: 2015		
Balança	Limite de erro:	0,01 g	Com exatidão de leitura de 0,01 g ou 0,1% da massa pesada	Nenhum.
Termómetro		0,5 °C	Com exatidão de leitura de 0,1 °C.	Nenhum.
Estufa	105 a 110 °C		105 a 110 °C	Nenhum.
Banho-maria	Não exigido.		10 a 30 °C ( $\pm 0,5$ °C).	Necessidade de aquisição.
Picnómetro de líquido	Cerca de 100 cm <sup>3</sup> ou 500 cm <sup>3</sup> solos argilosos		Pelo menos 50 ml, uma rolha de vidro e um tubo capilar.	Necessidade de aquisição.
Peneiro de abertura 4 mm (equivalente mais próximo)	Série ASTM.		ISO 3310-2.	Necessidade de aquisição.
Exsicador com sílica gel	Sem exigências.		Não é requerido se forem utilizados recipientes com tampa.	Nenhum.
Cápsula de porcelana	Sem exigências metrológicas.		Sem exigências metrológicas.	Nenhum
Repartidor de amostras	Não exigido.		Sem exigências metrológicas.	Necessidade de aquisição.
Equipamento de trituração de amostras	Não exigido.		Sem exigências metrológicas.	Necessidade de aquisição.
Bomba de vácuo	Com pressão nunca abaixo de 100 mm Hg.		Sem exigências metrológicas.	Nenhum.

Feita a comparação entre as normas no que respeita aos equipamentos, pode-se concluir que o investimento a realizar pelos laboratórios para se adaptarem à nova normalização não será elevado, exigindo, no entanto a aquisição de alguns equipamentos, sendo o mais relevante o banho-maria.

Na Figura 4.1 são apresentados os principais equipamentos necessários para a determinação da densidade e da massa volúmica das partículas.



a) Picnómetro de 100 ml e 50 ml.



b) Almofariz e pilão.



c) Repartidor de amostras.



d) Peneiro de abertura 4,76 mm.



e) Banho-maria.



f) Bomba de vácuo.



g) Excicador.



h) Balança.



i) Termómetro.

Figura 4.1 – Principais equipamentos utilizados para o ensaio da densidade e massa volúmica das partículas.

### 4.3.2 Metodologia de ensaio

Duas das principais diferenças entre as duas normas residem na capacidade do picnómetro e na massa do provete de solo seco a ensaiar. Verifica-se que:

- a) A norma portuguesa (NP-83: 1965) refere a utilização de um picnómetro de pelo menos 100 ml ou de 500 ml para solos argilosos. O provete deverá ter, no mínimo, 25 g de massa seca. A nova normalização (EN ISO 17892-3: 2015) considera a utilização de um picnómetro de 50 ml e preconiza provetes com massa seca de, pelo menos, 10 g. Se no material a ensaiar existir matéria

orgânica, deve ser utilizado um picnómetro de 100 ml ou superior e o provete deve ocupar pelo menos 75 % do volume do picnómetro.

Para o procedimento de ensaio destacam-se as seguintes diferenças:

- a) A norma antiga não menciona a necessidade de utilizar o banho-maria em nenhuma fase do ensaio. A nova normalização refere que o picnómetro deve ser colocado em banho-maria pelo menos 1h para a fase de calibração do picnómetro e para a determinação da massa volúmica das partículas;
- b) A EN ISO 17892-3: 2015 explica que devem ser realizadas pelo menos duas determinações tanto para provetes secos em estufa como para provetes húmidos. Os resultados não devem divergir em mais de  $0,03 \text{ Mg/m}^3$ , caso contrário o ensaio deve ser repetido;
- c) A norma NP-83: 1965 refere que o provete deve repousar dentro do picnómetro, coberto até cerca de três quartos da capacidade com água destilada, pelo menos 12 horas antes de extrair o ar na bomba de vácuo. A nova normalização nada refere quanto a este procedimento;
- d) Para a extração do ar remanescente, a metodologia antiga define valores para a pressão de vácuo, o tempo de aplicação e o tempo de ebulição. A norma recente não especifica a pressão de vácuo nem o tempo de aplicação para extrair o ar dentro do picnómetro. No aquecimento também não especifica o tempo de aplicação nem a temperatura.

#### **4.4 APRESENTAÇÃO DE RESULTADOS**

Na Tabela 4.2 e na Tabela 4.3 apresentam-se os resultados obtidos pela norma portuguesa NP-83: 1965, para provetes com e sem secagem prévia, respetivamente.

Tabela 4.2 – Resultados obtidos pela NP-83: 1965 para provetes com secagem prévia.

Método de ensaio: Com secagem prévia do provete				
Calibração do picnómetro				
		Ensaio 1	Ensaio 2	Ensaio 3
Referência do picnómetro		102	109	121
m <sub>1</sub> : massa do picnómetro	(g)	67,28	76,00	63,86
m <sub>2</sub> : massa do picnómetro cheio de água, à temperatura t <sub>1</sub>	(g)	165,85	174,34	162,18
t <sub>1</sub> : temperatura da água	(°C)	16,9	17,0	16,9
Determinação da densidade das partículas				
m <sub>3</sub> : massa do picnómetro cheio de água à temperatura t <sub>x</sub>	(g)	165,77	174,26	162,10
m <sub>4</sub> : massa do provete seco	(g)	26,93	28,45	27,93
m <sub>5</sub> : massa do picnómetro com o provete e a água à temperatura t <sub>x</sub>	(g)	182,55	191,97	179,45
t <sub>x</sub> : temperatura da água no ensaio	(°C)	21,1	20,8	20,8
<b>d<sub>20</sub><sup>t<sub>x</sub></sup>: densidade das partículas à temperatura t<sub>x</sub></b>		<b>2,65</b>	<b>2,65</b>	<b>2,64</b>

Tabela 4.3 - Resultados obtidos pela NP-83: 1965 para provetes sem secagem prévia.

Método de ensaio: Sem secagem prévia do provete				
Calibração do picnómetro				
		Ensaio 1	Ensaio 2	Ensaio 3
Referência do picnómetro		102	109	121
m <sub>1</sub> : massa do picnómetro	(g)	67,28	76,00	63,86
m <sub>2</sub> : massa do picnómetro cheio de água, à temperatura t <sub>1</sub>	(g)	165,85	174,34	162,18
t <sub>1</sub> : temperatura da água	(°C)	16,9	17,0	16,9
Determinação da densidade das partículas				
m <sub>3</sub> : massa do picnómetro cheio de água à temperatura t <sub>x</sub>	(g)	165,83	174,32	162,14
m <sub>4</sub> : massa do provete seco	(g)	28,51	25,95	30,78
m <sub>5</sub> : massa do picnómetro com o provete e a água à temperatura t <sub>x</sub>	(g)	183,60	190,50	181,33
t <sub>x</sub> : temperatura da água no ensaio	(°C)	18,4	18,4	18,6
<b>d<sub>20</sub><sup>t<sub>x</sub></sup>: densidade das partículas à temperatura t<sub>x</sub></b>		<b>2,66</b>	<b>2,66</b>	<b>2,66</b>

Na Tabela 4.4 e na Tabela 4.5 apresentam-se os resultados obtidos aplicando a EN ISO 17892-3: 2015, para provetes secos em estufa e provetes húmidos, respetivamente. Tanto para provetes secos como para provetes húmidos foi utilizado o método do picnómetro de líquido com capacidade de 50 ml.

Tabela 4.4 - Resultados obtidos pela EN ISO 17892-3: 2015 para provetes secos.

Preparação do provete: Provede seco em estufa				
Calibração do picnómetro				
		Ensaio 1	Ensaio 2	Ensaio 3
Referência do picnómetro		41	47	97
m <sub>0</sub> : massa do picnómetro seco	(g)	30,24	29,5	29,86
t: temperatura da água	(°C)	19,9	20,1	19,8
m <sub>1</sub> : massa do picnómetro cheio com água	(g)	81,51	80,54	80,03
Determinação da massa volúmica				
m <sub>2</sub> : massa do picnómetro e provede seco	(g)	45,15	43,64	44,35
m <sub>3</sub> : massa do picnómetro com o provede e a água	(g)	90,68	89,28	88,94
t: temperatura da água no ensaio	(°C)	24,9	24,9	24,9
m <sub>4</sub> : massa do provede seco	(g)	14,91	14,14	14,49
<b>ρ<sub>s</sub>: massa volúmica das partículas do solo</b>	<b>(Mg/m<sup>3</sup>)</b>	<b>2,62</b>	<b>2,64</b>	<b>2,62</b>

Tabela 4.5 - Resultados obtidos pela EN ISO 17892-3: 2015 para provetes húmidos.

Preparação do provede: Provede húmido				
Calibração do picnómetro				
		Ensaio 1	Ensaio 2	Ensaio 3
Referência do picnómetro		62	41	61
m <sub>0</sub> : massa do picnómetro seco	(g)	29,07	30,24	30,19
t: temperatura da água	(°C)	20,3	19,9	20,1
m <sub>1</sub> : massa do picnómetro cheio com água	(g)	80,60	81,51	80,05
Determinação da massa volúmica				
m <sub>3</sub> : massa do picnómetro com o provede e a água	(g)	90,20	91,40	89,60
t: temperatura da água no ensaio	(°C)	24,3	24,3	24,3
m <sub>4</sub> : massa do provede seco	(g)	15,55	16,07	15,45
m <sub>2</sub> : massa do picnómetro e provede seco	(g)	44,62	46,31	45,64
<b>ρ<sub>s</sub>: massa volúmica das partículas do solo</b>	<b>(Mg/m<sup>3</sup>)</b>	<b>2,63</b>	<b>2,61</b>	<b>2,63</b>

No Anexo II estão compiladas as folhas de registo com os valores obtidos durante a realização dos ensaios.

#### 4.5 ANÁLISE E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS OBTIDOS

Após a realização dos ensaios pela NP-83: 1965 e a EN ISO 17892-3: 2015 foi possível obter os resultados e as médias apresentadas na Tabela 4.6 e na Tabela 4.7.

Tabela 4.6 - Resumo e média dos resultados obtidos para provetes com secagem prévia.

NP-83: 1965		EN ISO 17892-3: 2015 (Mg/m <sup>3</sup> )	
2,65		2,62	
2,65	<b>2,65</b>	2,64	<b>2,63</b>
2,64		2,62	

Tabela 4.7 - Resumo e média dos resultados obtidos para provetes sem secagem prévia.

NP-83: 1965		EN ISO 17892-3: 2015 (Mg/m <sup>3</sup> )	
2,66		2,63	
2,66	<b>2,66</b>	2,61	<b>2,62</b>
2,66		2,62	

Os resultados obtidos aplicando a norma antiga e a norma recente apresentam diferenças, sendo que os valores obtidos pela nova norma são inferiores aos obtidos pela antiga. Estas diferenças podem dever-se às desigualdades que se registam ao nível do procedimento de ensaio, nomeadamente ao facto de na nova norma o provete não ficar coberto com água durante 12 horas antes de extrair o ar remanescente e, essencialmente, pelo facto da nova norma não referir a pressão de vácuo, a temperatura de aquecimento e os tempos de aplicação.

Também para a determinação da densidade/massa volúmica das partículas, com o intuito de avaliar a repetibilidade das metodologias utilizadas, foram realizados três ensaios para cada norma e para cada um dos métodos propostos pelas normas. Os resultados obtidos estão sintetizados na Tabela 4.8 e na Tabela 4.9.

Tabela 4.8 - Resultados obtidos no teste de repetibilidade pelas normas para provetes secos em estufa.

		NP-83: 1965	EN ISO 17892-3: 2015
<b>Ensaio 1</b>	<b>Y<sub>1</sub></b>	2,65	2,62 Mg/m <sup>3</sup>
<b>Ensaio 2</b>	<b>Y<sub>2</sub></b>	2,65	2,64 Mg/m <sup>3</sup>
<b>Ensaio 3</b>	<b>Y<sub>3</sub></b>	2,64	2,62 Mg/m <sup>3</sup>
<b>Média</b>	<b>Y</b>	2,65	2,63 Mg/m <sup>3</sup>
<b>Desvio padrão</b>	<b>s</b>	0,01	0,01 Mg/m <sup>3</sup>
<b>Variância de repetibilidade</b>	<b>s<sub>r</sub><sup>2</sup></b>	0,0000333	0,0001333 (Mg/m <sup>3</sup> ) <sup>2</sup>
<b>Coef. De variação de repetibilidade</b>	<b>CV<sub>r</sub></b>	0,0022	0,0044
<b>Limite de repetibilidade</b>	<b>r</b>	0,02	0,03 Mg/m <sup>3</sup>

Tabela 4.9 - Resultados obtidos no teste de repetibilidade pelas normas para provetes húmidos.

		NP-83: 1965	EN ISO 17892-3: 2015
<b>Ensaio 1</b>	<b>Y<sub>1</sub></b>	2,66	2,63 Mg/m <sup>3</sup>
<b>Ensaio 2</b>	<b>Y<sub>2</sub></b>	2,66	2,61 Mg/m <sup>3</sup>
<b>Ensaio 3</b>	<b>Y<sub>3</sub></b>	2,66	2,63 Mg/m <sup>3</sup>
<b>Média</b>	<b>Y</b>	2,66	2,62 Mg/m <sup>3</sup>
<b>Desvio padrão</b>	<b>s</b>	0,00	0,01 Mg/m <sup>3</sup>
<b>Variância de repetibilidade</b>	<b>s<sub>r</sub><sup>2</sup></b>	0,0000000	0,000133 (Mg/m <sup>3</sup> ) <sup>2</sup>
<b>Coef. De variação de repetibilidade</b>	<b>CV<sub>r</sub></b>	0,0000	0,0044
<b>Limite de repetibilidade</b>	<b>r</b>	0,00	0,03 Mg/m <sup>3</sup>

Nenhuma das normas utilizadas apresenta metodologia ou sugere valores para avaliação da repetibilidade dos ensaios. No entanto, a norma EN ISO 17892-3: 2015 estabelece um método para validação de resultados, considerando que, para dois ensaios consecutivos, os resultados não podem divergir em mais de 0,03 Mg/m<sup>3</sup>. Assim, os resultados obtidos com a aplicação desta norma foram avaliados de acordo com este critério, pelo que podem ser considerados válidos.

No caso da análise dos resultados obtidos pela NP-83: 1965 foram usados, na avaliação da repetibilidade, valores de referência propostos pela ASTM D 854-02\*, tendo sido considerado, para o solo em estudo, o valor de 0,02 como limite aceitável entre dois ensaios consecutivos, realizados pelo mesmo operador no mesmo material, utilizando o mesmo equipamento e no período de tempo mais curto possível [19]. Conclui-se, assim, que os ensaios realizados se apresentam válidos uma vez que os valores obtidos estão abaixo do limiar de aceitação.

\* Por indisponibilidade da nova versão desta norma, foi considerada esta versão.

## CAPÍTULO 5

### ANÁLISE GRANULOMÉTRICA

A análise granulométrica, como referido em 2.4.3, segundo a normalização antiga, é determinada através da aplicação de duas especificações LNEC, E 239: 1970 e E 196: 1966. A preceder o uso destas normas é necessário aplicar a especificação LNEC E 195: 1966, que descreve a preparação do provete para ensaio tanto para o método de peneiração como para o método de sedimentação.

A normalização mais recente preconiza apenas uma norma (EN ISO 17892-4: 2016) para a determinação da análise granulométrica, estipulando os procedimentos para os diferentes métodos de ensaio. Esta norma estabelece que, com base na informação seguidamente apresentada, deve ser selecionado um método ou uma combinação de métodos de ensaio:

- a) Se a amostra contiver menos de cerca de 10 % de partículas com dimensão inferior a 0,063 mm, não é, normalmente, necessário realizar o ensaio de sedimentação;
- b) Se a amostra total tiver dimensão inferior a 2 mm e menos de cerca de 10 % de partículas com dimensão superior a 0,063 mm, normalmente, não é necessário realizar o ensaio de peneiração completo;
- c) Para os restantes tipos de amostra, deve ser realizada uma combinação de ensaios pelo método de peneiração e de sedimentação.

#### 5.1 MÉTODO DE PENEIRAÇÃO DE ACORDO COM A E 239: 1970

Nos pontos seguintes, serão apresentados os aspetos mais relevantes relacionados com os equipamentos a utilizar no ensaio, o processo para a preparação das amostras (LNEC E 195: 1966) e o procedimento de ensaio.

##### 5.1.1 Equipamentos

A aplicação da E 239: 1970 prevê a utilização dos seguintes equipamentos:

- a) Série de peneiros ASTM de malha quadrada com as aberturas: 76,1 mm, 50,8 mm, 38,1 mm, 25,4 mm, 19,0 mm, 9,51 mm, 4,76 mm, 2,00 mm, 0,841 mm, 0,420 mm, 0,250 mm, 0,105 mm e 0,074 mm;
- b) Balança com limites de erro de  $\pm 0,01g$ ,  $\pm 0,1g$  e  $\pm 1g$ ;
- c) Estufa de secagem, capaz de manter a temperatura de 105 – 110 °C;
- d) Copo de precipitação de 500 cm<sup>3</sup>;
- e) Material diverso: almofariz e pilão, repartidor de amostras, exsicador de 20 a 25 cm de diâmetro contendo sílica-gel, cápsula de porcelana com cerca de 15 cm de diâmetro e frasco de lavagem por esguicho.

### 5.1.2 Metodologia de ensaio

A preparação da amostra para executar os ensaios é realizada segundo a especificação LNEC E 195: 1966 com base nos seguintes critérios:

- a) A amostra de solo deve ser bem seca ao ar, e os torrões devem ser desagregados cuidadosamente;
- b) Selecionar, por esquadramento ou uso de um repartidor, uma amostra representativa;
- c) A quantidade de amostra é selecionada em função do diâmetro nominal das partículas maiores de acordo com o apresentado na Tabela 5.1;
- d) Pesar a amostra selecionada e registar o valor como a massa total da amostra ( $m'_t$ );
- e) Separar a amostra para ensaio em duas porções pelo peneiro de 2,00 mm de abertura;
- f) Desagregar a fração retida e voltar a separar em duas frações por intermédio do mesmo peneiro;
- g) Lavar a fração retida no peneiro de 2,00 mm depois da segunda peneiração, secar na estufa e pesar. Registar o valor como a massa do material grosso ( $m_{10}$ );
- h) Misturar as frações que passam no peneiro de 2,00 mm em ambas as operações de peneiração;
- i) Do material passado no peneiro 2,00 mm de abertura deve-se selecionar aproximadamente 115 g no caso de solos arenosos, e aproximadamente 65 g no caso de solos siltosos ou argilosos.

Tabela 5.1 - Massa mínima da fração retida no peneiro de 2,00 mm. [20]

<b>Diâmetro das partículas (mm)</b>	9,51	19,0	25,4	38,1	50,8	76,1
<b>Massa mínima (g)</b>	500	1 000	2 000	3 000	4 000	5 000

O procedimento de ensaio respeita a realização sequencial dos seguintes passos:

- a) Análise granulométrica da fração retida no peneiro de 2,00 mm:
  - Peneirar, através de peneiros de malha de abertura superior a 2,00 mm o material seco em estufa, de massa  $m_{10}$ , determinada como indicado na especificação E 195: 1966;
  - Determinar as massas das frações retidas em cada peneiro com auxílio da balança com limite de erro de  $\pm 0,1g$ .
  
- b) Análise granulométrica da fração passado no peneiro de 2,00 mm:
  - Secar na estufa o material passado no peneiro de 2,00 mm. Pesar e registar o valor ( $m'_{10}$ );
  - Obter cerca de 100 g para solos arenosos ou 50 g para solos siltosos ou argilosos. Pesar na balança com limite de erro de  $\pm 0,01g$  e registar o valor ( $m_a$ );
  - Dissolver 0,5 g de hexametáfosfato de sódio comercial em 250 cm<sup>3</sup> de água destilada no copo de precipitação. Juntar o solo, agitar bem com uma vareta de vidro e deixar repousar durante pelo menos 1 hora, agitando de vez em quando;
  - Transferir a suspensão para um peneiro de 0,074 mm e lavá-la por meio de um jato de água. Deve haver cuidado em transferir todos os resíduos da suspensão aderentes ao copo. Desprezar o material que passou no peneiro;
  - Transferir o material retido para uma cápsula e secar na estufa até massa constante;
  - Depois de seco, peneirar pelos peneiros de abertura inferior ao peneiro de abertura 2,00 mm. Determinar as massas das frações retidas em cada peneiro com auxílio da balança com limite de erro de  $\pm 0,01g$ .

## 5.2 MÉTODO DE SEDIMENTAÇÃO DE ACORDO COM A E 196: 1966

Seguidamente, serão apresentados os equipamentos e os aspetos relacionados com a preparação das amostras, assim como o procedimento de ensaio.

A E 196: 1966 estabelece que, na análise granulométrica da fração passada no peneiro de 2,00 mm, a preparação do solo pode ser realizada de diferentes formas dependendo do teor em matéria orgânica e dos compostos de cálcio do solo a estudar. No presente trabalho, apenas se abordará a dispersão do solo através da utilização de uma solução antifloculante composta por hexametáfosfato e carbonato de sódio.

### 5.2.1 Equipamentos

- a) Série de peneiros ASTM de malha quadrada com as aberturas: 76,1 mm, 50,8 mm, 38,1 mm, 25,4 mm, 19,0 mm, 9,51 mm, 4,76 mm, 2,00 mm, 0,841 mm, 0,420 mm, 0,250 mm, 0,105 mm e 0,074 mm;
- b) Balança com limites de erros desde  $\pm 1\text{g}$  até  $\pm 0,01\text{g}$ ;
- c) Agitador elétrico, com velocidade não inferior a 10 000 rotações/min sem carga, provido de um copo equipado com varetas de dispersão;
- d) Densímetro graduado em intervalos de densidade de 0,001;
- e) Termómetro graduado de 0 a 50 °C com limites de erro de  $\pm 0,5$  °C;
- f) Proveta graduada de 1 000 cm<sup>3</sup>;
- g) Estufa de secagem, capaz de manter a temperatura de 105 – 110 °C;
- h) Cronómetro;
- i) Material diverso: almofariz e pilão, repartidor de amostras, exsicador de 20 a 25 cm de diâmetro contendo sílica-gel, cápsula de porcelana com cerca de 15 cm de diâmetro, frasco de lavagem por esguicho, funil de boca larga e régua graduada em milímetros; frasco de Erlenmeyer, funil de Buchner, frasco de Kitassato, papel de filtro, papel de tornesol azul, vareta de vidro, pesa-filtros.

### 5.2.2 Metodologia de ensaio

A preparação da amostra para executar os ensaios é realizada segundo a especificação LNEC E 195: 1966 de acordo com os passos apresentados em 5.1.2.

O procedimento de ensaio segundo a E 196: 1966 preconiza a seguinte sequência de tarefas:

- a) Calibração do densímetro:
  - Determinação do volume do bolbo,  $V$ , através da aplicação de um dos seguintes processos:
    - Por imersão: colocar na proveta de 1 000 cm<sup>3</sup> aproximadamente 800 cm<sup>3</sup> de água. Ler e registar o volume de água contido na proveta. Introduzir o densímetro na proveta e registar a nova leitura. O volume do bolbo é dado pela diferença das duas leituras;
    - Por pesagem: Pesar o densímetro na Balança com limite de erro de  $\pm 0,1\text{g}$ . A massa em gramas é o volume do bolbo em centímetros cúbicos.
- b) Calibração da escala:

- Determinar a área média,  $A$ , da proveta de 1 000 cm<sup>3</sup> em que o densímetro é usado. Mede-se a distância entre dois traços de graduação e divide-se o volume correspondente pela distância em centímetros;
- Medir e registrar as distâncias  $h_s$ . Estas distâncias determinam-se entre a marca de graduação inferior da escala  $L$  e cada uma das principais graduações  $L_s$  da haste do densímetro;
- Medir e registrar a distância  $d$  entre o início do bolbo e a marca de graduação inferior da haste do densímetro;
- Calcular a distância  $H_s$ , somando as distâncias  $h_s$  e  $d$ ;
- Medir e registrar a altura do bolbo  $h$ ;
- Calcular a profundidade efetiva correspondente a cada uma das marcas principais de calibração, pela fórmula:

$$Z_s = H_s + \frac{1}{2} \left( h + \frac{V}{A} \right) \quad (5.1)$$

- Elaborar um gráfico em que nas abcissas são representados os valores  $L_s$  e em ordenadas os valores  $Z_s$ , traçando a respetiva curva.

c) Correção do menisco:

- Introduzir o densímetro na proveta de 1 000 cm<sup>3</sup> com cerca de 700 cm<sup>3</sup> de água destilada;
- Colocar o olho ligeiramente abaixo do plano de superfície do líquido e subir lentamente até que a superfície deixe de ser vista como uma elipse e apareça como uma linha reta. Determinar o ponto em que o plano interceta a escala do densímetro. A haste deve estar perfeitamente limpa;
- Colocar o olho ligeiramente acima do plano da superfície do líquido e determinar o ponto em que o limite superior do menisco interceta a escala do densímetro;
- Calcular a correção do menisco  $C_M$  fazendo a diferença entre as duas leituras anteriores.

d) Análise granulométrica da fração retida no peneiro de 2,00 mm:

- Peneirar o material grosso através de peneiros de malha de abertura superior a 2,00 mm;
- Determinar as massas das frações retidas em cada peneiro com auxílio da balança com limite de erro de  $\pm 0,1g$ .

e) Análise granulométrica da fração passada no peneiro de 2,00 mm:

- Determinar o teor em água:
  - Recolher 10 a 15 g de material passado no peneiro de 2,00 mm e determinar o teor em água  $W_a$  de acordo com a norma NP-84: 1965.
- Preparação do provete de ensaio:
  - Pesar na balança com limite de erro de  $\pm 0,01$  g uma porção de material passado no peneiro de 2,00 mm com cerca de 100 g para solos arenosos e 50 g para solos siltosos ou argilosos. Registrar a massa ( $m_a$ ).
- Dispersão do solo:
  - Dissolver 3,3 g de hexametáfosfato e 0,7 g de carbonato de sódio em 100 cm<sup>3</sup> de água destilada. Juntar o provete ao preparado anterior e aquecer a mistura suavemente durante cerca de 10 min;
  - Transferir a mistura para o recipiente do agitador por meio de um jato de água destilada. A quantidade de água não deve exceder 150 cm<sup>3</sup>. Colocar o agitador em funcionamento durante cerca de 15 min;
  - Imediatamente depois, transferir a suspensão para um peneiro de 0,074 mm (nº 200) colocado no seu recipiente, e lavar o solo com água destilada transferindo todos os resíduos com cuidado. A quantidade de água a usar nesta operação não deve exceder os 500 cm<sup>3</sup>;
  - Transferir para uma proveta a suspensão que passou no peneiro e encher com água destilada até à marca de 1 000 cm<sup>3</sup>;
  - O material retido no peneiro deve ser transferido para uma cápsula e seco na estufa até massa constante;
  - Depois de seco, peneirar o material pelos peneiros com abertura inferior a 2,00 mm. Pesquisar as frações retidas em cada peneiro, utilizando a balança com limite de erro de  $\pm 0,01$  g;
  - Se no peneiro 0,074 mm passar uma grande quantidade de amostra, este material deve ser adicionado à suspensão da proveta antes da sedimentação.
- Sedimentação:
  - Tapar a boca da proveta com uma rodela de borracha, sobre a qual se coloca a palma da mão e agitar a proveta com sucessivas inversões;
  - Após esta operação, colocar a proveta na bancada e o cronómetro em funcionamento;

- Introduzir o densímetro na suspensão até flutuar livremente;
- Ler ao fim de 1, 2 e 5 min;
- Remover o densímetro lentamente e lavar com água destilada numa proveta à mesma temperatura da suspensão;
- Introduzir o densímetro na suspensão para leituras aos 15, 30, 60, 250, 1440 e 2880 min. Depois de cada leitura  $L_s$ , remover o densímetro e colocar na proveta com água destilada. Deve-se evitar qualquer vibração da suspensão aquando da remoção e introdução do densímetro;
- Registrar a temperatura da solução após cada leitura. Nos intervalos de cada leitura a proveta deve estar coberta com papel de filtro.
- Correção do antifloculante a 20 °C. Pode ser corrigido de duas formas:
  - Por leitura do densímetro à temperatura  $T$ , numa proveta contendo 1 000 cm<sup>3</sup> de água destilada e antifloculante na proporção referida na sedimentação. A correção será:

$$C_A = L_A - 1,000 + C_T \quad (5.2)$$

Em que:

$L_A$  – leitura do densímetro à temperatura  $T$ ;

$C_T$  – correção da temperatura  $T$ , dada pela Tabela 5.2.

Tabela 5.2 - Correção ( $C_T$ ) da temperatura ( $T$ ) para densímetros calibrados a 20 °C. [21]

<b>T (°C)</b>	<b><math>C_T</math></b>	<b>T (°C)</b>	<b><math>C_T</math></b>	<b>T (°C)</b>	<b><math>C_T</math></b>	<b>T (°C)</b>	<b><math>C_T</math></b>
<b>7</b>	-0,0013	<b>14</b>	-0,0009	<b>21</b>	+0,0002	<b>28</b>	+0,0018
<b>8</b>	-0,0013	<b>15</b>	-0,0008	<b>22</b>	+0,0004	<b>29</b>	+0,0020
<b>9</b>	-0,0013	<b>16</b>	-0,0006	<b>23</b>	+0,0006	<b>30</b>	+0,0023
<b>10</b>	-0,0012	<b>17</b>	-0,0005	<b>24</b>	+0,0008	<b>31</b>	+0,0026
<b>11</b>	-0,0012	<b>18</b>	-0,0003	<b>25</b>	+0,0010	<b>32</b>	+0,0030
<b>12</b>	-0,0011	<b>19</b>	-0,0003	<b>26</b>	+0,0013		
<b>13</b>	-0,0010	<b>20</b>	0,0000	<b>27</b>	+0,0015		

- Colocar 50 cm<sup>3</sup> da solução antifloculante num pesa-filtros de vidro, evaporando a água na estufa e determinando a massa do antifloculante  $m_A$  na balança com limite de erro de  $\pm 0,01$  g. A correção será:

$$C_A = \frac{2 \times m_A}{1000} \quad (5.3)$$

### 5.3 MÉTODO DE PENEIRAÇÃO DE ACORDO COM A EN ISO 17892-4: 2016

Os equipamentos, a preparação das amostras e o procedimento de ensaio serão descritos seguidamente.

#### 5.3.1 Equipamentos

A EN ISO 17892-4: 2016 estabelece a seguinte lista de equipamentos para o método de peneiração:

- Balança com exatidão de 0,01 g ou 0,1 % da massa de solo pesado;
- Peneiros com abertura 63 mm, 37,5 mm, 20 mm, 6,3 mm, 2,0 mm, 0,63 mm, 0,20 mm e 0,063 mm;
- Estufa de secagem;
- Dispositivos para medição de tempo e de temperatura;
- Material diverso: exsicador com sílica-gel, recipientes para provetes, tabuleiros resistentes à corrosão, concha, repartidor de amostras, escovas para peneiros;

#### 5.3.2 Metodologia de ensaio

O provete a ensaiar e a metodologia de ensaio devem respeitar os seguintes requisitos:

- Para a realização do ensaio podem ser utilizadas amostras húmidas ou secas. No entanto, para determinar as massas de material retido em cada peneiro este material deve estar seco;
- Preparar, por esquartelamento ou com um repartidor, o provete de ensaio. A massa seca dos provetes deve estar de acordo com os valores apresentados na Tabela 5.3.

Tabela 5.3 - Massas mínimas recomendadas para peneiração. [22]

<b>Diâmetro das partículas <math>D_{máx}^{(a)}</math> (mm)</b>	< 2,0	2,0	6,3	10	20	37,5	63
<b>Massas mínimas recomendadas<sup>(b)</sup> (g)</b>	100	100	300	500	2 000	14 000	40 000

(a) Diâmetro máximo das partículas de solo, excluindo quaisquer partículas discretas mais grosseiras presentes no solo.

(b) A utilização de uma amostra menor do que a massa mínima recomendada exige descrição, embora possa ser adequado para os efeitos do ensaio.

Para diâmetros das partículas inferiores a 20 mm, a massa mínima deve ser estimada por interpolação dos valores da Tabela 5.3. Para valores superiores a 20 mm, a massa mínima deve ser determinada pela seguinte fórmula:

$$m_{min} = \left[ \frac{D_{max}}{20} \right]^2 \quad (5.4)$$

- c) Se for utilizada uma amostra seca, determinar a massa do provete com uma aproximação de 0,1 g ou 0,1 %. Registrar o valor (m);
- d) Se for utilizada uma amostra húmida, determinar a massa húmida do provete com uma aproximação de 0,1 g ou 0,1 %. Registrar o valor ( $m_w$ ). Determinar o teor em água secando um provete da amostra segunda a EN ISO 17892-1: 2014;
- e) Se os provetes forem constituídos por partículas grosseiras pode ser necessário fazer uma separação do material. É recomendado o peneiro de abertura de 20 mm para esta separação inicial;
- f) Se a amostra referida em e) for reduzida, deve-se determinar o teor em água de um provete representativo;
- g) Limpar o material retido no peneiro de separação. Secar e pesar. Registrar o valor ( $m_r$ ) com aproximação de 0,1 g ou 0,1 % da massa total (m);
- h) Adicionar o material removido por limpeza no ponto g) ao material inicial que passou no peneiro de separação e misturar. Pesar e registrar o valor ( $m_s$ ) com aproximação de 0,1 g ou 0,1 % da massa total (m);
- i) A massa no ponto h) pode ser reduzida, desde que a massa do provete respeite as massas mínimas recomendadas;
- j) Colocar o material fino num tabuleiro e cobrir com água. Deixar repousar cerca de uma hora, agitando com frequência. Juntar o agente dispersante se necessário;
- k) Lavar o material anterior num peneiro de 2 mm encaixado noutro de 0,063 mm até a água sair límpida. Não colocar peso em excesso nos peneiros. O material que passa no peneiro de 0,063 mm de abertura pode ser desprezado;
- l) Juntar o material retido no peneiro de 2,00 mm e no peneiro de 0,063 mm e secar na estufa até massa constante e depois pesar com uma aproximação de 0,1 g ou 0,1 % da massa total do provete ( $m_s$ );
- m) Em qualquer momento do ensaio, a amostra pode ser ainda mais reduzida para evitar sobrecarga nos peneiros;

- n) Se utilizado o peneiro de separação, peneirar o material retido e seco através de uma série de peneiros de malhas cada vez mais finas até à dimensão do peneiro de separação. Pesquisar e registar o solo retido em cada peneiro ( $m_{ss1}$ ,  $m_{ss2}$ , ...  $m_{ssn}$ ). As massas retidas não devem exceder os valores da Tabela 5.4;
- o) Peneirar o material do ponto l) através de uma série de peneiros de malhas cada vez mais finas até 0,063 mm. Pesquisar e registar o solo retido em cada peneiro ( $m_{ss1}$ ,  $m_{ss2}$ , ...  $m_{ssn}$ ) e o material que passou através do peneiro 0,063 mm ( $m_p$ ). As massas retidas não devem exceder os valores da Tabela 5.4.

Tabela 5.4 - Massa máxima retida em cada peneiro. [22]

Abertura nominal do peneiro (mm)		0,063	0,2	0,63	2	6,3	10	20	37,5	63
Massa máxima retida no peneiro	450 mm kg					2	2,5	3,5	4,8	6,3
	300 mm kg					0,8	1,1	1,5	2,1	2,8
	200 mm g	40	70	125	220					

Para diâmetros que não estão referidos na tabela acima a massa máxima retida em cada peneiro deve ser determinada por:

$$M = \frac{A \times \sqrt{d}}{200} \quad (5.5)$$

Em que:

M - Massa máxima retida no peneiro (g)

A - Área da secção transversal do peneiro (mm<sup>2</sup>)

d - Diâmetro da malha do peneiro (mm).

## 5.4 MÉTODO DE SEDIMENTAÇÃO DE ACORDO COM A EN ISO 17892-4: 2016

A determinação da distribuição granulométrica pelo método de sedimentação pode ser realizada com recurso ao método do densímetro ou ao método da pipetagem. No presente trabalho, apenas será abordado o método do densímetro.

Seguidamente, serão apresentados os aspetos mais relevantes no que respeita a equipamentos, preparação das amostras e procedimento de ensaio.

### 5.4.1 Equipamentos

A aplicação da EN ISO 17892-4: 2016 estabelece a utilização dos seguintes equipamentos:

- a) Balança com exatidão de 0,01 g ou 0,1 % da massa de solo pesado;
- b) Estufa de secagem;
- c) Dispositivos para medição de tempo e temperatura;
- d) Peneiros com aberturas 63 mm, 20 mm, 6,3 mm, 2,0 mm, 0,63 mm, 0,20 mm e 0,063 mm;
- e) Densímetro com uma gama de pelo menos 0,9950 a 1,0300 g/ml com traços de medição em intervalos de 0,0005 g/ml ou inferiores;
- f) Provetas de sedimentação;
- g) Agitador ou misturador mecânico;
- h) Material diverso: exsicador com sílica-gel, recipientes para provetes.

### 5.4.2 Metodologia de ensaio

O procedimento de ensaio compreende as seguintes fases:

- a) A amostra de solo inicial deve ser suficientemente grande que permita obter 20 a 30 g de material com dimensão inferior a 0,063 mm;
- b) Determinar o teor em água do solo de acordo com a EN ISO 17892-1: 2014;
- c) Determinar a massa volúmica das partículas se necessário, de acordo com a EN ISO 17892-3: 2015;
- d) Se houver uma quantidade significativa de matéria orgânica é recomendado o pré-tratamento do solo;
- e) Pesar um provete de solo com uma aproximação de 0,1 g ou 0,1 % da sua massa e registar o valor ( $m_w$ ). Se o provete contiver partículas de dimensão superior a 2,00 mm, estas devem ser removidas;
- f) Colocar o provete num recipiente adequado. Adicionar o agente dispersante equivalente a 10 % do volume final da suspensão;
- g) Transferir a suspensão anterior para o agitador mecânico e agitar durante um tempo suficiente para que as partículas do solo se dispersem completamente;
- h) Se for ensaiada apenas a fração fina do solo, transfere-se a suspensão para o peneiro de 0,063 mm colocado por cima de um recipiente limpo. Lavar as partículas finas através do peneiro com

água destilada. A quantidade de água a utilizar não deve exceder 80 % do volume final da suspensão;

- i) Se o volume total da suspensão que passa no peneiro inadvertidamente exceder o volume final da suspensão, a água em excesso deve ser removida por evaporação;
- j) Transferir a suspensão que passou no peneiro para a proveta de sedimentação e completar com água destilada até à marca de referência;
- k) Transferir o material retido para um recipiente e secar. Pesar com uma aproximação de 0,01 g ou 0,1 % da sua massa;
- l) Se for realizado o ensaio de peneiração numa amostra de maior massa o material referido em k) pode ser rejeitado. Caso contrário, peneira-se esse material, pesa-se e regista-se o valor. Qualquer material que passe no peneiro de 0,063 mm deve ser adicionado à proveta de sedimentação;
- m) A temperatura do interior da proveta tem de ser igual à temperatura de ensaio;
- n) Se o ensaio de sedimentação for realizado a uma temperatura diferente daquela em que foi preparado, deve-se esperar o tempo suficiente para que a temperatura no interior da proveta seja igual à temperatura de ensaio;
- o) Preparar outra proveta de sedimentação com uma solução de referência utilizando o mesmo volume de solução dispersante que o ensaio e completar o volume com água destilada até à marca de referência;
- p) Colocar o densímetro na solução de referência até que flutue livremente. Fazer a leitura do densímetro ( $R'_0$ ) na parte superior do menisco com aproximação de 0,0005 g/ml. Remover o densímetro e lavar com água destilada;
- q) Agitar a suspensão até obter uma mistura homogénea, por exemplo, invertendo a proveta cerca de 60 vezes em 2 minutos;
- r) Completada a agitação liga-se o temporizador. Colocar a proveta na posição de ensaio;
- s) Colocar imediatamente o densímetro na solução;
- t) Fazer as leituras do densímetro ( $R'_n$ ) na parte superior do menisco. Fazer, pelo menos, três leituras nos primeiros 5 minutos, por exemplo, aos 0,5, 1 e 2 min. Registrar as leituras com aproximação de 0,0005 g/ml. Após as leituras, remover o densímetro lentamente e lavar com água destilada;

- u) Fazer, pelo menos, mais três leituras. As leituras normalmente consideradas são aos 4, 8, 30 min, 1, 2, 6 e 24 horas. Inserir o densímetro lentamente na suspensão cerca de 15 segundos antes fazer a leitura. Registrar as leituras com aproximação de 0,0005 g/ml;
- v) Registrar a temperatura da suspensão uma vez nos primeiros 15 minutos, e depois após cada leitura, com aproximação de 0,1 °C.

O procedimento de ensaio compreende ainda as seguintes calibrações e correções associadas às leituras do densímetro:

a) Calibração do volume:

- Pesar o densímetro com aproximação de 0,1 g. A massa deve ser registrada como volume do densímetro em ml ( $V_h$ ).

b) Calibração da escala:

- Determinar a distância ( $L$ ) a partir da marca de 100 ml na escala da proveta até à marca de 1000 ml, com aproximação ao milímetro;
- Determinar as distâncias ( $d_i$ ) entre a marca de calibração mais baixa até às marcas de calibração maiores ( $R_h$ );
- Determinar a distância ( $N$ ) entre o gargalo do bolbo e a marca de referência mais baixa;
- Determinar a distância ( $H$ ) somando  $N$  e  $d_i$ ;
- Determinar a distância entre o gargalo do bolbo e a base do bolbo ( $h$ );
- Determinar a profundidade efetiva ( $H_r$ ) pela fórmula:

$$H_r = H + 0,5 \times \left( h - \frac{V_h}{900} \times L \right) \quad (5.6)$$

c) Correção do menisco:

- Introduzir o densímetro na proveta para sedimentação cerca de 800 ml de água destilada;
- Colocar o olho ligeiramente abaixo do plano de superfície do líquido e subir lentamente até que a superfície deixe de ser vista como uma elipse e apareça como uma linha reta. Determinar o ponto em que o plano interceta a escala do densímetro;
- Colocar o olho ligeiramente acima do plano da superfície do líquido e determinar o ponto em que o limite superior do menisco interceta a escala do densímetro;
- Calcular a correção do menisco  $C_M$  fazendo a diferença entre as duas leituras anteriores.

d) Correção do antifloculante:

- A correção do antifloculante está incluída no cálculo da correção da leitura do densímetro ( $R'_0$ ).

e) Correção da leitura do densímetro para o efeito do menisco:

$$R_h = R'_h + C_m \quad (5.7)$$

Em que:

$R_h$  – Leitura verdadeira do densímetro;

$R'_h$  – Leitura observada no densímetro;

$C_m$  – Correção do menisco.

f) Correção da leitura do densímetro para a solução de referência:

$$R_d = R_h - R_0 \quad (5.8)$$

Em que:

$R_d$  – Leitura corrigida do densímetro;

$R_h$  – Leitura verdadeira do densímetro;

$R_0$  – Leitura observada no densímetro na solução de referência  $R'_0$  corrigida para o menisco.

## 5.5 ANÁLISE COMPARATIVA

Seguidamente, será apresentada a comparação entre as normas acima mencionadas no que respeita aos aspetos mais relevantes, ou seja, equipamentos, preparação do provete, calibração do densímetro e da execução do ensaio.

### 5.5.1 Equipamentos

Na Tabela 5.5, seguidamente apresentada, são indicados os peneiros a utilizar pelas normas em estudo e os investimentos necessários para a aquisição de novos peneiros para determinação da análise granulométrica pela nova norma.

Tabela 5.5 – Peneiros utilizados e investimentos a realizar.

Peneiros			Investimentos necessários
Abertura (mm)	E 239: 1970	EN ISO 17892 – 4: 2016	
76,1	Série ASTM.	Não exigido.	Nenhum.
63,0	Não exigido.	ISO 3310-2	Necessidade de aquisição.
50,8	Série ASTM.	Não exigido.	Nenhum.
38,1	Série ASTM.	Não exigido.	Nenhum.
37,5	Não exigido.	ISO 3310-2	Necessidade de aquisição.
25,4	Série ASTM.	Não exigido.	Nenhum.
20,0	Não exigido.	ISO 3310-2	Necessidade de aquisição.
19,0	Série ASTM.	Não exigido.	Nenhum.
9,51	Série ASTM.	Não exigido.	Nenhum.
6,3	Não exigido.	ISO 3310-2	Necessidade de aquisição.
4,76	Série ASTM.	Não exigido.	Nenhum.
2,00	Série ASTM.	ISO 3310-1	Necessidade de aquisição.
0,841	Série ASTM.	Não exigido.	Nenhum.
0,63	Não exigido.	ISO 3310-1	Necessidade de aquisição.
0,420	Série ASTM.	Não exigido.	Nenhum.
0,250	Série ASTM.	Não exigido.	Nenhum.
0,20	Não exigido.	ISO 3310-1	Necessidade de aquisição.
0,105	Série ASTM.	Não exigido.	Nenhum.
0,074	Série ASTM.	Não exigido.	Nenhum.
0,063	Não exigido.	ISO 3310-1	Necessidade de aquisição.

A. Método de peneiração:

Na Tabela 5.6 é apresentada a comparação dos equipamentos para a realização da análise granulométrica pelo método de peneiração. São também apresentados os investimentos que são necessários realizar pelos laboratórios quando a nova normalização entrar em vigor.

Tabela 5.6 – Equipamentos utilizados e investimentos a realizar.

Designação	Exigências normativas		Investimentos necessários	
	E 239: 1970	EN ISO 17892 – 4: 2016		
Balança		Com exatidão de leitura de 0,01 g ou 0,1% da massa pesada.	Nenhum.	
	Limite de erro:	± 0,01 g		Não exigido.
		± 0,1 g		
± 1 g				
Estufa	105 a 110 °C	105 a 110 °C	Nenhum.	
Copo de precipitação	500 cm <sup>3</sup>	Não exigido.	Nenhum.	
Almofariz e pilão	Sem exigências metrológicas.	Não exigido.	Nenhum	
Repartidor	Sem exigências metrológicas.	Opcional.	Opcional.	
Exsicador com sílica gel	20 a 25 cm de diâmetro.	Não é requerido se forem utilizados recipientes com tampas.	Nenhum.	
Recipientes para provetes	Cápsula de porcelana com cerca de 15 cm de diâmetro.	Vidro, porcelana ou metais resistentes à corrosão.	Nenhum.	
Frasco de lavagem por esguicho	Sem exigências metrológicas.	Não exigido.	Nenhum.	
Agitador mecânico de peneiros	Não exigido.	Opcional.	Opcional.	
Escova para peneiros	Não exigido.	Sem exigências metrológicas.	Necessidade de aquisição.	
Material de vidro para laboratório	Não exigido.	Sem exigências metrológicas.	Necessidade de aquisição.	

Na Figura 5.1 estão apresentados os principais equipamentos necessários para o ensaio da análise granulométrica por peneiração.



a) Série de peneiros.



b) Copo de precipitação de 500 cm<sup>3</sup>.



c) Frasco de lavagem por esguicho.



d) Balança.



e) Estufa.

Figura 5.1 – Principais equipamentos utilizados no ensaio da análise granulométrica por peneiração.

B. Método de sedimentação:

Na Tabela 5.7 é apresentada a comparação dos equipamentos para a realização da análise granulométrica pelo método de sedimentação. São também apresentados os investimentos que são necessários realizar pelos laboratórios quando a nova normalização entrar em vigor.

Tabela 5.7 – Equipamentos utilizados e investimentos a realizar.

Designação	Exigências normativas		Investimentos necessários	
	E 196: 1966	EN ISO 17892 – 4: 2016		
Balança	Com exatidão de leitura de 0,01 g ou 0,1% da massa pesada		Nenhum.	
	Limite de erro:	± 0,01 g		Não exigido.
		± 0,1 g		
		± 1 g		
Estufa	105 a 110°C	105 a 110°C	Nenhum.	
Exsicador com sílica gel	20 a 25 cm de diâmetro	Não exigido.	Nenhum.	
Almofariz e pilão	O pilão deve ser revestido de borracha.	Não exigido.	Nenhum.	
Recipientes para provetes	Cápsulas de porcelana com cerca de 15 cm de diâmetro.	Vidro, porcelana ou metais resistentes à corrosão.	Nenhum.	
Repartidor	Sem exigências metrológicas.	Não exigido.	Nenhum.	
Frasco de lavagem por esguicho	Sem exigências metrológicas.	Sem exigências metrológicas.	Nenhum.	
Agitador elétrico	Com velocidade não inferior a 10 000 rot./min sem carga, provido de um copo equipado com varetas de dispersão.	Sem exigências metrológicas.	Nenhum.	
Densímetro	Divisão da escala:	0,001 g/ml	Necessidade de aquisição.	
	Escala:	Não exigido.		0,9950 g/ml a 1,0300 g/ml
Cronómetro	Sem exigências metrológicas	Com exatidão de leitura ao segundo.	Necessidade de aquisição.	
Termómetro/Termopar	Limite de erro:	± 0,5 °C	Necessidade de aquisição.	
	Escala:	0 a 50 °C		
Proveta	Capacidade de 1 000 cm <sup>3</sup> , com cerca de 45 cm de altura e 6 cm de diâmetro, de forma que a marca dos 1000 cm <sup>3</sup> esteja a 36 ± 2 cm do interior do fundo.	Capacidade de 1 000 ml com área da secção constante em todo o seu comprimento. Com diâmetro de pelo menos duas vezes a do bolbo do densímetro.	Nenhum.	

Vareta de vidro	15 a 20 cm de comprimento e 4 a 5 mm de diâmetro, com ponta de borracha.	Não exigido.	Nenhum.
Banho-maria	Não exigido.	Opcional.	Opcional.
Réguas	Graduada ao milímetro.	Não exigido.	Nenhum.
Frasco de Erlenmeyer	Boca larga de 1000 cm <sup>3</sup> .	Não exigido.	Nenhum.
Funil de Buchner	10 cm de diâmetro.	Não exigido.	Nenhum.
Frasco de Kitassato	500 cm <sup>3</sup> .	Não exigido.	Nenhum.
Papel de filtro para funil de Buchner.	Whatman nº 50 ou Barcham Green nº 975.	Não exigido.	Nenhum.
Papel de tornesol azul.	Sem exigências metrológicas.	Não exigido.	Nenhum.
Pesa-filtros de vidro.	100 cm <sup>3</sup> .	Não exigido.	Nenhum.
Fonte de vácuo e tudo de borracha.	Sem exigências metrológicas.	Não exigido.	Nenhum.
Funil de boca larga.	Sem exigências metrológicas.	Sem exigências metrológicas.	Nenhum.

Realizada a comparação dos equipamentos entre as normas estudadas, é possível afirmar que os laboratórios não irão necessitar de um grande investimento para se adaptarem à nova norma de análise granulométrica, como se pode verificar o investimento incide, essencialmente, na aquisição de peneiros.

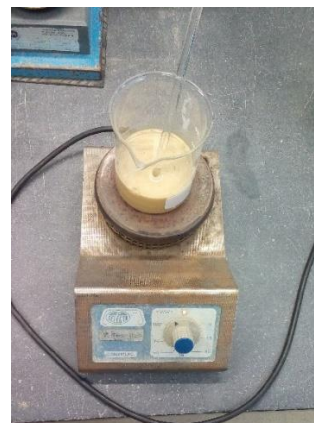
Na Figura 5.2 estão apresentados os principais equipamentos necessários para o ensaio da análise granulométrica por sedimentação.



a) Série de peneiros.



b) Balança.



c) Manta de aquecimento.



d) Agitador elétrico.



e) Funil de boca larga.



f) Densímetro.



g) Proveta com a suspensão.



h) Cronómetro.



i) Termómetro.

Figura 5.2 - Principais equipamentos utilizados no ensaio da análise granulométrica por sedimentação.

### 5.5.2 Metodologia de ensaio

A preparação dos provetes para ensaio pela normalização antiga é determinada por uma especificação própria para o efeito, a especificação LNEC E 195: 1966. A normalização recente não prevê uma norma

específica para a preparação do provete, no entanto, a própria norma estabelece os critérios a aplicar na preparação da amostra.

A. Método de peneiração:

Seguidamente, é apresentada a comparação de ambas as normas para a preparação dos provetes a ensaiar.

- a) A especificação LNEC (E 195: 1966) refere que é necessária uma quantidade de material que passado no peneiro de 2,00 mm (nº 10) de, aproximadamente, 115 g se o solo for arenoso e 65 g no caso de solos siltosos ou argilosos. Também é referido nesta especificação que é necessária uma dada quantidade de material retido no peneiro de 2,00 m de acordo com o diâmetro nominal das maiores partículas;
- b) A EN ISO 17892-4: 2016 apresenta um quadro com as massas mínimas recomendadas para peneiração apenas em função do diâmetro máximo das partículas, se estas apresentarem dimensões inferiores a 20 mm. Caso as partículas apresentem dimensões superiores a 20 mm, a massa mínima recomendada deve ser determinada através da equação (5.4);
- c) A norma recente permite que os solos possam ser pré-tratados antes de peneirar para remover sais dissolvidos e matéria orgânica, enquanto que a especificação LNEC não refere nada sobre este aspeto;
- d) A EN ISO 17892-4: 2016 não especifica qual o peneiro de separação, apenas recomenda que pode ser utilizado o peneiro de abertura 20 mm para a separação inicial. Esta norma permite também que sejam feitas reduções de material ao longo do ensaio através de um repartidor, ou de outro método semelhante, de modo a evitar a sobrecarga dos peneiros. A especificação LNEC fixa o peneiro de abertura 2,00 mm como o peneiro de separação.

Comparando os procedimentos das duas normas verifica-se que:

- a) A especificação LNEC obriga à dispersão do material passado no peneiro 2,00 mm com um agente antifloculante. Enquanto que, a norma recente não obriga, apenas permite a utilização de um agente antifloculante para dispersar argila intersticial do material passado no peneiro 20,0 mm.

B. Método de sedimentação:

A preparação dos provetes de ensaio segundo as duas normalizações difere em:

- a) A especificação LNEC refere que é necessária uma quantidade de material que passado no peneiro de 2,00 mm (nº 10) de, aproximadamente, 100 g se o solo for arenoso e 50 g no caso de solos siltosos ou argilosos. Também é referido na especificação que é necessária uma quantidade de material retido no peneiro de 2,00 m de acordo com o diâmetro nominal das maiores partículas;

- b) A EN ISO 17892-4: 2016 refere que a amostra de solo inicial, antes da preparação, deve ser suficientemente grande para se conseguir obter 20 a 30 g de material com dimensão inferior a 0,063 mm.

Em relação ao procedimento de ensaio as principais diferenças são:

- a) A especificação LNEC permite fazer uma preparação do solo de acordo com a quantidade de matéria orgânica e compostos de cálcio presentes no solo. A norma recente não refere nada sobre este aspeto;
- b) Para a dispersão do solo, a especificação LNEC apresenta apenas uma solução antifloculante composto por dois reagentes, hexametáfosfato e carbonato de sódio. A nova norma descreve duas soluções, à escolha, uma composta por hexametáfosfato hexassódico e outra por difosfato tetrassódico;
- c) A especificação do LNEC refere que a suspensão com a solução antifloculante deve ser aquecida suavemente durante cerca de 10 min e depois transferida para o agitador que ficará em funcionamento pelo menos 15 min. A norma recente não menciona a necessidade da suspensão ser aquecida e é transferida diretamente para o copo do agitador;
- d) A especificação LNEC refere que a suspensão deve ser transferida para o peneiro 0,074 mm. A norma recente altera este peneiro para o de abertura 0,063 mm;
- e) Os intervalos de leituras realizadas são ligeiramente diferentes nas duas normas. Para além das leituras em comum, a nova norma acrescenta as leituras aos 0,5, 4, 8 min, 2 e 6 horas.

As calibrações do densímetro e correções associadas também sofrem algumas mudanças, sendo elas:

- a) Calibração do volume:
- A calibração do volume (V) do densímetro pela especificação LNEC pode ser efetuada por dois processos, por imersão ou por pesagem. A EN ISO 17892-4: 2016 apenas descreve um método que consiste na pesagem do densímetro.
- b) Calibração da escala:
- O que difere entre as normas para a calibração da escala é apenas a designação dos termos.
- c) Correção do menisco:
- A correção do menisco é semelhante para ambas as normas em estudo. A única diferença é que, segundo a norma antiga, o densímetro deve ser colocado numa proveta com, aproximadamente, 700 ml de água, enquanto que pela norma recente este volume de água passa para cerca de 800 ml.

d) Correção do antifloculante:

- A especificação LNEC refere que a correção do antifloculante deve ser determinada a 20 °C e pode ser efetuada por dois métodos. Pela norma recente, esta correção está incluída na correção da leitura do densímetro para a solução de referência.

## 5.6 APRESENTAÇÃO DE RESULTADOS

Este subcapítulo referente à apresentação dos resultados obtidos para a análise granulométrica encontra-se dividido pelas normas em estudo, especificações LNEC e EN ISO 17892-4: 2016. Em cada divisão são apresentados, em resumo, o valor dos acumulados passados em cada peneiro e de forma a poder visualizar a evolução da granulometria do solo apresentam-se as curvas granulométricas dos ensaios realizados.

### A. Especificação LNEC E 239: 1970

Na Tabela 5.8 apresentam-se as massas dos provetes para a realização do ensaio de peneiração húmida pela especificação LNEC E 239: 1970.

Tabela 5.8 – Massas dos provetes para o ensaio de peneiração húmida.

		Ensaio 1	Ensaio 2	Ensaio 3
$m_t$ : massa total da amostra	(g)	8087,6	8959,3	9913,2
$m_{10}$ : massa total da fração retida no peneiro 2,00 mm	(g)	1012,3	850,8	1031,8
$m_a$ : massa de material fino utilizada	(g)	124,58	124,39	122,63

Na Tabela 5.9 e no Gráfico 5.1 apresentam-se as percentagens de acumulados passados pelos diferentes peneiros e a curva granulométrica, respetivamente.

Tabela 5.9 - Resultados obtidos durante o ensaio da análise granulométrica segundo a E 239: 1970.

Abertura dos peneiros (mm)	% Acumulados passados		
	Ensaio 1	Ensaio 2	Ensaio 3
76,1	100	100	100
50,8	100	100	100
38,1	98	100	99
25,4	98	99	98
19,0	98	98	97
9,51	94	96	95
4,76	93	94	93
2,00	87	91	90
0,841	70	73	71
0,420	47	52	50
0,250	37	40	39
0,105	24	27	26
0,074	21	23	22

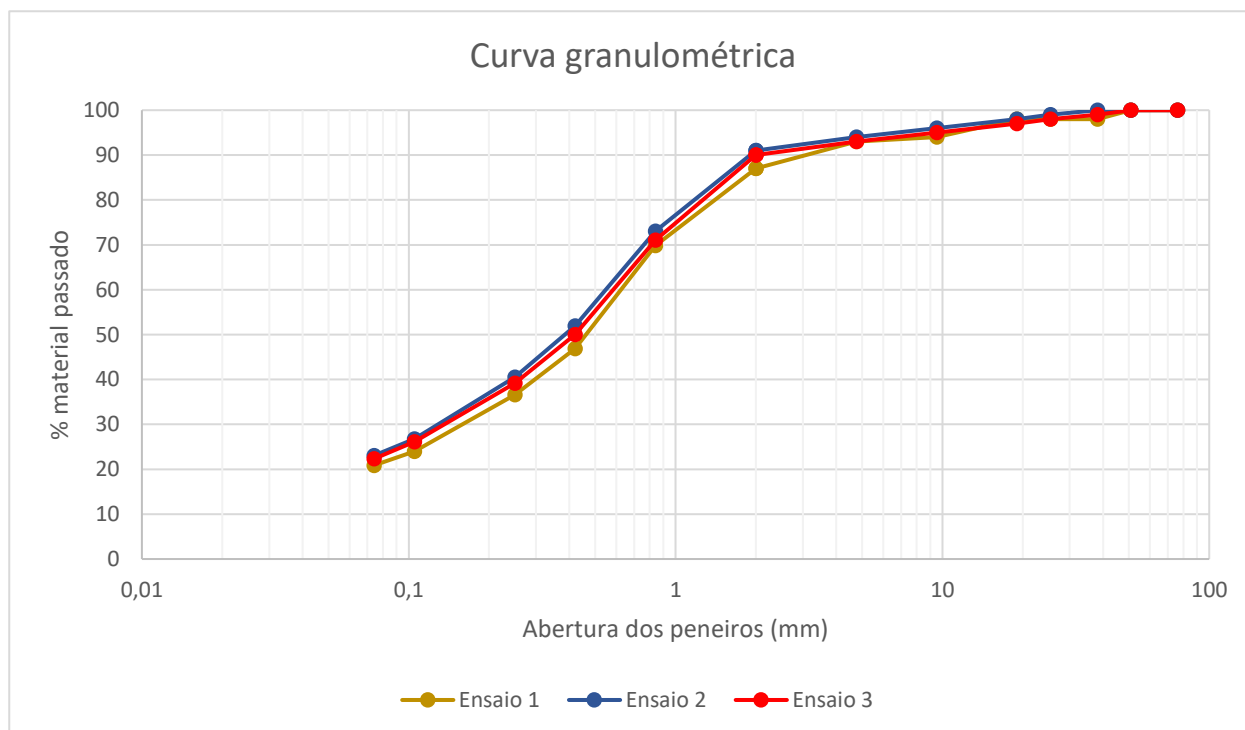


Gráfico 5.1 – Curvas granulométricas determinadas segundo a E 239: 1970.

B. Especificação LNEC E 196: 1966

Na Tabela 5.10 apresentam-se as massas dos provetes para a realização do ensaio da sedimentação pela E 196: 1966.

Tabela 5.10 - Massas dos provetes utilizados nos ensaios.

		Ensaio 1	Ensaio 2	Ensaio 3
$m_t$ : massa total da amostra	(g)	9076,0	9069,6	9045,6
$m_{10}$ : massa total da fração retida no peneiro 2,00 mm	(g)	1093,8	909,2	825,3
$m_a$ : massa de material fino sem pré-tratamento	(g)	126,02	106,58	128,39

Na Tabela 5.11 e no Gráfico 5.2 apresentam-se a percentagem de acumulados passados e a curva granulométrica, respetivamente.

Tabela 5.11 - Resultados obtidos durante o ensaio da análise granulométrica segundo a E 196: 1966.

Ensaio 1		Ensaio 2		Ensaio 3		
% Acumulados passados		% Acumulados passados		% Acumulados passados		
Abertura dos peneiros (mm)	76,1	100	76,1	100	76,1	100
	50,8	100	50,8	100	50,8	100
	38,1	98	38,1	100	38,1	100
	25,4	96	25,4	98	25,4	99
	19,0	96	19,0	97	19,0	99
	9,51	93	9,51	94	9,51	96
	4,76	92	4,76	93	4,76	95
	2,00	88	2,00	90	2,00	91
	0,841	75	0,841	77	0,841	75
	0,420	55	0,420	57	0,420	57
	0,250	44	0,250	46	0,250	46
	0,105	31	0,105	32	0,105	33
	0,074	27	0,074	28	0,074	28
Dimensão das partículas (mm)	0,0530	26	0,0538	26	0,0535	27
	0,0377	23	0,0382	24	0,0382	24
	0,0241	20	0,0244	20	0,0244	20
	0,0141	17	0,0142	18	0,0143	16
	0,0100	15	0,0101	15	0,0101	15
	0,0072	11	0,0072	12	0,0072	12
	0,0035	8	0,0035	8	0,0035	8
	0,0015	4	0,0015	5	0,0015	5
	0,0010	4	0,0010	4	0,0010	2

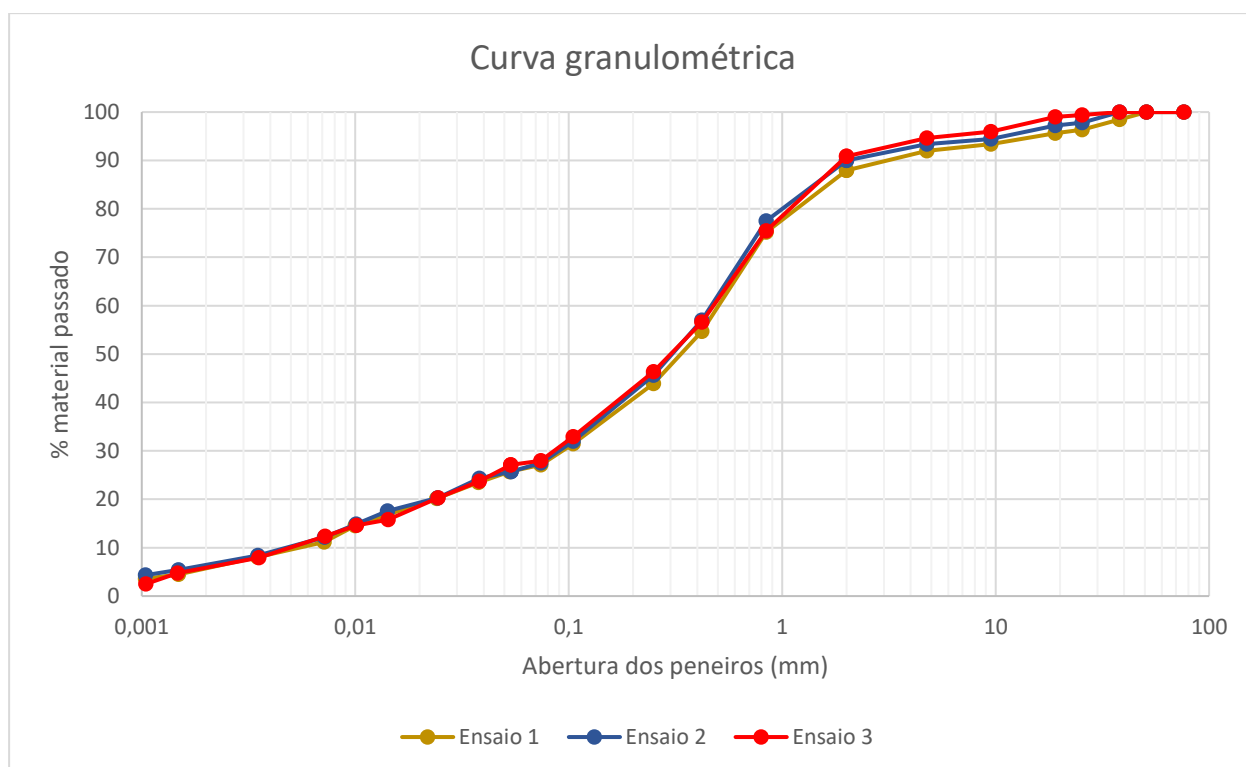


Gráfico 5.2 – Curvas granulométricas determinadas segundo a E196: 1966.

### C. EN ISO 17892-4: 2016

Na Tabela 5.12 apresentam-se as massas dos provetes para a realização do ensaio de peneiração pela EN ISO 17892-4: 2016.

Tabela 5.12 - Massas dos provetes para o ensaio de peneiração.

		Ensaio 1	Ensaio 2	Ensaio 3
m: massa seca total da amostra	(g)	2120,0	2279,7	2289,0
m <sub>r</sub> : massa do material retido no peneiro 20 mm	(g)	76,97	105,70	10,35
m <sub>s</sub> : massa do material passado no peneiro 20 mm	(g)	2032,3	2168,9	2273,8

Na Tabela 5.13 e no Gráfico 5.3 apresentam-se as percentagens de acumulados passados pelos diferentes peneiros e a curva granulométrica, respetivamente.

Tabela 5.13 - Resultados obtidos durante o ensaio de peneiração pela EN ISO 17892-4: 2016.

Abertura dos peneiros (mm)	% Acumulados passados		
	Ensaio 1	Ensaio 2	Ensaio 3
63,0	100	100	100
37,5	100	100	100
20,0	96	95	100
10,0	93	92	99
6,3	92	91	98
2,0	86	87	94
0,63	56	58	64
0,20	34	35	37
0,063	20	19	20

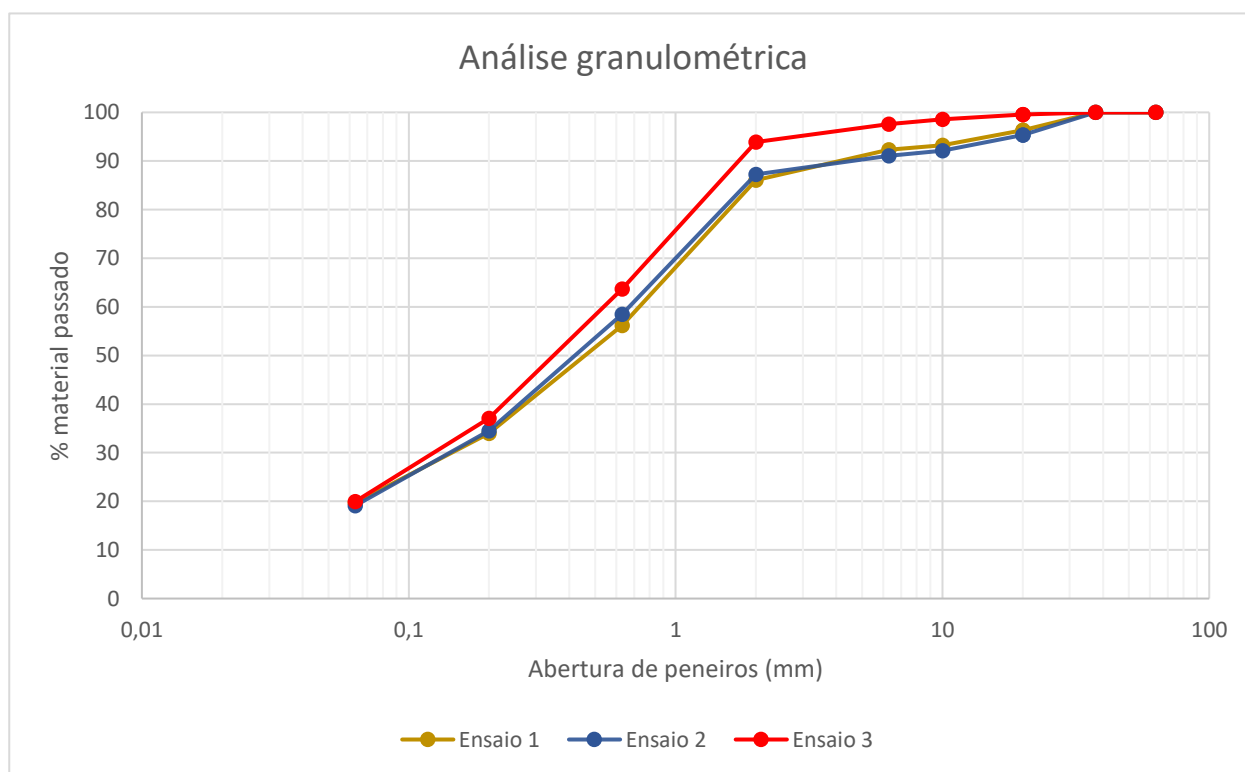


Gráfico 5.3 – Curvas granulométricas determinadas por peneiração, segundo a EN ISO 17892-4: 2016.

Na Figura 5.3 é apresentado o material retido nos peneiros de abertura 20 mm ao 0,063 mm. Estes resultados foram obtidos após a realização do ensaio de peneiração pela EN ISO 17892-4: 2016.



Figura 5.3 - Material retido nos peneiros de abertura 20 mm a 0,063 mm.

Na Tabela 5.14 apresentam-se as massas dos provetes para a realização do ensaio de sedimentação pela EN ISO 17892-4: 2016.

Tabela 5.14 – Massas dos provetes utilizados nos ensaios.

		Ensaio 1	Ensaio 2	Ensaio 3
$m_w$ : massa húmida da amostra	(g)	117,05	–	–
$m$ : massa seca total da amostra	(g)	115,78	–	–

Na Tabela 5.15 e no Gráfico 5.4 apresentam-se as percentagens de acumulados passados pelos diferentes peneiros e a curva granulométrica, respetivamente.

Tabela 5.15 - Resultados obtidos durante o ensaio de peneiração e sedimentação pela EN ISO 17892-4: 2016.

		% Acumulados passados		
		Ensaio 1	Ensaio 2	Ensaio 3
Abertura dos peneiros (mm)	2,00	90	–	–
	0,63	63	–	–
	0,20	40	–	–
	0,063	24	–	–
Dimensão das partículas (mm)	0,077	22	–	–
	0,054	21	–	–
	0,039	20	–	–
	0,027	19	–	–
	0,020	14	–	–
	0,010	11	–	–
	0,007	9	–	–
	0,005	7	–	–
	0,003	5	–	–
	0,001	3	–	–

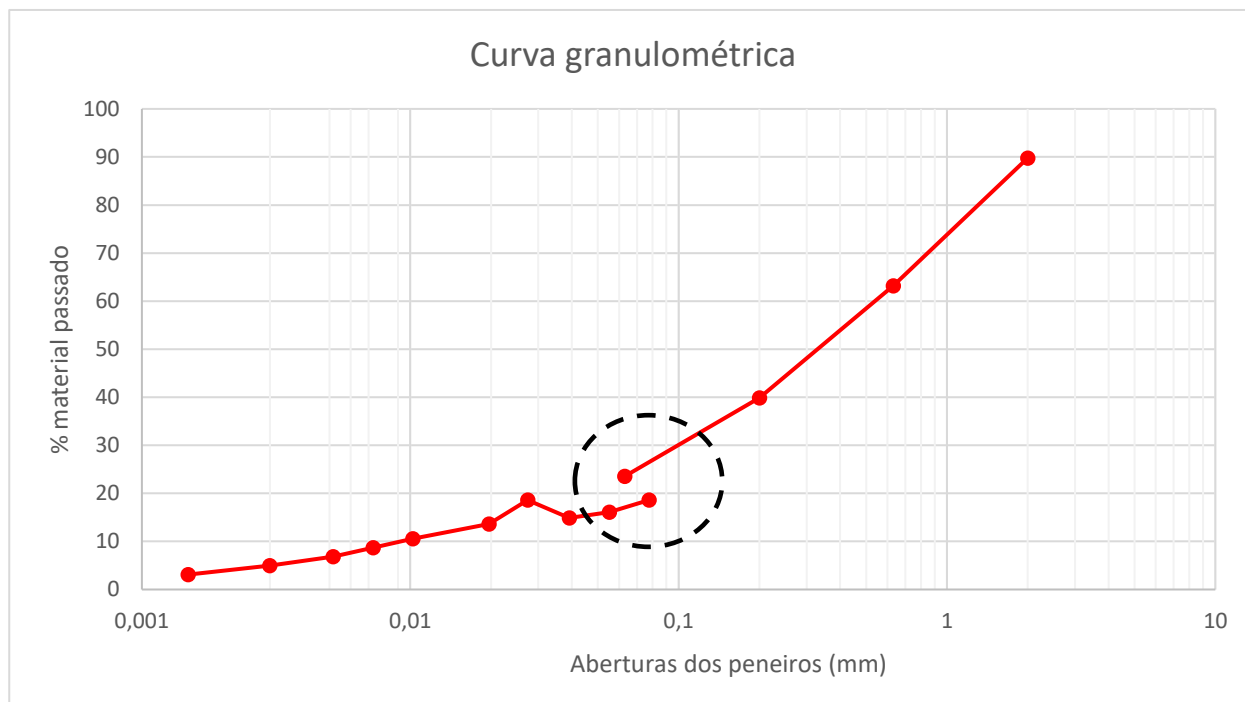


Gráfico 5.4 – Curva granulométrica determinada no ensaio de peneiração e sedimentação.

Como se pode verificar pelos resultados apresentados no Gráfico 5.4, o trecho obtido por sedimentação não liga na perfeição ao obtido por peneiração, este facto poderá estar relacionado com pequenas imprecisões de leitura no decurso da sedimentação, ou ainda no facto de o densímetro utilizado ser ligeiramente diferente do preconizado pela norma. Esse assunto será abordado com pormenor no subcapítulo 5.7.

No Anexo III estão compiladas as folhas de registo com os valores obtidos durante a realização dos ensaios.

## **5.7 ANÁLISE E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS OBTIDOS**

Este subcapítulo, à semelhança do anterior, também se encontra dividido em função dos métodos de ensaio utilizados (peneiração e sedimentação), para uma melhor análise e discussão dos resultados.

No final deste subcapítulo serão apresentados os resultados obtidos para os testes de repetibilidade em função das aberturas dos peneiros. Os testes de repetibilidade para ambos os métodos em estudo carecem de muita informação devido à necessidade de utilizar nos ensaios peneiros com várias aberturas. De forma a facilitar a compreensão desta análise, optou-se, neste trabalho, por apresentar apenas os resultados referentes aos peneiros com valores de limite de repetibilidade extremos, o mais desfavorável e o mais favorável.

### **A. Método de peneiração:**

Após a realização dos ensaios de peneiração para os três provetes representativos da amostra, foi possível obter o valor médio dos acumulados passados por peneiro, com os quais foi, posteriormente, traçada a curva granulométrica média, permitindo assim comparar os resultados obtidos com as duas normas em estudo. Na Tabela 5.16 estão apresentados os valores médios de acumulados passados calculados para cada peneiro. No Gráfico 5.5 estão representadas as curvas granulométricas médias obtidas por ambas as normas.

Tabela 5.16 – Valores médios dos acumulados passados obtidos nos ensaios.

E239: 1970		EN ISO 17892-4: 2016	
Abertura dos peneiros (mm)	% Acumulados passados	Abertura dos peneiros (mm)	% Acumulados passados
76,1	100	---	---
50,8	100	---	---
38,1	99	63,0	100
25,4	98	37,5	100
19,0	98	20,0	97
9,51	95	10,0	95
4,76	93	6,3	94
2,00	89	2,0	89
0,841	71	0,63	59
0,420	50	0,20	35
0,250	39	0,063	20
0,105	26	---	---
0,074	22	---	---

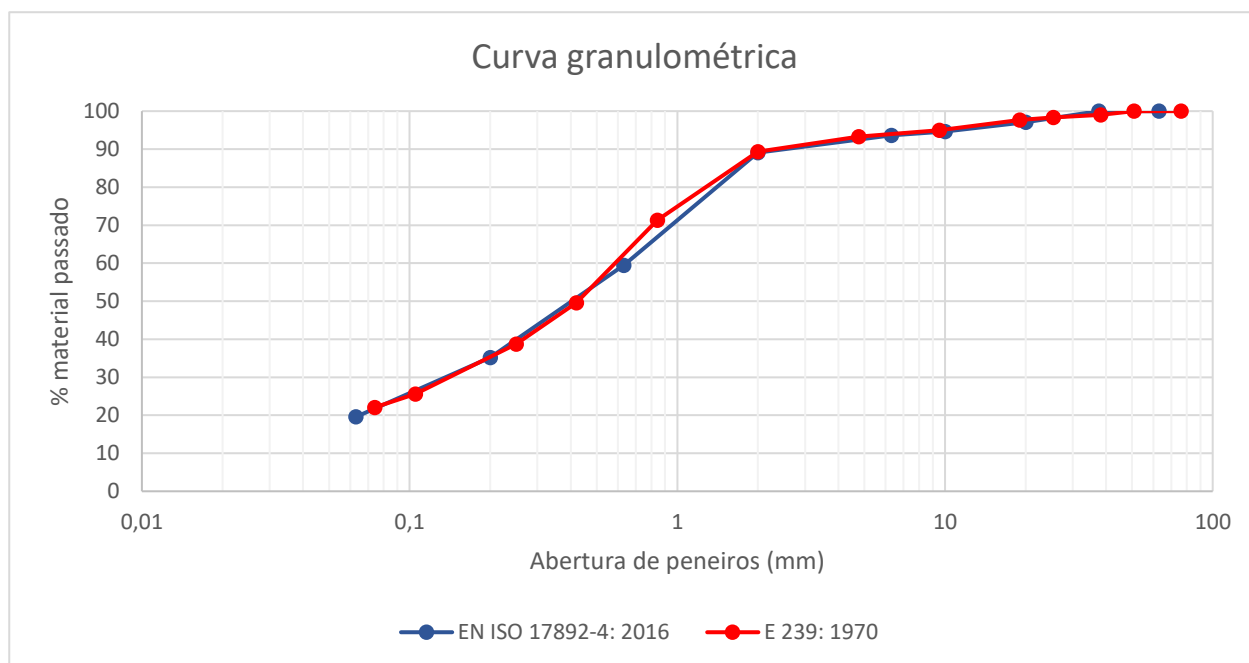


Gráfico 5.5 – Curvas médias obtidas por peneiração.

A observação do Gráfico 5.5 permite verificar que as curvas granulométricas ficam praticamente sobrepostas, o que revela a inexistência de diferenças significativas nos resultados obtidos com a aplicação dos métodos de peneiração preconizados por ambas as normas.

Poderá então concluir-se que, apesar de haver algumas diferenças na metodologia e se utilizarem peneiros com diferentes aberturas, não ocorrem diferenças significativas no resultado final.

Os testes de repetibilidade para a E 239: 1970 estão apresentados na Tabela 5.17 e referem-se ao peneiro de abertura 0,420 mm, por ser o que apresenta valores mais desfavoráveis, e aos peneiros de abertura 25, 19 e 4,76 mm por serem os que apresentam valores mais favoráveis.

Tabela 5.17 – Resultados obtidos no teste de repetibilidade para a E 239: 1970.

		<b>Peneiro de abertura 0,420 mm</b>	<b>Peneiros de abertura 25, 19 e 4,76 mm</b>
<b>Ensaio 1</b>	<b>Y<sub>1</sub></b>	47 %	93 %
<b>Ensaio 2</b>	<b>Y<sub>2</sub></b>	52 %	94 %
<b>Ensaio 3</b>	<b>Y<sub>3</sub></b>	50 %	93 %
<b>Média</b>	<b>Y</b>	50 %	93 %
<b>Desvio padrão</b>	<b>s</b>	2,52 %	0,58 %
<b>Variância de repetibilidade</b>	<b>s<sub>r</sub><sup>2</sup></b>	6,3333 %	0,3333 %
<b>Coef. de variação de repetibilidade</b>	<b>CV<sub>r</sub></b>	0,0507	0,0062
<b>Limite de repetibilidade</b>	<b>r</b>	7,12 %	1,63 %

Os testes de repetibilidade para a EN ISO 17892-4: 2016 estão apresentados na Tabela 5.18 e referem-se ao peneiro de abertura 2,00 mm, por ser o que apresenta valores mais desfavoráveis, e ao peneiro de abertura 0,063 mm, por ser o que apresenta valores mais favoráveis.

Tabela 5.18 - Resultados obtidos no teste de repetibilidade pela EN ISO 17892-4: 2016.

		Peneiro de abertura 2,00 mm	Peneiro de abertura 0,063 mm
Ensaio 1	Y <sub>1</sub>	86 %	20 %
Ensaio 2	Y <sub>2</sub>	87 %	19 %
Ensaio 3	Y <sub>3</sub>	94 %	20 %
Média	Y	89 %	20 %
Desvio padrão	s	4,36 %	0,58 %
Variância de repetibilidade	s <sup>2</sup>	19,0000 %	0,3333 %
Coef. de variação de repetibilidade	CV <sub>r</sub>	0,0490	0,0294
Limite de repetibilidade	r	12,34 %	1,63 %

Na impossibilidade de obter normas ou documentos com referência de valores limites de testes de repetibilidade, não foi possível tirar conclusões sobre os resultados obtidos. No entanto, pode-se observar pela Tabela 5.17 e Tabela 5.18 que para o peneiro mais desfavorável, a norma recente apresenta valores mais elevados e para o mais favorável os resultados são iguais.

B. Método de sedimentação:

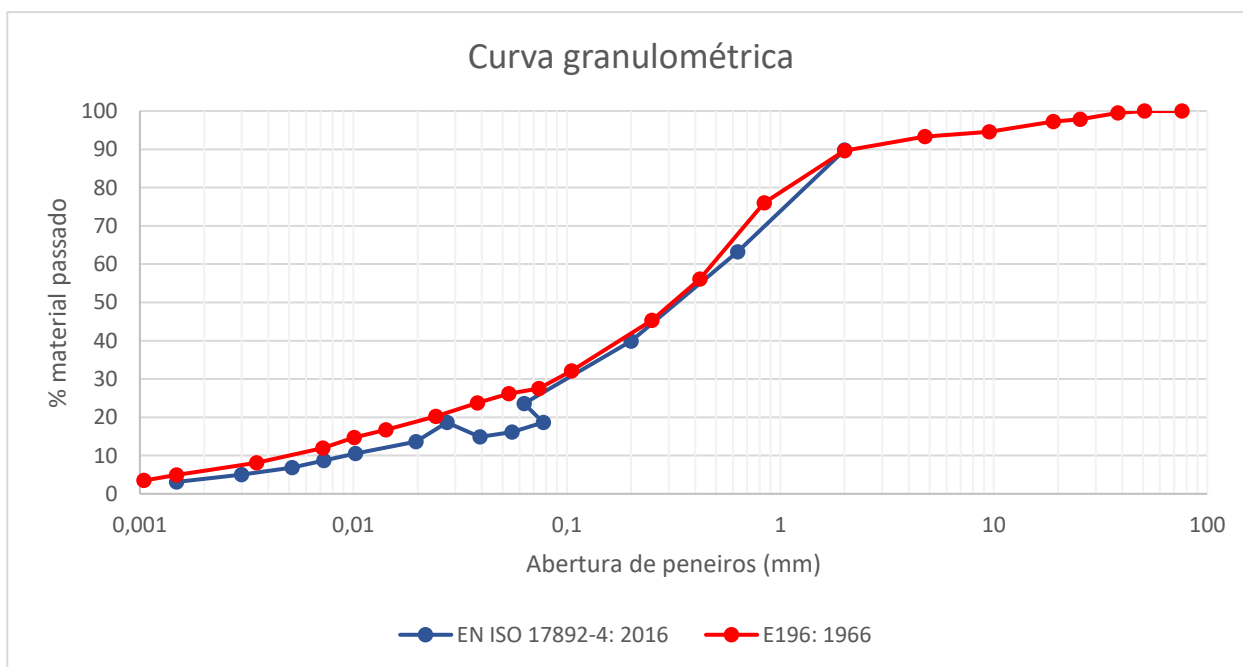


Gráfico 5.6 – Curvas médias obtidas pelos métodos de peneiração e sedimentação.

Da observação dos resultados sintetizados no Gráfico 5.6, constata-se que na realização do ensaio de sedimentação pela EN ISO 17892-4: 2016, a curva granulométrica obtida não apresenta continuidade entre o peneiro de abertura 0,063 mm e o diâmetro equivalente da partícula imediatamente a seguir a

este peneiro obtido no processo de sedimentação. Esta transição anómala, entre os resultados obtidos pelo método de peneiração e o método de sedimentação pode ter sido originado pelo densímetro utilizado aquando do ensaio de sedimentação não apresentar as características exigidas pela EN ISO 17892-4: 2016. Ao longo do estágio tentou-se obter um densímetro com as características exigidas, pedindo a fornecedores e a outros laboratórios, mas não foi, de todo, possível resolver o problema, o que não permitiu realizar o ensaio com o densímetro proposto pela norma, tendo-se optado por não ensaiar para os outros dois provetes.

A deficiente transição entre a fase de peneiração e a fase de sedimentação dificulta a comparação dos resultados obtidos, no entanto, é possível verificar que excluindo esta zona anómala, as curvas se encontram muito próximas, sendo quase coincidentes em algumas zonas.

Não foi possível avaliar a repetibilidade no ensaio de sedimentação porque as dimensões das partículas inferiores a 0,074 mm não são iguais para os três provetes ensaiados, o que é inerente ao método. O mesmo acontece para a normalização recente referente a partículas com dimensões inferiores a 0,063 mm.



## CAPÍTULO 6

### LIMITES DE CONSISTÊNCIA

Tal como referido em 2.4.4, a determinação dos limites de consistência é realizada com recurso à norma portuguesa NP-143: 1969 e à ISO/FDIS 17892-12: 2018.

De acordo com a NP-143: 1966, a preparação da amostra para determinar os limites de consistência é realizada pela especificação LNEC E 195: 1966, já anteriormente apresentada no Capítulo 5, quando da preparação das amostras para o ensaio granulométrico.

A NP-143: 1969 descreve as metodologias para determinação do limite de liquidez pela concha de Casagrande, do limite de plasticidade e do limite de retração. Neste trabalho, apenas serão abordados os limites de liquidez e de plasticidade.

A ISO/FDIS 17892-12: 2018 apresenta as metodologias para determinação do limite de liquidez, quer pelo método da concha de Casagrande, quer pelo método do cone, apresentando, também a metodologia de ensaio para determinar o limite de plasticidade.

#### **6.1 DETERMINAÇÃO DO LIMITE DE LIQUIDEZ DE ACORDO COM A NP-143: 1969**

No presente item é feita a apresentação dos pontos mais relevantes no que respeita a equipamentos, preparação do provete a ensaiar e execução do ensaio.

##### **6.1.1 Equipamentos**

A aplicação da NP-143: 1969 pressupõe a disponibilidade dos seguintes equipamentos:

- a) Concha de Casagrande e riscador;
- b) Peneiro da série ASTM de malha quadrada de abertura 0,420 mm;
- c) Material diverso: almofariz e pilão, cápsula de porcelana ou recipiente de vidro com cerca de 10 cm de diâmetro, espátula, equipamentos necessários para determinar o teor em água (ver norma NP 84).

### 6.1.2 Metodologia de ensaio

A preparação da amostra de solo para os limites de consistência é realizada segundo a especificação LNEC E 195: 1966 com base nos seguintes critérios:

- a) A amostra de solo deve ser bem seca ao ar, e os torrões devem ser desagregados cuidadosamente;
- b) Selecionar, por esquartelamento ou uso de um repartidor, uma amostra representativa;
- c) Pesar a amostra selecionada e registar o valor como a massa total da amostra ( $m'_t$ );
- d) Separar a amostra para ensaio em duas porções pelo peneiro de 2,00 mm de abertura e desagregar a fração retida. Voltar a separar em duas frações por intermédio do mesmo peneiro. Lavar a fração retida no peneiro de 2,00 mm depois da segunda peneiração, secar na estufa e pesar. Registar o valor como a massa do material grosso ( $m_{10}$ );
- e) Separar pelo peneiro de 0,420 mm o material que passa no peneiro de 2,00 mm. Desagregar cuidadosamente os torrões do material retido no peneiro de 0,420 mm. Separar em duas frações pelo peneiro de 0,420 mm o solo desagregado;
- f) Do material passado no peneiro 0,420 mm, são necessárias 100 g para a determinação do limite de liquidez.

O provete de ensaio deve ser preparado da seguinte forma:

- a) Tomar 100 g de material passado pelo peneiro 0,420 mm e juntar água destilada. Amassar com a espátula até forma uma pasta homogénea e consistente;
- b) Preparar mais três provetes por adição de novas quantidades de água destilada à pasta anteriormente obtida, de forma a torna-la mais fluída.

A execução do ensaio considera a seguinte realização sequencial:

- a) Regular a altura de queda da concha com o auxílio do calibre. A manivela da concha de Casagrande quando acionada deve dar 30 voltas em 15 s. Verificar se a concha de Casagrande está limpa e se cai livremente sem demasiadas folgas;
- b) Tomar uma porção da pasta anteriormente preparada e colocar na concha de modo que se obtenha uma camada com uma espessura máxima de 1 cm e com a superfície nivelada. Fazer um sulco na camada com auxílio do riscador, deslocando-o segundo o diâmetro da concha, e no sentido normal ao eixo;
- c) Acionar a manivela, à razão de duas voltas por segundo, até que as duas porções inferiores do sulco entrem em contacto numa extensão de cerca de 1 cm. Anotar o número de pancadas;

- d) Retirar com a espátula, cerca de 10 g do provete da zona do sulco em que se deu a união e determinar o seu teor em água;
- e) Repetir para outros três provetes as operações indicadas anteriormente.

## **6.2 DETERMINAÇÃO DO LIMITE DE PLASTICIDADE DE ACORDO COM A NP-143: 1969**

Seguidamente, serão apresentados os aspetos mais relevantes no que respeita a equipamentos, preparação das amostras e procedimento de ensaio.

### **6.2.1 Equipamentos**

A aplicação da NP-143: 1969 pressupõe a disponibilidade dos seguintes equipamentos:

- a) Almofariz e pilão;
- b) Peneiro da série ASTM de malha quadrada de abertura 0,420 mm;
- c) Placa de vidro plana;
- d) Espátula;
- e) Equipamentos necessários para determinar o teor em água (ver norma NP 84).

### **6.2.2 Metodologia de ensaio**

A preparação geral da amostra para executar os ensaios é realizada segundo a especificação LNEC E 195: 1966 como mencionado em 6.1.2 com exceção da quantidade de material passado no peneiro 0,420 mm, que altera para 15 g para a determinação do limite de plasticidade.

O provete de ensaio é preparado da seguinte forma:

- a) Do material que passou no peneiro 0,420 mm, tomar 15 a 20 g e juntar água destilada. Amassar com a espátula até formar uma pasta suficientemente plástica para conseguir moldar quatro pequenas esferas de diâmetros equivalentes.

O procedimento de ensaio deve corresponder à seguinte metodologia:

- a) Rolar uma das esferas entre a palma da mão e a placa de vidro, até formar um filamento cilíndrico de diâmetro, aproximadamente, de 3 mm. Quando atingir este diâmetro, voltar a formar uma esfera e rolá-la de novo;

- b) Continuar com estas operações até que se dê a rotura do filamento quando atinge os 3 mm devido à progressiva secagem do provete. Os filamentos resultantes da rotura devem ser colocados num recipiente e determinado o seu teor em água;
- c) Repetir para os outros três provetes as operações indicadas anteriormente.

### **6.3 DETERMINAÇÃO DO LIMITE DE LIQUIDEZ DE ACORDO COM A ISO/FDIS 17892-12: 2018**

Nos pontos seguintes, serão apresentados os aspetos mais relevantes no que respeita a equipamentos, preparação dos provetes a ensaiar e procedimento de ensaio.

Este subcapítulo contempla a descrição dos ensaios do limite de liquidez pelo método do cone e pelo método da concha de Casagrande. A sequência apresentada para a preparação dos provetes de ensaio é a utilizada para os dois métodos em estudo.

#### **6.3.1 Equipamentos**

A aplicação da ISO/FDIS 17892-12: 2018 pressupõe a disponibilidade dos seguintes equipamentos:

- a) Balança com exatidão de 0,01 g ou 0,1 % da massa pesada;
- b) Espátula;
- c) Água destilada;
- d) Cone de penetração;
- e) Concha de Casagrande e riscador;
- f) Material diverso: garrafa de esguicho, recipientes para provetes, peneiros, dispositivos para medição do tempo.

#### **6.3.2 Metodologia de ensaio**

A preparação dos provetes de ensaio corresponde à seguinte sequência:

- a) O solo não deve ser seco antes do ensaio;
- b) Tomar 200 g de material com dimensão inferior a 0,4 mm;
- c) Se a amostra não incluir material maior que 0,4 mm, passar para o ponto h). Se a amostra incluir material com dimensão superior a 0,4 mm, este deve ser excluído como referido de d) a g);
- d) Determinar o teor em água de um provete representativo da amostra original de acordo com a EN ISO 17892-1: 2014. Registrar o valor ( $w$ );

- e) Pesar a amostra de solo de modo a garantir 200 g de material com dimensão inferior a 0,4 mm. Registrar o valor ( $m_1$ );
- f) Se existirem partículas com dimensão superior a 0,4 mm em pequena quantidade, estas devem ser removidas manualmente, secas a 105 a 110 °C e pesadas. Registrar o valor ( $m_r$ );
- g) Se não for possível remover manualmente, as partículas devem ser removidas por um método de peneiração húmida:
- Colocar o provete num recipiente e adicionar água destilada até cobrir o provete e mexer até formar uma pasta;
  - Transferir a pasta para o peneiro de abertura 0,4 mm (ou o equivalente mais próximo). Lavar o material retido com água destilada até esta sair límpida. O material que passou no peneiro durante a lavagem deve ser recolhido;
  - Secar entre 105 a 110 °C o material retido no peneiro 0,4 mm e pesar. Registrar o valor ( $m_r$ );
  - A restante suspensão pode ser parcialmente seca a não mais de 50 °C até formar uma pasta firme;
- h) Modelar o provete, adicionando ou removendo água, para ajustar a consistência da pasta.

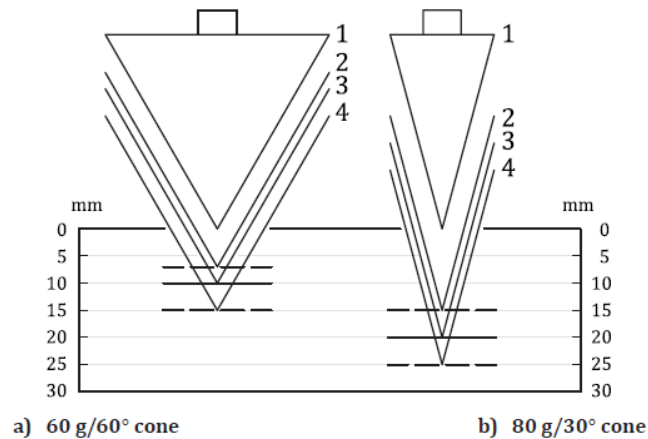
A. Método do cone:

Para o método do cone, a execução do ensaio compreende a seguinte sequência:

- a) Colocar porções da pasta modelada no copo limpo e seco com auxílio de uma espátula. Retirar o excesso de forma a obter-se a uma superfície lisa e nivelada;
- b) Bloquear o cone na posição “levantada”. Baixar o cone até que a ponta deste apenas toque na superfície do solo;
- c) Bloquear o cone na posição anterior e zerar o dispositivo ou registar a posição inicial do cone, o mais próximo de 0,1 mm;
- d) Soltar o cone de penetração e deixar assentar por um período de  $5s \pm 1s$ . Registrar a profundidade o mais próximo de 0,1 mm;
- e) Calcular a profundidade de penetração do cone como a diferença entre o valor inicial e final. Verificar se o valor obtido está de acordo com a Tabela 6.1 e a Figura 6.1;

Tabela 6.1 - Requisitos do cone de penetração. [23]

Tipo de cone	60 g / 60 °	80 g / 30 °
Faixa de penetração admissível do cone	7 to 15 mm	15 to 25 mm
Limite de liquidez (LL) determinado a uma profundidade de penetração de	10 mm	20 mm
Máxima diferença entre duas leituras sucessivas	0,4 mm	0,5 mm



- Key
- 1 initial position before fall
  - 2 minimum penetration
  - 3 penetration corresponding to  $w_L$
  - 4 maximum penetration

Figura 6.1 – Faixas de penetração do cone no teste do limite de liquidez. [23]

- f) Se a penetração não respeitar o intervalo definido, o ensaio deve ser repetido desde o ponto i) da preparação do provete de ensaio, adicionando ou removendo água se necessário. Se a profundidade de penetração respeitar os valores, deve-se subir o cone e limpá-lo;
- g) Adicionar mais massa ao copo, nivelar a superfície e repetir o ensaio de c) a f) até que a diferença entre duas leituras sucessivas seja inferior aos valores indicados na Tabela 6.1;
- h) Retirar com a espátula, cerca de 15 g da pasta na zona penetrada pelo cone e determinar o teor em água de acordo com a EN ISO 17892-1: 2014 (pode ser usada uma massa menor);
- i) Retirar o resto da pasta do copo e juntar à pasta previamente modelada. Ajustar o teor em água e remexer a amostra;
- j) Repetir os passos anteriores para pelo menos quatro pontos com diferentes teores em água. Os quatro pontos devem estar dentro dos valores da Tabela 6.1 e com, pelo menos, um ponto acima e outro abaixo da profundidade de penetração correspondente ao limite de liquidez;

- k) Se for realizado o teste para um ponto, a penetração deve ser repetida pelo menos uma vez e as medições de penetração devem estar dentro dos intervalos da Tabela 6.1. Fazer a determinação separada do teor em água para cada penetração. Se estes teores em água diferirem em mais de 5%, o ensaio deve ser repetido.

B. Método da concha de Casagrande:

Para o método da concha de Casagrande, a execução do ensaio compreende a seguinte sequência:

- a) Colocar o aparelho da concha de Casagrande numa superfície sólida e nivelada;
- b) Adicionar pasta à concha com uma espátula. Pressionar o solo na concha e espalhar até uma profundidade de 10 mm no ponto mais profundo. Remover o excesso de solo;
- c) Ranhurar o provete com o riscador num movimento perpendicular à concha, expondo a base da concha;
- d) Levantar e soltar a concha à razão de duas rotações por segundo. Contar o número de pancadas enquanto se observa a ranhura. Parar as rotações quando a ranhura unir 10 mm. Anotar o número de pancadas;
- e) Verificar o número de pancadas na Tabela 6.2. Se os valores não se encontrarem nos limites da tabela, repetir a preparação dos provetes a partir do ponto i) adicionando ou removendo água e repetir o método da concha de Casagrande;

Tabela 6.2 - Requisitos do teste de Casagrande. [23]

	<b>Número de pancadas</b>
Faixa de rotações	15 a 40
Número de rotações para determinar o limite de liquidez (LL)	25
Máxima diferença entre duas leituras sucessivas para o ensaio de um ponto	2

- f) Retirar com a espátula, cerca de 15 g do provete da zona em que ocorreu a união do solo e determinar o teor em água de acordo com a EN ISO 17892-1: 2014 (pode ser usada uma massa menor);
- g) Remover a pasta que ficou na concha e juntar à pasta inicial. Ajustar o teor em água em pequena quantidade e misturar bem;
- h) Repetir de a) a h) para pelo menos quatro pontos com diferentes teores em água, limpando e secando a concha entre cada ensaio. Os quatro pontos devem estar dentro dos valores da Tabela 6.2 e pelo menos um ponto abaixo e outro acima das 25 rotações;

- i) Se for realizado o teste para um ponto, a contagem do número de rotações deve ser repetida pelo menos uma vez. O provete deve ser removido da concha e remodelado entre os testes. O número de rotações para duas ou mais determinações devem estar de acordo com a Tabela 6.2. Se os teores em água para as diferentes determinações diferirem em mais de 5%, o ensaio deve ser repetido.

## **6.4 DETERMINAÇÃO DO LIMITE DE PLASTICIDADE DE ACORDO COM A ISO/FDIS 17892-12: 2018**

### **6.4.1 Equipamentos**

A aplicação da ISO/FDIS 17892-12: 2018 pressupõe a disponibilidade dos seguintes equipamentos:

- a) Balança com exatidão de 0,01 g ou 0,1 % da massa pesada;
- b) Peneiros;
- c) Placa de vidro;
- d) Material diverso: recipientes para os provetes, espátula e garrafa de esguicho;
- e) Água destilada.

### **6.4.2 Metodologia de ensaio**

A preparação dos provetes de ensaio é realizada como mencionado em 6.3.2.

O procedimento de ensaio compreende as seguintes etapas:

- a) Tomar 15 a 20 g da pasta preparada e colocar na placa de vidro. Deixar secar a pasta na placa até se tornar suficientemente plástica para poder ser moldada. Pode ser seca ao ar ou sob uma corrente suave de ar quente;
- b) Moldar uma esfera e rolar entre a palma da mão até o calor das mãos secar o solo. Dividir a esfera em duas porções de massa aproximadamente igual;
- c) Dividir uma das porções em três sub-porções. Moldar cada sub-porção num filamento de 6 mm de diâmetro. Colocar o filamento na placa e rolar suavemente entre os dedos e a placa até obter um diâmetro de aproximadamente de 3 mm;
- d) Repetir o passo c) até o filamento se desintegrar. Colocar os pedaços do filamento num recipiente e colocar uma tampa;

- e) Repetir de c) a d) para as outras duas sub-porções. Colocar os pedaços dos filamentos das três sub-porções no mesmo recipiente e determinar o teor em água de acordo a EN ISO 17892-1: 2014;
- f) Repetir de c) a e) para a segunda porção;
- g) Se não for possível criar filamentos com 3 mm de diâmetro, a amostra deve ser considerada não plástica.

## 6.5 ANÁLISE COMPARATIVA

Seguidamente, será descrita a comparação entre as normas supracitadas no que respeita a equipamentos, preparação do provete e execução do ensaio.

### 6.5.1 Equipamentos

Para os limites de liquidez e plasticidade a comparação entre os equipamentos utilizados pelas normas em estudo serão apresentados seguidamente.

#### A. Limite de liquidez:

A principal diferença entre as duas normas para a determinação do limite de liquidez são os equipamentos a utilizar. A norma recente permite determinar o limite de liquidez pela utilização de um cone de penetração e pela concha de Casagrande. A norma portuguesa apenas descreve o método da concha de Casagrande.

Na Tabela 6.3, seguidamente apresentada, são comparados os equipamentos preconizados e apresentados os investimentos que são necessários realizar pelos laboratórios para se adaptarem à nova normalização.

Tabela 6.3 – Equipamentos utilizados e investimentos a realizar.

Designação	Exigências normativas		Investimentos necessários	
	NP-143: 1969	ISO/FDIS 17892 – 12: 2018		
Balança	Limite de erro:	Não exigido	Com exatidão de leitura de 0,01 g ou 0,1% da massa pesada	Nenhum.
Estufa	105 a 110°C		105 a 110°C	Nenhum.
Exsicador com sílica gel	Sem exigências metrológicas.		Não exigido.	Nenhum.
Almofariz e pilão	O pilão deve ser revestido de borracha.		Não exigido.	Nenhum.
Recipientes para provetes	Cápsulas de porcelana.		Vidro, porcelana ou metais resistentes à corrosão.	Nenhum.
Peneiro de abertura 420 $\mu$ (equivalente mais próximo)	Série ASTM.		ISO 3310-1	Nenhum.
Espátulas	Sem exigências metrológicas.		Sem exigências metrológicas.	Nenhum.
Garrafa de esguicho	Não exigido.		Sem exigências metrológicas.	Necessidade de aquisição.
Concha de Casagrande	Exigências de acordo com o Anexo V.		Exigências de acordo com a Anexo V.	Necessidade de aquisição.
Riscador	Exigências de acordo com o Anexo V.		Exigências de acordo com o Anexo V.	Nenhum.
Cone de penetração	Não exigido.		Exigências de acordo com o Anexo VI.	Necessidade de aquisição.

Analisada a Tabela 6.3 é possível afirmar que os laboratórios irão necessitar de um investimento considerável para se adaptarem à nova norma dos limites de consistência. Este investimento incide, essencialmente, na aquisição de uma nova concha de Casagrande e do cone de penetração.

No Anexo V, são apresentadas as dimensões e características das conchas de Casagrande e dos riscadores preconizados pelas normas NP-143: 1966 e ISO/FDIS 17892-12: 2018 e as tolerâncias admitidas na verificação destes mesmos equipamentos. Também são apresentadas em anexo as dimensões, as características e as tolerâncias admitidas nas verificações relativas ao cone de penetração segunda a e ISO/FDIS 17892-12: 2018.

B. Limite de plasticidade

Na Tabela 6.4, seguidamente apresentada, são comparados os equipamentos preconizados e apresentados os investimentos que são necessários realizar pelos laboratórios para se adaptarem à nova normalização.

Tabela 6.4 – Equipamentos utilizados e investimentos a realizar.

Designação	Exigências normativas		Investimentos necessários
	NP-143: 1969	ISO/FDIS 17892 – 12: 2018	
Balança	Limite de erro: Não exigido	Com exatidão de leitura de 0,01 g ou 0,1% da massa pesada	Nenhum.
Estufa	105 a 110°C	105 a 110°C	Nenhum.
Exsicador com sílica gel	Sem exigências metrológicas.	Não exigido.	Nenhum.
Almofariz e pilão	Sem exigências metrológicas.	Não exigido.	Nenhum.
Recipientes para provetes	Cápsulas de porcelana.	Vidro, porcelana ou metais resistentes à corrosão.	Nenhum.
Peneiro de abertura 420 $\mu$ (equivalente mais próximo)	Série ASTM.	ISO 3310-1	Nenhum.
Espátulas	Sem exigências metrológicas.	Sem exigências metrológicas.	Nenhum.
Garrafa de esguicho	Não exigido.	Sem exigências metrológicas.	Necessidade de aquisição.
Placa de vidro.	Placa plana.	Plana, limpa e lisa. Deve ter 10 mm de espessura e 300 mm de comprimento.	Necessidade de aquisição.
Medidor (vara)	Não exigido.	Com diâmetro entre 3 e 3,5 mm.	Necessidade de aquisição.

Realizada a comparação dos equipamentos entre as normas estudadas, é possível afirmar que os laboratórios praticamente não irão necessitar de investimento para se adaptarem à nova norma dos limites de plasticidade, como se pode verificar o investimento consta, essencialmente, na aquisição de uma nova placa de vidro.

## 6.5.2 Metodologia de ensaio

A. Limite de liquidez:

As diferenças na preparação dos provetes de ensaio entre as duas normas em estudo são:

- a) A norma portuguesa (NP-143: 1969) refere que são necessárias 100 g de material que passe no peneiro 0,420 mm. A norma recente altera esta quantidade para 200 g;
- b) A ISO/FDIS 17892-12: 2018 refere que o material com dimensões superiores a 0,4 mm não deve ser excluído e deve ser determinado o teor em água de um provete representativo da amostra original. Este material deve ser lavado e pesado. A norma portuguesa refere que os solos arenosos devem ser excluídos porque o ensaio perde significado;
- c) Entre as duas normas, o tempo de amassadura e tempo em que o provete deve estar em equilíbrio com água difere, uma vez que:
  - A norma antiga estabelece um tempo de amassadura de, pelo menos, 5 minutos de cada vez que se adiciona água ao provete;
  - A norma recente refere que se for necessário adicionar uma quantidade significativa de água para obter a consistência desejada, o provete deve estar no mínimo 4 horas em equilíbrio com a água.

As diferenças entre os procedimentos de ensaio incidem essencialmente em:

- a) Pelo método da concha de Casagrande, a norma antiga refere que o teor em água deve ser determinado para, pelo menos, 10 g da zona de união do solo após as pancadas. A norma recente altera esta massa para, pelo menos, 15 g;
- b) O número de pancadas pela norma antiga pode variar entre 10 e 40, enquanto pela norma recente entre 15 e 40;

O limite de liquidez determinado pelo método do cone não pode ser comparado, uma vez que este método apenas é preconizado pela norma recente.

B. Limite de plasticidade:

A preparação dos provetes de ensaio entre as normas em estudo não sofre alterações.

O procedimento de ensaio regista a seguinte mudança:

- a) Pela norma antiga, cada esfera deve ser transformada num filamento cilíndrico até atingir os 3 mm de diâmetro. Pela norma recente, a esfera deve ser dividida em duas porções de massa aproximadamente igual, cada porção deve ser dividida em 3 sub-porções e cada sub-porção deve ser transformada no filamento cilíndrico com aproximadamente 3 mm de diâmetro.

## 6.6 APRESENTAÇÃO DE RESULTADOS

Este subcapítulo referente à apresentação dos resultados dos limites de consistência encontra-se dividido pelas normas em estudo, norma portuguesa NP-143: 1966 e EN ISO 17892-4: 2016. Em cada divisão são apresentados os valores dos limites de liquidez, dos limites de plasticidade e o índice de plasticidade.

### A. NP-143: 1969

Para o Solo 1 não são apresentados resultados porque não foi possível determinar o limite de liquidez devido ao solo ser constituído essencialmente por areias. O material é considerado não plástico (NP).

Na Tabela 6.5 e no Gráfico 6.1 apresentam-se os resultados obtidos durante o ensaio para a determinação do limite de liquidez do Solo 2.

Tabela 6.5 - Resultados obtidos durante o ensaio do limite de liquidez pela NP – 143: 1969.

	Proвете	1	2	3	4
Ensaio 1	Número de pancadas	38	29	21	17
	Teor em água (%)	57,3	61,8	64,4	68,3
	<b>LL - Limite de liquidez (%)</b>	<b>63</b>			
Ensaio 2	Número de pancadas	32	27	23	17
	Teor em água (%)	57,9	60,1	61,5	64,7
	<b>LL - Limite de liquidez (%)</b>	<b>61</b>			
Ensaio 3	Número de pancadas	30	26	20	17
	Teor em água (%)	55,8	57,1	61,1	64,7
	<b>LL - Limite de liquidez (%)</b>	<b>58</b>			

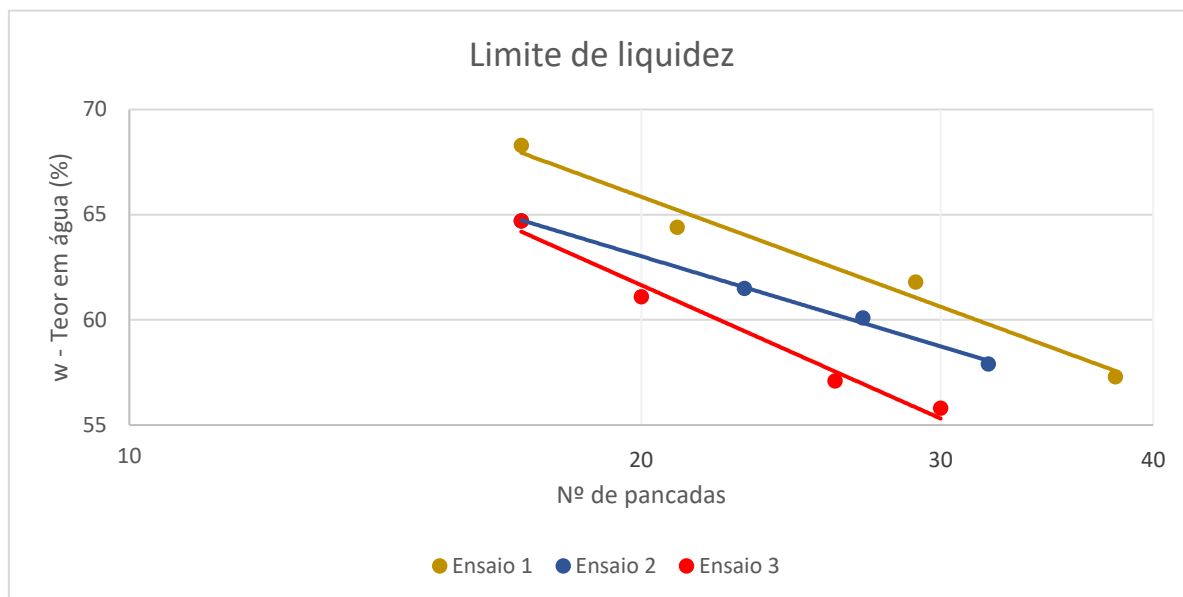


Gráfico 6.1 - Gráficos para determinação do limite de liquidez.

Assim como para o limite de liquidez, também para o limite de plasticidade não são apresentados resultados para o Solo 1 devido à sua constituição.

Na Tabela 6.6 apresentam-se os resultados obtidos durante o ensaio para a determinação do limite de plasticidade do Solo 2.

Tabela 6.6 - Resultados obtidos durante o ensaio do limite de plasticidade pela NP – 143: 1969.

	Provete	1	2	3	4
Ensaio 1	Teor em água (%)	16,6	17,5	18,8	21,1
	<b>LP - Limite de plasticidade (%)</b>	<b>19</b>			
Ensaio 2	Teor em água (%)	17,2	17,5	18,7	17,7
	<b>LP - Limite de plasticidade (%)</b>	<b>18</b>			
Ensaio 3	Teor em água (%)	19,4	18,7	18,3	21,0
	<b>LP - Limite de plasticidade (%)</b>	<b>19</b>			

B. ISO/FDIS 17892-12: 2018

1. Limite de liquidez – Método da concha de Casagrande:

Para o Solo 1 não foi possível determinar o limite de liquidez pelo método da Concha de Casagrande devido à sua constituição. Na Tabela 6.7 são apresentados os dados relativos à parte inicial da preparação do provete, designadamente, a massa do provete a usar no ensaio, o teor em água (w) da fração com dimensão superior a 0,4 mm e a percentagem de material com dimensão inferior a 0,4 mm (k). Após a

realização do ensaio 1, conclui-se que como não era possível determinar o limite de liquidez e que não faria sentido a realização dos outros dois ensaios para o mesmo solo. Na Figura 6.2 observam-se alguns passos da execução do ensaio.

Tabela 6.7 – Dados da amostra do Solo 1.

		Ensaio 1
$m_1$ : massa do provete	(g)	221,0
$m_r$ : massa retida no peneiro 0,4 mm	(g)	193,00
$m_c$ : massa do recipiente (e tampa se utilizada)	(g)	1272,4
$m_3$ : massa do recipiente (e tampa se utilizada) e do provete húmido	(g)	1839,6
$m_4$ : massa do recipiente (e tampa se utilizada) e do provete seco	(g)	1838,1
w: teor em água	(%)	0,3
k: percentagem de material inferior a 0,4 mm	(%)	12



a) Fissuras após a realização da ranhura.



b) União do solo após 6 pancadas.

Figura 6.2 - Equipamento e execução do ensaio do limite de liquidez para o Solo 1.

Na Tabela 6.8 e no Gráfico 6.2 apresentam-se os resultados obtidos durante o ensaio para a determinação do limite de liquidez pelo método da concha de Casagrande para o Solo 2. Na Figura 6.3 apresentam-se alguns passos para a execução do ensaio.

Tabela 6.8 - Resultados obtidos durante o ensaio do limite de liquidez pela ISO/FDIS 17892 – 12: 2018.

Provete		1	2	3	4
Ensaio 1	Número de pancadas	37	29	23	19
	Teor em água (%)	54,6	58,1	60,3	65,7
	<b>LL - Limite de liquidez (%)</b>	<b>60</b>			
Ensaio 2	Número de pancadas	33	27	18	16
	Teor em água (%)	61,3	62,8	65,9	66,7
	<b>LL - Limite de liquidez (%)</b>	<b>63</b>			
Ensaio 3	Número de pancadas	35	28	22	18
	Teor em água (%)	55,6	59,5	63,7	67,5
	<b>LL - Limite de liquidez (%)</b>	<b>62</b>			

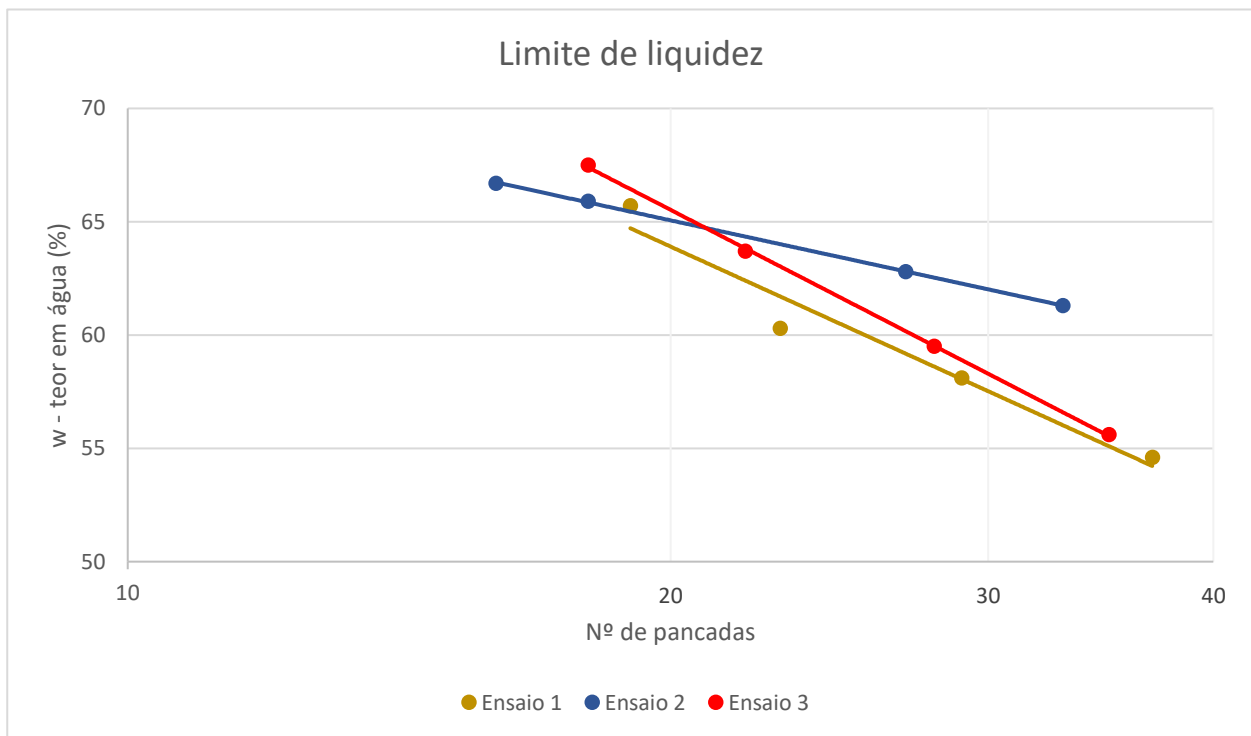


Gráfico 6.2 - Gráficos para determinação do limite de liquidez pelo método da concha de Casagrande.



a) Solo.



b) Solo e concha de Casagrande.



c) União de 1cm do solo.



d) Solo para determinar o limite de liquidez.

Figura 6.3 - Equipamentos e execução do ensaio dos limites de liquidez para o Solo 2.

A norma ISO/FDIS 17892-12: 2018 estabelece que o resultado final deve ser acompanhado de uma validação. Esta validação considera que se um ponto do teor em água diferir em mais de 5% relativamente à reta, este ponto deve ser omitido da regressão. Se os restantes três pontos não apresentarem uma indicação do limite líquido satisfatória, o teste deve ser repetido. Na Tabela 6.9 estão apresentadas as validações determinadas. Como é possível verificar, todos os pontos obtidos satisfazem o critério de validação, pelo que não foi necessário nem proceder à omissão de nenhum dos valores, nem repetir o ensaio.

Tabela 6.9 – Resultados das validações para o método da concha de Casagrande.

<b>Ensaio 1</b>		<b>Equação da reta: <math>y = -15,74\ln(x) + 111,05</math></b>	
Nº de pancadas	Teor em água (%)	Teor em água interpolado na reta (%)	Validação (%)
37	54,6	54,2	-1
29	58,1	58,0	0
23	60,3	61,7	2
19	65,7	64,7	-2
<b>Ensaio 2</b>		<b>Equação da reta: <math>y = -7,509\ln(x) + 87,555</math></b>	
Nº de pancadas	Teor em água (%)	Teor em água interpolado na reta (%)	Validação (%)
33	61,3	61,3	0
27	62,8	62,8	0
18	65,9	65,9	0
16	66,7	66,7	0
<b>Ensaio 3</b>		<b>Equação da reta: <math>y = -17,83\ln(x) + 118,95</math></b>	
Nº de pancadas	Teor em água (%)	Teor em água interpolado na reta (%)	Validação (%)
35	55,6	55,6	0
28	59,5	59,5	0
22	63,7	63,8	0
18	67,5	67,4	0

## 2. Limite de liquidez – Método do cone:

Na Tabela 6.7 foram apresentados os elementos relativos à preparação do provete para utilizar na determinação dos limites de consistência. Na Tabela 6.10 apresentam-se os resultados obtidos para a determinação do limite de liquidez para o Solo 1 e na Figura 6.4 pode-se observar alguns dos passos da execução do ensaio pelo método do cone para este tipo de solo. Após a análise dos resultados obtidos constatou-se que os valores obtidos para a profundidade de penetração estão fora do intervalo definido pela norma (15 a 25 mm), não sendo, à semelhança do que aconteceu com a concha de Casagrande, possível determinar o limite de liquidez deste solo por este método. O solo foi considerado não plástico (NP) e não se realizaram as repetições para o mesmo solo.

Tabela 6.10 - Resultados obtidos durante o ensaio do limite de liquidez pela ISO/FDIS 17892 – 12: 2018.

Provete		2	4	5	6
Profundidade de penetração (mm)		4,24	7,86	5,78	5,28
Ensaio 1	Teor em água (%)	---	---	27,5	38,6
	<b>LL - Limite de liquidez (%)</b>		<b>Não plástico (NP)</b>		



a) Moldagem do solo no copo.

b) Cone e copo com solo.

c) Penetração do cone e movimento do solo.

Figura 6.4 - Equipamento e execução do ensaio do limite de liquidez para o Solo 1.

Na Tabela 6.11 e no Gráfico 6.3 apresentam-se os resultados obtidos durante o ensaio para a determinação do limite de liquidez pelo método do cone para o solo 2. Na Figura 6.5 apresentam-se alguns passos da execução do ensaio.

Tabela 6.11 - Resultados obtidos durante o ensaio do limite de liquidez pela ISO/FDIS 17892 – 12: 2018.

Provete		1	2	3	4
Profundidade de penetração do cone (mm)		16,05	17,30	20,47	23,37
Ensaio 1	Teor em água (%)	51,0	55,3	58,9	65,7
	<b>LL - Limite de liquidez (%)</b>		<b>59</b>		
Profundidade de penetração do cone (mm)		15,58	17,78	20,54	22,08
Ensaio 2	Teor em água (%)	51,6	56,2	60,3	65,3
	<b>LL - Limite de liquidez (%)</b>		<b>60</b>		
Profundidade de penetração do cone (mm)		16,14	17,38	21,25	22,45
Ensaio 3	Teor em água (%)	52,8	55,1	60,6	65,9
	<b>LL - Limite de liquidez (%)</b>		<b>60</b>		

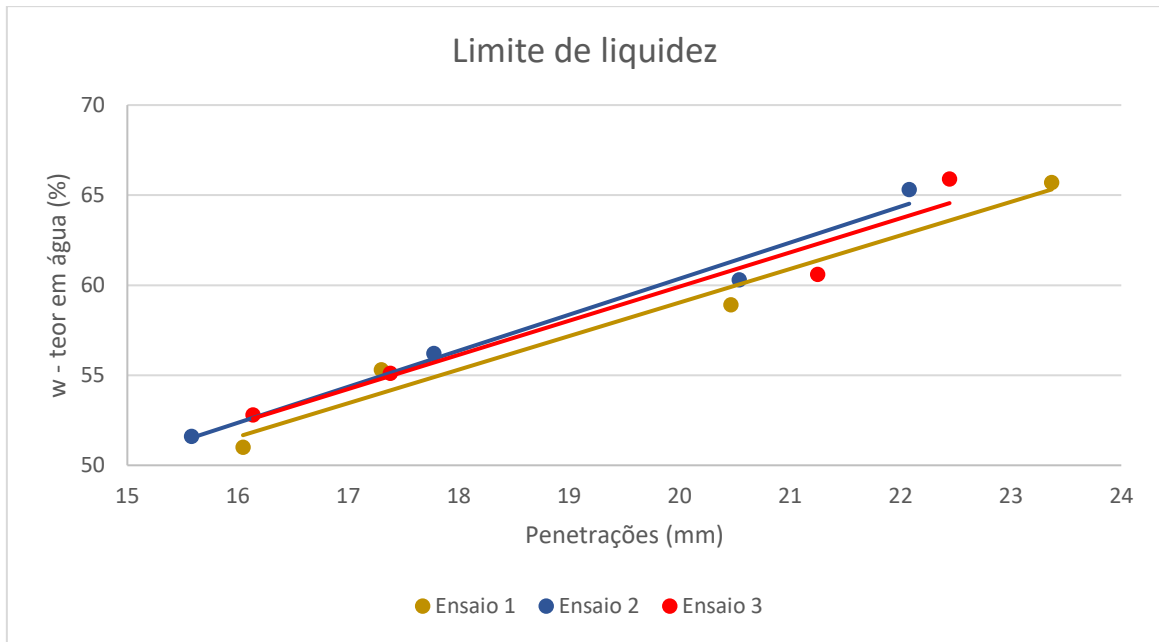
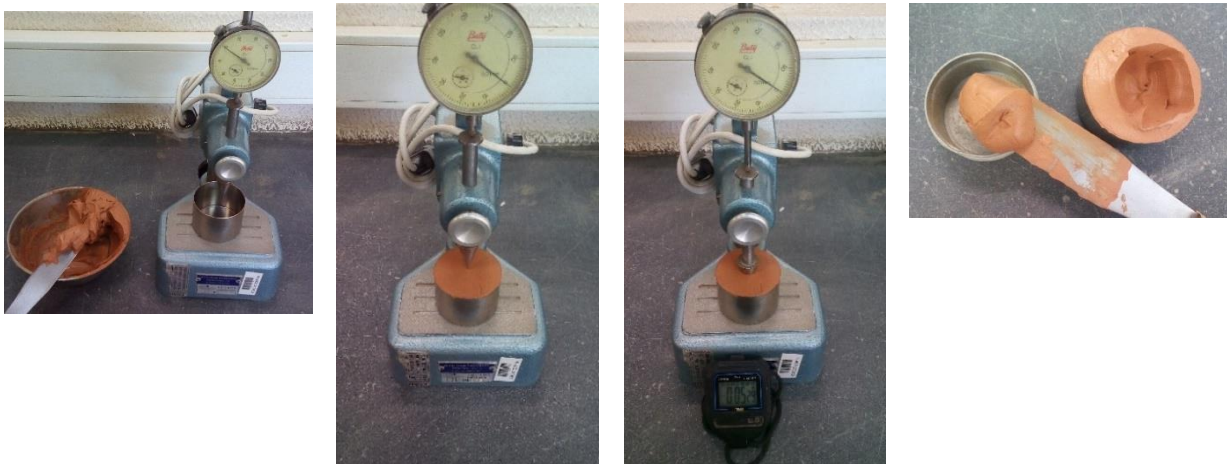


Gráfico 6.3 – Gráficos para determinação do limite de liquidez pelo método do cone.



a) Solo e cone de penetração.

b) Posição inicial do cone.

c) Penetração do cone após 5s ± 1s.

d) Solo para determinar o limite de liquidez.

Figura 6.5 - Equipamento e execução do ensaio do limite de liquidez para o Solo 2.

Assim, como para a determinação do limite de liquidez pelo método da concha de Casagrande, também pelo método do cone a norma estabelece que o resultado final deve ser acompanhado de uma validação. Esta validação tem de respeitar os mesmos critérios já apresentados para a concha de Casagrande e está apresentada na Tabela 6.12. Como é possível verificar, todos os pontos obtidos satisfazem o critério de validação, pelo que não foi necessário nem proceder à omissão de nenhum dos valores, nem repetir o ensaio.

Tabela 6.12 – Resultado das validações para o método do cone.

<b>Ensaio 1</b>	<b>Equação da reta: <math>y = 1,8629x + 21,78</math></b>		
Profundidade de penetração (mm)	Teor em água (%)	Teor em água interpolado na reta (%)	Validação (%)
16,05	51,0	51,7	<b>1</b>
17,30	55,3	54,0	<b>-2</b>
20,47	58,9	59,9	<b>2</b>
23,37	65,7	65,3	<b>-1</b>
<b>Ensaio 2</b>	<b>Equação da reta: <math>y = 2,0007x + 20,349</math></b>		
Profundidade de penetração (mm)	Teor em água (%)	Teor em água interpolado na reta (%)	Validação (%)
15,58	51,6	51,5	<b>0</b>
17,78	56,2	55,9	<b>-1</b>
20,54	60,3	61,4	<b>2</b>
22,08	65,3	64,5	<b>-1</b>
<b>Ensaio 3</b>	<b>Equação da reta: <math>y = 1,896x + 22,001</math></b>		
Profundidade de penetração (mm)	Teor em água (%)	Teor em água interpolado na reta (%)	Validação (%)
16,14	52,8	52,6	<b>0</b>
17,38	55,1	55,0	<b>0</b>
21,25	60,6	62,3	<b>3</b>
22,45	65,9	64,6	<b>-2</b>

### 3. Limite de plasticidade:

Na Tabela 6.7 foram apresentados os elementos relativos à preparação do provete para utilizar na determinação dos limites de consistência do Solo 1. As características de plasticidade do Solo 1 não permitiram, à semelhança do que aconteceu com o limite de liquidez, a determinação do seu limite de plasticidade, como é possível observar na Figura 6.6, houve grande dificuldade em realizar os filamentos de 3 mm, uma vez que o solo desagregava antes de chegar a este diâmetro, o que não permitiu determinar o limite de plasticidade.



a) Moldagem do solo.



b) Filamentos desagregados.

Figura 6.6 - Equipamento e execução do ensaio do limite de plasticidade para o Solo 1.

Na Tabela 6.13 apresentam-se os resultados obtidos durante o ensaio para a determinação do limite de plasticidade do Solo 2. Na Figura 6.7 apresentam-se alguns pormenores da execução do ensaio.

Tabela 6.13 - Resultados obtidos para o ensaio do limite de plasticidade pela ISO/FDIS 17892-12:2018.

Provetes		1	2
Ensaio 1	Teor em água (%)	20,9	19,8
	<b>LP - Limite de plasticidade (%)</b>	<b>20</b>	
Ensaio 2	Teor em água (%)	19,8	20,4
	<b>LP - Limite de plasticidade (%)</b>	<b>20</b>	
Ensaio 3	Teor em água (%)	20,9	19,8
	<b>LP - Limite de plasticidade (%)</b>	<b>20</b>	



a) Moldagem do solo.



b) Esferas de solo com diâmetros equivalentes.



c) Filamento com aproximadamente 3 mm de diâmetro.



d) Pedacos dos filamentos para determinar o limite de plasticidade.

Figura 6.7 - Pormenores da execução do ensaio para determinação dos limites de plasticidade do Solo 2.

Também para o limite de plasticidade o resultado final deve ser acompanhado de uma validação. Esta validação considera que se dois resultados, em valor absoluto, diferirem em mais de 2% para valores de L.P inferiores ou iguais a 40%, ou em mais de 5%, relativamente a valores de L.P. superiores a 40%, o ensaio do limite de plasticidade deve ser repetido. Na Tabela 6.14 estão apresentados os resultados para as validações a determinar, como se pode verificar os resultados obtidos são inferiores aos máximos permitidos pelo que o ensaio pode ser considerado válido.

Tabela 6.14 – Resultado das validações para o limite de plasticidade.

Ensaio 1		Ensaio 2		Ensaio 3	
$x_m$	20,4 %	$x_m$	20,1 %	$x_m$	20,4 %
$y$	0,05 %	$y$	0,03 %	$y$	0,05 %

$x_m$  – Média dos valores dos limites de plasticidade;

$y$  – Quociente entre a diferença dos resultados dos dois provetes e o valor médio.

No Anexo IV estão compiladas as folhas de registo com os valores obtidos durante a realização dos ensaios.

## 6.7 ANÁLISE E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS OBTIDOS

Os resultados obtidos para o Solo 1 permitem concluir que este solo apresenta um comportamento não-plástico.

Na Tabela 6.15 são apresentados o resumo e a média dos valores obtidos para o Solo 2.

Tabela 6.15 - Resumo e média dos resultados obtidos para a determinação dos limites de consistência

NP-143: 1969					
Limite de liquidez (%)		Limite de plasticidade (%)		Índice de plasticidade (%)	
63		19		44	
61	<b>61</b>	18	<b>19</b>	43	<b>42</b>
58		19		39	
ISO/FDIS 17892-12: 2018					
Limite de liquidez (%)		Limite de plasticidade (%)		Índice de plasticidade (%)	
Cone	Concha	plasticidade (%)		Cone	Concha
59	60	20		39	40
60	<b>60</b>	20	<b>20</b>	40	<b>40</b>
60	62	20		40	42

Como é possível verificar pelo resumo apresentado na Tabela 6.15, os valores obtidos pela aplicação das duas normas são muito semelhantes. Não seria de esperar diferenças significativas nos resultados finais porque as técnicas de ensaio são semelhantes em ambas as normas. Também é possível concluir que os limites de liquidez obtidos pelo método da concha de Casagrande dão ligeiramente superiores ao método do cone. Isto confirma o referido na ISO/FDIS 17892-12: 2018 acerca dos valores aceitáveis para os limites de liquidez determinados por ambos os métodos.

Nesta fase de discussão, observando os resultados obtidos na Tabela 6.10, é possível concluir que para solos predominantemente arenosos, o ensaio para determinar o limite de liquidez pelo método do cone é de difícil execução. Assim, os valores obtidos para a penetração do cone para o Solo 1 não estão de acordo com o estipulado pela ISO/FDIS 17892-12: 2018. É possível observar pelos dois últimos ensaios (3 e 4) que para diferentes teores em água o valor da penetração do cone praticamente não sofreu alterações, o que poderá ter acontecido devido a deficiências na fase de moldagem do solo no copo.

A moldagem do solo no copo é um fator importante nos resultados finais do ensaio devido aos vazios que possam ser criados. Nos solos arenosos, como o Solo 1, este problema pode acontecer facilmente pelo facto de as partículas não se rearranjarem com tanta facilidade como no Solo 2. Assim, os valores obtidos podem ser consequência de uma má moldagem do solo no copo.

No caso do Solo 2, foi possível realizar três ensaios para cada norma e cada método, o que permite avaliar a repetibilidade dos métodos de ensaio. Na Tabela 6.16 e na Tabela 6.17 estão apresentados os resultados obtidos para o limite de liquidez e plasticidade, respetivamente, por ambas as normas.

Tabela 6.16 - Resultados obtidos no teste de repetibilidade pela NP-143: 1969 e ISO/FDIS 17892-12: 2018 para o limite de liquidez.

		NP-143: 1969	ISO/FDIS 17892-12: 2018	
		Concha	Concha	Cone
<b>Ensaio 1</b>	<b>Y<sub>1</sub></b>	63 %	60 %	59 %
<b>Ensaio 2</b>	<b>Y<sub>2</sub></b>	61 %	63 %	60 %
<b>Ensaio 3</b>	<b>Y<sub>3</sub></b>	58 %	62 %	60 %
<b>Média</b>	<b>Y</b>	60,7 %	61,7 %	59,7 %
<b>Desvio padrão</b>	<b>s</b>	2,52 %	1,53 %	0,58 %
<b>Variância de repetibilidade</b>	<b>sr<sup>2</sup></b>	6,3333 %	2,3333 %	0,3333 %
<b>Coef. de variação de repetibilidade</b>	<b>CV<sub>r</sub></b>	0,0415	0,0248	0,0097
<b>Limite de repetibilidade</b>	<b>r</b>	7,12 %	4,32 %	1,63 %

Tabela 6.17 - Resultados obtidos no teste de repetibilidade pela NP-143: 1969 e ISO/FDIS 17892-12: 2018 para o limite de plasticidade.

		<b>NP-143: 1969</b>	<b>ISO 17892-12: 2018</b>
<b>Ensaio 1</b>	<b>Y<sub>1</sub></b>	19 %	20 %
<b>Ensaio 2</b>	<b>Y<sub>2</sub></b>	18 %	20 %
<b>Ensaio 3</b>	<b>Y<sub>3</sub></b>	19 %	20 %
<b>Média</b>	<b>Y</b>	18,7 %	20,0 %
<b>Desvio padrão</b>	<b>s</b>	0,58 %	0,00 %
<b>Variância de repetibilidade</b>	<b>sr<sup>2</sup></b>	0,3333 %	0,0000 %
<b>Coef. de variação de repetibilidade</b>	<b>CV<sub>r</sub></b>	0,0309	0,0000
<b>Limite de repetibilidade</b>	<b>r</b>	1,63 %	0,00 %

À semelhança do procedimento adotado para os ensaios já apresentado nos capítulos anteriores, para avaliar os resultados obtidos nos testes de repetibilidade recorreu-se à norma ASTM D 4318-00\*, uma vez que as normas estudadas não apresentam informação sobre o assunto.

A norma ASTM preconiza, no caso de argila de alta plasticidade (CH), como é o caso do Solo 2, que o limite de repetibilidade para dois testes realizados pelo mesmo operador no mesmo material, usando o mesmo equipamento e no menor período de tempo possível, não deve diferir em mais de 2 % para o limite de liquidez, 1 % para o limite de plasticidade e 2% para o índice de plasticidade [24]. Considerando os valores obtidos na Tabela 6.16 e Tabela 6.17 é possível concluir que os ensaios do limite de liquidez pelo método da concha de Casagrande não apresentam boa repetibilidade, uma vez que os valores entre ensaios consecutivos diferem em mais de 2%. O ensaio do limite de liquidez pelo método do cone de penetração apresenta boa repetibilidade porque a diferença entre valores obtidos é inferior ao limite aceitável. Para o limite de plasticidade, os ensaios por ambas as normas também apresentam boa repetibilidade, uma vez que os valores obtidos, estão abaixo do limite aceitável.

É ainda possível concluir, comparando os dois métodos preconizados pela ISO/FDIS 17892-12: 2018, que o método do cone apresenta melhor repetibilidade do que o método da concha de Casagrande. Este facto pode estar relacionado com a menor influência do operador no método do cone de penetração e ainda com o facto de este requerer menos tempo de execução.

\* Por indisponibilidade da nova versão desta norma, foi considerada esta versão.



# CAPÍTULO 7

## CONSIDERAÇÕES FINAIS

### 7.1 CONCLUSÕES

O trabalho desenvolvido consistiu em fazer uma análise comparativa entre a normalização antiga e a recente para a caracterização geotécnica de solos. Após a realização dos ensaios laboratoriais e a análise dos resultados obtidos foi possível estabelecer as seguintes conclusões:

1. As metodologias previstas nas normas para a determinação do teor em água praticamente não diferem nos equipamentos e nos procedimentos, tendo-se também obtido resultados semelhantes em ambas as normas estudadas;
2. As normas para a determinação da densidade/massa volúmica das partículas apresentam algumas diferenças quer nas suas metodologias quer nos equipamentos. É também possível concluir que os valores obtidos pela nova normalização são ligeiramente inferiores (cerca de  $0,04 \text{ Mg/m}^3$ ) aos obtidos pela antiga, tanto para provetes secos em estufa como para provetes húmidos. Conclui-se que esta diferença de resultados obtidos pode estar relacionada com a não descrição na nova norma da pressão de vácuo e tempo de aplicação, o que aumenta as diferenças de resultados entre laboratórios;
3. Os ensaios para a determinação da distribuição granulométrica permitiram tirar as seguintes conclusões:
  - a. Os métodos de peneiração, apresentam diferenças significativas ao nível das aberturas dos peneiros a utilizar. Na metodologia de ensaio registam-se também diferenças ao nível da preparação da amostra e da execução do ensaio. Apesar destas diferenças, os resultados finais praticamente não são influenciados, tendo-se obtido curvas de distribuição granulométrica muito semelhantes para os dois métodos;
  - b. Os métodos de determinação da granulometria por peneiração seguida de sedimentação, apresentam diferenças significativas para as normas estudadas. As diferenças incidem, essencialmente, nas características do densímetro a utilizar para a realização dos ensaios, nos agentes antifloculante a utilizar na fase de preparação da amostra e nos tempos de

leitura durante o processo de sedimentação, passando as leituras a realizarem-se no máximo de 3 dias para apenas 2 dias. Quanto à comparação de resultados não foi possível estabelecer grandes conclusões uma vez que não foi possível adquirir o densímetro requerido na nova norma de ensaio;

4. Os métodos para a determinação dos limites de consistência apresentam pequenas diferenças entre a norma antiga e a norma recente, sendo possível concluir que:
  - a. Para o limite de liquidez, os equipamentos a utilizar apresentam algumas diferenças entre as normas estudadas, sendo que a nova norma apresenta exigências para a concha de Casagrande que a norma antiga não prevê. Os resultados obtidos são praticamente idênticos entre a norma antiga e a recente, para o método da concha. É importante ter em atenção que a nova normalização prevê um método alternativo, o cone de penetração. Este método foi igualmente utilizado neste trabalho sendo que se mostrou um método mais robusto, apresentando melhor repetibilidade, facto que não é de estranhar pois reduz a intervenção do operador. O trabalho permite ainda concluir que os resultados obtidos pela nova normalização para o método do cone de penetração são ligeiramente inferiores aos obtidos pela concha de Casagrande o que confirma o previsto na norma recente;
  - b. Para o limite de plasticidade, conclui-se que a nível de equipamentos não há diferenças significativas e a nível de metodologia de ensaio o limite de plasticidade pela nova normalização é determinado pela média de apenas 2 provetes de ensaio, enquanto que pela norma antiga, o limite de plasticidade é dado pela média de 4 provetes de ensaio. Conclui-se que esta diferença na metodologia de ensaio não afeta os resultados finais, tendo-se obtido resultados semelhantes nas duas normas estudadas;
5. Realizados os ensaios e feita a comparação de equipamentos entre as normas estudadas, é possível concluir que os laboratórios de geotecnia irão necessitar de realizar alguns investimentos para implementar as novas normas, nomeadamente:
  - a. Na formação dos técnicos para obterem qualificações para a realização das novas metodologias de ensaio;
  - b. Na adaptação dos relatórios de ensaios às exigências das novas normas;
  - c. Na compra de algum equipamento;
6. Relativamente ao impacto que as alterações de metodologias de ensaios e equipamentos terão nos cadernos de encargos, apesar de se registar não ser necessário grandes alterações, poderá destacar-se os aspetos relacionados com:

- a. Adaptar a dimensão máxima das partículas de 75 mm para 63 mm;
- b. Definir novos fusos granulométricos para atender à nova série de peneiros;
- c. Caso a normalização portuguesa venha a optar pelo método do cone para a determinação do limite de liquidez, seria necessário diminuir os valores atuais utilizados nas classificações dos solos e na aceitação ou rejeição dos níveis, por forma a manter o nível de qualidade atualmente definido.

Considerando no trabalho desenvolvido que não foram encontradas diferenças significativas nos valores obtidos por ambas as normas para as características estudadas, espera-se que o impacto das novas normas nos cadernos de encargos não seja muito profundo.

## **7.2 DESENVOLVIMENTOS FUTUROS**

Para estabelecer de forma mais consistente os impactos da nova normalização, sugere-se que este trabalho possa vir a ser complementado com:

1. Realização dos mesmos ensaios pelas normas antigas e pelas normas novas para outros solos de outra natureza e origem geológica, como por exemplo, solos argilosos e solos provenientes de xistos e de rochas magmáticas básicas ou vulcânicas, e averiguando as diferenças nos resultados obtidos;
2. Desenvolvimento do mesmo tipo de trabalho para as restantes normas que serão implementadas no futuro no que respeita a caracterização de solos, e concluir o impacto que as alterações terão nos cadernos de encargos e os investimentos que os laboratórios terão de realizar para adotar as novas normas.



## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] “World Population Prospects: The 2017 Revision | Multimedia Library - United Nations Department of Economic and Social Affairs.” [Online]. Available: <https://www.un.org/development/desa/publications/world-population-prospects-the-2017-revision.html>. [Accessed: 19-Jun-2018].
- [2] L. I. Vallejo, *Ingeniería Geológica*. PEARSON, 2002.
- [3] “CICCOPN | Formação Profissional.” [Online]. Available: <http://www.ciccopn.pt/>. [Accessed: 12-Apr-2018].
- [4] J. A. Almacinha, “Introdução ao Conceito de Normalização em Geral e sua Importância na Engenharia \*.” [Online]. Available: [http://www.inegi.up.pt/instituicao/ons/pdf/16\\_jasa-1\\_3v.pdf](http://www.inegi.up.pt/instituicao/ons/pdf/16_jasa-1_3v.pdf). [Accessed: 30-Apr-2018].
- [5] “IPQ.” [Online]. Available: <http://www1.ipq.pt/PT/Pages/Homepage.aspx>. [Accessed: 21-Mar-2018].
- [6] “Norma - Dicio, Dicionário Online de Português.” [Online]. Available: <https://www.dicio.com.br/norma/>. [Accessed: 30-Apr-2018].
- [7] “CEN - Comité Europeu de Normalização.” [Online]. Available: <https://www.cen.eu/Pages/default.aspx>. [Accessed: 21-Mar-2018].
- [8] “LNEC - Laboratório Nacional de Engenharia Civil.” [Online]. Available: <http://www.lnec.pt/pt/>. [Accessed: 01-May-2018].
- [9] M. M. Carvalho, “Análise fenomenológica da bio-remediação de solos contaminados com compostos orgânicos - perspectiva multidisciplinar.” Universidade do Porto, 2014.
- [10] M. Matos Fernandes, “Mecânica dos Solos - Conceitos e Princípios Fundamentais - Volume 1,” Edições, FEUP, 2012.
- [11] NP 83: 1965, “Solos - Determinação da densidade das partículas.” 1965.
- [12] B. M. Das, *Fundamentos de Engenharia Geotécnica*, 6ª edição. Thomson, 2007.
- [13] “O que é Caderno de encargos? | Enciclopédia E-Civil.” [Online]. Available:

- <http://www.ecivilnet.com/dicionario/o-que-e-caderno-de-encargos.html>. [Accessed: 11-May-2018].
- [14] “Documentação | Infraestruturas de Portugal.” [Online]. Available: <http://www.infraestruturasdeportugal.pt/negocios-e-servicos/fornecedores/documentacao>. [Accessed: 29-Mar-2018].
- [15] NP 84: 1965, “Solos - Determinação do teor em água.” 1965.
- [16] EN ISO 17892-1: 2014, “Geotechnical investigation and testing - Laboratory testing of soil - Part 1: Determination of water content.” 2014.
- [17] ASTM D 2216 - 98, “Standard Test Method for Laboratory Determination of Water (Moisture) Content of Soil and Rock by Mass.” 1998.
- [18] EN ISO 17892-3: 2015, “Geotechnical investigation and testing - Laboratory testing of soil - Part 3: Determination of particle density.” 2015.
- [19] ASTM D 854 - 02, “Standard Test Methods for Specific Gravity of Soil Solids by Water Pycnometer.” 2002.
- [20] E 195: 1966, “Solos - Preparação por via seca de amostras para ensaios de identificação.” 1966.
- [21] E 196: 1966, “Solos - Análise granulométrica.” 1966.
- [22] EN ISO 17892-4: 2016, “Geotechnical investigation and testing - Laboratory testing of soil - Part 4: Determination of particle size distribution.” 2016.
- [23] ISO/FDIS 17892-12: 2018, “Geotechnical investigation and testing - Laboratory testing of soil - Part 12: Determination of liquid and plastic limits.” 2018.
- [24] ASTM D 4318 - 00, “Standard Test Methods for Liquid Limit, Plastic Limit, and Plasticity Index of Soils.” 2000.

## ANEXOS I – FOLHAS DE REGISTO DO TEOR EM ÁGUA

### NP-84: 1965 – Solos: Determinação do teor em água

Referência da amostra		Solo 1			
Análise expedita					
		% massa retida	% retidos acumulados	% passados acumulados	
Massa total	(g)	1349,5	–	–	–
m <sub>38,1mm</sub> : massa retida	(g)	0	0	0	100
m <sub>19,1mm</sub> : massa retida	(g)	0	0	0	100
m <sub>2,38mm</sub> : massa retida	(g)	174,6	12,9	12,9	87,1
Massa mínima do provete de ensaio	(g)	30			
Cálculo do teor em água					
Referência da cápsula		8	15	35	
m <sub>1</sub> : massa da cápsula	(g)	123,05	125,37	125,35	
m <sub>2</sub> : massa da cápsula e do provete húmido	(g)	168,73	162,19	168,16	
m' <sub>3</sub> : massa da cápsula e do provete seco após:					
· 16h de secagem	(g)	162,82	157,50	162,79	
· 16h + 4h de secagem	(g)	162,82	157,50	162,79	
m <sub>3</sub> : massa da cápsula e do provete seco	(g)	162,82	157,50	162,79	
<b>w: Teor em água</b>	<b>(%)</b>	<b>14,9</b>	<b>14,6</b>	<b>14,3</b>	

**EN ISO 17892-1: 2014 – Caracterização e ensaios geotécnicos – Ensaios de laboratório em solos – Parte 1: Determinação do teor em água**

<b>Referência da amostra</b>	Solo 1		
<b>Análise expedita</b>			
Diâmetro das partículas (mm)	10		
Massa mínima do provete de ensaio (g)	500		
<b>Cálculo do teor em água</b>			
Referência da cápsula	Sem ref.	44	278
m <sub>c</sub> : massa da cápsula (e tampa se utilizada) (g)	652,4	753,7	789,9
m <sub>1</sub> : massa da cápsula (e tampa se utilizada) e do provete húmido (g)	1289,8	1287,3	1453,1
m <sub>2</sub> : massa da cápsula (e tampa se utilizada) e do provete seco após:			
· 16h de secagem (g)	1209,8	1220,3	1371,2
· 16h + 1h de secagem (g)	1209,8	1220,3	1371,2
m <sub>3</sub> : massa da cápsula (e tampa se utilizada) e do provete seco (g)	1209,8	1220,3	1371,2
<b>w: teor em água (%)</b>	<b>14,4</b>	<b>14,4</b>	<b>14,1</b>

## ANEXO II – FOLHAS DE REGISTO DA DENSIDADE/MASSA VOLÚMICA DAS PARTÍCULAS

### NP-83: 1965 – Solos: Determinação da densidade das partículas

Referência da amostra	Solo 1			
<b>Método de ensaio:</b> Com secagem prévia do provete				
<b>Determinação da % de acumulados passados no peneiro 4,76 mm</b>				
m: massa total	(g)	9913,2		
m <sub>&gt;4,76mm</sub> : massa retida no peneiro 4,76 mm	(g)	663,7		
% de material acumulado passado no peneiro 4,76 mm	(%)	93		
<b>Calibração do picnómetro</b>				
Referência do picnómetro		102	109	121
m <sub>1</sub> : massa do picnómetro	(g)	67,28	76,00	63,86
m <sub>2</sub> : massa do picnómetro cheio de água, à temperatura t <sub>1</sub>	(g)	165,85	174,34	162,18
t <sub>1</sub> : temperatura da água	(°C)	16,9	17,0	16,9
d <sub>4</sub> <sup>t<sub>1</sub></sup> : densidade da água à temperatura t <sub>1</sub>		0,99880	0,99880	0,99880
d <sub>4</sub> <sup>t<sub>x</sub></sup> : densidade da água à temperatura t <sub>x</sub>		0,998802	0,998802	0,998802
m <sub>3</sub> : massa do picnómetro cheio de água à temperatura t <sub>x</sub>	(g)	165,77	174,26	162,10
<b>Cálculo da densidade das partículas</b>				
m <sub>4</sub> : massa do provete seco	(g)	26,93	28,45	27,93
m <sub>5</sub> : massa do picnómetro com o provete e a água à temperatura t <sub>x</sub>	(g)	182,55	191,97	179,45
t <sub>x</sub> : temperatura da água no ensaio	(°C)	21,1	20,8	20,8
k = d <sub>4</sub> <sup>t<sub>x</sub></sup> / d <sub>(T=20°C)</sub>		0,99979	0,99979	0,99979
<b>d<sub>20</sub><sup>t<sub>x</sub></sup>: densidade das partículas à temperatura t<sub>x</sub></b>		<b>2,65</b>	<b>2,65</b>	<b>2,64</b>

<b>Método de ensaio: Sem secagem prévia do provete</b>				
<b>Determinação da % de acumulados passados no peneiro 4,76 mm</b>				
m: massa total	(g)	9913,2		
m <sub>&gt;4,76mm</sub> : massa retida no peneiro 4,76 mm	(g)	663,7		
% de material acumulado passado no peneiro 4,76 mm	(%)	93		
<b>Calibração do picnómetro</b>				
Referência do picnómetro		102	109	121
m <sub>1</sub> : massa do picnómetro	(g)	67,28	76,00	63,86
m <sub>2</sub> : massa do picnómetro cheio de água, à temperatura t <sub>1</sub>	(g)	165,85	174,34	162,18
t <sub>1</sub> : temperatura da água	(°C)	16,9	17,0	16,9
d <sub>4</sub> <sup>t<sub>1</sub></sup> : densidade da água à temperatura t <sub>1</sub>		0,99880	0,99880	0,99880
d <sub>4</sub> <sup>t<sub>x</sub></sup> : densidade da água à temperatura t <sub>x</sub>		0,99862	0,99862	0,99843
m <sub>3</sub> : massa do picnómetro cheio de água à temperatura t <sub>x</sub>	(g)	165,83	174,32	162,14
<b>Cálculo da densidade das partículas</b>				
m <sub>4</sub> : massa do provete seco	(g)	28,51	25,95	30,78
m <sub>5</sub> : massa do picnómetro com o provete e a água à temperatura t <sub>x</sub>	(g)	183,60	190,50	181,33
t <sub>x</sub> : temperatura da água no ensaio	(°C)	18,4	18,4	18,6
$k = d_4^{t_x} / d_{(T=20^\circ\text{C})}$		1,00039	1,00039	1,00020
<b>d<sub>20</sub><sup>t<sub>x</sub></sup>: densidade das partículas à temperatura t<sub>x</sub></b>		<b>2,66</b>	<b>2,66</b>	<b>2,66</b>

**EN ISO 17892-3: 2015 – Caracterização e ensaios geotécnicos – Ensaio de laboratório em solos – Parte 3: Determinação da massa volúmica das partículas**

<b>Referência da amostra</b>	Solo 1		
<b>Método de ensaio:</b> Picnómetro de líquido			
<b>Preparação do provete:</b> Provete seco em estufa			
<b>Calibração do picnómetro</b>			
Referência do picnómetro	41	47	97
m <sub>0</sub> : massa do picnómetro seco (g)	30,24	29,50	29,86
m <sub>1</sub> : massa do picnómetro cheio com água (g)	81,51	80,54	80,03
t: temperatura da água (°C)	19,9	20,1	19,8
<b>Cálculo da massa volúmica das partículas</b>			
m <sub>2</sub> : massa do picnómetro e provete seco (g)	45,15	43,64	44,35
m <sub>3</sub> : massa do picnómetro com o provete e a água (g)	90,68	89,28	88,94
t: temperatura da água no ensaio (°C)	24,9	24,9	24,9
m <sub>4</sub> : massa do provete seco (g)	14,91	14,14	14,49
$\rho_{L1}$ : massa volúmica da água à temperatura de ensaio para m <sub>1</sub> (Mg/m <sup>3</sup> )	0,99823	0,99823	0,99823
$\rho_{L3}$ : massa volúmica da água à temperatura de ensaio para m <sub>3</sub> (Mg/m <sup>3</sup> )	0,99708	0,99708	0,99708
<b><math>\rho_s</math>: massa volúmica das partículas do solo (Mg/m<sup>3</sup>)</b>	<b>2,62</b>	<b>2,64</b>	<b>2,62</b>
<b>Método de ensaio:</b> Picnómetro de líquido			
<b>Preparação do provete:</b> Provete húmido			
<b>Calibração do picnómetro</b>			
Referência do picnómetro	62	41	61
m <sub>0</sub> : massa do picnómetro seco (g)	29,07	30,24	30,19
m <sub>1</sub> : massa do picnómetro cheio com água (g)	80,60	81,51	80,05
t: temperatura da água (°C)	20,3	19,9	20,1
<b>Cálculo da massa volúmica das partículas</b>			
m <sub>2</sub> : massa do picnómetro e provete seco (g)	44,62	46,31	45,64
m <sub>3</sub> : massa do picnómetro com o provete e a água (g)	90,20	91,40	89,60
t: temperatura da água no ensaio (°C)	24,3	24,3	24,3
m <sub>4</sub> : massa do provete seco (g)	15,55	16,07	15,45
$\rho_{L1}$ : massa volúmica da água à temperatura de ensaio para m <sub>1</sub> (Mg/m <sup>3</sup> )	0,99823	0,99823	0,99823
$\rho_{L1}$ : massa volúmica da água à temperatura de ensaio para m <sub>3</sub> (Mg/m <sup>3</sup> )	0,99733	0,99733	0,99733
<b><math>\rho_s</math>: massa volúmica das partículas do solo (Mg/m<sup>3</sup>)</b>	<b>2,63</b>	<b>2,61</b>	<b>2,63</b>



## ANEXO III – FOLHAS DE REGISTO DA ANÁLISE GRANULOMÉTRICA

### E239: 1970 – Solos: Análise granulométrica por peneiração húmida

Ensaio 1				
Referência da amostra			Solo 1	
Análise expedita				
Massa total	(g)	1221,8		
D <sub>máx</sub>	(mm)	19,0		
Massa retida no peneiro 2,00 mm	(g)	141,12		
Massa da amostra para cumprir com a massa mínima de fração retida	(g)	8657,9		
Massa mínima da fração retida no peneiro de 2,00 mm	(g)	1000,0		
Dados da amostra				
m <sub>t</sub> : Massa total da amostra	(g)	8087,6		
m <sub>10</sub> : Massa total do material retido no peneiro de 2,00 mm	(g)	1012,3		
m' <sub>10</sub> : Massa total do material passado no peneiro de 2,00 mm	(g)	7075,3		
N' <sub>10</sub> : Percentagem de material grosso	(%)	12,5		
Material retido nos peneiros de abertura superior a 2,00 mm				
Abertura dos peneiros (mm)	Massa retida (g)	% Material retido	% Retidos acumulados	% Acumulados passados
76,1	0	0	0	100
50,8	0	0	0	100
38,1	147,2	2	2	98
25,4	0	0	2	98
19,0	42,9	1	2	98
9,51	266,5	3	6	94
4,76	130,2	2	7	93
2,00	425,5	5	13	87

<b>Material passado no peneiro de abertura 2,00 mm</b>				
m <sub>a</sub> : Massa utilizada de material que passa no peneiro 2,00 mm		(g)	124,58	
N <sup>o</sup> <sub>10</sub> : Percentagem de material fino		(%)	87,5	
<b>Material retido nos peneiros de abertura inferior a 2,00 mm</b>				
Abertura dos peneiros (mm)	Massa retida (g)	% Material retido	% Retidos acumulados	% Acumulados passados
0,841	25,15	18	30	70
0,420	32,69	23	53	47
0,250	14,63	10	63	37
0,105	17,95	13	76	24
0,074	4,46	3	79	21

Ensaio 2				
Referência da amostra	Solo 1			
Análise expedita				
Massa total (g)	1221,8			
D <sub>máx</sub> (mm)	19,0			
Massa retida no peneiro 2,00 mm (g)	141,12			
Massa da amostra para cumprir com a massa mínima de fração retida (g)	8657,9			
Massa mínima da fração retida no peneiro de 2,00 mm (g)	1000,0			
Dados da amostra				
m <sub>t</sub> : Massa total da amostra (g)	8959,3			
m <sub>10</sub> : Massa total do material retido no peneiro de 2,00 mm (g)	850,8			
m' <sub>10</sub> : Massa total do material passado no peneiro de 2,00 mm (g)	8108,5			
N' <sub>10</sub> : Percentagem de material grosso (%)	9,5			
Material retido nos peneiros de abertura superior a 2,00 mm				
Abertura dos peneiros (mm)	Massa retida (g)	% Material retido	% Retidos acumulados	% Acumulados passados
76,1	0	0	0	100
50,8	0	0	0	100
38,1	0	0	0	100
25,4	115,8	1	1	99
19,0	28,0	0	2	98
9,51	246,4	3	4	96
4,76	105,3	1	6	94
2,00	355,3	4	9	91
Material passado no peneiro de abertura 2,00 mm				
m <sub>a</sub> : Massa utilizada de material que passa no peneiro 2,00 mm (g)				124,39
N'' <sub>10</sub> : Percentagem de material fino (%)				90,5

<b>Material retido nos peneiros de abertura inferior a 2,00 mm</b>				
<b>Abertura dos peneiros (mm)</b>	<b>Massa retida (g)</b>	<b>% Material retido</b>	<b>% Retidos acumulados</b>	<b>% Acumulados passados</b>
0,841	23,99	17	27	73
0,420	29,04	21	48	52
0,250	15,72	11	60	40
0,105	18,87	14	73	27
0,074	5,11	4	77	23

Ensaio 3				
Referência da amostra	Solo 1			
Análise expedita				
Massa total (g)	1221,8			
D <sub>máx</sub> (mm)	19,0			
Massa retida no peneiro 2,00 mm (g)	141,12			
Massa da amostra para cumprir com a massa mínima de fração retida (g)	8657,9			
Massa mínima da fração retida no peneiro de 2,00 mm (g)	1000,0			
Dados da amostra				
m <sub>t</sub> : Massa total da amostra (g)	9913,2			
m <sub>10</sub> : Massa total do material retido no peneiro de 2,00 mm (g)	1031,8			
m' <sub>10</sub> : Massa total do material passado no peneiro de 2,00 mm (g)	8881,4			
N' <sub>10</sub> : Percentagem de material grosso (%)	10,4			
Material retido nos peneiros de abertura superior a 2,00 mm				
Abertura dos peneiros (mm)	Massa retida (g)	% Material retido	% Retidos acumulados	% Acumulados passados
76,1	0	0	0	100
50,8	0	0	0	100
38,1	60,4	1	1	99
25,4	137,9	1	2	98
19,0	53,8	1	3	97
9,51	264,0	3	5	95
4,76	147,6	1	7	93
2,00	368,1	4	10	90
Material passado no peneiro de abertura 2,00 mm				
m <sub>a</sub> : Massa utilizada de material que passa no peneiro 2,00 mm (g)				122,63
N'' <sub>10</sub> : Percentagem de material fino (%)				89,6

<b>Material retido nos peneiros de abertura superior a 2,00 mm (nº 10)</b>				
Abertura dos peneiros (mm)	Massa retida (g)	% Material retido	% Retidos acumulados	% Acumulados passados
0,841	25,40	19	29	71
0,420	28,82	21	50	50
0,250	14,86	11	61	39
0,105	17,85	13	74	26
0,074	5,16	4	78	22

## E196: 1966 – Solos: Análise granulométrica

Ensaio 1				
Referência da amostra	Solo 1			
Análise expedita				
Massa total (g)	1221,8			
$D_{m\acute{a}x}$ (mm)	19,0			
Massa retida no peneiro 2,00 mm (g)	141,12			
Massa da amostra para cumprir com a massa mínima de fração retida (g)	8657,9			
Massa mínima da fração retida no peneiro de 2,00 mm (g)	1000,0			
Dados da amostra				
$m_t$ : Massa total da amostra (g)	9076,0			
$m_{10}$ : Massa total do material retido no peneiro de 2,00 mm (g)	1093,8			
$m'_t$ : Massa total da amostra seca ao ar (g)	9089,5			
$N'_{10}$ : Percentagem de material grosso (%)	12,1			
Material retido nos peneiros de abertura superior a 2,00 mm				
Abertura dos peneiros (mm)	Massa retida (g)	% Material retido	% Retidos acumulados	% Acumulados passados
76,1	0	0	0	100
50,8	0	0	0	100
38,1	137,6	2	2	98
25,4	195,1	2	4	96
19,0	63,5	1	4	96
9,51	207,5	2	7	93
4,76	121,8	1	8	92
2,00	368,3	4	12	88
Teor em água da fração passada no peneiro 2,0 mm de abertura				
Referência da cápsula				38
$m_1$ : massa da cápsula (g)				37,04
$m_2$ : massa da cápsula e do provete húmido (g)				60,75
$m_3$ : massa da cápsula e do provete seco (g)				60,71
w: teor em água (%)				0,2
Material passado no peneiro de 2,00 mm				
$m_a$ : massa do solo seco ao ar utilizada (g)				126,23
$m_b$ : massa do solo sem pré-tratamento (g)				126,02

<b>Material retido nos peneiros de abertura inferior a 2,00 mm</b>				
Abertura dos peneiros (mm)	Massa retida (g)	% Material retido	% Retidos acumulados	% Acumulados passados
0,841	18,32	13	25	75
0,420	29,31	20	45	55
0,250	15,43	11	56	44
0,105	17,87	12	69	31
0,074	6,26	4	73	27

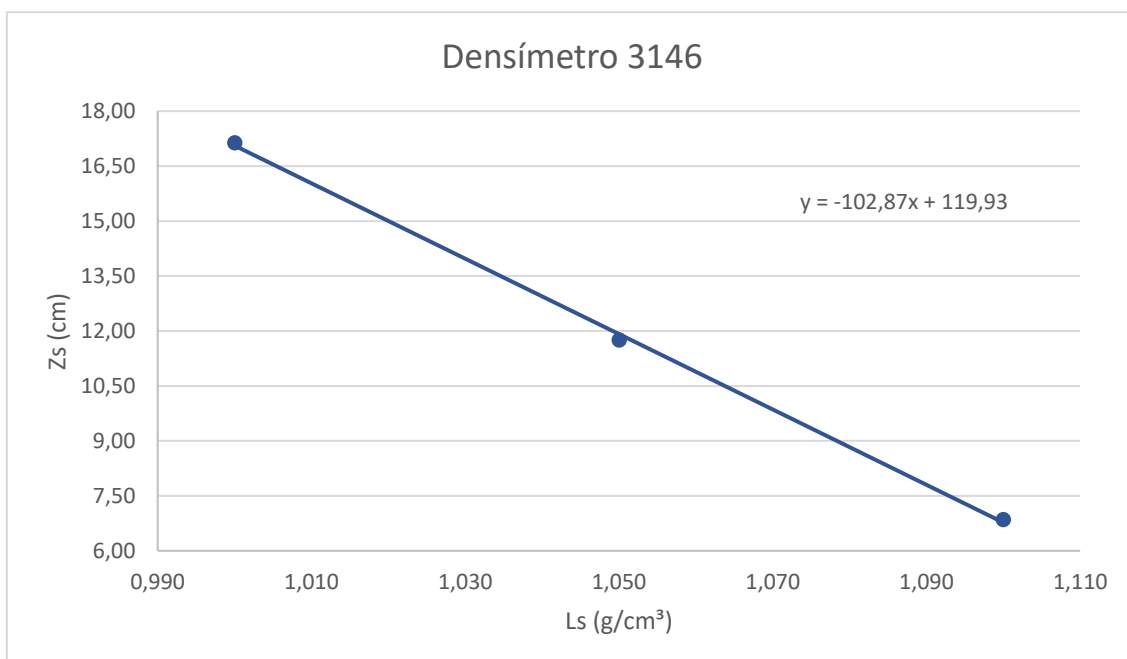
<b>Correção do antifloculante a 20 °C</b>		
T: temperatura	(°C)	19,2
L <sub>A</sub> : leitura do densímetro à temperatura T	(g/cm <sup>3</sup> )	1,000
C <sub>T</sub> : correção da temperatura T		-0,0002
C <sub>A</sub> : correção do antifloculante		-0,0002
<b>Correção do menisco</b>		
L <sub>1</sub> : primeira leitura no densímetro	(g/cm <sup>3</sup> )	1,001
L <sub>2</sub> : segunda leitura no densímetro	(g/cm <sup>3</sup> )	1,000
C <sub>M</sub> : correção do menisco		0,001

Sedimentação										
Tempo (min)	1	2	5	15	30	60	250	1440	2880	
Data	27/2/2018	27/2/2018	27/2/2018	27/2/2018	27/2/2018	27/2/2018	27/2/2018	27/2/2018	28/2/2018	1/3/2018
Hora	11h48	11h49	11h52	12h02	12h17	12h47	15h58	11h47	11h47	
L <sub>s</sub> : leitura observada no densímetro (g/cm <sup>3</sup> )	1,022	1,020	1,017	1,014	1,012	1,009	1,006	1,003	1,002	
T: temperatura (°C)	18,5	18,5	18,5	18,5	18,5	19,1	19,9	19,4	19,6	
C <sub>T</sub> : correção da temperatura	-0,0002	-0,0002	-0,0002	-0,0002	-0,0002	-0,0002	0,0000	-0,0002	0,0000	
L <sub>c</sub> : leituras corrigidas (g/cm <sup>3</sup> )	1,023	1,021	1,018	1,015	1,013	1,010	1,0072	1,004	1,0032	
K: constante da Lei de Stokes	0,01378	0,01378	0,01378	0,01378	0,01378	0,01378	0,01361	0,01378	0,01361	
Z <sub>s</sub> : Profundidade efetiva (cm)	14,80	15,00	15,31	15,62	15,83	16,13	16,44	16,75	16,85	
n <sub>D</sub> : % de partículas de diâmetro inferior a D, referida à massa seca do solo (%)	29	27	23	19	17	13	9	5	4	
N <sub>D</sub> : % de partículas de diâmetro inferior a D, referida à massa total da amostra (%)	26	23	20	17	15	11	8	4	4	
D: diâmetro das partículas correspondent e a n <sub>D</sub> e N <sub>D</sub> (mm)	0,0530	0,0377	0,0241	0,0141	0,0100	0,0072	0,0035	0,0015	0,0010	

Densímetro 3146		
V: Volume do bolbo	(cm <sup>3</sup> )	35
h <sub>s</sub> : Distância entre a marca de graduação inferior da escala e cada uma das principais graduações da haste	h <sub>s1</sub> (cm)	10,427
	h <sub>s2</sub> (cm)	5,043
	h <sub>s3</sub> (cm)	0,140
d: Distância entre o início do bolbo e a marca de graduação inferior da haste	(cm)	0,971
h: Altura do bolbo	(cm)	12,827
H <sub>s1</sub>	(cm)	11,398
H <sub>s2</sub>	(cm)	6,014
H <sub>s3</sub>	(cm)	1,111
Z <sub>s1</sub>	(cm)	17,14
Z <sub>s2</sub>	(cm)	11,76
Z <sub>s3</sub>	(cm)	6,85

Principais graduações da haste:		
L <sub>s1</sub>	(g/cm <sup>3</sup> )	1,000
L <sub>s2</sub>	(g/cm <sup>3</sup> )	1,050
L <sub>s3</sub>	(g/cm <sup>3</sup> )	1,100

Proveta L0929		
T: distância entre pontos	(cm)	33,45
A: área da secção da proveta	(cm <sup>2</sup> )	26,06
V: volume da proveta	(cm <sup>3</sup> )	871,71



Ensaio 2				
Referência da amostra	Solo 1			
Análise expedita				
Massa total (g)	1221,8			
D <sub>máx</sub> (mm)	19,0			
Massa retida no peneiro 2,00 mm (g)	141,12			
Massa da amostra para cumprir com a massa mínima de fração retida (g)	8657,9			
Massa mínima da fração retida no peneiro de 2,00 mm (g)	1000,0			
Dados da amostra				
m <sub>t</sub> : Massa total da amostra (g)	9069,6			
m <sub>10</sub> : Massa do material retido no peneiro de 2,00 mm (g)	909,2			
m <sub>t</sub> : Massa total da amostra seca ao ar (g)	9090,3			
N <sub>10</sub> : Percentagem de material grosso (%)	10,0			
Material retido nos peneiros de abertura superior a 2,00 mm				
Abertura dos peneiros (mm)	Massa retida (g)	% Material retido	% Retidos acumulados	% Acumulados passados
76,1	0	0	0	100
50,8	0	0	0	100
38,1	0	0	0	100
25,4	197,5	2	2	98
19,0	56,0	1	3	97
9,51	250,8	3	6	94
4,76	98,0	1	7	93
2,00	306,9	3	10	90
Teor em água da fração passada no peneiro 2,0 mm de abertura				
Referência da cápsula				104
m <sub>1</sub> : massa da cápsula (g)				36,67
m <sub>2</sub> : massa da cápsula e do provete húmido (g)				60,36
m <sub>3</sub> : massa da cápsula e do provete seco (g)				60,30
w: teor em água (%)				0,3
Material passado no peneiro de 2,00 mm				
m <sub>a</sub> : massa do solo seco ao ar utilizada (g)				106,85
m <sub>b</sub> : massa do solo sem pré-tratamento (g)				106,58

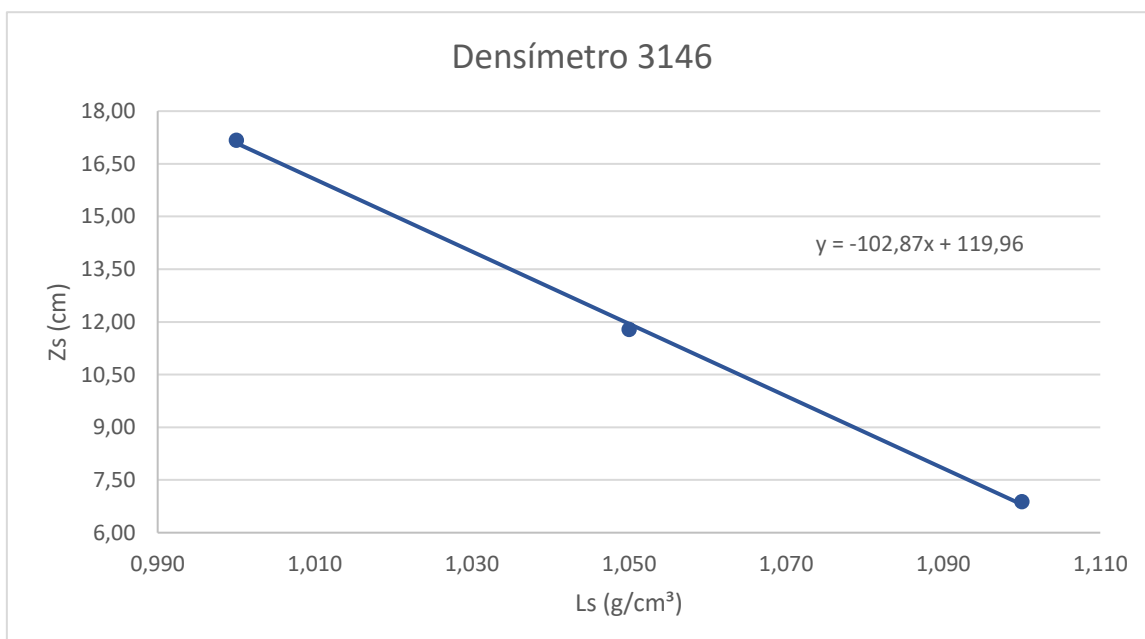
<b>Material retido nos peneiros de abertura inferior a 2,00 mm (nº 10)</b>				
Abertura dos peneiros (mm)	Massa retida (g)	% Material retido	% Retidos acumulados	% Acumulados passados
0,841	14,79	12	23	77
0,420	24,23	20	43	57
0,250	13,50	11	54	46
0,105	16,13	14	68	32
0,074	5,33	4	72	28
<b>Correção do antifloculante a 20 °C</b>				
T: temperatura	(°C)	19,2		
L <sub>A</sub> : leitura do densímetro à temperatura T	(g/cm <sup>3</sup> )	1,000		
C <sub>T</sub> : correção da temperatura T		-0,0002		
C <sub>A</sub> : correção do antifloculante		-0,0002		
<b>Correção do menisco</b>				
L <sub>1</sub> : primeira leitura no densímetro	(g/cm <sup>3</sup> )	1,001		
L <sub>2</sub> : segunda leitura no densímetro	(g/cm <sup>3</sup> )	1		
C <sub>M</sub> : correção do menisco		0,001		

Sedimentação										
Tempo (min)	1	2	5	15	30	60	250	1440	2880	
Data	27/2/2018	27/2/2018	27/2/2018	27/2/2018	27/2/2018	27/2/2018	27/2/2018	28/2/2018	1/3/2018	
Hora	11h54	11h55	11h58	12h08	12h23	12h53	16h04	11h53	11h53	
L <sub>s</sub> : leitura observada no densímetro (g/cm <sup>3</sup> )	1,018	1,017	1,014	1,012	1,010	1,008	1,005	1,003	1,002	
T: temperatura (°C)	18,7	18,7	18,7	18,7	18,8	19,2	19,9	19,3	19,6	
C <sub>T</sub> : correção da temperatura	-0,0002	-0,0002	-0,0002	-0,0002	-0,0002	-0,0002	0,0000	-0,0002	0,0000	
L <sub>c</sub> : leituras corrigidas (g/cm <sup>3</sup> )	1,019	1,018	1,015	1,013	1,011	1,009	1,0062	1,004	1,0032	
K: constante da Lei de Stokes	0,01378	0,01378	0,01378	0,01378	0,01378	0,01378	0,0136	0,01378	0,01361	
Z <sub>s</sub> : Profundidade efetiva (cm)	14,80	15,00	15,31	15,62	15,83	16,13	16,44	16,75	16,85	
n <sub>D</sub> : % de partículas de diâmetro inferior a D, referida à massa seca do solo (%)	29	27	23	20	17	14	9	6	5	
N <sub>D</sub> : % de partículas de diâmetro inferior a D, referida à massa total da amostra (%)	26	24	20	18	15	12	8	5	4	
D: diâmetro das partículas correspondent e a nD e ND (mm)	0,0538	0,0382	0,0244	0,0142	0,0101	0,0072	0,0035	0,0015	0,0010	

Densímetro 3146		
V: Volume do bolbo	(cm <sup>3</sup> )	35
h <sub>s</sub> : Distância entre a marca de graduação inferior da escala e cada uma das principais graduações da haste	h <sub>s1</sub> (cm)	10,427
	h <sub>s2</sub> (cm)	5,043
	h <sub>s3</sub> (cm)	0,140
d: Distância entre o início do bolbo e a marca de graduação inferior da haste	(cm)	0,971
h: Altura do bolbo	(cm)	12,827
H <sub>s1</sub>	(cm)	11,398
H <sub>s2</sub>	(cm)	6,014
H <sub>s3</sub>	(cm)	1,111
Z <sub>s1</sub>	(cm)	17,17
Z <sub>s2</sub>	(cm)	11,79
Z <sub>s3</sub>	(cm)	6,88

Principais graduações da haste:		
L <sub>s1</sub>	(g/cm <sup>3</sup> )	1,000
L <sub>s2</sub>	(g/cm <sup>3</sup> )	1,050
L <sub>s3</sub>	(g/cm <sup>3</sup> )	1,100

Proveta L0928		
T: distância entre pontos	(cm)	32,69
A: área da secção da proveta	(cm <sup>2</sup> )	27,34
V: volume da proveta	(cm <sup>3</sup> )	893,80



Ensaio 3				
Referência da amostra	Solo 1			
Análise expedita				
Massa total (g)	1221,8			
D <sub>máx</sub> (mm)	19,0			
Massa retida no peneiro 2,00 mm (g)	141,12			
Massa da amostra para cumprir com a massa mínima de fração retida (g)	8657,9			
Massa mínima da fração retida no peneiro de 2,00 mm (g)	1000,0			
Dados da amostra				
m <sub>t</sub> : Massa total da amostra (g)	9045,6			
m <sub>10</sub> : Massa total do material retido no peneiro de 2,00 mm (g)	825,3			
m' <sub>t</sub> : Massa total da amostra seca ao ar (g)	9058,9			
N' <sub>10</sub> : Percentagem de material grosso (%)	9,1			
Material retido nos peneiros de abertura superior a 2,00 mm				
Abertura dos peneiros (mm)	Massa retida (g)	% Material retido	% Retidos acumulados	% Acumulados passados
76,1	0	0	0	100
50,8	0	0	0	100
38,1	0	0	0	100
25,4	54,6	1	1	99
19,0	34,0	0	1	99
9,51	276,3	3	4	96
4,76	121,9	1	5	95
2,00	338,5	4	9	91
Teor em água da fração passada no peneiro 2,0 mm de abertura				
Referência da cápsula				38
m <sub>1</sub> : massa da cápsula (g)				37,21
m <sub>2</sub> : massa da cápsula e do provete húmido (g)				55,77
m <sub>3</sub> : massa da cápsula e do provete seco (g)				55,74
w: teor em água (%)				0,2
Material passado no peneiro de 2,00 mm				
m <sub>a</sub> : massa do solo seco ao ar utilizada (g)				128,60
m <sub>b</sub> : massa do solo sem pré-tratamento (g)				128,39

<b>Material retido nos peneiros de abertura inferior a 2,00 mm</b>				
Abertura dos peneiros (mm)	Massa retida (g)	% Material retido	% Retidos acumulados	% Acumulados passados
0,841	21,77	15	25	75
0,420	26,66	19	43	57
0,250	14,51	10	54	46
0,105	18,94	13	67	33
0,074	6,99	5	72	28

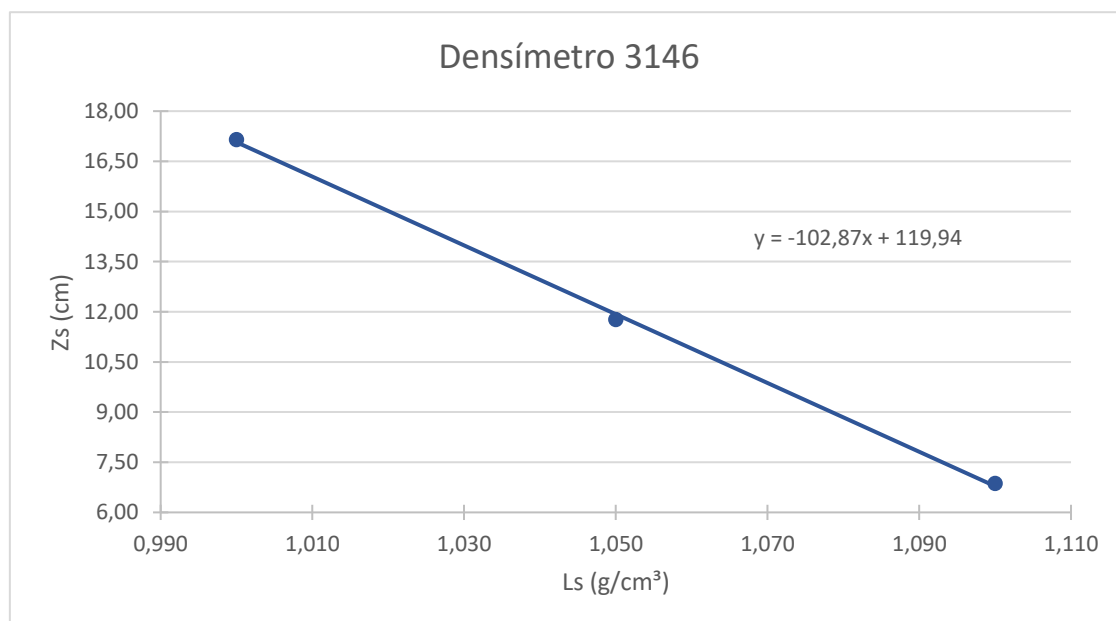
<b>Correção do antifloculante a 20 °C</b>		
T: temperatura	(°C)	19,2
L <sub>A</sub> : leitura do densímetro à temperatura T	(g/cm <sup>3</sup> )	1,000
C <sub>T</sub> : correção da temperatura T		-0,0002
C <sub>A</sub> : correção do antifloculante		-0,0002
<b>Correção do menisco</b>		
L <sub>1</sub> : primeira leitura no densímetro	(g/cm <sup>3</sup> )	1,001
L <sub>2</sub> : segunda leitura no densímetro	(g/cm <sup>3</sup> )	1
C <sub>M</sub> : correção do menisco		0,001

Sedimentação										
Tempo (min)	1	2	5	15	30	60	250	1440	2880	
Data	28/2/2018	28/2/2018	28/2/2018	28/2/2018	28/2/2018	28/2/2018	28/2/2018	28/2/2018	1/3/2018	2/3/2018
Hora	12h03	12h05	12h07	12h17	12h32	13h02	16h13	12h02	12h02	
L <sub>s</sub> : leitura observada no densímetro (g/cm <sup>3</sup> )	1,023	1,020	1,017	1,013	1,012	1,010	1,006	1,003	1,001	
T: temperatura (°C)	17,5	17,5	17,5	18,0	18,0	18,3	19,1	19,7	19,5	
C <sub>T</sub> : correção da temperatura	-0,0003	-0,0003	-0,0003	-0,0003	-0,0003	-0,0003	-0,0002	0,0000	0,0000	
L <sub>c</sub> : leituras corrigidas (g/cm <sup>3</sup> )	1,024	1,021	1,018	1,014	1,013	1,011	1,007	1,004	1,002	
K: constante da Lei de Stokes	0,01395	0,01395	0,01395	0,01395	0,01395	0,01395	0,01378	0,01361	0,01361	
Z <sub>s</sub> : Profundidade efetiva (cm)	14,70	15,01	15,32	15,73	15,84	16,04	16,45	16,76	16,97	
n <sub>D</sub> : % de partículas de diâmetro inferior a D, referida à massa seca do solo (%)	30	26	22	17	16	14	9	5	3	
N <sub>D</sub> : % de partículas de diâmetro inferior a D, referida à massa total da amostra (%)	27	24	20	16	15	12	8	5	2	
D: diâmetro das partículas correspondent e a nD e ND (mm)	0,0535	0,0382	0,0244	0,0143	0,0101	0,0072	0,0035	0,0015	0,0010	

Densímetro 3146		
V: Volume do bolbo	(cm <sup>3</sup> )	35
h <sub>s</sub> : Distância entre a marca de graduação inferior da escala e cada uma das principais graduações da haste	h <sub>s1</sub> (cm)	10,427
	h <sub>s2</sub> (cm)	5,043
	h <sub>s3</sub> (cm)	0,140
d: Distância entre o início do bolbo e a marca de graduação inferior da haste	(cm)	0,971
h: Altura do bolbo	(cm)	12,827
H <sub>s1</sub>	(cm)	11,398
H <sub>s2</sub>	(cm)	6,014
H <sub>s3</sub>	(cm)	1,111
Z <sub>s1</sub>	(cm)	17,15
Z <sub>s2</sub>	(cm)	11,77
Z <sub>s3</sub>	(cm)	6,86

Principais graduações da haste:		
L <sub>s1</sub>	(g/cm <sup>3</sup> )	1,000
L <sub>s2</sub>	(g/cm <sup>3</sup> )	1,050
L <sub>s3</sub>	(g/cm <sup>3</sup> )	1,100

Proveta L0931		
T: distância entre pontos	(cm)	33,55
A: área da secção da proveta	(cm <sup>2</sup> )	26,48
V: volume da proveta	(cm <sup>3</sup> )	888,43



## EN ISO 17892-4: 1966 – Caracterização e ensaios geotécnicos – Ensaios de laboratório em solos – Parte 4: Determinação da distribuição granulométrica

- Método de peneiração:

Ensaio 1				
Referência da amostra			Solo 1	
Análise expedita				
Diâmetro das partículas (mm)			20,0	
Massa mínima recomendada para peneiração (g)			2000	
Dados do provete				
m <sub>w</sub> : Massa húmida do provete de ensaio (g)			2128,5	
m: Massa seca do provete de ensaio (g)			2120,0	
Teor em água				
Referência da cápsula			232	
m <sub>c</sub> : massa da cápsula (e tampa se utilizada) (g)			1043,1	
m <sub>1</sub> : massa da cápsula (e tampa se utilizada) e do provete húmido (g)			1636,8	
m <sub>2</sub> : massa da cápsula (e tampa se utilizada) e do provete seco (g)			1634,5	
w: teor em água (%)			0,4	
Material retido no peneiro de abertura de 20 mm				
m <sub>r</sub> : massa do material retido após secagem (g)			76,97	
Material passado no peneiro de abertura de 20 mm				
m <sub>s</sub> : massa do material que passa no peneiro de 20 mm (g)			2032,3	
m' <sub>s</sub> : massa reduzida (g)			537,7	
Relação entre m <sub>s</sub> e m' <sub>s</sub>			3,78	
Material retido nos peneiros de abertura superior a 20 mm				
Abertura dos peneiros (mm)	Massa retida (g)		Massa retida ajustada (g)	
63,0	m <sub>ss1</sub>	0	m' <sub>s1</sub>	-
37,5	m <sub>ss2</sub>	0	m' <sub>s2</sub>	-
20,0	m <sub>ss3</sub>	76,97	m' <sub>s3</sub>	-

Material retido nos peneiros de abertura superior a 0,063 mm				
Abertura dos peneiros (mm)	Massa retida (g)		Massa retida ajustada (g)	
10,0	$m_{ss4}$	17,53	$m'_{s4}$	66,26
6,3	$m_{ss5}$	5,02	$m'_{s5}$	18,97
2,0	$m_{ss6}$	35,16	$m'_{s6}$	132,89
0,63	$m_{ss7}$	167,85	$m'_{s7}$	634,41
0,20	$m_{ss8}$	124,53	$m'_{s8}$	470,68
0,063	$m_{ss9}$	80,21	$m'_{s9}$	303,16

Material passado no peneiro de abertura de 0,063 mm	
$m_p$ : massa do material que passa no peneiro 0,063 mm (g)	3,75

Fração que passa nos peneiros de abertura superior a 20 mm		
Abertura dos peneiros (mm)	$f_n$ (%)	
63,0	$f_{63,0}$	100
37,5	$f_{37,5}$	100
20,0	$f_{20,0}$	96

Fração que passa nos peneiros de abertura superior a 0,063 mm		
Abertura dos peneiros (mm)	$f_n$ (%)	
10,0	$f_{10,0}$	93
6,3	$f_{6,3}$	92
2,0	$f_{2,0}$	86
0,63	$f_{0,63}$	56
0,20	$f_{0,20}$	34
0,063	$f_{0,063}$	20

Ensaio 2				
Referência da amostra			Solo 1	
Análise expedita				
Diâmetro das partículas (mm)			20,0	
Massa mínima da fração retida no peneiro de 2,00 mm (g)			2000	
Dados da amostra				
$m_w$ : Massa húmida do solo do provete de ensaio (g)			2288,8	
m: Massa seca do provete de ensaio (g)			2279,7	
Teor em água				
Referência da cápsula			278	
$m_c$ : massa da cápsula (e tampa se utilizada) (g)			789,9	
$m_1$ : massa da cápsula (e tampa se utilizada) e do provete húmido (g)			1471,0	
$m_2$ : massa da cápsula (e tampa se utilizada) e do provete seco (g)			1468,3	
w: teor em água (%)			0,4	
Material retido no peneiro de abertura de 20 mm				
$m_r$ : massa do material retido após secagem (g)			105,70	
Material passado no peneiro de abertura de 20 mm				
$m_s$ : massa do material que passa no peneiro de 20 mm (g)			2168,9	
$m'_s$ : massa reduzida (g)			606,1	
Relação entre $m_s$ e $m'_s$			3,58	
Material retido nos peneiros de abertura superior a 20 mm				
Abertura dos peneiros (mm)	Massa retida (g)		Massa retida ajustada (g)	
63,0	$m_{ss1}$	0	$m'_{s1}$	-
37,5	$m_{ss2}$	0	$m'_{s2}$	-
20,0	$m_{ss3}$	105,70	$m'_{s3}$	-
Material retido nos peneiros de abertura superior a 0,063 mm				
Abertura dos peneiros (mm)	Massa retida (g)		Massa retida ajustada (g)	
10,0	$m_{ss4}$	20,71	$m'_{s4}$	74,11
6,3	$m_{ss5}$	6,73	$m'_{s5}$	24,08
2,0	$m_{ss6}$	24,38	$m'_{s6}$	87,24
0,63	$m_{ss7}$	183,1	$m'_{s7}$	655,21
0,20	$m_{ss8}$	152,6	$m'_{s8}$	546,07
0,063	$m_{ss9}$	98,35	$m'_{s9}$	351,94

Material passado no peneiro de abertura de 0,063 mm		
$m_p$ : massa do material que passa no peneiro 0,063 mm	(g)	6,61
Fração que passa nos peneiros de abertura superior a 20 mm		
Abertura dos peneiros (mm)	$f_n$ (%)	
63,0	$f_{63,0}$	100
37,5	$f_{37,5}$	100
20,0	$f_{20,0}$	95
Fração que passa nos peneiros de abertura superior a 0,063 mm		
Abertura dos peneiros (mm)	$f_n$ (%)	
10,0	$f_{10,0}$	92
6,3	$f_{6,3}$	91
2,0	$f_{2,0}$	87
0,63	$f_{0,63}$	58
0,20	$f_{0,20}$	35
0,063	$f_{0,063}$	19

Ensaio 3				
Referência da amostra			Solo 1	
Análise expedita				
Diâmetro das partículas (mm)			20,0	
Massa mínima da fração retida no peneiro de 2,00 mm (g)			2000	
Dados da amostra				
m <sub>w</sub> : Massa húmida do solo do provete de ensaio (g)			2295,9	
m: Massa seca do provete de ensaio (g)			2289,0	
Teor em água				
Referência da cápsula			44	
m <sub>c</sub> : massa da cápsula (e tampa se utilizada) (g)			753,6	
m <sub>1</sub> : massa da cápsula (e tampa se utilizada) e do provete húmido (g)			1422,2	
m <sub>2</sub> : massa da cápsula (e tampa se utilizada) e do provete seco (g)			1419,9	
w: teor em água (%)			0,3	
Material retido no peneiro de abertura de 20 mm				
m <sub>r</sub> : massa do material retido após secagem (g)			10,35	
Material passado no peneiro de abertura de 20 mm				
m <sub>s</sub> : massa do material que passa no peneiro de 20 mm (g)			2273,8	
m' <sub>s</sub> : massa reduzida (g)			557,8	
Relação entre m <sub>s</sub> e m' <sub>s</sub>			4,08	
Material retido nos peneiros de abertura superior a 20 mm				
Abertura dos peneiros (mm)	Massa retida (g)		Massa retida ajustada (g)	
63,0	m <sub>ss1</sub>	0	m' <sub>s1</sub>	-
37,5	m <sub>ss2</sub>	0	m' <sub>s2</sub>	-
20,0	m <sub>ss3</sub>	10,35	m' <sub>s3</sub>	-
Material retido nos peneiros de abertura superior a 0,063 mm				
Abertura dos peneiros (mm)	Massa retida (g)		Massa retida ajustada (g)	
10,0	m <sub>ss4</sub>	5,28	m' <sub>s4</sub>	21,52
6,3	m <sub>ss5</sub>	5,79	m' <sub>s5</sub>	23,60
2,0	m <sub>ss6</sub>	20,75	m' <sub>s6</sub>	84,58
0,63	m <sub>ss7</sub>	169,46	m' <sub>s7</sub>	690,78
0,20	m <sub>ss8</sub>	149,47	m' <sub>s8</sub>	609,30
0,063	m <sub>ss9</sub>	96,23	m' <sub>s9</sub>	392,27

Material passado no peneiro de abertura de 0,063 mm		
$m_p$ : massa do material que passa no peneiro 0,063 mm	(g)	3,68
Fração que passa nos peneiros de abertura superior a 20 mm		
Abertura dos peneiros (mm)	$f_n$ (%)	
63,0	$f_{63,0}$	100
37,5	$f_{37,5}$	100
20,0	$f_{20,0}$	100
Fração que passa nos peneiros de abertura superior a 0,063 mm		
Abertura dos peneiros (mm)	$f_n$ (%)	
10,0	$f_{10,0}$	99
6,3	$f_{6,3}$	98
2,0	$f_{2,0}$	94
0,63	$f_{0,63}$	64
0,20	$f_{0,20}$	37
0,063	$f_{0,063}$	20

- Método de sedimentação:

Ensaio 1					
Referência da amostra			Solo 1		
Dados da amostra					
$m_w$ : Massa húmida do solo	(g)	117,05			
$m$ : Massa seca total	(g)	115,78			
$m'$ : massa do material com dimensão inferior a 0,063 mm	(g)	28,88			
Teor em água					
Referência da cápsula			214		
$m_c$ : massa da cápsula (e tampa se utilizada)	(g)	1046,6			
$m_1$ : massa da cápsula (e tampa se utilizada) e do provete húmido	(g)	1626,6			
$m_2$ : massa da cápsula (e tampa se utilizada) e do provete seco	(g)	1620,5			
$w$ : teor em água	(%)	1,1			
Massa volúmica das partículas					
$\rho_s$ : massa volúmica das partículas			( $\text{mg}/\text{m}^3$ )	2,65	
Material retido nos peneiros de abertura superior a 2,00 mm (nº 10)					
Abertura dos peneiros (mm)	Massa retida (g)		% Material retido	% Retidos acumulados	% Acumulados passados
2,00	$m_{ss1}$	11,82	10	10	90
0,63	$m_{ss2}$	30,78	27	37	63
0,20	$m_{ss3}$	27,05	23	60	40
0,063	$m_{ss4}$	18,85	16	76	24
Fração que passa nos peneiros de abertura superior a 20 mm					
Abertura dos peneiros (mm)		$f_n$ (%)			
2,0		$f_{63,0}$	90		
0,63		$f_{37,5}$	63		
0,20		$f_{20,0}$	40		
0,063			24		

## Leitura real do densímetro

Tempo (min)	0,5	1	2	4	8	30	60	120	360	1440
Leitura no densímetro (g/cm <sup>3</sup> )	1,017	1,016	1,015	1,014	1,010	1,0075	1,006	1,0045	1,003	1,0015
R <sub>h</sub> : leitura observada no densímetro (g/mm <sup>3</sup> )	17,0	16,0	15,0	14,0	10,0	7,5	6,0	4,5	3,0	1,5
T: temperatura (°C)	18,9	18,9	18,9	18,9	18,9	19,0	19,0	19,2	19,2	19,7
R <sub>h</sub> : leitura verdadeira no densímetro (g/mm <sup>3</sup> )	18,5	17,5	16,5	15,5	11,5	9	7,5	6	4,5	3

## Leitura modificada do densímetro

R' <sub>0</sub> : leitura observada no densímetro com a solução de referência (g/cm <sup>3</sup> )	-1									
R <sub>0</sub> : leitura corrigida para o menisco (g/cm <sup>3</sup> )	0,5									
R <sub>d</sub> : leitura corrigida no densímetro (g/mm <sup>3</sup> )	18,0	17,0	16,0	15,0	11,0	8,5	7,0	5,5	4,0	2,5

## Correção do menisco

L <sub>1</sub> : primeira leitura no densímetro (g/mm <sup>3</sup> )	1,0015
L <sub>2</sub> : segunda leitura no densímetro (g/mm <sup>3</sup> )	1,000
C <sub>M</sub> : correção do menisco	0,0015

## Diâmetro equivalente das partículas

Tempo (min)	0,5	1	2	4	8	30	60	120	360	1440
η: viscosidade dinâmica da água (mPa.s)	1,033	1,033	1,033	1,033	1,033	1,030	1,030	1,030	1,030	1,005
ρ <sub>w</sub> : massa volúmica do fluido de sedimentação (Mg/m <sup>3</sup> )	1,00									
H <sub>r</sub> : profundidade efetiva (mm)	153,85	154,90	155,94	156,99	161,19	163,81	165,38	166,95	168,52	170,10
di: diâmetro equivalente da partícula (mm)	0,077	0,054	0,039	0,027	0,020	0,010	0,007	0,005	0,003	0,001

Fração inferior ao diâmetro equivalente das partículas										
R <sub>d</sub> : leitura verdadeira no densímetro (g/mm <sup>3</sup> )	18	17	16	15	11	8,5	7	5,5	4	2,5
<b>K: fração inferior ao diâmetro equivalente das partículas (%)</b>	<b>25</b>	<b>23</b>	<b>22</b>	<b>21</b>	<b>15</b>	<b>12</b>	<b>10</b>	<b>8</b>	<b>6</b>	<b>3</b>

Correção para o material com dimensão superior a 2,00 mm										
K: fração inferior ao diâmetro equivalente das partículas (%)	25	23	22	21	15	12	10	8	6	3
f <sub>2,00</sub> : fração que passa no peneiro 2,00 mm (%)	89,90									
<b>K: fração inferior ao diâmetro equivalente das partículas (%)</b>	<b>22</b>	<b>21</b>	<b>20</b>	<b>19</b>	<b>14</b>	<b>11</b>	<b>9</b>	<b>7</b>	<b>5</b>	<b>3</b>



## ANEXO IV – FOLHAS DE REGISTO DOS LIMITES DE CONSISTÊNCIA

### NP-143: 1966 – Solos: Determinação dos limites de consistência

Ensaio 1 – Limite de liquidez				
Referência da amostra	Solo 1			
Determinação do limite de liquidez				
Proвете	1	2	3	4
Número de pancadas				
Referência da cápsula				
m <sub>1</sub> : massa da cápsula (g)				
m <sub>2</sub> : massa da cápsula e do provete húmido (g)				
m <sub>3</sub> : massa da cápsula e do provete seco (g)				
w: teor em água (%)				
<b>LL – Limite de liquidez (%)</b>	<b>NP</b>			

Ensaio 1 – Limite de plasticidade				
Referência da amostra	Solo 1			
Determinação do limite de plasticidade				
Proвете	1	2	3	4
Referência da cápsula				
m <sub>1</sub> : massa da cápsula (g)				
m <sub>2</sub> : massa da cápsula e do provete húmido (g)				
m <sub>3</sub> : massa da cápsula e do provete seco (g)				
w: teor em água (%)				
<b>LP – Limite de plasticidade (%)</b>	<b>NP</b>			

Ensaio 1 – Limite de liquidez					
Referência da amostra		Solo 2			
Determinação do limite de liquidez					
Provete		1	2	3	4
Número de pancadas		38	29	21	17
Referência da cápsula		4 (19)	13 (70)	15 (68)	63 (62)
m <sub>1</sub> : massa da cápsula	(g)	27,3066	27,8127	27,9352	27,7970
m <sub>2</sub> : massa da cápsula e do provete húmido	(g)	43,0564	45,2196	44,0838	44,3894
m <sub>3</sub> : massa da cápsula e do provete seco	(g)	37,3223	38,5739	37,7572	37,6554
w: teor em água	(%)	57,3	61,8	64,4	68,3
<b>LL – Limite de liquidez</b>	<b>(%)</b>	<b>63</b>			

Ensaio 1 – Limite de plasticidade					
Referência da amostra		Solo 2			
Determinação do limite de plasticidade					
Provete		1	2	3	4
Referência da cápsula		59	91	13	67 (75)
m <sub>1</sub> : massa da cápsula	(g)	8,8059	8,9789	9,1387	27,4945
m <sub>2</sub> : massa da cápsula e do provete húmido	(g)	10,7590	10,8660	10,5222	29,4636
m <sub>3</sub> : massa da cápsula e do provete seco	(g)	10,4815	10,5847	10,3029	29,1209
w: teor em água	(%)	16,6	17,5	18,8	21,1
<b>LP – Limite de plasticidade</b>	<b>(%)</b>	<b>19</b>			

Ensaio 2 – Limite de liquidez				
Referência da amostra	Solo 2			
Determinação do limite de liquidez				
Provete	1	2	3	4
Número de pancadas	32	27	23	17
Referência da cápsula	8 (77)	11 (75)	17 (74)	28 (73)
m <sub>1</sub> : massa da cápsula (g)	27,6201	27,8307	27,8042	27,0893
m <sub>2</sub> : massa da cápsula e do provete húmido (g)	43,2404	44,7696	43,7024	43,3630
m <sub>3</sub> : massa da cápsula e do provete seco (g)	37,5147	38,4127	37,6455	36,9724
w: teor em água (%)	57,9	60,1	61,5	64,7
<b>LL – Limite de liquidez (%)</b>	<b>61</b>			

Ensaio 2 – Limite de plasticidade				
Referência da amostra	Solo 2			
Determinação do limite de plasticidade				
Provete	1	2	3	4
Referência da cápsula	24 (46)	81 (20)	87 (79)	114 (19)
m <sub>1</sub> : massa da cápsula (g)	28,0967	27,5606	27,8737	27,3166
m <sub>2</sub> : massa da cápsula e do provete húmido (g)	29,4754	29,6251	29,4702	28,9867
m' <sub>3</sub> : massa da cápsula e do provete seco após:				
· 16h de secagem (g)	29,2726	29,3171	29,2182	28,7361
· 16h + 4h de secagem	29,2726	29,3171	29,2182	28,7361
m <sub>3</sub> : massa da cápsula e do provete seco (g)	29,2726	29,3171	29,2182	28,7361
w: teor em água (%)	17,2	17,5	18,7	17,7
<b>LP – Limite de plasticidade (%)</b>	<b>18</b>			

Ensaio 3 – Limite de liquidez				
Referência da amostra			Solo 2	
Determinação do limite de liquidez				
Provete	1	2	3	4
Número de pancadas	30	26	20	17
Referência da cápsula	4 (19)	15 (77)	17 (73)	64 (68)
m <sub>1</sub> : massa da cápsula (g)	27,2974	28,1352	27,6229	27,5969
m <sub>2</sub> : massa da cápsula e do provete húmido (g)	43,4490	44,9824	43,3258	44,4032
m <sub>3</sub> : massa da cápsula e do provete seco (g)	37,6651	38,8587	37,3723	37,8032
w: teor em água (%)	55,8	57,1	61,1	64,7
<b>LL – Limite de liquidez (%)</b>	<b>58</b>			

Ensaio 3 – Limite de plasticidade				
Referência da amostra			Solo 2	
Determinação do limite de plasticidade				
Provete	1	2	3	4
Referência da cápsula	9 (25)	23 (11)	64 (82)	69 (2)
m <sub>1</sub> : massa da cápsula (g)	27,4841	27,4012	27,6533	27,1720
m <sub>2</sub> : massa da cápsula e do provete húmido (g)	28,9178	29,4550	29,6225	29,0695
m <sub>3</sub> : massa da cápsula e do provete seco (g)	28,6853	29,1312	29,3172	28,7407
w: teor em água (%)	19,4	18,7	18,3	21,0
<b>LP – Limite de plasticidade (%)</b>	<b>19</b>			

**ISO/FDIS 17892-12: 2018 – Caracterização e ensaios geotécnicos – Ensaio de laboratório em solos – Parte 12: Determinação da distribuição granulométrica**

<b>Ensaio 1 – Limite de liquidez: método da concha de Casagrande</b>					
Referência da amostra	Solo 1				
<b>Preparação do provete</b>					
m <sub>1</sub> : massa da amostra	(g)	221,0			
m <sub>r</sub> : massa seca retida no 0,420 mm	(g)	193,0			
Referência da cápsula	233				
m <sub>c</sub> : massa da cápsula (e tampa se utilizada)	(g)	1272,4			
m <sub>3</sub> : massa da cápsula (e tampa se utilizada) e do provete húmido	(g)	1839,6			
m <sub>4</sub> : massa da cápsula (e tampa se utilizada) e do provete seco	(g)	1838,1			
w: teor em água	(%)	0,3			
K: percentagem de material < 0,420 mm	(%)	12			
<b>Determinação do limite de liquidez</b>					
Provete		1	2	3	4
Número de pancadas		---	---	---	---
Referência da cápsula		---	---	---	---
m <sub>c</sub> : massa da cápsula (e tampa se utilizada)	(g)	---	---	---	---
m <sub>1</sub> : massa da cápsula (e tampa se utilizada) e do provete húmido	(g)	---	---	---	---
m <sub>2</sub> : massa da cápsula (e tampa se utilizada) e do provete seco	(g)	---	---	---	---
w: teor em água	(%)	---	---	---	---
<b>LL – Limite de liquidez</b>	<b>(%)</b>	<b>NP</b>			

Ensaio 1 – Limite de liquidez: método do cone 80g/30°	
Referência da amostra	Solo 1
Preparação do provete	
m <sub>1</sub> : massa da amostra (g)	221,0
m <sub>r</sub> : massa seca retida no 0,420 mm (g)	193,0
Referência da cápsula	233
m <sub>c</sub> : massa da cápsula (e tampa se utilizada) (g)	1272,4
m <sub>3</sub> : massa da cápsula (e tampa se utilizada) e do provete húmido (g)	1839,6
m <sub>4</sub> : massa da cápsula (e tampa se utilizada) e do provete seco (g)	1838,1
w: teor em água (%)	0,3
K: percentagem de material < 0,420 mm (%)	12

Determinação do limite de liquidez												
Provete	1			2			3			4		
Posição inicial do cone (mm)	10,00	10,00	---	19,00	19,00	20,00	23,00	24,00	24,00	19,00	19,00	19,00
Profundidade de penetração após 5 ±1s (mm)	14,20	14,28	---	10,55	11,19	12,68	16,42	18,42	18,82	23,85	24,75	24,25
Profundidade de penetração do cone (mm)	4,20	4,28	---	8,45	7,81	7,32	6,58	5,58	5,18	4,85	5,75	5,25
Máxima diferença entre duas leituras sucessivas (mm)	0,08		---	0,64		0,49	1,00		0,40	0,90		0,50
Referência da cápsula	---			---			111			10		
m <sub>c</sub> : massa da cápsula (e tampa se utilizada) (g)	---			---			18,3590			18,7749		
m <sub>1</sub> : massa da cápsula (e tampa se utilizada) e do provete húmido (g)	---			---			47,9631			71,3940		
m <sub>2</sub> : massa da cápsula (e tampa se utilizada) e do provete seco (g)	---			---			41,5742			56,7420		
w: teor em água (%)	---			---			27,5			38,6		
<b>LL – Limite de liquidez (%)</b>	<b>NP</b>											

Ensaio 1 – Limite de plasticidade		
Referência da amostra	Solo 1	
Preparação do provete		
m <sub>1</sub> : massa da amostra	(g)	221,0
m <sub>r</sub> : massa seca retida no 0,420 mm	(g)	193,0
Referência da cápsula	233	
m <sub>c</sub> : massa da cápsula (e tampa se utilizada)	(g)	1272,4
m <sub>3</sub> : massa da cápsula (e tampa se utilizada) e do provete húmido	(g)	1839,6
m <sub>4</sub> : massa da cápsula (e tampa se utilizada) e do provete seco	(g)	1838,1
w: teor em água	(%)	0,3
K: percentagem de material < 0,420 mm	(%)	12
Determinação do limite de plasticidade		
Proвете	---	---
Referência da cápsula	---	---
m <sub>c</sub> : massa da cápsula (e tampa se utilizada)	(g) ---	---
m <sub>1</sub> : massa da cápsula (e tampa se utilizada) e do provete húmido	(g) ---	---
m <sub>2</sub> : massa da cápsula (e tampa se utilizada) e do provete seco	(g) ---	---
w: teor em água	(%) ---	---
<b>LP – Limite de plasticidade</b>	<b>(%)</b>	<b>NP</b>

Ensaio 1 – Limite de liquidez: método da concha de Casagrande					
Referência da amostra		Solo 2			
Preparação do provete					
m <sub>1</sub> : massa da amostra	(g)	---			
m <sub>r</sub> : massa seca retida no 0,420 mm	(g)	---			
Referência da cápsula		---			
m <sub>c</sub> : massa da cápsula (e tampa se utilizada)	(g)	---			
m <sub>3</sub> : massa da cápsula (e tampa se utilizada) e do provete húmido	(g)	---			
m <sub>4</sub> : massa da cápsula (e tampa se utilizada) e do provete seco	(g)	---			
w: teor em água	(%)	---			
K: percentagem de material < 0,420 mm	(%)	100			
Determinação do limite de liquidez					
Provete		1	2	3	4
Número de pancadas		37	29	23	19
Referência da cápsula		64 (82)	69 (2)	23 (11)	9 (25)
m <sub>c</sub> : massa da cápsula (e tampa se utilizada)	(g)	27,6533	27,1720	27,4012	27,4841
m <sub>1</sub> : massa da cápsula (e tampa se utilizada) e do provete húmido	(g)	43,4958	42,9675	43,4755	43,6584
m <sub>2</sub> : massa da cápsula (e tampa se utilizada) e do provete seco	(g)	37,8995	37,1615	37,4280	37,2461
w: teor em água	(%)	54,6	58,1	60,3	65,7
<b>LL – Limite de liquidez</b>	<b>(%)</b>	<b>60</b>			
Validação de resultados					
Equação da reta:		<b>y = -15,74ln(x) + 111,05</b>			
Número de pancadas		37	29	23	19
Teor em água	(%)	54,6	58,1	60,3	65,7
Teor em água interpolado na reta	(%)	54,2	58,0	61,7	64,7
<b>Validação</b>	<b>(%)</b>	<b>-1</b>	<b>0</b>	<b>2</b>	<b>-2</b>

Ensaio 1 – Limite de liquidez: método do cone 80g/30°	
Referência da amostra	Solo 2
Preparação do provete	
m <sub>1</sub> : massa da amostra (g)	---
m <sub>r</sub> : massa seca retida no 0,420 mm (g)	---
Referência da cápsula	---
m <sub>c</sub> : massa da cápsula (e tampa se utilizada) (g)	---
m <sub>3</sub> : massa da cápsula (e tampa se utilizada) e do provete húmido (g)	---
m <sub>4</sub> : massa da cápsula (e tampa se utilizada) e do provete seco (g)	---
w: teor em água (%)	---
K: percentagem de material < 0,420 mm (%)	100

Determinação do limite de liquidez												
Provete	1			2			3			4		
Posição inicial do cone (mm)	20,00	20,00	20,00	22,00	22,00	---	23,00	24,00	---	5,00	6,00	---
Profundidade de penetração após 5 ±1s (mm)	3,45	4,27	4,14	4,56	4,84	---	2,62	3,45	---	18,41	17,33	---
Profundidade de penetração do cone (mm)	16,55	15,73	15,86	17,44	17,16	---	20,38	20,55	---	23,41	23,33	---
Máxima diferença entre duas leituras sucessivas (mm)	0,82		0,13	0,28		---	0,17		---	0,08		---
Referência da cápsula	82 (4)			4 (77)			91 (65)			64 (46)		
m <sub>c</sub> : massa da cápsula (e tampa se utilizada) (g)	27,7238			27,9104			28,0252			27,5474		
m <sub>1</sub> : massa da cápsula (e tampa se utilizada) e do provete húmido (g)	44,8675			44,7549			45,5724			45,0783		
m <sub>2</sub> : massa da cápsula (e tampa se utilizada) e do provete seco (g)	39,0776			38,7587			39,0652			38,1261		
w: teor em água (%)	51,0			55,3			58,9			65,7		
<b>LL – Limite de liquidez (%)</b>	<b>59</b>											

Validação de resultados					
Equação da reta:		$y = 1,8629x + 21,78$			
Profundidade de penetração (mm)		16,05	17,30	20,47	23,37
Teor em água (%)		51,0	55,3	58,9	65,7
Teor em água interpolado na reta (%)		51,7	54,0	59,9	65,3
<b>Validação (%)</b>		<b>1</b>	<b>-2</b>	<b>2</b>	<b>-1</b>

Ensaio 1 – Limite de plasticidade		
Referência da amostra	Solo 2	
Preparação do provete		
m <sub>1</sub> : massa da amostra (g)	---	
m <sub>r</sub> : massa seca retida no 0,420 mm (g)	---	
Referência da cápsula	---	
m <sub>c</sub> : massa da cápsula (e tampa se utilizada) (g)	---	
m <sub>3</sub> : massa da cápsula (e tampa se utilizada) e do provete húmido (g)	---	
m <sub>4</sub> : massa da cápsula (e tampa se utilizada) e do provete seco (g)	---	
w: teor em água (%)	---	
K: percentagem de material < 0,420 mm (%)	100	
Determinação do limite de plasticidade		
Provete	1	2
Referência da cápsula	61 (65)	19 (19)
m <sub>c</sub> : massa da cápsula (e tampa se utilizada) (g)	27,4400	27,5010
m <sub>1</sub> : massa da cápsula (e tampa se utilizada) e do provete húmido (g)	30,0206	30,7805
m <sub>2</sub> : massa da cápsula (e tampa se utilizada) e do provete seco (g)	29,5749	30,2396
w: teor em água (%)	20,9	19,8
<b>LP – Limite de plasticidade (%)</b>	<b>20</b>	
Validação de resultados		
<b>x<sub>m</sub></b>	20,4 %	
<b>y</b>	0,05 %	
x <sub>m</sub> - Média dos valores dos limites de plasticidade.		
y – Quociente entre a diferença dos resultados dos dois provetes e o valor médio.		

Ensaio 2 – Limite de liquidez: método da concha de Casagrande					
Referência da amostra	Solo 2				
Preparação do provete					
m <sub>1</sub> : massa da amostra	(g)	---			
m <sub>r</sub> : massa seca retida no 0,420 mm	(g)	---			
Referência da cápsula		---			
m <sub>c</sub> : massa da cápsula (e tampa se utilizada)	(g)	---			
m <sub>3</sub> : massa da cápsula (e tampa se utilizada) e do provete húmido	(g)	---			
m <sub>4</sub> : massa da cápsula (e tampa se utilizada) e do provete seco	(g)	---			
w: teor em água	(%)	---			
K: percentagem de material < 0,420 mm	(%)	100			
Determinação do limite de liquidez					
Provete		1	2	3	4
Número de pancadas		33	27	18	16
Referência da cápsula		24 (46)	81 (20)	87 (79)	114 (19)
m <sub>c</sub> : massa da cápsula (e tampa se utilizada)	(g)	28,0967	27,5606	27,8737	27,3166
m <sub>1</sub> : massa da cápsula (e tampa se utilizada) e do provete húmido	(g)	44,2755	44,7802	45,5792	44,5155
m <sub>2</sub> : massa da cápsula (e tampa se utilizada) e do provete seco	(g)	38,1243	38,1368	38,5432	37,6367
w: teor em água	(%)	61,3	62,8	65,9	66,7
<b>LL – Limite de liquidez</b>	<b>(%)</b>	<b>63</b>			
Validação de resultados					
Equação da reta:		<b>y = -7,509ln(x) + 87,555</b>			
Número de pancadas		33	27	18	16
Teor em água	(%)	61,3	62,8	65,9	66,7
Teor em água interpolado na reta	(%)	61,3	62,8	65,9	66,7
<b>Validação</b>	<b>(%)</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>

Ensaio 2 – Limite de liquidez: método do cone 80g/30°	
Referência da amostra	Solo 2
Preparação do provete	
m <sub>1</sub> : massa da amostra (g)	---
m <sub>r</sub> : massa seca retida no 0,420 mm (g)	---
Referência da cápsula	---
m <sub>c</sub> : massa da cápsula (e tampa se utilizada) (g)	---
m <sub>3</sub> : massa da cápsula (e tampa se utilizada) e do provete húmido (g)	---
m <sub>4</sub> : massa da cápsula (e tampa se utilizada) e do provete seco (g)	---
w: teor em água (%)	---
K: percentagem de material < 0,420 mm (%)	100

Determinação do limite de liquidez												
Provete	1			2			3			4		
Posição inicial do cone (mm)	21,00	22,00	---	23,00	24,00	---	1,77	3,00	---	3,00	4,00	5,00
Profundidade de penetração após 5 ±1s (mm)	5,59	6,25	---	5,36	6,09	---	18,93	17,38	---	19,78	17,96	16,50
Profundidade de penetração do cone (mm)	15,41	15,75	---	17,64	17,91	---	20,70	20,38	---	22,78	21,96	21,50
Máxima diferença entre duas leituras sucessivas (mm)	0,34	---	---	0,27	---	---	0,32	---	---	0,82	---	0,46
Referência da cápsula	81 (79)			8 (59)			11 (60)			17 (81)		
m <sub>c</sub> : massa da cápsula (e tampa se utilizada) (g)	27,5407			27,3313			27,7783			27,6154		
m <sub>1</sub> : massa da cápsula (e tampa se utilizada) e do provete húmido (g)	43,8844			43,2668			43,7407			44,1521		
m <sub>2</sub> : massa da cápsula (e tampa se utilizada) e do provete seco (g)	38,3201			37,5322			37,7360			37,6198		
w: teor em água (%)	51,6			56,2			60,3			65,3		
<b>LL – Limite de liquidez (%)</b>	<b>60</b>											

Validação de resultados					
Equação da reta:		$y = 2,0007x + 20,349$			
Profundidade de penetração (mm)		15,58	17,78	20,54	22,08
Teor em água (%)		51,6	56,2	60,3	65,3
Teor em água interpolado na reta (%)		51,5	55,9	61,4	64,5
<b>Validação (%)</b>		<b>0</b>	<b>-1</b>	<b>2</b>	<b>-1</b>

Ensaio 2 – Limite de plasticidade	
Referência da amostra	Solo 2

Preparação do provete		
m <sub>1</sub> : massa da amostra	(g)	---
m <sub>r</sub> : massa seca retida no 0,420 mm	(g)	---
Referência da cápsula		---
m <sub>c</sub> : massa da cápsula (e tampa se utilizada)	(g)	---
m <sub>3</sub> : massa da cápsula (e tampa se utilizada) e do provete húmido	(g)	---
m <sub>4</sub> : massa da cápsula (e tampa se utilizada) e do provete seco	(g)	---
w: teor em água	(%)	---
K: percentagem de material < 0,420 mm	(%)	100

Determinação do limite de plasticidade			
Provete		1	2
Referência da cápsula		17 (81)	8 (59)
m <sub>c</sub> : massa da cápsula (e tampa se utilizada)	(g)	27,6131	27,3478
m <sub>1</sub> : massa da cápsula (e tampa se utilizada) e do provete húmido	(g)	29,6417	30,2710
m <sub>2</sub> : massa da cápsula (e tampa se utilizada) e do provete seco	(g)	29,3064	29,7748
w: teor em água	(%)	19,8	20,4
<b>LL – Limite de plasticidade</b>	<b>(%)</b>	<b>20</b>	

Validação de resultados	
<b>x<sub>m</sub></b>	20,1 %
<b>y</b>	0,03 %

x<sub>m</sub> - Média dos valores dos limites de plasticidade.

y – Quociente entre a diferença dos resultados dos dois provetes e o valor médio.

Ensaio 3 – Limite de liquidez: método da concha de Casagrande					
Referência da amostra		Solo 2			
Preparação do provete					
m <sub>1</sub> : massa da amostra	(g)	---			
m <sub>r</sub> : massa seca retida no 0,420 mm	(g)	---			
Referência da cápsula		---			
m <sub>c</sub> : massa da cápsula (e tampa se utilizada)	(g)	---			
m <sub>3</sub> : massa da cápsula (e tampa se utilizada) e do provete húmido	(g)	---			
m <sub>4</sub> : massa da cápsula (e tampa se utilizada) e do provete seco	(g)	---			
w: teor em água	(%)	---			
K: percentagem de material < 0,420 mm	(%)	100			
Determinação do limite de liquidez					
Provete		1	2	3	4
Número de pancadas		35	28	22	18
Referência da cápsula		13 (15)	20 (16)	25 (87)	74 (13)
m <sub>c</sub> : massa da cápsula (e tampa se utilizada)	(g)	27,7421	27,7000	27,8581	27,4917
m <sub>1</sub> : massa da cápsula (e tampa se utilizada) e do provete húmido	(g)	42,8408	43,8397	43,9796	42,8044
m <sub>2</sub> : massa da cápsula (e tampa se utilizada) e do provete seco	(g)	37,4442	37,8195	37,7059	36,6318
w: teor em água	(%)	55,6	59,5	63,7	67,5
<b>LL – Limite de liquidez</b>	<b>(%)</b>	<b>62</b>			
Validação de resultados					
Equação da reta:		<b>y = -17,83ln(x) + 118,95</b>			
Número de pancadas		35	28	22	18
Teor em água	(%)	55,6	59,5	63,7	67,5
Teor em água interpolado na reta	(%)	55,6	59,5	63,8	67,4
<b>Validação</b>	<b>(%)</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>

Ensaio 3 – Limite de liquidez: método do cone 80g/30°	
Referência da amostra	Solo 2
Preparação do provete	
m <sub>1</sub> : massa da amostra (g)	---
m <sub>r</sub> : massa seca retida no 0,420 mm (g)	---
Referência da cápsula	---
m <sub>c</sub> : massa da cápsula (e tampa se utilizada) (g)	---
m <sub>3</sub> : massa da cápsula (e tampa se utilizada) e do provete húmido (g)	---
m <sub>4</sub> : massa da cápsula (e tampa se utilizada) e do provete seco (g)	---
w: teor em água (%)	---
K: percentagem de material < 0,420 mm (%)	100

Determinação do limite de liquidez													
Provete		1			2			3			4		
Posição inicial do cone (mm)		3,00	5,00	6,00	1,00	3,00		7,00	8,00	8,00	15,00	16,00	
Profundidade de penetração após 5 ±1s (mm)		12,25	11,52	10,64	16,56	14,20		14,88	12,95	12,92	7,64	6,25	
Profundidade de penetração do cone (mm)		15,25	16,52	16,64	17,56	17,20		21,88	20,95	20,92	22,64	22,25	
Máxima diferença entre duas leituras sucessivas (mm)		1,27		0,12	0,36			0,93		0,03	0,39		
Referência da cápsula		4 (19)			13 (70)			15 (68)			63 (62)		
m <sub>c</sub> : massa da cápsula (e tampa se utilizada) (g)		27,3130			27,8284			27,9365			27,8075		
m <sub>1</sub> : massa da cápsula (e tampa se utilizada) e do provete húmido (g)		43,0459			42,9444			43,2589			44,2006		
m <sub>2</sub> : massa da cápsula (e tampa se utilizada) e do provete seco (g)		37,6087			37,5765			37,4743			37,6893		
w: teor em água (%)		52,8			55,1			60,6			65,9		
<b>LL – Limite de liquidez (%)</b>		<b>60</b>											

Validação de resultados					
Equação da reta:		$y = 1,896x + 22,001$			
Profundidade de penetração (mm)		16,14	17,38	21,25	22,45
Teor em água (%)		52,8	55,1	60,6	65,9
Teor em água interpolado na reta (%)		52,6	55,0	62,3	64,6
<b>Validação (%)</b>		<b>0</b>	<b>0</b>	<b>3</b>	<b>-2</b>

Ensaio 3 – Limite de plasticidade		
Referência da amostra	Solo 2	
Preparação do provete		
m <sub>1</sub> : massa da amostra (g)	---	
m <sub>r</sub> : massa seca retida no 0,420 mm (g)	---	
Referência da cápsula	---	
m <sub>c</sub> : massa da cápsula (e tampa se utilizada) (g)	---	
m <sub>3</sub> : massa da cápsula (e tampa se utilizada) e do provete húmido (g)	---	
m <sub>4</sub> : massa da cápsula (e tampa se utilizada) e do provete seco (g)	---	
w: teor em água (%)	---	
K: percentagem de material < 0,420 mm (%)	100	
Determinação do limite de plasticidade		
Provete	1	2
Referência da cápsula	11 (60)	28 (63)
m <sub>c</sub> : massa da cápsula (e tampa se utilizada) (g)	27,7837	27,0548
m <sub>1</sub> : massa da cápsula (e tampa se utilizada) e do provete húmido (g)	30,7479	29,3181
m <sub>2</sub> : massa da cápsula (e tampa se utilizada) e do provete seco (g)	30,2350	28,9441
w: teor em água (%)	20,9	19,8
<b>LL – Limite de plasticidade (%)</b>	<b>20</b>	
Validação de resultados		
<b>x<sub>m</sub></b>	20,4 %	
<b>y</b>	0,05 %	
x <sub>m</sub> - Média dos valores dos limites de plasticidade.		
y – Quociente entre a diferença dos resultados dos dois provetes e o valor médio.		

## ANEXO V – DIMENSÕES E CARATERÍSTICAS DA CONCHA DE CASAGRANDE E DOS RISCADORES SEGUNDO NP-143: 1966 E ISO/FDIS 17892-12:2018

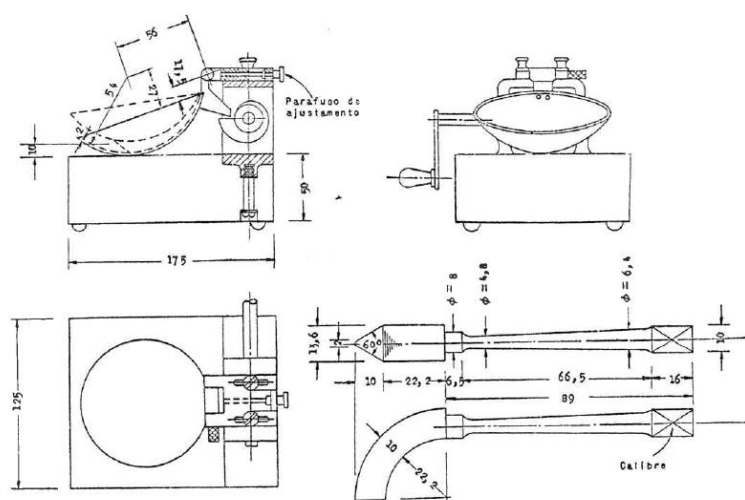


Figura V. 1 – Dimensões da concha de Casagrande e riscador segundo a NP-143: 1966.

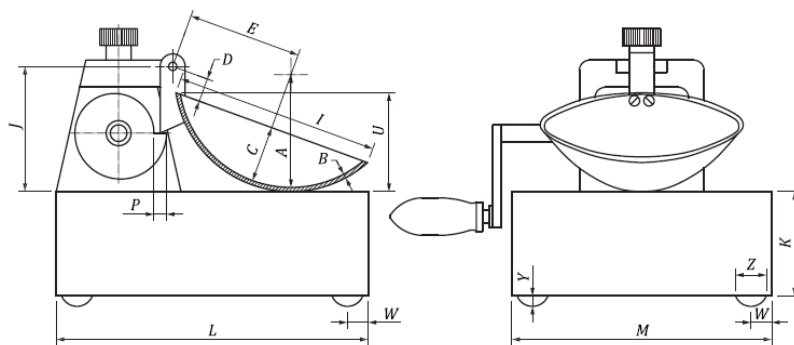


Figura V. 2 - Características da concha de Casagrande segundo a ISO/FDIS 17892-12: 2018.

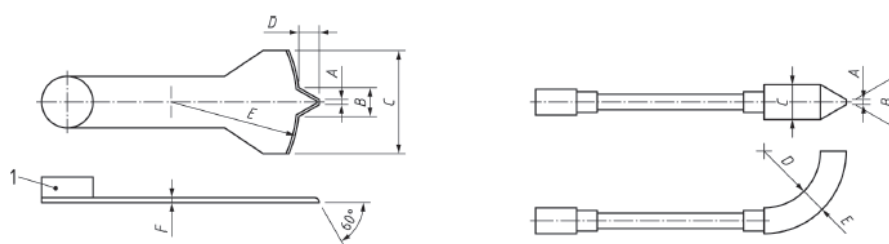


Figura V. 3 - Diferentes riscadores segundo a ISO/FDIS 17892-12: 2018.

Tabela V. 1 - Dimensão da concha e suporte segundo a ISO/FDIS 17892-12: 2018.

Dimensão	A (raio)	B*	C*	D	E	I*	J*	U*	P
Comprimento (mm)	54	2	27	12	57	93,5	60	46	6
Tolerância (mm)	± 0,5	± 0,25	± 0,5	± 0,5	± 1,0	± 0,5	± 1	± 1	± 0,5

Tabela V. 2 - Dimensão da base e pés segundo a ISO/FDIS 17892-12: 2018.

Dimensão	K*	L*	M*	W	Y	Z
Comprimento (mm)	50	150	125	13	5	14,5
Tolerância (mm)	± 2	± 2	± 2	± 1	± 0,5	± 1,5

Tabela V. 3 - Massa da concha e suporte segundo a ISO/FDIS 17892-12: 2018.

	Massa da concha	Massa do suporte
Massa quando fabricado (g)	173	27
Tolerância de fabricação (g)	± 3	± 0,5
Massa mínima a usar (g)	170	26

Tabela V. 4 - Dimensões do riscador plano segundo a ISO/FDIS 17892-12: 2018.

Dimensão	A*	B*	C*	D*	E (raio)	F*	Ângulo da ponta (extremidade)
Comprimento (mm)	2	11,2	40	8	50	2	60° curvos
Tolerância de fabricação (mm)	-0,1 a +0,15	± 0,25	± 0,5	± 0,15	± 0,5	± 0,15	± 5°
Tolerância a usar (mm)	± 0,25						

Tabela V. 5 - Dimensões do riscador curvo segundo a ISO/FDIS 17892-12: 2018.

Dimensão	A*	B*	C*	D (raio)	E*
Comprimento (mm)	2	60°	13,5	22,2	10
Tolerância de fabricação (mm)	-0,1 a +0,15	± 1°	± 0,5	± 0,25	± 0,5
Tolerância a usar (mm)	± 0,25				

Nota: As dimensões e características assinaladas com (\*) devem ser verificadas de acordo com o anexo A.3.7.5 da norma ISO/FDIS 17892-12: 2018.

Tabela V. 6 - Verificações da concha de Casagrande segundo a ISO/FDIS 17892-12: 2018.

<b>Concha e suporte – dimensões (mm)</b>										
		<b>A</b>	<b>B</b>	<b>C</b>	<b>D</b>	<b>E</b>	<b>I</b>	<b>J</b>	<b>U</b>	<b>P</b>
Valor lido	(mm)	---	2,19	---	11,8	57,8	98,7	59	47	12,6
Tolerância	(mm)	54±0,5	2±0,25	27±0,5	12±0,5	57±1,0	93,5±0	60±1	46±1	6±0,5
<b>C / NC</b>		---	<b>C</b>	---	<b>C</b>	<b>C</b>	<b>NC</b>	<b>C</b>	<b>C</b>	<b>NC</b>
<b>Base e pés – dimensões (mm)</b>										
		<b>K</b>	<b>L</b>	<b>M</b>	<b>W</b>	<b>Y</b>	<b>Z</b>			
Valor lido	(mm)	48	151	125	---	---	---			
Tolerância	(mm)	50±2	150±2	125±2	13±1	5±0,5	14,5±1,5			
<b>C / NC</b>		<b>C</b>	<b>C</b>	<b>C</b>	---	---	---			
<b>Concha e suporte – massa (g)</b>										
		<b>Concha</b>				<b>Gancho</b>				
Valor lido	(g)	202				27,3				
Tolerância quando fabricado	(g)	173±2				27±0,5				
Massa mínima a utilizar	(g)	170				26				
<b>C / NC</b>		<b>NC</b>				<b>C</b>				
<b>C – Conforme; NC – Não conforme</b>										

Tabela V. 7 – Verificações do riscador segundo a ISO/FDIS 17892-12: 2018.

<b>Riscador – dimensões (mm)</b>					
	<b>A</b>	<b>B</b>	<b>C</b>	<b>D</b>	<b>E</b>
	<b>(mm)</b>	<b>(°)</b>	<b>(mm)</b>	<b>(mm)</b>	<b>(mm)</b>
Valor lido	2,08	61	13,2	22,0	10,4
Tolerância	2 (-0,1 a +0,15)	60° ± 1°	13,5 ± 0,5	22,2 ± 0,25	10 ± 0,5
Tolerância a	±0,25				
<b>C / NC</b>	<b>C</b>	<b>C</b>	<b>C</b>	<b>C</b>	<b>C</b>
<b>C – Conforme; NC – Não conforme</b>					



## ANEXO VI - DIMENSÕES E CARACTERÍSTICAS DO CONE DE PENETRAÇÃO SEGUNDO A ISO/FDIS 17892-12: 2018

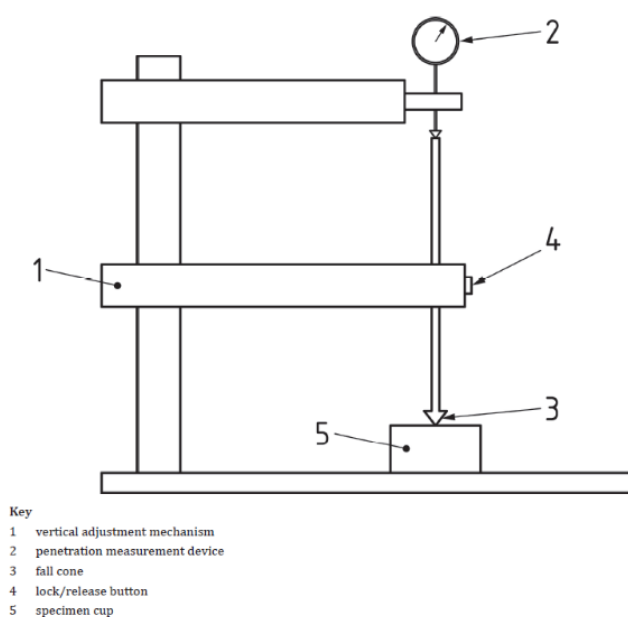


Figura VI. 1 - Esquema do equipamento do cone de penetração segundo a ISO/FDIS 17892-12: 2018.

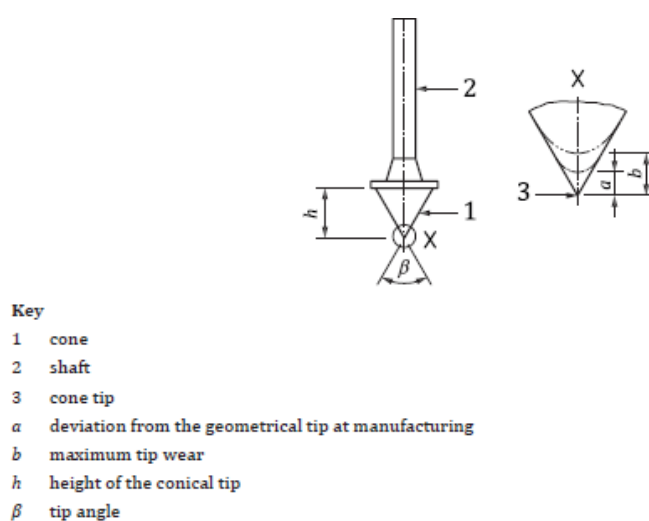


Figura VI. 2 - Exemplo de um cone de penetração segundo a ISO/FDIS 17892-12: 2018.

Tabela VI. 1 - Massas e dimensões dos diferentes tipos de cone segundo a ISO/FDIS 17892-12: 2018.

Massa do cone mais eixo	g	$60 \pm 0,06$	$80 \pm 0,08$
Ângulo de ponta $\beta$	°	$60 \pm 0,2$	$30 \pm 0,2$
Altura da ponta do cone $h$	mm	$\geq 20$	$\geq 30$
Desvio da ponta na fabricação	mm	$< 0,1$	$< 0,1$

Tabela VI. 2 - Dimensões do copo da amostra segundo a ISO/FDIS 17892-12: 2018.

Cone		60 g / 60°	80 g / 30°
Diâmetro	mm	$\geq 50$	$\geq 50$
Profundidade	mm	$\geq 25$	$\geq 40$