

Universidade de Lisboa  
Faculdade de Ciências  
Departamento de Geologia



**Estudo de solo de alteração do Jurássico superior: Caracterização geotécnica e  
melhoramento por cal e cimento**

**Luís Filipe Costa e Costa**

Dissertação

Mestrado em Geologia Aplicada, especialização em Geologia de Engenharia

**Lisboa, 2015**

Universidade de Lisboa  
Faculdade de Ciências  
Departamento de Geologia



**Estudo de solo de alteração do Jurássico superior: Caracterização geotécnica e  
melhoramento por cal e cimento.**

**Luís Filipe Costa e Costa**

Dissertação

Mestrado em Geologia Aplicada, especialização em Geologia de Engenharia

Orientador: Prof. Dr. Fernando Manuel Silva da Fonseca Marques

**Lisboa, 2015**

## **Agradecimentos**

A presente dissertação é resultante da dedicação e ajuda de várias pessoas, que permitirem que esta tivesse uma conclusão feliz. Como tal gostaria de expressar os meus mais sinceros agradecimentos às seguintes pessoas:

Ao meu orientador, Prof. Doutor Fernando Manuel Silva da Fonseca Marques, por toda a ajuda, apoio e excelente orientação, que me foi fornecida ao longo deste menses, pelos conhecimentos que me foram transmitidos que ajudaram a levar a bom termo esta dissertação, pela prontidão em esclarecer qualquer dúvida que tenha surgido, e por me motivar sempre a dar o meu melhor. Um grande e muito, obrigado!

À Vera Lopes por toda ajuda prestada durante a fase dos ensaios, obrigado pelo tempo que disponibilizas-te para ajudar e ensinar a realizar os ensaios. Ao Dr. Pedro do Laboratório de Difractometria e Fluorescência de Raios X por me ter auxiliado na realização dos ensaios.

Ao meu amigo Pedro Branco por todo o apoio e por me ‘dares na cabeça’ quando precisava. A todos os meus amigos que sempre estiveram por perto quando mais precisei e me deram força para continuar.

À minha amiga Ana Quaresma e colega de mestrado, a tua boa disposição muitas vezes tornaram esta etapa mais ‘leve’. Obrigado!

Aos meus avós, que sempre me motivaram e inspiraram a uma pessoa ainda melhor: Maria da Ascensão, Joaquim Costa, Emília Costa e José Costa.

À minha melhor amiga e companheira Cátia Matias. A tua ajuda e presença, o teu apoio incondicional, a tua força, vontade, coragem e paciência ao longo de todos os dias desde que comecei, foram o meu pilar. Tornaste cada dia mais fácil. Obrigado!

Ao meu irmão Ricardo Costa, pela companhia em longas noites, pela paciência e pelo apoio, todos os dias, sempre que precisei. Obrigado puto!

Aos meus pais Lurdes Costa e Luís Costa, sem vocês e sem o vosso apoio incondicional não teria chegado onde cheguei. Obrigado por estarem sempre ao meu lado, em tudo!



## Resumo

Esta dissertação foi desenvolvida com o objetivo de realizar caracterização geotécnica de solos de alteração superficial do Jurássico superior da formação J<sup>3</sup><sub>so</sub> – Margas, argilas e grés de Sobral (Kimeridgiano superior – Titoniano), que forma parte das arribas costeiras da região a sul do Forte do Pai Mogo, na zona norte do conselho da Lourinhã, e analisar os possíveis efeitos de melhoramento destes solos pela adição de cal e de cimento. Estes solos, que ocorrem em grandes extensões na região envolvente, têm comportamento geotécnico muito deficiente, sendo particularmente sensíveis à erosão superficial pelas águas pluviais e à ocorrência de movimentos de massa de vertente geralmente de tipo superficial, mas com impacte significativo em estruturas e actividades humanas.

Foram colhidas sete amostras nas arribas a sul do Forte do Pai Mogo sobre as quais foram realizados ensaios de identificação que incluíram os limites de liquidez, plasticidade e retracção, ensaio de Expansibilidade LNEC, com o objetivo de seleccionar a amostra com melhores condições para a aplicação dos melhoramentos por adição de cal e cimento em percentagens de 2 e 5%.

Para se realizarem as técnicas de melhoramento foi seleccionada a amostra com as características geotécnicas mais desfavoráveis, a amostra L1, que foi objecto de ensaios de expansibilidade em edómetro e ensaios de corte directo, em condições próximas de situação consolidada e drenada. Este solo corresponde a uma argila magra (CL) na classificação USCS e a um solo argiloso (A6) na classificação AASHTO, obtendo-se um índice de plasticidade de 15. A resistência ao corte em ensaios de corte directo forneceu valores de coesão de 9.43 kPa e ângulo de atrito interno de 23°.

Após a realização dos tratamentos de cal e cimento, nas percentagens de 2% e 5%, observou-se que o tratamento com melhores resultados é o da adição de cimento em 5%. Verificando-se melhorias significativas expressas na redução do índice de plasticidade para valores de 8.2%, na alteração da classificação para silte (ML) na classificação USCS e para solo siltoso (A4) na classificação AASHTO, e pelo acréscimo do ângulo de atrito interno para 52.62° e um decréscimo da coesão de 0kPa, determinados em ensaios de corte directo.

Pode-se então concluir que o tratamento com 5% de cimento é, neste caso, uma possível solução para prevenção da instabilidade. Contudo, seria interessante a realização de ensaios *in situ* de modo a validar os resultados obtidos em laboratório, verificar a eficiência de tratamentos combinados de cal e cimento e verificar a durabilidade dos tratamentos face às condições ambientais existentes no terreno.

Palavras-chave: Argilas, solo de alteração, cimento, cal, geotécnia, Forte do Pai Mogo.

## Abstract

This study has been developed with the aim to perform a geotechnical characterization superficial weathered soils, from upper Jurassic, J<sup>3</sup><sub>so</sub> – Margas, argilas e grés de Sobral (upper Kimmeridgian – Tithonian). Seven samples were collected in the sea cliff exposures located to south of Forte do Pai Mogo, in the northern area of Lourinhã county. The essential aims of this work were: the laboratory study of the soil samples geotechnical properties, and the assessment of the geotechnical properties modifications introduced by the addition of 2% and 5% cement or lime treatment to the samples.

These soils, which cover large areas, have a poor geotechnical behaviour, being particularly susceptible to surficial erosion by rainfall and surface water runoff, and also to the occurrence of mainly shallow slope mass movements which have a significant impact of structures and human activities.

The samples were object of liquid, plastic and shrinkage limits testing, and also free swell LNEC tests, with the aim of selecting the sample with the poorer geotechnical properties to perform further geotechnical testing. Subsequently, this sample was used to test effects of the improvement techniques, which consist in the addition of cement and lime in the percentages of 2% and 5%.

In order to apply the techniques of improvement was selected the sample with the poorer geotechnical characteristics, which was sample L1. This sample was classified as lean clay (CL) in USCS classification and clayey soil (A6) in AASHTO classification. The plasticity index was 15.3% and the direct shear testing provide values of cohesion of 9.43kPa and internal friction angle of 23°.

After the realization of the improvements whit lime and cement, in the above-mentioned percentages, was observed that the improvement with the 5% cement treatment resulted in better geotechnical characteristics. The beneficial results were noticed in the reduced plasticity index with values of 8.2%, the change of USCS classification to silt (ML) and in the AASHTO classification to silty soil, and for the decrease of cohesion to 0kPa and the increase of the internal friction angle to 52.62°, recorded in the direct shear test.

Has been concluded that the treatment with 5% of cement is, in this case, one possible solution to prevent the soil instability. However, it will be interesting to do *in situ* tests to validate the results that were obtained in the laboratory conditions, to test the

efficiency of treatments using combinations of cement and lime, and also to test the long term durability of these treatments under the environmental conditions prevailing in the study area.

Key words: Clay, alteration soils, cement, lime, geotechnical engineering, Forte do Pai Mogo.

# Índice

1. Introdução.....	5
1.1. Evolução histórica do tratamento dos solos.....	5
1.2. Geral.....	6
2. Enquadramento.....	11
2.1. Enquadramento geográfico.....	11
2.2. Enquadramento geológico.....	12
2.3. Localização das amostras.....	15
3. Materiais e Métodos.....	17
3.1. Selecção dos locais de amostragem.....	17
3.2. Ensaio de laboratório.....	17
3.2.1. Procedimentos de preparação das amostras.....	17
3.2.2. Ensaio realizados em laboratório.....	18
3.2.3. Difraccção de raios-x.....	20
3.3. Metodologia do tratamento para melhoria da amostra.....	21
4. Resultados e Discussão.....	23
4.1. Limites de consistência ou de Atterberg.....	23
4.2. Limites de consistência da amostra L1 tratada.....	26
4.3. Ensaio de expansibilidade LNEC.....	29
4.4. Ensaio de corte directo.....	30
4.5. Ensaio de expansibilidade em edómetro.....	36
4.6. Difraccção de raios-X.....	37
4.7. Calcimetria.....	39
4.8. Granulometria de finos.....	39
4.9. Interpretação dos resultados obtidos.....	40
5. Conclusões.....	43
6. Bibliografia.....	45

6.1. Sites consultados.....	46
Anexos I.....	47
Limites de Consistência.....	47
Anexo II.....	58
Ensaio de Corte Directo.....	58
Anexo III .....	82
Ensaio de expansibilidade em edómetro .....	82
Anexo IV .....	83
Ensaio de expansibilidade LNEC .....	83
Anexo V.....	89
Gráficos difracção de raios-Xraios-x.....	89

## **Índice de Tabelas**

Tabela 1.1 – Tabela com as coordenadas dos locais de recolha das amostras. ....	16
Tabela 4.1 - Tabela síntese das características das amostras.....	25
Tabela 4.2 - Tabela síntese das amostras tratadas. ....	27
Tabela 4.3 - Síntese dos valores obtidos no ensaio de expansibilidade LNEC.....	30
Tabela 4.4 - Resumo dos resultados Valores obtidos nos ensaios de corte directo da amostra L1 .....	31
Tabela 4.5 - Valores dos ângulos de atrito e coesão obtidos.....	35
Tabela 4.6 - Percentagens relativas dos minerais nas amostras. ....	38
Tabela 4.7 - Classes dimensionais da amostra. ....	39

## Índice de Figuras

Figura 1.1 - Enquadramento geral da área de colheita de amostras .....	11
Figura 1.2 - Excerto da carta geológica 30A e respectiva legenda.....	12
Figura 1.3 - Coluna lito estratigráfica sintética retirada da carta geológica 30A Lourinhã .....	13
Figura 1.4 - Localização dos locais de colheita das amostras sobre um excerto da carta geológica 30A da Lourinhã na escala 1:50000 (Manuppella et. al., 1999) .....	15
Figura 1.5 - Localização das amostras no Google Earth. ....	16
Figura 4.1 - Gráfico utilizado para a determinação do Limite de Liquidez de todas as amostras. ....	24
Figura 4.2 - Gráfico de plasticidade de Casagrande de todas as amostras. ....	25
Figura 4.3 - Gráfico para a determinação do limite de liquidez da amostra L1 tratada. 26	
Figura 4.4 - Gráfico de Plasticidade de Casagrande da Amostra L1 tratada e não tratada. ....	27
Figura 4.5 - Gráfico da expansibilidade de LNEC das amostras. ....	29
Figura 4.6 - Ensaio de Corte amostra L1 Normal e Remoldada. Junto às curvas são indicados os valores da tensão vertical aplicada em cada ensaio. ....	32
Figura 4.7 - Ensaio de Corte amostra L1 com tratamento de Cal .....	32
Figura 4.8 - Ensaio de Corte amostra L1 com tratamento de Cimento .....	33
Figura 4.9 - Gráfico tensão normal vs. resistência ao corte para amostras não perturbadas e remoldadas .....	34
Figura 4.10 - Gráfico tensão normal vs. resistência ao corte para amostras com tratamento de cal e cimento. ....	34
Figura 4.11 - Gráfico de expansibilidade em edómetro carga aplicada vs. tempo.....	36
Figura 4.12 - Gráfico ensaio de expansibilidade em edómetro .....	37
Figura 4.13 – Gráfico com as classes dimensionais da amostra L1 .....	39
Figura 4.14 - Gráfico representativo da granulometria de finos, frequências relativas e acumuladas da amostra L1 .....	40

# **1. Introdução**

## **1.1. Evolução histórica do tratamento dos solos**

A adição de cal para modificação das propriedades dos solos é uma das técnicas mais antigas de estabilização. Este tipo de melhoramento foi utilizado com regularidade pelos romanos, para a construção das suas estradas (Neves, 1993), tendo sido também utilizada na China Imperial na construção da Grande Muralha (Neves, 2009).

A aplicação desta técnica e o seu desenvolvimento foram realizados no continente americano e em países da Europa central e do norte. A utilização desta técnica de modificação foi validada no estado do Texas, no período de 1949 a 1953 com a realização de vários trechos experimentais, confirmando o melhoramento das características do solo, com especial ênfase nos solos predominantemente argilosos. Os resultados obtidos promoveram a sua utilização com especial destaque nos países da Europa onde a produção de cal já se encontrava industrializada, tornando-se rapidamente uma técnica corrente no domínio da geotecnia (Neves, 1993).

O cimento começou a ser utilizado pelos Egípcios em 2600 a.C., que calcinaram gesso impuro contendo carbonato de cálcio, utilizando este material como ligante de agregados. Mais tarde, em 185 a.C. na Grécia, terá sido iniciada a utilização de cimento com a função de argamassa. Posteriormente Gregos e Romanos pulverizaram material vulcânico utilizado como ligante para a produção de argamassa, com resistência e durabilidade superior tanto em água doce como salgada. O conhecimento envolvido na elaboração do cimento hidráulico parece ter sido perdido com a queda do Império Romano, tendo sido redescoberto por John Smeaton em 1756. Contudo só mais tarde, em 1796 é que Joseph Parker patenteou um cimento hidráulico feito a partir de calcário. No século seguinte, em 1824, Joseph Aspdin registou a patente do cimento de Portland. [1] (Ver sites consultados).

A adição de cimento como método de tratamento dos solos iniciou-se em 1935 nos Estados Unidos da América, tendo como principal utilização a construção de estradas, tendo sido construídos 160.000km de estradas num período de 60 anos. A utilização de cimento em Portugal começou na última década do século XIX, onde alguns engenheiros empresários se interessaram pelo produto e começaram a produzi-lo e a utilizá-lo com mais frequência em obras de engenharia, sendo as principais utilizações: camada de base

e de sub-base de pavimentos de estradas e de aeródromos; de faixas para aterragens de emergência e de núcleos de barragens de terra (Pereira, 1970).

## **1.2. Geral**

Esta dissertação foi realizada no âmbito do curso de Mestrado em Geologia Aplicada, especialização em Geologia de Engenharia, da Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa. O principal objectivo da presente dissertação é o estudo laboratorial de um solo de alteração do Jurássico superior, visando a sua caracterização geotécnica e ensaio de possibilidades de melhoramento através da adição de cal e cimento.

De forma a cumprir os objectivos acima enunciados procedeu-se à recolha de amostras em arribas costeiras, localizadas a sul do Forte do Pai Mogo, na zona norte do conselho da Lourinhã, em níveis silto-argilosos da unidade "Margas, argilas e grés de Sobral" (J3So, Kimeridgiano superior-Titoniano).

A formação sobre a qual a caracterização dos solos incide não foi alvo de caracterização geotécnica prévia, contudo em (Jeremias, 2000) é realizado um estudo aprofundado e detalhado sobre as rochas argilosas que ocorrem na região a norte de Lisboa. Neste trabalho foram analisadas características destas rochas em detalhe, tendo sido caracterizado o extenso leque de amostras maioritariamente obtidas em sondagens à rotação com recolha de amostras intactas e blocos indeformados. Estas correspondem às propriedades das rochas argilosas em profundidade, e não ao comportamento dos solos de alteração superficiais. De uma forma geral, as amostras analisadas por (Jeremias, 2000) foram classificadas como argilas de alta ou baixa plasticidade com valores de expansibilidade LNEC registados variando entre 8% e 22%.

O deficiente comportamento geotécnico destes terrenos está amplamente documentado no terreno, materializado por grande densidade espacial de instabilidades em vertentes (Henriques, 2014), taludes e arribas costeiras (Epifâneo *et al.*, 2013, 2014), bem assim como elevada susceptibilidade à erosão superficial. Para além das publicações referidas, a instabilidade destes materiais tem sido estudada com particular ênfase na região costeira no âmbito do projeto "Consultoria para a Criação e Implementação de um Sistema de Monitorização do Litoral abrangido pela área de Jurisdição da ARH do Tejo", realizado pela Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa (FCUL), para a Agência Portuguesa do Ambiente, I.P. / Administração da Região Hidrográfica do Tejo (APA, I.P.

/ARH do Tejo) (Penacho *et al.*, 2013), em especial no que respeita às instabilidades nas arribas e seus factores condicionantes.

No âmbito deste projecto surgiu como prioritária a melhoria do conhecimento geotécnico das rochas argilosas do Jurássico superior, em particular dos níveis mais superficiais, fortemente afectados por descompressão superficial e desintegração granular superficial decorrente da degradação das rochas do substrato pela alternância de períodos secos e húmidos. De facto, os evidentes indícios de terreno de muito fraca resistência à erosão superficial e propensão à ocorrência de instabilidades nestes solos que, para além de motivarem elevado perigo para o uso e ocupação da orla costeira, são responsáveis pela fraca durabilidade e eficiência de obras de contenção, como é exemplo flagrante o estado muito degradado das obras de estabilização da encosta do Forte de Pai Mogo. Neste contexto, na presente dissertação, para além da caracterização geotécnica dos solos de alteração do Jurássico superior, foi iniciado o estudo das possibilidades de melhoramento dos mesmos, como desenvolvimento natural na abordagem ao tema, e tendo como objectivo uma possível futura implementação dos conhecimentos adquiridos na prevenção da erosão superficial e da ocorrência de instabilidades em vertentes de tipo superficial.

O tratamento de solos com o intuito de incrementar as suas propriedades físicas e melhorar o seu comportamento geotécnico é amplamente utilizado na área de geotecnia, sendo os tratamentos mais frequentes para o melhoramento de solos argilosos, os que consistem na adição de quantidades controladas de cal ou cimento, ou os dois aditivos em combinação. Os objectivos destas modificações das propriedades dos solos naturais são uma técnica de melhoria, de tratamento ou de estabilização (PIARC, 1990) in (Neves, 1993).

Os métodos de tratamento a implementar vão ser a adição de cal e a adição de cimento, a adição de cal vai gerar um aumento da concentração de iões OH<sup>-</sup> vai aumentar os níveis de pH, originando uma dissolução do alumínio e da sílica na fracção argilosa (Thompson, 1968; Ouhadi e Yong, 2003), o alumínio e a sílica vão reagir com os iões de cálcio originando dois agentes de cimentação pozolânica, os agentes produzidos são, silicato de cálcio hidratado (CSH)  $\{3\text{CaO} \cdot 2\text{SiO}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}\}$  e o aluminato tricálcico hidratado (CAH)  $\{3\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{Ca}(\text{OH})_2 \cdot 12\text{H}_2\text{O}\}$ , que vão tornar os solos coesivos mais trabalháveis e menos plásticos. (Yong *et al.*, 1996)

A adição de cimento tem um produz uma reacção semelhante a adição de cal, ao hidratar o cimento vai dar a origem a silicato de cálcio hidratado e cal, e como a cal é um dos produtos da hidratação do cimento, a interacção entre a cal e os minerais da argila vai desempenhar um papel importante na interacção do cimento com o solo.

A presença de argilas nestes solos, nomeadamente no que respeita aos seus efeitos em termos de expansibilidade e de comportamento face à presença de água, é o factor principal gerador da instabilidade, mas é também a sua presença que permite o melhoramento por cal e cimento, dado que estes tratamentos necessitam dos materiais argilosos para ocorrem as reacções pozolânicas que concorrem para a melhoria do seu comportamento geotécnico. Yong (2006) concluiu que, nas reacções pozolânicas produzidas pela adição de cimento aos solos argilosos, tem como subproduto a formação de cal, o que dá origem a ainda mais reacções pozolânicas. Os valores de aditivos que são adicionados rondam por norma os 2.5%, 5% e 10%. Observou-se que valores superiores de aditivos podem conduzir a comportamentos com características geotécnicas inferiores, como foi observado por Sarrioseiri (2009), verificando que a adição de 10% de cimento leva a um comportamento mais frágil do solo, levando à sua cedência para cargas inferiores, comparativamente aos solos com percentagens de cimento inferiores.

A metodologia utilizada para a análise e caracterização geotécnica dos solos que foram objecto da presente dissertação consistiu essencialmente na realização de ensaios geotécnicos padrão utilizados para o efeito, que incluiu os seguintes ensaios: 1) determinação dos limites de consistência (limites de liquidez, plasticidade e retração); 2) granulometria de finos; 3) calcimetria 4) difracção de raios-X para a determinação dos minerais presentes; 5) ensaio de expansibilidade LNEC 6) ensaio de expansibilidade em edómetro; 7) ensaio de corte directo de amostras intactas e remoldadas. As técnicas utilizadas e os resultados obtidos encontram-se descritos pormenorizadamente no capítulo dos materiais e métodos.

Posteriormente, e de acordo com os resultados obtidos na caracterização geotécnica, nomeadamente no que respeita à expansibilidade, foi seleccionada a amostra mais argilosa para a aplicação de tratamentos por adição de teores predeterminados de 2% e 5% de cal hidráulica, e 2% e 5% de cimento Portland CEM I, definido na norma NP EN 197-1 2000. As amostras de solo tratado foram compactadas com o molde pequeno do ensaio Proctor com energia de compactação pesada e com teor de humidade constante,

sendo posteriormente submetidas aos seguintes ensaios: ensaio de expansibilidade LNEC; ensaio de expansibilidade em edómetro e ensaio de corte directo.

Após a realização dos trabalhos laboratoriais, procedeu-se à análise comparativa dos resultados dos ensaios geotécnicos antes e depois da introdução dos aditivos, visando a avaliação do melhoramento de comportamento geotécnico produzido. Desta análise e dos resultados obtidos apontam-se caminhos para a continuação do estudo desta problemática.



## 2. Enquadramento

### 2.1. Enquadramento geográfico

A área em estudo localiza-se em Portugal continental, na orla costeira ocidental do concelho da Lourinhã, a norte da região de Lisboa, e está incluída na Carta Geológica de Portugal na escala 1:50.000, folha 30-A, Lourinhã (Manuppella et. al., 1999).

As amostras que foram objecto de estudo laboratorial foram recolhidas nas arribas costeiras, localizadas a sul do Forte do Pai Mogo, num segmento com extensão de cerca de 700m, situado a cerca de 2km a norte da Praia Areia Branca, na zona norte do concelho da Lourinhã.

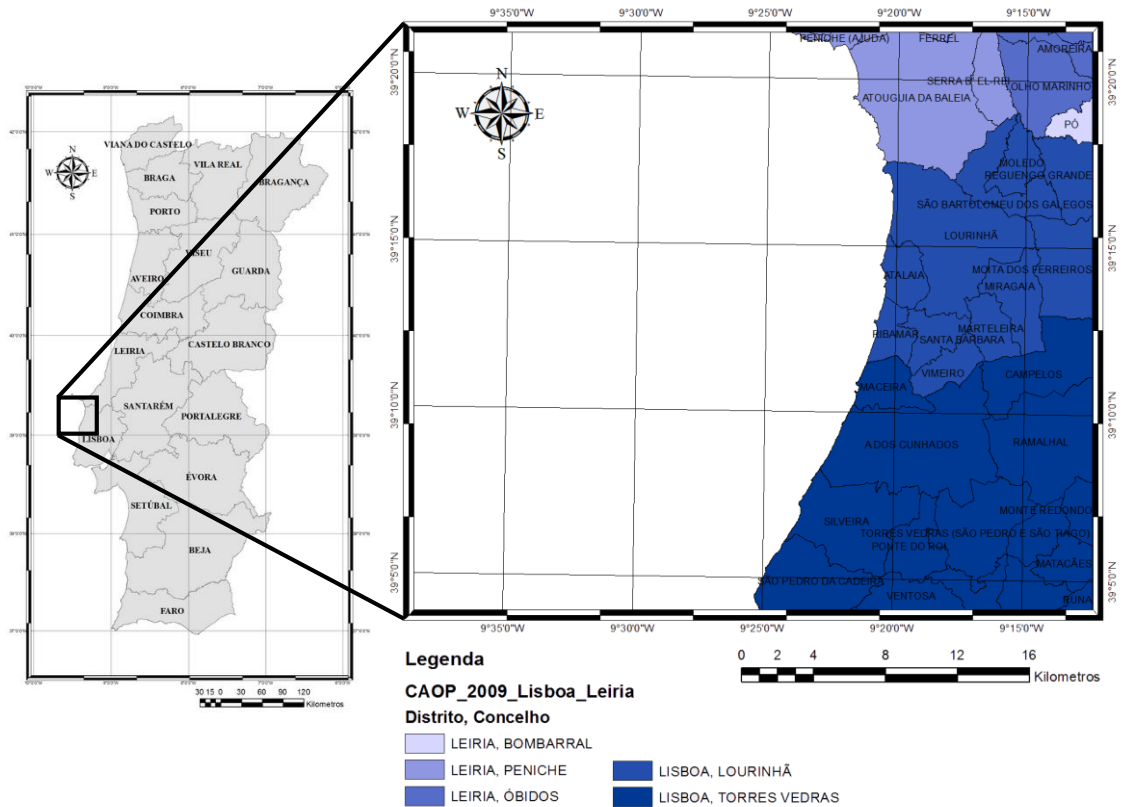


Figura 1.1 - Enquadramento geral da área de colheita de amostras

## 2.2. Enquadramento geológico

A área está inserida na orla ocidental, e as formações geológicas presentes área encontram-se definidas em pormenor na notícia explicativa da folha 30-A da Lourinhã (Manuppella et. al., 1999).

As formações presentes na carta vão desde, formações actuais essencialmente constituídas por aluviões, dunas e areias de praia, até a formações do Jurássico inferior J<sub>Da</sub><sup>1</sup> Hetagiano: “Margas de Dagorda” também ocorrendo em alguns locais filões doleríticos e basálticos bem como a presença de algumas brechas vulcânicas.

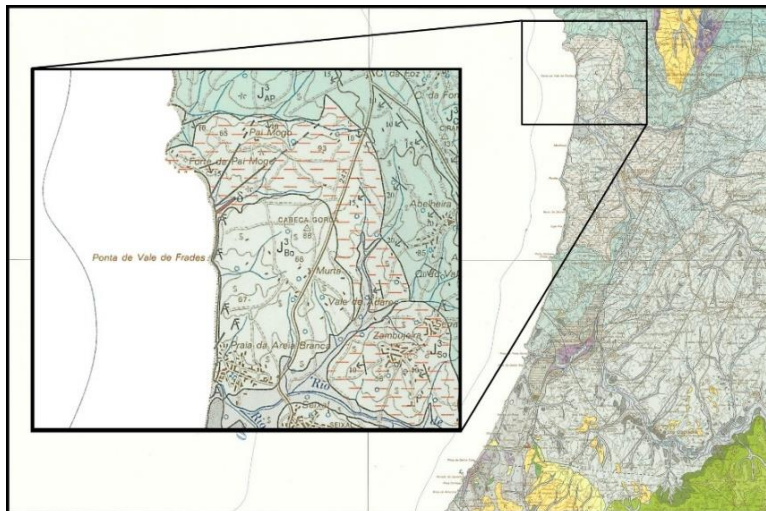


Figura 1.2 - Excerto da carta geológica 30A e respectiva legenda

A formação que foi objecto de amostragem para os estudos laboratoriais foi a das "Margas, argilas e grés de Sobral".

J<sub>So</sub><sup>3</sup> – Margas, argilas e grés de Sobral (Kimeridgiano superior-Titoniano)

A formação aflora a W da Falha da Lourinhã, ao longo da Costa entre Forte de Pai Mogo e Porto Dinheiro, e a S de Santa Cruz. Na zona em estudo, as camadas inclinam cerca de 15° para SSE, formando o bordo norte de um sinclinal cujo núcleo é ocupado pela formação de "Grés, margas, argilas e conglomerados de Bombarral" (J<sub>Bo</sub><sup>3</sup>). A formação assenta sobre os "Grés, margas e arenitos da Praia da Amoreira-Porto Novo (J<sub>AP</sub><sup>3</sup>).

LEGENDA		
Cenozoico	Holocénico	Aluviões (al), areias de dunas (ad) e areias de praia (A)
	Plistocénico	Dunas
		Terraços e cascalheiras
Paleo- Proterozoico		Areias, arenitos com burgau e argilas de Silveira (P <sub>3</sub> ) Areias e margas de Boixos (P <sub>2</sub> )
Mesozoico	Cretácico	Calcário margoso com siltes e grés intercalados de Casal do Marco
		Siltes, argilas e grés finos a grosseiros de Almargem
		Grés argilosos com quartzo e feldspatos de Fonte Grada
		Siltes argilosos de Lugar de Além
		Argilas e siltes de Santa Susana e São Lourenço
		Grés fino a grosseiro argiloso de Vale de Lobos
		Siltes arenosos, argilas e grés grosseiro de Serreira
Jurássico	Turoniano	Grés, margas, argilas e conglomerados do Bombarral (Grés superiores)
		1) Margas, argilas e grés do Sobral (J <sub>So</sub> <sup>3</sup> )
		2) Margas e grés de Castelhancos (J <sub>Ca</sub> <sup>3</sup> )
		3) Argilas, arenitos, arcoses de Nadupe (J <sub>Na</sub> <sup>3</sup> )
		4) Calcários, grés margosos e margas de Miragas (J <sub>M</sub> <sup>3</sup> )
		Calcários bioclásticos, com corais e calcários oolíticos de Feteira
		1) Grés, margas, calcários oolíticos e dolomitos da Conceição (J <sub>C</sub> <sup>3</sup> )
		2) Grés, margas e arenitos da Praia da Amoreira e Porto Novo (J <sub>AP</sub> <sup>3</sup> )
		3) Calcários do Vinheiro (J <sub>V</sub> <sup>3</sup> )
		4) Calcários e margas de Santa Cruz (J <sub>SC</sub> <sup>3</sup> )
		5) Calcários de Moledo (J <sub>M</sub> <sup>3</sup> )
		6) Calcários calcilásticos com oóides, margas e grés de Reguengo Pequeno (J <sub>RP</sub> <sup>3</sup> )
		Calcários de Montejunto
		Camadas de Acozega
		Camadas de Cabeços (grés, argilas e conglomerados)
Triássico		Calcários de Cesareda
		Calcários de Cabreira
		Margas e calcários margosos de Figueirinha
		Dolomitos em plaquetas (J <sub>D</sub> <sup>3</sup> ) Margas de Dagorda (J <sub>D</sub> <sup>3</sup> ) (Complexo pelítico carbonatado evaporítico)
Filões Massas		Doleritos (δ), Basaltos (β)
		Brechas vulcânicas

A formação consiste numa sequência siliclástica de margas arenosas, argilas siltosas e arenitos mais ou menos grosseiros. Os carbonatos são extremamente raros e são usualmente representados por finos horizontes micríticos com percentagens variáveis de quartzo.

A formação ( $J^3_{so}$ ), que assenta sobre a unidade Amoreira-Porto Novo ( $J^3_{AP}$ ), apresenta uma espessura de mais de 130m, que representa uma sequência regressiva, constituída, de baixo para cima, por 15m de arenitos grosseiros com níveis de calhaus, com fauna bêntica e restos de plantas, apresentando por vezes, estratificação entrecruzada em grande escala. Seguem-se 14m de margas, ora siltosas ora arenosas, sempre com uma fauna bêntica e restos de plantas. A sequência contínua com uma alternância de margas arenosas e argilas siltosas com intercalações de arenitos mais ou menos margo-argilosos, com uma espessura de 45m, que não foi possível observar no local da amostragem.

A formação é limitada inferiormente pelo desaparecimento de camadas de fácies fluvial, pertencentes à Unidade Amoreira-Porto Novo e pela sobreposição de fácies transgressivas marinhas da Unidade Sobral.

### COLUNA LITOESTRATIGRÁFICA SINTÉTICA

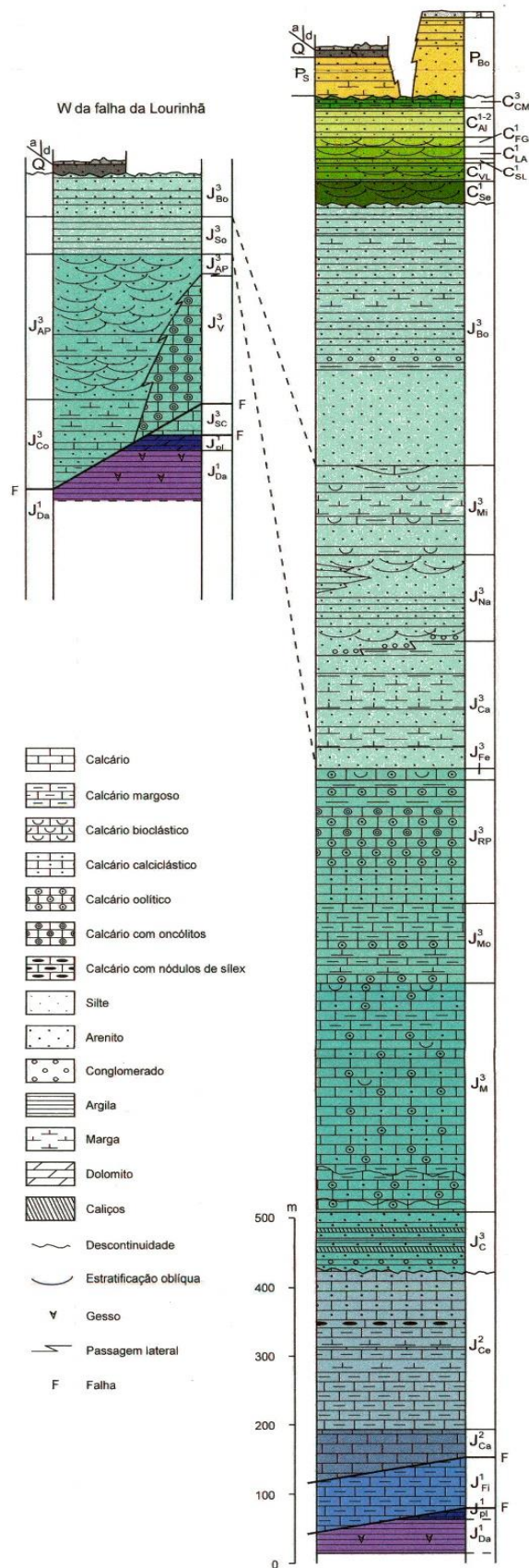


Figura 1.3 - Coluna lito estratigráfica sintética retirada da carta geológica 30A Lourinhã

Superiormente é limitada pelo aparecimento de fácies arenítico-conglomeráticas continentais da Unidade Bombarral, que fecha o ciclo sedimentar jurássico.

Estratigraficamente esta unidade segundo Fürsich (1981) datada com base em *Cetacella armata* Martin, sugerido de acordo com Hulmdach (1973-74) uma datação do Kimeridgiano superior-Titoniano.

No local da recolha das amostras a formação apresentava uma espessura total de 14m, segundo (Manuppella *et. al.*, 1999) todas as amostras foram recolhidas nesta formação, sendo que as amostras L1 a L5 recolhidas nas margas, e as amostras L6 e L7 recolhidas em solos com características mais siltosas.

### 2.3. Localização das amostras

As amostras que foram objecto de estudo laboratorial foram colhidas nas camadas com composição mais argilosa avaliada por classificação macroscópica, visto que seriam este tipo de solos os mais favoráveis à ocorrência de instabilidades em vertente e também os mais susceptíveis a apresentarem expansibilidade considerável.

As amostras foram colhidas após escavação mais ou menos profunda das zonas mais superficiais, descomprimidas e fendilhadas. As coordenadas das amostras recolhidas nas arribas foram obtidas com o auxílio do Google Earth, e apresentadas graficamente utilizando o ArcMap Figura 2.4 e o Google Earth Figura 2.5.

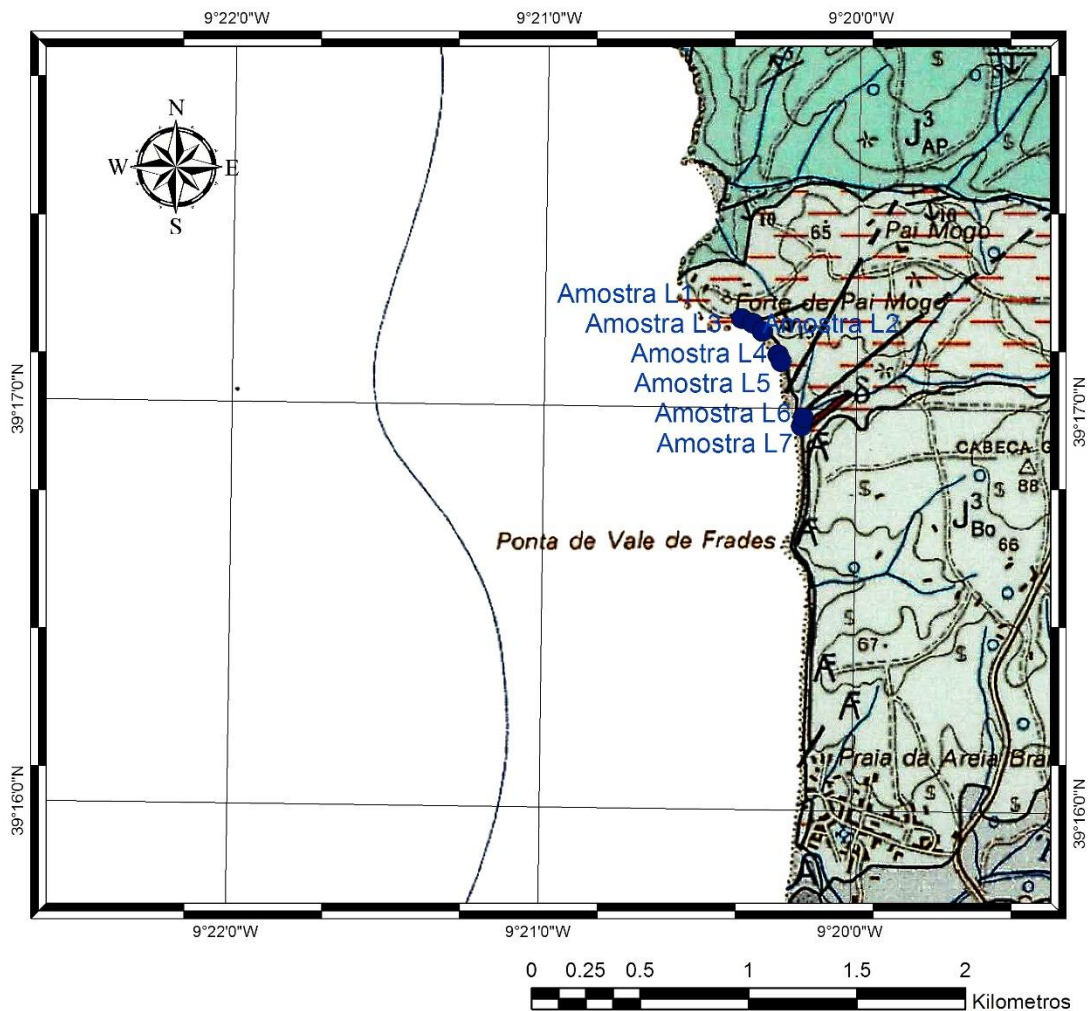


Figura 1.4 - Localização dos locais de colheita das amostras sobre um excerto da carta geológica 30A da Lourinhã na escala 1:50000 (Manuppella et. al., 1999)

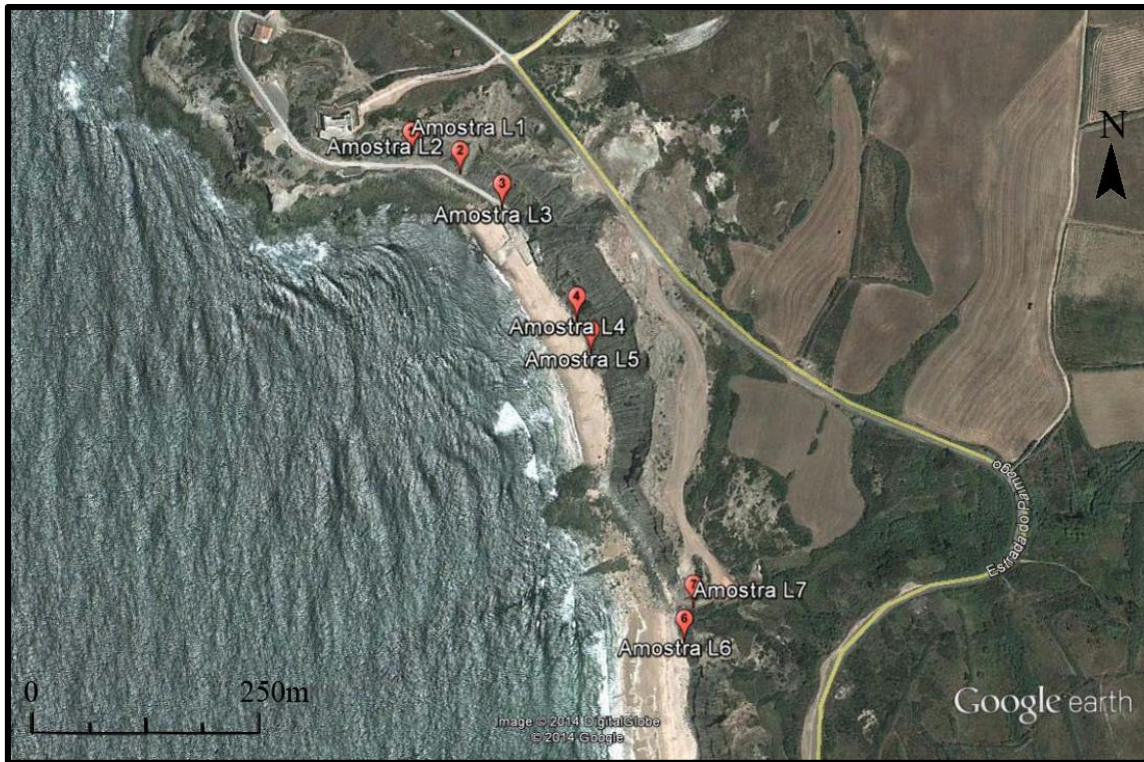


Figura 1.5 - Localização das amostras no Google Earth.

Tabela 1.1 – Tabela com as coordenadas dos locais de recolha das amostras.

	<b>Latitude</b>	<b>Longitude</b>
<b>Amostra L1</b>	39°17'13.35"N	9°20'22.26"W
<b>Amostra L2</b>	39°17'12.67"N	9°20'20.14"W
<b>Amostra L3</b>	39°17'11.46"N	9°20'18.29"W
<b>Amostra L4</b>	39°17'7.98"N	9°20'15.18"W
<b>Amostra L5</b>	39°17'6.94"N	9°20'14.58"W
<b>Amostra L6</b>	39°16'57.42"N	9°20'10.48"W
<b>Amostra L7</b>	39°16'58.61"N	9°20'10.14"W

### **3. Materiais e Métodos**

#### **3.1. Selecção dos locais de amostragem**

Para a selecção dos locais de amostragem, foram realizados estudos prévios da área, utilizando a carta geológica na escala 1:50.000, folha 30A Lourinhã (Manuppella *et al.*, 1999), tendo também como base os registos de eventos de instabilidade de vertentes ocorridos nas proximidades, mais particularmente na zona envolvente ao Forte do Pai Mogo, definindo deste modo uma área nas proximidades do Forte e nas arribas que se estendem para sul, ao longo da praia.

A selecção do local de amostragem foi realizada *in situ* tendo por base as características observadas no terreno e as condições de acessibilidade. Para a amostragem foi realizado um saneamento do local escolhido, consistindo este numa remoção da capa superficial, muito alterada não representativa das características das formações.

A recolha foi feita através da utilização de técnicas manuais, tendo como objectivo a recolha de amostras pouco deformadas e não desagregadas, em blocos de dimensões preferencialmente superiores a 30x30x20 cm. As amostras foram acondicionadas em sacos de plástico que foram selados para prevenir a alteração das características das amostras recolhidas, nomeadamente do seu teor de humidade.

#### **3.2. Ensaio de laboratório**

##### **3.2.1. Procedimentos de preparação das amostras**

Antes da realização dos ensaios, foram talhados blocos pouco perturbados para a realização de ensaios de corte directo, e as amostras foram também sujeitas a um processo de desagregação não destrutiva, o qual pode consistir na utilização de processos de natureza mecânica ou química. Como o objectivo desta dissertação é o estudo das características geotécnicas dos materiais recolhidos, a utilização de processos de natureza química poderiam alterar as suas propriedades. Deste modo, os processos que foram utilizados foram de natureza mecânica. Consistindo estes na utilização de um almofariz e um pilão com mão de borracha, sempre que a amostra permitia uma fácil desagregação, e na utilização de um pilão de cerâmico sempre que a amostra apresentava maior resistência à desagregação.

### **3.2.2. Ensaio realizados em laboratório**

Nos ensaios que necessitam da amostra desagregada foi utilizada apenas a fracção de material passado no peneiro de malha quadrada de dimensão 425  $\mu$ m (peneiro n°40 da série ASTM). Para os ensaios que permitem ou em que seja vantajosas a utilização de amostras intactas, os provetes foram talhadas directamente a partir das amostras em bloco colhidas no terreno ou moldadas de acordo com as dimensões dos provetes, utilizando para o efeito moldes cortadores com dimensões apropriadas.

Os ensaios de laboratório que foram realizados durante a elaboração desta dissertação tiveram com objectivos: 1) estudar as amostras recolhidas no campo com o intuito de realizar uma caracterização geotécnica inicial dos solos amostrados; 2) a caracterização geotécnica dos solos após tratamento por adição de cal ou de cimento; 3) a análise quantitativa das variações das propriedades geotécnicas. Para tal os ensaios de laboratório realizados foram os seguintes:

#### **3.2.2.1. Limites de consistência**

Foram realizados ensaios para a determinação dos limites de liquidez, plasticidade e retracção seguindo a norma portuguesa (NP-143 de 1969), sendo também em utilizadas as duas normas ASTM para auxiliar o cálculo do limite de retracção (ASTM D 4943-02) e (ASTM D 427-98). Estes ensaios tem por objectivo caracterizar os solos no que respeita à influência da água no seu comportamento reológico, fornecendo indicação sobre os teores de água característicos da transição de comportamento elasto-plástica para plástico (limite de plasticidade), da transição de comportamento plástico para o de líquido viscoso (limite de liquidez) e do teor de água que pode ser adicionado ao solo mantendo este volume constante (limite de retracção). Trata-se de ensaios de identificação de solos que permitem ter alguma previsão sobre o seu comportamento geotécnico.

#### **3.2.2.2. Ensaio de expansibilidade LNEC**

Foram realizados de acordo com a especificação LNEC E-200-1967, utilizando equipamentos produzidos pelo LNEC específicos para realização destes ensaios. Trata-se de ensaios destinados a determinar a da expansibilidade livre de amostras de solos, ou seja, as amostras não estão sujeitas a cargas que limitem a sua capacidade de expansão. Os resultados destes ensaios, que correspondem à razão entre a variação da altura da

amostra e a sua altura inicial, são expressos sob a forma de percentagem e correspondem à taxa de expansão da fracção inferior a  $425\mu\text{m}$  dos solos.

#### 3.2.2.3. Ensaios de corte directo

Foram realizados seguindo a norma (ASTM D 3080-98). Este ensaio tem como objectivo determinar a resistência ao corte de solos, nomeadamente dos parâmetros de resistência ao corte, a coesão e o ângulo de atrito interno. Trata-se de ensaio relativamente simples mas que não permite controlar as tensões neutras desenvolvidas durante o corte, pelo que, em rigor, não permite a determinação dos parâmetros de resistência ao corte em termos de tensões efectivas, permitindo apenas obter aproximação a estas condições quando se utilizam velocidades de corte muito baixas, suficientes para que a maior parte da tensão neutra gerada pela distorção das amostras durante o corte se possa dissipar. A fase de consolidação das amostras foi prolongada até se obterem valores praticamente constantes da sua altura, o que correspondeu a períodos variáveis entre um e três dias. Os ensaios foram realizados sobre amostras não tratadas, talhadas directamente dos blocos colhidos no terreno, e tratadas, compactadas a seco em molde Proctor com energia de compactação pesada, com o objectivo de caracterizar a resistência ao corte dos solos intactos e avaliar os efeitos da adição de cal e cimento em termos de resistência.

#### 3.2.2.4. Ensaio de expansibilidade em edómetro

Estes ensaios foram realizados num edómetro do tipo Bishop, modificado para permitir a medição da expansão das amostras e as correspondentes pressões de expansão, tendo sido seguida a norma ASTM D2435. Os ensaios foram realizados sobre amostras passadas no peneiro nº 40, tendo sido compactadas no molde Proctor.

#### 3.2.2.5. Amostras remoldadas

Para a preparação de amostras remoldadas dos solos, sem e com os diferentes tipos de tratamentos realizados, nomeadamente para a realização dos ensaios de expansibilidade em edómetro e no de corte directo, no ensaio de corte directo foram também utilizados provetes talhados dos blocos, para assegurar um estado inicial dos provetes de ensaio aproximadamente constante, foi utilizada a metodologia do ensaio de compactação de acordo com a especificação LNEC E-197-1966, utilizando o molde pequeno e o pilão pesado. A escolha do pilão pesado deve-se ao facto de este permitir obter estado de

compactação dos solos mais próximo do que o que é possível obter no campo, com a utilização dos actuais equipamentos de compactação em obra.

#### 3.2.2.6. Calcimetria

Para a determinação do teor em carbonatos das amostras, utilizou-se o método do ataque pelo ácido clorídrico. Este consiste no ataque de 20g de amostra no interior de um gobelet de vidro, utilizando ácido clorídrico (HCl) a 10%, até se verificar que a adição de ácido não provoca qualquer reacção da amostra. Segue-se a neutralização da acidez com lavagens utilizando água, pelo que, após se verificar a neutralidade do pH, a amostra é seca na estufa e posteriormente pesada.

Os ataques com ácido foram realizados a frio e a quente para determinar, respectivamente, o teor de calcite e de calcite mais dolomite.

#### 3.2.2.7. Granulometria de finos

A amostra é passada pelo crivo de 63 $\mu$ m por via húmida e quarteada utilizando um quarteador de via húmida até se obter uma porção de amostra com as condições apropriadas para a análise da dimensão das partículas em sedimentógrafo de difracção de LASER (equipamento da marca Malvern mastersizer 2000), de acordo com procedimento interno seguido nos laboratórios do Departamento de Geologia da Faculdade de Ciências de Lisboa.

### **3.2.3. Difracção de raios-x**

Na preparação de amostras para identificação por difracção de raios-x, devido às características lamelares das argilas, a preparação das amostras foi realizada de duas formas diferentes: 1) determinação da chamada amostra total, onde se pretende a identificação dos minerais de argilas presentes e a constituição mineralógica total amostra em estudo; 2) uma em amostra orientada que, devido às características das argilas permite uma maximização da reflexão das ondas de raios-x e deste modo uma melhor identificação dos minerais presentes na fracção argilosa.

A preparação da amostra para análise de amostra total, foi realizada do seguinte modo: uma pequena quantidade de amostra é moída com auxílio de um pilão e almofariz de ágata até apenas restar um pó muito fino, o qual é colocado num amostrador próprio, sendo a amostra analisada deste modo.

Preparação de amostra orientada: a amostra, após ser passada pelo crivo 420 $\mu$ m é desagregada em água durante 24h e depois é passada por um outro crivo de dimensão 63 $\mu$ m, por via húmida. A água e a amostra que passam pelo crivo são recolhidas e centrifugadas a 4000 rpm durante 15 minutos. Depois de a amostra ser centrifugada é recolhida uma pequena quantidade da amostra, retirada do topo superficial da fracção sólida que é deslocada para o fundo do recipiente de centrifugação e que corresponde à fracção mais fina da amostra, e colocada entre duas lâminas de vidro, procedendo-se a um esfregão que orienta as partículas de argilas presentes na amostra. Para cada amostra são produzidas 3 tipos de lâminas, uma não tratada, uma queimada a 500°C e outra saturada em glicol durante 24h. Este procedimento permite auxiliar na identificação das argilas presentes em cada amostra.

### **3.3. Metodologia do tratamento para melhoria da amostra**

A amostra que foi objecto de estudo pormenorizado foi tratada com 2 componentes diferentes, a Cal Hidráulica e o Cimento de Portland normalizado. Os tratamentos consistiram na mistura de 2% e 5% em peso de cal ou de cimento com o solo e 10% de água. As amostras tratadas foram compactadas a seco em molde Proctor pequeno com pilão pesado e, posteriormente sujeitas a um tempo de cura 7 dias após a adição de água.



## **4. Resultados e Discussão**

Neste capítulo são apresentados os resultados obtidos nos ensaios laboratoriais realizados, cujos métodos foram descritos no Capítulo 3, efectuando-se também a sua análise. Numa primeira fase, foram realizados ensaios de identificação sobre todas as amostras colhidas para, em função dos resultados obtidos, seleccionar a amostra com maior plasticidade e consequentemente maior teor de argilas, para a realização dos ensaios subsequentes. As razões para a escolha da amostra com maior teor de argilas residiram essencialmente no facto de os níveis mais argilosos terem papel importante visto que, quando saturados, correspondem a zonas de baixa resistência com influência directa na estabilidade das vertentes e, por outro lado, serem à partida, as mais promissoras quanto à obtenção de resultados em termos de melhoramento de características geotécnicas pela adição de cal ou de cimento.

### **4.1. Limites de consistência ou de Atterberg.**

Os limites de consistência ou de Atterberg incluem o Limite de Liquidez (LL), o Limite de Plasticidade (LP) e o Limite de Retracção (LR), que foram determinados em todas as amostras colhidas no terreno. Para além destes ensaios foi determinado o peso volúmico do solo seco ( $\gamma_d$ ) utilizando o método da parafina, para todas as amostras colhidas, apresentando-se em seguida os resultados obtidos, a sua interpretação e discussão.

Os valores apresentados relativos aos Limites de Liquidez, Plasticidade e de Retracção e ao peso volúmico seco são a média dos valores obtidos nos ensaios realizados para cada uma das amostras colhidas e constam da Tabela 4.1.

Relativamente ao Limite de Liquidez, verificou-se que as amostras apresentaram resultados em dois grupos, um com valores mais baixos, compreendidos entre 25% e 30% (amostras L2, L5, L6 e L7) e outro com valores um pouco mais elevados, compreendidos entre 34% e 38% (amostras L1, L3 e L4) (Figura 4.1).

Os resultados do Limite de Plasticidade variaram em intervalo mais restrito, entre 19% e 26%

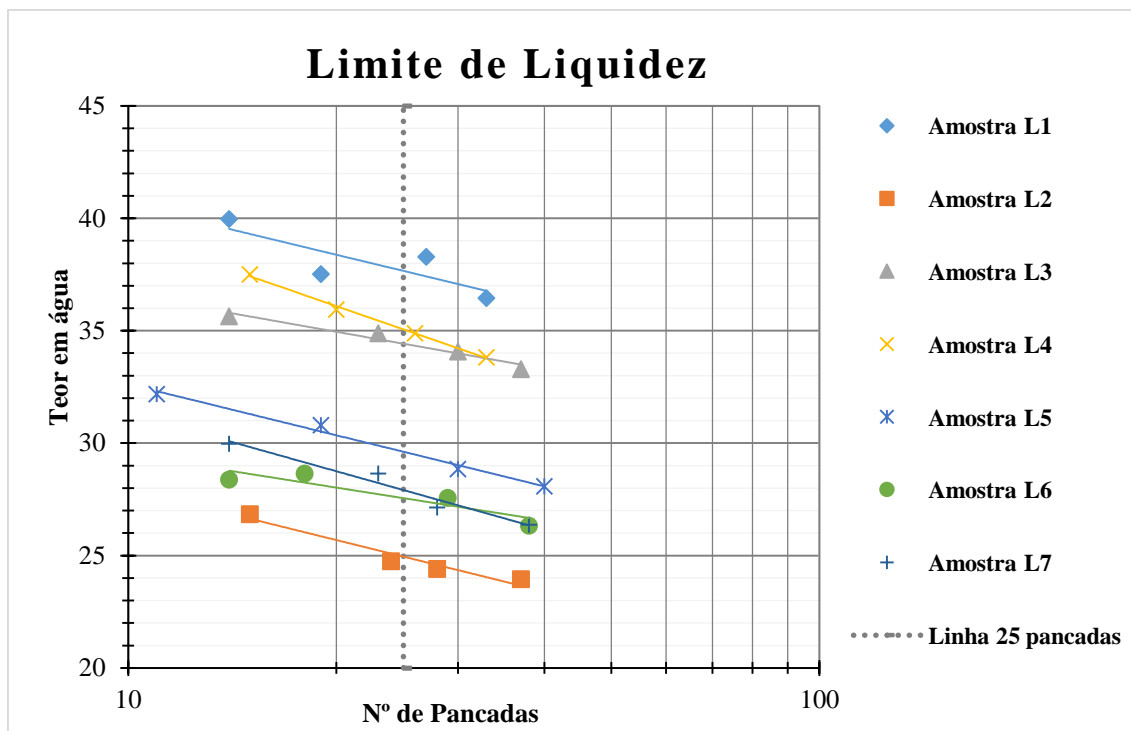


Figura 4.1 - Gráfico utilizado para a determinação do Limite de Liquidez de todas as amostras.

O índice de plasticidade ( $IP=LL-LP$ ) depois de calculado, permite projectar os resultados no Gráfico de Casagrande (Figura 4.2) concluindo-se que, sendo a fracção silto-argilosa dominante nestes solos e que os teores de matéria orgânica são baixos, se trata de solos de baixa plasticidade, a que correspondem as designações de argilas de baixa plasticidade (CL; amostras L1, L3, L5 e L6), siltes de baixa plasticidade (ML; amostras L4 e L7), e argilas ou siltes de baixo plasticidade (CL-ML; amostra L2).

A partir destes resultados e tendo em consideração que a fracção silto-argilosa destes solos é largamente dominante, foi possível classifica-los na Classificação Unificada de Solos (USCS) e na Classificação para fins rodoviários (AASHTO).

Na classificação USCS as amostras L1, L2, L3, L5 e L6 foram classificadas como CL dando-lhes esta classificação a designação de Argila Magra e as amostras L4 e L7 a designação ML, ou seja siltes de baixa plasticidade. Segundo a Classificação AASHTO, as amostras L1 e L3 pertencentes a classe A6 são classificadas como solos argilosos, e as amostras L2, L4, L5, L6, L7, pertencentes a classe A4 são classificadas como solos siltosos.

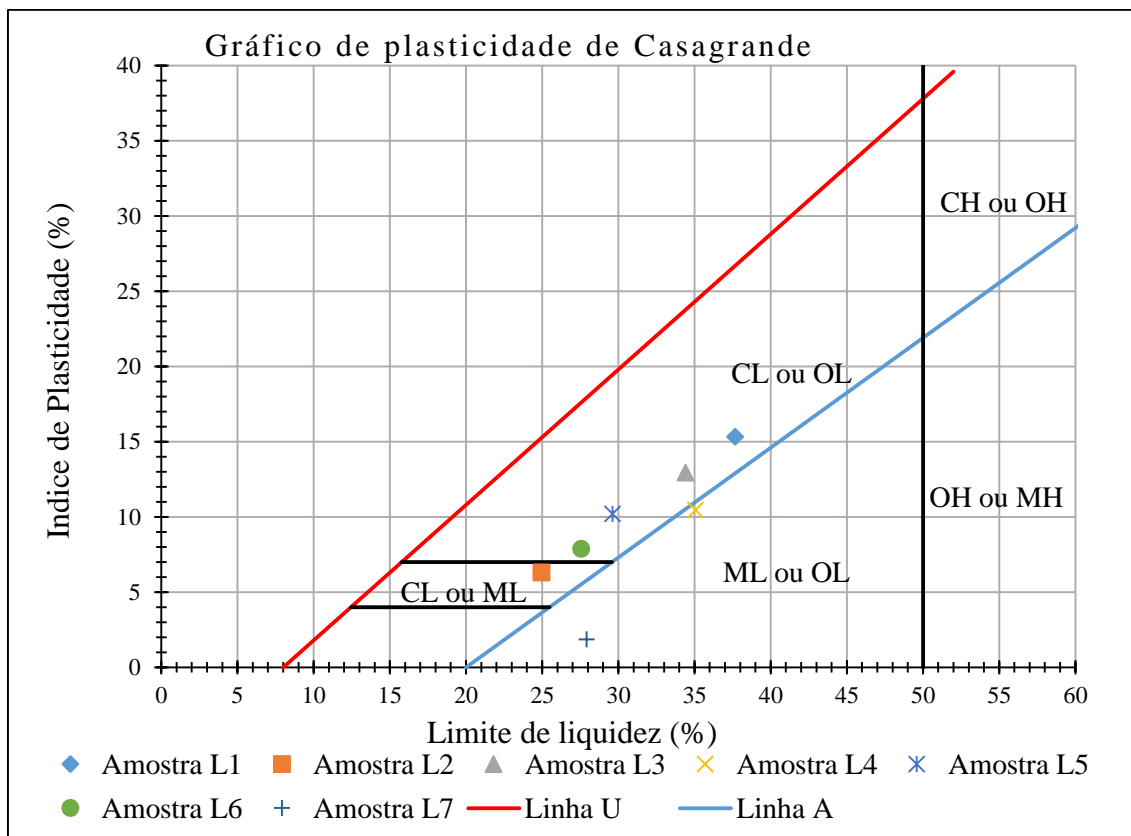


Figura 4.2 - Gráfico de plasticidade de Casagrande de todas as amostras.

Tabela 4.1 - Tabela síntese das características das amostras.

	Amostra L1	Amostra L2	Amostra L3	Amostra L4	Amostra L5	Amostra L6	Amostra L7
LL(%)	37,7	25,0	34,4	35,1	29,6	27,6	27,9
LP(%)	22,3	18,6	21,5	24,6	19,4	19,7	26,0
IP(%)	15,3	6,3	12,9	10,5	10,2	7,9	1,9
$\gamma_d$ (g/cm <sup>3</sup> )	1,849	1,977	1,985	1,946	2,018	1,958	1,761
LR (%)	15,7	13,4	13,1	13,3	12,0	13,3	18,1
Classificação USCS	CL	CL	CL	ML	CL	CL	ML
Classificação AASHTO	A6	A4	A6	A4	A4	A4	A4

Nos ensaios do Limite de Retracção os valores do teor em água utilizados são os obtidos para a amostra quando é atingido o Limite de Liquidez, destinando-se o ensaio à determinação do teor de água, abaixo do qual a secagem dos provetes se processa a volume constante. Os valores registados variaram em intervalo relativamente restrito, entre 12% e 13% para as amostras L2, L3, L4, L5 e L6, com as amostras L1 e L7 com valores um pouco superiores, de 16% e 18%, respectivamente.

Quanto ao peso volúmico seco ( $\rho_d$ ) a amostra que apresenta o valor mais elevado é a L5, com 2,018g/cm<sup>3</sup>, seguindo-se as amostras L2, L3, L4 e L6 com resultados compreendidos entre 1,960g/cm<sup>3</sup> e 1,990g/cm<sup>3</sup> (Tabela 4.1). A amostra que apresenta o valor mais baixo é a L7, com 1,761g/cm<sup>3</sup>, e a amostra L1 apresenta um valor de 1,848g/cm<sup>3</sup>, sendo este o segundo valor mais baixo obtido de todas as amostras.

Tendo em atenção os resultados obtidos, seleccionou-se a amostra L1 para uma caracterização mais detalhada das suas características, dado esta ser a que apresentou um valor do Limite de Liquidez (LL) mais elevado com 37,7% de teor em água para 25 pancadas na concha de Casagrande, ou seja, apresentou características de plasticidade mais acentuadas, às quais deverá corresponder maior teor de minerais das argilas.

#### 4.2. Limites de consistência da amostra L1 tratada.

Seguidamente são apresentados os valores obtidos nos ensaios dos Limites de Consistência e do peso volúmico do solo seco dos diferentes provetes da amostra L1 tratada com adição de 2% e 5% de cal e das mesmas percentagens de cimento Portland normal (Tabela 4.2).

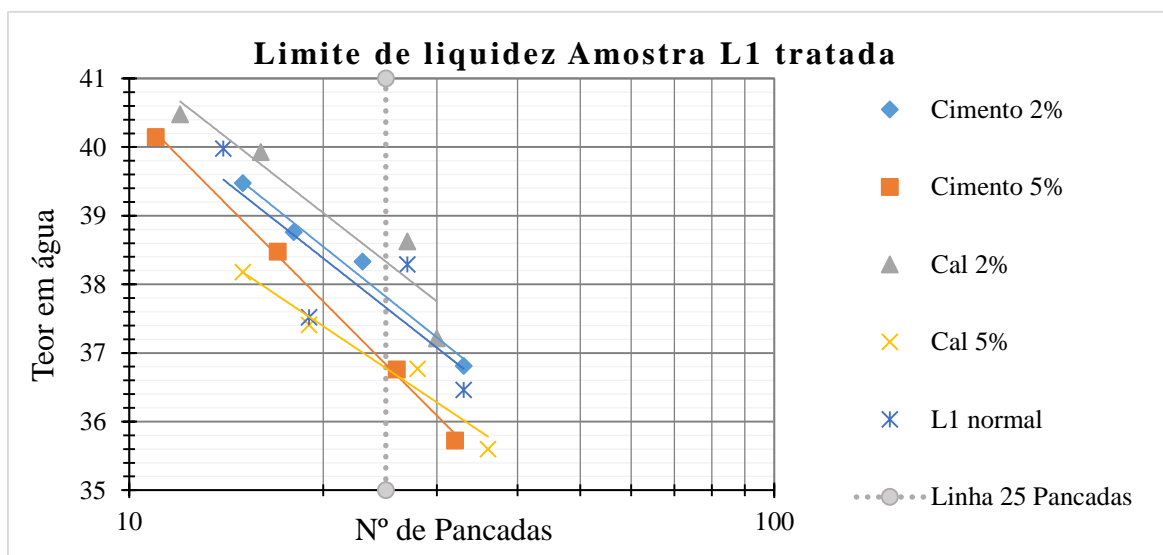


Figura 4.3 - Gráfico para a determinação do limite de liquidez da amostra L1 tratada.

Segue-se a tabela síntese dos resultados, e para auxiliar a interpretação dos resultados obtidos, foi também adicionada a coluna referente a amostra L1 não tratada.

Tabela 4.2 - Tabela síntese das amostras tratadas.

Amostra	L1	L1 com 2% de cimento	L1 com 5% de cimento	L1 com 2% de cal	L1 com 5% de cal
LL(%)	37,7	37,8	36,8	38,3	36,8
LP(%)	22,3	22,3	28,6	24,7	25,2
IP(%)	15,3	15,6	8,2	13,6	11,5
$\gamma_d$ (kN/m <sup>3</sup> )	1,849	1,852	1,705	1,807	1,735
LR (%)	15,7	15,7	16,2	21,7	17,7
Classificação USCS	CL	CL	ML	CL	ML
Classificação AASHTO	A6	A6	A4	A6	A6

Como se pode verificar na Tabela 4.2 e Figura 4.4, observa-se uma alteração na classificação USCS das amostras tratadas com 5% de Cimento e com 5% de Cal, que passam de argilas ao domínio dos siltes de baixa plasticidade. Na classificação AASHTO apenas na amostra tratada com 5% de Cimento se verificou uma mudança de classificação, sendo agora classificada também como A4 (solo siltoso).

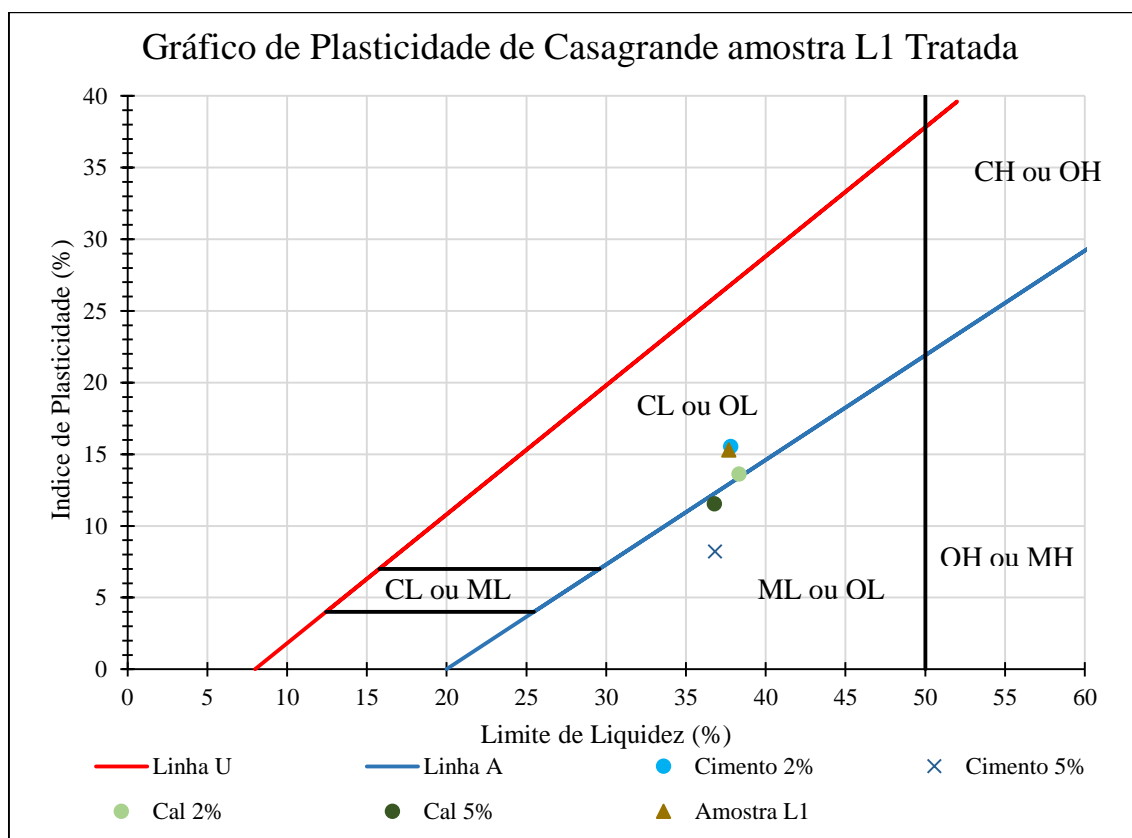


Figura 4.4 - Gráfico de Plasticidade de Casagrande da Amostra L1 tratada e não tratada.

Quanto ao Limite de Retracção os valores obtidos indicam que ocorreram alterações significativas da textura das amostras tratadas comparativamente com a da amostra

inicial, sendo que o Limite de Retracção no provete, com 5% de cimento, atingiu o seu valor mais elevado de 21,7%, seguido do provete com 5% de cal, com 20,4%. Estes resultados indicam que com a adição dos teores mais elevados de cal ou cimento, a quantidade de água absorvida pelos provetes, mantendo estes volumes constantes, aumenta significativamente, sendo o aumento do teor de água para a percentagem de aditivos mais baixa comparativamente reduzida.

Nos valores dos teores em água obtidos para os Limites de Liquidez e de Plasticidade é de assinalar que não são observadas alterações significativas em relação ao valor do Limite de Liquidez. Já nos valores do Limite de Plasticidade é observado um aumento significativo do teor em água na amostra tratada com 5% de cimento, aumentando de 22.3% na amostra L1 normal para 28.6% na amostra tratada com 5% de cimento, indicando deste modo que o teor de água necessário para atingir o limite de plasticidade é mais elevado, pelo que o domínio correspondente ao comportamento elasto-plástico face ao teor de água resulta aumentado.

É também de salientar que, em todos tratamentos, ocorreu uma diminuição do índice de plasticidade, sendo esta diminuição notória na amostra com 5% de cimento. Genericamente esta diminuição é indicadora de um aumento da durabilidade e resistência dos provetes.

### 4.3. Ensaio de expansibilidade LNEC.

Através do ensaio de expansibilidade LNEC (Figura 4.5) foi possível verificar que a amostra que apresentava uma maior expansibilidade era a amostra L1, validando e confirmando a selecção desta amostra para uma caracterização mais detalhada. A amostra L1 apresentou um valor de expansibilidade de 21.7%, sendo também de salientar que a amostra L2 foi a que apresentou um valor mais baixo de expansibilidade, de 1.7%. Os valores obtidos neste ensaio estão sintetizados abaixo na Tabela 4.3.

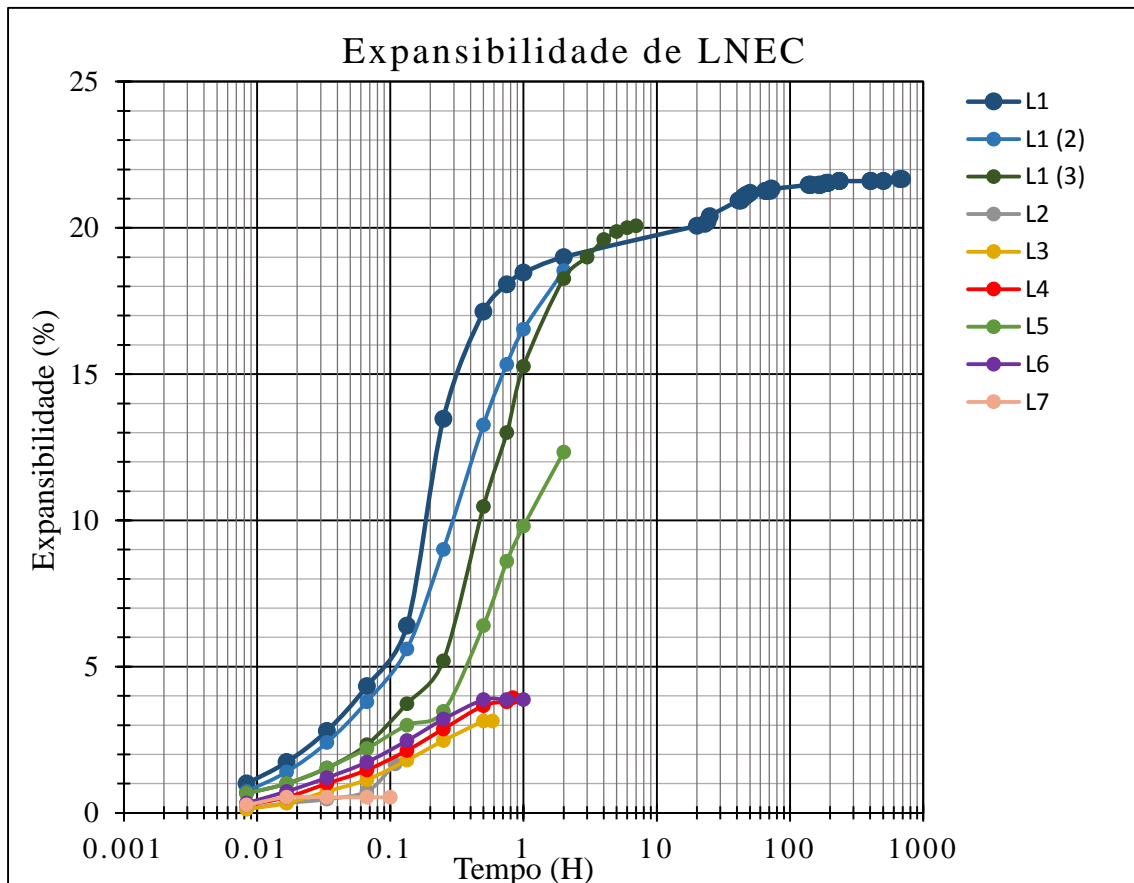


Figura 4.5 - Gráfico da expansibilidade de LNEC das amostras.

O ensaio foi repetido para a amostra L1, para confirmar os dados obtidos, visto ter sido detectada uma falha no equipamento do ensaio.

Tabela 4.3 - Síntese dos valores obtidos no ensaio de expansibilidade LNEC

Amostra	L1	L1 (2)	L1 (3)	L2	L3	L4	L5	L6	L7
$\Delta h$ (mm)	3,25	2,78	3,01	0,25	0,47	0,59	1,85	0,58	0,08
Volume (cilindro) (cm <sup>3</sup> )	51,60	50,27	50,92	43,12	43,74	44,08	47,64	44,05	42,64
Expansibilidade máxima em (%)	21,67	18,53	20,07	1,67	3,13	3,93	12,33	3,87	0,53
$\gamma_{Sat}$	1,663	1,909	1,859	1,870	1,827	1,878	1,832	1,703	1,695

#### 4.4. Ensaio de corte directo.

Seguem-se os resultados obtidos nos ensaios de corte directo, tanto da amostra não perturbada, como da amostra remoldada e das amostras tratadas. Nestes ensaios utilizou-se sistematicamente velocidade de corte de 0.16mm/min, sendo esta a mais baixa compatível com a realização de cada ensaio durante um dia de trabalho, visto que o equipamento de corte directo disponível não está equipado para registar automaticamente os resultados do ensaio à medida que este decorre. A selecção da velocidade mais baixa exequível nas condições laboratoriais disponíveis justificou-se pela necessidade de obter condições de ensaio que permitissem obter resultados próximos dos de ensaios em condições drenadas, ou seja, resultados que poderão ser tomados como estimativa dos parâmetros de resistência em termos de tensões efectivas. É de notar que neste tipo de ensaio não é realmente possível assegurar que os ensaios decorrem em condições drenadas, visto que não é possível monitorizar as tensões neutras geradas no interior das amostras pela distorção provocada pelo corte. Neste contexto, a única possibilidade prática de minimizar os efeitos das tensões neutras geradas durante o corte consiste na redução da velocidade de corte para o valor mais baixo exequível.

As designações utilizadas nos provetes são: (R) para amostra remoldada; (c.2%) para 2% de cimento em peso; (c.5%) para 5% de cimento; (cal.2%) para 2% de cal; (cal.5%) para 5% de cal. As amostras sem designação correspondem aos resultados obtidos com provetes talhados directamente a partir dos blocos de solo colhidos no terreno da amostra L1, ou seja, correspondem a resultados de amostras não perturbadas.

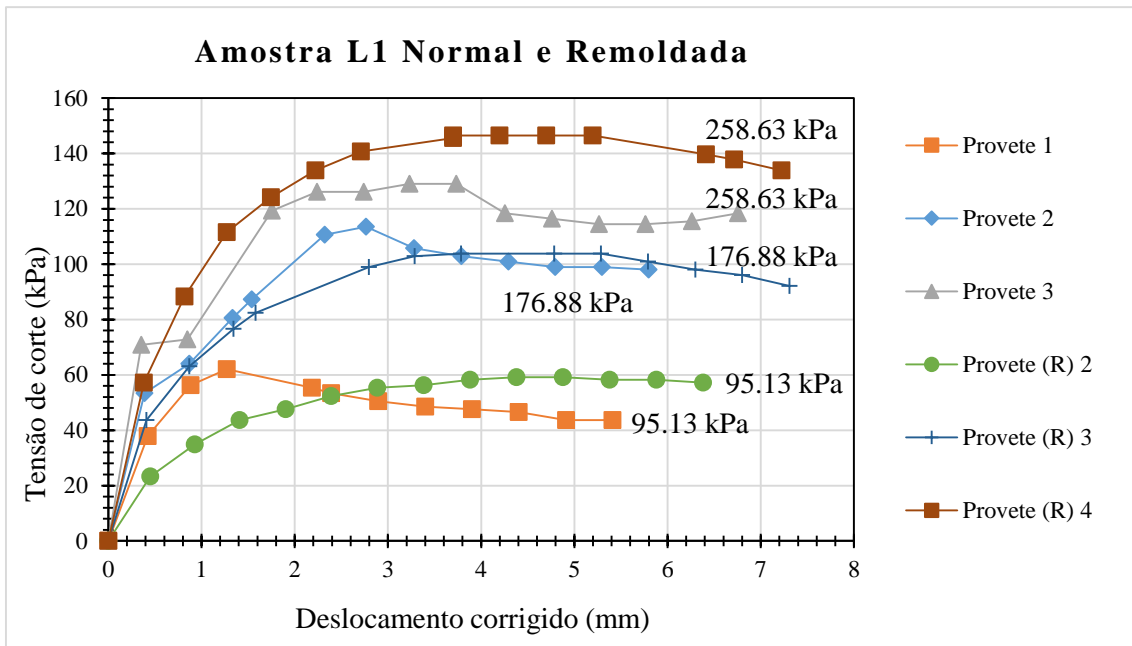
O provete 4 da amostra não foi utilizado para comparação visto ter sido o único a ter sido ensaiado com tensão vertical de 286 kPa e o provete (R) não foi utilizado porque apresentou resultados anómalos, possivelmente resultantes de um erro de operação decorrido no ensaio. Em consequência os dados recolhidos durante esses ensaios não serão apresentados de forma a evitar possíveis erros de interpretação.

As cargas aplicadas nos provetes constam da Tabela 4.4 e os resultados obtidos nos ensaios de corte estão resumidos na Tabela 4.5.

As curvas de variação da tensão de corte com o deslocamento de corte corrigido estão nas Figuras 4.6, 4.7 e 4.8. Como seria de esperar, nos ensaios das amostras intactas, obtiveram-se picos de resistência ao corte razoavelmente definidos, aos quais se seguiram decréscimos de resistência para patamares de valores que se assumem como próximos de condições residuais. Pelo contrário, e também de acordo com o esperado, nas amostras remoldadas foram obtidas curvas com crescimento gradual e progressivo da resistência ao corte mobilizada.

*Tabela 4.4 - Resumo dos resultados Valores obtidos nos ensaios de corte directo da amostra LI*

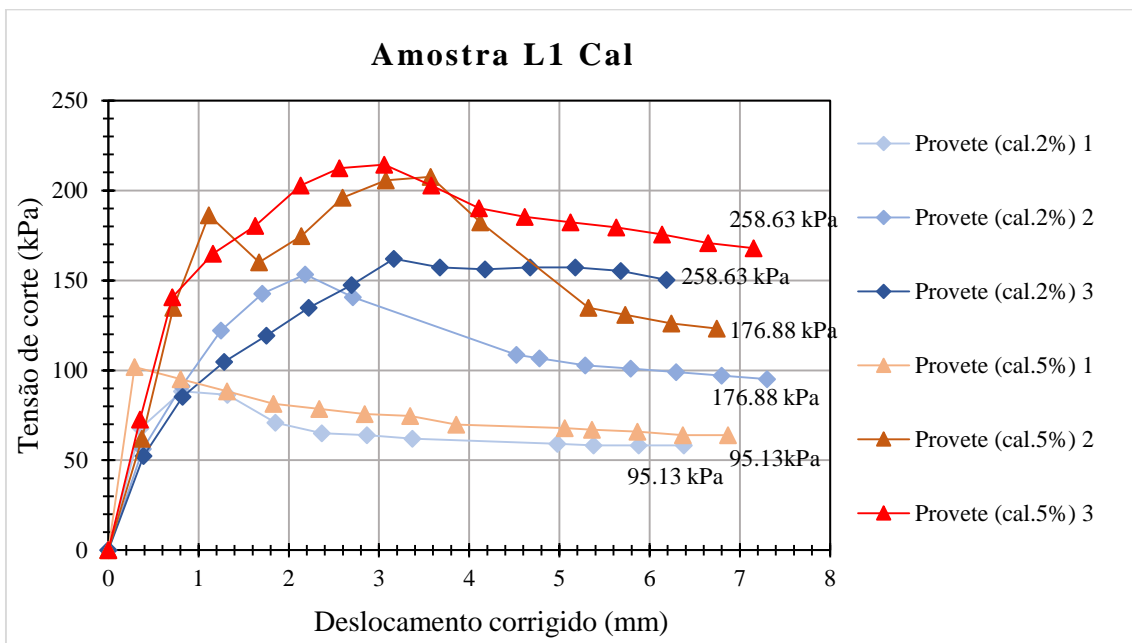
<b>Provete</b>	<b>Tensão vertical (kPa)</b>	<b>Resistência de pico (kPa)</b>	<b>Resistência residual (kPa)</b>
1	95,13	62,09	45,98
2	176,88	113,50	100,48
3	258,63	129,03	119,83
(R) 2	95,13	59,18	58,37
(R) 3	176,88	103,80	102,07
(R) 4	258,63	146,49	146,29
(c.2%) 1	95,13	60,15	59,42
(c.2%) 2	176,88	125,15	105,10
(c.2%) 3	258,63	158,13	139,31
(c.2%) 4	95,13	55,30	52,14
(c.2%) 5	176,88		95,72
(c.5%) 1	95,13	87,31	40,99
(c.5%) 2	176,88	267,75	231,37
(c.5%) 3	258,63	341,48	277,65
(c.5%) 4	95,13	86,34	73,41
(c.5%) 5	176,88		116,80
(cal.2%) 1	95,13	88,28	59,18
(cal.2%) 2	176,88	153,28	106,07
(cal.2%) 3	258,63	162,01	155,54
(cal.5%) 1	95,13	101,86	65,77
(cal.5%) 2	176,88	207,61	128,78
(cal.5%) 3	258,63	214,40	180,60



Na Figura 4.7 estão apresentados os valores dos provetes com tratamento de cal. Apesar de se tratar de provetes remoldados aos quais foram adicionados teores de 2% e 5% de cal, a cal confere à amostra uma resistência de pico seguida de um patamar de resistência residual a um nível de tensão de corte inferior ao verificado no pico.

*Figura 4.6 - Ensaio de Corte amostra L1 Normal e Remoldada. Junto às curvas são indicados os valores da tensão vertical aplicada em cada ensaio.*

Na Figura 4.7 estão apresentados os valores dos provetes com tratamento de cal. Apesar de se tratar de provetes remoldados aos quais foram adicionados teores de 2% e 5% de cal, a cal confere à amostra uma resistência de pico seguida de um patamar de resistência residual a um nível de tensão de corte inferior ao verificado no pico.



*Figura 4.7 - Ensaio de Corte amostra L1 com tratamento de Cal*

Na Figura 4.9 é de salientar os provetes (c.5%) 2 e (c.5%) 3, dado os mesmos apresentarem valores de tensão de corte muito superiores aos restantes. Estes dados são muito discrepantes comparativamente com os restantes, sendo que esta discrepância não apresenta uma razão aparente, visto os provetes terem sido preparados e ensaiados nas mesmas condições que os restantes. Como tal, pode admitir-se que a amostra com uma adição de cimento de 5%, apresenta um grande incremento de resistência ao corte quando sujeita a tensões de consolidação mais elevadas, podendo estas tensões terem sido suficientes para provocar aumento não proporcional de resistência. Trata-se porém de problema que carece melhor fundamentação e mais trabalho experimental, sendo também de notar que este tipo de comportamento não foi observado nos provetes tratados com 2% de cimento.

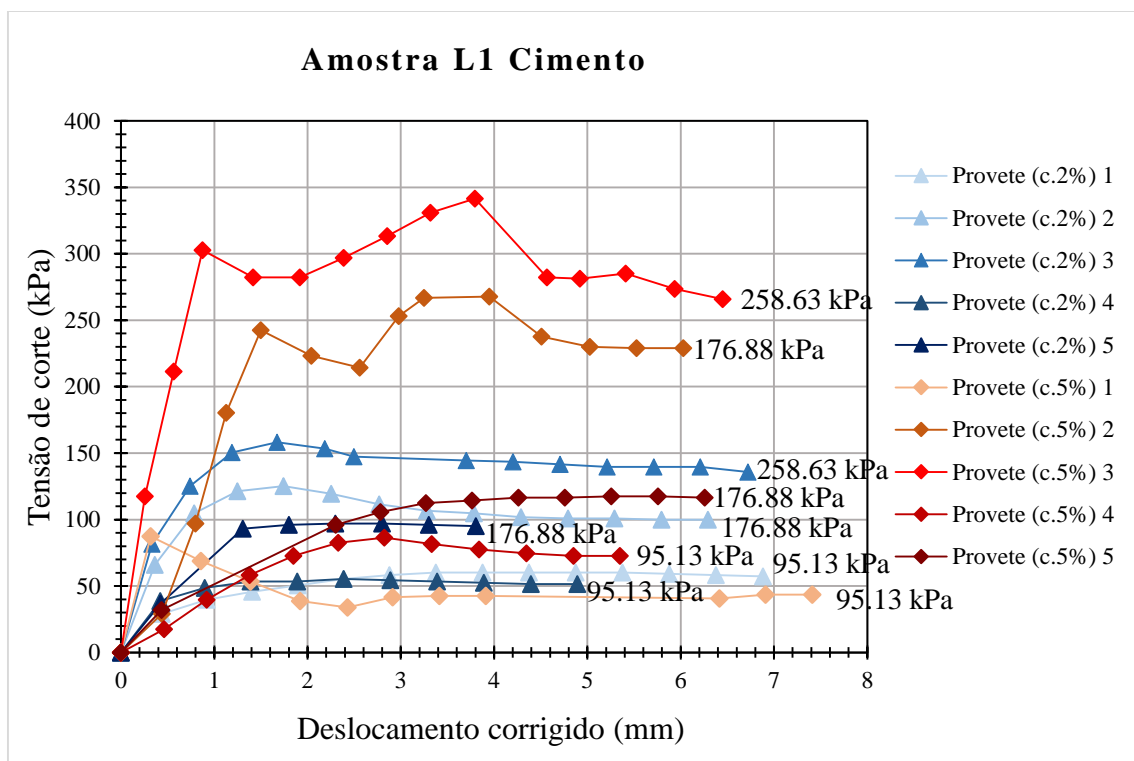


Figura 4.8 - Ensaio de Corte amostra L1 com tratamento de Cimento

Nas Figuras 4.9 e 4.10 as rectas são representativas da regressão linear de cada conjunto de provetes e as equações, que se encontram no gráfico, são as das respectivas rectas.

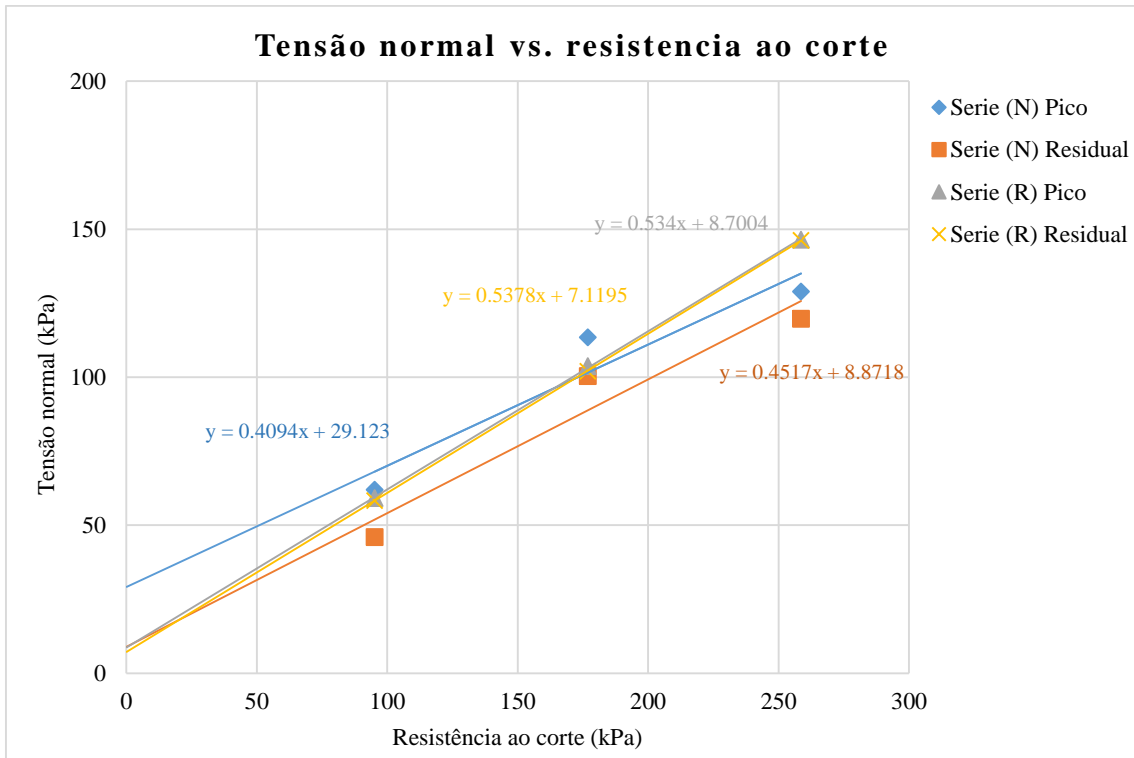


Figura 4.9 - Gráfico tensão normal vs. resistência ao corte para amostras não perturbadas e remoldadas

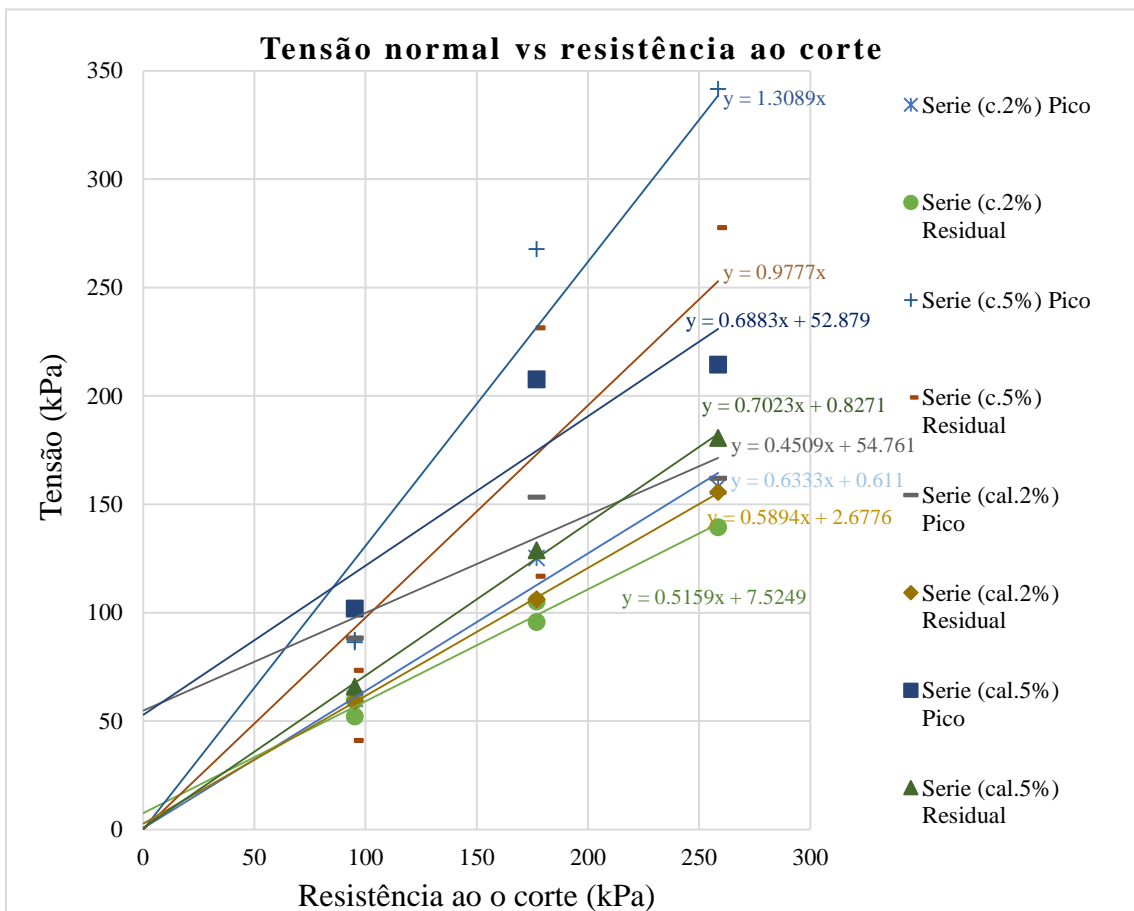


Figura 4.10 - Gráfico tensão normal vs. resistência ao corte para amostras com tratamento de cal e cimento.

Na Tabela 4.5 estão apresentados os valores dos ângulos de atrito e coesão das amostras, que foram calculados a partir das equações das rectas de regressão linear, apresentadas nas Figura 4.9 e 4.10.

*Tabela 4.5 - Valores dos ângulos de atrito e coesão obtidos.*

<b>Amostra</b>	<b>Ângulos de atrito (°)</b>	<b>Coesão (kPa)</b>
<b>(N) Pico</b>	22.26	29.12
<b>(R) Pico</b>	27.84	9.43
<b>(N) Residual</b>	24.31	8.87
<b>(R) Residual</b>	28.27	7.12
<b>(c.2%) Pico</b>	32.35	0.61
<b>(c.2%) Residual</b>	27.29	7.52
<b>(c.5%) Pico</b>	52.62	0.00
<b>(c.5%) Residual</b>	44.35	0.00
<b>(cal.2%) Pico</b>	24.27	54.76
<b>(cal.2%) Residual</b>	30.52	2.68
<b>(cal.5%) Pico</b>	34.54	52.88
<b>(cal.5%) Residual</b>	35.08	0.83

Como se pode verificar pelas Figuras 4.9 e 4.10 e na Tabela 4.5 há um acréscimo significativo dos ângulos de atrito das amostras normal e remoldada para as amostras tratadas. Este acréscimo é de cerca de 25° das amostras (R) Pico para as amostras (c.5%) Pico e um acréscimo de cerca de 7° da amostra (R) Pico para a amostra (cal.5%) Pico.

Os dados da amostra (N) serão utilizados para evidenciar as modificações nas características das amostras depois do processo de tratamento, sendo utilizadas como valores iniciais. Os valores que mais se aproximam das condições das amostras que sofreram tratamento são os da amostra (R) e, como tal, serão esses a ser utilizados na comparação.

A amostra (R) apresenta uma grande quebra do valor de coesão comparativamente a amostra (N). Esta diminuição é justificável por a amostra (N) ser a amostra natural com a coesão resultante das ligações das partículas de argila desenvolvidas ao longo de muito tempo, contrariamente ao sucedido na amostra (R) que corresponde a uma amostra que sofreu um processo de moldagem, sem tempo para a formação das ligações entre as

partículas do solo, resultando deste modo a uma diminuição da coesão, como foi verificado.

As amostras de (c.5%) apresentam valores de coesão iguais a 0 devido à recta de regressão linear ter sido forçada a passar na origem dos eixos, dado ao facto das rectas inicialmente cruzarem o eixo dos yy's em valores negativos.

Como referido em Cristelo (2001) nos solos coesivos a adição de cimento vai reduzir a plasticidade da amostra e originar a floculação das partículas, levando o comportamento das mesmas a ser equiparado a partículas de maior dimensão do tipo siltoso ou argilo-siltoso, com inferior plasticidade e coesão. Esta redução de coesão é notória quando comparada com a amostra (R): na amostra (c.5%) a coesão observada é 0 e na amostra de (c.2%) é muito inferior na tensão de pico, aproximando-se de 0, e tensão residual é mais próxima do valor da amostra (R) mas continuando a obter-se valores inferiores.

#### 4.5. Ensaio de expansibilidade em edómetro

O ensaio de expansibilidade em edómetro pretende demonstrar a capacidade de expansão de uma determinada argila mesmo quando sujeita a uma carga. Para tal, a amostra L1 foi sujeita a uma carga inicial de 50kPa, os valores de carga ao longo do tempo estão apresentados na Figura 4.11 é possível verificar que a carga aumentou para um valor máximo de 64kPa este aumento está relacionado com a expansão da amostra.

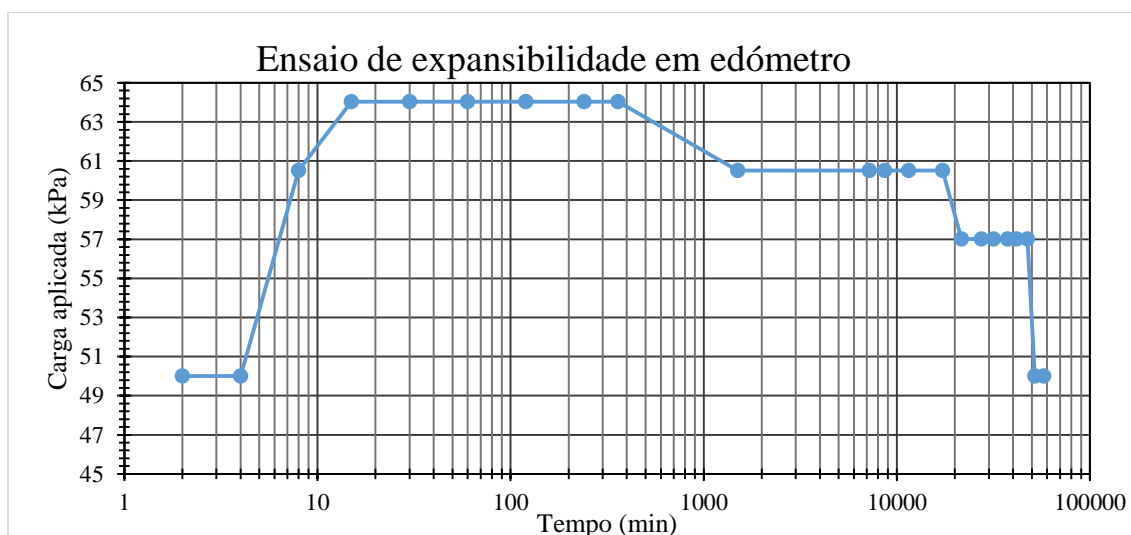


Figura 4.11 - Gráfico de expansibilidade em edómetro carga aplicada vs. tempo

Como se pode verificar na Figura 4.12 os valores de expansibilidade observados são muito baixos. A amostra apenas apresentou uma expansão máxima de 0.24%, mas apesar da baixa expansão da amostra esta foi capaz de aumentar a carga de 50kPa para 63kPa o que correspondeu aumento 26% na carga, ou seja na pressão de expansão.

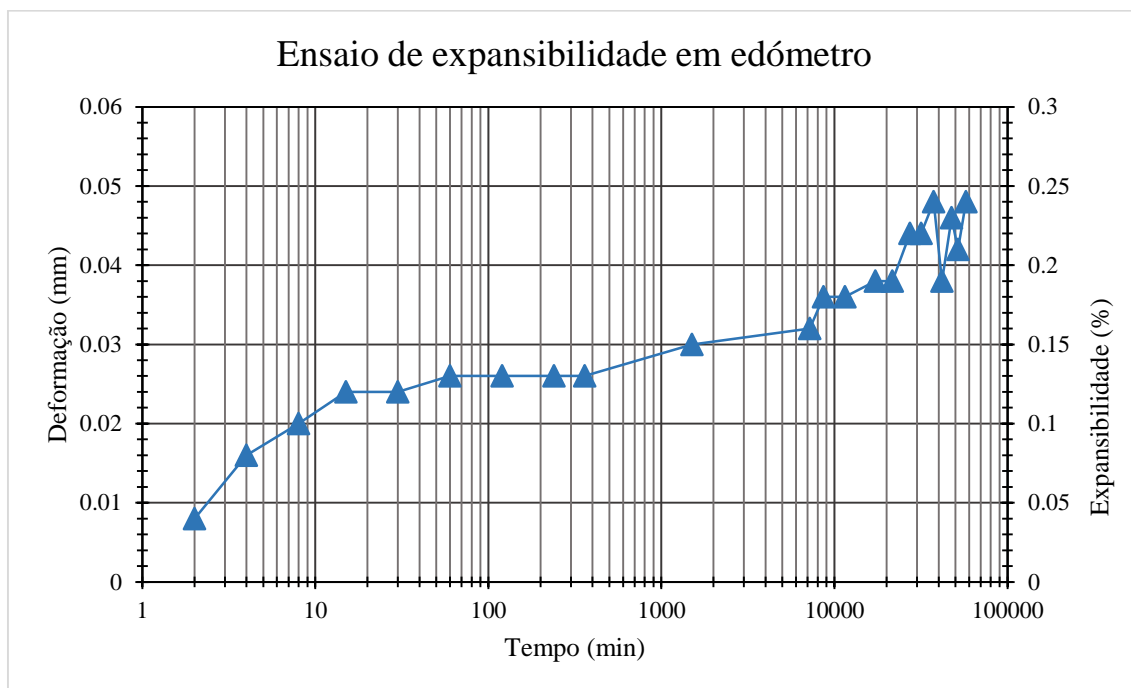


Figura 4.12 - Gráfico ensaio de expansibilidade em edômetro

#### 4.6. Difrração de raios-X

A base teórica da difracção de raios-X é descrita em detalhe em Klung & Alexander (1974) e em Moore & Reynolds (1989).

A análise por difracção de raios-X foi utilizada em duas amostras, a L1 e a L3, sendo que a L3 foi escolhida para permitir uma comparação com a amostra L1, e verificar se existem diferenças significativas em termos mineralógicos.

No Anexo V estão apresentados os gráficos que auxiliaram na identificação dos minerais presentes nas amostras.

Os minerais identificados estão apresentados na Tabela 4.6, em função das suas percentagens relativas calculadas através das áreas dos picos, apresentados nos gráficos com auxílio dos valores da largura e da altura dos picos.

Tabela 4.6 - Percentagens relativas dos minerais nas amostras.

Minerais	L1 Total	L1 Glicolada	L1 Normal	L1 Queimada	L3 Total	L3 Glicolada	L3 Orientada	L3 Queimada
<b>Quartzo</b>	40.37	21.60	14.25	41.79	46.61	11.22	40.69	21.34
<b>Calcite</b>	6.28				17.19			
<b>Ilite</b>	9.57	18.25	10.97	22.43	20.46	20.00	16.39	50.16
<b>Montmorilonite</b>	2.90	26.03	22.12	28.20	5.59	11.50	8.06	10.95
<b>Dolomite</b>	2.71				1.01			
<b>Caulinite</b>	11.21	30.40	42.54	1.45	2.69	44.65	10.16	
<b>Moscovite</b>	4.59	3.73	10.15	6.13	2.07	5.46	23.72	17.01
<b>Vermiculite</b>					2.12			
<b>Biotite</b>					0.61			
<b>Picos não identificados (%)</b>	22.36	0	0	0	1.66	7.17	0.99	0.48

As amostras totais apresentam uma maior variedade de minerais detectados, tal como seria de esperar, visto que correspondem a análises de tomas da totalidade das amostras.

As diferenças mineralógicas detectadas nas amostras são resultado do tratamento sofrido no processo de queima e no processo de glicolagem das amostras. Quando se procede à queima da amostra, que é realizada a 500°C, é observada uma destruição parcial ou total de alguns minerais.

Como se pode verificar pela Tabela 4.6 na amostra L1 queimada há uma destruição quase total da caulinite, restando apenas um valor de 1,45%. A destruição da caulinite também é observada na amostra L3. Em ambas as amostras a montmorilonite apresentou um acréscimo percentual tanto na amostra glicolada como na queimada.

É ainda de salientar que as percentagens de picos não identificados na amostra L1 são na ordem dos 22% o que poderá ter originado a não identificação de algum mineral. O possível desconhecimento da existência de algum mineral não deverá ter implicações no tratamento dos resultados, visto que nas restantes amostras não foi identificado nenhum mineral que não tivesse sido detectado na amostra total.

## 4.7. Calcimetria

Foi realizada uma calcimetria que permitiu quantificar a percentagens de calcite e de dolomite na amostra L1. Esta análise foi realizada em apenas 20g da amostra, sendo esta quantidade considerada suficiente como representativa da amostra total.

Os valores obtidos foram de 13.70% de calcite e de 8.05% de dolomite. Este ensaio permitiu confirmar a designação de marga, adoptada na literatura geológica de base (Manuppella *et al.*, 1999).

## 4.8. Granulometria de finos

A Tabela 4.7 e a Figura 4.14 representam a distribuição das partículas finas da amostra L1 determinada por difracção de LASER. Através da análise dos dados obtidos por esta metodologia e tendo como referência o valor da Frequência relativa (%) mais elevado, a amostra é classificada maioritariamente como sendo um silte grosseiro.

Tabela 4.7 - Classes dimensionais da amostra.

Dimensão $\mu\text{m}$	Classificação	%
63-32	Silte muito grosseiro	20.82
32-16	Silte grosseiro	24.28
16-8	Silte médio	21.08
8-4	Silte fino	15.75
4-2	Silte muito fino	10.04
<2	Argila	8.03

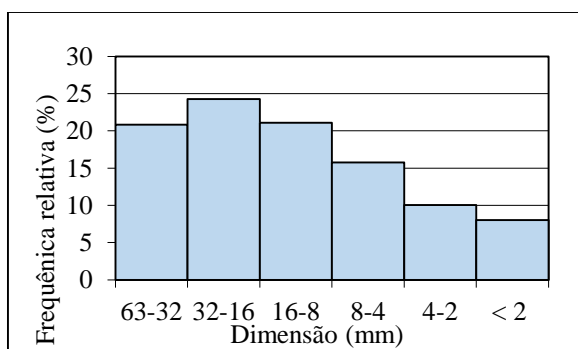


Figura 4.13 – Gráfico com as classes dimensionais da amostra L1

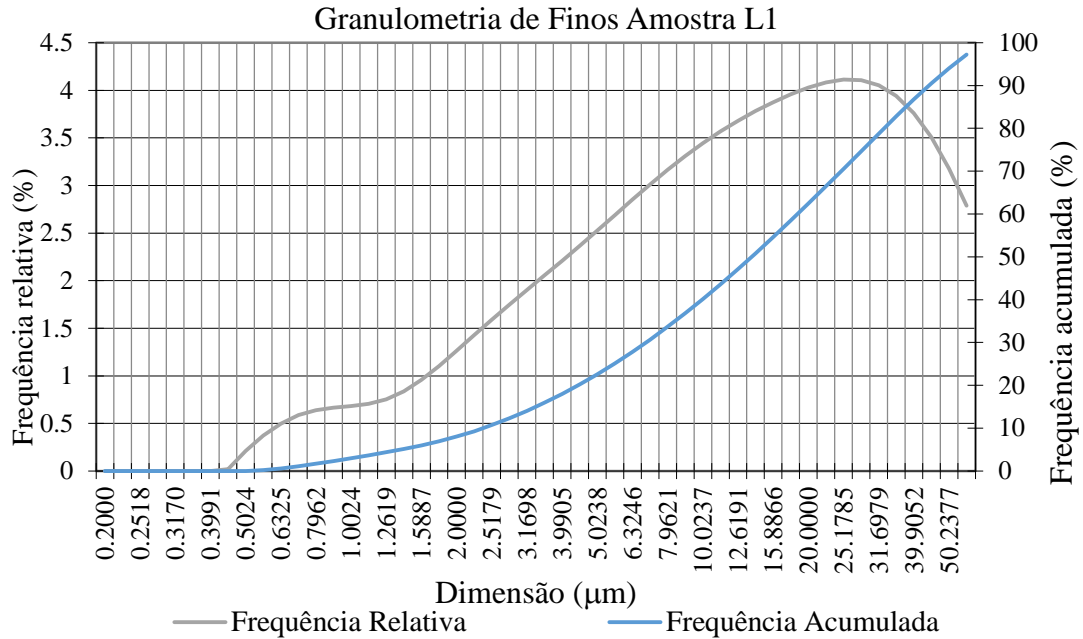


Figura 4.14 - Gráfico representativo da granulometria de finos, frequências relativas e acumuladas da amostra L1

A granulometria de finos também permitiu verificar que o conteúdo de partículas com a dimensão das argilas era baixo, com um valor de apenas 8%, contudo este é suficiente para causar instabilidade e características geotécnicas indesejáveis.

#### 4.9. Interpretação dos resultados obtidos

Como se pode verificar com os resultados obtidos é notório um acréscimo de resistência das amostras após o tratamento tanto com a cal como com o cimento, sendo as melhorias mais significativas nas características observadas nas amostras tratadas com cimento. É também de salientar que as amostras que apresentaram um maior acréscimo foram as de 5% de cimento.

Uma percentagem superior não foi utilizada com base na premissa de não utilizar dosagens de tratamento superiores a 5%, que seriam pouco viáveis em termos económicos e não são prática corrente em engenharia. É também de referir que, em alguns trabalhos, se observou que a adição de substâncias de tratamento com percentagens superiores pode conduzir a características geotécnicas inferiores às obtidas em tratamentos com menores percentagens de aditivos.

Os resultados obtidos nos diferentes ensaios realizados apontam para uma melhoria das características, quando comparadas com as da amostra sem tratamento.

Quando se observam os limites de consistência é verificado um decréscimo dos Limites de Liquidez e um acréscimo dos Limites de Plasticidade, o que vai levar a um decréscimo do índice de plasticidade, sendo este considerado uma melhoria das características, conferindo maior resistência à erosão.

Com base no ensaio de expansibilidade LNEC, que foi realizado para todas as amostras, foi possível concluir que a amostra que apresentou o valor mais elevado de expansibilidade foi a amostra L1, confirmando assim a sua selecção para a análise mais aprofundada.

Ao analisar os resultados obtidos no ensaio de corte directo foi possível concluir que, as amostras com o tratamento de cimento obtiveram melhor comportamento do que as restantes, apresentando valores de resistência de pico e residual muito superiores às restantes.

Como foi evidenciado previamente na discussão dos resultados obtidos no ensaio de corte directo, os valores obtidos para os ângulos de atrito e para a coesão diferem nas amostras tratadas com cal e com cimento. Observando-se em ambos os casos que existe uma melhoria das propriedades, sendo que os valores obtidos da coesão próxima de 0, para a amostra com 5% de cimento, são indicadores de um elevado aumento do ângulo de atrito.

No ensaio de expansibilidade em edómetro foi possível observar que a amostra L1 quando sujeita a uma carga de 50kPa apresentou um comportamento expansivo, sendo este na ordem dos 0.24%, contudo esta pequena expansão da amostra foi o suficiente para incrementar em 26% a carga inicial atingindo uma carga de 63kPa no seu pico de expansão.

Quanto aos resultados obtidos na difracção de raios-X, mineralogicamente as amostras L1 e L3 são muito semelhantes, tendo sido apenas detectados dois minerais na amostra L3, vermiculite e biotite que não foram detectados na L1. Na amostra L1 não orientada (amostra total) não foi possível identificar cerca de 20% dos picos, por esse motivo existe a possibilidade desses mesmos minerais estarem presentes.

Os dados obtidos na calcimetria validam a existência de calcite e de dolomite na amostra L1. Os dados obtidos pela granulometria de finos classificaram a amostra L1 como sendo maioritariamente da dimensão dos siltes grosseiros apresentado apenas 8% de material da

dimensão das argilas, permitindo estes dados validar a classificação da amostra como uma marga.

## 5. Conclusões

O conhecimento das características geotécnicas das amostras é fundamental para compreensão do seu comportamento, pois com base nestas mesmas características foi possível chegar a algumas conclusões sobre um solo de alteração do Jurássico superior.

A amostra L1 foi a que apresentou as características de plasticidade mais acentuada, apresentando o índice de plasticidade mais elevado na ordem dos 15.3%. Na classificação USCS esta amostra foi classificada com uma argila magra (CL) e na classificação AASHTO foi classificada com solo argiloso (A6) que, deste modo valida a sua escolha para a realização da sua caracterização mais pormenorizada para análise dos efeitos de melhoramento geotécnico.

A análise dos resultados dos ensaios realizados sobre a amostra L1, sem e com diferentes tratamentos (2% e 5% de cimento e 2% e 5% de cal) foi possível verificar que o tratamento que apresentou resultados mais significativos, quanto ao melhoramento, foi o tratamento com 5% de cimento. Aquando da caracterização através dos limites, verificou-se uma alteração da classificação, passando esta amostra a ser classificada na classificação USCS como silte de baixa plasticidade (ML) e na AASTHO como solo siltoso (A4). Do ponto de vista das características geotécnicas é considerado como uma melhoria, pois aquando do tratamento desta amostra com 5% de cal, também houve alteração na classificação USCS, que passou a ser um silte de baixa plasticidade (ML).

Foi também possível observar que o limite de plasticidade para amostra L1, tratada com 5% de cimento, aumentou. Este aumento indica que a amostra necessita de um teor em água mais elevado para ter um comportamento considerado plástico, o que torna a amostra menos susceptível a instabilizações. Esta modificação associada a uma diminuição do limite de liquidez, vai originar um índice de plasticidade mais baixo, sendo este também um indicador da melhoria das características da amostra.

O ensaio de expansibilidade LNEC permitiu verificar que a amostra L1 apresentava maior expansibilidade que as restantes amostras, tendo fornecido valores da ordem de 20% que, não sendo excessivos, são susceptíveis de provocar movimentações significativas da camada superior de solo com a alternância de períodos secos e húmidos, concorrendo para a sua desintegração superficial relativamente rápida e para a sua elevada susceptibilidade à erosão superficial.

Com o ensaio de corte directo foi possível obter os parâmetros de resistência ao corte de amostras não perturbadas, remoldadas e com tratamentos de 2% e 5% de cimento e cal da amostra L1. Do provete remoldado e dos provetes tratados, os dados a salientar são o aumento do ângulo de atrito de, aproximadamente, 27° para 57° no provete tratado com 5% de cimento, sendo que neste provete a coesão passou a ser nula.

Na amostra com 5% de cal os valores do ângulo de atrito aumentaram de, aproximadamente, 27° para 37° e os valores de coesão aumentaram de 9kPa, no provete remoldado, para aproximadamente 53kPa. Na amostra com 2% de cal os valores do ângulo de atrito diminuíram de, aproximadamente, 27° para 24° e os valores de coesão aumentaram de 9kPa, no provete remoldado, para aproximadamente 55kPa, o que, para baixas tensões de confinamento corresponde a aumento da resistência ao corte.

Quanto às técnicas utilizadas para efectuar o melhoramento da amostra, a que deu mais indícios de eficácia foi a utilização de 5% de cimento, sendo que em valores de 2% de cimento não foram detectadas alterações significativas, e nas amostras tratadas com cal, tanto 2 e 5%, a alteração que mais se evidenciou foi o aumento significativo da coesão.

Como tal, um tratamento que se podia estudar futuramente seria a combinação de cimento com cal, e verificar a sua eficácia comparativamente aos estudados.

Contudo deveriam ser realizados mais estudos e/ou ensaios em laboratório e instalação de blocos experimentais in situ, de modo a validar os resultados obtidos em laboratório e verificar se as metodologias de tratamento do solo de alteração superficial são eficazes na estabilização dos solos contra a erosão superficial, e qual a sua durabilidade ao longo do tempo.

## 6. Bibliografia

- AASHTO M145. Classification of Soil and Soil-Aggregate Mixtures For Highway Construction Purposes.
- ASTM D2166, 1996. Determining Unconfined Compressive Strength of Clay
- ASTM D2435, 1996. Standard Test Method for One-Dimensional Consolidation Properties of Soils
- ASTM D2487, 2000. Standard Classification of Soils for Engineering Purposes (Unified Soil Classification System)
- ASTM D3080, 1998. Standard Test Method for Direct Shear Test of Soils Under Consolidated Drained Conditions
- ASTM D427, 1998. Standard Test Method for Shrinkage Factors of Soils by the Mercury Method
- ASTM D4943, 2002. Standard Test Method for Shrinkage Factors of Soils by the Wax Method
- Epifânio, B., Zêzere, J.L., Neves, N., 2013. Identification of hazardous zones combining cliff retreat with landslide susceptibility assessment. *Journal of Coastal Research*, SI 65, pp. 1681–1686.
- Epifânio, B., Zêzere, J.L., Neves, N., 2014. Susceptibility assessment to different types of landslides in the coastal cliffs of Lourinhã (Central Portugal). *Journal of Sea Research*, Vol. 93, pp. 150-159.
- Henriques, C.S. (2014) *Landslide Susceptibility Evaluation and Validation at a Regional Scale*. Dissertação de doutoramento, Universidade de Lisboa, 509 pp., 1 CDROM.
- Jeremias, F.T., 2000. Geological controls on the engineering properties of mudrocks of the north Lisbon area. PhD. Thesis, University of Sheffield.
- LNEC E-197-1966. Ensaio de Compactação
- LNEC E-200, 1967. Ensaio de expansibilidade
- Klung, H. P. & Alexander, L. E., 1974. *X-ray Diffraction Procedures*. 2nd Ed. John Wiley & Sons, New York, 966p
- MANUPPELLA, G.; ANTUNES, M.; PAIS, J.; RAMALHO, M.; REY, J. (1999). Notícia explicativa da folha 30-A (Lourinhã) da Carta Geológica de Portugal. Esc. 1/50 000. Serviços Geológicos de Portugal, Lisboa.

- Moore, D. M. & Reynolds, R. C., 1989. X-ray diffraction and the identification and analysis of clay minerals, Oxford University Press, 332p.
- Neves, J.M., 1993. Estabilização de solos com cal estudo e aplicações rodoviárias.
- Neves, E.N., 2009. Estudo Laboratorial de Solos Tratados com Cal Modelos de Comportamento.
- NP-143, 1969 – Solos. Determinação dos limites de consistência
- Ouhadi, V.R., Yong, R.N., 2003a. The role of clay fraction of marly soils on their post stabilization failure. *Engineering Geology* 70, 365–375.
- Penacho, N., Marques, F., Queiroz, S., Gouveia, L., Matildes, R., Redweik, P., Garzón, V. (2013) Estudo do litoral na área de intervenção da APA, I.P. /ARH do Tejo: Inventário de instabilidades nas arribas obtido por fotointerpretação. Agência Portuguesa do Ambiente - Centro de Geologia, Relatório técnico não publicado, 49p, cartografia em CD-ROM.
- Pereira, O. A. (1970). Estabilização de Solos. Curso de especialização 108, LNEC, Lisboa, Portugal.
- Thompson, M.R., 1968. Lime stabilization of soils for highway purposes. December 1968, Final Summary Rep. Civil Engineering Studies, Highway Series No.25, Illinois Cooperative Highway Research Program, Project IHR-76, 26 pp.
- Yong, R.N., Ouhadi, V.R., 1997. Reaction factors impacting on instability of bases on natural and lime-stabilized marls. Special Lecture, Keynote Paper, Proc. of International Conference on Foundation Failures, Singapore, pp. 87–100.

### **6.1. Sites consultados**

- [1]<http://geomuseu.ist.utl.pt/BIMineral/Bibliografia%20Mineral%20BI/Minerais%20Industriais/Cimento/Cimento,%20Cal%20e%20Ca.doc>.

## Anexos I

### Limites de Consistência

Tabela A. 1 - Limites de Consistência - Amostra LI

<b>Limite de liquidez</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>
nº da cápsula	1	2	3	4
N (nº de pancadas)	14	19	27	33
m1 (cápsula)	7.0700	8.5936	7.0456	7.1407
m2 (cápsula + amostra húmida)	23.4253	21.0995	18.3160	20.7993
m3 (cápsula + amostra seca)	18.7543	17.6873	15.1954	17.1499
$W=(m2-m3)/(m3- m1)*100$	39.9767	37.5227	38.2905	36.4605
<b>Limite de Plasticidade</b>				
nº da cápsula	5	6	7	8
m1 (cápsula)	7.0508	6.8496	6.9501	7.1294
m2 (cápsula + amostra húmida)	10.1243	9.4010	9.8391	10.0791
m3 (cápsula + amostra seca)	9.5502	8.9452	9.3235	9.5309
$W=(m2-m3)/(m3- m1)$	22.9695	21.7503	21.7241	22.8274
<b>Limite de Retracção</b>				
Nº capsula	1	2	3	4
m1 (peso da cápsula)	18.8446	18.8580	18.7075	18.3927
m2 (cápsula + amostra húmida)	68.2310	68.3630	69.7170	69.4267
m3 (cápsula + amostra seca)	55.4059	55.5500	56.4853	56.3429
m4 (amostra suspensa)	36.7714	36.8938	37.9931	38.1416
m5 (amostra suspensa com parafina)	38.1197	41.0988	41.3606	39.4759
m6 (amostra suspensa com parafina em água)	17.2830	16.4550	16.8560	16.9485
$V_{1(parafina)} = (m5-m4)/0.900)$	1.4981	4.6722	3.7417	1.4826
$l_{(Impulsão)} = m5 - m6$	20.8367	24.6438	24.5046	22.5274
$V_{2(amostra)} = l - V_1$	19.3386	19.9716	20.7629	21.0448
$g_d$ (peso volúmico seco) = $(m4)/v_2$	1.9015	1.8473	1.8299	1.8124
$V_3$ (volume da Capsula)	27.1392	27.2020	27.3747	27.8748
$\Delta V$	7.8006	7.2304	6.6117	6.8299
$W_s=((m2-m3)/(m3- m1))-(\Delta V/m3-m1)$	0.1374	0.1521	0.1752	0.1648

Tabela A. 2 - Tabela Limites de Consistência - Amostra L2

<b>Limite de liquidez</b>	1	2	3	4
nº da cápsula	9	10	11	12
N (nº de pancadas)	15	24	28	37
m1 (cápsula)	7.0828	7.0625	7.0736	7.0949
m2 (cápsula + amostra húmida)	20.3702	19.9381	22.6380	18.9686
m3 (cápsula + amostra seca)	17.5575	17.3830	19.5846	16.6740
$W=(m2-m3)/(m3- m1)*100$	26.8523	24.7575	24.4057	23.9542
<b>Limite de Plasticidade</b>	1	2	3	4
nº da cápsula	13	14	15	16
m1 (cápsula)	8.5223	8.5504	7.0945	6.9764
m2 (cápsula + amostra húmida)	11.0056	12.7012	9.5985	10.0373
m3 (cápsula + amostra seca)	10.6207	12.0395	9.2100	9.5509
$W=(m2-m3)/(m3- m1)$	18.3425	18.9648	18.3645	18.8930
<b>Limite de Retracção</b>	1	2	3	4
Nº capsula	5	6	7	8
m1 (peso da cápsula)	18.6729	18.6298	18.7019	18.7659
m2 (cápsula + amostra húmida)	73.4943	73.1336	72.4675	73.5530
m3 (cápsula + amostra seca)	62.7282	62.0884	61.8856	62.7519
m4 (amostra suspensa)	44.2132	43.6297	43.3684	44.1577
m5 (amostra suspensa com parafina)	45.6178	45.8875	45.5673	45.1743
m6 (amostra suspensa com parafina em água)	21.7530	21.2375	21.2845	21.6330
$V_{1(parafina)} = (m5-m4)/0.900)$	1.5607	2.5087	2.4432	1.1296
$l_{(Impulsão)} = m5 - m6$	23.8648	24.6500	24.2828	23.5413
$V_{2(amostra)} = l - V_1$	22.3041	22.1413	21.8396	22.4117
$g_d$ (peso volúmico seco) = $(m4)/v2$	1.9823	1.9705	1.9858	1.9703
$V_3$ (volume da Capsula)	27.1397	27.2959	26.7525	27.3085
$\Delta V$	4.8356	5.1546	4.9129	4.8967
$Ws=((m2-m3)/(m3- m1))-(\Delta V/m3-m1)$	0.1346	0.1355	0.1313	0.1342

Tabela A. 3 - Tabela Limites de Consistência - Amostra L3

<b>Limite de liquidez</b>	1	2	3	4
nº da cápsula	17	18	19	20
N (nº de pancadas)	14	23	30	37
m1 (cápsula)	7.0190	8.6460	6.9250	7.0095
m2 (cápsula + amostra húmida)	19.5287	21.5405	20.1900	23.2565
m3 (cápsula + amostra seca)	16.2413	18.2054	16.8184	19.1987
$W=(m2-m3)/(m3- m1)*100$	35.6462	34.8882	34.0793	33.2901
<b>Limite de Plasticidade</b>	1	2	3	4
nº da cápsula	21	22	23	24
m1 (cápsula)	6.8459	7.0040	7.0818	7.0565
m2 (cápsula + amostra húmida)	11.3783	11.3625	11.0545	11.2557
m3 (cápsula + amostra seca)	10.5823	10.6086	10.3405	10.5049
$W=(m2-m3)/(m3- m1)$	21.3039	20.9149	21.9106	21.7724
<b>Limite de Retracção</b>	1	2	3	4
Nº capsula	1	2	3	4
m1 (peso da cápsula)	18.8446	18.8580	18.7075	18.3927
m2 (cápsula + amostra húmida)	69.9100	69.5520	69.8190	70.5300
m3 (cápsula + amostra seca)	56.7746	56.5911	56.8465	57.2058
m4 (amostra suspensa)	37.9849	37.8307	38.3146	39.0126
m5 (amostra suspensa com parafina)	39.6528	38.6854	39.0332	39.9498
m6 (amostra suspensa com parafina em água)	18.7910	18.6179	18.8025	19.3040
$V_{1(\text{parafina})} = (m5-m4)/0.900$	1.8532	0.9497	0.7984	1.0413
$I(\text{Impulsão}) = m5 - m6$	20.8618	20.0675	20.2307	20.6458
$V_{2(\text{amostra})} = I - V_1$	19.0086	19.1178	19.4323	19.6045
$g_d (\text{peso volúmico seco}) = (m4)/v2$	1.9983	1.9788	1.9717	1.9900
$V_3(\text{volume da Capsula})$	27.1392	27.2020	27.3747	27.8748
$\Delta V$	8.1307	8.0841	7.9424	8.2703
$Ws=((m2-m3)/(m3- m1))-(\Delta V/m3-m1)$	0.1319	0.1292	0.1319	0.1302

Tabela A. 4 - Tabela Limites de Consistência - Amostra L4

<b>Limite de liquidez</b>	1	2	3	4
nº da cápsula	1	2	3	4
N (nº de pancadas)	20	15	33	26
m1 (cápsula)	7.0700	8.5936	7.0456	7.1407
m2 (cápsula + amostra húmida)	20.4418	21.0418	16.9903	19.8819
m3 (cápsula + amostra seca)	16.9059	17.6461	14.4766	16.5865
$W=(m2-m3)/(m3- m1)*100$	35.9489	37.5112	33.8272	34.8875
<b>Limite de Plasticidade</b>	1	2	3	4
nº da cápsula	5	6	7	8
m1 (cápsula)	7.0508	6.8496	6.9501	7.1294
m2 (cápsula + amostra húmida)	11.3770	12.9501	12.6979	13.0021
m3 (cápsula + amostra seca)	10.5316	11.7494	11.5513	11.8408
$W=(m2-m3)/(m3- m1)$	24.2875	24.5051	24.9196	24.6487
<b>Limite de Retracção</b>	1	2	3	4
Nº capsula	1	2	3	4
m1 (peso da cápsula)	18.8446	18.8580	18.7075	18.3927
m2 (cápsula + amostra húmida)	69.3219	69.1189	69.5424	69.9747
m3 (cápsula + amostra seca)	56.1875	56.0871	56.4522	56.7374
m4 (amostra suspensa)	37.4480	37.3204	37.8457	37.4466
m5 (amostra suspensa com parafina)	38.7924	38.7551	39.5685	40.1700
m6 (amostra suspensa com parafina em água)	18.1215	18.1122	17.9078	17.9903
$V_{1(\text{parafina})} = (m5-m4)/0.900)$	1.4938	1.5941	1.9142	3.0260
$l_{(\text{Impulsão})} = m5 - m6$	20.6709	20.6429	21.6607	22.1797
$V_{2(\text{amostra})} = l - V_1$	19.1771	19.0488	19.7465	19.1537
$g_d (\text{peso volúmico seco}) = (m4)/v2$	1.9527	1.9592	1.9166	1.9551
$V_3(\text{volume da Capsula})$	27.1392	27.2020	27.3747	27.8748
$\Delta V$	7.9621	8.1532	7.6282	8.7211
$Ws=((m2-m3)/(m3- m1))-(\Delta V/m3-m1)$	0.1385	0.1310	0.1447	0.1178

Tabela A. 5 - Tabela Limites de Consistência - Amostra L5

<b>Limite de liquidez</b>	1	2	3	4
nº da cápsula	1	2	3	4
N (nº de pancadas)	11	30	19	40
m1 (cápsula)	7.1111	8.5983	7.1018	7.1721
m2 (cápsula + amostra húmida)	22.0064	23.2935	19.6331	22.9180
m3 (cápsula + amostra seca)	18.3799	20.0032	16.6818	19.4649
$W=(m2-m3)/(m3- m1)*100$	32.1818	28.8499	30.8069	28.0904
<b>Limite de Plasticidade</b>	1	2	3	4
nº da cápsula	5	6	7	8
m1 (cápsula)	7.0561	6.8550	6.9566	7.1328
m2 (cápsula + amostra húmida)	10.6484	10.4261	10.0045	9.5742
m3 (cápsula + amostra seca)	10.0657	9.8573	9.5081	9.1689
$W=(m2-m3)/(m3- m1)$	19.3614	18.9455	19.4552	19.9057
<b>Limite de Retracção</b>	1	2	3	4
Nº capsula	1	2	3	4
m1 (peso da cápsula)	18.8473	18.8623	18.7084	18.3941
m2 (cápsula + amostra húmida)	71.3802	70.7674	71.1177	71.8355
m3 (cápsula + amostra seca)	59.2976	58.8538	59.1263	59.4400
m4 (amostra suspensa)	40.5703	40.1019	40.5335	41.4108
m5 (amostra suspensa com parafina)	42.5930	41.9320	41.8894	43.0559
m6 (amostra suspensa com parafina em água)	20.8124	19.8894	20.1737	20.3755
$V_{1(parafina)} = (m5-m4)/0.900$	2.2474	2.0334	1.5066	1.8279
$I_{(Impulsão)} = m5 - m6$	21.7806	22.0426	21.7157	22.6804
$V_{2(amostra)} = I - V_1$	19.5332	20.0092	20.2091	20.8525
$g_d$ (peso volúmico seco) = $(m4)/v2$	2.0770	2.0042	2.0057	1.9859
$V_3$ (volume da Capsula)	27.1392	27.2020	27.3747	27.8748
$\Delta V$	7.6061	7.1928	7.1655	7.0223
$W_s=((m2-m3)/(m3- m1))-(\Delta V/m3-m1)$	0.1107	0.1180	0.1194	0.1309

Tabela A. 6 - Tabela Limites de Consistência - Amostra L6

<b>Limite de liquidez</b>	1	2	3	4
nº da cápsula	9	10	11	12
N (nº de pancadas)	14	18	29	38
m1 (cápsula)	7.0847	7.0636	7.0767	7.0965
m2 (cápsula + amostra húmida)	17.3984	18.8503	18.0356	16.8850
m3 (cápsula + amostra seca)	15.1185	16.2252	15.6669	14.8449
$W=(m2-m3)/(m3- m1)*100$	28.3788	28.6533	27.5744	26.3293
<b>Limite de Plasticidade</b>	1	2	3	4
nº da cápsula	13	14	15	16
m1 (cápsula)	8.5268	8.5534	7.0984	6.9799
m2 (cápsula + amostra húmida)	11.0724	11.0616	9.3676	9.1054
m3 (cápsula + amostra seca)	10.6569	10.6557	8.9900	8.7532
$W=(m2-m3)/(m3- m1)$	19.5061	19.3074	19.9619	19.8613
<b>Limite de Retracção</b>	1	2	3	4
Nº capsula	5	6	7	8
m1 (peso da cápsula)	18.6768	18.6315	18.7051	18.7687
m2 (cápsula + amostra húmida)	71.4943	71.2105	71.1901	71.6047
m3 (cápsula + amostra seca)	60.0473	59.8516	59.9505	60.3325
m4 (amostra suspensa)	41.7150	41.5706	41.5812	41.9045
m5 (amostra suspensa com parafina)	43.7396	43.4168	43.3567	43.7694
m6 (amostra suspensa com parafina em água)	20.1689	20.0826	20.1564	20.3731
$V_{1(parafina)} = (m5-m4)/0.900$	2.2496	2.0513	1.9728	2.0721
$I_{(Impulsão)} = m5 - m6$	23.5707	23.3342	23.2003	23.3963
$V_{2(amostra)} = I - V_1$	21.3211	21.2829	21.2275	21.3242
$g_d$ (peso volúmico seco) = $(m4)/v2$	1.9565	1.9532	1.9588	1.9651
$V_3$ (volume da Capsula)	27.1397	27.2959	26.7525	27.3085
$\Delta V$	5.8186	6.0131	5.5250	5.9843
$W_s=((m2-m3)/(m3- m1))-(\Delta V/m3-m1)$	0.1360	0.1297	0.1386	0.1272

Tabela A. 7 - Tabela Limites de Consistência - Amostra L7

<b>Limite de liquidez</b>	1	2	3	4
nº da cápsula	17	18	19	20
N (nº de pancadas)	14	23	28	38
m1 (cápsula)	7.0225	8.6469	6.9274	7.0109
m2 (cápsula + amostra húmida)	20.2974	19.9847	17.6929	18.3842
m3 (cápsula + amostra seca)	17.2356	17.4599	15.3945	16.0102
$W=(m2-m3)/(m3- m1)*100$	29.9791	28.6486	27.1451	26.3798
<b>Limite de Plasticidade</b>	1	2	3	4
nº da cápsula	21	22	23	24
m1 (cápsula)	6.9919	7.0072	7.0839	7.0589
m2 (cápsula + amostra húmida)	11.3835	10.9282	10.5584	10.9836
m3 (cápsula + amostra seca)	10.4492	10.1184	9.8402	10.1965
$W=(m2-m3)/(m3- m1)$	27.0240	26.0285	26.0567	25.0861
<b>Limite de Retracção</b>	1	2	3	4
Nº capsula	5	6	7	8
m1 (peso da cápsula)	18.6757	18.6308	18.7036	18.7688
m2 (cápsula + amostra húmida)	70.6303	70.8508	70.5509	71.0960
m3 (cápsula + amostra seca)	59.3989	59.5794	59.2028	59.7808
m4 (amostra suspensa)	40.8222	41.0496	40.6003	41.1255
m5 (amostra suspensa com parafina)	43.1928	43.1647	42.9251	43.2326
m6 (amostra suspensa com parafina em água)	17.3955	17.5533	17.2473	17.5153
$V_{1(parafina)} = (m5-m4)/0.900$	2.6340	2.3501	2.5831	2.3412
$I_{(Impulsão)} = m5 - m6$	25.7973	25.6114	25.6778	25.7173
$V_{2(amostra)} = I - V_1$	23.1633	23.2613	23.0947	23.3761
$g_d$ (peso volúmico seco) = $(m4)/v2$	1.7624	1.7647	1.7580	1.7593
$V_3$ (volume da Capsula)	27.1397	27.2959	26.7525	27.3085
$\Delta V$	3.9764	4.0347	3.6578	3.9324
$W_s=((m2-m3)/(m3- m1))-(\Delta V/m3-m1)$	0.1782	0.1767	0.1899	0.1800

Tabela A. 8 - Tabela Limites de Consistência - Amostra L1 2% Cimento

<b>Limite de liquidez</b>	1	2	3	4
nº da cápsula	1	2	3	4
N (nº de pancadas)	15	18	23	33
m1 (cápsula)	7.0809	8.6054	7.0546	7.1514
m2 (cápsula + amostra húmida)	18.3897	23.2381	24.0476	21.3592
m3 (cápsula + amostra seca)	15.1889	19.1506	19.3386	17.5363
$W=(m2-m3)/(m3- m1)*100$	39.4771	38.7617	38.3344	36.8121
<b>Limite de Plasticidade</b>	1	2	3	4
nº da cápsula	5	6	7	8
m1 (cápsula)	7.0618	6.8618	6.9812	7.1396
m2 (cápsula + amostra húmida)	8.5474	8.7524	8.7597	9.8723
m3 (cápsula + amostra seca)	8.2767	8.4055	8.4429	9.3683
$W=(m2-m3)/(m3- m1)$	22.2817	22.472	21.6734	22.6141
<b>Limite de Retracção</b>	1	2	3	4
Nº capsula	1	2	3	4
m1 (peso da cápsula)	19.2056	18.8693	18.7175	18.4019
m2 (cápsula + amostra húmida)	68.7426	68.2793	68.6385	68.7987
m3 (cápsula + amostra seca)	55.1497	54.7693	55.0142	54.9269
m4 (amostra suspensa)	36.0754	36.0338	36.4268	36.6623
m5 (amostra suspensa com parafina)	39.6428	38.9185	39.4268	40.3899
m6 (amostra suspensa com parafina em água)	16.1992	16.3361	16.4741	16.3084
$V_{1(parafina)} = (m5-m4)/0.900)$	3.9638	3.2052	3.3333	4.1418
$I_{(Impulsão)} = m5 - m6$	23.4436	22.5824	22.9527	24.0815
$V_{2(amostra)} = I - V_1$	19.4798	19.3772	19.6194	19.9397
$g_d$ (peso volúmico seco) = $(m4)/v_2$	1.8519	1.8596	1.8567	1.8387
$V_3$ (volume da Capsula)	27.1392	27.2020	27.3747	27.8748
$\Delta V$	7.6594	7.8248	7.7553	7.9351
$Ws=((m2-m3)/(m3- m1))-(\Delta V/m3-m1)$	0.1651	0.1584	0.1617	0.1625

Tabela A. 9 - Tabela Limites de Consistência - Amostra L1 5% Cimento

<b>Limite de liquidez</b>	1	2	3	4
nº da cápsula	1	2	3	4
N (nº de pancadas)	11	17	26	32
m1 (cápsula)	7.0801	8.6044	7.0575	7.1513
m2 (cápsula + amostra húmida)	19.1219	19.9201	17.2543	17.2754
m3 (cápsula + amostra seca)	15.6724	16.7759	14.5135	14.6106
$W=(m2-m3)/(m3- m1)*100$	40.1464	38.4776	36.7597	35.7245
<b>Limite de Plasticidade</b>	1	2	3	4
nº da cápsula	5	6	7	8
m1 (cápsula)	7.0633	6.8644	6.9632	7.1401
m2 (cápsula + amostra húmida)	8.8388	8.7401	9.0872	8.7999
m3 (cápsula + amostra seca)	8.4307	8.3182	8.6243	8.4401
$W=(m2-m3)/(m3- m1)$	29.845	29.0205	27.8671	27.6769
<b>Limite de Retracção</b>	1	2	3	4
Nº capsula	1	2	3	4
m1 (peso da cápsula)	19.2056	18.8693	18.7154	18.4004
m2 (cápsula + amostra húmida)	69.1927	69.0168	69.7894	70.4999
m3 (cápsula + amostra seca)	55.4376	55.6113	56.1753	56.6373
m4 (amostra suspensa)	36.3087	37.0851	36.7862	38.5752
m5 (amostra suspensa com parafina)	38.0762	39.0498	39.8278	40.4000
m6 (amostra suspensa com parafina em água)	14.2956	14.9806	15.4497	15.8115
$V_{1(parafina)} = (m5-m4)/0.900)$	1.9639	2.1830	3.3796	2.0276
$I_{(Impulsão)} = m5 - m6$	23.7806	24.0692	24.3781	24.5885
$V_{2(amostra)} = I - V_1$	21.8167	21.8862	20.9985	22.5609
$g_d$ (peso volúmico seco) = $(m4)/v_2$	1.6643	1.6945	1.7518	1.7098
$V_3$ (volume da Capsula)	27.1392	27.2020	27.3747	27.8748
$\Delta V$	5.3225	5.3158	6.3761	5.3138
$Ws=((m2-m3)/(m3- m1))-(\Delta V/m3-m1)$	0.2327	0.2202	0.1932	0.2236

Tabela A. 10 - Tabela Limites de Consistência - Amostra LI 2% Cal

<b>Limite de liquidez</b>	1	2	3	4
nº da cápsula	13	14	15	16
N (nº de pancadas)	12	16	27	30
m1 (cápsula)	8.5362	8.5597	7.1048	6.9879
m2 (cápsula + amostra húmida)	27.9607	20.1066	16.3774	18.8952
m3 (cápsula + amostra seca)	22.3635	16.8117	13.7937	15.6658
$W=(m2-m3)/(m3- m1)*100$	40.4793	39.9285	38.6267	37.2141
<b>Limite de Plasticidade</b>	1	2	3	4
nº da cápsula	17	18	19	20
m1 (cápsula)	7.0297	8.6708	6.9114	7.0195
m2 (cápsula + amostra húmida)	8.4628	9.9261	8.3684	8.2595
m3 (cápsula + amostra seca)	8.1759	9.6597	8.0915	8.0243
$W=(m2-m3)/(m3- m1)$	25.0305	26.939	23.4641	23.4076
<b>Limite de Retracção</b>	1	2	3	4
Nº capsula	5	6	7	8
m1 (peso da cápsula)	18.6824	18.6383	18.7087	18.7744
m2 (cápsula + amostra húmida)	68.2528	68.4878	67.3865	68.7290
m3 (cápsula + amostra seca)	54.7168	54.8714	54.0900	55.0989
m4 (amostra suspensa)	36.1299	36.3310	35.4831	36.4108
m5 (amostra suspensa com parafina)	38.6632	38.3969	38.2429	38.9103
m6 (amostra suspensa com parafina em água)	15.8307	16.0195	15.4732	16.0617
$V_{1(parafina)} = (m5-m4)/0.900)$	2.8148	2.2954	3.0664	2.7772
$I_{(Impulsão)} = m5 - m6$	22.8325	22.3774	22.7697	22.8486
$V_{2(amostra)} = I - V_1$	20.0177	20.0820	19.7033	20.0714
$g_d$ (peso volúmico seco) = $(m4)/v_2$	1.8049	1.8091	1.8009	1.8141
$V_3$ (volume da Capsula)	27.1397	27.2959	26.7525	27.3085
$\Delta V$	7.1220	7.2140	7.0493	7.2371
$Ws=((m2-m3)/(m3- m1))-(\Delta V/m3-m1)$	0.1780	0.1767	0.1766	0.1760

Tabela A. 11 - Tabela Limites de Consistência - Amostra L1 5% Cal

<b>Limite de liquidez</b>	1	2	3	4
nº da cápsula	1	2	3	4
N (nº de pancadas)	15	19	28	36
m1 (cápsula)	7.0822	8.6071	7.059	7.1537
m2 (cápsula + amostra húmida)	22.9265	23.6158	20.8507	21.7422
m3 (cápsula + amostra seca)	18.5489	19.5297	17.143	17.9124
$W=(m2-m3)/(m3- m1)*100$	38.1766	37.4096	36.7681	35.5972
<b>Limite de Plasticidade</b>	1	2	3	4
nº da cápsula	5	6	7	8
m1 (cápsula)	7.0651	6.8659	6.9668	7.1414
m2 (cápsula + amostra húmida)	9.2000	8.7062	9.6142	9.6334
m3 (cápsula + amostra seca)	8.7614	8.3757	9.0586	9.1093
$W=(m2-m3)/(m3- m1)$	25.8563	21.8903	26.5609	26.6325
<b>Limite de Retracção</b>	1	2	3	4
Nº capsula	1	2	3	4
m1 (peso da cápsula)	19.2073	18.8752	18.7299	18.4076
m2 (cápsula + amostra húmida)	69.4385	68.4773	69.3210	70.2652
m3 (cápsula + amostra seca)	55.8754	55.1322	55.7002	56.2971
m4 (amostra suspensa)	36.6681	36.2570	36.9703	37.8895
m5 (amostra suspensa com parafina)	39.0601	38.2758	38.8604	41.2930
m6 (amostra suspensa com parafina em água)	15.2195	15.1338	15.4546	15.7207
$V_{1(parafina)} = (m5-m4)/0.900)$	2.6578	2.2431	2.1001	3.7817
$I_{(Impulsão)} = m5 - m6$	23.8406	23.1420	23.4058	25.5723
$V_{2(amostra)} = I - V_1$	21.1828	20.8989	21.3057	21.7906
$g_d$ (peso volúmico seco) = $(m4)/v2$	1.7310	1.7349	1.7352	1.7388
$V_3$ (volume da Capsula)	27.1392	27.2020	27.3747	27.8748
$\Delta V$	5.9564	6.3031	6.0690	6.0842
$Ws=((m2-m3)/(m3- m1))-(\Delta V/m3-m1)$	0.2074	0.1942	0.2043	0.2081

## Anexo II

### Ensaio de Corte Directo

Tabela A. 12 - Ensaio de Corte Directo Amostra L1 Provete 1

Amostra L1 - Provete 1

Deflectómetro	Unidades	Factor de conversão	Valor mm
$v_i$	742	0.002	1.484
$h_i$	850	0.01	8.5
Anel	0	0.002	0

Carga	34.91	kg
Área provete	36	cm <sup>2</sup>
fnormal	0.9697	kg/cm <sup>2</sup>
	95.1298	kPa

Valores obtidos		
fpico	62.0878	kPa
fresidual	45.9838	kPa

Deflectómetro h (unidades)	Deslocamento h (mm)	Deflectómetro v		Deflectómetro anel			Deslocamento corrigido (mm)
		v (unidades)	v(mm)	a (unidades)	a (mm)	Tensão de corte (kPa)	
850	0	742	1.484	0	0	0	0
900	0.5	817	1.634	39	0.078	37.8348	0.422
950	1	870	1.740	58	0.116	56.2671	0.884
990	1.4	889	1.778	64	0.128	62.0878	1.272
1080	2.3	896	1.792	57	0.114	55.2970	2.186
1100	2.5	896	1.792	55	0.11	53.3567	2.39
1150	3	896	1.792	52	0.104	50.4463	2.896
1200	3.5	896	1.792	50	0.1	48.5061	3.4
1250	4	895	1.790	49	0.098	47.5360	3.902
1300	4.5	894	1.788	48	0.096	46.5659	4.404
1350	5	890	1.780	45	0.09	43.6555	4.91
1400	5.5	888	1.776	45	0.09	43.6555	5.41

Tabela A. 13 - Ensaio de Corte Directo Amostra L1 Provete 2

Amostra L1 - Provete 2

Deflectómetro	Unidades	Factor de conversão	Valor mm
$v_i$	2419	0.002	4.838
$h_i$	800	0.01	8
Anel	0	0.002	0

Carga	64.91	kg
Área provete	36	cm <sup>2</sup>
fnormal	1.8031	kg/cm <sup>2</sup>
	176.8798	kPa

Valores obtidos		
fpico	113.5043	kPa
fresidual	100.4769	kPa

Deflectómetro h (unidades)	Deslocamento h (mm)	Deflectómetro v		Deflectómetro anel		Tensão de corte (kPa)	Deslocamento corrigido (mm)
		v (unidades)	v(mm)	a (unidades)	a (mm)		
800	0	2419	4.838	0	0	0	0
850	0.5	2466	4.932	55	0.11	53.3567	0.390
900	1	2485	4.970	66	0.132	64.0281	0.868
950	1.5	2530	5.060	83	0.166	80.5201	1.334
972	1.72	2545	5.090	90	0.18	87.3110	1.540
1055	2.55	2603	5.206	114	0.228	110.5939	2.322
1100	3	2627	5.254	117	0.234	113.5043	2.766
1150	3.5	2644	5.288	109	0.218	105.7433	3.282
1200	4	2660	5.320	106	0.212	102.8329	3.788
1250	4.5	2673	5.346	104	0.208	100.8927	4.292
1300	5	2686	5.372	102	0.204	98.9524	4.796
1350	5.5	2695	5.390	102	0.204	98.9524	5.296
1400	6	2700	5.400	101	0.202	97.9823	5.798
1450	6.5	2710	5.420	101	0.202	97.9823	6.298

Tabela A. 14- Ensaio de Corte Directo Amostra L1 Provete 3

Amostra L1 - Provete 3

Deflectómetro	Unidades	Factor de conversão	Valor mm
$v_i$	981	0.002	1.962
$h_i$	850	0.01	8.5
Anel	0	0.002	0

Carga	94.91	kg
Área provete	36	cm <sup>2</sup>
fnormal	2.636388889	kg/cm <sup>2</sup>
	258.62975	kPa

Valores obtidos		
fpico	129.0262	kPa
fresidual	119.8333	kPa

Deflectómetro h (unidades)	Deslocamento h (mm)	Deflectómetro v		Deflectómetro anel		Tensão de corte (kPa)	Deslocamento corrigido (mm)
		v (unidades)	v(mm)	a (unidades)	a (mm)		
850	0	1871	3.742	0	0	0	0
900	0.5	1901	3.802	73	0.146	70.81891	0.354
950	1	1909	3.818	75	0.15	72.75915	0.85
1050	2	1929	3.858	123	0.246	119.325	1.754
1100	2.5	1941	3.882	130	0.26	126.1159	2.24
1150	3	1957	3.914	130	0.26	126.1159	2.74
1200	3.5	1973	3.946	133	0.266	129.0262	3.234
1250	4	1986	3.972	133	0.266	129.0262	3.734
1300	4.5	1994	3.988	122	0.244	118.3549	4.256
1350	5	2001	4.002	120	0.24	116.4146	4.76
1400	5.5	2007	4.014	118	0.236	114.4744	5.264
1450	6	2009	4.018	118	0.236	114.4744	5.764
1500	6.5	2014	4.028	119	0.238	115.4445	6.262
1550	7	2020	4.040	122	0.244	118.3549	6.756

Tabela A. 15- Ensaio de Corte Directo Amostra L1 Provete 4

Amostra L1 - Provete 4

Deflectómetro	Unidades	Factor de conversão	Valor mm
$v_i$	1755	0.002	3.51
$h_i$	750	0.01	7.5
Anel	0	0.002	0

Carga	104.91	kg
Área provete	36	cm <sup>2</sup>
fnormal	2.9142	kg/cm <sup>2</sup>
	285.8798	kPa

Valores obtidos		
fpico	189.1738	kPa
fresidual	170.984	kPa

Deflectómetro h (unidades)	Deslocamento h (mm)	Deflectómetro v		Deflectómetro anel		Tensão de corte (kPa)	Deslocamento corrigido (mm)
		v (unidades)	v(mm)	a (unidades)	a (mm)		
750	0	1535	3.070	0	0	0	0
800	0.5	1580	3.160	70	0.14	67.9085	0.36
850	1	1608	3.216	72	0.144	69.8488	0.856
900	1.5	1630	3.260	106	0.212	102.8329	1.288
940	1.9	1652	3.304	127	0.254	123.2055	1.646
1025	2.75	1729	3.458	173	0.346	167.8311	2.404
1050	3	1755	3.510	181	0.362	175.5921	2.638
1100	3.5	1786	3.572	195	0.39	189.1738	3.11
1150	4	1802	3.604	192	0.384	186.2634	3.616
1200	4.5	1810	3.620	178	0.356	172.6817	4.144
1250	5	1815	3.630	170	0.34	164.9207	4.66
1300	5.5	1816	3.632	165	0.33	160.0701	5.17
1350	6	1813	3.626	150	0.3	145.5183	5.7

Tabela A. 16- Ensaio de Corte Directo Amostra L1 Remoldada Provete 1

Amostra L1 Remoldada - Provete 1

Deflectómetro	Unidades	Factor de conversão	Valor mm
v <sub>i</sub>	2179	0.002	4.358
h <sub>i</sub>	800	0.01	8
Anel	0	0.002	0

Carga	34.91	kg
Área provete	36	cm <sup>2</sup>
f <sub>normal</sub>	0.9697	kg/cm <sup>2</sup>
	95.1298	kPa

Valores obtidos		
f <sub>pico</sub>	24.2531	kPa
f <sub>residual</sub>	22.8949	kPa

Deflectómetro h (unidades)	Deslocamento h (mm)	Deflectómetro v		Deflectómetro anel			Deslocamento corrigido (mm)
		v (unidades)	v(mm)	a (unidades)	a (mm)	Tensão de corte (kPa)	
800	0	2179	4.358	0	0	0.0000	0.000
850	0.5	2191	4.382	20	0.04	19.4024	0.460
900	1	2194	4.388	24	0.048	23.2829	0.952
950	1.5	2195	4.390	25	0.05	24.2531	1.450
1000	2	2196	4.392	26	0.052	25.2232	1.948
1050	2.5	2197	4.394	26	0.052	25.2232	2.448
1100	3	2199	4.398	25	0.05	24.2531	2.950
1130	3.3	2199	4.398	25	0.05	24.2531	3.250
1233	4.33	2200	4.400	24	0.048	23.2829	4.282
1250	4.5	2201	4.402	23	0.046	22.3128	4.454
1300	5	2201	4.402	23	0.046	22.3128	4.954
1350	5.5	2201	4.402	23	0.046	22.3128	5.454
1400	6	2201	4.402	23	0.046	22.3128	5.954
1450	6.5	2201	4.402	23	0.046	22.3128	6.454
1500	7	2201	4.402	22	0.044	21.3427	6.956

Tabela A. 17 - Ensaio de Corte Directo Amostra L1 Remoldada Provete 2

Amostra L1 Remoldada - Provete 2

Deflectómetro	Unidades	Factor de conversão	Valor mm
v <sub>i</sub>	655	0.002	1.31
h <sub>i</sub>	850	0.01	8.5
Anel	0	0.002	0

Carga	34.91	kg
Área provete	36	cm <sup>2</sup>
f <sub>normal</sub>	0.9697	kg/cm <sup>2</sup>
	95.1298	kPa

Valores obtidos		
f <sub>pico</sub>	59.1774	kPa
f <sub>residual</sub>	58.3690	kPa

Deflectómetro h (unidades)	Deslocamento h (mm)	Deflectómetro v		Deflectómetro anel			Deslocamento corrigido (mm)
		v (unidades)	v(mm)	a (unidades)	a (mm)	Tensão de corte (kPa)	
850	0	502	1.004	0	0	0.0000	0.000
900	0.5	832	1.664	24	0.048	23.2829	0.452
950	1	901	1.802	36	0.072	34.9244	0.928
1000	1.5	951	1.902	45	0.090	43.6555	1.410
1050	2	987	1.974	49	0.098	47.5360	1.902
1100	2.5	1018	2.036	54	0.108	52.3866	2.392
1150	3	1040	2.080	57	0.114	55.2970	2.886
1200	3.5	1051	2.102	58	0.116	56.2671	3.384
1300	4	1090	2.180	60	0.120	58.2073	3.880
1300	4.5	1099	2.198	61	0.122	59.1774	4.378
1350	5	1105	2.210	61	0.122	59.1774	4.878
1400	5.5	1110	2.220	60	0.120	58.2073	5.380
1450	6	1119	2.238	60	0.120	58.2073	5.880
1500	6.5	1127	2.254	59	0.118	57.2372	6.382

Tabela A. 18 - Ensaio de Corte Directo Amostra L1 Remoldada Provete 3

Amostra L1 Remoldada - Provete 3

Deflectómetro	Unidades	Factor de conversão	Valor mm
$v_i$	844	0.002	1.688
$h_i$	850	0.01	8.5
Anel	0	0.002	0

Carga	64.91	kg
Área provete	36	cm <sup>2</sup>
$f_{normal}$	1.8031	kg/cm <sup>2</sup>
	176.8798	kPa

Valores obtidos		
$f_{pico}$	103.8031	kPa
$f_{residual}$	102.0568	kPa

Deflectómetro h (unidades)	Deslocamento h (mm)	Deflectómetro v		Deflectómetro anel			Deslocamento corrigido (mm)
		v (unidades)	v(mm)	a (unidades)	a (mm)	Tensão de corte (kPa)	
850	0	844	1.688	0	0	0.0000	0.000
900	0.5	955	1.910	45	0.09	43.6555	0.410
950	1	1021	2.042	65	0.13	63.0579	0.870
1000	1.5	1068	2.136	79	0.158	76.6396	1.342
1025	1.75	1089	2.178	85	0.17	82.4604	1.580
1150	3	1164	2.328	102	0.204	98.9524	2.796
1200	3.5	1181	2.362	106	0.212	102.8329	3.288
1300	4	1195	2.390	107	0.214	103.8031	3.786
1350	5	1204	2.408	107	0.214	103.8031	4.786
1400	5.5	1207	2.414	107	0.214	103.8031	5.286
1450	6	1210	2.420	104	0.208	100.8927	5.792
1500	6.5	1212	2.424	101	0.202	97.9823	6.298
1550	7	1217	2.434	99	0.198	96.0421	6.802
1600	7.5	1221	2.442	95	0.19	92.1616	7.310

Tabela A. 19 - Ensaio de Corte Directo Amostra L1 Remoldada Provete 4

Amostra L1 Remoldada - Provete 4

Deflectómetro	Unidades	Factor de conversão	Valor mm
$v_i$	1350	0.002	2.7
$h_i$	850	0.01	8.5
Anel	0	0.002	0

Carga	94.91	kg
Área provete	36	cm <sup>2</sup>
$f_{normal}$	2.6364	kg/cm <sup>2</sup>
	258.6298	kPa

Valores obtidos		
$f_{pico}$	146.4884	kPa
$f_{residual}$	146.2944	kPa

Deflectómetro h (unidades)	Deslocamento h (mm)	Deflectómetro v		Deflectómetro anel			Deslocamento corrigido (mm)
		v (unidades)	v(mm)	a (unidades)	a (mm)	Tensão de corte (kPa)	
850	0	1350	2.700	0	0	0.0000	0.000
900	0.5	1425	2.850	59	0.118	57.2372	0.382
950	1	1482	2.964	91	0.182	88.2811	0.818
1000	1.5	1534	3.068	115	0.23	111.5640	1.270
1050	2	1569	3.138	128	0.256	124.1756	1.744
1100	2.5	1599	3.198	138	0.276	133.8768	2.224
1150	3	1621	3.242	145	0.29	140.6677	2.710
1200	4	1638	3.276	150	0.3	145.5183	3.700
1250	4	1641	3.282	151	0.302	146.4884	3.698
1300	4.5	1648	3.296	151	0.302	146.4884	4.198
1350	5	1656	3.312	151	0.302	146.4884	4.698
1400	5.5	1662	3.324	151	0.302	146.4884	5.198
1520	6.7	1683	3.366	144	0.288	139.6976	6.412
1550	7	1686	3.372	142	0.284	137.7573	6.716
1600	7.5	1692	3.384	138	0.276	133.8768	7.224

Tabela A. 20 - Ensaio de Corte Directo Amostra L1 Cimento 2% Provete 1

Amostra L1 cimento 2% - Provete 1

Deflectómetro	Unidades	Factor de conversão	Valor mm
v <sub>i</sub>	686	0.002	1.372
h <sub>i</sub>	850	0.01	8.5
Anel	0	0.002	0

Carga	34.91	kg
Área provete	36	cm <sup>2</sup>
f <sub>normal</sub>	0.9697	kg/cm <sup>2</sup>
	95.1298	kPa

Valores obtidos		
f <sub>pico</sub>	60.1476	kPa
f <sub>residual</sub>	59.4200	kPa

Deflectómetro h (unidades)	Deslocamento h (mm)	Deflectómetro v		Deflectómetro anel			Deslocamento corrigido (mm)
		v (unidades)	v(mm)	a (unidades)	a (mm)	Tensão de corte (kPa)	
850	0	686	1.372	0	0	0.0000	0.000
900	0.5	759	1.518	30	0.06	29.1037	0.440
950	1	841	1.682	41	0.082	39.7750	0.918
1000	1.5	894	1.788	47	0.094	45.5957	1.406
1050	2	936	1.872	52	0.104	50.4463	1.896
1100	2.5	969	1.938	57	0.114	55.2970	2.386
1150	3	994	1.988	60	0.12	58.2073	2.880
1200	3.5	1009	2.018	62	0.124	60.1476	3.376
1250	4	1025	2.050	62	0.124	60.1476	3.876
1300	4.5	1031	2.062	62	0.124	60.1476	4.376
1350	5	1035	2.070	62	0.124	60.1476	4.876
1400	5.5	1036	2.072	62	0.124	60.1476	5.376
1450	6	1040	2.080	61	0.122	59.1774	5.878
1500	6.5	1045	2.090	60	0.12	58.2073	6.380
1550	7	1052	2.104	59	0.118	57.2372	6.882

Tabela A. 21 - Ensaio de Corte Directo Amostra L1 Cimento 2% Provete 2

Amostra L1 cimento 2% - Provete 2

Deflectómetro	Unidades	Factor de conversão	Valor mm
$v_i$	998	0.002	1.996
$h_i$	850	0.01	8.5
Anel	0	0.002	0

Carga	64.91	kg
Área provete	36	cm <sup>2</sup>
$f_{normal}$	1.8031	kg/cm <sup>2</sup>
	176.8798	kPa

Valores obtidos		
$f_{pico}$	125.1457	kPa
$f_{residual}$	105.0966	kPa

Deflectómetro h (unidades)	Deslocamento h (mm)	Deflectómetro v		Deflectómetro anel			Deslocamento corrigido (mm)
		v (unidades)	v(mm)	a (unidades)	a (mm)	Tensão de corte (kPa)	
850	0	998	1.996	0	0	0.0000	0.000
900	0.5	1063	2.126	68	0.136	65.9683	0.364
950	1	1135	2.270	108	0.216	104.7732	0.784
1000	1.5	1160	2.320	125	0.25	121.2653	1.250
1050	2	1170	2.340	129	0.258	125.1457	1.742
1100	2.5	1170	2.340	123	0.246	119.3250	2.254
1150	3	1173	2.346	115	0.23	111.5640	2.770
1200	3.5	1175	2.350	110	0.22	106.7134	3.280
1250	4	1175	2.350	108	0.216	104.7732	3.784
1300	4.5	1176	2.352	105	0.21	101.8628	4.290
1350	5	1177	2.354	104	0.208	100.8927	4.792
1400	5.5	1177	2.354	104	0.208	100.8927	5.292
1450	6	1177	2.354	103	0.206	99.9226	5.794
1500	6.5	1177	2.354	103	0.206	99.9226	6.294

Tabela A. 22 - Ensaio de Corte Directo Amostra L1 Cimento 2% Provete 3

Amostra L1 cimento 2% - Provete 3

Deflectómetro	Unidades	Factor de conversão	Valor mm
$v_i$	2437	0.002	4.874
$h_i$	800	0.01	8
Anel	0	0.002	0

Carga	94.91	kg
Área provete	36	cm <sup>2</sup>
$f_{normal}$	2.6364	kg/cm <sup>2</sup>
	258.6298	kPa

Valores obtidos		
$f_{pico}$	158.1299	kPa
$f_{residual}$	139.3095	kPa

Deflectómetro h (unidades)	Deslocamento h (mm)	Deflectómetro v		Deflectómetro anel			Deslocamento corrigido (mm)
		v (unidades)	v(mm)	a (unidades)	a (mm)	Tensão de corte (kPa)	
800	0	2437	4.874	0	0	0.0000	0.000
850	0.5	2524	5.048	84	0.168	81.4902	0.332
900	1	2580	5.160	129	0.258	125.1457	0.742
950	1.5	2622	5.244	155	0.31	150.3689	1.190
1000	2	2656	5.312	163	0.326	158.1299	1.674
1050	2.5	2671	5.342	158	0.316	153.2793	2.184
1080	2.8	2687	5.374	152	0.304	147.4585	2.496
1200	4	2711	5.422	149	0.298	144.5482	3.702
1250	4.5	2712	5.424	148	0.296	143.5781	4.204
1300	5	2713	5.426	146	0.292	141.6378	4.708
1350	5.5	2714	5.428	144	0.288	139.6976	5.212
1400	6	2712	5.424	144	0.288	139.6976	5.712
1450	6.5	2711	5.422	144	0.288	139.6976	6.212
1500	7	2710	5.420	140	0.28	135.8171	6.720

Tabela A. 23 - Ensaio de Corte Directo Amostra L1 Cimento 5% Provete 1

Amostra L1 cimento 5% - Provete 1

Deflectómetro	Unidades	Factor de conversão	Valor mm
v <sub>i</sub>	2186	0.002	4.372
h <sub>i</sub>	800	0.01	8
Anel	0	0.002	0

Carga	34.91	kg
Área provete	36	cm <sup>2</sup>
f <sub>normal</sub>	0.9697	kg/cm <sup>2</sup>
	95.1298	kPa

Valores obtidos		
f <sub>pico</sub>	87.31098	kPa
f <sub>residual</sub>	40.98765	kPa

Deflectómetro h (unidades)	Deslocamento h (mm)	Deflectómetro v		Deflectómetro anel			Deslocamento corrigido (mm)
		v (unidades)	v(mm)	a (unidades)	a (mm)	Tensão de corte (kPa)	
800	0	2186	4.372	0	0	0.0000	0.000
850	0.5	2215	4.430	90	0.18	87.3110	0.320
900	1	2165	4.330	71	0.142	68.8787	0.858
950	1.5	2095	4.190	55	0.11	53.3567	1.390
1000	2	2076	4.152	40	0.08	38.8049	1.920
1050	2.5	2076	4.152	35	0.07	33.9543	2.430
1100	3	2059	4.118	43	0.086	41.7152	2.914
1150	3.5	2027	4.054	44	0.088	42.6854	3.412
1200	4	2008	4.016	44	0.088	42.6854	3.912
1450	6.5	1840	3.680	42	0.084	40.7451	6.416
1500	7	1816	3.632	45	0.09	43.6555	6.910
1550	7.5	1795	3.590	45	0.09	43.6555	7.410

Tabela A. 24 - Ensaio de Corte Directo Amostra L1 Cimento 5% Provete 2

Amostra L1 cimento 5% - Provete 2

Deflectómetro	Unidades	Factor de conversão	Valor mm
$v_i$	260	0.002	0.52
$h_i$	800	0.01	8
Anel	0	0.002	0

Carga	64.91	kg
Área provete	36	cm <sup>2</sup>
fnormal	1.8031	kg/cm <sup>2</sup>
	176.8798	kPa

Valores obtidos		
fpico	267.7537	kPa
fresidual	231.3741	kPa

Deflectómetro h (unidades)	Deslocamento h (mm)	Deflectómetro v		Deflectómetro anel			Deslocamento corrigido (mm)
		v (unidades)	v(mm)	a (unidades)	a (mm)	Tensão de corte (kPa)	
800	0	260	0.520	0	0	0.0000	0.000
850	0.5	270	0.540	30	0.06	29.1037	0.440
900	1	283	0.566	100	0.2	97.0122	0.800
950	1.5	300	0.600	186	0.372	180.4427	1.128
1000	2	301	0.602	250	0.5	242.5305	1.500
1050	2.5	260	0.520	230	0.46	223.1281	2.040
1100	3	247	0.494	221	0.442	214.3970	2.558
1150	3.5	251	0.502	261	0.522	253.2018	2.978
1180	3.8	256	0.512	275	0.55	266.7836	3.250
1250	4.5	242	0.484	276	0.552	267.7537	3.948
1300	5	195	0.390	245	0.49	237.6799	4.510
1350	5.5	156	0.312	237	0.474	229.9189	5.026
1400	6	108	0.216	236	0.472	228.9488	5.528
1450	6.5	57	0.114	236	0.472	228.9488	6.028

Tabela A. 25 - Ensaio de Corte Directo Amostra L1 Cimento 5% Provete 3

Amostra L1 cimento 5% - Provete 3

Deflectómetro	Unidades	Factor de conversão	Valor mm
$v_i$	2432	0.002	4.864
$h_i$	900	0.01	9
Anel	0	0.002	0

Carga	94.91	kg
Área provete	36	cm <sup>2</sup>
$f_{normal}$	2.6364	kg/cm <sup>2</sup>
	258.6298	kPa

Valores obtidos		
$f_{pico}$	341.4829	kPa
$f_{residual}$	277.6489	kPa

Deflectómetro h (unidades)	Deslocamento h (mm)	Deflectómetro v		Deflectómetro anel			Deslocamento corrigido (mm)
		v (unidades)	v(mm)	a (unidades)	a (mm)	Tensão de corte (kPa)	
900	0	2432	4.864	0	0	0.0000	0.000
950	0.5	2451	4.902	121	0.242	117.3848	0.258
1000	1	2469	4.938	218	0.436	211.4866	0.564
1050	1.5	2478	4.956	312	0.624	302.6781	0.876
1100	2	2451	4.902	291	0.582	282.3055	1.418
1150	2.5	2430	4.860	291	0.582	282.3055	1.918
1200	3	2429	4.858	306	0.612	296.8573	2.388
1250	3.5	2429	4.858	323	0.646	313.3494	2.854
1300	4	2429	4.858	341	0.682	330.8116	3.318
1350	4.5	2429	4.858	352	0.704	341.4829	3.796
1415	5.15	2440	4.880	291	0.582	282.3055	4.568
1450	5.5	2451	4.902	290	0.58	281.3354	4.920
1500	6	2486	4.972	294	0.588	285.2159	5.412
1550	6.5	2509	5.018	282	0.564	273.5744	5.936
1600	7	2515	5.030	274	0.548	265.8134	6.452

Tabela A. 26 - Ensaio de Corte Directo Amostra L1 Cal 2% Provete 1

Amostra L1 cal 2% - Provete 1

Deflectómetro	Unidades	Factor de conversão	Valor mm
$v_i$	326	0.002	0.652
$h_i$	850	0.01	8.5
Anel	0	0.002	0

Carga	34.91	kg
Área provete	36	cm <sup>2</sup>
fnormal	0.9697	kg/cm <sup>2</sup>
	95.1298	kPa

Valores obtidos		
f <sub>pico</sub>	88.2811	kPa
f <sub>residual</sub>	59.17744	kPa

Deflectómetro h (unidades)	Deslocamento h (mm)	Deflectómetro v		Deflectómetro anel			Deslocamento corrigido (mm)
		v (unidades)	v(mm)	a (unidades)	a (mm)	Tensão de corte (kPa)	
850	0	326	0.652	0	0	0.0000	0.000
900	0.5	336	0.672	70	0.14	67.9085	0.360
950	1	375	0.750	91	0.182	88.2811	0.818
1000	1.5	391	0.782	89	0.178	86.3409	1.322
1050	2	391	0.782	73	0.146	70.8189	1.854
1100	2.5	390	0.780	67	0.134	64.9982	2.366
1150	3	389	0.778	66	0.132	64.0281	2.868
1200	3.5	389	0.778	64	0.128	62.0878	3.372
1360	5.1	391	0.782	61	0.122	59.1774	4.978
1400	5.5	390	0.780	60	0.12	58.2073	5.380
1450	6	393	0.786	60	0.12	58.2073	5.880
1500	6.5	387	0.774	60	0.12	58.2073	6.380

Tabela A. 27 - Ensaio de Corte Directo Amostra L1 Cal 2% Provete 2

Amostra L1 cal 2% - Provete 2

Deflectómetro	Unidades	Factor de conversão	Valor mm
$v_i$	870	0.002	1.74
$h_i$	850	0.01	8.5
Anel	0	0.002	0

Carga	64.91	kg
Área provete	36	cm <sup>2</sup>
fnormal	1.8031	kg/cm <sup>2</sup>
	176.8798	kPa

Valores obtidos		
fpico	153.2793	kPa
fresidual	106.0667	kPa

Deflectómetro h (unidades)	Deslocamento h (mm)	Deflectómetro v		Deflectómetro anel		Tensão de corte (kPa)	Deslocamento corrigido (mm)
		v (unidades)	v(mm)	a (unidades)	a (mm)		
850	0	870	1.740	0	0	0.0000	0.000
900	0.5	886	1.772	58	0.116	56.2671	0.384
950	1	935	1.870	94	0.188	91.1915	0.812
1000	1.5	961	1.922	126	0.252	122.2354	1.248
1050	2	980	1.960	147	0.294	142.6079	1.706
1100	2.5	994	1.988	158	0.316	153.2793	2.184
1150	3	995	1.990	145	0.29	140.6677	2.710
1325	4.75	1000	2.000	112	0.224	108.6537	4.526
1350	5	1000	2.000	110	0.22	106.7134	4.780
1400	5.5	1000	2.000	106	0.212	102.8329	5.288
1450	6	1000	2.000	104	0.208	100.8927	5.792
1500	6.5	1001	2.002	102	0.204	98.9524	6.296
1550	7	1003	2.006	100	0.2	97.0122	6.800
1600	7.5	1005	2.010	98	0.196	95.0720	7.304

Tabela A. 28 - Ensaio de Corte Directo Amostra L1 Cal 2% Provete 3

Amostra L1 cal 2% - Provete 3

Deflectómetro	Unidades	Factor de conversão	Valor mm
$v_i$	1403	0.002	2.806
$h_i$	800	0.01	8
Anel	0	0.002	0

Carga	94.91	kg
Área provete	36	cm <sup>2</sup>
fnormal	2.6364	kg/cm <sup>2</sup>
	258.6298	kPa

Valores obtidos		
fpico	162.0104	kPa
fresidual	155.5429	kPa

Deflectómetro h (unidades)	Deslocamento h (mm)	Deflectómetro v		Deflectómetro anel		Tensão de corte (kPa)	Deslocamento corrigido (mm)
		v (unidades)	v(mm)	a (unidades)	a (mm)		
800	0	1403	2.806	0	0	0.0000	0.000
850	0.5	1440	2.880	54	0.108	52.3866	0.392
900	1	1483	2.966	88	0.176	85.3707	0.824
950	1.5	1531	3.062	108	0.216	104.7732	1.284
1000	2	1569	3.138	123	0.246	119.3250	1.754
1050	2.5	1606	3.212	139	0.278	134.8470	2.222
1100	3	1642	3.284	152	0.304	147.4585	2.696
1150	3.5	1662	3.324	167	0.334	162.0104	3.166
1200	4	1678	3.356	162	0.324	157.1598	3.676
1250	4.5	1690	3.380	161	0.322	156.1896	4.178
1300	5	1697	3.394	162	0.324	157.1598	4.676
1350	5.5	1708	3.416	162	0.324	157.1598	5.176
1400	6	1715	3.430	160	0.32	155.2195	5.680
1450	6.5	1722	3.444	155	0.31	150.3689	6.190

Tabela A. 29 - Ensaio de Corte Directo Amostra L1 Cal 5% Provete 1

Amostra L1 cal 5% - Provete 1

Deflectómetro	Unidades	Factor de conversão	Valor mm
$v_i$	2000	0.002	4
$h_i$	850	0.01	8.5
Anel	0	0.002	0

Carga	34.91	kg
Área provete	36	cm <sup>2</sup>
fnormal	0.9697	kg/cm <sup>2</sup>
	95.1298	kPa

Valores obtidos		
fpico	101.8628	kPa
fresidual	65.77427	kPa

Deflectómetro h (unidades)	Deslocamento h (mm)	Deflectómetro v		Deflectómetro anel			Deslocamento corrigido (mm)
		v (unidades)	v(mm)	a (unidades)	a (mm)	Tensão de corte (kPa)	
850	0	2000	4.000	0	0	0.0000	0.000
900	0.5	2015	4.030	105	0.21	101.8628	0.290
950	1	1997	3.994	98	0.196	95.0720	0.804
1000	1.5	1965	3.930	91	0.182	88.2811	1.318
1050	2	1929	3.858	84	0.168	81.4902	1.832
1100	2.5	1891	3.782	81	0.162	78.5799	2.338
1150	3	1860	3.720	78	0.156	75.6695	2.844
1200	3.5	1835	3.670	77	0.154	74.6994	3.346
1250	4	1815	3.630	72	0.144	69.8488	3.856
1370	5.2	1781	3.562	70	0.14	67.9085	5.060
1400	5.5	1772	3.544	69	0.138	66.9384	5.362
1450	6	1756	3.512	68	0.136	65.9683	5.864
1500	6.5	1736	3.472	66	0.132	64.0281	6.368
1550	7	1719	3.438	66	0.132	64.0281	6.868

Tabela A. 30 - - Ensaio de Corte Directo Amostra L1 Cal 5% Provete 2

Amostra L1 cal 5% - Provete 2

Deflectómetro	Unidades	Factor de conversão	Valor mm
$v_i$	325	0.002	0.65
$h_i$	850	0.01	8.5
Anel	0	0.002	0

Carga	64.91	kg
Área provete	36	cm <sup>2</sup>
fnormal	1.8031	kg/cm <sup>2</sup>
	176.8798	kPa

Valores obtidos		
fpico	207.6061	kPa
fresidual	128.7837	kPa

Deflectómetro h (unidades)	Deslocamento h (mm)	Deflectómetro v		Deflectómetro anel			Deslocamento corrigido (mm)
		v (unidades)	v(mm)	a (unidades)	a (mm)	Tensão de corte (kPa)	
850	0	325	0.650	0	0	0.0000	0.000
900	0.5	361	0.722	64	0.128	62.0878	0.372
950	1	380	0.760	139	0.278	134.8470	0.722
1000	1.5	407	0.814	192	0.384	186.2634	1.116
1050	2	462	0.924	165	0.33	160.0701	1.670
1100	2.5	515	1.030	180	0.36	174.6220	2.140
1150	3	545	1.090	202	0.404	195.9646	2.596
1200	3.5	575	1.150	212	0.424	205.6659	3.076
1250	4	581	1.162	214	0.428	207.6061	3.572
1300	4.5	570	1.140	188	0.376	182.3829	4.124
1410	5.6	638	1.276	139	0.278	134.8470	5.322
1450	6	530	1.060	135	0.27	130.9665	5.730
1500	6.5	520	1.040	130	0.26	126.1159	6.240
1550	7	517	1.034	127	0.254	123.2055	6.746

Tabela A. 31 - Ensaio de Corte Directo Amostra L1 Cal 5% Provete 3

Amostra L1 cal 5% - Provete 3

Deflectómetro	Unidades	Factor de conversão	Valor mm
$v_i$	416	0.002	0.832
$h_i$	900	0.01	9
Anel	0	0.002	0

Carga	94.91	kg
Área provete	36	cm <sup>2</sup>
fnormal	2.6364	kg/cm <sup>2</sup>
	258.6298	kPa

Valores obtidos		
fpico	214.397	kPa
fresidual	180.6044	kPa

Deflectómetro h (unidades)	Deslocamento h (mm)	Deflectómetro v		Deflectómetro anel		Tensão de corte (kPa)	Deslocamento corrigido (mm)
		v (unidades)	v(mm)	a (unidades)	a (mm)		
900	0	416	0.832	0	0	0.0000	0.000
950	0.5	517	1.034	75	0.15	72.7592	0.350
1000	1	541	1.082	145	0.29	140.6677	0.710
1050	1.5	591	1.182	170	0.34	164.9207	1.160
1100	2	629	1.258	186	0.372	180.4427	1.628
1155	2.55	670	1.340	209	0.418	202.7555	2.132
1200	3	691	1.382	219	0.438	212.4567	2.562
1250	3.5	708	1.416	221	0.442	214.3970	3.058
1300	4	718	1.436	209	0.418	202.7555	3.582
1350	4.5	729	1.458	196	0.392	190.1439	4.108
1400	5	738	1.476	191	0.382	185.2933	4.618
1450	5.5	747	1.494	188	0.376	182.3829	5.124
1500	6	755	1.510	185	0.37	179.4726	5.630
1550	6.5	768	1.536	181	0.362	175.5921	6.138
1600	7	777	1.554	176	0.352	170.7415	6.648
1650	7.5	786	1.572	173	0.346	167.8311	7.154

Tabela A. 32 - Ensaio de Corte Directo Amostra L1 Cimento 2% Provete 4

Amostra L1 cimento 2% - Provete 4

Deflectómetro	Unidades	Factor de conversão	Valor mm
$v_i$	1267	0.002	2.534
$h_i$	900	0.01	9
Anel	0	0.002	0

Carga	34.91	kg
Área provete	36	cm <sup>2</sup>
$f_{normal}$	0.9697	kg/cm <sup>2</sup>
	95.1298	kPa

Valores obtidos		
$f_{pico}$	55.29695	kPa
$f_{residual}$	52.14406	kPa

Deflectómetro h (unidades)	Deslocamento h (mm)	Deflectómetro v		Deflectómetro anel			Deslocamento corrigido (mm)
		v (unidades)	v(mm)	a (unidades)	a (mm)	Tensão de corte (kPa)	
900	0	1267	2.534	0	0	0.0000	0.000
950	0.5	1233	2.466	40	0.08	38.8049	0.420
1000	1	1257	2.514	50	0.1	48.5061	0.900
1050	1.5	1268	2.536	55	0.11	53.3567	1.390
1100	2	1272	2.544	55	0.11	53.3567	1.890
1150	2.5	1283	2.566	57	0.114	55.2970	2.386
1200	3	1288	2.576	56	0.112	54.3268	2.888
1250	3.5	1292	2.584	55	0.11	53.3567	3.390
1300	4	1295	2.590	54	0.108	52.3866	3.892
1350	4.5	1298	2.596	53	0.106	51.4165	4.394
1400	5	1298	2.596	53	0.106	51.4165	4.894

Tabela A. 33 - Ensaio de Corte Directo Amostra L1 Cimento 2% Provete 5

Amostra L1 cimento 2% - Provete 5

Deflectómetro	Unidades	Factor de conversão	Valor mm
v <sub>i</sub>	1562	0.002	3.124
h <sub>i</sub>	1100	0.01	11
Anel	0	0.002	0

Carga	64.91	kg
Área provete	36	cm <sup>2</sup>
f <sub>normal</sub>	1.8031	kg/cm <sup>2</sup>
	176.8798	kPa

Valores obtidos		
f <sub>pico</sub>	N.A	kPa
f <sub>residual</sub>	95.7187	kPa

Deflectómetro h (unidades)	Deslocamento h (mm)	Deflectómetro v		Deflectómetro anel			Deslocamento corrigido (mm)
		v (unidades)	v(mm)	a (unidades)	a (mm)	Tensão de corte (kPa)	
1100	0	1562	3.124	0	0	0.0000	0.000
1150	0.5	1646	3.292	38	0.076	36.8646	0.424
1250	1.5	1714	3.428	96	0.192	93.1317	1.308
1300	2	1716	3.432	99	0.198	96.0421	1.802
1350	2.5	1719	3.438	100	0.2	97.0122	2.300
1400	3	1718	3.436	100	0.2	97.0122	2.800
1450	3.5	1718	3.436	99	0.198	96.0421	3.302
1500	4	1717	3.434	98	0.196	95.0720	3.804

Tabela A. 34 - Ensaio de Corte Directo Amostra L1 Cimento 5% Provete 4

Amostra L1 cimento 5% - Provete 4

Deflectómetro	Unidades	Factor de conversão	Valor mm
v <sub>i</sub>	701	0.002	1.402
h <sub>i</sub>	850	0.01	8.5
Anel	0	0.002	0

Carga	34.91	kg
Área provete	36	cm <sup>2</sup>
f <sub>normal</sub>	0.9697	kg/cm <sup>2</sup>
	95.1298	kPa

Valores obtidos		
f <sub>pico</sub>	86.34086	kPa
f <sub>residual</sub>	73.4059	kPa

Deflectómetro h (unidades)	Deslocamento h (mm)	Deflectómetro v		Deflectómetro anel			Deslocamento corrigido (mm)
		v (unidades)	v(mm)	a (unidades)	a (mm)	Tensão de corte (kPa)	
850	0	701	1.402	0	0	0.0000	0.000
900	0.5	726	1.452	18	0.036	17.4622	0.464
950	1	805	1.610	41	0.082	39.7750	0.918
1000	1.5	861	1.722	60	0.12	58.2073	1.380
1050	2	950	1.900	75	0.15	72.7592	1.850
1100	2.5	973	1.946	85	0.17	82.4604	2.330
1150	3	980	1.960	89	0.178	86.3409	2.822
1200	3.5	973	1.946	84	0.168	81.4902	3.332
1250	4	972	1.944	80	0.16	77.6098	3.840
1300	4.5	970	1.940	77	0.154	74.6994	4.346
1350	5	967	1.934	75	0.15	72.7592	4.850
1400	5.5	967	1.934	75	0.15	72.7592	5.350

Tabela A. 35 - Ensaio de Corte Directo Amostra L1 Cimento 5% Provete 5

Amostra L1 cimento 5% - Provete 5

Deflectómetro	Unidades	Factor de conversão	Valor mm
$v_i$	1360	0.002	2.72
$h_i$	900	0.01	9
Anel	0	0.002	0

Carga	64.91	kg
Área provete	36	cm <sup>2</sup>
$f_{normal}$	1.8031	kg/cm <sup>2</sup>
	176.8798	kPa

Valores obtidos		
$f_{pico}$	N.A	kPa
$f_{residual}$	116.8027	kPa

Deflectómetro h (unidades)	Deslocamento h (mm)	Deflectómetro v		Deflectómetro anel			Deslocamento corrigido (mm)
		v (unidades)	v(mm)	a (unidades)	a (mm)	Tensão de corte (kPa)	
900	0	1360	2.720	0	0	0.0000	0.000
950	0.5	1392	2.784	33	0.066	32.0140	0.434
1150	2.5	1342	2.684	99	0.198	96.0421	2.302
1200	3	1348	2.696	109	0.218	105.7433	2.782
1250	3.5	1351	2.702	116	0.232	112.5342	3.268
1300	4	1352	2.704	118	0.236	114.4744	3.764
1350	4.5	1352	2.704	120	0.24	116.4146	4.260
1400	5	1355	2.710	120	0.24	116.4146	4.760
1450	5.5	1354	2.708	121	0.242	117.3848	5.258
1500	6	1353	2.706	121	0.242	117.3848	5.758
1550	6.5	1352	2.704	120	0.24	116.4146	6.260

## Anexo III

### Ensaio de expansibilidade em edômetro

Tabela A. 36 - Ensaio de Expansibilidade em edômetro

Tempo min	Tempo h	Deflectómetro anel	kPa	kPa	Deflectómetro v	Expansibilidade (mm)	Expansibilidade (%)
2	0.033	1480	50	0	2154	0.008	0.04
4	0.067	1480	50	0	2150	0.016	0.08
8	0.133	1477	60.5202	-10.5202	2148	0.020	0.1
15	0.25	1476	64.0269	-14.0269	2146	0.024	0.12
30	0.5	1476	64.0269	-14.0269	2146	0.024	0.12
60	1	1476	64.0269	-14.0269	2145	0.026	0.13
120	2	1476	64.0269	-14.0269	2145	0.026	0.13
240	4	1476	64.0269	-14.0269	2145	0.026	0.13
360	6	1476	64.0269	-14.0269	2145	0.026	0.13
1500	25	1477	60.5202	-10.5202	2143	0.030	0.15
7200	120	1477	60.5202	-10.5202	2142	0.032	0.16
8640	144	1477	60.5202	-10.5202	2140	0.036	0.18
11520	192	1477	60.5202	-10.5202	2140	0.036	0.18
17280	288	1477	60.5202	-10.5202	2139	0.038	0.19
21600	360	1478	57.0135	-7.0135	2139	0.038	0.19
27360	456	1478	57.0135	-7.0135	2136	0.044	0.22
31680	528	1478	57.0135	-7.0135	2136	0.044	0.22
37440	624	1478	57.0135	-7.0135	2134	0.048	0.24
41760	696	1478	57.0135	-7.0135	2139	0.038	0.19
47520	792	1478	57.0135	-7.0135	2135	0.046	0.23

## Anexo IV

### Ensaio de expansibilidade LNEC

Tabela A. 37 - Ensaio de Expansibilidade LNEC Amostra L1

Ensaio de expansibilidade LNEC Amostra L1

$h_0$	15	mm
$l_0$	100	unidades
$l_1$		unidades

Tempo (min)	I (unidades)	l(mm)	dl (%)	Tempo (min)	I (unidades)	l(mm)	dl (%)
0.5	115	0.15	1.0	4380	420	3.2	21.3
1	126	0.26	1.7	8280	422	3.22	21.5
2	142	0.42	2.8	8340	422	3.22	21.5
4	165	0.65	4.3	8400	422	3.22	21.5
8	196	0.96	6.4	8520	422	3.22	21.5
15	302	2.02	13.5	8580	422	3.22	21.5
30	357	2.57	17.1	8640	422	3.22	21.5
45	371	2.71	18.1	9780	422	3.22	21.5
60	377	2.77	18.5	9840	422	3.22	21.5
120	385	2.85	19.0	10020	422	3.22	21.5
1200	401	3.01	20.1	10080	422	3.22	21.5
1380	402	3.02	20.1	10140	422	3.22	21.5
1440	403	3.03	20.2	11220	423	3.23	21.5
1500	406	3.06	20.4	11280	423	3.23	21.5
2460	414	3.14	20.9	11460	423	3.23	21.5
2520	414	3.14	20.9	11520	423	3.23	21.5
2580	414	3.14	20.9	11580	423	3.23	21.5
2640	415	3.15	21.0	13980	424	3.24	21.6
2700	416	3.16	21.1	14040	424	3.24	21.6
2760	416	3.16	21.1	14100	424	3.24	21.6
2820	417	3.17	21.1	14160	424	3.24	21.6
2880	417	3.17	21.1	24120	424	3.24	21.6
3000	418	3.18	21.2	24180	424	3.24	21.6
3900	419	3.19	21.3	24240	424	3.24	21.6
3960	419	3.19	21.3	30060	424	3.24	21.6
4020	419	3.19	21.3	30240	424	3.24	21.6
4080	419	3.19	21.3	39840	425	3.25	21.7
4260	419	3.19	21.3	41580	425	3.25	21.7
4320	420	3.2	21.3				

Tabela A. 38 - Ensaio de Expansibilidade LNEC Amostra L1 ensaio 2

Ensaio de expansibilidade LNEC Amostra L1  
ensaio 2

<b>h<sub>0</sub></b>	15	mm
<b>l<sub>0</sub></b>	100	unidades
<b>l<sub>1</sub></b>		unidades

Tempo (min)	l (unidades)	l(mm)	dl (%)
0.5	111	0.11	0.73
1	121	0.21	1.40
2	136	0.36	2.40
4	157	0.57	3.80
8	184	0.84	5.60
15	235	1.35	9.00
30	299	1.99	13.27
45	330	2.3	15.33
60	348	2.48	16.53
120	378	2.78	18.53

Tabela A. 39 - Ensaio de Expansibilidade LNEC Amostra L1 ensaio 3

Ensaio de expansibilidade LNEC Amostra L1  
ensaio 3

<b>h<sub>0</sub></b>	15	mm
<b>l<sub>0</sub></b>	100	unidades
<b>l<sub>1</sub></b>		unidades

Tempo (min)	l (unidades)	l(mm)	dl (%)
0.5	110	0.1	0.67
1	115	0.15	1.00
2	123	0.23	1.53
4	135	0.35	2.33
8	156	0.56	3.73
15	178	0.78	5.20
30	257	1.57	10.47
45	295	1.95	13.00
60	329	2.29	15.27
120	374	2.74	18.27
180	385	2.85	19.00
240	394	2.94	19.60
300	398	2.98	19.87
360	400	3	20.00
420	401	3.01	20.07

Tabela A. 40 - Ensaio de Expansibilidade LNEC Amostra L2

Ensaio de expansibilidade LNEC Amostra L2

<b>h<sub>0</sub></b>	15	mm
<b>l<sub>0</sub></b>	100	unidades
<b>l<sub>1</sub></b>		unidades

Tempo (min)	l (unidades)	l (mm)	dl (%)
0.5	102	0.02	0.13
1	105	0.05	0.33
2	107	0.07	0.47
4	111	0.11	0.73
6.5	125	0.25	1.67

Tabela A. 41 - Ensaio de Expansibilidade LNEC Amostra L3

Ensaio de expansibilidade LNEC Amostra L3

<b>h<sub>0</sub></b>	15	mm
<b>l<sub>0</sub></b>	100	unidades
<b>l<sub>1</sub></b>		unidades

Tempo (min)	l (unidades)	l (mm)	dl (%)
0.5	102	0.02	0.13
1	105	0.05	0.33
2	111	0.11	0.73
4	117	0.17	1.13
8	127	0.27	1.80
15	137	0.37	2.47
30	147	0.47	3.13
35	147	0.47	3.13

Tabela A. 42 - Ensaio de Expansibilidade LNEC Amostra L4

Ensaio de expansibilidade LNEC Amostra L4

<b>h<sub>0</sub></b>	15	mm
<b>l<sub>0</sub></b>	100	unidades
<b>l<sub>1</sub></b>		unidades

Tempo (min)	l (unidades)	l (mm)	dl (%)
0.5	104	0.04	0.27
1	108	0.08	0.53
2	115	0.15	1.00
4	122	0.22	1.47
8	132	0.32	2.13
15	143	0.43	2.87
30	155	0.55	3.67
45	157	0.57	3.80
50	159	0.59	3.93

Tabela A. 43 - Ensaio de Expansibilidade LNEC Amostra L5

Ensaio de expansibilidade LNEC Amostra L5

<b>h<sub>0</sub></b>	15	mm
<b>l<sub>0</sub></b>	100	unidades
<b>l<sub>1</sub></b>		unidades

Tempo (min)	l (unidades)	l (mm)	dl (%)
0.5	110	0.1	0.67
1	115	0.15	1.00
2	123	0.23	1.53
4	133	0.33	2.20
8	145	0.45	3.00
15	152	0.52	3.47
30	196	0.96	6.40
45	229	1.29	8.60
60	247	1.47	9.80
120	285	1.85	12.33

Tabela A. 44 - Ensaio de Expansibilidade LNEC Amostra L6

Ensaio de expansibilidade LNEC Amostra L6

<b>h<sub>0</sub></b>	15	mm
<b>l<sub>0</sub></b>	100	unidades
<b>l<sub>1</sub></b>		unidades

Tempo (min)	l (unidades)	l (mm)	dl (%)
0.5	105	0.05	0.33
1	111	0.11	0.73
2	118	0.18	1.20
4	126	0.26	1.73
8	137	0.37	2.47
15	148	0.48	3.20
30	158	0.58	3.87
45	158	0.58	3.87
60	158	0.58	3.87

Tabela A. 45 - Ensaio de Expansibilidade LNEC Amostra L7

Ensaio de expansibilidade LNEC Amostra L7

<b>h<sub>0</sub></b>	15	mm
<b>l<sub>0</sub></b>	100	unidades
<b>l<sub>1</sub></b>		unidades

Tempo (min)	l (unidades)	l (mm)	dl (%)
0.5	104	0.04	0.27
1	108	0.08	0.53
2	108	0.08	0.53
4	108	0.08	0.53
6	108	0.08	0.53

Tabela A. 46 - Ensaio de Expansibilidade LNEC

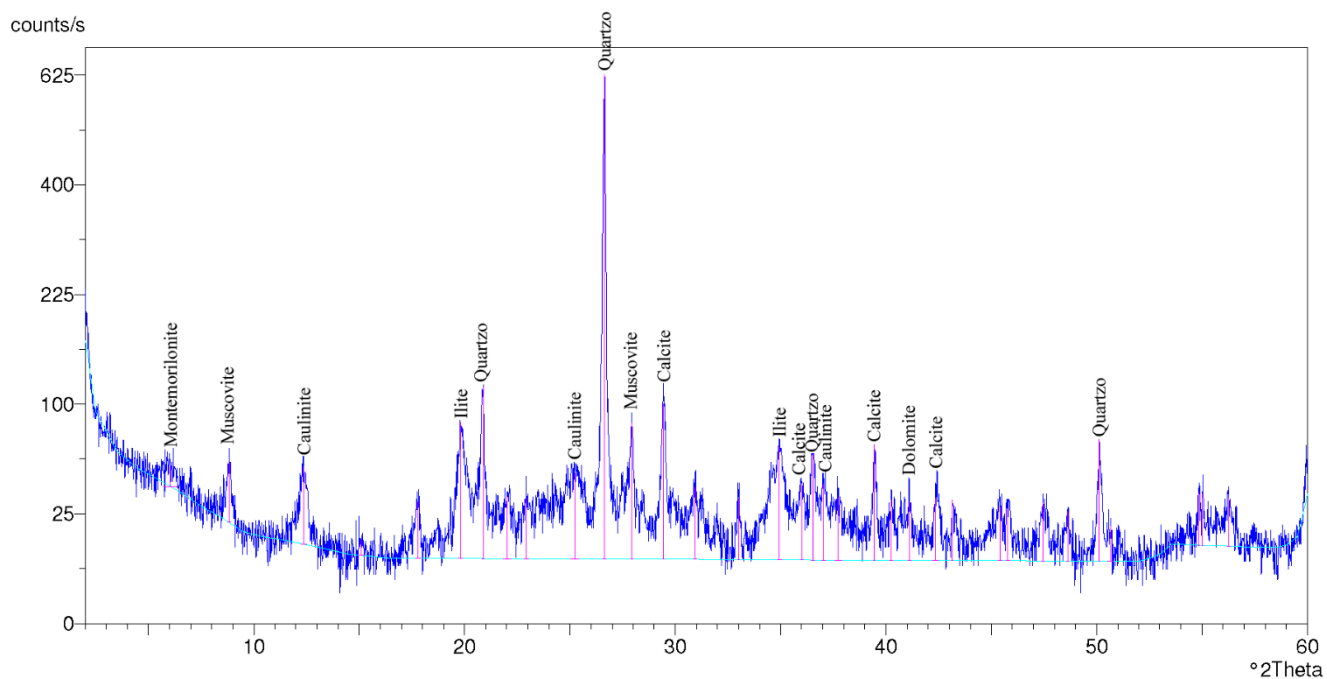
<b>Cálculo do Peso específico saturado</b>	<b>L1</b>	<b>L2</b>	<b>L3</b>	<b>L4</b>	<b>L5</b>	<b>L6</b>	<b>L7</b>	<b>L1-ens2</b>	<b>L1-ens3</b>
Tara	65.27	39.00	65.34	25.83	27.14	26.95	64.90	65.27	64.9
Peso sat. + tara	151.1	121.30	146.67	108.26	114.16	109.7	143.00	150.88	151.23
Peso seco + tara	124.11	103.99	128.42	89.73	92.48	91.39	123.82	126.02	126.24
Peso sat.	85.83	82.30	81.33	82.43	87.02	82.75	78.10	85.61	86.33
Peso seco	58.84	64.99	63.08	63.9	65.34	64.44	58.92	60.75	61.34
$\gamma_{sat}$	1.663	1.909	1.859	1.870	1.827	1.878	1.832	1.703	1.695
<b>Cálculo do volume</b>	<b>L1</b>	<b>L2</b>	<b>L3</b>	<b>L4</b>	<b>L5</b>	<b>L6</b>	<b>L7</b>	<b>L1-ens2</b>	<b>L1-ens3</b>
h0 (mm)	15	15	15	15	15	15	15	15	15
$\Delta h$ (mm)	3.25	0.25	0.47	0.59	1.85	0.58	0.08	2.78	3.01
H (mm)	18.25	15.25	15.47	15.59	16.85	15.58	15.08	17.78	18.01
raio(amostra) (mm)	30	30	30	30	30	30	30	30	30
Volume(cilindro) mm <sup>3</sup>	51600.7	43118.4	43740.4	44079.7	47642.3	44051.4	42637.7	50271.8	50922.08
Volume(cilindro) cm <sup>3</sup>	51.6007	43.1184	43.7404	44.0797	47.6423	44.0514	42.6377	50.2718	50.9221
<b>Expansibilidade em %</b>	<b>L1</b>	<b>L2</b>	<b>L3</b>	<b>L4</b>	<b>L5</b>	<b>L6</b>	<b>L7</b>	<b>L1-ens2</b>	<b>L1-ens3</b>
$\Delta h$	3.25	0.25	0.47	0.59	1.85	0.58	0.08	2.78	3.01
h0	15	15	15	15	15	15	15	15	15
Expansibilidade em %	21.6667	1.6667	3.1333	3.9333	12.3333	3.8667	0.5333	18.5333	20.0667

# Anexo V

## Gráficos difracção de raios-Xraios-x

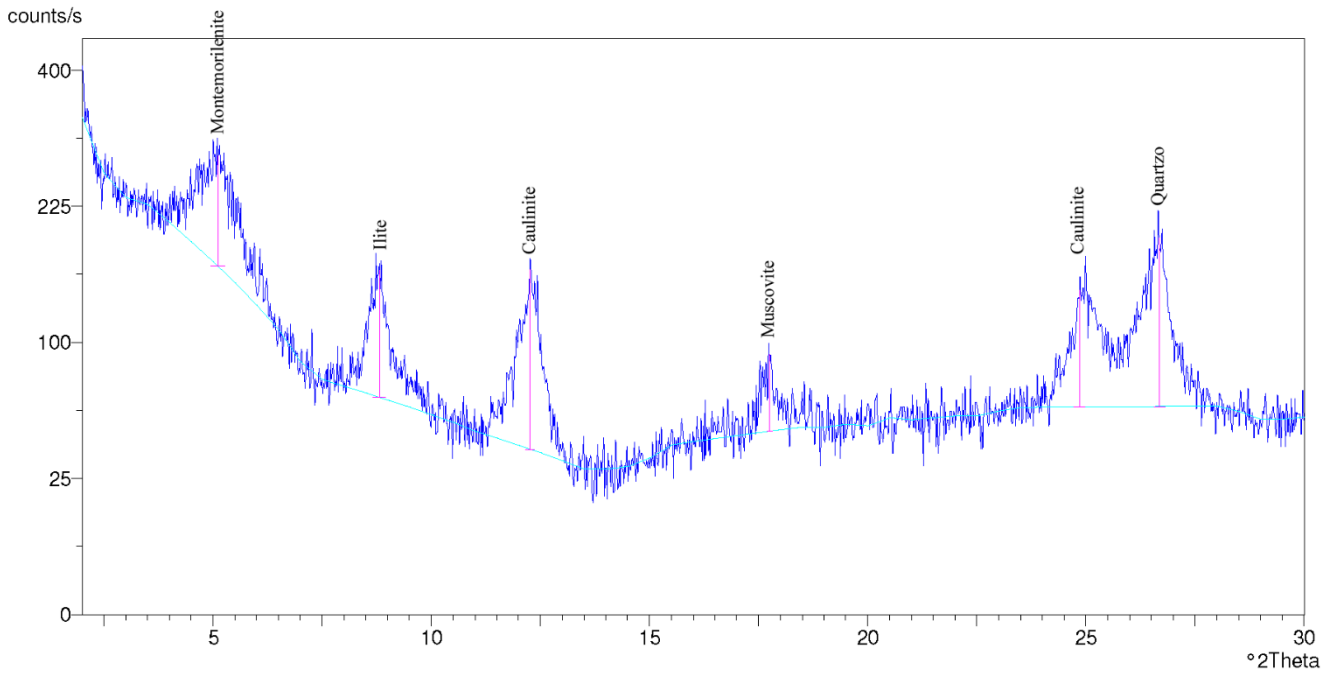
X'Pert Graphics & Identify  
Graph: L1 AT

Fernando Marques  
01-07-2014 15:44



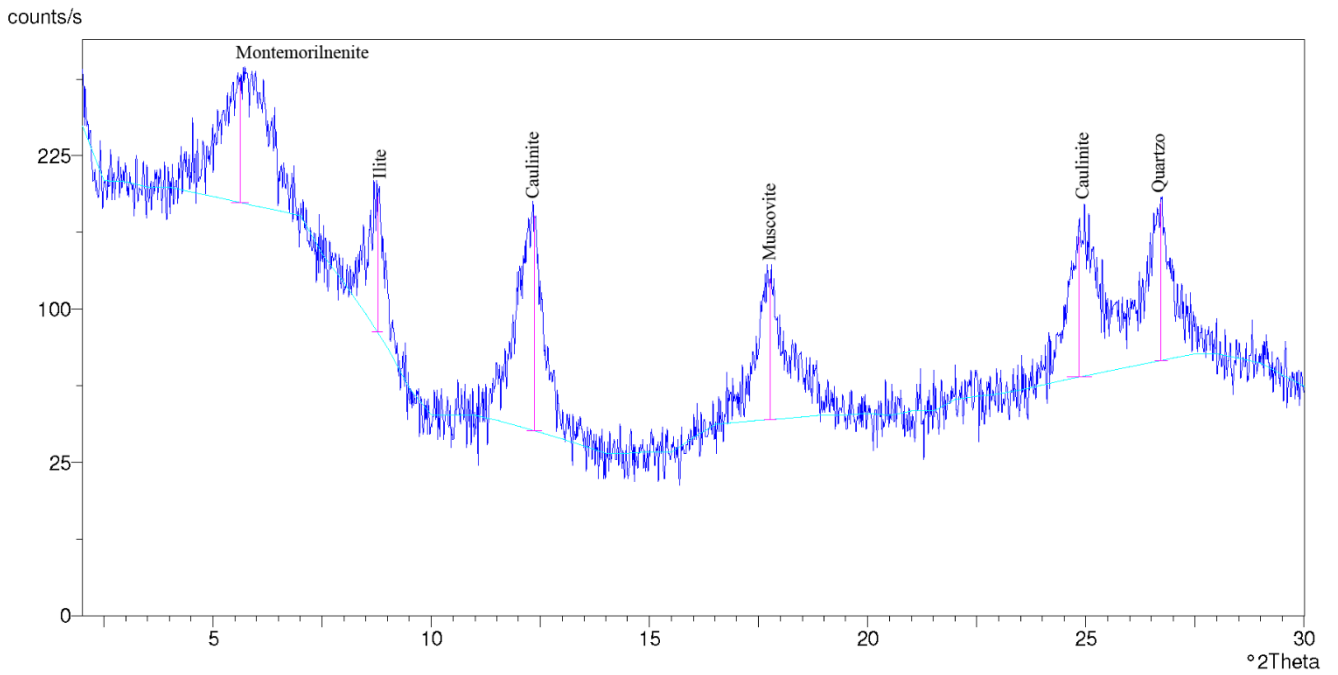
Philips Analytical

Gráfico A. 1 - Gráfico da difracção de Raios-X. Amostra L1 - Amostra Total



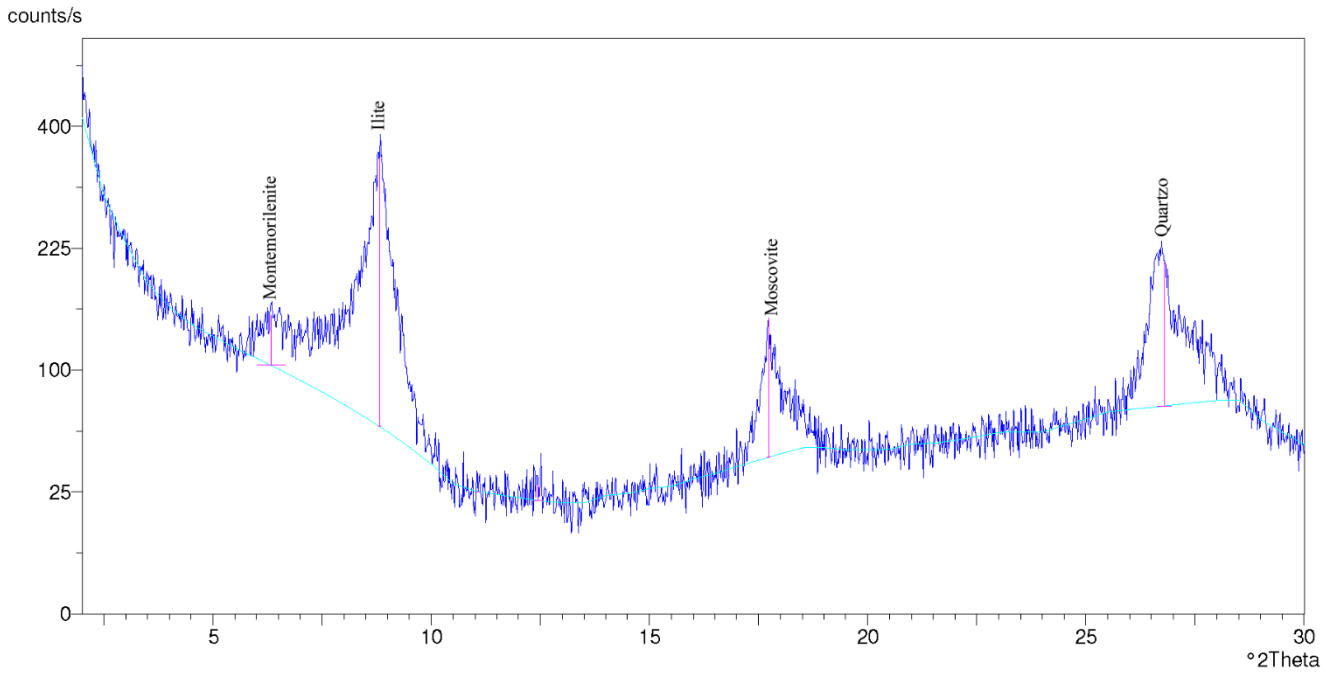
Philips Analytical

Gráfico A. 2 - Gráfico da difracção de Raios-XRaios-x. Amostra L1 - Amostra Orientada Glicolada



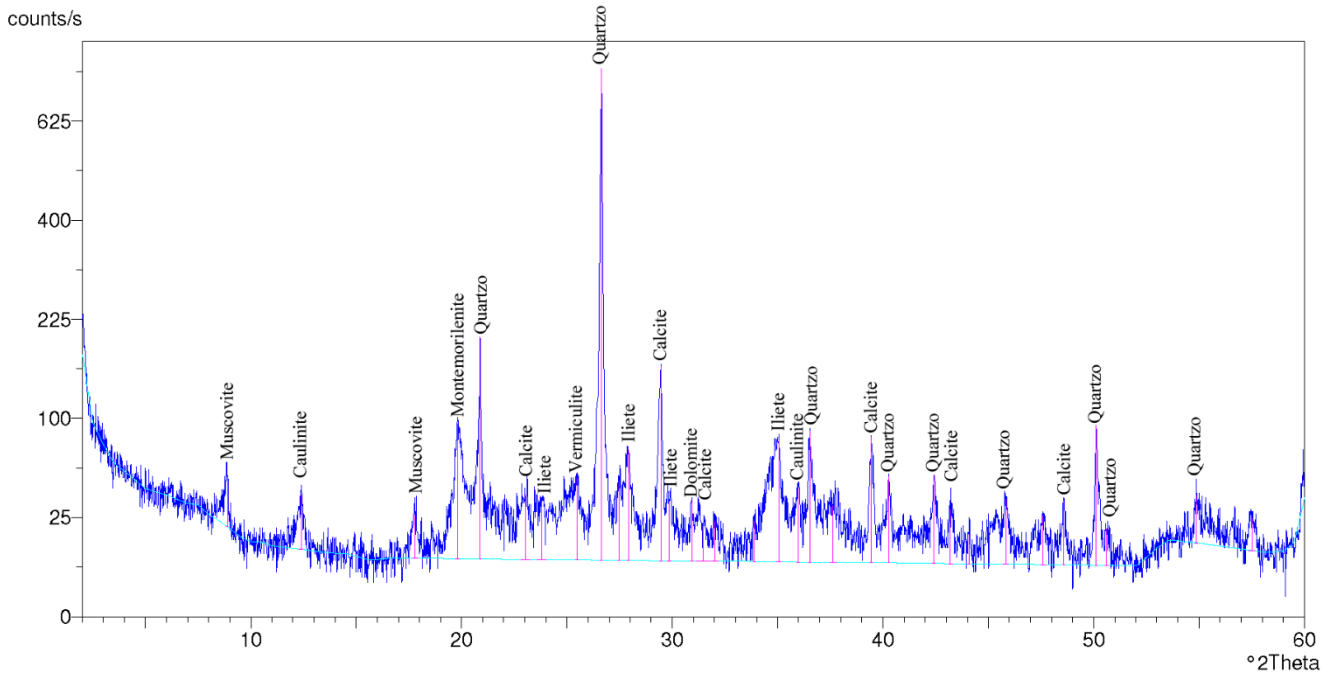
Philips Analytical

Gráfico A. 3 - Gráfico da difracção de Raios-X. Amostra L1 - Amostra Orientada Normal



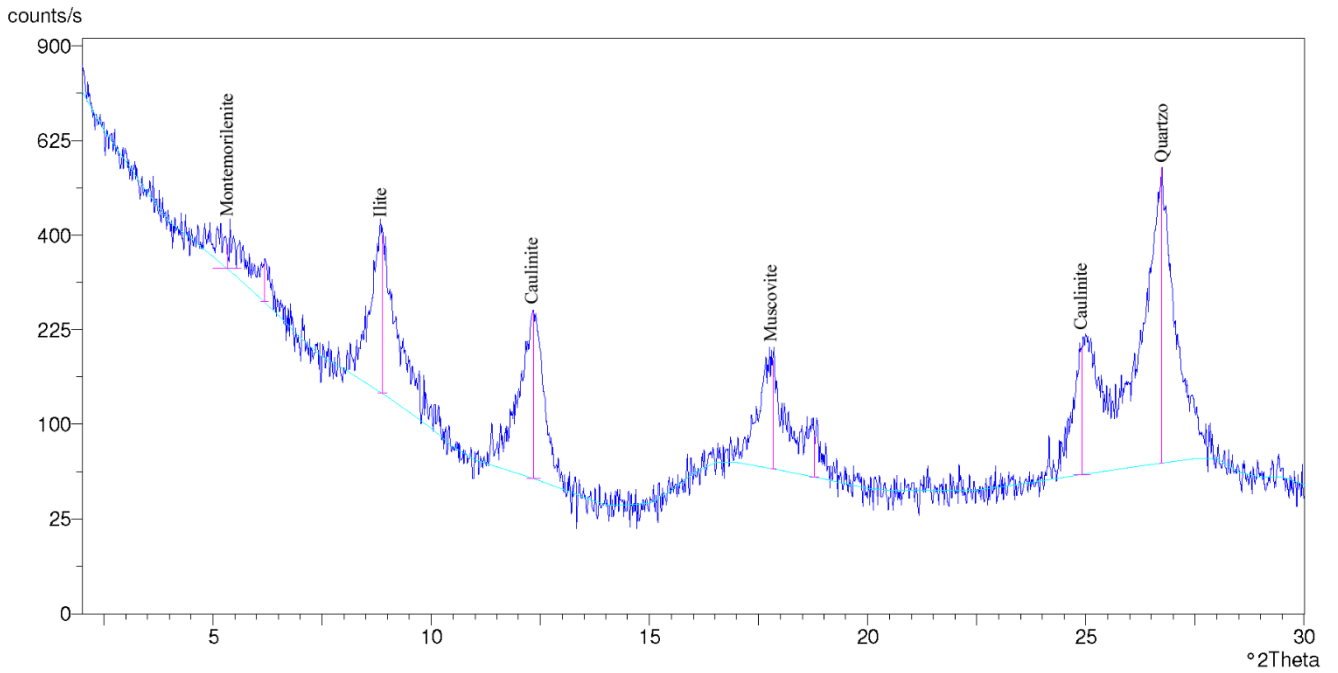
Philips Analytical

Gráfico A. 4 - Gráfico da difração de Raios-X. Amostra L1 - Amostra Orientada Queimada



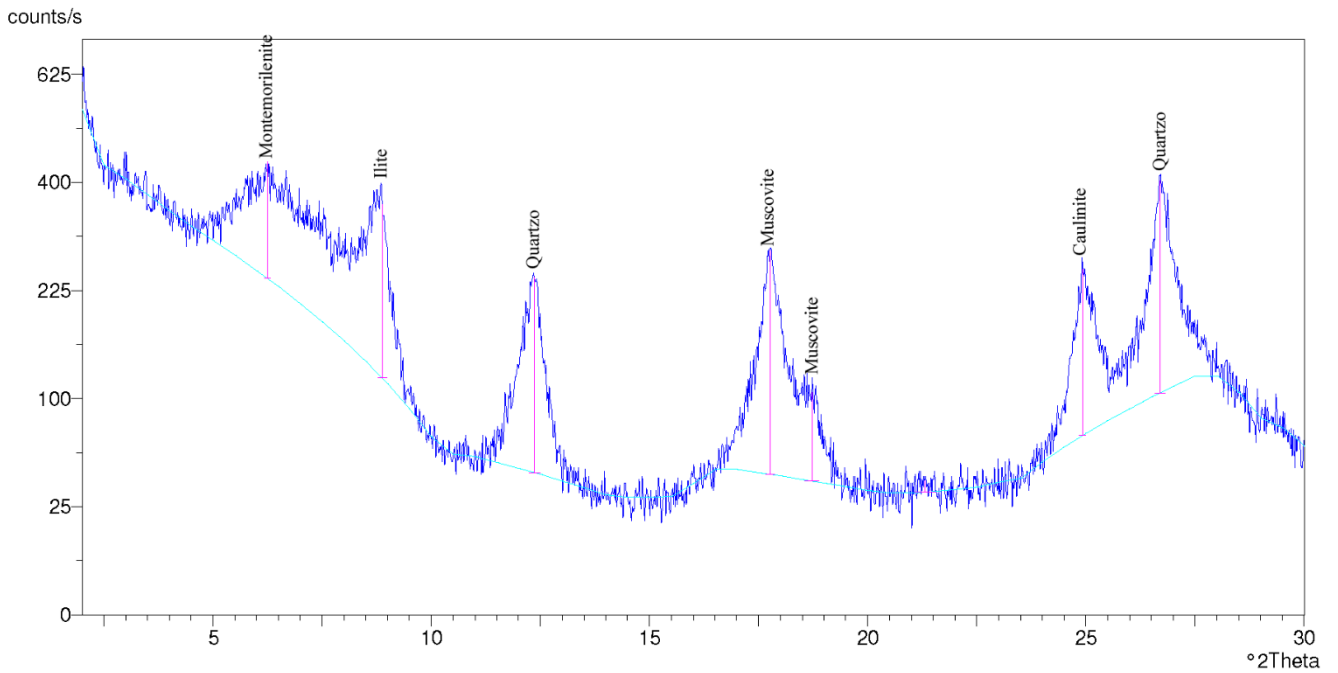
Philips Analytical

Gráfico A. 5 - Gráfico da difração de Raios-X. Amostra L3 - Amostra Total



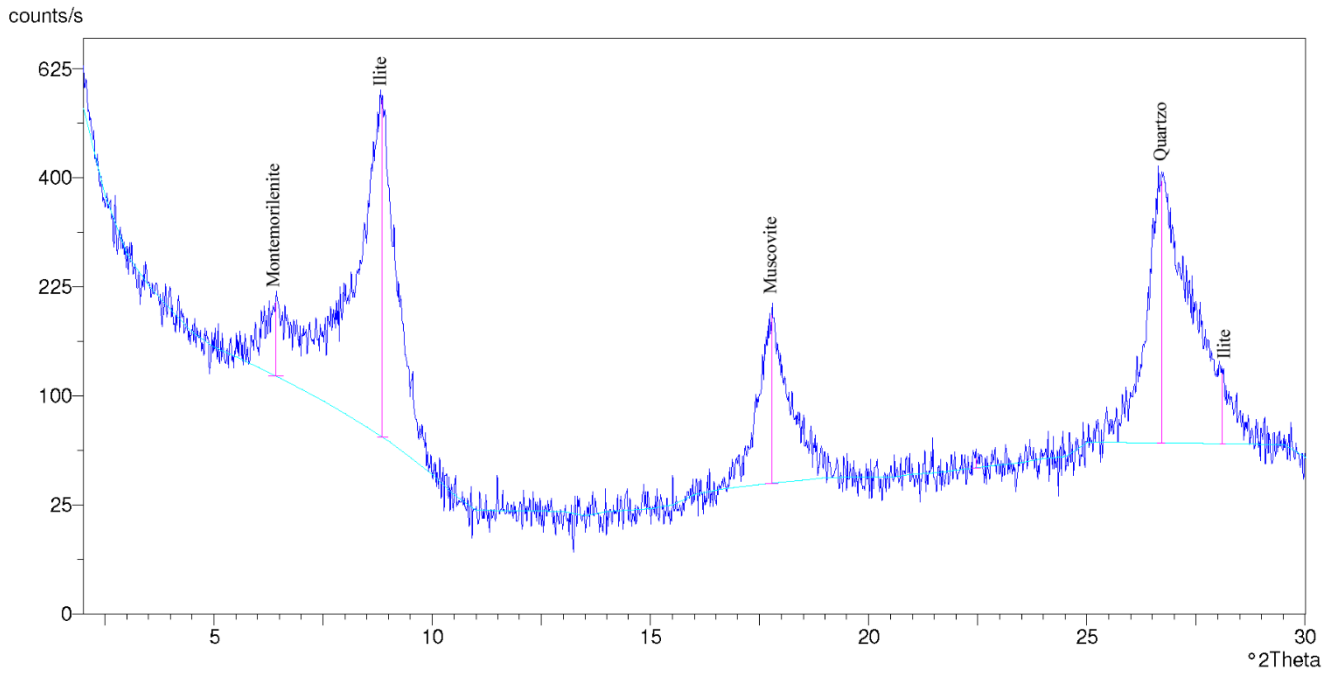
Philips Analytical

Gráfico A. 6- Gráfico da difracção de Raios-X. Amostra L3 - Amostra Orientada Glicolada



Philips Analytical

Gráfico A. 7- Gráfico da difracção de Raios-X Amostra L3 - Amostra Orientada Normal



Philips Analytical

Gráfico A. 8- Gráfico da difração de Raios-X. Amostra L3 - Amostra Orientada Queimada