

Luís Miguel Barros Gonçalves

**DEPÓSITOS CENOZÓICOS DE TRÁS-OS-MONTES
ORIENTAL**

**Caracterização Tecnológica de Resíduos de
Exploração de Areeiros. Contribuição para o
uso Sustentável dos Recursos**



FC

**FACULDADE DE CIÊNCIAS
UNIVERSIDADE DO PORTO**

Dissertação apresentada para obtenção do grau de Mestre, no âmbito
do Mestrado em Prospeção e Avaliação de Recursos Geológicos

**Departamento de Geologia
Faculdade de Ciências da Universidade do Porto
2004**

LUÍS MIGUEL BARROS GONÇALVES

DEPÓSITOS CENOZÓICOS DE TRÁS-OS-MONTES ORIENTAL

**Caracterização Tecnológica de Resíduos de Exploração de
Areeiros. Contribuição para o uso Sustentável dos Recursos**

Reg. 1880
Cota 553.04 (043.0)
(469.2) / 60NE / 1

Dissertação apresentada à Faculdade de Ciências da
Universidade do Porto para obtenção do grau de Mestre
em Prospeção e Avaliação de Recursos Geológicos

**Departamento de Geologia
Faculdade de Ciências da Universidade do Porto
2004**

**Trabalho no âmbito do projecto POCTI/CTA/38659/2001, aprovado pela
Fundação para a Ciência e a Tecnologia e pelo POCTI, participado
pelo fundo comunitário europeu FEDER.**

**This work was supported financially by the Fundação para a Ciência e a
Tecnologia (program POCTI) and FEDER, under the project
POCTI/CTA/38659/2001.**

AGRADECIMENTOS

É com enorme satisfação que, concluída esta demanda, aqui presto os meus sinceros agradecimentos a todos quantos, de forma directa ou indirecta, contribuíram para que eu conseguisse chegar a este ponto.

As minhas primeiras palavras de apreço são dirigidas ao Professor Doutor Fernando Noronha, pela orientação prestada e todo o incentivo e disponibilidade concedidos, e pelo seu importante contributo para a minha formação geológica, desde os idos de 1994, quando entrei para a faculdade, um muitíssimo obrigado.

Presto também os meus agradecimentos:

- Ao Director do Laboratório do INETI de São Mamede Infesta, Eng. Mário Machado Leite, pela facilidades concedidas na realização dos estudos laboratoriais necessários à realização deste trabalho.
- Aos colegas geólogos do Laboratório do INETI de São Mamede Infesta, Dr. José Grade, ao Dr. Álvaro Oliveira, bem como à Eng. Cristina Carvalho e à Eng. Maria Eugénia Moreira, por todo o apoio prestado, pelos ensinamentos, conselhos e esclarecimentos que me concederam, sem os quais este trabalho seria realizável.
- À Professora Isabel Caetano Alves, por toda a disponibilidade manifestada, por todo o apoio concedido, por todas as palavras de apreço e incentivo, e por toda a crítica construtiva ao trabalho realizado.
- Aos Professores José Brilha e Diamantino Pereira, pelo apoio prestado na qualidade de Directores do Departamento de Ciências da Terra da Universidade do Minho, mas principalmente como colegas, pela disponibilidade e sugestões.
- Ao Dr. Paulo Pereira, por todo o apoio por todas as sugestões e pela sua amizade.
- Ao Dr. Renato Henriques, pela disponibilidade e sugestões no domínio da informática.
- À Dr.^a Emília Poças pelas sugestões e pela bibliografia concedida.
- À Professora Graciete Dias, pelas palavras de incentivo e, por na qualidade de Directora do Centro de Ciências da Terra da Universidade do Minho, pelo apoio aos trabalhos realizados.
- A todos os restantes membros do DCT-UM, especialmente aos Técnicos Sr. José Luís Nunes e Dr. António Azevedo pelos trabalhos analíticos executados.
- A todos os funcionários do laboratório de ensaios tecnológicos do INETI de São Mamede Infesta.

- Ao Sr. José Manuel Parada e seu filho Sr. Agostinho Parada, proprietários do areeiro de Vale da Porca e ao Sr. Herculano Gonçalves, sócio da firma Saibreira, sociedade Brigantina de extracção de areias, Lda, responsável pelo areeiro de Sendas, pelo apoio e esclarecimentos prestados e pela autorização de estudo dos resíduos dos respectivos areeiros.

Queria ainda agradecer ao Flávio Monteiro, e a todos os meus colegas de mestrado especialmente ao Carlos Almeida, ao John Morris, ao Paulo Ferraz e ao José Mota, por todo o incentivo, apoio e camaradagem que em muito contribuíram para a realização desta tese.

Não posso deixar também de agradecer, e faço-o de uma forma especial, o incentivo que os meus pais e a minha irmã me deram para a realização deste curso de mestrado e todo o apoio que me foi dado durante estes anos.

Para terminar um muito OBRIGADO à JOANA, porque sem ti teria sido mais difícil chegar ao fim...

Este trabalho foi desenvolvido no centro de Ciências da Terra da Universidade do Minho (unidade de investigação inserida no Programa de Financiamento Plurianual da FCT, inscrito no Programa Operacional, Tecnologia e Inovação (POCTI) inserido no III Quadro Comunitário de Apoio, co-financiado pelo Governo Português e pela União Europeia, através do Fundo Europeu para o Desenvolvimento Regional (FEDER).

Beneficiou de apoio no âmbito do projecto POCTI/CTA/38659/2001 "O Terciário de Portugal centro-norte: análise de bacias, estratigrafia e recursos", financiado pela Fundação para a Ciência e Tecnologia (FCT), no âmbito do programa POCTI.

ÍNDICE

Agradecimentos	i
Índice	iii
Resumo	v
Abstract	vi
1 – Introdução	1
2 – Objectivos do Trabalho	3
3 – Enquadramento Geológico	4
3.1 – Substrato Pré-Câmbrico e Paleozóico	5
3.2 – Granitóides	7
3.3 – Depósitos do sedimentares do Cenozóico	8
4 – Trabalhos Anteriores	11
5 – Recursos Geológicos do Cenozóico de Trás os Montes Oriental	17
5.1 – Depósitos do Planalto Mirandês	17
5.2 – Depósitos de Bragança	22
5.3 – Depósitos da Depressão de Mirandela	25
5.4 – Depósitos de Macedo de Cavaleiros	28
5.5 – Depósitos do Vale da Vilariga	32
6 – Explorações e Resíduos	35
6.1 – Introdução	35
6.2 – Areeiro de Vale da Porca	37
6.2.1 – Localização	37
6.2.2 – Características do depósito sedimentar explorado	38
6.2.3 – Descrição da exploração	39
6.2.4 – Descrição dos tanques de resíduos de exploração	40
6.3 – Areeiro de Sendas	42
6.3.1 – Localização	42
6.3.2 – Características do depósito sedimentar explorado	43
6.3.3 – Descrição da exploração	44
6.3.4 – Descrição dos tanques de resíduos de exploração	45
7 – Descrição dos Métodos Utilizados no Estudo dos Resíduos de Exploração	48
7.1 – Amostragem	48
7.2 – Preparação das amostras	48
7.3 – Análise Granulométrica	49
7.3.1 – Crivação	49
7.3.2 – Sedimentação	50
7.4 – Estudo mineralógico por difracção de Raios X	51
7.5 – Análise química por fluorescência de Raios X	53
7.6 – Ensaio tecnológicos	55
7.6.1 – Determinação da plasticidade	55
7.6.2 – Cozedura cerâmica	57

7.6.3 – Parâmetros cromáticos	58
7.6.4 – Retracção	60
7.6.5 – Dilatometria	61
7.6.6 – Resistência mecânica à flexão	62
7.6.7 – Absorção de água	63
8 – Caracterização dos Resíduos de Exploração	64
8.1 – Caracterização mineralógica, química e granulométrica	64
8.1.1 – Caracterização mineralógica	64
8.1.2 – Caracterização química	66
8.1.3 – Caracterização granulométrica	71
8.2 – Caracterização tecnológica	76
8.2.1 – Argilas em cru	76
8.2.1.1 – Plasticidade	76
8.2.1.2 – Retracção	81
8.2.1.3 – Resistência mecânica à flexão	83
8.2.1.4 – Parâmetros cromáticos	85
8.2.2 – Argilas após cozedura cerâmica a 950°C	87
8.2.2.1 – Retracção	87
8.2.2.2 – Dilatometria	90
8.2.2.3 – Resistência mecânica à flexão	92
8.2.2.4 – Parâmetros cromáticos	95
8.2.2.5 – Absorção de Água	97
9 – Correlações entre Propriedades dos Resíduos de Exploração	100
9.1 – Correlações dos resíduos de exploração do areeiro de Vale da Porca ...	100
9.2 – Correlações dos resíduos de exploração do areeiro de Sendas	103
9.3 – Considerações sobre as correlações observadas	106
10 – Considerações sobre a Aplicabilidade dos Resíduos de Exploração	107
10.1 – Granulometria	108
10.2 – Composição químico-mineralógica	111
10.3 – Plasticidade	112
10.4 – Resistência mecânica à flexão	112
10.5 – Cor	113
10.6 – Absorção de água	114
10.7 – Conclusão	115
11 – Conclusões	117
12 – Bibliografia.....	121
Anexos.....	130

RESUMO

Palavras Chave: resíduos de exploração; areeiros; caracterização; depósitos cenozóicos.

Os depósitos sedimentares cenozóicos de Trás-os-Montes Oriental estão sobrejacentes a rochas metamórficas e graníticas do Proterozóico e do Paleozóico, sendo essencialmente conglomeráticos de matriz areno-lutítica e lutítica-arenosa, com alguns níveis arenosos ou argilosos. Estes depósitos constituem importante fonte de matéria prima para a indústria da construção civil (areias e seixos) e para a indústria cerâmica de construção (argilas comuns).

A exploração dos sedimentos cenozóicos é efectuada em vários barreiros e areeiros na região, recorrendo normalmente à utilização de retroescavadoras. Nos areeiros, o seixo e areia são separados da matriz limo-argilosa por crivação húmida. Essa matriz constitui cerca de $40 \pm 20\%$ do material explorado. Após o processo de crivação a matriz (resíduo de exploração) é colocada em tanques de decantação, localizados no interior dos areeiros ou em áreas adjacentes.

Com o objectivo de avaliar as potencialidades dos resíduos de exploração de areeiros como subproduto aproveitável, procedeu-se à sua caracterização composicional e tecnológica. Os estudos referentes à composição mineralógica, química e granulométrica, bem como os ensaios tecnológicos (avaliação dos Limites de Atterberg, cor, retracção, resistência mecânica à flexão e absorção de água) foram efectuados em amostras de resíduos de dois areeiros em actividade na região (areeiro de Vale da Porca e areeiro de Sendas).

Os resultados, da caracterização composicional e tecnológica dos resíduos, permitiram classificar estes materiais como argila comum, e verificar a sua apetência para a produção de cerâmicos de construção, no entanto, será necessária a sua beneficiação de modo a corrigir algumas propriedades como a plasticidade.

As características dos resíduos de exploração estudados permitiu demonstrar as suas potencialidades como subproduto com mais valias. A utilização destes materiais na indústria cerâmica de construção contribuirá para a valorização económica destes depósitos. A abordagem utilizada nestes dois areeiros poderá, se implementada noutras explorações (actuais ou futuras), contribuir para a utilização sustentada dos recursos existentes neste tipo de depósitos sedimentares.

ABSTRACT

Keywords: waste mud; characterization; quarries; fluvial Cenozoic deposits.

In the eastern Trás-os-Montes region (Northeast Portugal) metamorphic and granitic rocks from Precambrian and Paleozoic constitute the geological background for fluvial Cenozoic deposits. The Cenozoic deposits are mainly composed by gravel and sandy to muddy-gravel bodies, with some muddy-sand and clay bodies. These deposits are an important source of raw materials used in construction industry (sand and gravel) and in the ceramic construction industry (clays).

The extraction of the Cenozoic sediments is made in several quarries of this region with back-hoe excavator. The sand and gravel are separated from the silt-clay matrix (mud) by wet sieving. The mud matrix consists on about $40\pm 20\%$ of the extracted material. After the wet sieving process the mud is located in settling tanks, usually placed in abandon areas of the quarries, or in a neighbour area.

With the aim of evaluating the potentialities of sand and gravel quarries waste muds as a useful sub-product, compositional studies and technological tests were performed. The compositional studies (mineralogical composition, chemical composition and grain size) and the technological tests (Atterberg limits, brightness, linear retraction, flexion rupture and water absorption) were performed on waste mud samples collected in two active quarries (Vale da Porca and Sendas).

The results of the compositional and technological characterisation of the waste muds indicate that these materials can be classified as common clay. These materials are suitable for the manufacturing of products as hollow bricks and roofing tiles, although some corrections in proprieties, like plasticity, are required.

The compositional and technological characterisation of these waste muds indicate their potential as a useful sub-product. The use of these materials in the ceramic construction industry will increment the economic value of these deposits as a natural resource. The approach used in these two quarries if implemented in other existing quarries, or in future extraction areas, can contribute to a sustainable use of these Cenozoic deposits as a natural resource.

1 – INTRODUÇÃO

Os depósitos sedimentares cenozóicos do norte de Portugal constituem importantes reservas em recursos minerais não metálicos. Nesta região a sedimentação expressa uma forte relação com a evolução da drenagem durante o Cenozóico, relação essa bem evidente em Trás-os-Montes Oriental. Estes depósitos foram gerados na dependência de sistemas aluviais, possuindo uma grande diversidade dimensional, típica das variações de energia dos referidos sistemas. Estes recursos são de elevada importância socio-económica pois deles depende, em maior ou menor grau, o fornecimento de matérias-primas à construção civil, obras públicas e várias indústrias das quais se destaca a indústria cerâmica de construção. Numa região como Trás-os-Montes Oriental, parca neste tipo de recursos, estes depósitos sedimentares assumem elevada importância, diminuindo a dependência regional do exterior, em particular de Espanha.

Em Trás-os-Montes Oriental depara-se com a exploração crescente destes recursos geológicos, mas em condições que são muitas vezes delapidatórias, não aproveitando todo o potencial do recurso existente. Os depósitos desta região têm sido explorados para aproveitamento dos materiais num intervalo muito limitado de dimensões, umas vezes só com aproveitamento da fracção mais grosseira (areias e seixos), outras apenas da fracção mais fina (limo e argila). Em muitas situações verifica-se que, por exemplo, em areeiros as bancadas argilosas com interesse para a indústria cerâmica não são frequentemente aproveitadas, perdendo-se deste modo uma parte importante do recurso.

Nas explorações de camadas mais grosseiras não existe aproveitamento de todas as fracções, sendo desperdiçados os resíduos de exploração (limo e argila) resultantes da lavagem da fracção explorada (areias e seixos). Para além do seu desaproveitamento estes resíduos são, em muitos casos, considerados um contaminante, dado o impacte ambiental muitas vezes associado, e um estorvo à exploração.

Tendo em vista uma exploração sustentável dos recursos destes depósitos, em que toda a matéria prima fosse aproveitada, torna-se necessário o seu estudo pormenorizado. A definição do modo de jazida dos depósitos e da variação lateral de fácies dos mesmos, permitiria uma exploração selectiva dos seus materiais. A caracterização químico-mineralógica e tecnológica poderão também ser utilizadas na valorização destes recursos, bem como na valorização dos resíduos resultantes da actividade extractiva.

2 – OBJECTIVOS DO TRABALHO

Este trabalho, elaborado no âmbito do curso de mestrado em *Prospecção e Avaliação de Recursos Geológicos*, insere-se no projecto de investigação POCTI/CTA/38659/2001 designado “O Terciário de Portugal centro-norte: análise de bacias, estratigrafia e recursos (TBA)”.

Pretende-se com este trabalho contribuir para avaliar as potencialidades dos recursos geológicos não metálicos dos depósitos cenozóicos de Trás-os-Montes Oriental, tentando contribuir também para a sua exploração sustentável.

Com esse objectivo, para além da caracterização dos recursos existentes e das suas potencialidades, é também pretendido estudar as características dos resíduos de exploração de areeiros que utilizam, como matéria prima, sedimentos de depósitos cenozóicos.

Estes resíduos, normalmente desperdiçados, correspondem a um volume significativo dos depósitos explorados, não podendo ser ignorados. Dada a inexistência de informação sobre este tipo de resíduos, torna-se necessária a caracterização dos mesmos tendo em vista a avaliação das suas potencialidades, nomeadamente como matéria prima para a indústria cerâmica de construção. Para tal seleccionaram-se dois areeiros que utilizam sedimentos cenozóicos como matéria prima, onde existem resíduos resultantes da sua actividade que são acumulados em tanques de decantação.

Pretende-se portanto caracterizar os resíduos dessas explorações do ponto de vista mineralógico, químico, granulométrico e tecnológico. Tal caracterização permitirá avaliar as valências desses resíduos, tentando assim contribuir para o uso racional e sustentável dos recursos geológicos não metálicos dos depósitos cenozóicos desta região.

3 – ENQUADRAMENTO GEOLÓGICO

O presente trabalho foi elaborado com o intuito de estudar as potencialidades dos recursos geológicos não metálicos dos depósitos sedimentares cenozóicos de Trás-os-Montes Oriental. Estes sedimentos do Cenozóico, assentam sobre um substrato constituído por formações metassedimentares, paleozóicas e pré-câmblicas e, por rochas graníticas hercínicas. É este contexto geológico de elevada complexidade (figuras 3.1 e 3.2) que se resumirá a seguir.

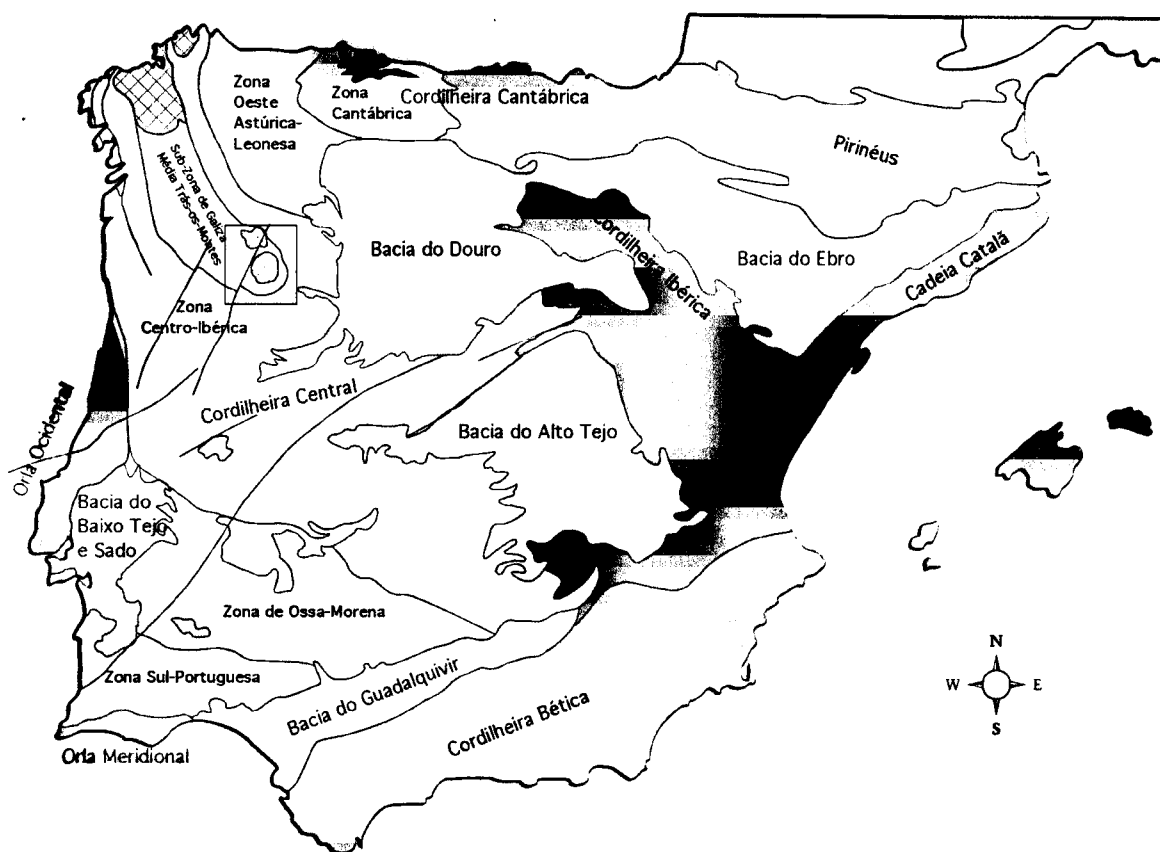


Figura 3.1 – Enquadramento da região de Trás-os-Montes Oriental nas unidades morfoestruturais da Península Ibérica e nas zonas definidas para o Maciço Hespérico (in Poças (2004), adaptado de Julivert *et al.*, 1974; Ribeiro *et al.*, 1979; Farias *et al.*, 1987).

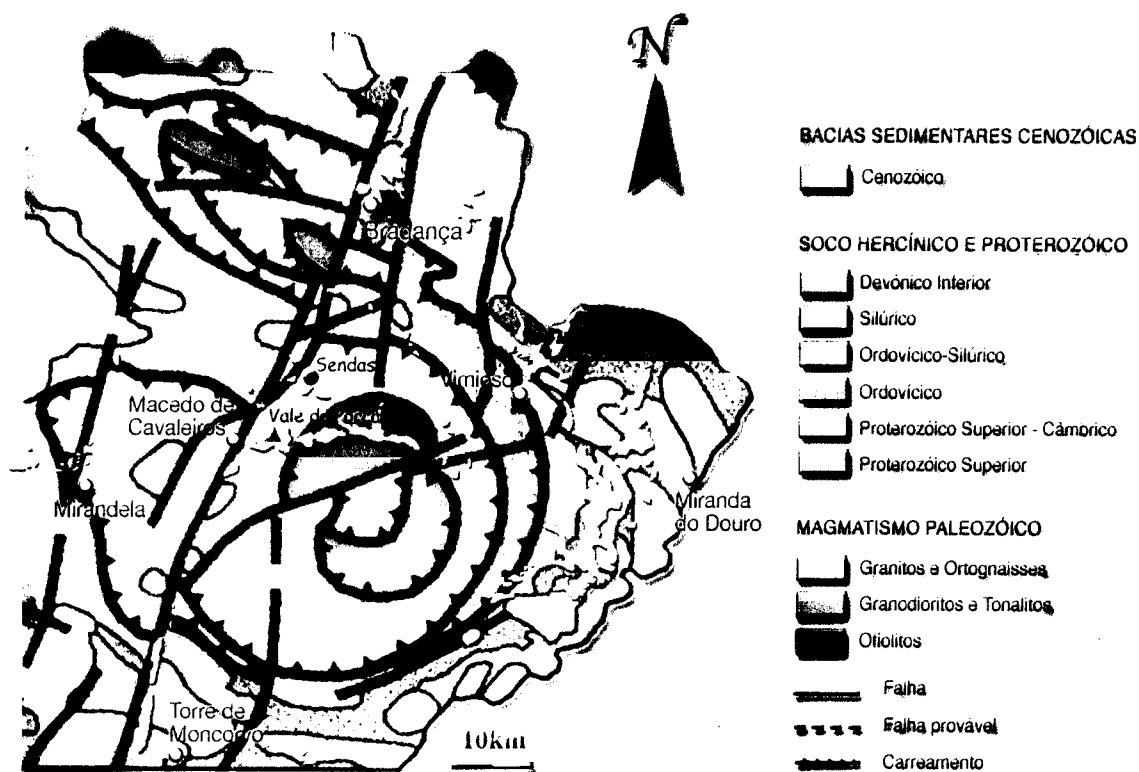


Figura 3.2 – Enquadramento geológico da região de Trás-os-Montes Oriental (adaptado de IGM, 1998 e de Pereira *et al.*, 2001).

3.1 – Substrato Pré-Câmbrico e Paleozóico

A região ocidental da Península Ibérica é constituída por unidades geológicas pertencentes ao Maciço Hespérico, definidas por Julivert *et al.* (1974) como sendo o segmento Ibérico da cadeia Hercínica. Inicialmente definidas por Lotze (1945), as várias zonas geotectónicas do Maciço Hespérico foram, posteriormente, modificadas por Julivert *et al.* (1974), Ribeiro (1974) e Farias *et al.* (1987). Estes autores, reconheceram a Zona Centro Ibérica (ZCI) e a Zona Galiza Média-Trás-os-Montes e redefiniram os limites das zonas. Ribeiro *et al.* (1987 e 1990a) consideraram a divisão do Maciço Hespérico em quatro terrenos distintos:

- *Terreno Ibérico* – formado por unidades essencialmente autóctones, com elementos internos imbricados paraútóctones, englobando as zonas Cantábria, Astúrico-Leonesa Ocidental, Ossa-Morena e grande parte da Centro Ibérica;

- *Terreno Ofiolítico Setentrional* – constituído por terrenos oceânicos, exóticos relativamente ao Terreno Ibérico, ocorrendo na base dos mantos alóctones do noroeste da Zona Centro Ibérica, bem como a sul do Terreno Ibérico, onde constituem a Zona do Pulo do Lobo (inclui o Ofiolito de Beja-Acebuches, segundo Munhá *et al.*, 1986);
- *Terreno Alóctone Continental* – representado pelo topo dos mantos alóctones nos complexos do noroeste da Zona Centro Ibérica;
- *Terreno Sul Português* – terreno continental, separado do Terreno Ibérico pela unidade oceânica do Pulo do Lobo.

O aspecto mais saliente da geologia de Trás-os-Montes oriental corresponde ao carreamento, do que foi designado Domínio Transmontano ou Alóctone do NW Ibérico sobre o Domínio do Douro Inferior ou Autóctone, colocando os terrenos da *Zona Galiza média – Trás-os-Montes oriental* sobrepostos às *Zonas Centro Ibérica e Galiza Oriental* (Ribeiro, 1974; Ribeiro *et al.*, 1990a).

A sequência litoestratigráfica do Autóctone definida inicialmente por Ribeiro (1974) e posteriormente revista e modificada por Meireles *et al.* (1995), Meireles (1997) e Ribeiro & Pereira (1997), apresenta a seguinte sucessão:

- *Complexo gnáissico de Miranda do Douro*, que compreende os paragneisses geralmente ocelados “*Olho de Sapo*”, e se sobrepõem aos ortogneisses pré-câmbrios;
- *Grupo do Douro do Complexo Xisto Grauváquico*, de idade câmbrica, muito espesso e monótono;
- *metassedimentos do Ordovícico*, constituídos por bancadas quartzíticas, com alternâncias de xistos (para o topo) e níveis de ferro intercalados, seguidas de uma sequência monótona de xistos carbonosos;
- *sequência metasedimentar complexa do Silúrico*, com presença de metavulcanitos e predominância de xistos;
- *metassedimentos do Devónico*, caracterizados por fácies *flyschóide*, de argilitos na base e grauvaques para o topo.

O Alóctone é constituído pela imbricação de diversas unidades tectónicas exóticas (reliquias de granulitos, eclogitos, gnaisses e rochas ultrabássicas),

carreadas e instaladas durante a orogenia Varisca sobre uma unidade ofiolítica e metassedimentos paleozóicos (Meireles, 2000).

No alóctone, definem-se quatro mantos principais de empilhamento, do topo para a base (Ribeiro, 1974; Iglésias *et al.*, 1983; Ribeiro *et al.*, 1990b; Marques, 1994; Meireles, 2000):

- *Terreno Alóctone Continental (TAC)* – também designado de Complexo Alóctone Superior, é constituído por rochas de elevado grau metamórfico, de idade pré-câmbrica;
- *Complexo Alóctone Intermédio ou Ofiolítico*, corresponde aos complexos polimetamórficos com termos básicos e quartzo-fedspáticos dos maciços de Morais e Bragança (Ribeiro, 1974); a sequência original encontra-se melhor representada no maciço de Morais onde se pode observar, do topo para a base, a seguinte sequência: anfibolitos; complexo de diques laminados; flaser gabros e rochas ultramáficas (Ribeiro *et al.*, 1990b);
- *Complexo Alóctone Inferior*, caracteriza-se pela abundância de manifestações vulcânicas e pela presença de fácies especiais do tipo xistos cor de vinho (Ribeiro, 1974);
- *Complexo Parautóctone*, constituído essencialmente por metassedimentos vários (filitos, grauvaques, quartzitos e cherts) com afinidades paleogeográficas ao Autóctone.

3.2 – Granitóides

As rochas graníticas também se encontram representadas na região. Os *granitóides hercínicos de duas micas* são dominantes, correspondendo à maior parte das áreas aflorantes de rochas graníticas, como se pode verificar em Ferreira *et al.* (1987) e em Pereira *et al.* (2000). Classificados segundo a fase do ciclo Hercínico em que se deu a sua instalação, estão presentes na região os seguintes tipos de rochas graníticas hercínicas de duas micas (Pereira *et al.*, 2000):

- Granitos Sin-Tectónicos relativamente a D_2 (ex: granito de Montesinho);
- Granitóides Sin-Tectónicos relativamente a D_2 a Sin-Tectónicos relativamente a D_3 (complexo de paragnaisses, granitos gnáissicos e migmatitos – granitos nodulares de Miranda do Douro, Sendim e Bemposta);

- Granitos Sin-Tectónicos relativamente a D₃ (ex: granito de Picote e granito de Bemposta);
- Granitos Tardi a Pós-Tectónicos relativamente a D₃ (ex: granito de Torre de D. Chama, granito de Bornes).

Segundo os mesmos autores (Pereira et al., 2000), afloram na região outros tipos de granitóides, embora menos abundantes, dos quais se destacam os *granitóides hercínicos biotíticos com plagioclase cálcica diferenciados* e os *ortognaisses ante-hercínicos e/ou hercínicos precoces*. Destes últimos podemos observar na região de Miranda do Douro os ortognaisses de grão médio, essencialmente biotíticos e os ortognaisses ocelados, ambos pré-câmbricos. Dos primeiros, afloram na região granitóides Ante a Sin-Tectónicos relativamente a D₃ (granodiorito de Ifanes) e granitos Tardi a Pós-Tectónicos relativamente a D₂.

3.3 – Depósitos do sedimentares do Cenozóico

O estudo pormenorizado efectuado por Pereira (1997) dos depósitos sedimentares cenozóicos de Trás-os-Montes oriental permitiu àquele autor individualizar um conjunto de unidades litoestratigráficas, bem como as condições morfo-sedimentogénicas sob as quais estes depósitos se formaram, as quais a seguir se apresentam resumidamente.

A *Formação de Vale Álvaro* apresenta uma espessura máxima de 23 metros. É constituída por conglomerados grosseiros, vermelhos, com clastos pouco rolados e pouco alterados de rochas máficas e ultramáficas provenientes do maciço de Bragança e do maciço de Morais sobre os quais assenta. Intercalados com os conglomerados ocorrem níveis arenosos e margosos imaturos com esmectite ou esmectite+paligorsquite na fracção <2µm. Segundo Pereira (1999) esta formação resultou da deposição por leques aluviais confinados em depressões estreitas, sob condições climáticas de tendência árida a semi-árida, possivelmente durante o Paleogénico. Em trabalhos recentes, de natureza palinológica, Poças *et al.* (2003) e Poças (2004) re-interpretam a estratigrafia destes depósitos, tendo os dados polínicos sugerido o Pliocénico superior como idade possível para esta Formação.

A *Formação de Bragança*, com espessura máxima de 80 metros, preenche vales fluviais, desenvolvidos como resposta erosiva a impulsos tectónicos e consequente levantamento relativo das áreas montanhosas a partir do Tortoniano médio. As suas características sedimentológicas sugerem, segundo Pereira (1999), condições temperadas a quentes, com uma estação particularmente pluviosa. Pereira (1997) distinguiu dois Membros para esta Formação: Membro de Castro (inferior), com tendência granodecrescente, é constituído por conglomerados na base, aos quais se seguem sedimentos areno-conglomeráticos. No topo predomina a sedimentação fina com esmectite dominante na fracção $<2\ \mu\text{m}$; Membro da Atalaia (superior), ravina o anterior, é areno-conglomerático e corresponde a uma sucessão de episódios fluviais de um modelo entrançado de baixa sinuosidade com transições momentâneas para um estilo mais sinuoso.

A *Formação de Mirandela*, com espessura máxima de 30 metros, é constituída por uma sucessão de conglomerados de matriz arenosa, intercalados por níveis arenosos, indicadores de um regime de elevada energia. Tem um carácter predominantemente quartzoso e caulínítico. Esta formação encontra-se limitada à depressão de Mirandela, preenchendo paleovales estreitos e profundos, estando relacionada, segundo Pereira (1999), com um impulso tectónico que terá aberto aquela depressão a um regime exorreico, precursor da rede actual atlântica, sob condições relativamente quentes e húmidas do Pliocénico superior.

A *Formação de Aveleda*, observada em pequenos afloramentos de reduzida espessura, mais desenvolvidos na base de relevos, é constituída por depósitos vermelhos superficiais, conglomeráticos de matriz lutítica bastante abundante, com fracção $< 2\ \mu\text{m}$ essencialmente caulínítico-ilitica. Tem origem, segundo Pereira (1999), em fluxos do tipo *debris-flow*, intercalados por ocasionais fluxos do tipo *mud-flow*. As suas características sugerem sedimentação por leque aluvial sob um clima quente, árido a semi-árido (Pereira, 1998, 1999). O mesmo autor admite que esta sedimentação seja fini-neogénica (Vilafranquiano superior), em resposta à fase tectónica Ibero-Manchega II (2,0 Ma).

A *Formação de Sampaio*, compreende os designados *Depósitos da Vilariça*, é constituída por sedimentos predominantemente conglomeráticos, avermelhados, que

se dispõem ao longo do vale da Vilariça. A sua composição é variável ao longo do vale, o que reflecte a modificação das fontes alimentadoras próximas situadas nas vertentes (Pereira, 1998). Os clastos são essencialmente de quartzito, filito e quartzo, estando suportados numa matriz predominantemente lutítica. A fracção argilosa é constituída por uma mistura de caulinite, illite, esmectite e goetite. As suas características permitem atribuir, essencialmente, a esta formação uma origem em ambiente deposicional do tipo leque aluvial, durante o Plistocénico, no sopé dos relevos da margem direita do vale da Vilariça (Pereira & Azevêdo, 1995).

No vale da Vilariça estão também assinalados depósitos sedimentares designados por Arcoses da Vilariça e terraços plistocénicos designados de Terraços do Douro. As Arcoses da Vilariça, evidenciam reduzido transporte e origem nos granitos da vertente oeste do vale (Pereira, 1997), correspondendo a depósitos esbranquiçados areno-conglomeráticos, de ocorrência escassa e subjacentes à Formação de Sampaio. Os Terraços do Douro, no limite sul do vale, são constituídos maioritariamente por níveis conglomeráticos, por vezes com grandes blocos com diâmetro até 70 cm, de proveniência longínqua, aos quais se juntam blocos de proveniência regional (Pereira, 1998). Nos terraços estão presentes alguns níveis predominantemente arenosos de cor avermelhada, e a fracção argilosa é constituída por caulinite, illite, esmectite e goetite.

4 – TRABALHOS ANTERIORES

Uma das primeiras referências aos depósitos cenozóicos de Trás-os-Montes Oriental foi efectuada por Neiva (1949), mais precisamente aos depósitos detríticos das proximidades de Bragança nomeadamente, aos das manchas de Castro, Vale Álvaro e Atalaia, atribuindo-lhes uma idade do final do Pliocénico, em particular Vilafranquiana. Aquele autor salientou o carácter heterométrico dos depósitos e a intercalação de episódios caracterizados pela disposição caótica dos calhaus, predominantemente sub-angulosos numa matriz argilosa, com episódios mais organizados. Descreveu também as litologias dos calhaus e o seu estado de alteração, em particular os de rochas básicas e ultrabásicas. Considerou a formação dos depósitos como relacionada com o levantamento dos relevos, por acção tectónica ao longo de falhas, referindo que eles se teriam depositado no sopé das montanhas, sob acção de chuvas torrenciais em clima quente semi-árido.

No mesmo ano do trabalho do autor anterior, Ribeiro, O. & Feio (1949) fazem referência à existência de depósitos do tipo *raña* na região de Miranda do Douro e de Vimioso.

Um dos primeiros trabalhos dedicados especificamente a estes depósitos sedimentares foi realizado por Ramalhal (1968). Este autor realizou um estudo laboratorial detalhado, do qual se destaca o estudo da mineralogia da fracção argilosa e da fracção dura das areias (minerais pesados), dos depósitos de Vale Álvaro e de Castro de Avelãs, para os quais sugeriu idade paleogénica e plio-quadernária respectivamente. Salientou a diferente composição mineralógica e litológica das duas manchas dos depósitos referidos, apresentou a cartografia destas manchas e definiu a sua litoestratigrafia, aspectos que permitiram a Pereira (1997) situar o Membro de Castro (Formação de Bragança) sobre a Formação de Vale Álvaro. O autor refere ainda a existência na mancha de Castro de explorações de argilas e de grés argilosos, tendo considerado a sua exploração pouco viável. As argilas destinavam-se à indústria cerâmica e o grés à construção civil e obras públicas, apresentando estes materiais características abaixo dos mínimos exigíveis

para os fins a que se destinavam, devido à elevada percentagem de montmorilonite presente na fracção argilosa e devido à elevada percentagem de moscovite e matriz argilosa presente no grés.

Antunes (1979) (*in* Ribeiro *et al.*, 1979) fez referência a depósitos sedimentares que cobrem o Maciço Hespérico em Trás-os-Montes Oriental, parte dos quais admitiu serem do Paleogénico, embora reconhecesse a necessidade de comprovação.

Teixeira & Gonçalves (1980) referem os afloramentos das regiões de Bragança, Macedo de Cavaleiros e Vilarça, sob a designação de *Cenozóico antigo do interior do país*, no seguimento do enquadramento proposto na carta geológica de Portugal 1:500.000 (Teixeira, 1972). Estes afloramentos são apresentados como ocorrências em pequenos relevos residuais, destacando os depósitos de Vale Álvaro, descrevendo-os como leitos conglomeráticos, intercalados em níveis areno-argilosos ou arenito-calcários.

Durante as décadas de 70 e 80 do século transacto, vários foram os projectos de estudo das formações cenozóicas de Trás-os-Montes encetados pela antiga Direcção Geral de Geologia e Minas (DGGM) e o extinto Serviço de Fomento Mineiro (SFM), nos quais desenvolveram diversos programas de inventariação e valorização dos recursos nacionais. Destes projectos destaca-se em particular a prospecção de matérias primas não metálicas para aplicação na indústria cerâmica. Na sequência da campanha de prospecção levada a efeito pelo SFM, inserida no sub-projecto *Depósitos argilosos de Trás-os-Montes: estudo das suas potencialidades como fontes de matéria-prima para a cerâmica de construção*, foram publicados vários trabalhos os quais se sintetizam a seguir:

- Grade & Moura (1981) assinalaram a existência de atapulgite na fracção argilosa dos depósitos cenozóicos da região de Mogadouro-Vimioso-Miranda do Douro (Planalto Mirandês), sempre associada a esmectite, considerada de neoformação, e a carbonatos. Estes autores atribuíram a neoformação da atapulgite e da esmectite a períodos de acalmia tectónica e de clima quente e árido. Estes períodos alternariam com períodos de maior instabilidade tectónica, durante os quais se formariam as depressões que sob condições

de clima quente e húmido seriam preenchidas por sedimentos detríticos, representados na fracção mais fina pela illite e pela caulinite;

- No *Catálogo das argilas portuguesas utilizadas na indústria cerâmica*, Grade & Moura (1985) apresentam as principais características (químicas, mineralógicas e tecnológicas) das argilas das regiões de Bragança, Carvalhais (Mirandela) e Sendim (Miranda do Douro), utilizadas na *indústria do barro vermelho*. Estes autores referem a exiguidade das reservas dos depósitos de Bragança e Mirandela, salientando as reservas consideráveis das argilas da região de Sendim;
- Moreira & Lima (1987) apresentam os resultados da aplicação da prospecção geoeléctrica aos corpos argilosos da região de Palaçoulo (Planalto Mirandês), tendo elaborado uma carta de paleorelevo do substrato, vários perfis geoeléctricos e a interpretação de falhas de rejeito vertical, a partir da definição dos corpos sedimentares e do substrato;
- Grade & Moura (1987) apresentam alguns aspectos químico-mineralógicos e tecnológicos de argilas da região de Bragança, colhidas nos depósitos do aeródromo, Atalaia e de Réfega, indicando como minerais essenciais a illite, o quartzo, a caulinite e a esmectite, bem como a presença sistemática de minerais expansivos (esmectite e/ou interestratificados deste mineral) na fracção < 2 μm . Os autores referem a adequabilidade destas argilas apenas ao fabrico de tijolo;
- As regiões de Mogadouro/Miranda do Douro, Bragança e Macedo de Cavaleiros/Mirandela são referenciadas por Moreira (1991) como as principais áreas produtoras de argila comum da região de Trás-os-Montes oriental, sendo particularmente relevante, em termos produtivos, a região de Mogadouro/Miranda do Douro.

Cabral (1985), com vista ao conhecimento da actividade neotectónica de Trás-os-Montes oriental, fez várias referências geomorfológicas e descreve algumas situações em que os depósitos cenozóicos se encontram deslocados ou afectados por falhas. Destacam-se as descrições de várias ocorrências nas regiões de Bragança, Estevais, Macedo de Cavaleiros e Mirandela, e as suas conclusões relativas à neotectónica e ao levantamento das formações terciárias do *graben* da

Vilariça. O mesmo autor divulgou mais recentemente (Cabral, 1995) novos dados sobre a neotectónica desta região.

Silva *et al.* (1989) apresentam, na folha 11-C (Torre de Moncorvo) da Carta Geológica de Portugal à escala 1:50.000, a cartografia dos depósitos de cobertura cenozóicos. Na bordadura ocidental do “graben” da Vilariça identificaram as Arcoses da Vilariça, atribuindo-lhes idade ante-quaternária provável, possivelmente do Neogénico. Cartografaram também depósitos do Plistocénico constituídos por cascalheiras poligénicas, arenitos e argilas, e depósitos do Holocénico divididos em três unidades: 1 - depósitos de vertente e/ou eluviões, com cascalheira de quartzito e ferro; 2 - coluviões e 3 - aluviões. Estes autores fazem também referência à extracção de areias e saibros aluvionares na margem esquerda do rio Sabor, no entanto, com pouco significado económico.

Pereira (1991) faz referência a explorações de areia comum em depósitos sedimentares de idade cenozóica no distrito de Bragança, salientando a elevada heterogeneidade dimensional destes depósitos.

Pereira & Azevedo (1991), num trabalho de caracterização e interpretação dos depósitos cenozóicos de Trás-os-Montes oriental, fazem referência a algumas características dos depósitos da região de Bragança, considerando a existência quer de materiais paleogénicos quer de materiais do tipo raia. Os mesmos autores, em publicações posteriores (Pereira & Azevedo, 1992, 1993, 1995), apresentaram novas informações sedimentológicas sobre os depósitos cenozóicos de Trás-os-Montes.

Na sua tese de doutoramento Pereira (1997) descreve as características morfo-sedimentares e o enquadramento geomorfológico e estratigráfico das unidades litostratigráficas por ele individualizadas, que se encontram resumidas no capítulo 3, do presente trabalho.

Pereira *et al.* (2000) apresentam na Carta Geológica de Portugal escala 1:50.000, folha 7-D (Macedo de Cavaleiros) a cartografia de várias manchas de depósitos de cobertura cenozóicos. Encontram-se cartografados: 1 - depósitos conglomeráticos

com cimento carbonatado e ferruginoso atribuídos ao Oligocénico-Miocénico; 2 - depósitos de cascalheiras com matriz areno-argilosa, pliocénicos; 3 - terraços, depósitos e cascalheiras de vertente do Plistocénico e 4 - depósitos eluvio-aluviais holocénicos. Os autores fazem também alusão à existência de explorações de areias nos depósitos de cascalheiras do Pliocénico, com lavagem e rejeito da fracção argilosa, referindo que esta fracção seria mais valiosa se utilizada na indústria cerâmica.

Meireles (2000) realça a forma incorrecta como são explorados inertes na encosta norte do depósito da Atalaia, considerando que têm sido desperdiçados os materiais mais nobres, as argilas.

Pereira & Brilha (2000) estudaram a mineralogia da fracção argilosa da Formação de Vale Álvaro e concluíram com esse estudo que essa fracção resultou da combinação de argilas detriticas e de argilas de neoformação (resultantes da meteorização pós-deposicional de clastos de rochas máficas e ultramáficas), caracterizando-se pelo predomínio de montmorilonite rica em ferro e pela presença de paligorsquite, clorite interestratificados de clorite-esmectite, serpentina, talco e anfíbola.

Pereira *et al.* (2000) apresentam uma interpretação paleogeográfica e tectono-sedimentar do Cenozóico no Norte de Portugal, tendo identificado cinco episódios tectono-sedimentares. Esta interpretação foi baseada nas características, sedimentológicas e litoestratigráficas, estudadas em trabalhos anteriores pelos autores na identificação de paleoambientes, seu contexto morfo-tectónico e na sua correlação estratigráfica com outras áreas.

Mais recentemente, os trabalhos de Poças *et al.* (2003) e Poças (2004) debruçam-se sobre o conteúdo polínico dos depósitos cenozóicos do nordeste Transmontano. O estudo palinológico dos sedimentos da Formação de Vale Álvaro sugere, segundo os autores, uma sedimentação pliocénica para esta formação. Poças (2004) realizou o estudo polínico da Formação de Bragança, nomeadamente dos perfis de Sendim, Salselas, Modelo (Bragança) e Mirandela e, exceptuando o último perfil, a escassez de palinórfos permitiu apenas estabelecer uma

interpretação paleoclimática para esta formação, tendo sido sugerido um clima temperado com humidade relativamente elevada para a sua génese.

Gonçalves *et al.* (2003) apresentam uma breve síntese das potencialidades dos recursos minerais não metálicos dos depósitos cenozóicos do Planalto Mirandês, indicando a apetência destes para a exploração de areias e seixos, com utilização na construção civil. Referem a existência, em algumas zonas do depósito, de níveis argilosos potencialmente exploráveis, com aplicação na cerâmica de construção. Neste trabalho, os autores fazem uma reflexão sobre as potencialidades destes recursos, o qual poderia ser ampliado implementando a exploração sustentada dos depósitos.

5 – RECURSOS GEOLÓGICOS DO CENOZÓICO DE TRÁS-OS-MONTES ORIENTAL

A pesquisa bibliográfica efectuada, incluindo o contributo da cartografia existente, e o trabalho de campo realizado, permitiram concluir que as formações cenozóicas de Trás-os-Montes oriental ocorrem em depósitos sedimentares dispersos, em geral de pequena extensão e de espessura reduzida. Estes depósitos sedimentares encontram-se localizados em áreas distintas desta região, podendo ser agrupadas do seguinte modo: 1 – Depósitos do Planalto Mirandês; 2 – Depósitos de Bragança; 3 – Depósitos da Depressão de Mirandela; 4 – Depósitos de Macedo de Cavaleiros e 5 – Depósitos do Vale da Vilarça.

A descrição do tipo de litofácies, sua distribuição e ainda a caracterização textural e composicional dos sedimentos, permitem identificar o tipo de recursos existentes nestes depósitos. No presente estudo é apresentada uma síntese das características e das potencialidades destes recursos, por área de ocorrência, referenciando aqueles que, presentemente, são explorados ou aqueles que, no passado, o foram.

5.1 – Depósitos do Planalto Mirandês

No Planalto Mirandês ocorrem vários depósitos sedimentares cenozóicos que se distribuem entre a região de Vimioso, a norte, e a de Sendim do Douro, mais a sul. Pereira (1997) descreveu duas unidades distintas (figura 5.1) existentes no planalto, em função das suas características sedimentológicas e geomorfológicas. Essas unidades sedimentares correspondem à Formação de Bragança, com representação do Membro de Castro e do Membro de Atalaia, e à Formação de Aveleda.

A descrição das características sedimentológicas e composicionais destes depósitos, feitas por Pereira (1997), tiveram por base observações e amostragem em afloramentos e também a análise de sondagens realizadas pelo Fomento

Mineiro na região (ver figura 5.1). Com base neste estudo, Gonçalves *et al.* (2003) apresentaram um resumo da composição dimensional e mineralógica dos depósitos de maior espessura.

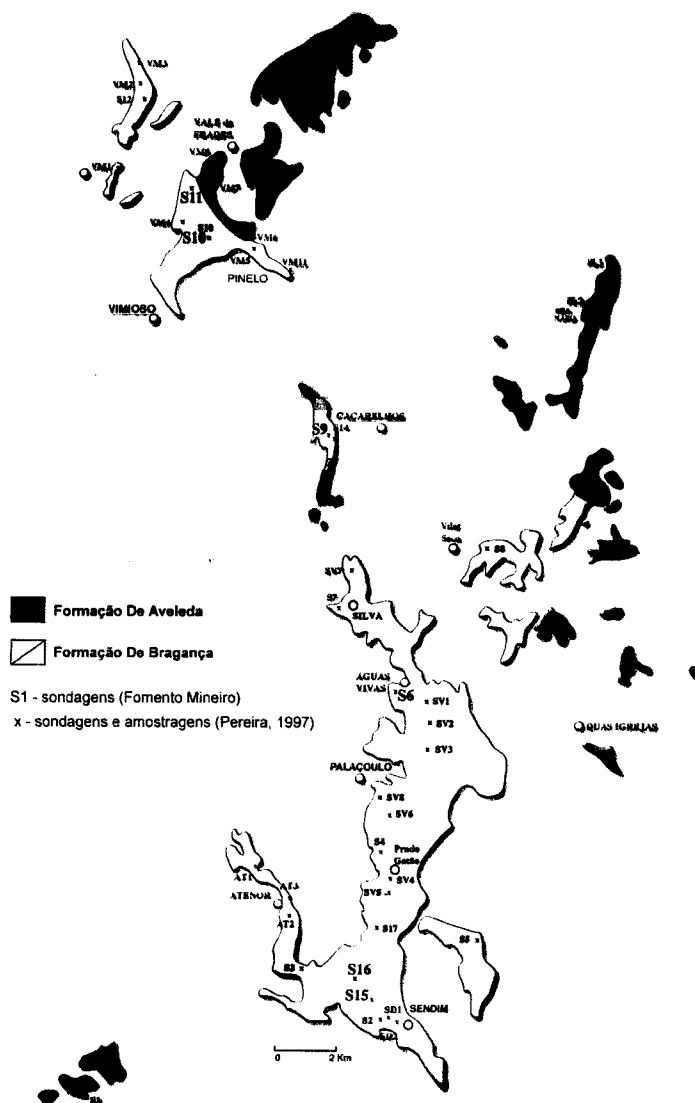


Figura 5.1 – Depósitos cenozóicos do Planalto Mirandês, com representação das sondagens e amostragens realizadas pelo Serviço de Fomento Mineiro e por Pereira (1997). Adaptado de Pereira (1997).

Os sedimentos da Formação de Bragança são, na área de Vale de Frades–Vimioso, compostos por conglomerados de matriz lutítica e matriz areno-lutítica, areias lutíticas e níveis mais finos de lutitos e lutitos arenosos com raros seixos. Em Caçarelhos (figura 5.2) existem desde níveis areno-argilosos a níveis

conglomeráticos, observando-se distintamente unidades de conglomerados, conglomerados com matriz lutítica e areias lutíticas com alguns seixos. Os níveis presentes em Vilar Seco correspondem essencialmente a conglomerados com matriz areno-lutítica intercalados por uma unidade de espessa de areias finas argilosas. Na área de Silva-Prado Gatão ocorre grande espessura (cerca de 40 metros) de lutitos arenosos (com alguns seixos), observados na sondagem S6 realizada pelo Serviço de Fomento Mineiro junto a Águas Vivas. Em Sendim abundam níveis lutíticos argilosos (figura 5.3), por vezes arenosos, e níveis conglomeráticos (conglomerados com matriz lutítica e areno-lutítica).



Figura 5.2 – Aspecto das camadas de conglomerado clasto-suportado de matriz areno-lutítica do Membro de Castro da Formação de Bragança, em Caçarelhos, Planalto Mirandês.

Quanto à composição mineralógica e/ou litológica, média, observada nos depósitos desta formação, conclui-se que: a fracção mais grosseira é constituída por seixos de quartzo, com quantidades variáveis entre os 60 e 90 %, e quartzito (10-15%). Pontualmente é frequente a ocorrência de seixos de lidito, quartzolidito e filito, em percentagens reduzidas, e apenas em alguns níveis; a fracção arenosa é maioritariamente constituída por quartzo e por uma pequena quantidade de feldspatos e fragmentos líticos vários. A percentagem média de quartzo varia entre

os 75 e 90 %, sendo a percentagem de feldspatos e dos fragmentos líticos na ordem dos 5 a 10%; os dados referentes à composição da fracção <2µm indicam um predomínio da esmectite (40-90%), seguida da caulinite (10-40%), ilite (10-30%), goetite (5-10%), e ocasionalmente paligorsquite (5-10%).



Figura 5.3 – Aspecto dos lutitos argilosos do Membro de Castro, Formação de Bragança, observados numa exploração de argilas existente na região de Sendim do Douro.

A Formação de Aveleda é essencialmente constituída por conglomerados, essencialmente clasto-suportados, por vezes suportados na matriz, sendo esta lutítica a areno-lutítica. Os conglomerados são pontualmente intercalados por níveis areno-lutíticos e por níveis de lutitos arenosos com seixos.

Esta formação apresenta uma fracção grosseira constituída por seixos de quartzo (40-80%), quartzito (25-60%), filitos (10-40%) e pontualmente quartzoliditos (10%). A fracção arenosa, maioritariamente quartzosa (70-90%), apresenta também grãos de feldspatos (0-25%) e fragmentos líticos vários (5-25%), que pontualmente podem

constituir cerca de 90% desta fracção. Quanto à composição da fracção $<2\mu\text{m}$ a caulinite é dominante (40-70%), ocorrendo também ilite (10-50%), esmectite (5-30%) e goetite (5-10%).

Os recursos destes depósitos sedimentares estão relacionados com a abundância da fracção mais grosseira (seixos e areias), com aplicação na indústria da construção civil. A existência de camadas argilosas (camadas lutíticas), localizadas na região de Sendim, pertencentes ao Membro de Castro da Formação de Bragança, constitui também um importante recurso com potencial aplicação na indústria da cerâmica de construção.



Figura 5.4 – Exploração de argilas, no Membro de Castro da Formação de Bragança, na região de Sendim do Douro.

Analisando o panorama actual e passado de exploração dos recursos destes depósitos, verifica-se que eles têm sido procurados pelos níveis de lutitos argilosos existentes na região de Sendim do Douro. Actualmente, as explorações existentes situam-se precisamente nos depósitos dessa região, onde existem várias explorações de argilas comuns (ver figura 5.4), umas desactivadas outras em plena laboração, servindo a matéria prima extraída para alimentar a Fábrica da Cerâmica do Planalto, localizada em Mogadouro.

5.2 – Depósitos de Bragança

Os principais depósitos cenozóicos da região de Bragança encontram-se na zona designada por Depressão de Bragança, que corresponde à área da cidade e seus arredores. Existem ainda outros depósitos com alguma importância, nas áreas de Palácios-Quintanilha e de Mós-Sortes. Observam-se ainda algumas manchas sedimentares de menor expressão cartográfica localizadas nas áreas de Pinela e de Rio de Onor (figura 5.5).

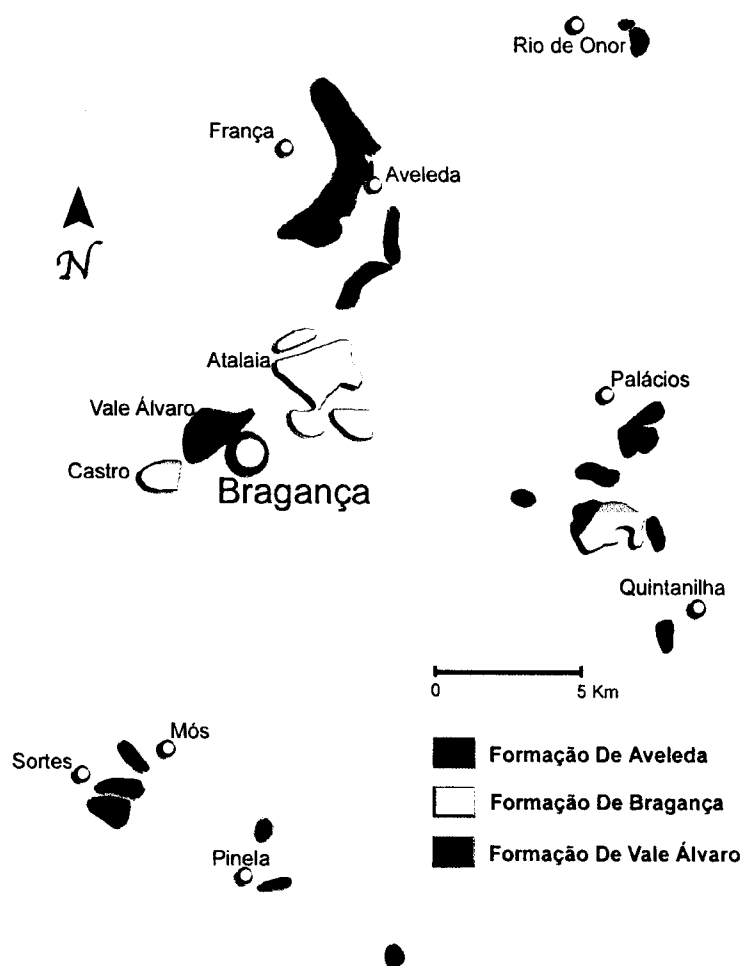


Figura 5.5 – Depósitos cenozóicos da região de Bragança (adaptado de Pereira, 1997).

O estudo sedimentológico dos depósitos desta região permitiram a Pereira (1997) individualizar as seguintes formações: Formação de Vale Álvaro, Formação de Aveleda; e Formação de Bragança, com o Membro de Castro e o Membro de Atalaia. Cada formação apresenta características sedimentológicas, que imprimem

ligeiras variações no tipo de recurso existente, como se poderá constatar a partir da descrição que se apresenta de seguida.

A Formação de Vale Álvaro está presente na zona a noroeste da cidade de Bragança. É constituída na base por um nível carbonatado branco e compacto, com cerca de um metro de espessura, ao qual se seguem níveis de conglomerados, margas e arenitos carbonatados maciços de cor vermelha. Os conglomerados são maioritariamente constituídos por clastos de rochas básicas, com raros clastos de quartzo, geralmente consolidados por cimento carbonatado. A fracção <2µm destes materiais é composta por esmectite (60-90%), caulinite, clorite e paligorsquite.

A norte e oeste de Bragança, na zona de Atalaia e Castro respectivamente, afloram depósitos da Formação de Bragança. Ela é essencialmente constituída nestas áreas por conglomerados clasto-suportados com matriz areno-lutítica, alguns níveis de areia lutítica por vezes com seixos, lutitos arenosos e lutitos. As camadas com predominio de sedimentos finos localizam-se essencialmente no Membro de Castro, enquanto que o Membro de Atalaia é predominantemente mais grosseiro.

Nos depósitos situados entre Palácios e Quintanilha também ocorre esta formação, sendo constituída maioritariamente por conglomerados clasto-suportados, com matriz essencialmente arenosa a areno-lutítica, por vezes intercalando com leitos de lutitos arenosos com raros seixos e leitos lutíticos.

Quanto à composição mineralógica e/ou litológica, média, observada nos depósitos desta região, conclui-se que: a fracção mais grosseira é constituída por seixos de quartzo com quantidades variáveis entre os 40% e os 80%, quartzito (5-10%), quartzolidito (10-25%), filitos (5-10%), e ainda por seixos de paragnaisses e rochas básicas muito alteradas (10-40%); a fracção arenosa é maioritariamente composta por grãos de quartzo (80-90%), feldspatos (1-15%) e por pequenas quantidades de fragmentos de rochas, geralmente quartzitos ou outros metassedimentos; as informações referentes à composição da fracção <2µm indicam um predominio da esmectite (20-60%), seguida da caulinite (15-40%), ilite (10-20%), goetite (5-15%), e ocasionalmente vermiculite (5-10%).

A norte de Bragança, entre a Atalaia e Aveleda, encontram-se vários afloramentos da Formação de Aveleda, onde predominam bancadas de conglomerados, ocorrendo esporadicamente leitos de lutitos com seixos e lutitos arenosos com raros seixos. Dos conglomerados uns são clasto-suportados outros são suportados na matriz. Em ambos os casos a matriz é lutítica a areno-lutítica.

Os depósitos, onde ocorre esta formação, existentes na área de Palácios-Quintanilha, são compostos por conglomerados, normalmente clasto-suportados com matriz lutítica, intercalandos por leitos lutíticos com areia e raros seixos.

Na região entre Mós e Sortes os depósitos são predominantemente conglomeráticos com alguns leitos lutíticos e arenosos. Na zona de Mós são essencialmente conglomeráticos, clasto-suportados, de matriz areno-lutítica, apresentando o depósito cerca de 15m de espessura. Na zona de Sortes os níveis conglomeráticos têm cerca de 2 metros de espessura, são também clasto-suportados com matriz lutítica.

Encontra-se também a Formação de Aveleda em Rio de Onor e em Pinela, constituída por conglomerados suportados na matriz, sendo esta lutítica. Existem também alguns leitos, pouco espessos, de lutíticos arenosos com raros seixos.

A composição mineralógica e/ou litológica, média, dos depósitos sedimentares desta formação nesta região é a seguinte: a fracção mais grosseira é constituída por seixos de quartzo (30-80%), quartzolidito (10-50%), quartzito (0-15%), filitos (0-10%), paragnaisses, gnaisses e rochas básicas muito alteradas (0-15%), e na mancha de Sortes por seixos de granitos ($\approx 10\%$); a fracção arenosa é composta por grãos de quartzo (80-90%), feldspatos (0-15%, pontualmente até 30%) e por pequenas quantidades grãos de fragmentos de rocha, geralmente de quartzitos e de outros metassedimentos; a fracção $<2\mu\text{m}$ é constituída por caulinite (20-60%), illite (10-40%), esmectite (0-25%), goetite (5-15%), esporadicamente ocorrem alguns níveis com clorite (até 15%) e vermiculite (até 10%).

Os depósitos cenozóicos desta região apresentam potencialidades elevadas como fontes de exploração de inertes (seixo e areia) para a construção civil e algum

potencial na exploração dos níveis lutíticos, para aplicação na indústria cerâmica. Relativamente aos níveis lutíticos, nomeadamente os da mancha de Castro e Atalaia, Grade e Moura (1985 e 1987) descrevem estes materiais como “argila comum”, apresentando além de reservas reduzidas aplicação industrial limitada ao fabrico de tijolo.

A exploração de inertes nos depósitos de Atalaia foi referida por Meireles (2000), estando actualmente inactiva. Os níveis lutíticos da mancha de Castro alimentaram duas fábricas de cerâmica, a Fábrica de Cerâmicas de Campo Redondo, que encerrou no início da década de 1990 e a Cerâmica da Veiga já referida como abandonada por Ramalhal (1968).

5.3 – Depósitos da Depressão de Mirandela

Os depósitos sedimentares cenozóicos presentes na Depressão de Mirandela têm escassa representação cartográfica, correspondendo a depósitos de área e espessura reduzida. Localizam-se nas imediações da cidade de Mirandela, uns a norte, em direcção a Torre de Dona Chama, e outros a noroeste, em direcção a Valpaços (ver figura 5.6).

Com base nas suas características sedimentológicas e geomorfológicas Pereira (1997) diferenciou, nesta região, a Formação de Aveleda, a Formação de Mirandela, e a Formação de Bragança, desta estando representados o Membro de Castro e o Membro de Atalaia.

Os depósitos da Formação de Aveleda, nesta região, são pouco espessos, maioritariamente compostos por conglomerados clasto-suportados, de matriz lutítica e areno-lutítica, por vezes associados a leitos lutíticos arenosos.

Quanto à composição litológica e/ou mineralógica média desta formação, verifica-se que: a fracção mais grosseira é composta maioritariamente por seixos de quartzo (70-90%), quartzoliditos (10%), quartzitos (5-10%) e filitos (5-10%); as areias são essencialmente quartzosas (80-95%), com alguns grãos de feldspatos (1-5%) e fragmentos líticos vários (0-5%).

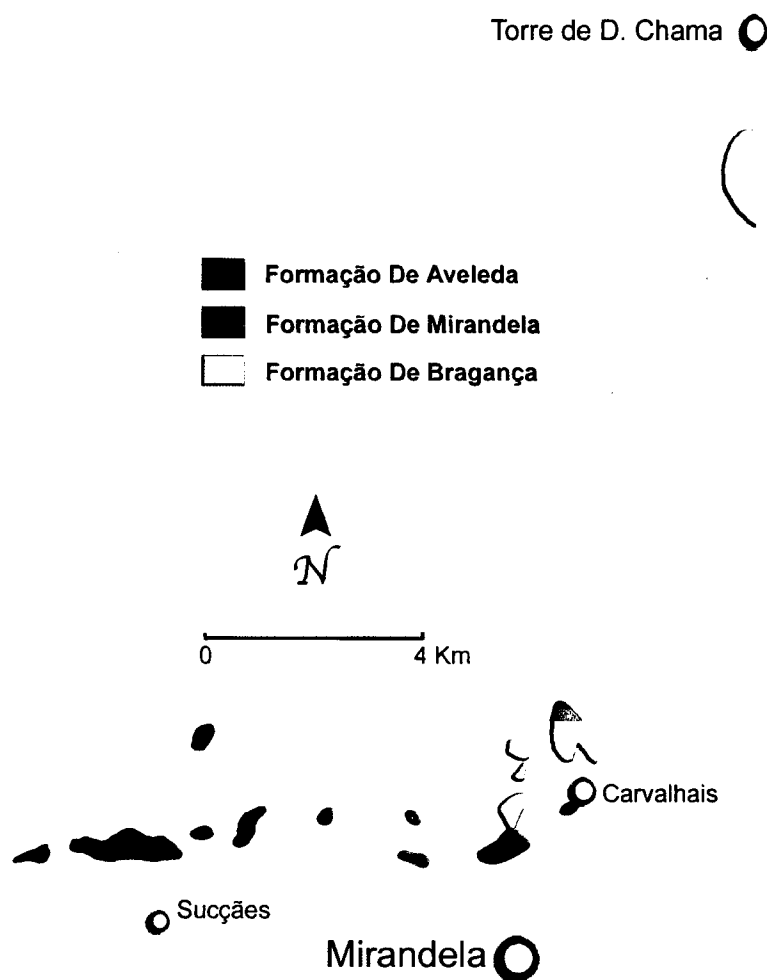


Figura 5.6 – Depósitos cenozóicos da região de Mirandela (adaptado de Pereira, 1997).

A Formação de Mirandela é constituída, nesta região, por níveis conglomeráticos, clasto-suportados, de matriz arenosa a areno-lutítica, intercalados por níveis arenosos estreitos e raros níveis de lutitos.

A composição mineralógica e/ou litológica, média, dos depósitos sedimentares desta formação é a seguinte: a fracção mais grosseira é constituída por seixos de quartzo (75-95%), quartzolidito (0-10%), quartzito (0-10%), e filitos (0-5%); a fracção arenosa é composta por grãos de quartzo (80-90%), feldspatos (0-15%, pontualmente até 20%) e por pequenas quantidades grãos de fragmentos de rocha; a fracção $<2\mu\text{m}$ é contém minerais de caulinite (60-90%), ilite (10-20%) e goetite (5%).

Os depósitos do Membro de Atalaia da Formação de Bragança, são conglomeráticos, clasto-suportados, de matriz arenosa ou lutítica, intercalados por níveis arenosos. O Membro de Castro é constituído por níveis lutíticos e lutíticos arenosos, com intercalações de níveis conglomeráticos de matriz areno-lutítica.

Quanto à composição mineralógica e/ou litológica, média, observada nos depósitos desta região, conclui-se que: a fracção mais grosseira é constituída por seixos de quartzo (50%-70%), filitos (25-40%), e quartzolidito (5-10%); a fracção arenosa é maioritariamente composta por grãos de quartzo (70-90%), feldspatos (5-15%), e por fragmentos líticos (5-20%); os dados referentes à composição da fracção $<2\mu\text{m}$ indicam um predomínio da esmectite (45-70%), seguida da caulinite (15-40%), illite (10-20%), e goetite (5%).

As potencialidades dos recursos desta região não são elevadas, dada a reduzida área e espessura dos depósitos. Os potenciais recursos centram-se na exploração de inertes (seixo e areia) para a construção civil, e na exploração de alguns níveis de lutitos com aplicação na indústria da cerâmica de construção.

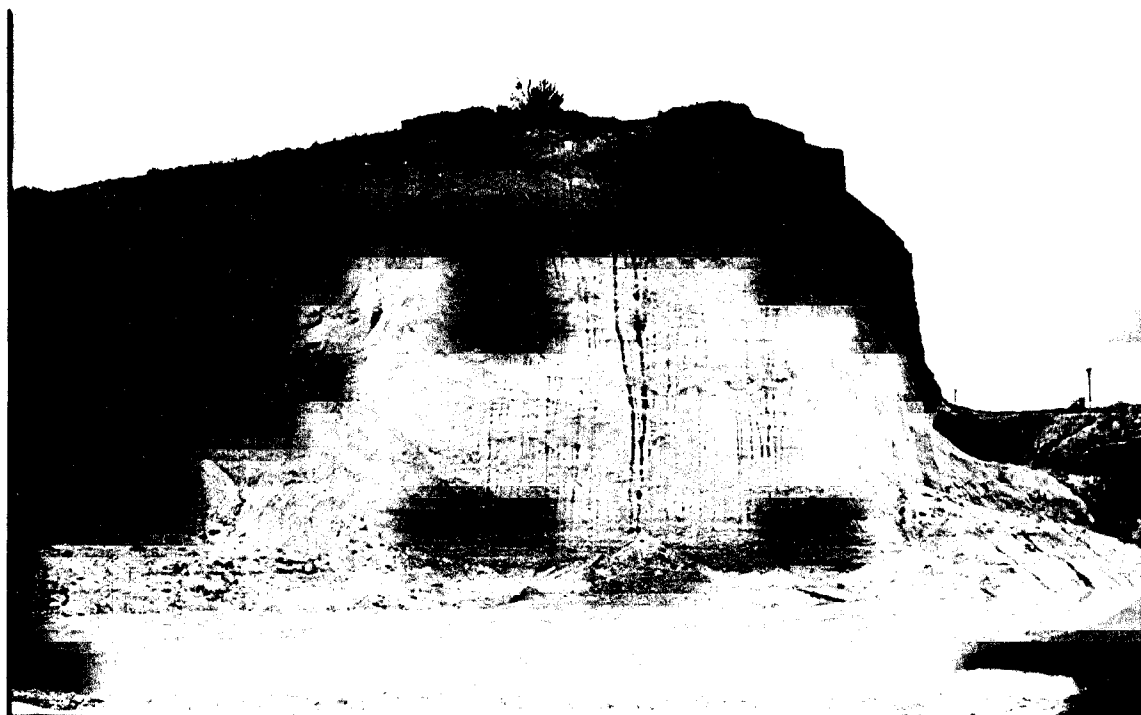


Figura 5.7 – Areeiro da Tuareia localizado no alto da Bandeira, Mirandela, onde se exploram unidades areno-conglomeráticas da Formação de Mirandela.

Existe actualmente na região uma empresa (Tuareias) a explorar os depósitos para obtenção de inertes, possuindo dois areeiros, um no Alto da Serrinha, próximo de Carvalhais junto ao IP4 (ver figura 5.7), e outro ligeiramente mais a norte, junto à estrada nº213 que liga Mirandela a Valpaços. Estes dois areeiros atingiram quase o limite das reservas do depósito.

Os níveis lutíticos da mancha do Alto da Bandeira (norte de Carvalhais) serviram no passado de fonte de alimentação a uma cerâmica existente na região, que produzia telha e tijolo. Grade e Moura (1985) caracterizaram estes materiais como “argila comum”, com aplicação limitada aos fins em que foi empregue, referindo a exiguidade das reservas existentes. Actualmente, o local de onde outrora foi extraído este material, está parcialmente aterrado.

5.4 – Depósitos de Macedo de Cavaleiros

A maioria dos depósitos cenozóicos cartografados na região de Macedo de Cavaleiros ocorrem entre Valebemfeito e Matela, localizando-se os mais importantes a leste de Macedo de Cavaleiros (ver figura 5.8).

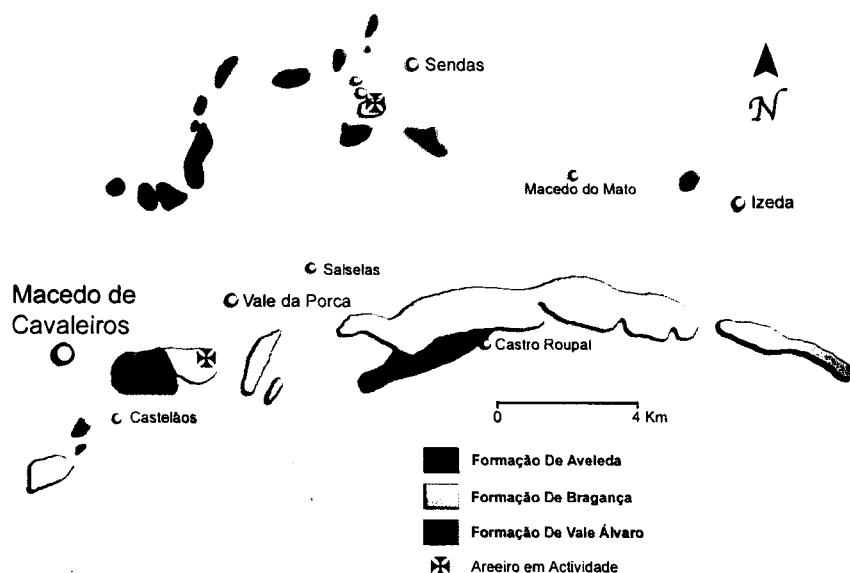


Figura 5.8 – Depósitos cenozóicos da região de Macedo de Cavaleiros (adaptado de Pereira, 1997).

Os dados sedimentológicos e geomorfológicos apresentados por Pereira (1997) permitiram a este autor reconhecer, nesta região, três formações: Formação de Vale Álvaro; Formação de Aveleda e Formação de Bragança.

A Formação de Vale Álvaro é composta por níveis conglomeráticos, clasto-suportados, de matriz areno-lutítica, com intercalações de níveis arenosos e lutíticos de reduzida espessura. Estes sedimentos encontram-se consolidados por um cimento margoso.

Os conglomerados desta formação são compostos essencialmente por seixos de rochas básicas. A sua fracção arenosa é composta por fragmentos líticos vários (60-70%), feldspatos (10-20%) e quartzo (10%). Na fracção $<2\mu\text{m}$ a esmectite é dominante (40-90%), observando-se alguns níveis com paligorskite (até 60%) e caulinite (5-10%).

A Formação de Aveleda, nesta região, é constituída por níveis predominantemente conglomeráticos geralmente clasto-suportados, por vezes suportados na matriz, matriz esta areno-lutítica. Os conglomerados encontram-se intercalados por níveis lutíticos e areno-lutíticos descontínuos.

Nesta formação a fracção mais grosseira é composta essencialmente por seixos de quartzo (40-90%), filitos (20-40%), quartzito (10-40%) e rochas básicas (5-20%). Os grãos de fragmentos líticos constituem cerca de 50-60% da fracção arenosa e os grãos de quartzo 40 a 60%. A fracção $<2\mu\text{m}$ é composta por illite (40-90%), esmectite (10-50%), caulinite (15-50%) e goetite (5%).

A Formação de Bragança nesta região é constituída por depósitos conglomeráticos, de matriz areno-lutítica, intercalados por níveis arenosos e níveis lutíticos-arenosos, normalmente estreitos mas por vezes atingindo os quatro metros de espessura (ver figura 5.9 e 5.10).

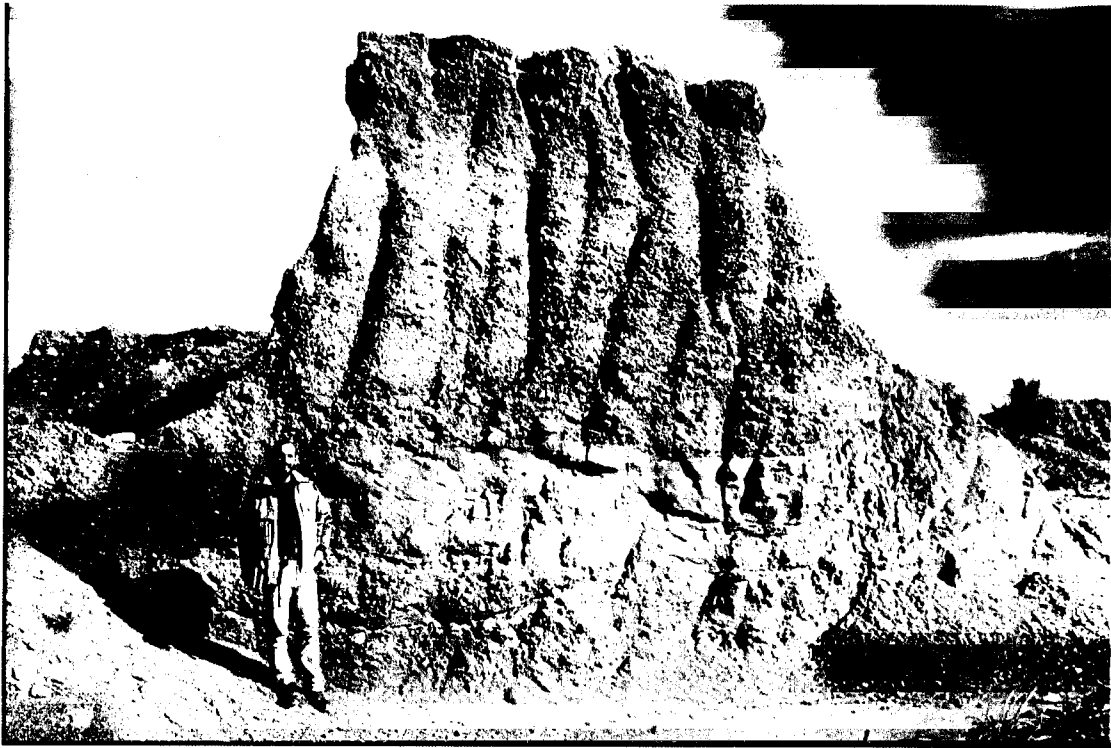


Figura 5.9 – Areeiro da Finareia próximo de Salselas, Macedo de Cavaleiros. Aspecto dos níveis conglomeráticos da base do Membro de Atalaia da Formação de Bragança (parte superior) sobrepostos a níveis areno-lutíticos do Membro de Castro da mesma formação (parte inferior).



Figura 5.10 – Areeiro de Sendas, concelho de Bragança. Aspecto da Formação de Bragança, observando-se níveis conglomeráticos intercalados com níveis areno-lutíticos.

Os conglomerados desta formação são constituídos por seixos de quartzo (50-90%), quartzito (0-10%), filitos (0-30%), e fragmentos de rochas básicas por vezes alteradas (0-25%). A fracção arenosa é composta por grãos de quartzo (40-90%), feldspatos (5-15%), e grãos de fragmentos líticos vários (5-60%). Quanto à composição em minerais de argila, a caulinite é o mineral mais abundante (20-60%), ocorrendo também esmectite (5-40%) e illite (10-60%). Observa-se também goetite (5-10%) e em alguns níveis vermiculite ($\approx 5\%$).

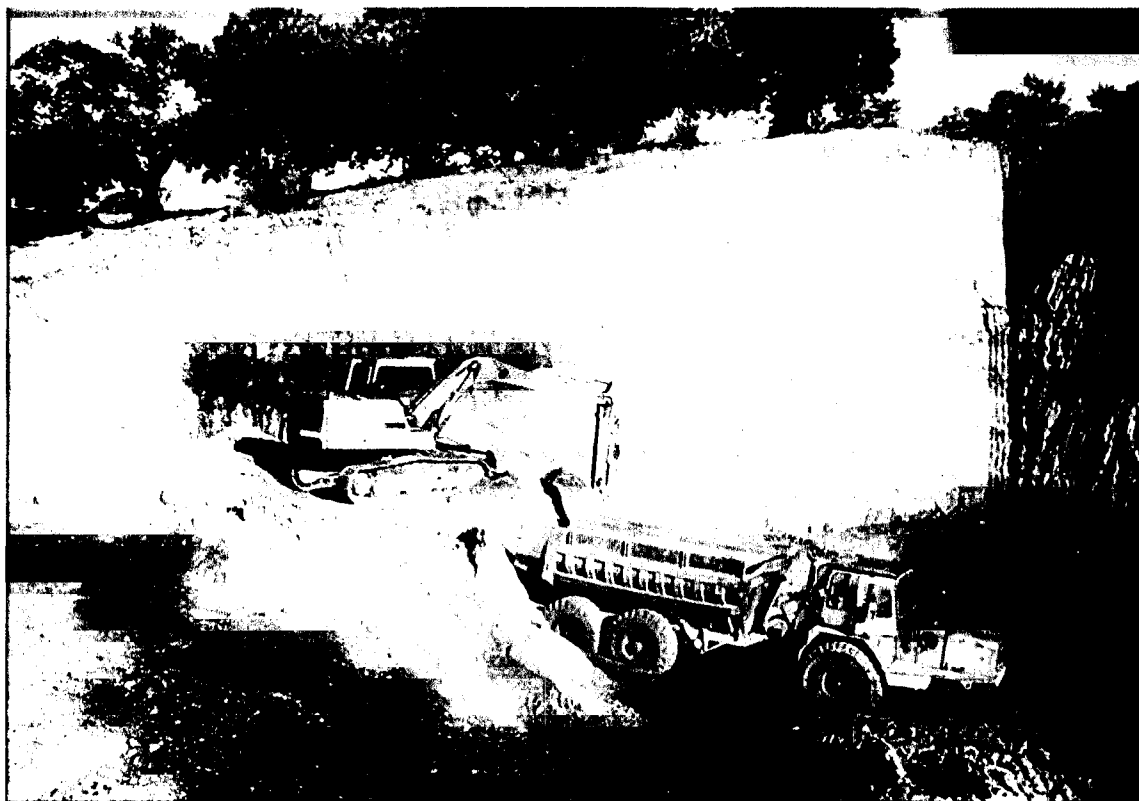


Figura 5.11 – Areeiro de Vale da Porca. Pormenor da exploração dos níveis conglomeráticos pertencentes ao Membro de Atalaia da Formação de Bragança.

A potencialidade dos recursos desta região, dada a granulometria dos sedimentos aqui encontrados, está relacionada com a exploração de inertes (seixo e areia) para a construção civil e obras públicas. É com este fim que os depósitos desta região têm vindo a ser explorados, encontrando-se em laboração alguns areeiros, estando outros inactivos ou apresentando lavra intermitente. Das explorações encontradas na região destacamos as seguintes:

- areeiro de Vale da Porca (figura 5.11), localizado nas proximidades da aldeia com o mesmo nome, apresenta lavra contínua e está em actividade desde 1993;
- areeiro de Sendas (figura 5.10), localizado nas proximidades da aldeia de Sendas, também apresenta lavra contínua, e está em actividade desde 1988/89;
- areeiro da Finareia (figura 5.9), localizado nas imediações da aldeia de Salselas, tem sido explorado de modo intermitente estando, ao tempo de redacção deste trabalho, inactivo;
- areeiro da Carrasqueira, localizado no Alto da Carrasqueira situado entre vale da Porca e Salselas, encontra-se desactivado.

5.5 – Depósitos do Vale da Vilariça

Os depósitos cenozóicos do vale da Vilariça (ver figura 5.12) são constituídos pelas seguintes unidades: aluviões actuais; terraços baixos da ribeira da Vilariça; Formação de Sampaio; e Arcoses da Vilariça.

As aluviões actuais e os depósitos dos terraços baixos da ribeira da Vilariça são constituídos por conglomerados, de matriz lutítica e areno-lutítica, areno-conglomerados e lutitos arenosos. A fracção mais grosseira é composta por seixos de filito e micaxisto, que são dominantes, existindo em alguns locais seixos de quartzo, quartzito e granito. As areias são maioritariamente compostas por grãos de fragmentos líticos vários (55-75%), grãos de quartzo (20-40%) e feldspatos (<5%). A ilite (40-60%) e a caulinite (20-50%) são dominantes na fracção <2 μ m, ocorrendo também esmectite (10-20%) e goetite (5-10%).

A Formação de Sampaio é constituída por níveis conglomeráticos, uns clasto-suportados outros suportados na matriz, sendo esta lutítica e areno-lutítica. Os níveis de conglomerados são intercalados por leitos lutíticos e areno-lutíticos com seixos. Na fracção grosseira os seixos de quartzo e filito são dominantes, ocorrendo também seixos de micaxisto, quartzito e em alguns níveis granito. A fracção arenosa é composta por grãos de fragmentos líticos vários (40-90%), quartzo (10-50%) e feldspatos (5-20%). Na fracção <2 μ m a caulinite é dominante (30-70%) a par da ilite

(20-60%), ocorre também esmectite (5-20%), goetite (4-10%) e pontualmente vermiculite (5%).

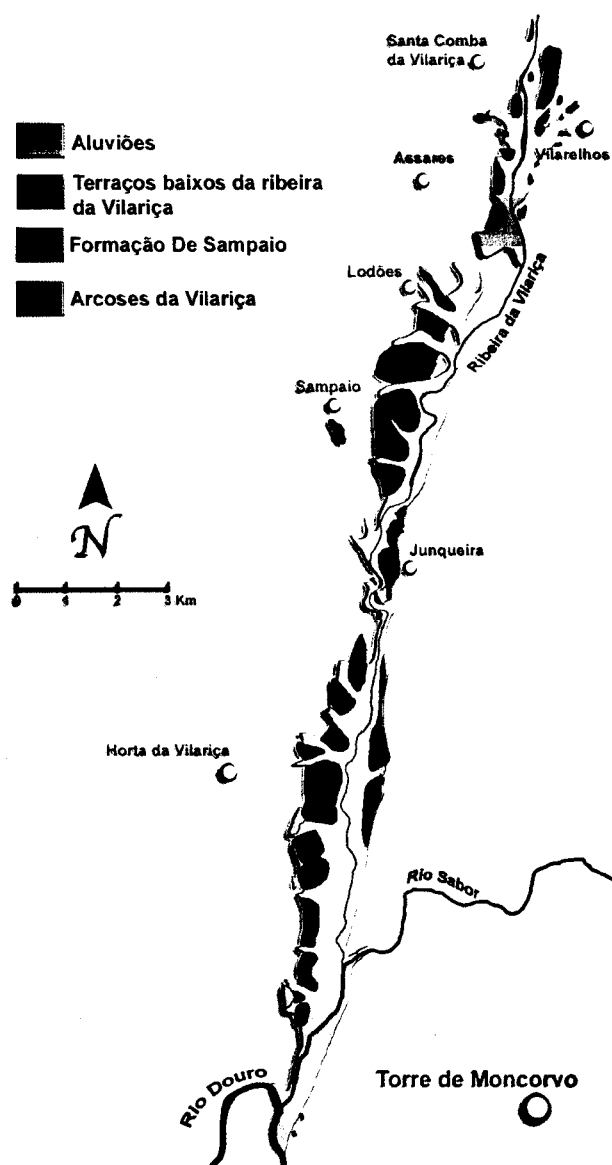


Figura 5.12 – Depósitos do Vale da Vilarça (adaptado de Pereira, 1997).

As Arcoses da Vilarça, localizadas a sul da Horta da Vilarça, são essencialmente compostas por areias lutíticas com seixos e conglomerados areno-lutíticos. A fracção mais grosseira é maioritariamente constituída por seixos de quartzo e de granito. A fracção arenosa é essencialmente quartzo-fedspática. Quanto à fracção $<2\mu\text{m}$, a caulinite ocorre com teores de 30 a 50%, a esmectite com 20 a 40% e a illite com teores entre 15 e 30%.

As potencialidades destes depósitos centram-se na exploração das unidades mais grosseiras, para produção de inertes (seixo e areia) com aplicação na construção civil. Alguns destes materiais, nomeadamente as Arcoses da Vilariça, foram explorados com este fim. Actualmente, segundo o que foi possível apurar, não existe qualquer exploração nos depósitos desta região.

6 – EXPLORAÇÕES E RESÍDUOS

6.1 – Introdução

Os depósitos cenozóicos de Trás-os-Montes Oriental possuem, como se descreveu no capítulo anterior, uma elevada heterogeneidade dimensional. Esta diversidade composicional constitui um recurso de elevado potencial, se devidamente aproveitado, podendo estes depósitos constituir fonte de matéria-prima para a indústria da construção civil e obras públicas (produção de inertes – seixo e areia) e para a indústria da cerâmica de construção (produção de argilas comuns).

Limitar a exploração destes depósitos a um intervalo restrito de dimensões, em que apenas são aproveitadas as argilas ou as areias e os seixos, conduz à delapidação destes recursos e à diminuição das suas potencialidades. Este panorama foi observado em várias explorações existentes nesta região de Trás-os-Montes por Meireles (2000) e Pereira, E. *et al.* (2000), já citados anteriormente, e que, resumidamente, indicam o desaproveitamento nas explorações de inertes das bancadas mais argilosas e da matriz lutítica das bancadas mais grosseiras.

A análise, após pesquisa bibliográfica e de campo, dos recursos existentes nesta região, suas potencialidades e forma como são explorados, permitiu constatar que o panorama referido pelos autores atrás mencionados se mantêm. Verificou-se que os areeiros que se encontram presentemente activos na região apenas exploram a fracção mais grosseira dos sedimentos (seixos e areias com dimensão superior a 70 μ m), não aproveitando a fracção restante. Essa fracção desaproveitada é considerada resíduo de exploração sendo depositada, na generalidade dos areeiros, após a lavagem dos sedimentos, em tanques de decantação, vulgarmente designados como tanques de lamas ou de resíduos.

Os resíduos gerados por esta indústria extractiva têm associados impactes vários, de índole ambiental e relacionados com a progressão da exploração. Os impactes

ambientais causados pelos resíduos têm origem: 1) na contaminação da rede fluvial com partículas finas, se as águas residuais não passarem por tanques de decantação de modo a perderem toda a carga que possuem em suspensão; 2) no perigo potencial de ruptura de alguns desses tanques, com a consequente escoada ou deslizamento dos resíduos acumulados, visto localizarem-se em pontos elevados e 3) no impacto visual exercido sobre a paisagem provocado pela presença dos tanques de decantação. Estes impactes associam-se aos causados directamente pela exploração (impacte visual da escavação, as alterações da topografia, interferência nos lençóis freáticos, etc.)

A deposição dos resíduos de exploração em tanques, onde são acumulados por decantação das águas residuais, constitui na maior parte dos casos um estorvo, impedindo a progressão das explorações. Estes tanques, para além da acumulação da carga sólida (argila, limo e areia muito fina) transportada pelas águas residuais, permitem o reaproveitamento da água para o processo de lavagem, com inerentes benefícios económicos. No entanto, verifica-se que na generalidade das explorações estes tanques são colocados em áreas adjacentes às zonas de exploração, usualmente em cima de depósitos sedimentares, ou dentro de zonas anteriormente exploradas. Este facto leva a que a progressão da exploração ou a reactivação da mesma em zonas anteriormente escavadas não seja possível dada a ocupação dessas áreas pelos referidos tanques, reduzindo desta forma o tempo de vida útil da exploração.

A avaliação das potencialidades destes resíduos como possível sub-produto de exploração, isto é, como possível recurso, indo ao encontro do preconizado por Leite (2000) que refere a reciclagem dos resíduos da indústria extractiva, aproveitando-os como sub-produto com potenciais mais valias significativas, poderá ajudar a mitigar parte do impacte associado a estes resíduos, contribuindo assim para uma maior rentabilização da exploração dos recursos cenozóicos da região.

Com o intuito de avaliar as potencialidades destes resíduos como sub-producto de exploração, nomeadamente a sua possível utilização como matéria-prima cerâmica, seleccionaram-se os areeiros de Sendas e de Vale da Porca, cujas características se apresentam a seguir. Para a escolha destes areeiros foi tida em consideração a sua

dimensão, a dimensão dos tanques de resíduos, a idade da exploração, e a facilidade de acesso aos resíduos e aos locais de exploração. A avaliação das características mineralógicas, químicas, granulométricas e tecnológicas dos resíduos destes areeiros servirá como estudo de caso, podendo-se vir a extrapolar o tipo de abordagem implementada para outras explorações da região com características idênticas às aqui estudadas.

6.2 – Areeiro de Vale da Porca

6.2.1 – Localização

O areeiro de Vale da Porca é assim designado por se localizar nas proximidades da aldeia com o mesmo nome, pertencente ao concelho de Macedo de Cavaleiros, distrito de Bragança. Situa-se ligeiramente a sudoeste de Vale da Porca, numa elevação sobranceira à estrada nacional n.º 564, que faz ligação a Vimioso e à aldeia de Morais. A exploração é também sobranceira à antiga via de caminho de ferro da linha do Tua, junto ao km 87 (figura 6.1).

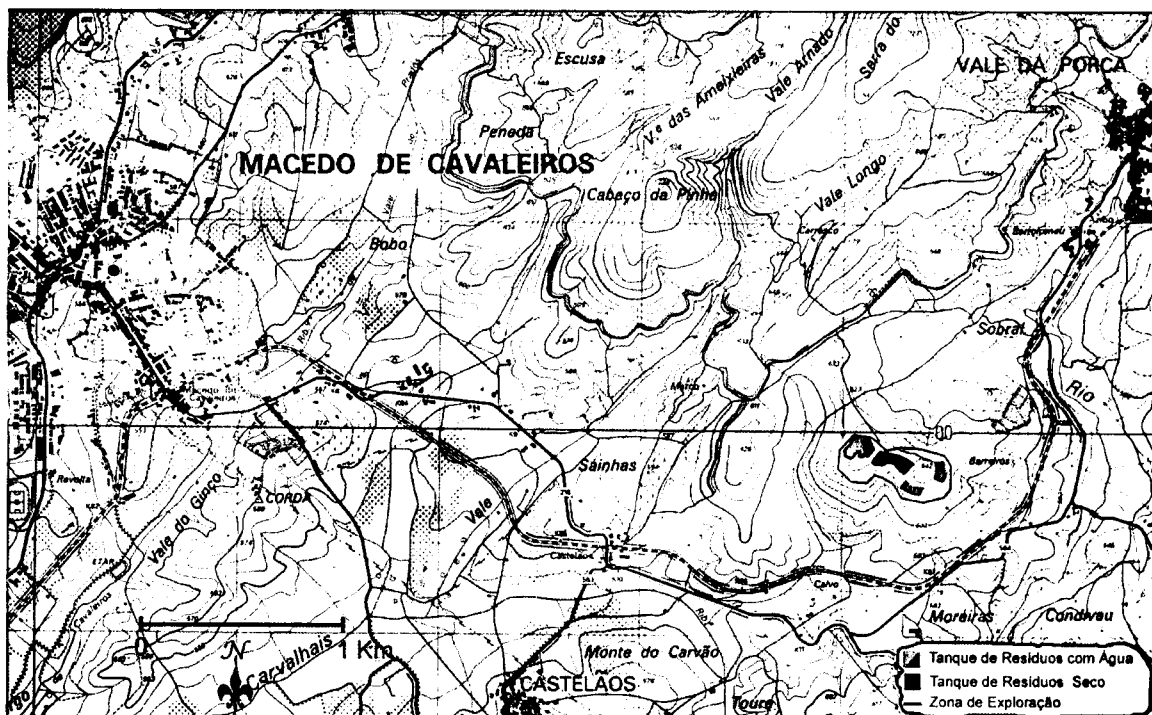


Figura 6.1 – Extracto da Carta Militar de Portugal à escala 1/25.000, folha 78, de Macedo de Cavaleiros, com a localização do areeiro de Vale da Porca.

6.2.2 – Características do depósito sedimentar explorado

Os depósitos cenozóicos explorados neste areeiro, localizam-se numa elevação onde ocorreu inversão de relevo, pertencem à Formação de Bragança, estando representados o Membro de Castro e o Membro de Atalaia (Pereira, 1997). Estes depósitos são constituídos, no Membro de Castro, por sequências positivas de níveis conglomeráticos a areno-conglomeráticos, de matriz areno-lutítica, intercaladas por níveis lutíticos e terminando numa sequência positiva de leitos de areias lutíticas e de lutitos arenosos. O Membro de Atalaia é essencialmente constituído por uma sequência negativa de níveis conglomeráticos de matriz areno-lutítica, intercalados por estreitos leitos areno-lutíticos.

A percentagem média da fracção arenosa (2mm-63 μ m) e da fracção seixo (>2mm) dos sedimentos explorados varia entre 60 e 85% nas unidades arenosas e conglomeráticas e entre 25 e 50% nas unidades lutíticas e areno-lutíticas. O teor das fracções limo (63-4 μ m) e argila (<4 μ m) varia nesse tipo de unidades entre 15 a 40% e entre 50 a 75% respectivamente.

A fracção mais grosseira é maioritariamente constituída por seixos de quartzo (70 a 90%), embora as unidades conglomeráticas do topo do enchimento deste depósito apresentem apenas cerca de 40 a 50% de seixos desta natureza. Em percentagens mais reduzidas ocorrem seixos de vulcanitos (ácidos e básicos) e de filitos, por vezes alterados, principalmente aqueles que se encontram em leitos próximos da superfície. Observam-se pontualmente alguns seixos de quartzito.

A fracção arenosa destas unidades, foi estudada por Pereira (1997), é essencialmente composta por grãos de quartzo ($\approx$ 85 %), alguns grãos de feldspato (5 a 10%) e de fragmentos líticos vários (1 a 7%).

Os minerais de argila predominantes, identificados por Pereira (1997) na fracção <2 μ m, são a caulinite (15 a 60%), a ilite (20 a 40%), a esmectite (15 a 50%) e a goetite (5 a 10%).

6.2.3 – Descrição da exploração

O areeiro de Vale da Porca iniciou actividade em 1993, segundo informação do responsável da exploração, tendo sido explorado de forma contínua até à presente data. O areeiro produz areias e seixos para utilização na construção civil e em obras públicas, sendo essencialmente consumidos nos mercados de Bragança, Macedo de Cavaleiros e Mirandela.



Figura 6.2 – Pormenor da exploração realizada no areeiro de Vale da Porca.

O método de exploração usado neste areeiro consiste no desmonte das unidades sedimentares com recurso a máquinas giratórias equipadas com pás escavadoras (figura 6.2). Os sedimentos removidos são colocados em camiões e transportados até uma central de processamento onde, por crivação húmida, se realiza a separação por intervalos dimensionais dos seixos e das areias e se remove a fracção mais fina (fracção $<70\mu\text{m}$). Numa fase inicial da exploração, segundo informação de um técnico do areeiro, o processo de lavagem e crivação não era eficaz na recuperação de uma parte significativa das areias mais finas (fracção até

0,5 mm), facto esse bem registado em certas partes do tanque de lamas mais antigo onde a percentagem de areia é mais elevada.

6.2.4 – Descrição dos tanques de resíduos de exploração

As águas residuais deste areeiro, resultantes do processo de lavagem dos seixos e areias, são encaminhadas para tanques de decantação onde são colocadas em repouso até que a carga limo-argilosa e as areias mais finas, que contêm em suspensão, se deposite totalmente de modo a permitir a reutilização dessa água no processo de lavagem, dada a sua escassez nesta zona, ou possa ser devolvida à rede hídrica, quando em excesso.

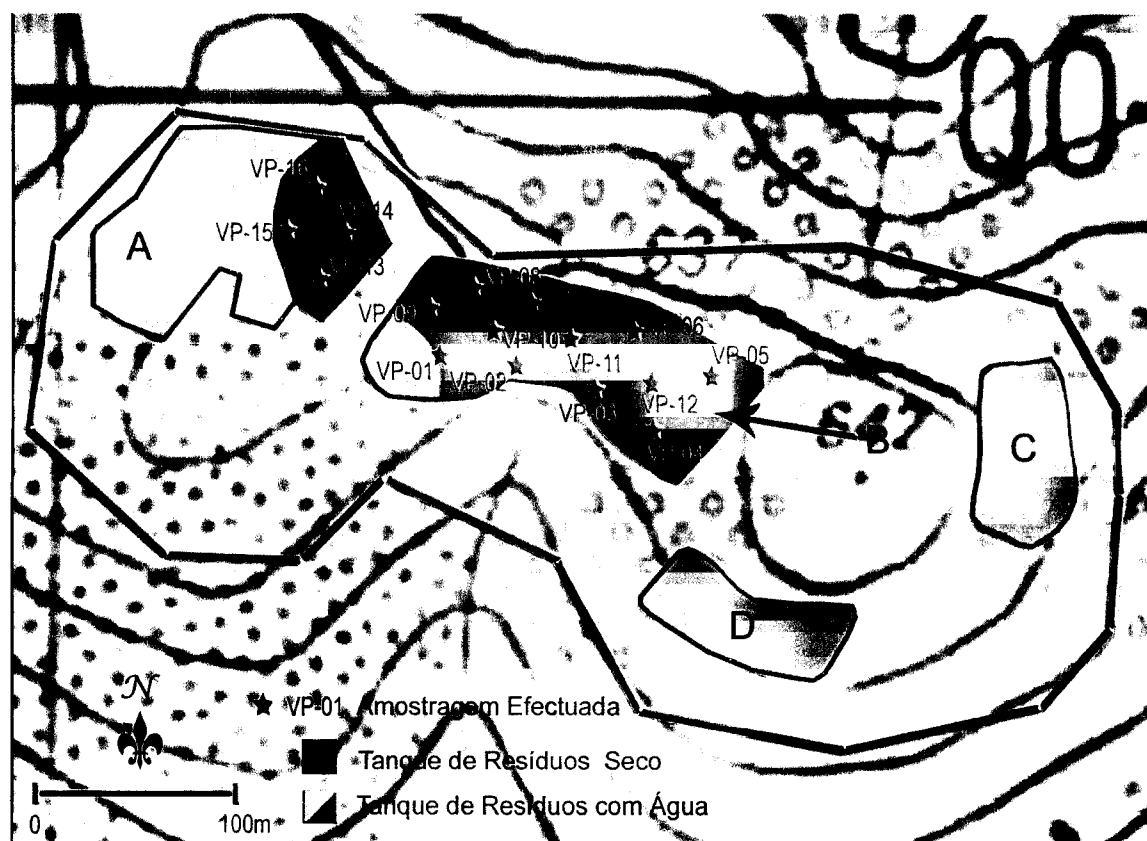


Figura 6.3 – Tanques de resíduos de exploração do Areeiro de Vale da Porca. Extracto da Carta Militar de Portugal, à escala 1/25.000, folha 78, de Macedo de Cavaleiros.

Neste areeiro existem quatro tanques de resíduos (figura 6.3), localizando-se todos dentro da área de exploração do areeiro. Os tanques foram implantados em zonas anteriormente exploradas, continuando no entanto a existir, nesses locais,

unidades sedimentares passíveis de serem exploradas, o que inviabiliza a continuação da exploração nessas zonas.



Figura 6.4 – Aspecto dos principais tanques de resíduos de exploração do areeiro de Vale da Porca.

Todos os tanques encontram-se em utilização, porém, o mais antigo (tanque B), que se localiza no cento da exploração (figura 6.4), está quase totalmente preenchido. Segundo informações do responsável do areeiro, este tanque tem cerca de 10 metros de profundidade o que, tendo em conta a sua área ($\approx 5000\text{m}^2$), perfaz uma volumetria de resíduos na ordem dos 50.000 m^3 . O tanque A, localizado na zona ocidental da exploração, possui área idêntica à do tanque B, a sua profundidade varia entre os 5 e os 15 metros sendo de considerar um volume mínimo de 25.000 m^3 e máximo de 75.000 m^3 . Este tanque estará a meio da sua capacidade de armazenamento.

Os outros dois tanques (C e D), localizados nas zonas leste e a sudeste da exploração, têm área semelhante (entre 2000 e 2500 m^2) e profundidades que

variam entre os 5 e 10 metros. Estes dois tanques encontram-se numa fase inicial de enchimento, podendo ainda vir a ser ampliados, segundo informação prestada no areeiro.

Para o estudo e caracterização dos resíduos de exploração deste areeiro foram recolhidas 16 amostras nos tanques de maior dimensão, 4 amostras foram colhidas no tanque A e 12 no tanque B. Foi também efectuada amostragem nas águas residuais, provenientes do processo de lavagem dos sedimentos, no local de descarga nos tanques.

6.3 – Areeiro de Sendas

6.3.1 – Localização

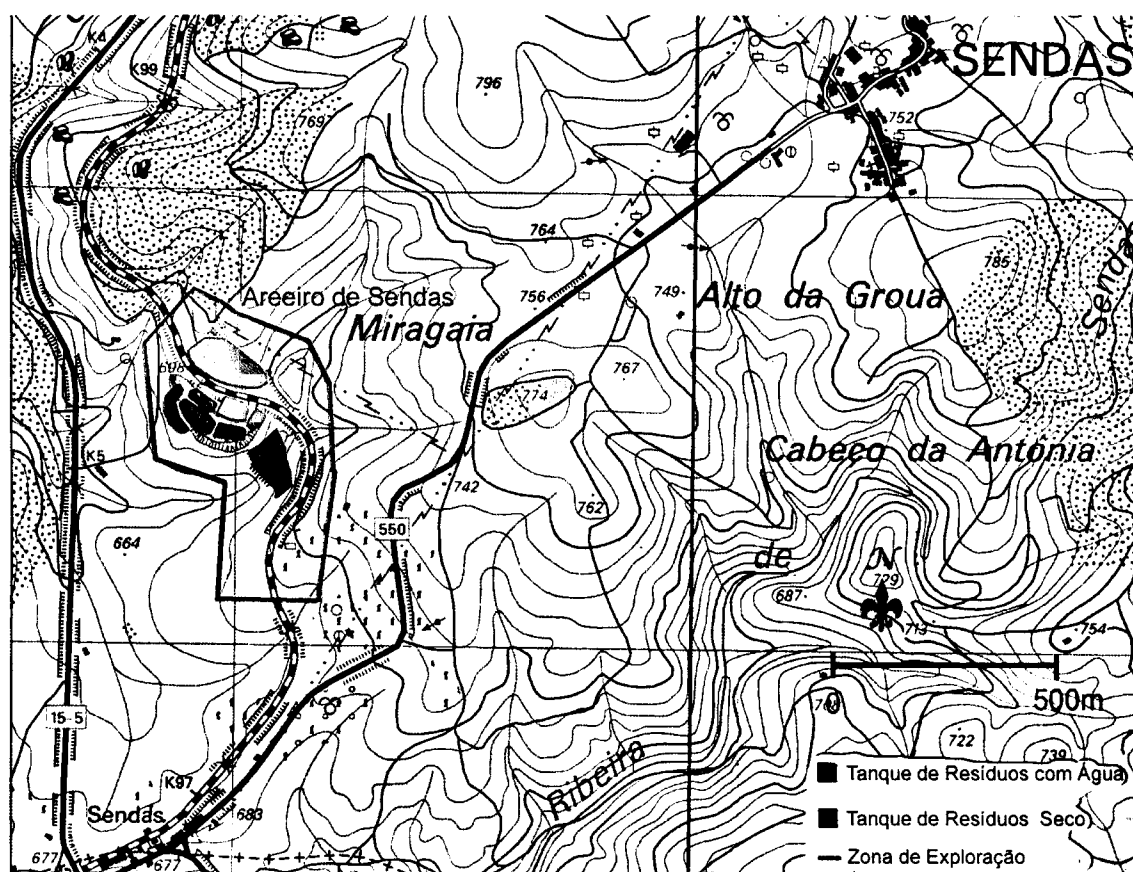


Figura 6.5 – Extracto da Carta Militar de Portugal, à escala 1/25.000, folha 64, de Vinhas, com a localização do areeiros de Sendas.

Este areeiro localiza-se a sul do concelho de Bragança, ligeiramente a sudoeste da aldeia de Sendas, que lhe confere o nome. Situa-se numa encosta sobranceira ao km 5 da estrada nacional n.º 15-5, a norte da antiga estação de Sendas, desenvolvendo-se a exploração dos dois lados da antiga via de caminho de ferro da linha do Tua, entre o km 97,5 e o km 98,5 (figura 6.5).

6.3.2 – Características do depósito sedimentar explorado

O depósito explorado neste areeiro corresponde a um conjunto de sedimentos, pertencentes à Formação de Bragança, predominantemente conglomeráticos, intercalados por estreitos níveis arenosos e lutíticos (Pereira, 1997). A sequência sedimentar deste depósito, com 28 metros de espessura, apresenta tendência granodecrescente. A matriz dos conglomerados é essencialmente arenosa por vezes areno-lutítica.

A percentagem média da fracção arenosa (2mm-63µm) e da fracção seixo (>2mm) dos sedimentos explorados varia entre os 65 e 85% nas unidades arenosas e conglomeráticas e entre os 20 e 60% nas unidades lutíticas e areno-lutíticas. O teor das fracções limo (63-4µm) e argila (<4µm) varia nesse tipo de unidades entre 15 a 35% e entre 55 a 80% respectivamente.

A fracção grosseira é composta essencialmente por seixos de quartzo (70 a 85%) sendo frequente a presença de seixos de vulcanitos ácidos e básicos, normalmente alterados (10 a 20%), filitos (5 a 15%) e quartzitos (até 5%). Esta fracção apresenta blocos que atingem a dimensão de 55cm.

O quartzo é o principal constituinte da fracção arenosa (70 a 90%), ocorrendo também grãos de feldspatos (5 a 20%) e de fragmentos líticos (até 10%).

Na fracção <2µm os minerais de argila predominantes, identificados por Pereira (1997), são a caulinite (20 a 50%), a illite (15 a 40%), a esmectite (10 a 50%) e a goetite (5 a 15%).

6.3.3 – Descrição da exploração

O areeiro de Sendas terá iniciado a sua exploração no final de 1988, inícios de 1989, segundo informação do responsável da exploração, não tendo a lavra sido interrompida desde essa data. Esta exploração produz areias e seixos para utilização na construção civil e em obras públicas, sendo estes materiais absorvidos quase na totalidade por empreitadas existentes nos concelhos de Bragança e Macedo de Cavaleiros. Este areeiro também chegou a vender algumas toneladas (na ordem da dezena) de resíduos de exploração (essencialmente limo e argila) para impermeabilização de valas de redes eléctricas.



Figura 6.6 – Aspecto de uma frente de exploração do areeiro de Sendas e de um tanque de decantação dos resíduos produzidos.

A separação do seixo e da areia dos sedimentos cenozóicos realizada neste areeiro processa-se de modo semelhante ao verificado no areeiro de Vale da Porca. O processo de lavagem da fracção limo-argilosa foi mais eficaz nesta exploração, tendo também sido mais eficiente a recuperação das areias finas (até às 70 μ m), não se verificando as perdas registadas no outro areeiro.

6.3.4 – Descrição dos tanques de resíduos de exploração

Neste areeiro existem oito tanques de resíduos (figura 6.7), localizando-se todos dentro da sua área de exploração. Os tanques estão implantados em zonas anteriormente exploradas continuando no entanto a existir, nesses locais, unidades sedimentares passíveis de serem utilizadas, com excepção do tanque localizado a sul do areeiro sobre a linha de água, o que inviabiliza a continuação da exploração nessas zonas.

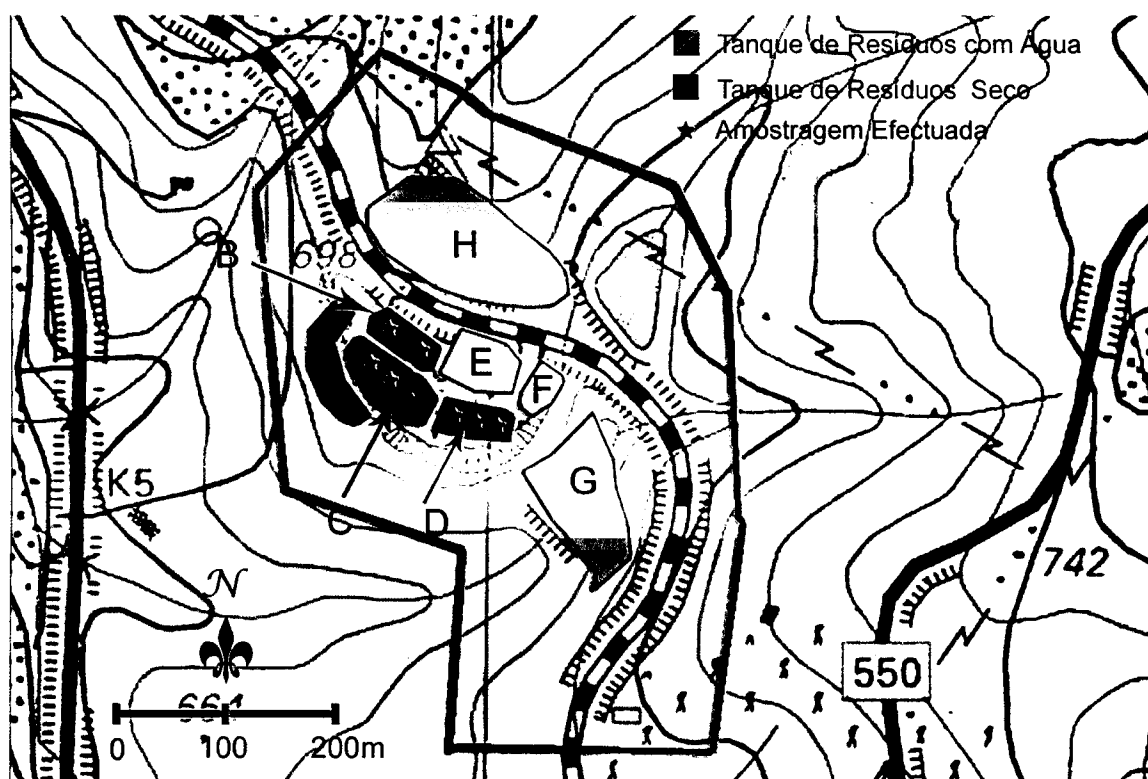


Figura 6.7 – Tanques de resíduos de exploração do areeiro de Sendas. Extracto da Carta Militar de Portugal, à escala 1/25.000, folha 64, de Vinhas.

Os tanques mais antigos (A, B, C e D) localizam-se a sul da linha de caminho de ferro, estando já inactivos e totalmente secos. O tanque A (o mais ocidental) terá entre 5 a 10 metros de profundidade, no entanto está parcialmente aterrado e coberto por vegetação. Os outros três tanques de decantação possuem, no total, cerca de 6000 m² e 5 a 10 metros de profundidade, sendo de considerar um volume de resíduos entre os 30.000 e os 60.000 m³.

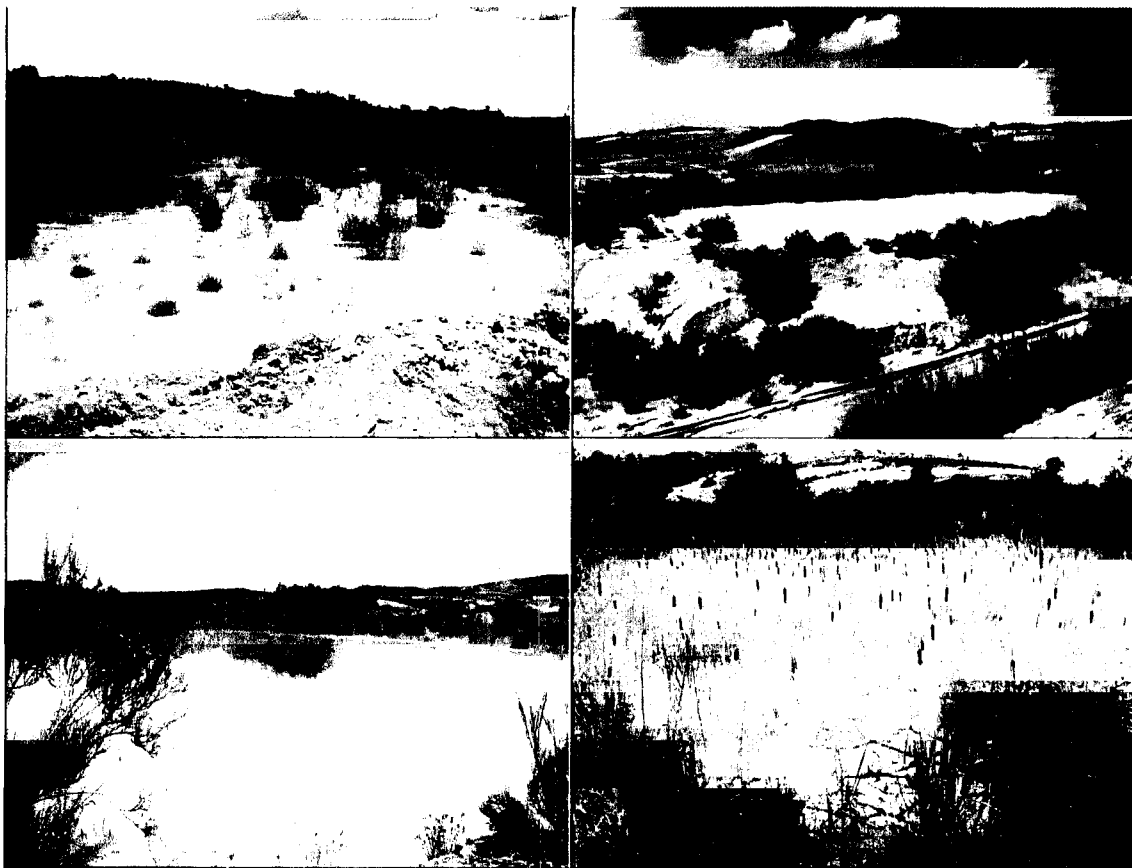


Figura 6.8 – Aspecto de alguns tanques de resíduos, secos e em actividade, do areeiro de Sendas.

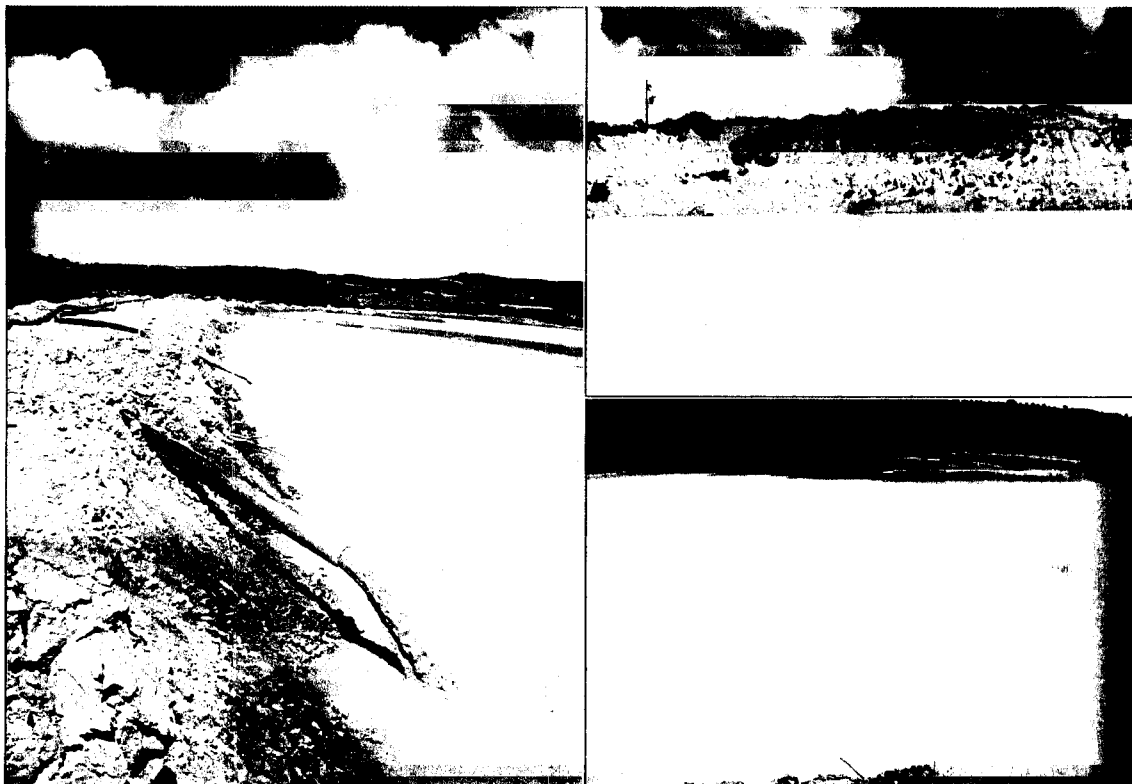


Figura 6.9 – Aspecto da descarga de águas residuais no areeiro de Sendas (tanque H).

Os outros tanques encontram-se ainda em actividade. Os mais pequenos (E e F), situados junto à antiga linha de comboio terão, no total, cerca de 2000 m² e 5 a 10 metros de profundidade, podendo o seu volume variar entre 10.000 e 20.000 m³. O tanque G, localizado a sul, é relativamente recente, a sua profundidade varia também entre os 5 e 10 metros, tendo cerca de 5.000 m², com volume variável entre os 25.000 e 50.000 m³. O tanque H é o maior tanque de resíduos desta exploração (figura 6.9), encontrando-se em actividade à 10 anos. Tem cerca de 20 metros de profundidade e aproximadamente 11.000 m² podendo-se estimar um volume total na ordem dos 220.000 m³.

Para o estudo e caracterização dos resíduos de exploração gerados neste areeiro foram recolhidas 8 amostras nos tanques mais antigos já inactivos (figura 6.7), 2 amostras no tanque B e as restantes nos tanques C e D. Foi também efectuada amostragem nas águas residuais, provenientes do processo de lavagem dos sedimentos, à saída dos tubos de descarga nos tanques de decantação (figura 6.9).

7 – DESCRIÇÃO DOS MÉTODOS UTILIZADOS PARA O ESTUDO DOS RESÍDUOS DE EXPLORAÇÃO

7.1 – Amostragem

Pretendeu-se realizar uma amostragem que fosse representativa dos materiais presentes nos depósitos de resíduos de exploração (depósitos de lamas) dos areiros de Vale da Porca e Sendas, reflectindo a variação lateral e vertical das suas características. A colheita das amostras efectuou-se de modos distintos, tendo-se levado em consideração o estado de actividade em que os depósitos de lamas se encontravam (activos ou inactivos).

Nos tanques inactivos, em que as lamas se encontravam secas, realizou-se a amostragem mediante a abertura de uma cavidade, com aproximadamente 0,75m de profundidade, onde se recolheu cerca de 10 kg de material, por amostragem em canal desde a base até ao topo. As amostras foram posteriormente armazenadas em sacos de plástico, devidamente etiquetados.

Nos tanques de lamas em actividade, a colheita realizou-se à boca das condutas de descarga das águas provenientes da lavagem dos materiais grosseiros. O processo consistiu na recolha das suspensões, que após repouso de uma a duas horas decantavam parte do material suspenso, vertendo-se a água sobrenadante, armazenando-se num bidão de 20l a suspensão restante. Este processo foi realizado até se encher o bidão. Posteriormente, em laboratório, as suspensões foram novamente decantadas, procedendo-se de seguida à sua secagem.

7.2 – Preparação das amostras

As amostras foram secas em estufa a temperatura inferior a 30°C, posteriormente desagregadas e fraccionadas manualmente. Obtiveram-se, por fraccionamento, várias sub-amostras destinadas aos seguintes estudos: análise granulométrica;

estudo mineralógico por difracção de Raios X; ensaios tecnológicos e análise química.

7.3 – Análise granulométrica

A análise granulométrica das amostras colhidas foi realizada no laboratório de sedimentologia do Departamento de Ciências da Terra da Universidade do Minho (DCT-UM), utilizando-se um processo misto, crivação e sedimentação. Procedeu-se à separação das fracções grosseira e fina, para cada amostra, por via húmida, num crivo de malha 63 μm . A fracção grosseira (dimensão superior a 63 μm) foi analisada por crivação (método dos crivos). A fracção fina (dimensão inferior a 63 μm), foi analisada por Sedigraph.

7.3.1 – Crivação

A crivação, ou método dos crivos, é uma técnica de separação dimensional clássica, amplamente utilizada em diversos sectores de actividade. É um processo relativamente rápido e económico para o conhecimento da distribuição dimensional de materiais desagregados.



Figura 7.1 – Crivos da série ASTM E11 e agitador mecânico Ro-Tap (modelo B), utilizados no laboratório de sedimentologia do DCT-UM, para análise dimensional da fracção > 63 μm .

Para a análise de cada amostra recorreu-se a uma coluna de crivos, com malha decrescente do topo para a base. Os crivos utilizados no laboratório de sedimentologia são normalizados, numa base de $\sqrt{2}$, segundo a série ASTM E11 ("American Society for Testing Materials"), dispostos em intervalos de $1/2\phi$. A crivação é realizada num agitador mecânico Ro-Tap modelo B (figura 7.1), durante 15 minutos.

7.3.2 – Sedimentação

As técnicas de sedimentação são as mais adequadas à análise dimensional das populações detríticas com dimensão inferior a $63\ \mu\text{m}$. O método utilizado por estas técnicas não depende da medição directa dos diâmetros das partículas. O cálculo dos referidos diâmetros é efectuado, recorrendo-se à equação definida pela lei de Stokes, a qual rege a velocidade de sedimentação das partículas num fluido:

$$V_s = d^2(\rho_s - \rho)g / 18\mu$$

Em que: V_s – velocidade de sedimentação; d – diâmetro da partícula; ρ_s – densidade da partícula; ρ - densidade da água; g – aceleração da gravidade e μ - viscosidade dinâmica do fluido.

Para a avaliação da granulometria desta fracção foi utilizado o aparelho SediGraph 5100 da Micromeritics (figura 7.2), que se encontra instalado no laboratório de sedimentologia do DCT-UM, para o qual foi preparada uma suspensão com a amostra dos resíduos a analisar. A suspensão foi agitada e desfloculada com hexametáfosfato de sódio, e sujeita a ultrasons, antes de ser analisada no SediGraph. Este instrumento utiliza Raios X para, de um modo contínuo, avaliar a quantidade de partículas presentes na suspensão, à medida que decorre a análise. Estipulou-se para limite inferior da análise o diâmetro médio de $0,5\ \mu\text{m}$.



Figura 7.2 – Aparelho SediGraph 5100 da Micromeritics, utilizado no laboratório de sedimentologia do DCT-UM para a análise dimensional da fracção < 63 μm .

7.4 – Estudo mineralógico por difracção de Raios X

O estudo da mineralogia das amostras baseou-se na interpretação de difractogramas de Raios X (DRX), da amostra total e da fracção argila (fracção < 2 μm). Os difractogramas foram obtidos num difractómetro Philips modelo X'pert PRO (figura 7.3), instalado do Departamento de Ciências da Terra da Universidade do Minho, utilizando radiação $\text{CuK}\alpha$ monocromatizada por filtro de grafite (PW 3123/10), corrente de 40 kV e 50 mA e velocidade do goniómetro $V_g = 1^\circ$ de 2θ por minuto.

A amostra total, após fraccionamento, foi pulverizada em almofariz de ágata, sendo posteriormente montada num porta-amostras e colocada no difractómetro para análise. Cada amostra foi sujeita à difracção de Raios X, nas condições descritas anteriormente, tendo sido explorada a área dos 2° aos 65° de 2θ .

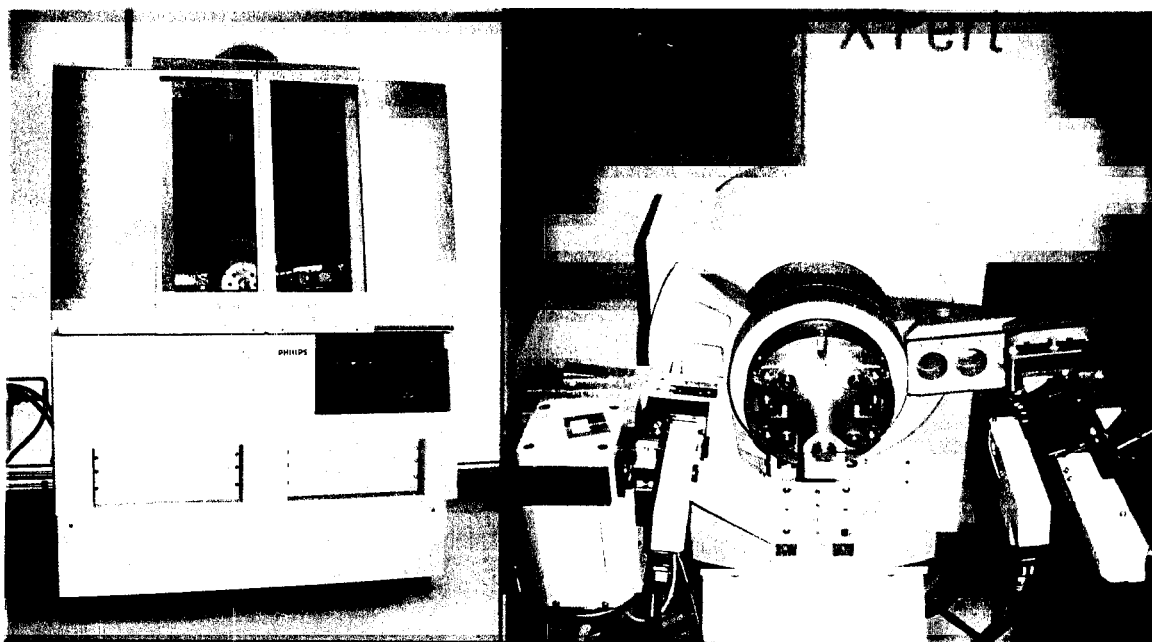


Figura 7.3 – Aspecto do difractómetro de Raios X Philips modelo X'pert PRO, utilizado no laboratório de Raios-X do DCT-UM.

A fracção $< 2 \mu\text{m}$ obteve-se, utilizando a metodologia geral descrita por Holtzapffel (1985), procedendo-se do seguinte modo: as amostras foram lavadas com água destilada, e a suspensão obtida desfloculada por ciclos sucessivos de centrifugação, remoção da água excedente, agitação novamente com água destilada e centrifugação. Nas amostras que ao fim de seis ciclos permaneciam levemente floculadas, foi-lhes adicionado uma ou duas gotas de hidróxido de amónia (NH_4OH), diluído a 1:1. A recolha da fracção $< 2\mu\text{m}$ foi efectuada por pipetagem dos primeiros 2 cm da suspensão após decorrido o tempo de sedimentação necessário, calculado segundo a lei de Stokes. O material pipetado foi concentrado por centrifugação a 2.500 rp/min, durante 60 minutos e, da pasta obtida, fez-se um esfregaço montado na ranhura de uma lâmina de vidro.

Cada lâmina da fracção $< 2\mu\text{m}$ foi sujeita à difracção de Raios X, tendo-se realizado difractogramas: da amostra, sem qualquer tratamento; e da amostra saturada com uma solução de etileno-glicol em exicador durante 24 horas, tendo-se explorada a área dos 2° aos 36° de 2θ . Cada lâmina foi também sujeita a aquecimento (500°C) durante 4 horas, tendo-se posteriormente analisado a área de 2° a 16° de 2θ .

A identificação, dos minerais presentes na amostra total e nos agregados orientados da fracção < 2µm, foi efectuada tendo em atenção os picos característicos presentes nos difractogramas (quadro 7.1), recorrendo-se para tal a bibliografia de referência nesta área, destacando-se os trabalhos de Brindley & Brown (1980), Griffin & Carver (1971), Hardy & Tucker (1988) e Moore & Reynolds (1989).

Efectuou-se, a partir dos difractogramas da amostra total não orientada e das lâminas de agregado orientado e glicolado da fracção < 2 µm, uma avaliação semi-quantitativa dos minerais presentes, com base nas áreas dos picos correspondentes aos espaçamentos dos máximos de difracção característicos de cada mineral, afectados pelo respectivo poder reflector, apresentados no quadro 7.1. Os picos de difracção e o respectivo poder reflector foram determinados com base nos trabalhos de Shultz (1964), Gomes (1988), Dias (1998) e Coroado (2000).

Quadro 7.1 – Espaçamentos dos picos característicos e poderes reflectores usados na semiquantificação dos difractogramas (amostra total e minerais glicolados da fracção <2µm)

Mineral	Espaçamento (Å)	Poder Reflector
Quartzo	4,26	0,70
Goetite	4,17	1,00
Feldspato Potássico	3,24	3,00
Plagioclase	3,18	3,00
Esmeclite	17,00	4,00
Illite	10,00	0,50
Caulinite	7,10	1,00

7.5 – Análise química por fluorescência de Raios X

A análise química efectuada às amostras dos resíduos de exploração de Sendas e Vale da Porca, foi realizada nos laboratórios do INETI (antigo IGM) em São Mamede Infesta, usando a técnica de fluorescência de Raios X. Os resultados das análises químicas obtidas por este método foram interpretados recorrendo-se aos trabalhos de Deer *et al.* (2000) e Brindley & Brown (1980).

A análise foi efectuada num espectrómetro de fluorescência de Raios X Philips PW 2404 x-ray spectrometer, equipado com o porta amostras Philips PW 2540 VRC Sampler Changer (figura 8.4), realizando-se de acordo com o método interno do laboratório PA 003/FRX – “Maiores”, obedecendo às seguintes condições instrumentais:

- Ampola – Ródio (4KW);
- Condições de excitação Na, Mg, Al, Si, P, Ca, K, Ti (30Kv 10mA) e Mn, Fe (50Kv 60mA);
- Cristais analisadores PX1 (Na, Mg), PE002 (Al, Si), GE (P) e LIF (Ca, K, Ti, Mn, Fe);
- Colimadores de 700 μ m;
- Detectores de Fluxo gasoso (FL) para os elementos Na, Mg, Al, Si, P, Ca, K e Duplo (fluxo gasoso + sonda de cintilações) para os elementos Ti, Mn e Fe;
- Meio ambiente – vácuo.

Para a dosagem dos elementos maiores (óxidos) SiO_2 , Al_2O_3 , Fe_2O_3 (total), MnO , CaO , MgO , Na_2O , K_2O , TiO_2 , P_2O_5 , as amostras foram preparadas por fusão (pérولا) após a determinação da perda ao rubro (P.R.). A temperatura de fusão foi de 1150°C e o fundente utilizado uma mistura de meta e tetraborato de lítio.



Figura 8.4 – Aspecto do espectrómetro de fluorescência de Raios X Philips PW 2404 X-ray spectrometer e do respectivo porta amostras PW 2540 VRC Sampler Changer, utilizado no laboratório do INETI, em São Mamede Infesta.

7.6 – Ensaios tecnológicos

Os ensaios tecnológicos, cujas técnicas aqui se sumariam, foram realizados nos laboratórios do INETI (antigo IGM) em São Mamede Infesta.

As amostras colhidas nos tanques de lamas dos areiros de Vale da Porca e Sendas, após moagem a 60 # ($\approx 250\mu\text{m}$), foram sujeitas a ensaios com vista à avaliação tecnológica das suas características, tendo-se realizado os seguintes ensaios:

- Determinação da plasticidade das amostras (limites de Atterberg);
- Cozedura cerâmica a 950°C em atmosfera oxidante;
- Determinação do valor dos parâmetros cromáticos em cru e após tratamento térmico;
- Determinação da variação das dimensões com a secagem (retracção verde-seco) e com o tratamento térmico (retracção seco-cozido e dilatométrica);
- Determinação da resistência mecânica à flexão em cru e após cozedura cerâmica;
- Determinação dos valores de absorção de água.

7.6.1 – Determinação da plasticidade

A plasticidade pode definir-se como sendo a capacidade dum material para ser deformado sem ruptura por acção de uma força e de reter a deformação alcançada quando cessa a força aplicada (Gomes, 2002). Ao avaliar-se a aptidão cerâmica de uma argila torna-se indispensável determinar a “facilidade” com que, por adição de água, esta adquire uma deformação permanente durante o processo de moldagem (Carvalho, 2001), isto é, torna-se necessário determinar a plasticidade da argila.

A plasticidade é uma propriedade intrínseca dos materiais argilosos que nos permite distingui-los e classificá-los do ponto de vista tecnológico. Para a sua determinação utilizou-se o método de Atterberg, que consiste na determinação da gama de teores percentuais de água entre os quais uma massa argilosa é moldável. Estes teores correspondem ao *índice de plasticidade de Atterberg (IP)*, que é obtido

pela diferença entre os teores de água correspondentes ao *limite de fluidez (LF)* - valor acima do qual a massa perde consistência suficiente ou mínima para ser moldável - e ao *limite de plasticidade (LP)* - valor mínimo do teor de água acima do qual a massa argilosa passa a ser moldável.

Os limites de plasticidade e de fluidez foram determinados com a Concha de Casagrande (ver figura 7.5), de acordo com o estabelecido pela norma NP-143 definida pela Portaria n.º 24163 de 5/7/1969.

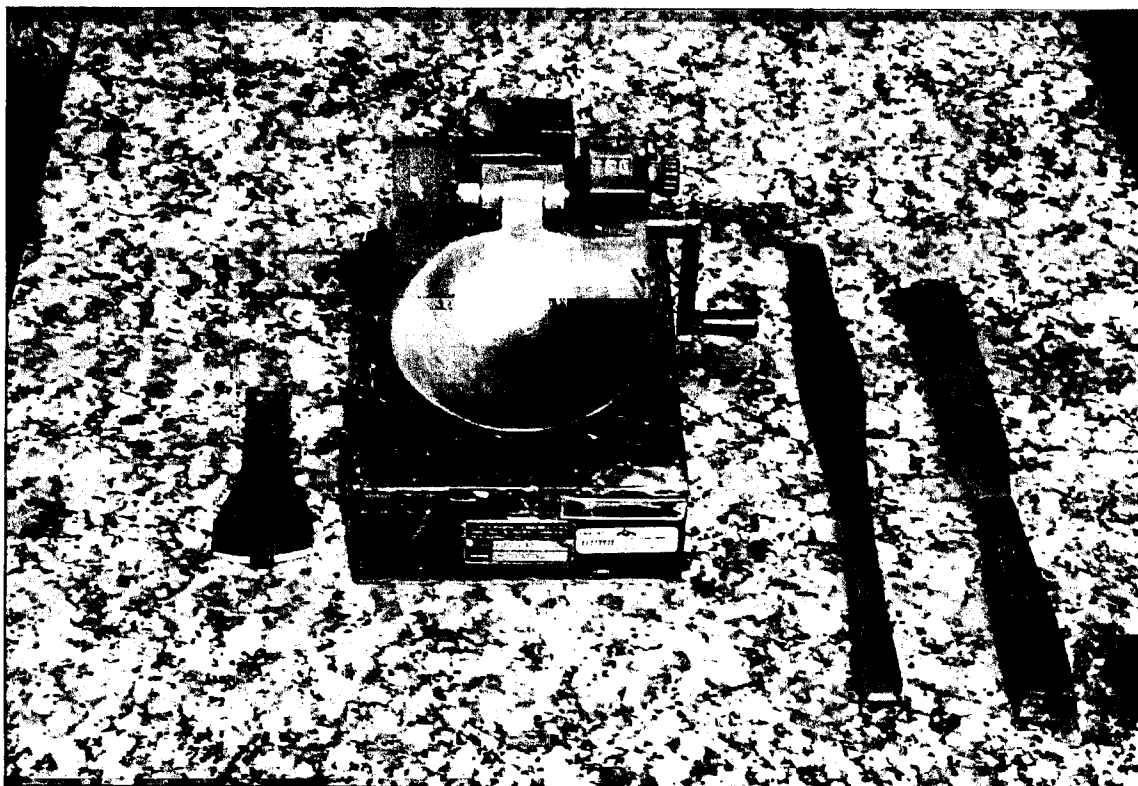


Figura 7.5 – Concha de Casagrande, utilizada para a determinação dos limites de Atterberg.

Casagrande (1932) baseado nos índices de Atterberg LF e IP, estabeleceu um diagrama (figura 7.6), posteriormente adaptado por Gippini (1969), onde apresenta campos indicativos das diferentes propriedades plásticas das argilas.

Neste diagrama, a linha U corresponde ao limite acima do qual as matérias primas não se revelam plásticas, pois o valor de LF é igual ou superior ao valor de LP. A “linha A” separa as argilas sem colóides orgânicos (situadas acima da recta) das argilas com colóides orgânicos (situadas abaixo da recta). A recta com valor de

LF = 50, denominada “linha B”, separa as argilas de baixa plasticidade (LF < 50) das argilas de alta plasticidade (LF > 50).

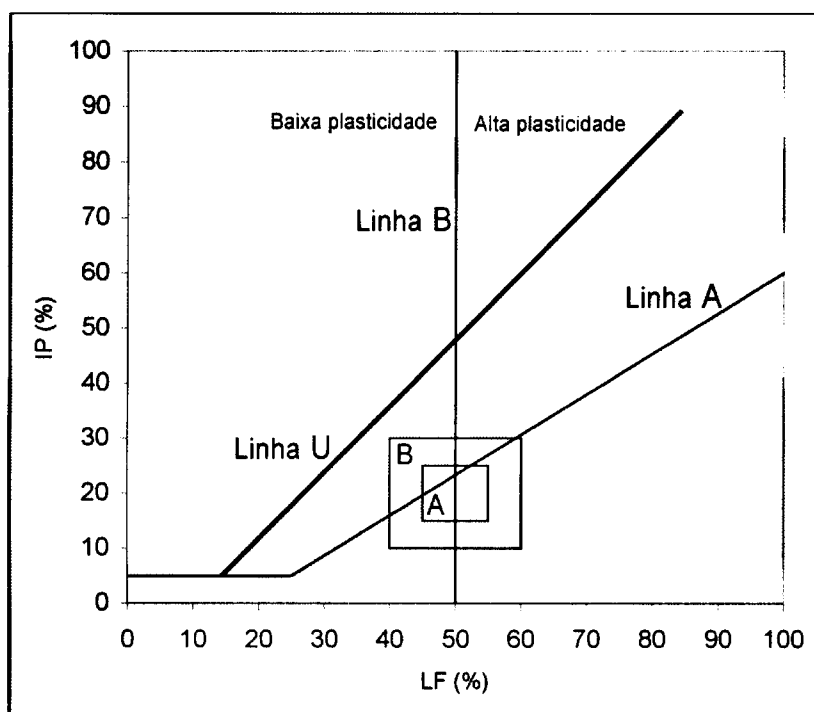


Figura 7.6 – Diagrama de Casagrande (1932) modificado por Gippini (1969).

Gippini (1969) adaptou o diagrama de Casagrande estabelecendo os campos **A** e **B** (figura 7.6), correspondendo o campo **A** a pastas cerâmicas que evidenciam características ótimas para extrusão e o campo **B** a pastas cerâmicas com características adequadas para a extrusão, indicadores portanto da apetência das matérias primas argilosas para serem conformadas por via plástica.

7.6.2 – Cozedura cerâmica

Os provetes elaborados para a realização dos ensaios de resistência mecânica à flexão, retracção, e determinação dos parâmetros cromáticos foram sujeitos, nos fornos do laboratório do INETI (figura 7.7) a um processo de cozedura cerâmica em ambiente oxidante, à temperatura máxima aproximada de 950°C, processo este semelhante ao utilizado em unidades fabris de produção de cerâmicos de construção.

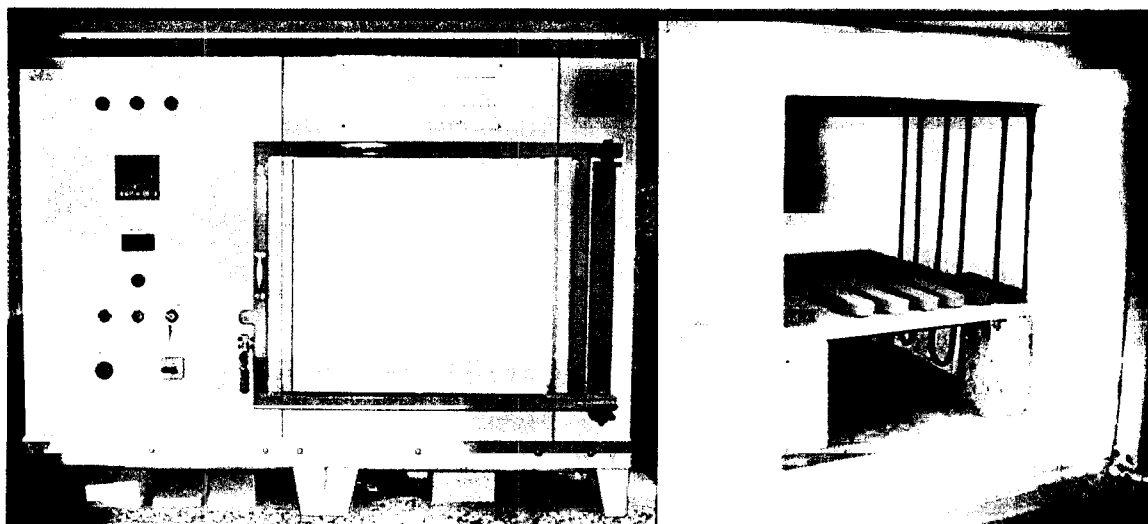


Figura 7.7 – Aspecto do forno cerâmico utilizado no laboratório do INETI, em São Mamede Infesta, para o processamento dos provetes a utilizar nos ensaios tecnológicos.

O processo de cozedura utilizado caracteriza-se pelo aumento progressivo da temperatura até aos 950°C de acordo com os seguintes patamares e respectivo tempo de aquecimento: temperatura ambiente a 60°C - 6min; 60°C a 110°C - 10min; 110°C a 580°C - 2Horas; 580°C a 950°C - 3 horas; 950°C um estágio de 15 min. Após a fase de aquecimento seguiu-se uma fase de arrefecimento natural.

7.6.3 – Parâmetros cromáticos

A aplicação industrial de uma argila poderá depender da cor que esta apresenta após cozedura cerâmica. A cor da argila tal-qual, não sendo determinante do ponto de vista tecnológico, pode fornecer importantes indicações quanto ao tipo de aplicação cerâmica desse produtos, pois parâmetros cromáticos desfavoráveis em matérias primas argilosas em cru, implicarão que, após transformação pelo calor, dêem origem a produtos fortemente corados, condicionando assim o seu campo de aplicação (Carvalho *et al.*, 1999).

A caracterização dos parâmetros cromáticos das amostras de Vale da Porca e Sendas, foi realizada no sistema L^* , a^* , b^* , DiN 6174, que se sintetiza no gráfico da figura 7.8, recorrendo ao colorímetro *Micro Color II* (V. 2.6) *data station* da Dr. Lange (ver figura 7.9).

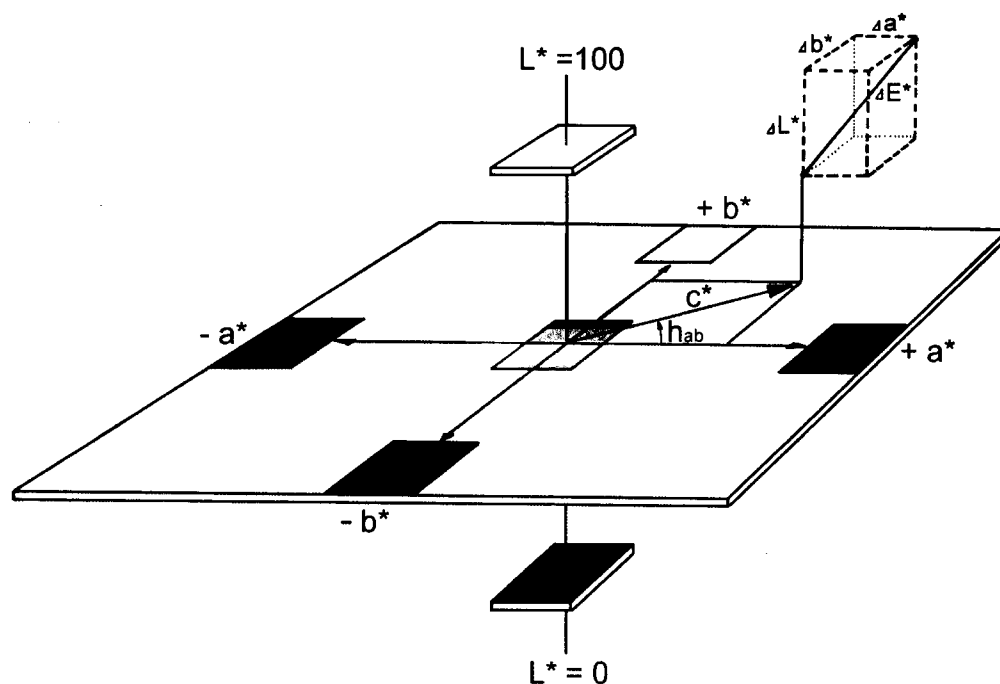


Figura 7.8 – Diagrama representativo do sistema L^* , a^* , b^* , DiN 6174 (in Carvalho, 2001).

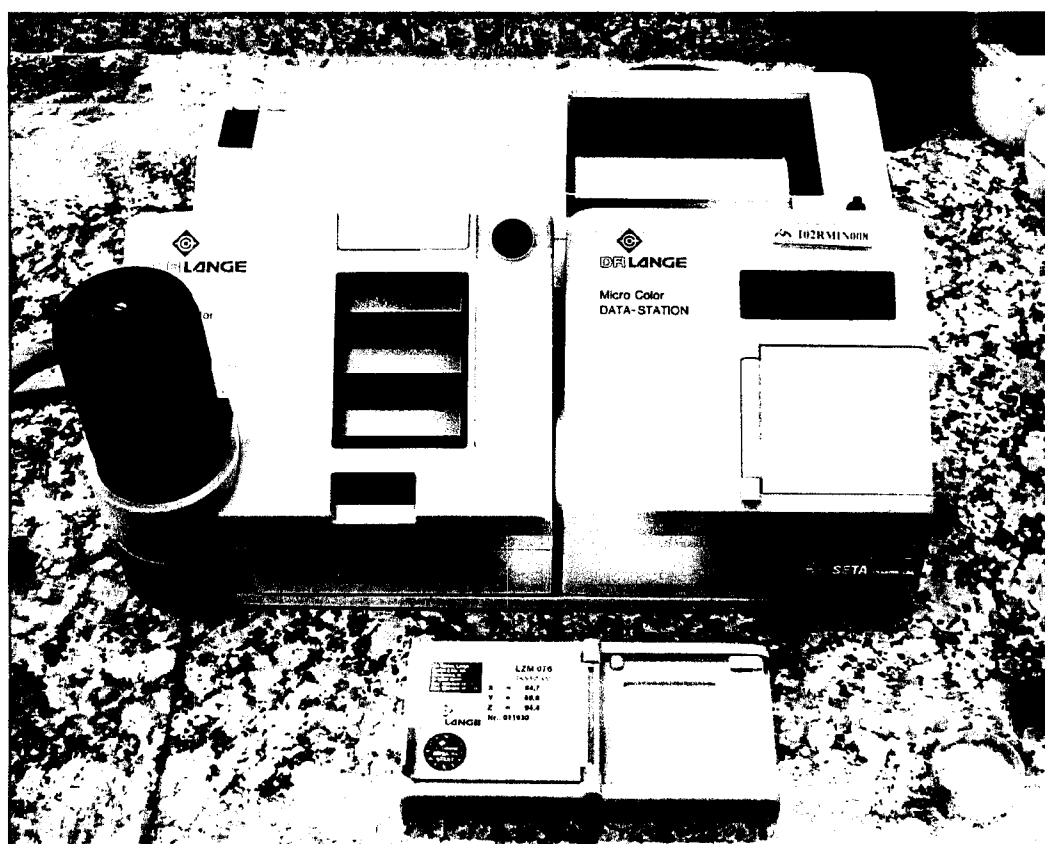


Figura 7.9 – Aspecto do colorímetro Micro Color II (V. 2.6) data station da Dr. Lange, utilizado no laboratório do INETI, em São Mamede Infesta.

Neste sistema, o parâmetro L^* é a reflectância total na gama de comprimentos de onda para os quais a nossa visão é sensível, correspondendo ao eixo branco-preto, o parâmetro a^* é a medida da coloração vermelho-verde e o parâmetro b^* é a medida da coloração azul-amarelo.

7.6.4 – Retracção

A quantificação da retracção que um material argiloso sofre durante os ciclos de secagem e de cozedura é fundamental para uma determinação rigorosa das dimensões do produto final, característica intrínseca a um fabrico de qualidade (Carvalho *et al.*, 1999).

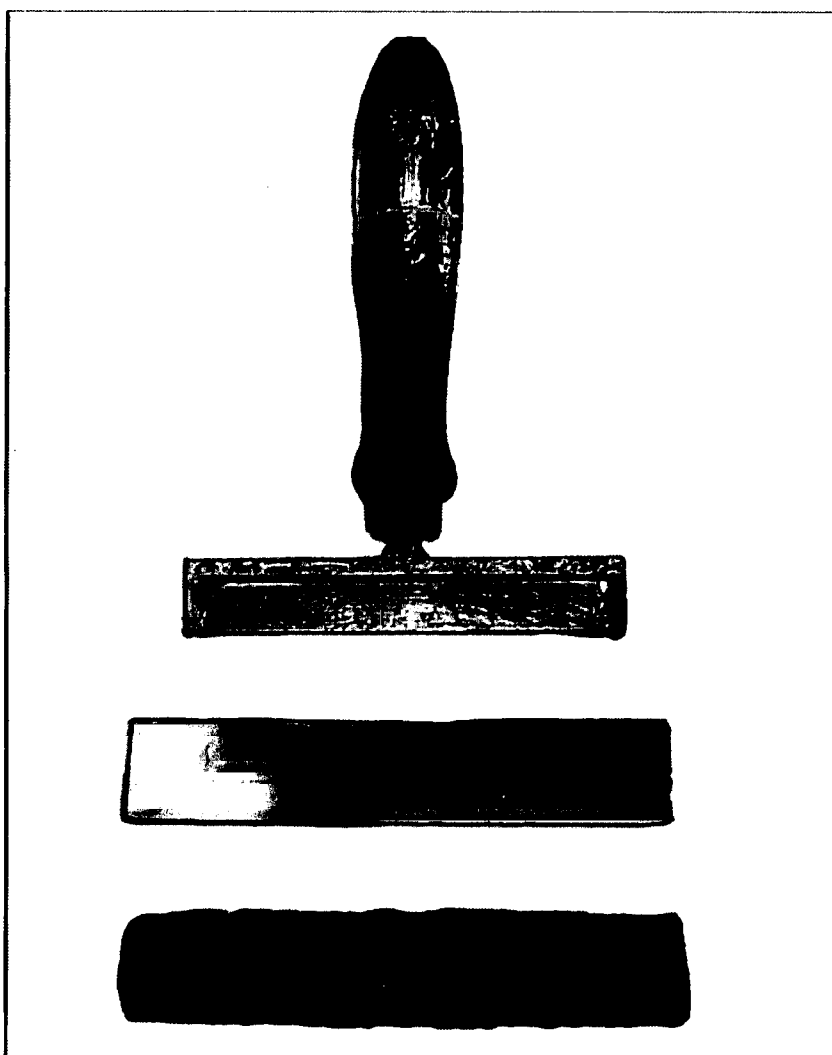


Figura 7.10 – Aspecto do punção e dos provetes (seco e cozido a 950°C) utilizados para quantificação da retracção.

A retracção dos materiais argilosos é quantificada a partir da medição da variação das dimensões de um provete, realizado com o material argiloso a estudar, após secagem (retracção verde-seco) e após o ciclo de cozedura a 950°C (retracção seco-cozido). A retracção verificada após o ciclo de cozedura equivale à retracção total, tendo por comparação as dimensões do corpo cerâmico original antes da secagem.

Num provete é feita uma marca de 10 cm, segundo o seu comprimento, com um punção (ver figura 7.10). Após o ciclo de secagem mede-se a variação da dimensão da marca e determina-se o seu valor percentual da retracção sofrida. Efectua-se o mesmo processo após cozedura cerâmica a 950°C em ambiente oxidante. Para cada amostra foi analisada a retracção em 3 provetes a verde-seco e 3 provetes cozidos, correspondendo o valor percentual da retracção de cada amostra à média dos valores registados.

7.6.5 – Dilatometria

A dilatometria, ou análise térmica dilatométrica, corresponde à avaliação da variação das dimensões de um corpo cerâmico durante o processo de cozedura, tornando-se imprescindível a sua determinação, conjuntamente com a retracção, para determinar com rigor as dimensões do produto final, característica intrínseca a um fabrico de qualidade.

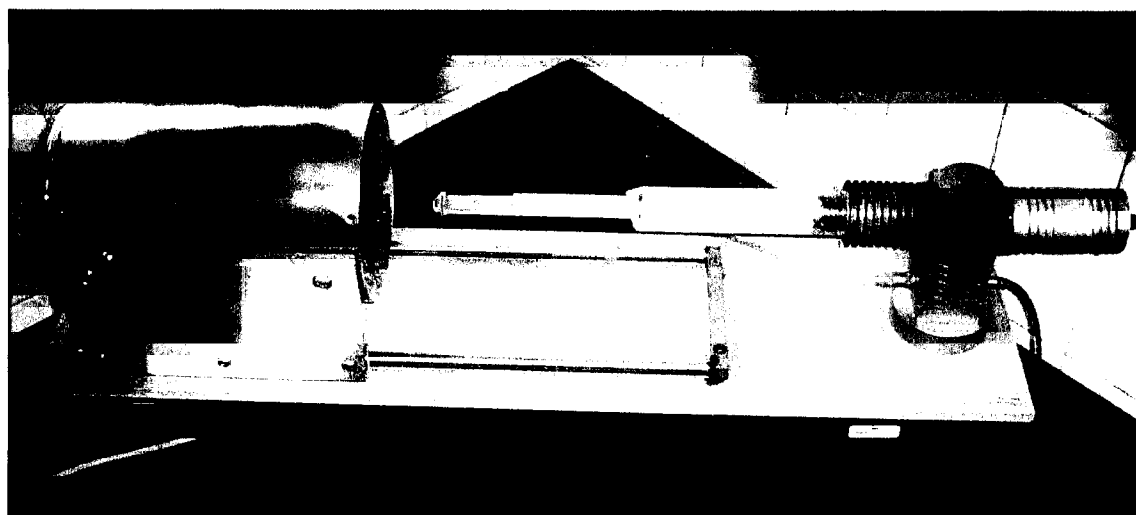


Figura 7.11 – Dilatómetro electrónico DI.10 (modelo 1) da Adamel Lhomargy, utilizado no laboratório do INETI em São Mamede Infesta.

A variação das dimensões foi estudada num dilatómetro electrónico DI.10 – modelo 1 da Adamel Lhomargy (figura 7.11), em que um provete de 24mm de comprimento, obtido num extrusador manual, foi aquecido progressivamente até aos 950°C. O comportamento apresentado pelo provete durante o aquecimento e arrefecimento foi registado sob a forma de curva dilatométrica.

7.6.6 – Resistência Mecânica à Flexão

A resistência mecânica à flexão é um parâmetro de determinação indispensável, pois permite aferir a capacidade de resistência de uma determinada peça após secagem e cozedura cerâmica. Os corpos cerâmicos secos adquirem uma certa resistência mecânica, o que permite a sua manipulação no decurso do processo de fabricação (Gomes, 2002). A resistência mecânica do corpo cerâmico argiloso depois de seco, é maior ou menor, função de diversos parâmetros, tais como a forma e espessura do corpo, o tipo e teor de argila e dimensão das partículas.

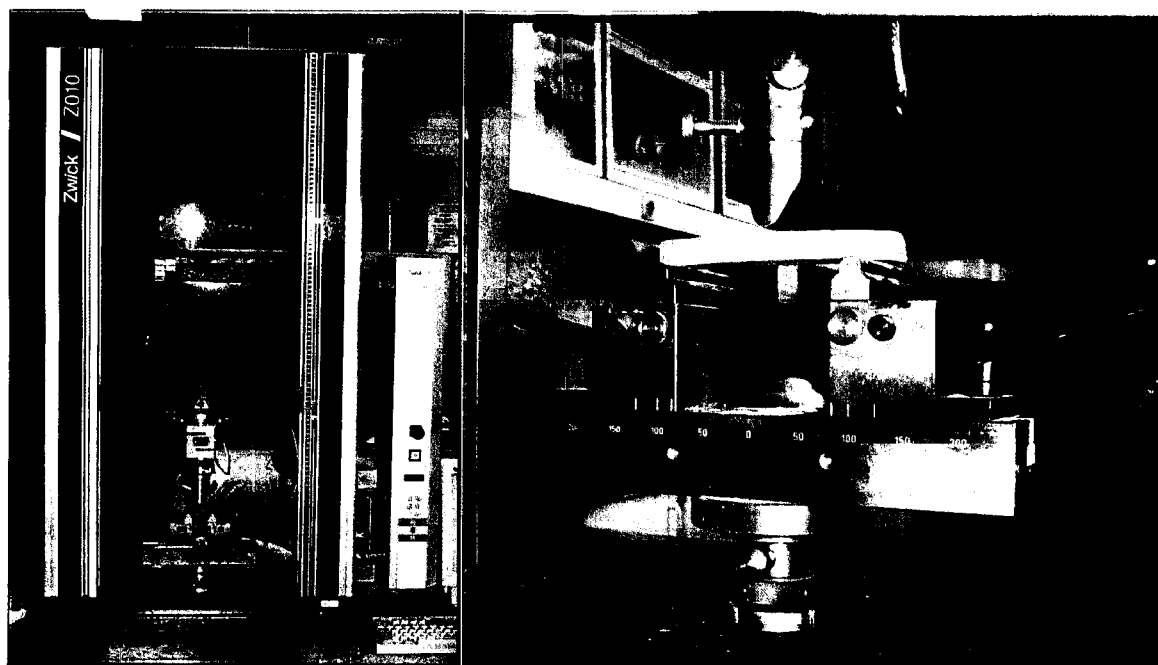


Figura 7.12 – Aspecto da prensa ZWICK Z010 e respectiva célula de carga utilizada nos laboratórios do INETI.

Após o processo de cozedura, os corpos cerâmicos adquirem uma certa resistência mecânica, mais elevada que a registada anteriormente. A resistência

apresentada após este processo determinará o tipo de aplicação industrial destes corpos.

A resistência mecânica à flexão dos corpos cerâmicos foi determinada sobre provetes com dois pontos de apoio numa prensa ZWICK Z010 (figura 7.12), segundo a Norma ASTM C689/93 para os corpos secos e a Norma ASTM C674/88 para corpos cozidos. Utilizou-se um equipamento de ensaio universal com célula de carga de 5kN (provetes secos) e 20kN (provetes cozidos), distância entre pontos de apoio de 10 cm e velocidade de actuação de carga de 1 mm/minuto.

7.6.7 – Absorção de água

O valor de absorção de água de um material cerâmico fornece-nos, segundo Carvalho (2001), informações relevantes quanto ao grau de vitrificação ou, por outras palavras quanto à sua porosidade.

O valor de absorção de água foi avaliado em provetes cozidos a 950° (três por amostra) de acordo com o seguinte procedimento:

- Referenciaram-se três provetes de cada amostra, com lápis de grafite;
- Colocaram-se os provetes, durante 24 horas, numa estufa a 100°C de modo a garantir a perda total de humidade, e registou-se o peso de cada provete após este processo;
- Após secagem, mergulharam-se os provetes, durante duas horas, numa tina com água destilada a ferver;
- Findo este tempo e após arrefecimento da água, enxugaram-se os provetes com um pano de camurça saturado em água, garantindo que apenas o excesso de água superficial é removido, e pesaram-se de seguida;
- Determinou-se a absorção de água calculando a variação percentual do peso da amostra pela formula:

$$AA = (Ph - Ps)/Ps \times 100$$

Em que: AA corresponde à absorção de água da amostra; Ph ao peso da amostra húmida; e Ps ao peso da amostra seca.

8 – CARACTERIZAÇÃO DOS RESÍDUOS DE EXPLORAÇÃO

8.1 – Caracterização mineralógica, química e granulométrica

8.1.1 – Caracterização mineralógica

A composição mineralógica média, semi-quantitativa, da amostra total dos materiais estudados, colhidos nos tanques de resíduos de exploração dos areeiros de Sendas e Vale da Porca, e constantes no anexo A.1, levou aos resultados apresentados no quadro 8.1.

Quadro 8.1 – Composição mineralógica média dos resíduos estudados, estimada em difractogramas de raios-X da amostra total.

		Localização das Amostras	
		Vale da Porca	Sendas
Minerais da Amostra Total	Esmectite (%)	2 ± 2	5 ± 2
	Illite (%)	34 ± 9	46 ± 5
	Caulinite (%)	19 ± 7	15 ± 5
	Quartzo (%)	34 ± 12	25 ± 7
	Goetite (%)	4 ± 2	4 ± 2
	Feldspato Potássico (%)	6 ± 5	2 ± 1
	Plagioclase (%)	2 ± 1	3 ± 1

A análise dos resultados presentes no quadro 8.1 indica que as amostras dos resíduos de ambos os areeiros possuem como minerais essenciais quartzo, illite, caulinite e, em menores percentagens, esmectite, goetite e feldspatos (potássicos e plagioclases).

A composição mineralógica dos resíduos dos areeiros de Vale da Porca e Sendas é semelhante. Contudo, os dois grupos de amostras distinguem-se pelas diferentes proporções dos minerais mais abundantes. Os resíduos do areeiro de Vale da Porca são em média mais quartzosos que os de Sendas, apresentando também

percentagens médias ligeiramente mais elevadas de caulinite e feldspatos potássicos, o que os faz corresponder a materiais quartzo-ilitico-cauliníticos. Por sua vez, os resíduos de Sendas são mais ílíticos correspondendo por isso a materiais ílítico-quartzo-cauliníticos. Os resíduos de Sendas possuem também teores médios de esmectite mais elevados.

No quadro 8.2 está representada a composição mineralógica média, semi-quantitativa, da fracção < 2µm das amostras de resíduos de exploração colhidas nos areeiros de Sendas e Vale da Porca, elaborada a partir dos dados constantes no anexo A.2.

Quadro 8.2 – Composição mineralógica média dos resíduos estudados, estimada em difractogramas de raios-X da fracção < 2µm.

		Localização das Amostras	
		Vale da Porca	Sendas
Minerais da fracção < 2µm	Esmeclite (%)	6 ± 4	15 ± 9
	Illite (%)	48 ± 11	42 ± 12
	Caulinite (%)	37 ± 13	33 ± 14
	Goetite (%)	8 ± 3	10 ± 5

A partir da análise dos dados presentes no quadro 8.2, é possível verificar que a fracção < 2µm, nas amostras dos dois areeiros é, em média, essencialmente composta por illite e caulinite.

As amostras de Sendas são as que possuem maior quantidade de esmectite, o que está em concordância com a análise mineralógica da amostra total (quadro 8.1), apresentando também maior percentagem de goetite. Já as amostras de Vale da Porca apresentam maior teor em illite, bem como teores mais elevados de caulinite, o que indicia, como é natural, a concentração destes minerais na fracção argilosa.

As diferenças existentes entre a composição mineralógica das amostras dos resíduos dos areeiros de Vale da Porca e Sendas dever-se-á a diferenças da composição mineralógica nos depósitos cenozóicos, ou seja, nos materiais

explorados. Essa variação da composição mineralógica observada entre as amostras de cada areeiro será devida a variações mineralógicas e granulométricas existentes entre as várias unidades sedimentares do depósito explorado.

8.1.2 – Caracterização química

A composição química, representada pelos óxidos dos elementos maiores e a perda ao rubro, das amostras colhidas nos tanques dos resíduos de exploração dos areeiros de Sendas e Vale da Porca, é apresentada no quadro do anexo A.3, cujos valores médios se podem observar no quadro 8.3.

Quadro 8.3 – Composição química média dos resíduos de exploração dos Areeiros de Sendas e Vale da Porca, representada pelos óxidos dos elementos maiores determinados por fluorescência de raios-X.

		Localização das Amostras	
		Vale da Porca	Sendas
Elementos Maiores da Amostra Total	SiO ₂ (%)	61,59 ± 7,93	55,25 ± 6,49
	Al ₂ O ₃ (%)	18,77 ± 3,82	20,36 ± 3,12
	Fe ₂ O ₃ (%)	5,98 ± 1,44	7,57 ± 1,14
	MnO (%)	0,18 ± 1,44	0,10 ± 0,02
	MgO (%)	0,74 ± 0,30	1,48 ± 0,33
	CaO (%)	0,06 ± 0,01	0,42 ± 0,31
	Na ₂ O (%)	< 0,20	0,43 ± 0,23
	K ₂ O (%)	3,57 ± 0,23	3,42 ± 0,21
	TiO ₂ (%)	0,70 ± 0,11	0,93 ± 0,09
	P ₂ O ₅ (%)	0,13 ± 0,02	0,17 ± 0,03
Perda ao Rubro (%)		7,81 ± 2,46	9,60 ± 2,37

A análise global da composição química dos resíduos de exploração permite verificar que os valores de SiO₂, Al₂O₃ e Fe total estão, segundo Gomes (2002) e Velho *et. al.* (1998), em concordância com as características químicas de matérias primas classificadas como argilas comuns.

Fez-se a análise das relações existentes entre a composição química e a composição mineralógica dos resíduos de exploração, considerando-se apenas os óxidos dos elementos maiores cujos teores são superiores a 0,5%.

O teor de SiO_2 , das amostras de resíduos dos dois areeiros, está concordante com a composição mineralógica, como se pode observar no gráfico da figura 8.1. Da sua análise constatamos que o aumento do teor em quartzo está relacionado com o aumento do teor deste óxido. No entanto, este teor é aparentemente alto nas amostras dos dois areeiros, face ao teor de quartzo observado. Tal é justificável se tivermos em consideração que o silício incorpora igualmente a rede cristalina dos feldspatos, da ilite, da caulinite e da esmectite.

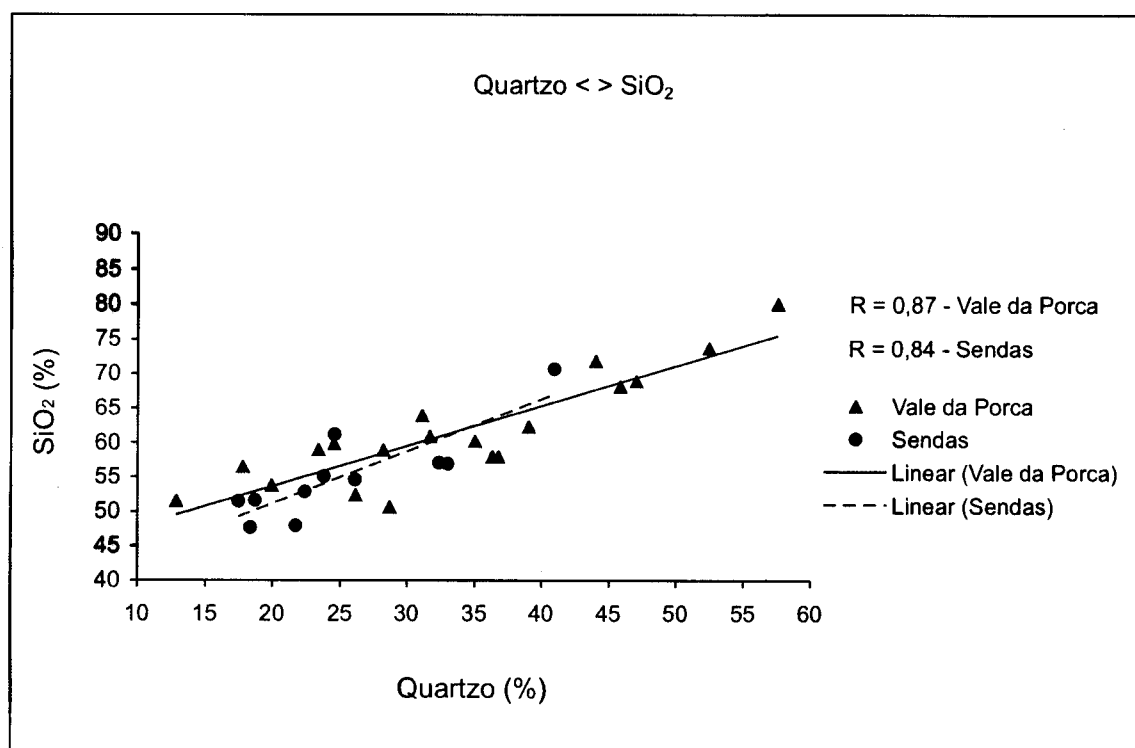


Figura 8.1 – Gráfico de correlação entre o teor de quartzo e o teor de SiO_2 .

No gráfico da figura 8.2 é possível observar a relação existente entre o Al_2O_3 e o teor de minerais de argila. Nesse gráfico verifica-se que com o aumento do teor deste óxido também aumenta o teor de minerais de argila. Verifica-se ainda que o teor em Al_2O_3 é mais elevado nas amostras do areeiro de Sendas, o que está em concordância com a maior quantidade de minerais de argila (ilite, caulinite, e esmectite) presente nestas amostras.

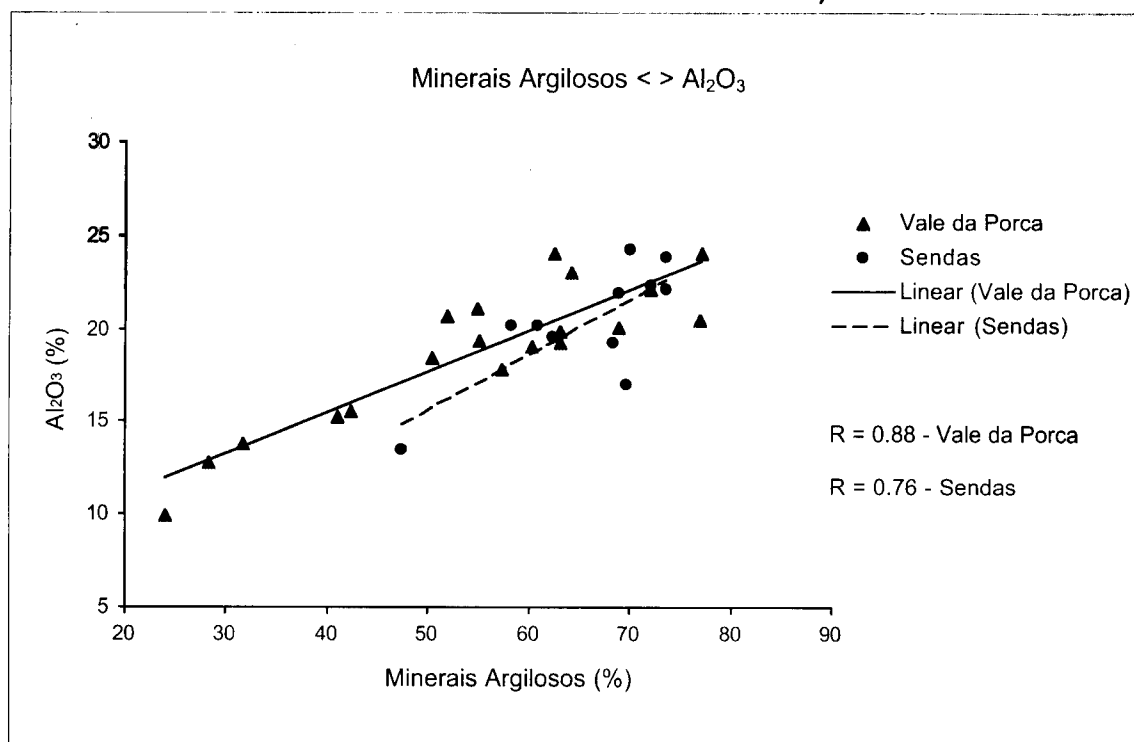


Figura 8.2 – Gráfico de correlação entre o teor de minerais argilosos (esmectite, ilite e caulinite) e o teor de Al_2O_3 presente nos resíduos de exploração.

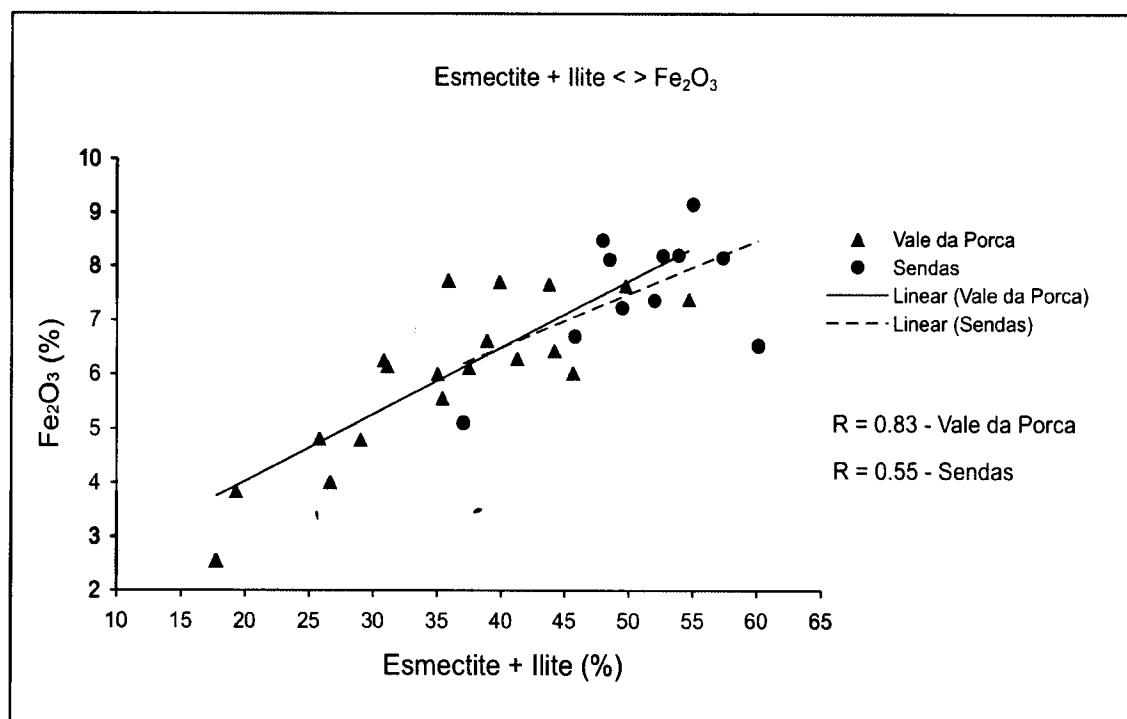


Figura 8.3 – Gráfico de correlação entre o teor de esmectite + ilite presente nos resíduos de exploração e o teor de Fe_2O_3 .

Relativamente ao Fe_2O_3 (Fe total) é provável a sua presença não só sob a forma de goetite e de óxidos amorfos de ferro, mas também na estrutura de alguns minerais argilosos, nomeadamente na estrutura da ilite e da esmectite. Analisando as amostras dos resíduos, constatamos que as de Sendas apresentam maior teor de Fe total, não tendo sido no entanto detectadas diferenças do teor de goetite entre os dois areeiros. A maior quantidade de teor em ferro nas amostras de Sendas dever-se-á, então, à maior quantidade de ilite e esmectite existente nessas amostras, como se pode observar no gráfico da figura 8.3, onde se verifica que as amostras mais ricas nestes minerais apresentam teores mais elevados de Fe total.

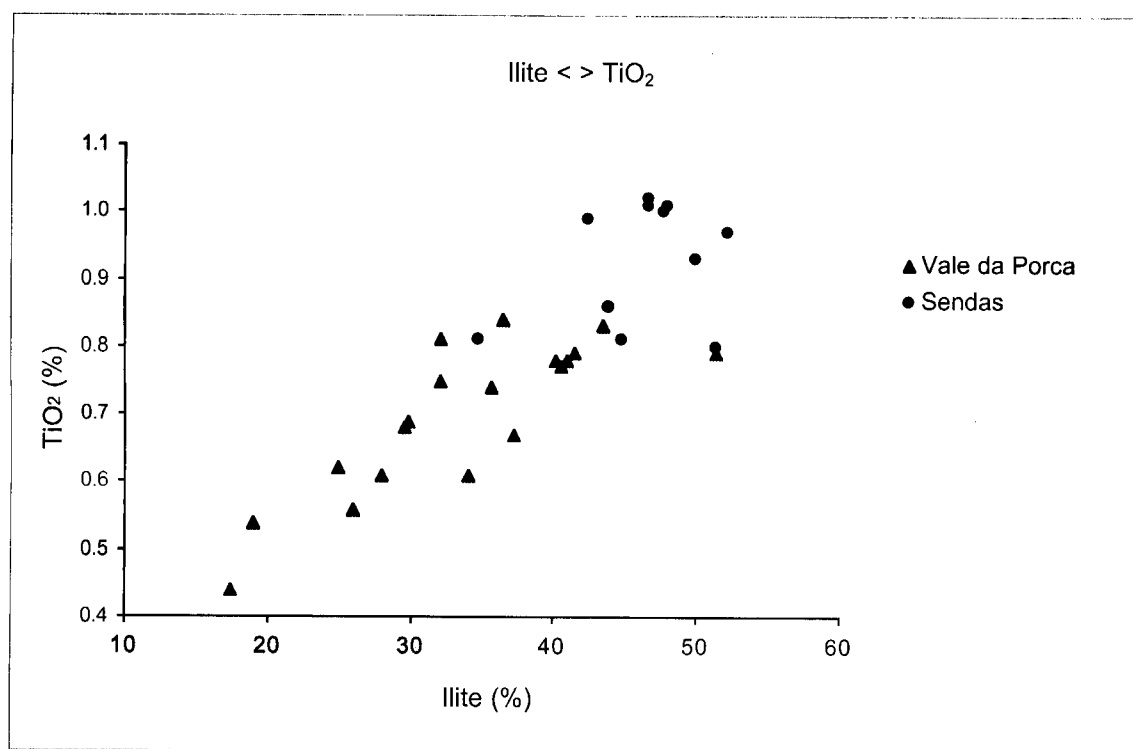


Figura 8.4 – Gráfico de correlação entre o teor de ilite e o teor de TiO_2 .

A partir do gráfico da figura 8.4 pode-se constatar que as amostras que apresentam maior teor em ilite são as que também têm teores mais elevados em TiO_2 . Esta particularidade pode justificar-se pela incorporação do Ti^{4+} na rede cristalina das ilites, dado não ter sido detectada, nas amostras dos dois areeiros, a presença de rútilo e/ou anatase. Com efeito, o gráfico em questão sugere esta hipótese, porquanto as amostras que apresentam maior teor em ilite são as que apresentam também teor mais elevado de TiO_2 . As amostras de Sendas possuem

um teor mais elevado deste óxido, o que se poderá explicar pela maior quantidade de ilite presente nos resíduos deste areeiro.

Os teores de MgO observados parecem estar relacionados com os teores de esmectites evidenciados pelas amostras, sabendo-se de antemão a apetência do Mg^{2+} para incorporar a rede deste mineral argiloso (Deer *et al.*, 2000). Verifica-se que as amostras de Sendas são, naturalmente, as que apresentam valores mais altos para este óxido, dada a maior quantidade de esmectite que possuem.

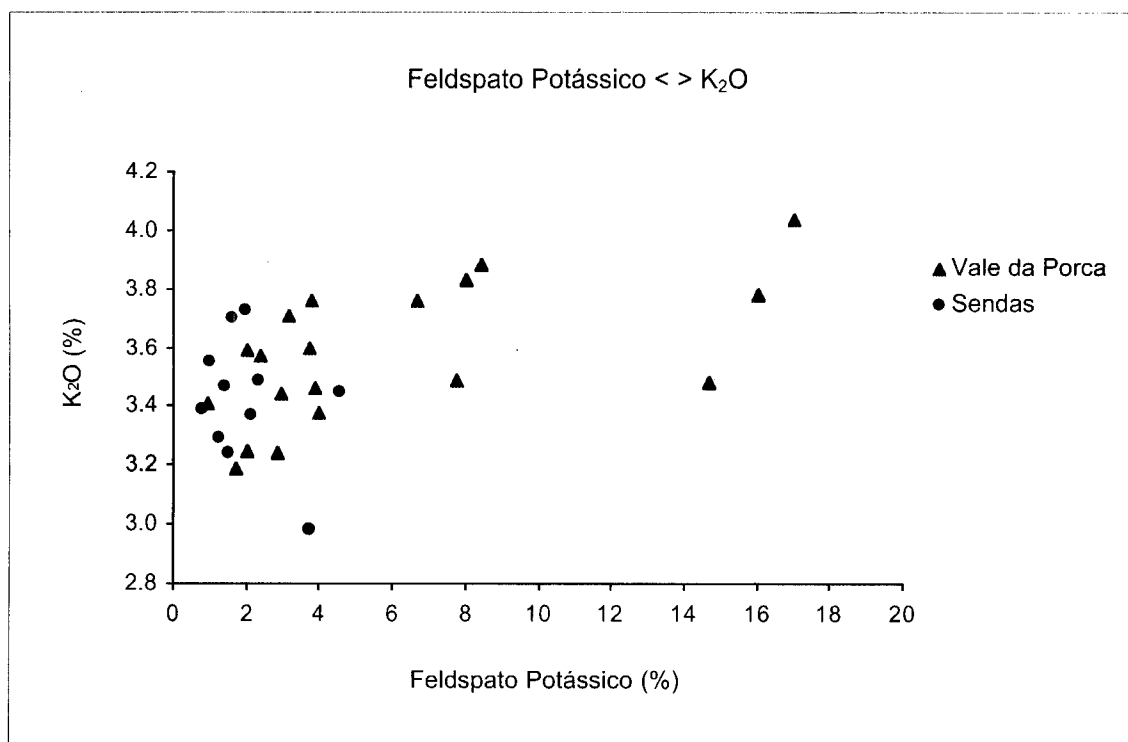


Figura 8.5 – Gráfico de correlação entre o teor de feldspato potássico e o teor de K_2O .

O teor de K_2O , ligeiramente mais elevado nas amostras de Vale da Porca que nas de Sendas, está de acordo com a composição mineralógica evidenciada. Com efeito, o K^+ tem tendência para integrar a rede dos feldspatos e das ilites. As amostras do primeiro areeiro têm teores mais elevados neste óxido, o que estará relacionado com a quantidade de feldspato potássico (figura 8.5). Na análise deste gráfico não se observa grande relação entre este óxido e o teor deste mineral nas amostras de Sendas, o que se deverá à sua reduzida percentagem. Considerando este último dado, a proximidade entre os valores de teor médio deste óxido nas

amostras destes areiros, apesar das diferenças de teor de feldspatos potássicos, poderá ser explicada pela maior quantidade de ilite nas amostras de Sendas.

Por fim, os valores de perda ao rubro das amostras estudadas mostram estar correlacionados com o teor de minerais argilosos presentes nos resíduos. As amostras de Sendas, como vimos anteriormente, possuem maiores teores deste tipo de minerais e, em concordância com este facto, são as que apresentam maior perda ao rubro.

8.1.3 – Caracterização granulométrica

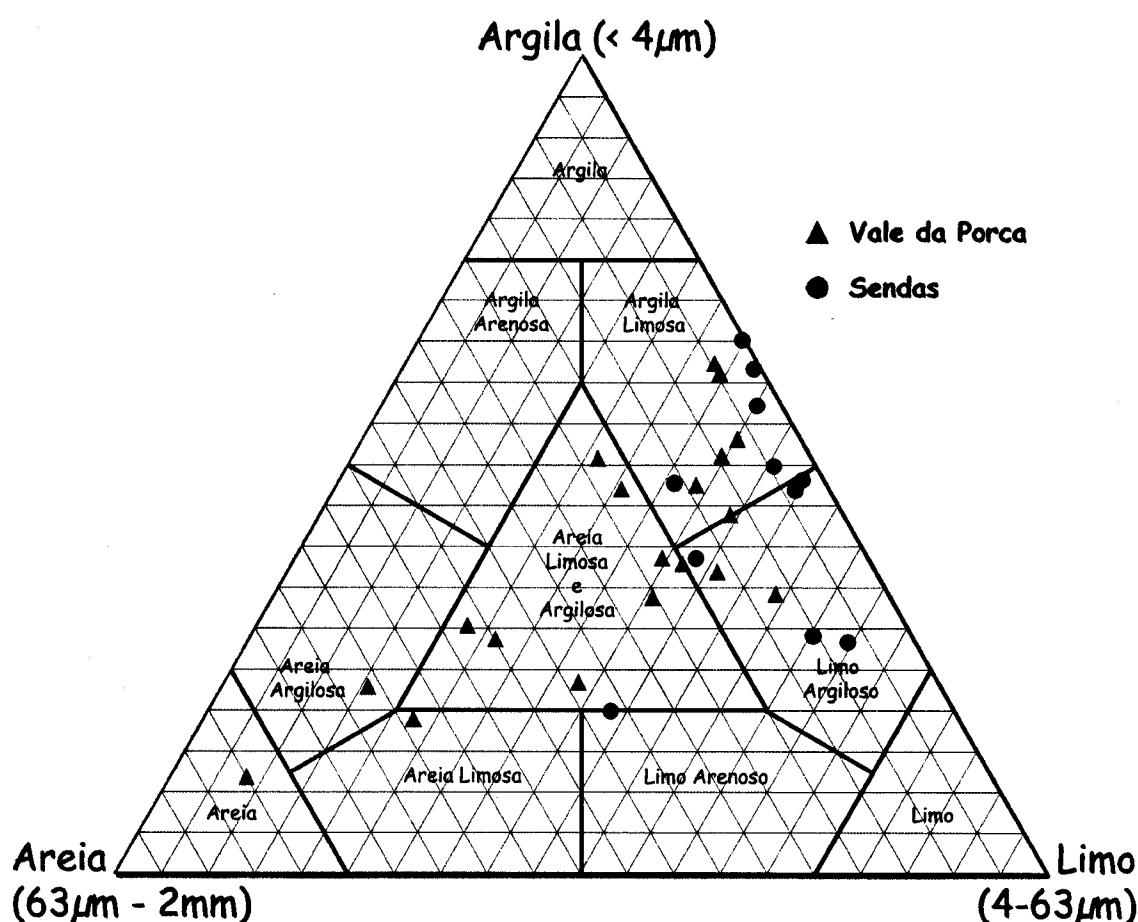


Figura 8.6 – Projecção, no diagrama de Shepard (1954) dos dados granulométricos referentes às amostras de Sendas e Vale da Porca.

A projecção no diagrama de Shepard (figura 8.6) dos resultados das análises granulométricas referentes às amostras dos resíduos de exploração dos areiros

estudados, efectuada com base nos dados constantes no anexo A.4, permite constatar que as amostras colhidas no areeiro de Sendas correspondem essencialmente a limo-argiloso e argila-limosa e as amostras do areeiro de Vale da Porca a areia-limosa-argilosa e argila-limosa.

As amostras dos resíduos do areeiro de Sendas são, no seu geral, relativamente homogéneas e compostas por materiais mais finos com fracção arenosa pouco abundante. Já as amostras dos resíduos de Vale da Porca apresentam uma fracção grosseira significativa e maior heterogeneidade textural. Estas diferenças verificadas entre os resíduos dos dois areeiros dever-se-ão a: 1) diferenças granulométricas existentes entre os depósitos sedimentares alimentadores dos dois areeiros; 2) a diferentes equipamentos de lavagem dos inertes; 3) e à optimização do processo de lavagem, verificando-se uma maior eficácia da separação das areias finas no areeiro de Sendas.

A maior variabilidade granulométrica das amostras recolhidas em Vale da Porca está aparentemente relacionada com a idade dos tanques de lamas e com a localização de cada amostra dentro dos referidos tanques. Nos tanques mais antigos é evidente maior percentagem de fracção arenosa. Segundo informações orais prestadas pelos responsáveis deste areeiro, esta situação estará relacionada com o facto de, numa fase inicial da exploração, as areias mais finas não terem ficado retidas durante o processo de lavagem. Verificou-se ainda que junto ao local onde as lamas eram descarregadas bem como no leito dos canais de circulação das águas, o teor da fracção arenosa é mais elevado, devendo-se esta situação a motivos dinâmicos. Supõe-se então que nos tanques de sedimentação destes areeiros existam diferenças composicionais, quer granulométricas quer mineralógicas devido à selecção dinâmica do escoamento das águas de lavagem nesses tanques.

Determinados minerais, como os minerais de argila, o quartzo e os feldspatos, demonstram tendência para se concentrarem numa determinada classe granulométrica. Esta tendência explicará algumas das diferenças mineralógicas verificadas entre os materiais dos dois areeiros bem como as variações observadas

entre as amostras de cada areeiro, dada as variações granulométricas existentes (figura 8.6).

As amostras que revelam quantidades mais elevadas de fracção $> 63\mu\text{m}$ apresentam também percentagens mais elevadas de quartzo, verificando-se a preferência deste mineral por esta classe dimensional, como se pode observar no gráfico da figura 8.7. A partir da análise desta figura constata-se que as amostras de Vale da Porca, em média mais grosseiras, são as que possuem maiores teores de sílica o que está de acordo com percentagens mais elevadas de quartzo.

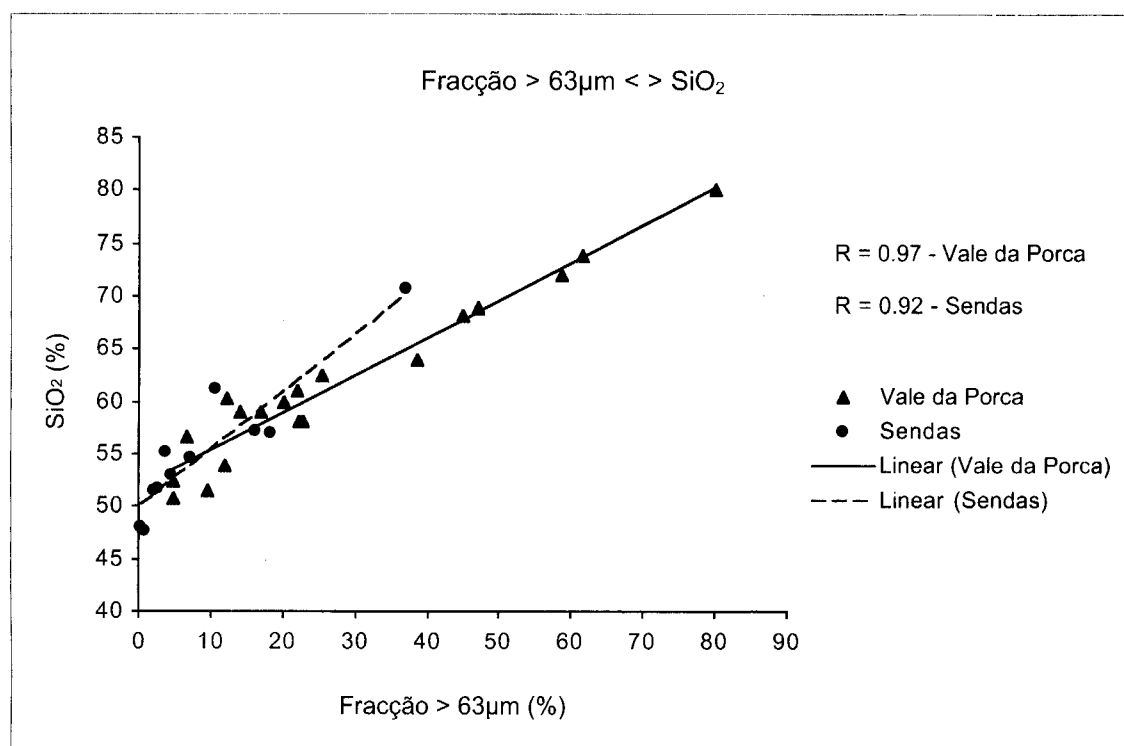


Figura 8.7 – Gráfico de correlação entre o teor de SiO_2 e a percentagem da fracção $> 63\mu\text{m}$.

O gráfico da figura 8.8, traduz a tendência do Al_2O_3 em se concentrar na fracção $< 4\mu\text{m}$, o que indica a concentração preferencial dos minerais argilosos nesta fracção. Esta tendência manifesta-se de forma idêntica nas amostras dos dois depósitos estudados, em que as amostras com maior percentagem em fracção $< 4\mu\text{m}$ são também as que possuem maior teor de minerais argilosos.

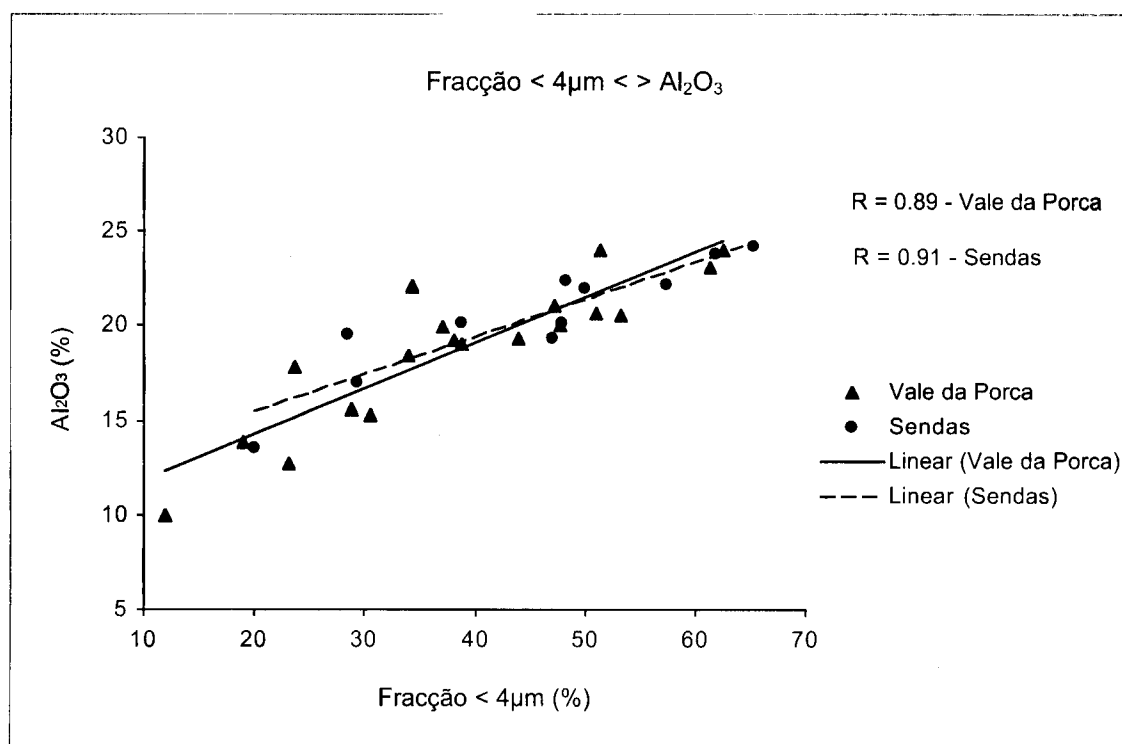


Figura 8.8 – Gráfico de correlação entre o teor de Al₂O₃ e a percentagem da fracção < 4 μ m.

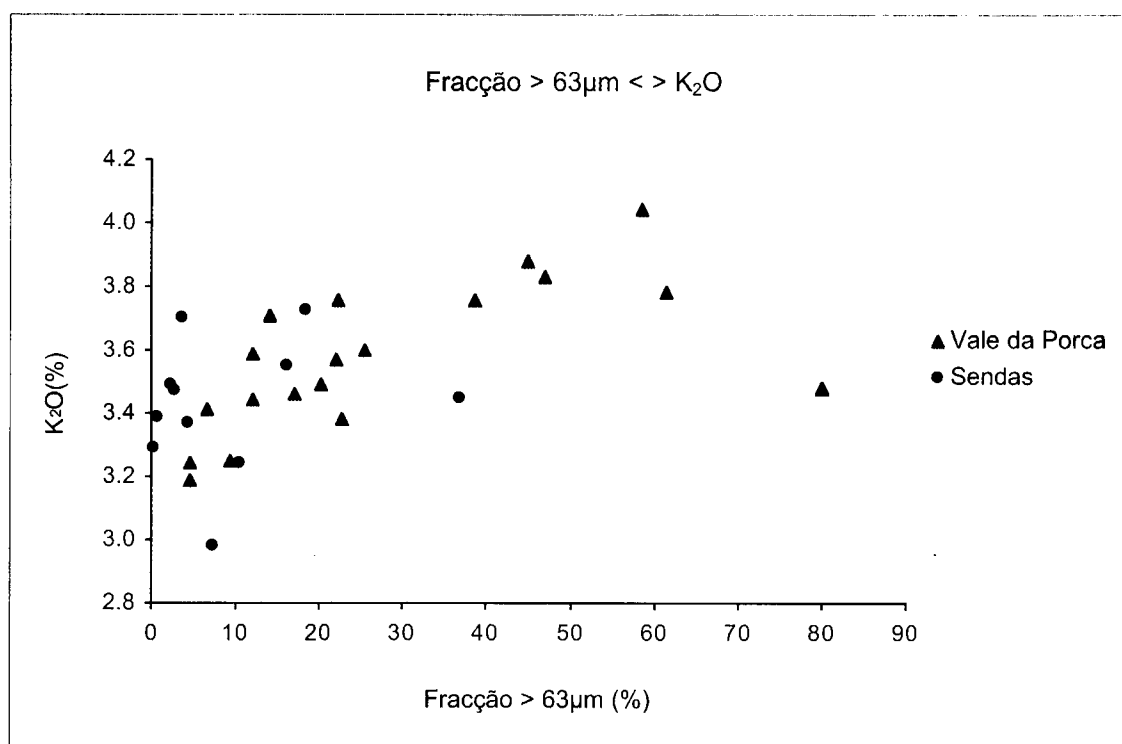


Figura 8.9 – Gráfico de correlação entre o teor de K₂O e a percentagem da fracção > 63 μ m.

No gráfico da figura 8.9. observa-se a relação do K_2O com a percentagem da fracção $>63\mu m$. Verifica-se a existência nos resíduos de Vale da Porca, de uma boa correlação positiva entre ambos, o que indica a presença preferencial dos feldspatos potássicos nesta classe textural. A correlação do K_2O com a fracção $>63\mu m$ é reduzida nas amostras de Sendas, facto que se deverá ao baixo teor de feldspato potássico nos resíduos deste areeiro.

O gráfico da figura 8.10 ilustra a correlação do teor em K_2O com a percentagem em fracção $<4\mu m$, observando-se uma ligeira tendência positiva nas amostras de Sendas, o que indicará a presença do K^+ contido na ilite que, como vimos anteriormente, é o mineral de argila mais abundante nos resíduos deste areeiro. A correlação de tendência negativa observada nas amostras de Vale da Porca está possivelmente relacionada com a maior quantidade de feldspatos potássicos que, como se observou no gráfico anterior, estão concentrados nas classes texturais mais grosseiras.

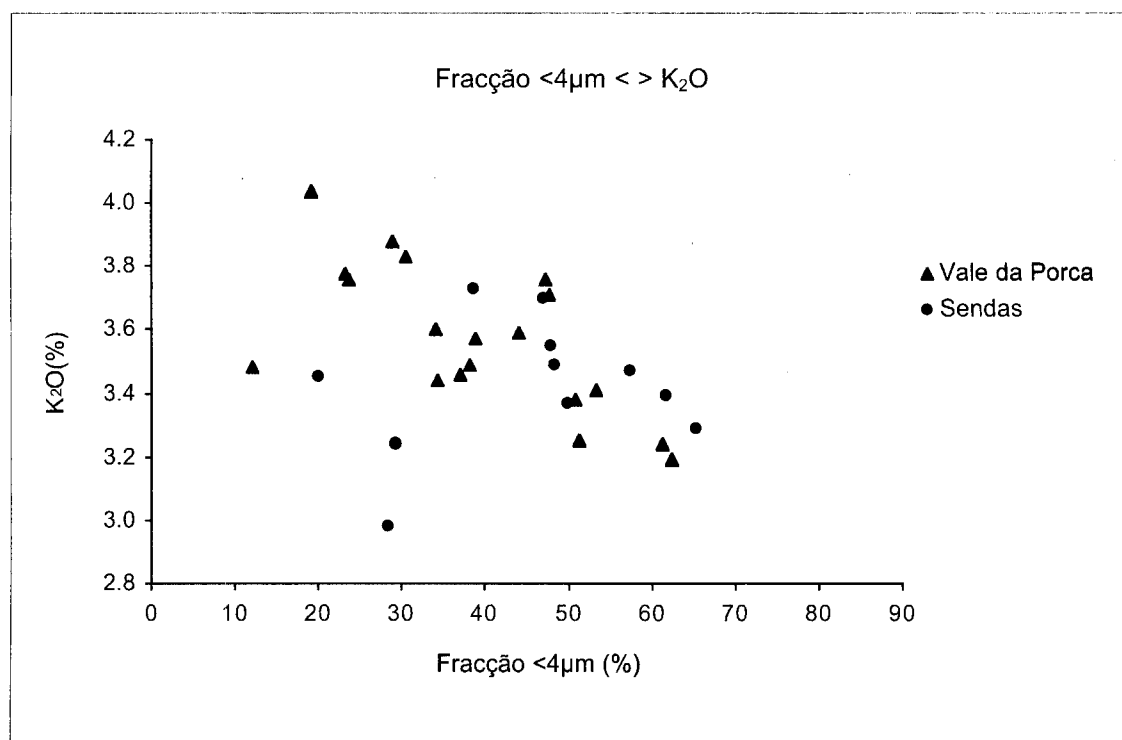


Figura 8.10 – Gráfico de correlação entre o teor de K_2O e a percentagem da fracção $<4\mu m$.

8.2 – Caracterização tecnológica

A caracterização tecnológica, com base nos resultados dos ensaios tecnológicos, efectuados com as amostras dos resíduos de exploração dos areeiros de Sendas e Vale da Porca, ensaios esses realizados nos laboratórios do INETI (ex-IGM) em São Mamede Infesta, é apresentada de seguida.

A referida caracterização foi efectuada, primeiramente, a partir dos resultados dos ensaios realizados com as pastas cerâmicas em cru, elaboradas a partir das referidas amostras, caracterizando-se posteriormente os resultados dos ensaios realizados com as pastas cerâmicas após cozedura a 950°C em ambiente oxidante.

8.2.1 – Pastas em cru

8.2.1.1 – Plasticidade

A partir do estudo da plasticidade (limites de Atterberg) das amostras colhidas nos tanques dos resíduos de exploração dos areeiros de Vale da Porca e Sendas, obtiveram-se os valores médios constantes no quadro 8.4, determinados a partir dos valores constantes no anexo A.5.1.

Quadro 8.4 – Valores médios dos índices de Atterberg (LF, LP e IP) determinados nas amostras dos resíduos de Sendas e Vale da Porca.

	Localização das amostras	
	Vale da Porca	Sendas
Limite de Fluidez – LF (%)	60 ± 17	83 ± 22
Limite de Plasticidade – LP (%)	37 ± 7	43 ± 7
Índice de Plasticidade – IP (%)	25 ± 10	40 ± 17

Da análise dos resultados apresentados no quadro 8.4 constata-se que, em média, as amostras apresentam plasticidade elevada, em que as amostras de

Sendas são notoriamente mais plásticas que as amostras de Vale da Porca. Esta análise é confirmada com a observação da projecção dos Índices de Atterberg efectuada nos diagramas das figuras 8.11 e 8.12.

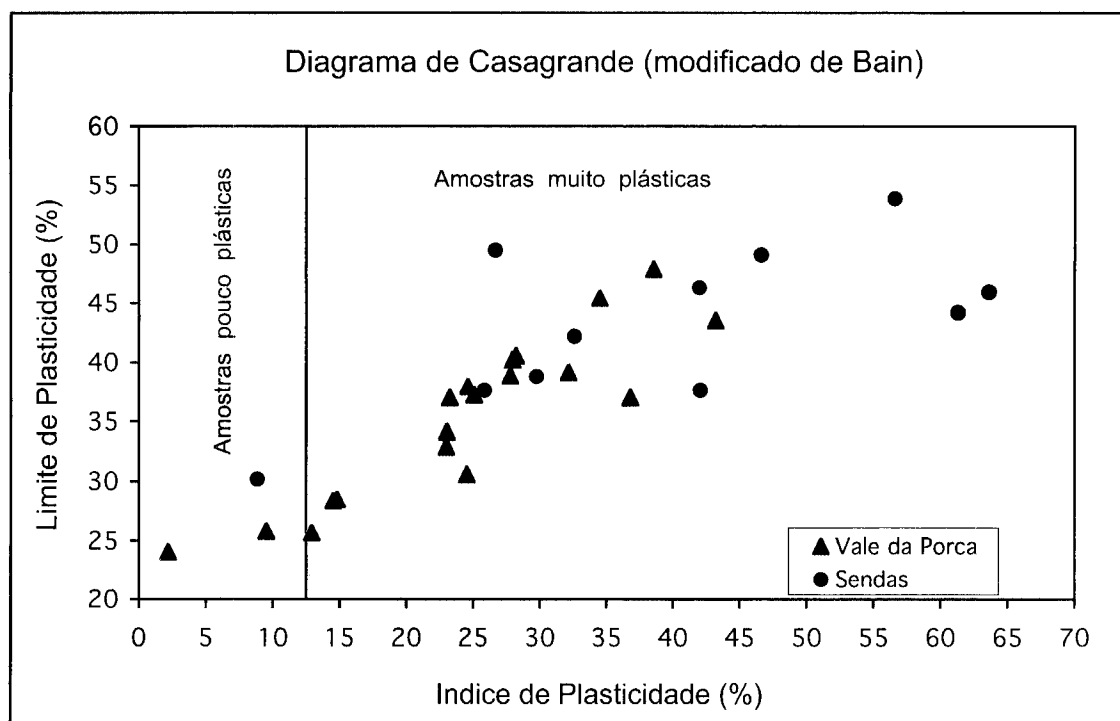


Figura 8.11 – Projecção dos valores de IP e LP, referentes às amostras estudadas, no diagrama de Casagrande modificado de Bain.

O diagrama da figura 8.11, estabelece a distinção entre as amostras de maior plasticidade, situadas à direita da recta $IP = 12,5\%$, e as amostras de menor plasticidade, situadas à esquerda dessa recta. Segundo Carvalho (2001) as amostras que apresentam um índice de plasticidade superior a $12,5\%$ apresentarão, durante o processo cerâmico industrial, uma extrusão satisfatória, enquanto que as argilas que apresentem um IP abaixo desse valor poderão apresentar defeitos de extrusão do tipo “espinha de peixe”. Observa-se neste diagrama que a maioria das amostras estão situadas à direita da recta $IP = 12,5\%$, em que apenas duas amostras de Vale da Porca e uma de Sendas se localizam à esquerda da referida recta.

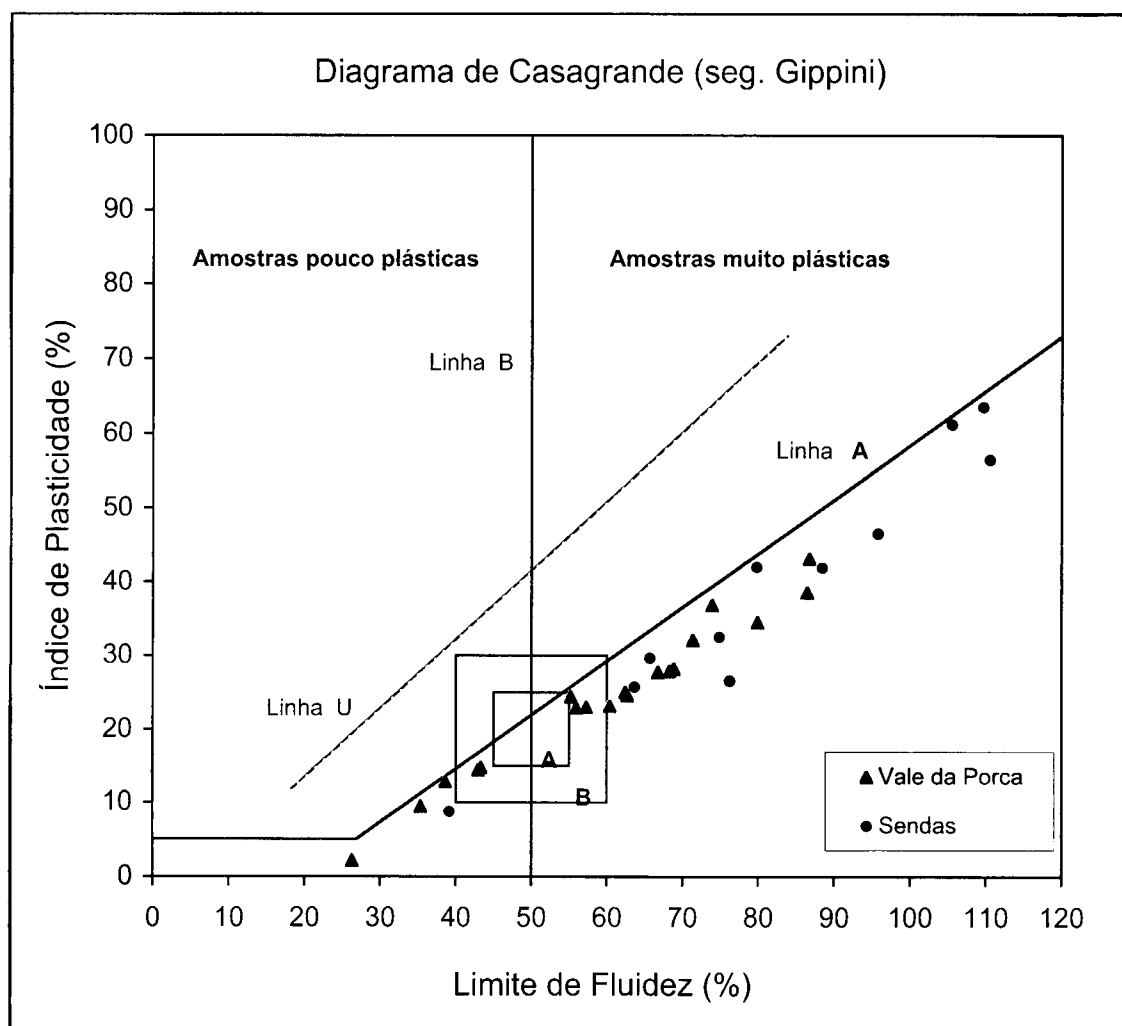


Figura 8.12 – Projecção no diagrama de Casagrande (1932) adaptado por Gippini (1969) dos valores de IP e LF determinados nas amostras estudadas.

No diagrama da figura 8.12, é evidenciada a elevada plasticidade da maioria das amostras estudadas, situadas à direita da “linha B”. Destaca-se, também, a presença de todas as amostras no campo das argilas com colóides orgânicos (amostras localizadas abaixo da “linha A”).

Segundo a projecção presente no diagrama referido anteriormente, poucas são as amostras que apresentam características conformes a uma boa extrusão. Nenhuma amostra de Sendas se situa em qualquer dos campos **A** e **B**, algumas de Vale da Porca localizam-se dentro do campo **B** (argilas com características adequadas para a extrusão) e apenas uma no campo **A** (argilas com características óptimas para extrusão).

Os gráficos que se seguem, presentes nas figuras 8.13 e 8.14, expressam a influência da composição mineralógica das pastas cerâmicas nos valores do índice de plasticidade. A análise dos gráficos permite verificar a forte dependência deste parâmetro tecnológico relativamente à percentagem de minerais de argila presentes nas amostras estudadas.

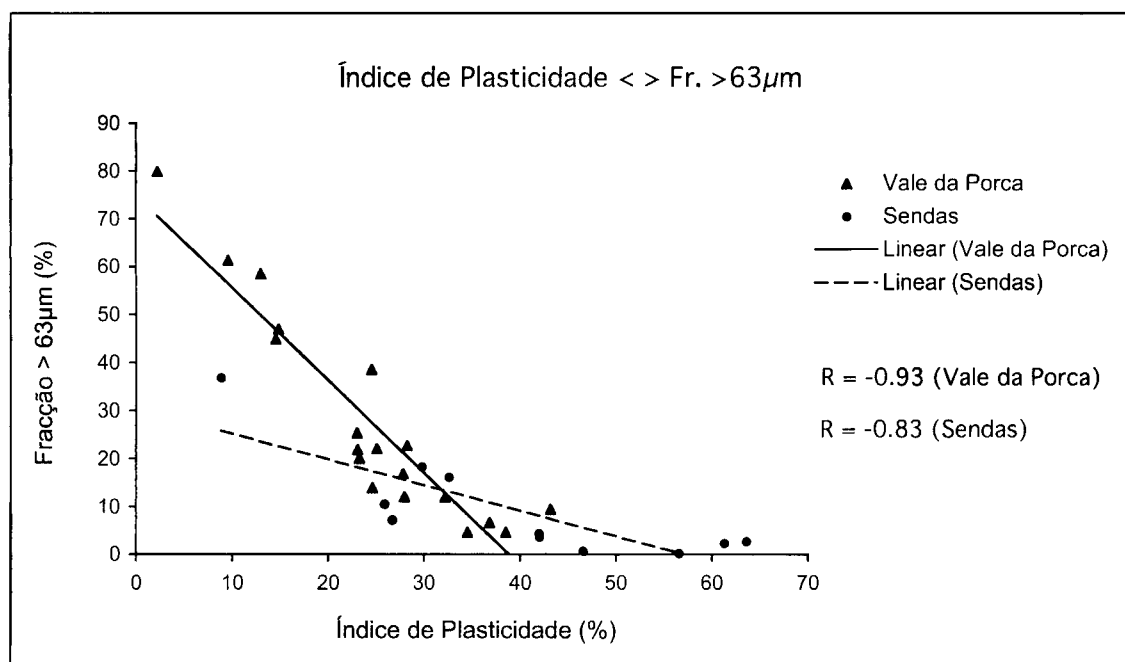


Figura 8.13 – Gráfico de correlação entre o índice de plasticidade e a percentagem de fracção > 63µm das amostras estudadas.

O gráfico da figura 8.13 põe em evidência a forte correlação negativa existente entre a percentagem de fracção grosseira e o índice de plasticidade, constatando-se que quanto menor for a percentagem desta fracção mais plásticas serão as amostras. Este facto deve-se à concentração preferencial de minerais “duros” (quartzo e feldspatos) nesta fracção, como se pode constatar no capítulo 8.1.3.

As amostras de Vale da Porca apresentam melhor correlação entre estes parâmetros evidenciando uma dependência mais elevada do índice de plasticidade para com a granulometria, comparativamente com o sucedido nas amostras de Sendas. Os resíduos de Vale da Porca são em média mais grosseiros e heterogêneos que os de Sendas (figura 8.6), contendo teores médios de minerais

“duros” mais elevados, o que explicará a forte correlação negativa observada e menor valor médio do índice de plasticidade.

A correlação positiva forte entre o teor de Al_2O_3 e o índice de plasticidade, evidenciada no gráfico da figura 8.14, indica a influência do teor de minerais de argila na plasticidade dos materiais estudados, pois como se observou na figura 8.2 este óxido está correlacionado com a quantidade de argila existente. Verifica-se pela análise da figura 8.14 que quanto maior o teor de Al_2O_3 maior a plasticidade das amostras.

As amostras dos resíduos de Vale da Porca são as que demonstram melhor correlação entre estes parâmetros, porém, são as amostras de Sendas que apresentam maior índice de plasticidade, como se viu anteriormente, facto que se deverá não só a um elevado teor de minerais de argila, mas também à presença em maiores quantidades de esmectite.

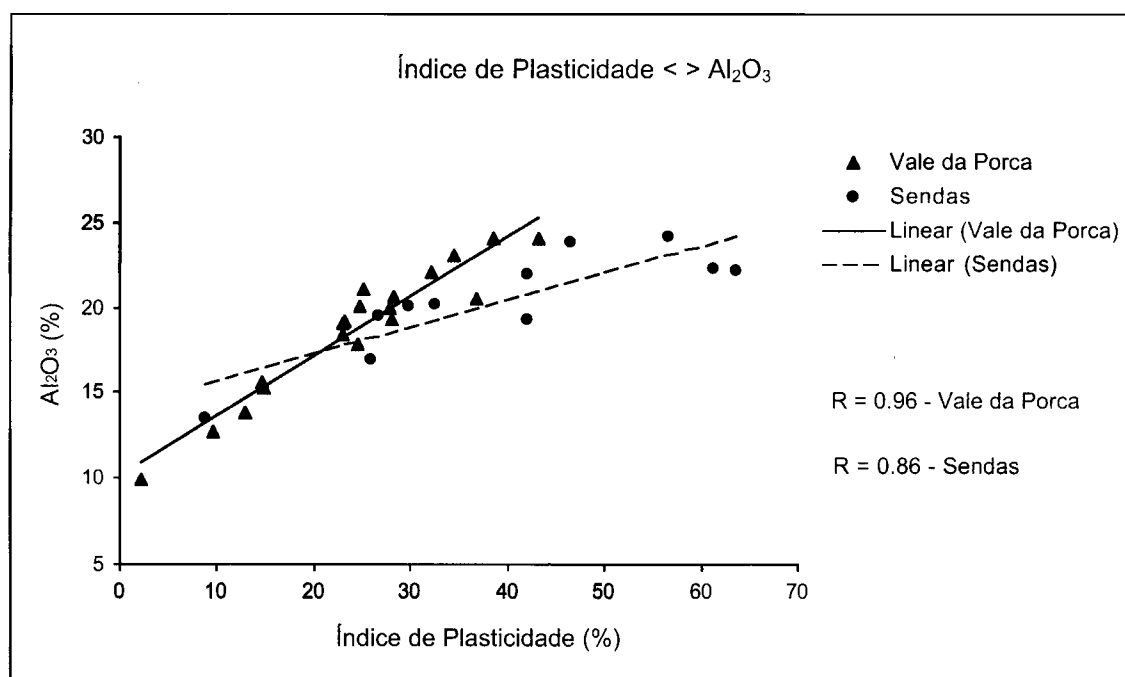


Figura 8.14 – Gráfico de correlação entre o índice de plasticidade e o teor de Al_2O_3 das amostras estudadas.

8.2.1.2 – Retracção

A retracção observada num material argiloso, durante os ciclos de secagem e cozedura a que esse material é submetido durante o processo de fabrico cerâmico, é reflexo da sua composição granulométrica e mineralógica. Tal relação é observável nas amostras dos resíduos de exploração dos areeiros estudados. No quadro 8.5 estão representados os valores médios da retracção (determinados a partir dos dados constantes no quadro do anexo A.5.2) medida nos provetes das amostras de Sendas e Vale da Porca, após secagem (retracção verde-seco).

Quadro 8.5 – Valor médio da retracção verde-seco observada nos provetes em cru das amostras estudadas.

	Localização das Amostras	
	Vale da Porca	Sendas
Retracção Verde-Seco (%)	8 ± 2	9 ± 2

A observação do quadro 8.5 permite verificar que as amostras de Vale da Porca têm, em média, valores ligeiramente mais baixos de retracção verde-seco que os registados nas amostras de Sendas. Este comportamento, dever-se-á ao facto de as amostras de Vale da Porca possuírem, em média, uma maior quantidade de minerais duros (quartzo e feldspatos), expresso pela maior percentagem da fracção grosseira onde estes minerais se concentram, e as amostras de Sendas maior percentagem de minerais de argila. A análise dos gráficos das figuras 8.15 e 8.16 permite verificar essas relações.

O gráfico da figura 8.15 expressa a relação da fracção $> 63\mu\text{m}$ com a retracção verde-seco, registando-se uma tendência para a diminuição da retracção com o aumento da percentagem desta fracção. Esta correlação, de tendência negativa, é mais forte nas amostras de Vale da Porca que nas de Sendas, dada a maior quantidade de minerais duros presente nas amostras do primeiro areeiro.

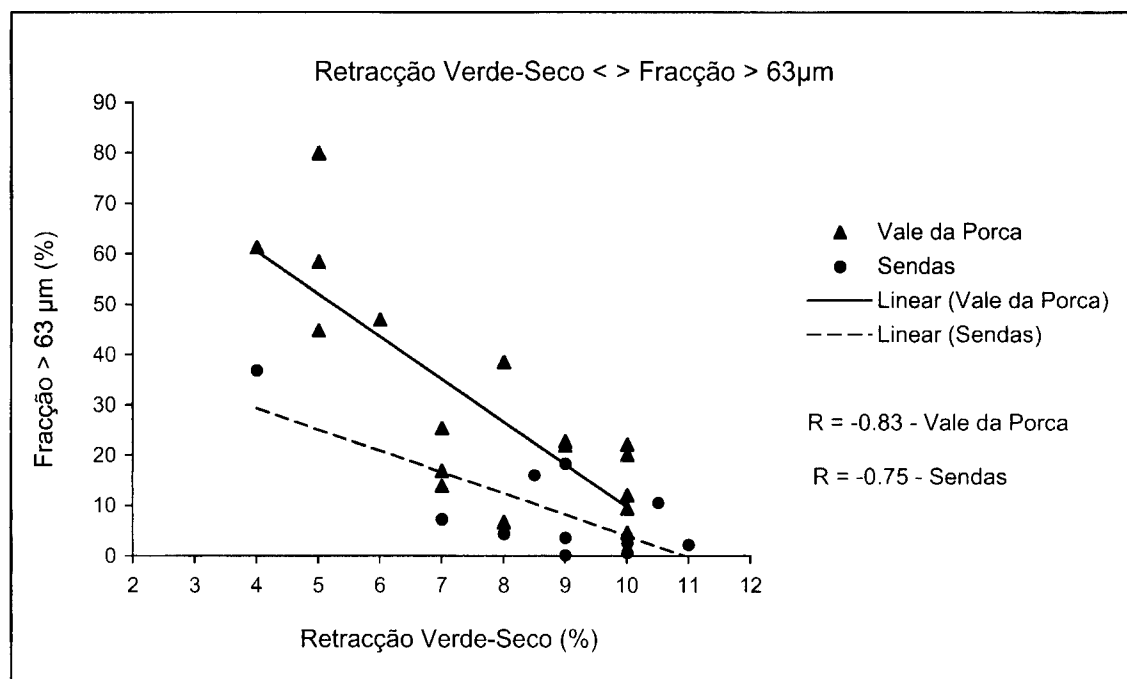


Figura 8.15 – Gráfico de correlação entre a retracção verde-séco e a percentagem da fracção > 63 µm.

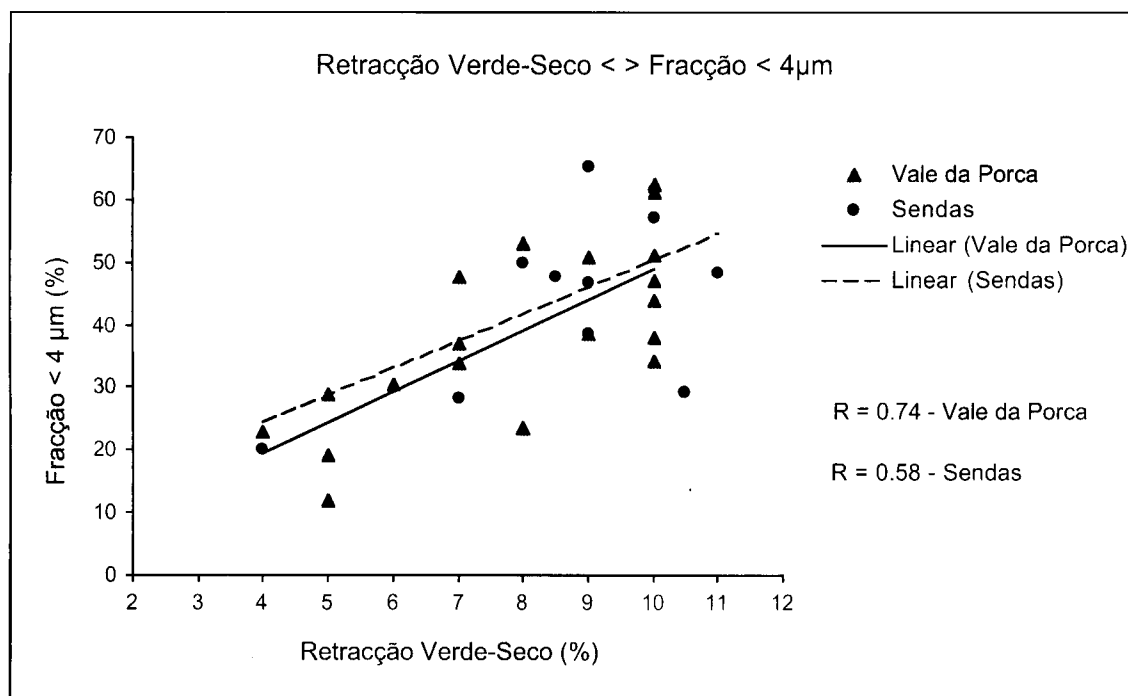


Figura 8.16 - Gráfico de correlação entre a retracção verde-séco e a percentagem da fracção < 4µm.

Na figura 8.16 a tendência existente é contrária à da figura anterior. Regista-se, portanto, uma correlação positiva entre a fracção <4µm e a retracção dos materiais,

o que se deverá à maior quantidade de minerais argilosos, uma vez que existe a tendência para estes se concentrarem, em boa parte, nesta fracção como já foi referido anteriormente. A correlação existente é semelhante nas amostras dos dois areeiros, no entanto a retracção é, em média, mais forte nas amostras de Sendas o que se pode relacionar com o seu maior teor em esmectite (figura 8.17).

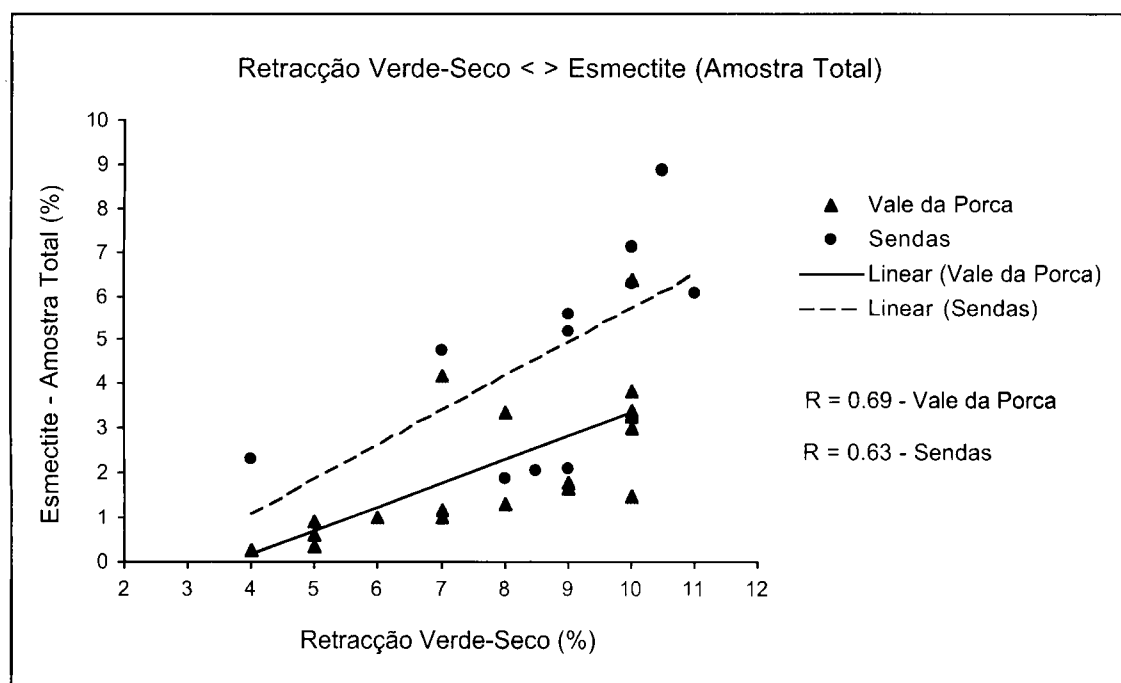


Figura 8.17 - Gráfico de correlação entre a retracção verde-seco e o teor de esmectite presente na amostra total.

8.2.1.3 – Resistência mecânica à flexão

No quadro 8.6 estão representados os valores médios da resistência mecânica à flexão, medida em provetes crus, das amostras de Sendas e Vale da Porca. Os valores apresentados dever-se-ão considerar subestimados, pois os provetes ensaiados foram elaborados manualmente, sem recurso a um extrudador com dispositivo de vácuo.

Quadro 8.6 – Valores médios da resistência mecânica à flexão medida em provetes em cru.

	Localização das Amostras	
	Vale da Porca	Sendas
Resistência mecânica à flexão (Kg/cm ²)	18 ± 7	23 ± 16

Os valores médios de resistência mecânica à flexão das amostras estudadas podem-se considerar satisfatórios para este tipo de materiais. As amostras de Sendas evidenciam maior resistência mecânica que as de Vale da Porca, provavelmente devido às diferenças texturais e mineralógicas existentes entre esses materiais.

A fracção <4 μ m está relacionada com a quantidade de minerais argilosos presentes na amostra, como se pôde constatar anteriormente (ver figura 8.8). Analisando a figura 8.18, podemos verificar a dependência dos valores de resistência mecânica relativamente à percentagem da fracção argilosa, manifestando-se assim a tendência para uma correlação positiva, forte, entre estas duas variáveis. A correlação existente é mais forte nas amostras de Sendas que nas de Vale da Porca, pois como já se observou anteriormente (figura 8.6) essas amostras são em média mais finas que as de Vale da Porca.

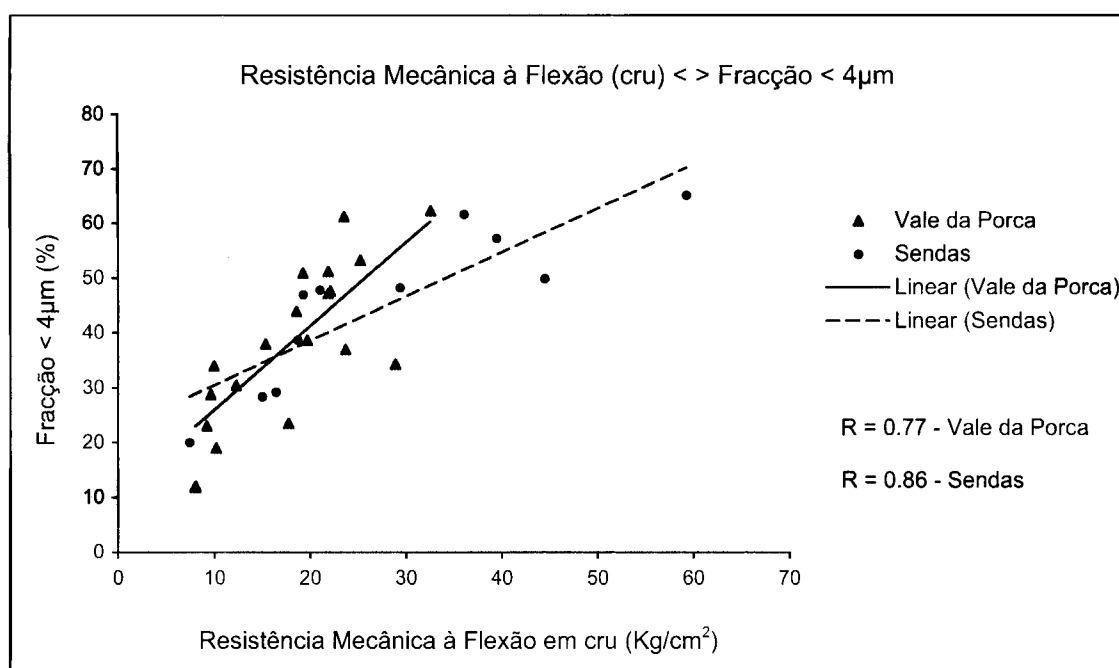


Figura 8.18 – Gráfico de correlação entre a resistência mecânica à flexão em cru e a percentagem da fracção < 4 μ m.

O gráfico da figura 8.19 evidencia a correlação negativa existente entre a percentagem de fracção > 63 μ m e a resistência mecânica à flexão das amostras em estudo. A fracção mais grosseira está relacionada com a quantidade de minerais

“duros”, não plásticos, como o quartzo e os feldspatos, dada a sua concentração preferencial nessa dimensão (cap. 8.1.3). A dependência da resistência em relação à fracção grosseira é maior nas amostras de Vale da Porca do que nas de Sendas, devido à maior quantidade de areia fina presente nessas amostras (figura 8.6).

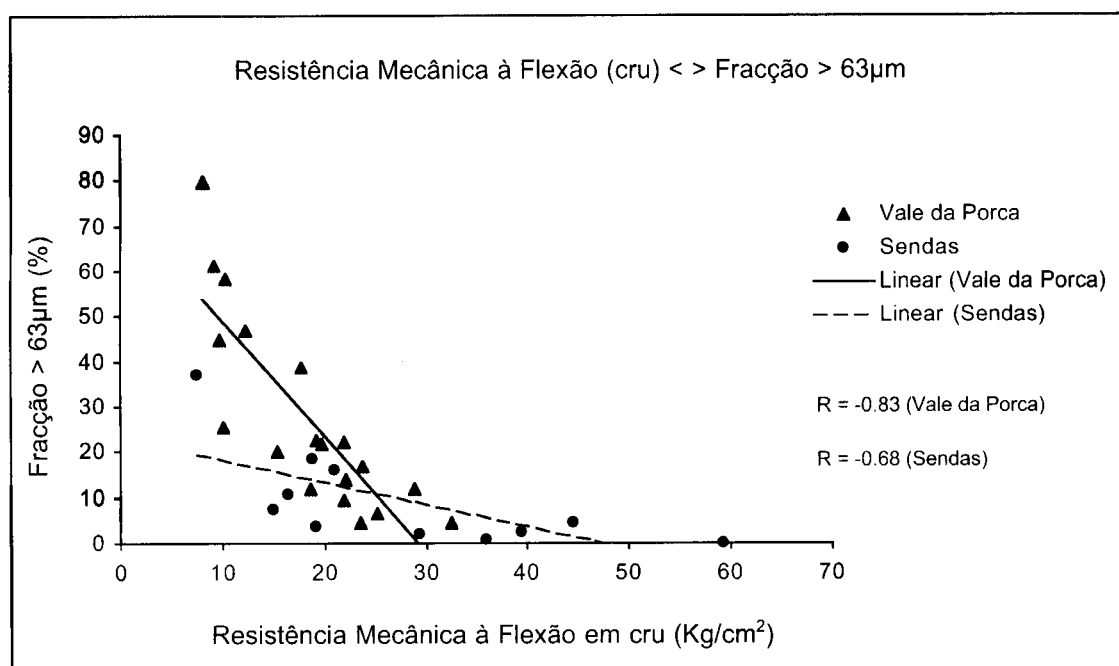


Figura 8.19 – Gráfico de correlação entre a resistência mecânica à flexão em cru e a percentagem da fracção > 63µm.

8.2.1.4 – Parâmetros cromáticos

No quadro 8.7 está representada a média dos valores constantes no anexo A.5.2 obtidos pela medição dos parâmetros cromáticos, segundo o sistema **L***, **a*** e **b*** DiN 6174, das amostras em pó e em cru dos resíduos dos areeiros de Vale da Porca e Sendas.

Quadro 8.7 – Valores médios dos parâmetros cromáticos das amostras em cru.

Parâmetros Cromáticos em Cru	Localização das Amostras	
	Vale da Porca	Sendas
L*	66 ± 2	69 ± 1
a*	12 ± 2	10 ± 2
b*	27 ± 2	26 ± 2

A análise do quadro 8.7 permite observar a posição das amostras estudadas, em relação ao eixo L^* (eixo branco-preto), verificando-se que são relativamente claras, sendo as amostras de Vale da Porca ligeiramente mais escuras que as do outro areeiro. Em relação ao eixo a^* (eixo verde-vermelho) observa-se que as amostras são ligeiramente vermelhas, evidenciando as amostras de Vale da Porca valor ligeiramente mais elevado neste parâmetro. Para a sua posição no eixo b^* (eixo azul-amarelo) as amostras apresentam valor relativamente semelhante (mais alto em Vale da Porca) no sentido da cor amarela.

O parâmetro a^* em cru destas amostras, que como se observou tende para o vermelho, está dependente da presença do Fe total da amostra, mais precisamente da goetite visto ser nas amostras o mineral mais rico neste elemento. Analisando o gráfico da figura 8.20, verifica-se que as amostras com teor mais elevado em goetite apresentam valores de a^* cru mais elevados, evidenciando portanto uma tonalidade ligeiramente mais avermelhada. Essa relação verifica-se ser mais forte nas amostras de Sendas.

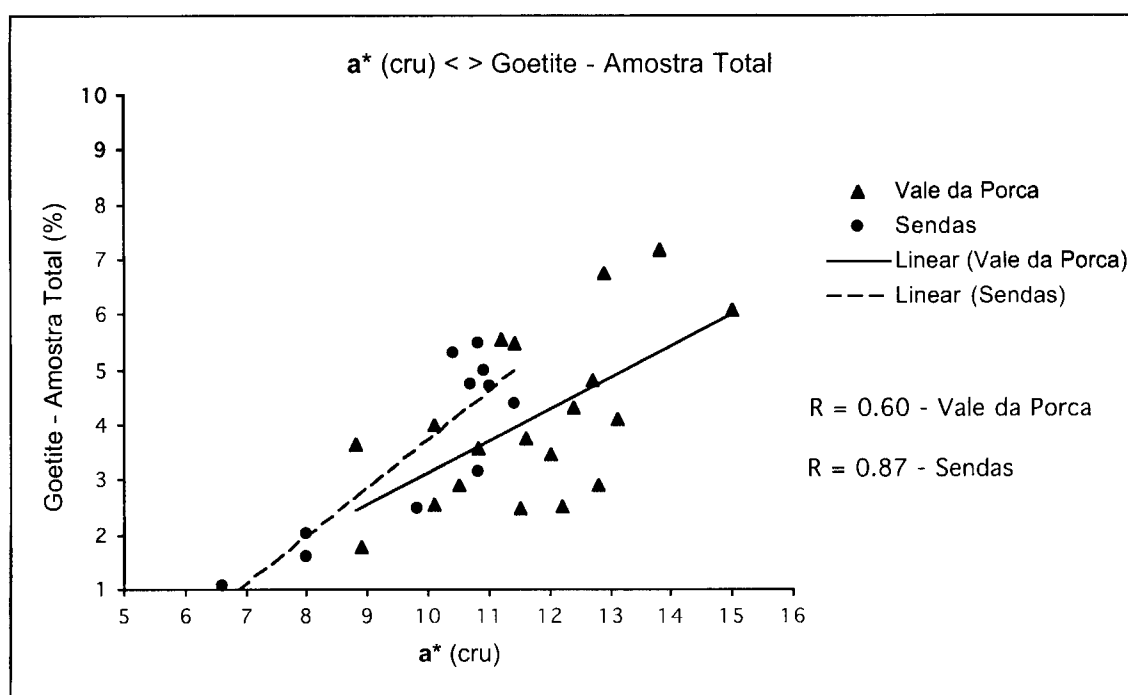


Figura 8.20 – Correlação entre o parâmetros cromáticos a^* (eixo vermelho-verde) e o teor em goetite das amostras.

No gráfico da figura 8.21 observa-se a existência de interdependência entre os parâmetros cromáticos L^* cru e a^* cru, verificando-se que quanto mais vermelhas forem as amostras (valor de a^* mais elevado) mais escuras estas serão (valor de L^* mais baixo). Essa interdependência, representada por uma correlação de tendência negativa, é semelhante nas amostras dos dois areeiros.

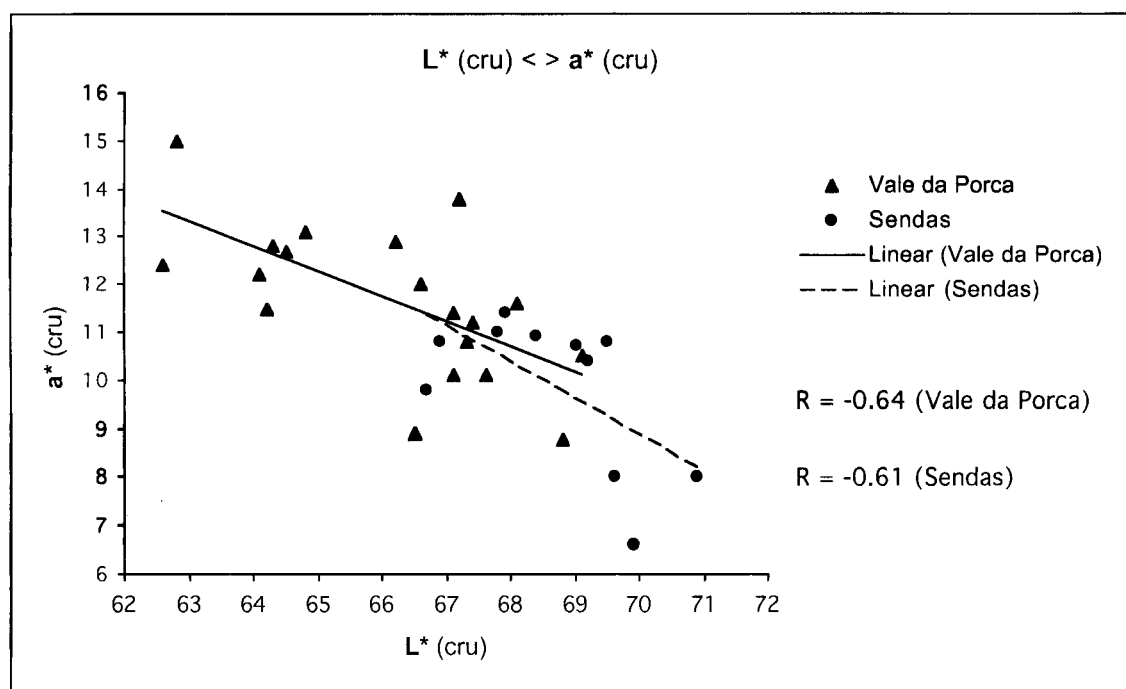


Figura 8.21 – Correlação entre os parâmetros cromáticos L^* (eixo branco-preto) e a^* (eixo vermelho-verde), em cru.

8.2.2 – Argilas após cozedura cerâmica a 950°C

8.2.2.1 – Retraccção

Os valores médios da retracção total apresentados no quadro 8.8, correspondem à retracção que o material cerâmico sofre após o processo de secagem (retracção verde-seco) e após o processo de cozedura cerâmica (retracção seco-cozido). Esses valores foram determinados a partir dos dados constantes no anexo A.5.3, determinados nos provetes de Sendas e Vale da Porca após cozedura cerâmica a 950°C.

Quadro 8.8 - Valor médio da retracção total registada para os provetes das amostras de Vale da Porca e Sendas.

	Localização das Amostras	
	Vale da Porca	Sendas
Retracção total (%)	10 ± 3	12 ± 3

Os valores de retracção medidos são reflexo, tal como o observado nos provetes crus, da composição granulométrica e mineralógica das amostras. Portanto, como seria de esperar, existe uma forte relação entre a retracção observada durante o processo de secagem (verde-seco) e a retracção total quantificada após o processo de cozedura cerâmica a 950°C. Este facto pode-se constatar na análise do gráfico da figura 8.22, onde se evidencia uma forte correlação positiva, mais elevada nos resíduos de Vale da Porca que nos de Sendas.

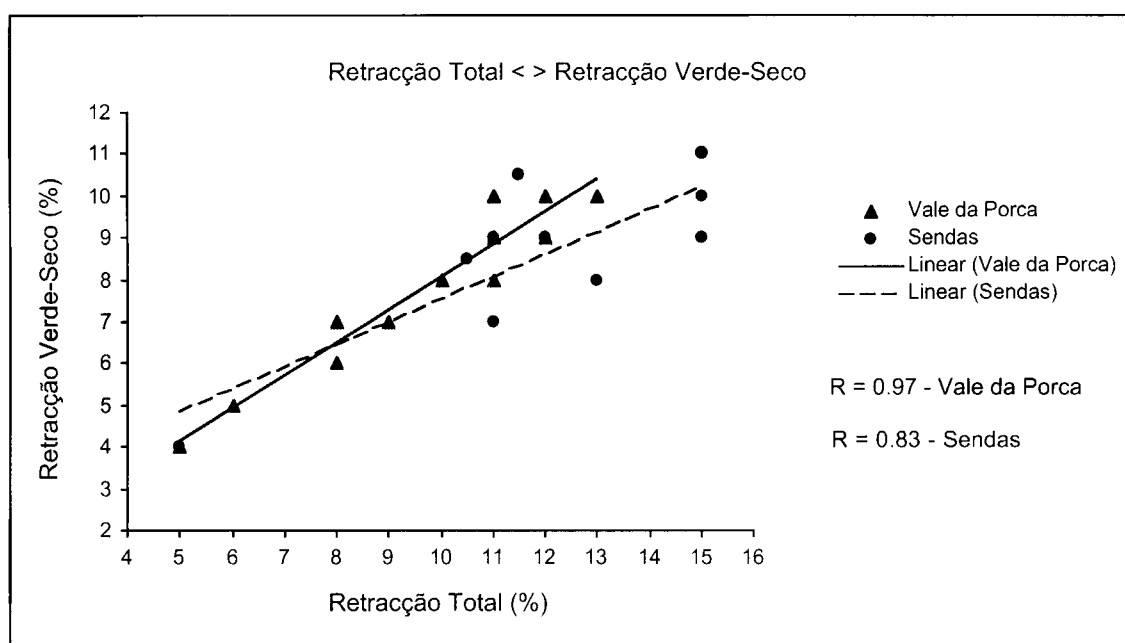


Figura 8.22 - Gráfico de correlação entre a retracção verde-seco e a retracção total dos provetes das amostras estudadas.

Tal como o observado nos provetes crus, a retracção verificada após a cozedura também é influenciada pela granulometria dos materiais. Contudo verifica-se que, após este processo de cozedura, existe uma correlação mais forte entre este parâmetro e a retracção. A análise da figura 8.23 permite ver a forte correlação negativa existente entre a quantidade de fracção > 63µm e a retracção, sendo esta

mais forte nas amostras de Sendas que nas de Vale da Porca. O mesmo se observa analisando o gráfico da figura 8.24, referente à relação da retracção com a fracção $<4\mu\text{m}$, sendo no entanto positiva a correlação apresentada.

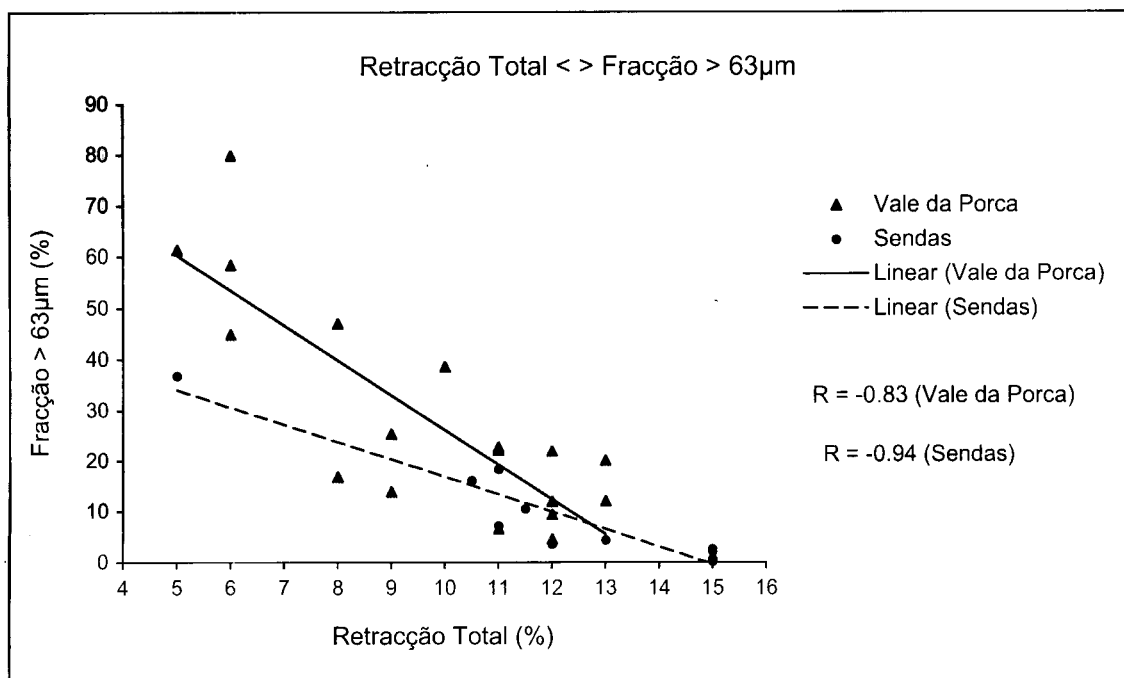


Figura 8.23 - Gráfico de correlação entre a retracção total e a percentagem da fracção > 63µm.

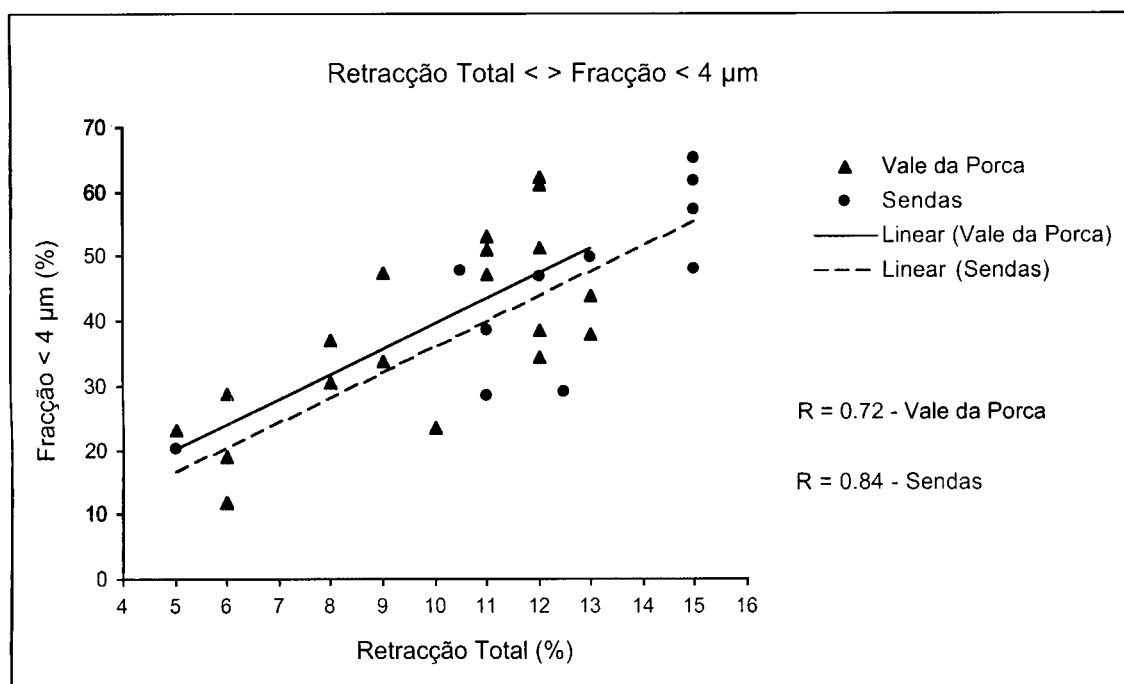


Figura 8.24 – Gráfico de correlação entre a retracção total e a percentagem da fracção < 4µm.

Como se referiu anteriormente, a fracção mais grosseira contem essencialmente minerais “duros” enquanto que os minerais argilosos se concentram na fracção $<4\mu\text{m}$. Nas figuras em questão verificamos que quanto maior a quantidade de minerais duros menores serão os valores da retracção, ou quanto maior for a quantidade de minerais de argila, maior será a retracção observada nas amostras.

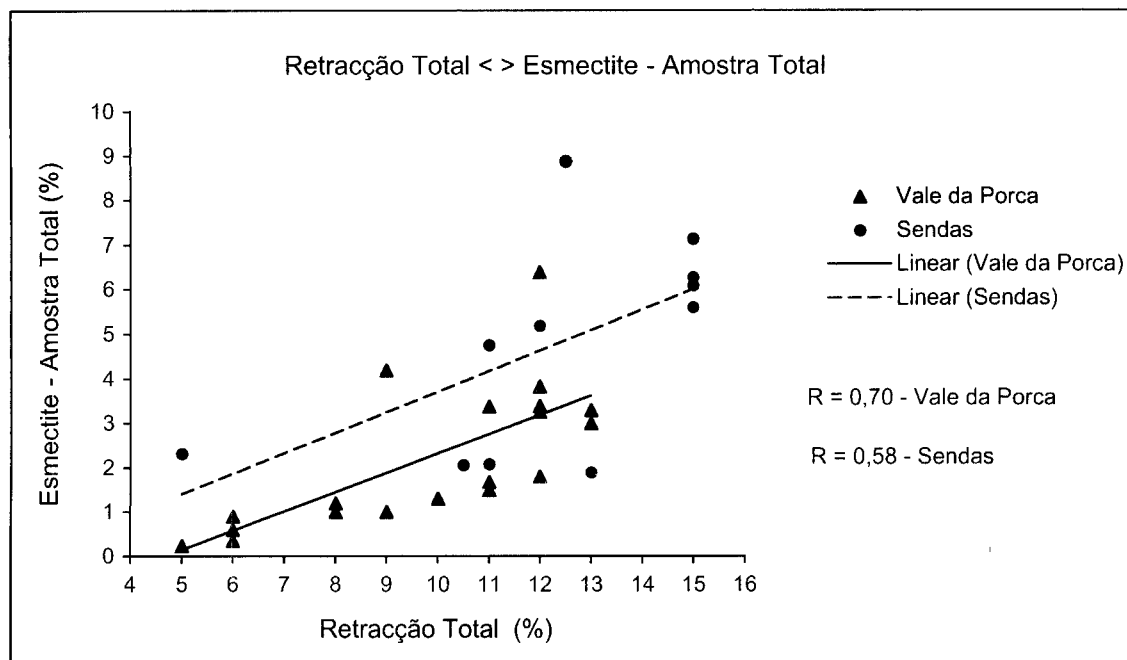


Figura 8.25 - Gráfico de correlação entre a retracção total e o teor de esmectite da amostra total.

Tal como o observado nas amostras em cru, é bem patente a dependência da retracção total observada em relação à composição mineralógica, mais precisamente em relação ao teor de esmectite da amostra total. A análise do gráfico da figura 8.25 permite observar a correlação positiva existente entre a retracção total e o teor de esmectite, verificando-se uma correlação mais forte para as amostras dos resíduos de Vale da Porca.

8.2.2.2 – Dilatometria

As curvas dilatométricas representadas na figura 8.26, pertencem a amostras cuja composição mineralógica corresponde à composição média das amostras dos resíduos dos areiros de Vale da Porca e Sendas.

A análise das curvas dilatométricas representativas das amostras estudadas (figura 8.26), permite verificar que as amostras de Vale da Porca apresentam em geral maior dilatação durante a fase de aquecimento e as amostras de Sendas retracções mais pronunciadas, facto esse concordante com as retracções observadas no quadro 8.8.

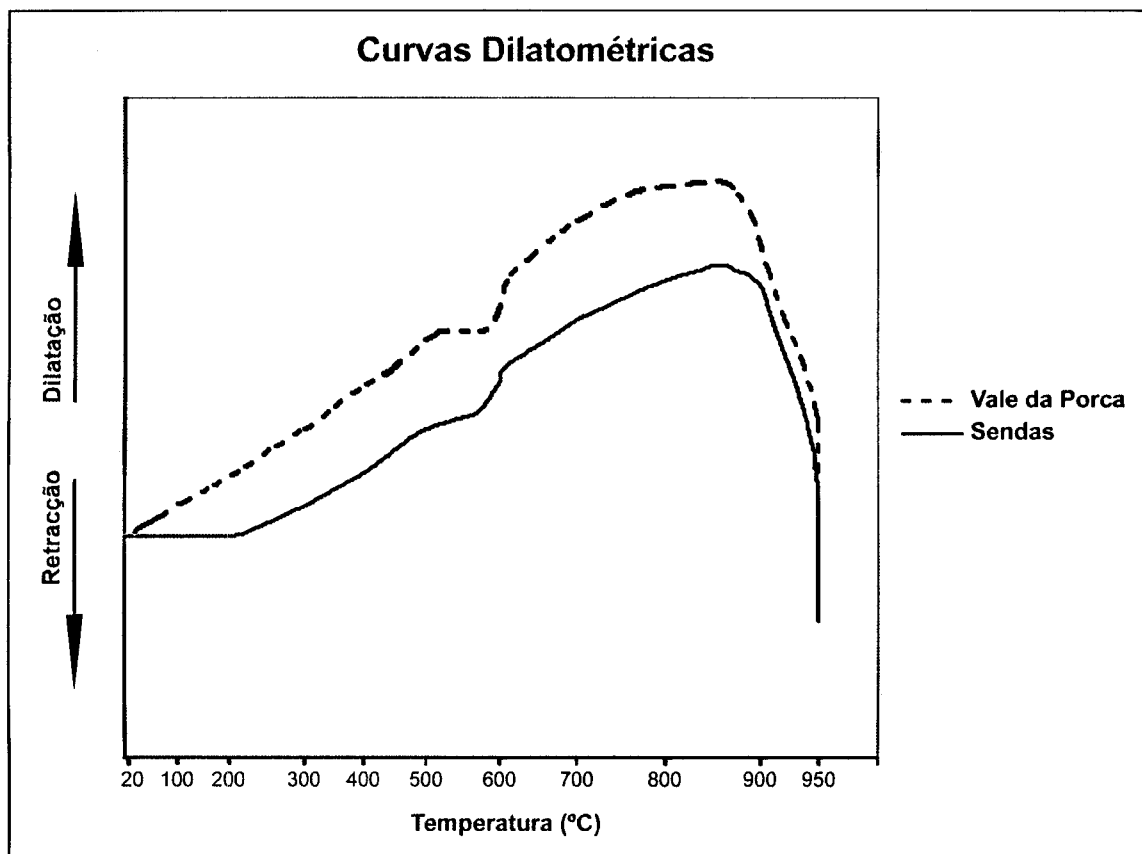


Figura 8.26 – Curvas dilatométricas representativas das amostras de Sendas e Vale da Porca.

As curvas dilatométricas representadas no gráfico evidenciam um comportamento semelhante, porém apresentam algumas diferenças relacionadas com as variações mineralógicas existentes entre as amostras dos dois areeiros.

Durante a fase inicial do aquecimento, observa-se uma tendência mais dilatante na curva de Vale da Porca relativamente ao observado na curva de Sendas, o que se deverá à maior quantidade de esmectite presente nas amostras do último areeiro. O início da dilatação, sensivelmente aos 250°C, na curva de Sendas assinala o começo da desidratação da camada brucítica da esmectite.

As curvas dilatométricas evidenciam uma retracção, registada aproximadamente aos 520°C. Este evento é prenunciador da decomposição das camadas octaédricas da caulinite, com a consequente perda de água de cristalização, sendo esta retracção mais intensa na curva das amostras de Vale da Porca que na curva das amostras de Sendas, devido ao menor teor de caulinite existente nas amostras deste último areeiro.

Ao atingir a temperatura de sensivelmente 574°C verifica-se, nas curvas, uma dilatação brusca provocada pela inversão do quartzo $\alpha \Leftrightarrow$ quartzo β . Esta dilatação vem contrariar a retracção devida à caulinite que se estava a observar anteriormente.

O patamar registado entre aproximadamente 574°C e 890°C é atribuível à presença da illite. Este patamar apresenta comportamento dilatante, o que indicia maior teor deste mineral relativamente ao teor de caulinite, estando em concordância com os dados mineralógicos apresentados no capítulo 8.1.1. Este comportamento dilatante é ligeiramente mais pronunciado na curva das amostras de Sendas, o que está em consonância com o maior teor de illite presente nessas amostras face às de vale da Porca.

As curvas do gráfico mostram uma forte retracção, a partir aproximadamente dos 890°C, devida ao colapso final da estrutura dos minerais argilosos.

8.2.2.3 – Resistência mecânica à flexão

No quadro 8.9 são apresentados os valores médios da resistência mecânica à flexão medida em provetes, das amostras de Sendas e Vale da Porca, cozidos a 950°C.

Quadro 8.9 – Valores médios da resistência mecânica à flexão medida em provetes, das amostras estudadas, cozidos a 950°C.

	Localização das Amostras	
	Vale da Porca	Sendas
Resistência Mecânica à Flexão (Kg/cm ²)	64 ± 35	110 ± 66

A análise do quadro 8.9 permite verificar que, em média, nas amostras estudadas os valores de resistência mecânica à flexão após cozedura cerâmica são bastante bons, situando-se muito acima de 30 Kg/cm^2 , referido por Carvalho (2001) como o valor mínimo de resistência mecânica para aplicação industrial. Nas amostras do areeiro de Sendas, tal como foi observado nos ensaios em cru, a resistência mecânica apresenta valores médios mais elevados que os registados nas amostras de Vale da Porca.

No gráfico da figura 8.27 é notória a correlação positiva existente entre a resistência mecânica das amostras em cru e a resistência mecânica das amostras cozidas. Observa-se neste gráfico que as amostras com melhor resistência mecânica em cru apresentam igualmente melhor valor de resistência após o processo de cozedura. Esta relação é mais forte nas amostras de Vale da Porca que nas amostras de Sendas.

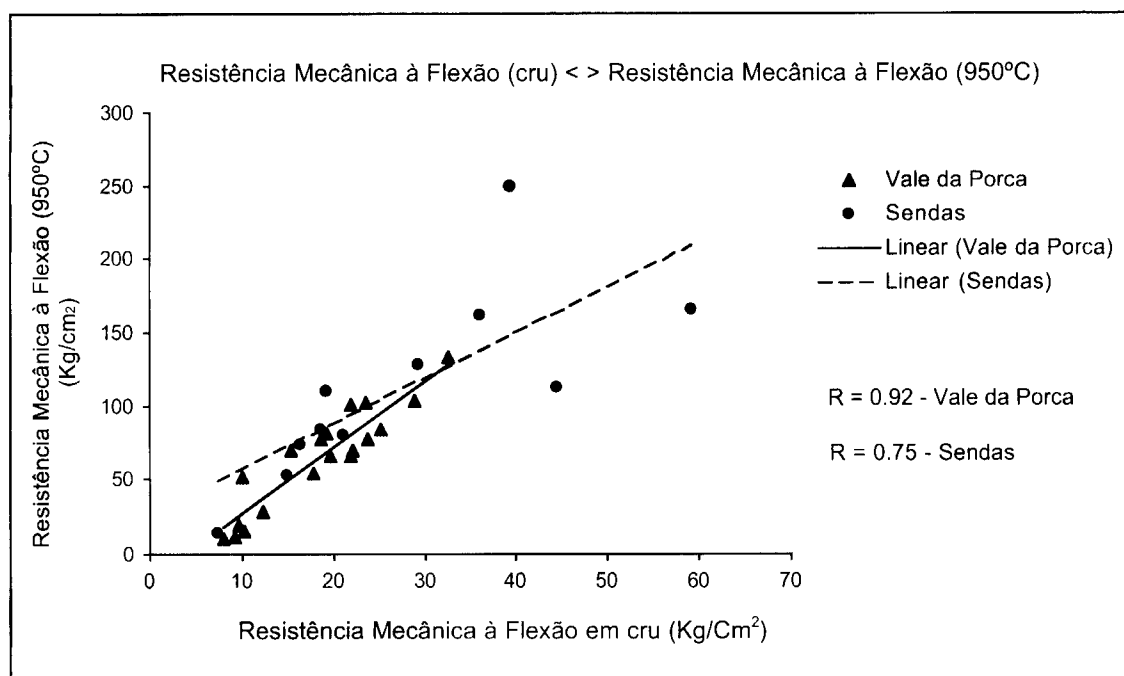


Figura 8.27 – Correlação entre a resistência mecânica à flexão em cru e a resistência mecânica à flexão após cozedura cerâmica a 950°C .

A influência da composição mineralógica e textural parece ser determinante, como vimos, na resistência mecânica do material argiloso em seco, estendendo-se

a sua influência até ao produto final. Os gráficos das figuras 8.28 e 8.29 ilustram bem a influência dos parâmetros acima mencionados na resistência dos materiais após cozedura cerâmica.

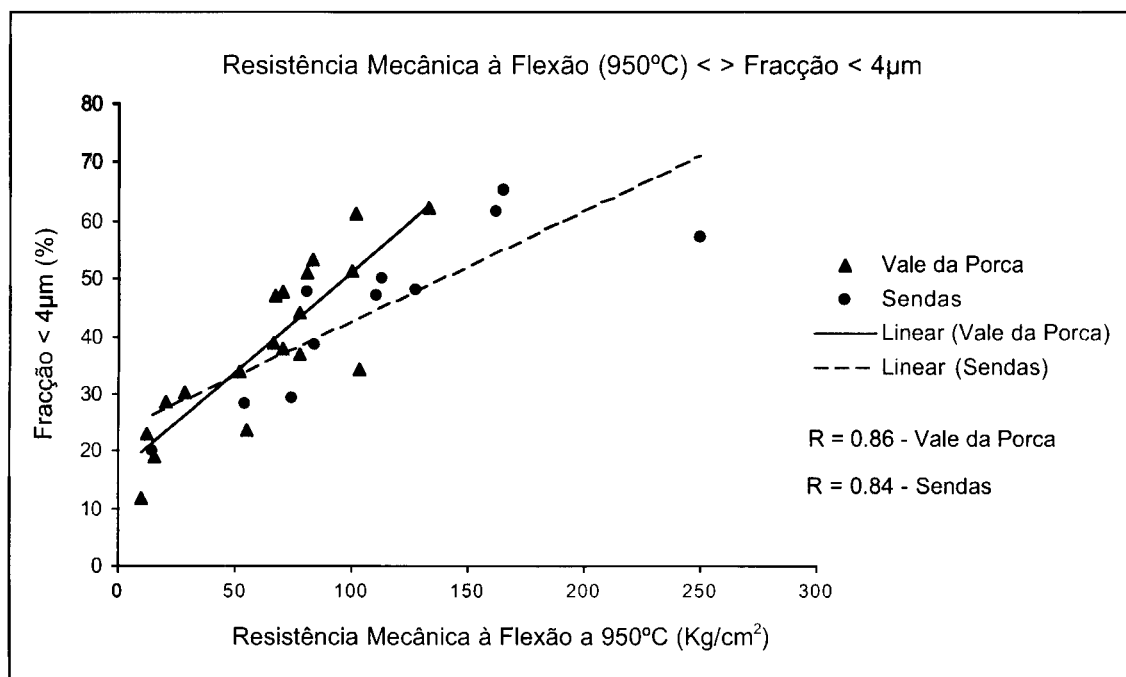


Figura 8.28 - Gráfico de correlação entre a resistência mecânica à flexão após cozedura cerâmica a 950°C e a percentagem da fracção < 4µm.

No gráfico da figura 8.28 (amostras cozidas), tal como o observado no gráfico da figura 8.18 (amostras em cru), verifica-se uma forte correlação de tendência positiva entre os valores da resistência mecânica à flexão e a percentagem da fracção argilosa ou seja, entre a resistência e o teor de minerais argilosos. Esta correlação é mais significativa após cozedura cerâmica.

A percentagem de fracção > 63µm também influencia a resistência dos provetes após a cozedura cerâmica (figura 8.29), verificando-se a existência de forte correlação de tendência negativa, já presente nas amostras em cru (figura 8.19). Esta relação é mais forte nas amostras de Vale da Porca devido à sua maior variabilidade granulométrica.

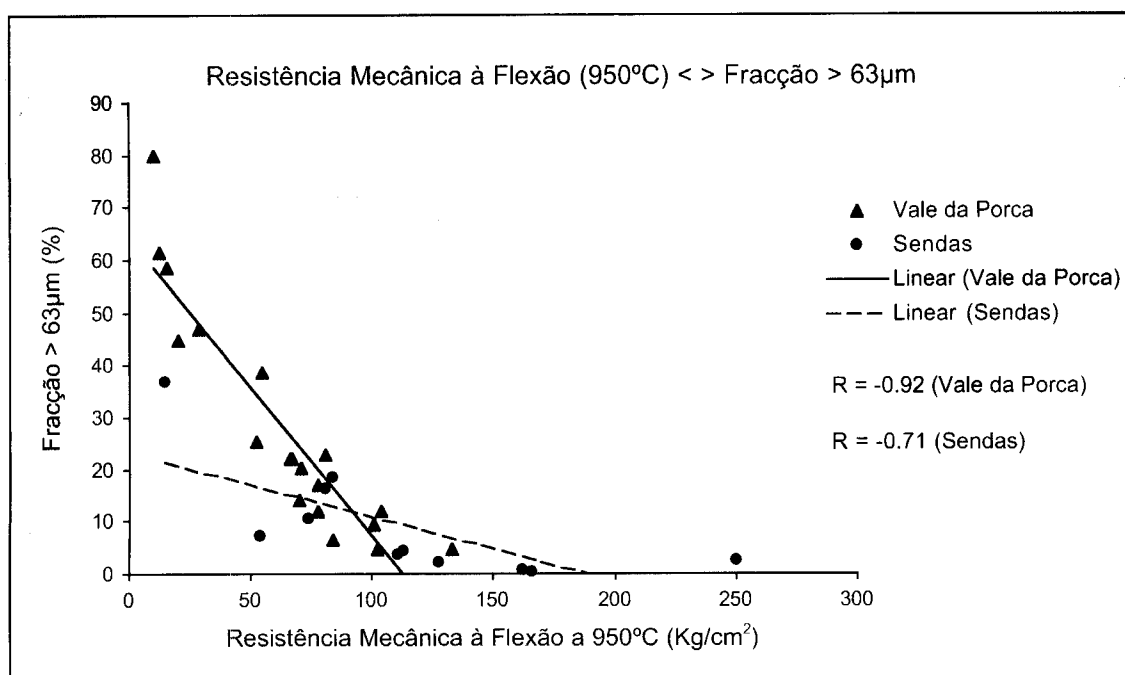


Figura 8.29 - Gráfico de correlação entre a resistência mecânica à flexão após cozedura cerâmica a 950°C e a percentagem da fracção > 63µm.

8.2.2.4 – Parâmetros cromáticos

No quadro 8.10 apresentam-se os valores médios, dos resultados constantes no anexo A.5.2, obtidos pela medição dos parâmetros cromáticos, no sistema **L***, **a*** e **b*** DiN 6174, em provetes cozidos a 950°C das amostras dos areiros de Vale da Porca e Sendas.

Quadro 8.10 – Valores médios dos parâmetros cromáticos após cozedura cerâmica a 950°C.

Parâmetros cromáticos após cozedura	Localização das Amostras	
	Vale da Porca	Sendas
L*	53 ± 1	54 ± 1
a*	26 ± 1	25 ± 1
b*	26 ± 1	25 ± 1

Após a cozedura tornou-se evidente uma diminuição da intensidade do parâmetro **L***, o que indica um escurecimento das amostras, registando-se também o aumento do valor do parâmetro **a*** indicando a intensificação da cor vermelha, por força,

muito provavelmente da oxidação do ferro. O parâmetro b^* não apresenta grandes variações em relação aos valores apresentados em cru.

Tal como nas amostras em cru, as amostras de Vale da Porca são ligeiramente mais escuras que as amostras de Sendas, embora ambas evidenciem idêntica tonalidade avermelhada.

A cozedura cerâmica tende a intensificar a cor das amostras em cru, como se pode visualizar no gráfico da figura 8.30. Essa relação é mais notória nas amostras de Sendas, onde se constata que amostras com valor L^* mais baixo em cru (amostras mais escuras) originam, na maioria das vezes, produtos mais escuros após cozedura. Nas amostras de Vale da Porca essa tendência surge ligeiramente invertida.

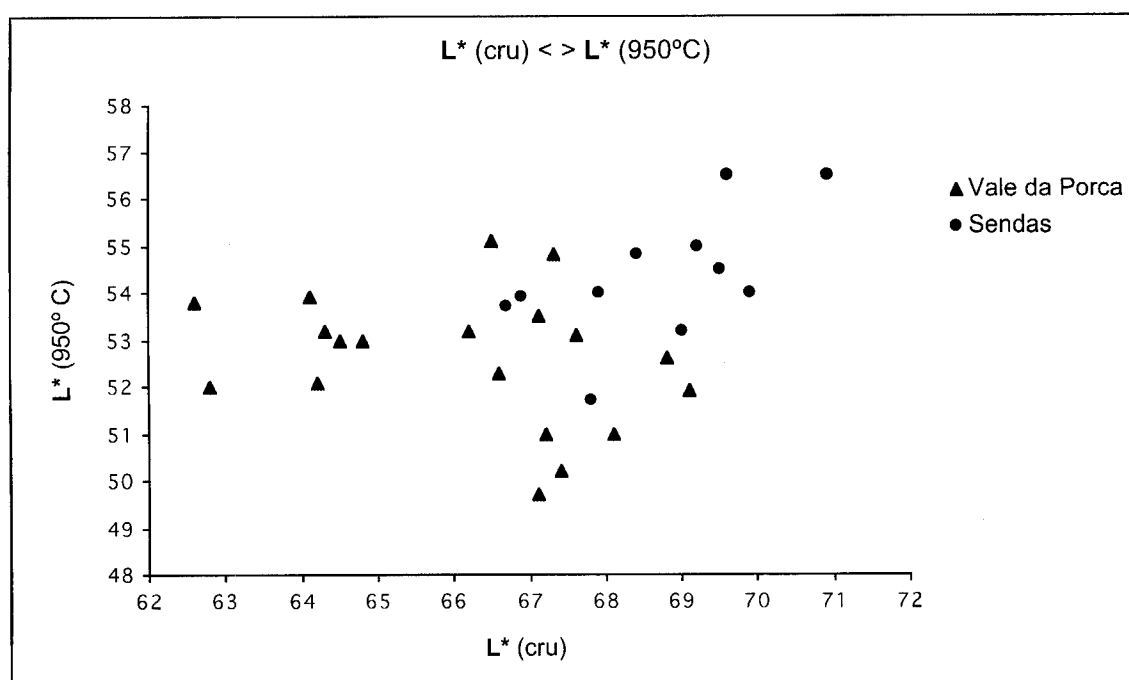


Figura 8.30 – Correlação entre os parâmetros cromáticos L^* em cru e L^* após cozedura cerâmica a 950°C.

Da análise da figura 8.31 é possível constatar que o aumento do teor em Fe total nas amostras de Vale da Porca está relacionado com o aumento da tonalidade avermelhada que as amostras passaram a apresentar, no entanto, nas amostras de

Sendas esta tendência é negativa, o poderá significar não ser unicamente o teor em ferro a condicionar a cor.

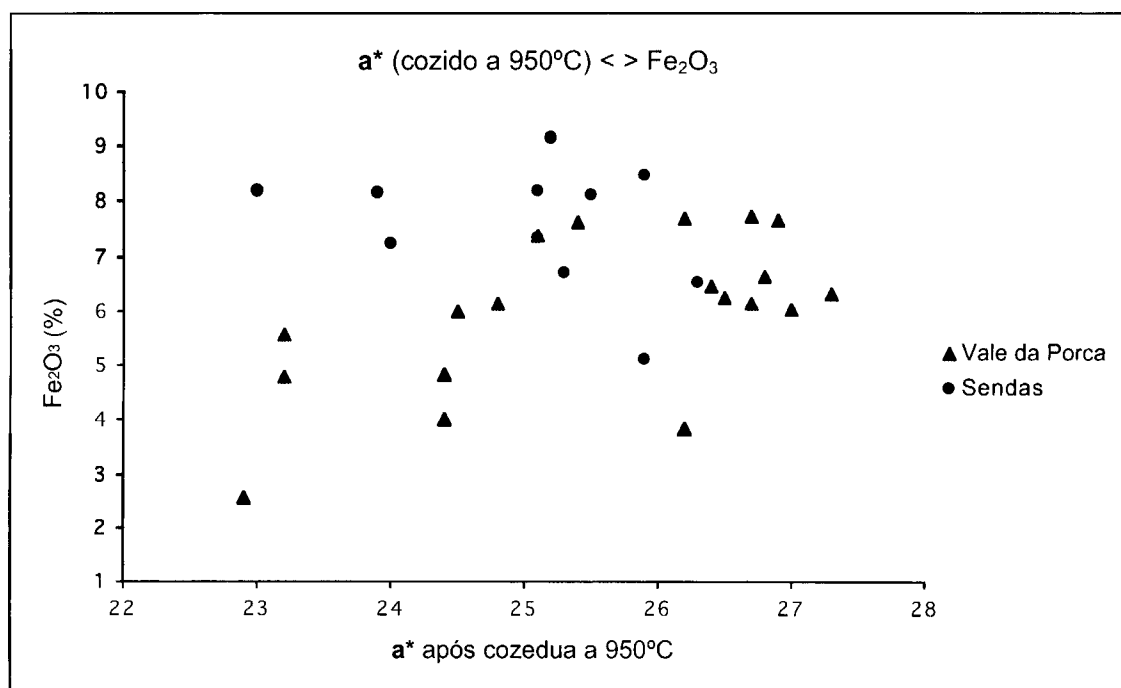


Figura 8.31. – Correlação entre os parâmetros cromáticos a^* após cozedura cerâmica a 950°C e o teor do Fe_2O_3 das amostras.

8.2.2.5 – Absorção de água

No quadro 8.11, estão representados os valores médios da absorção de água registada nos provetes, cozidos a 950°C, de Sendas e Vale da Porca, determinados a partir dos dados constantes no anexo A.5.1.

Quadro 8.11 – Valores médios da percentagem de absorção de água medidos em provetes cozidos a 950°C.

	Localização das Amostras	
	Vale da Porca	Sendas
Absorção de água (%)	16 ± 2	14 ± 4

Os valores de absorção de água apresentados reflectem, como se pode observar nos gráficos das figuras 8.32 e 8.33, a composição dimensional e mineralógica das amostras estudadas.

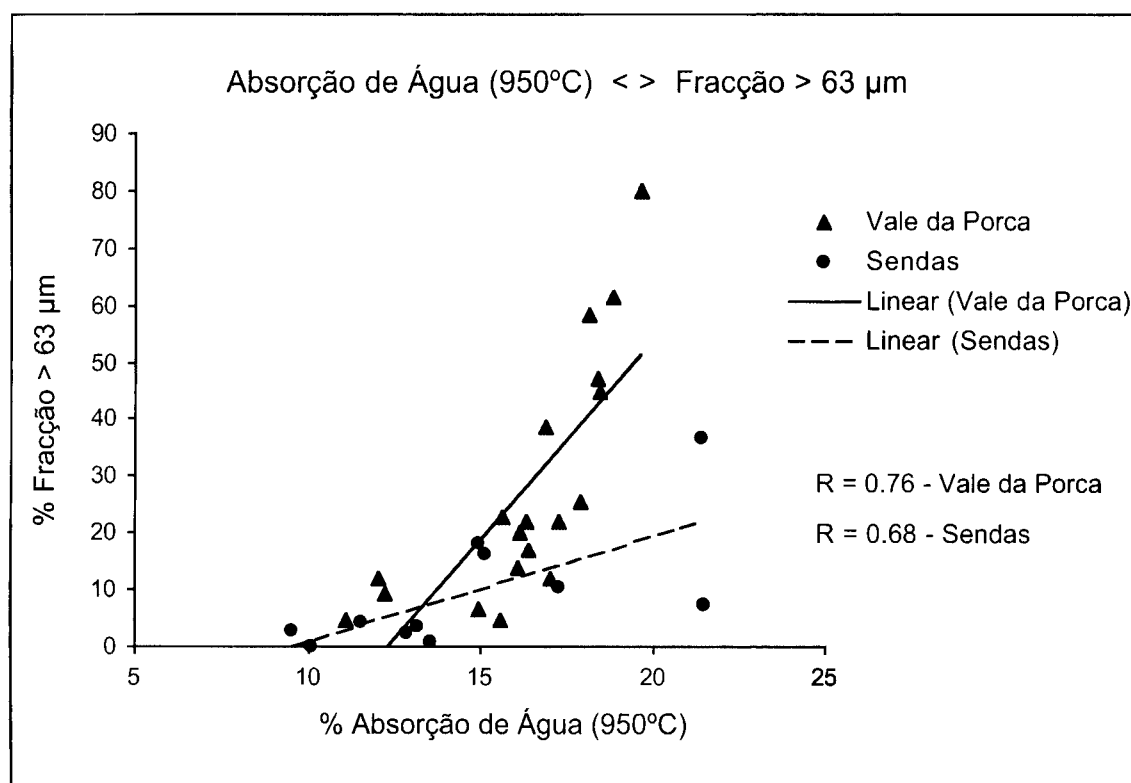


Figura 8.32 – Correlação entre a absorção de água em provetes cozidos a 950°C e a percentagem da fracção > 63 µm.

O gráfico da figura 8.32 ilustra a relação existente entre o teor de minerais “duros” (quartzo e feldspato), expresso pela fracção mais grosseira, com a absorção de água. Esta correlação, de tendência positiva, é mais forte nas amostras de Vale da Porca, uma vez que apresentam uma maior percentagem desta fracção. A natureza e quantidade de minerais argilosos também vai influenciar a capacidade de absorção de água dos materiais cerâmicos. Constata-se portanto que as amostras com maior percentagem de minerais de argila são as menos permeáveis (figura 8.33), tendência esta, naturalmente, mais acentuada nas amostras de Sendas que nas do outro areeiro.

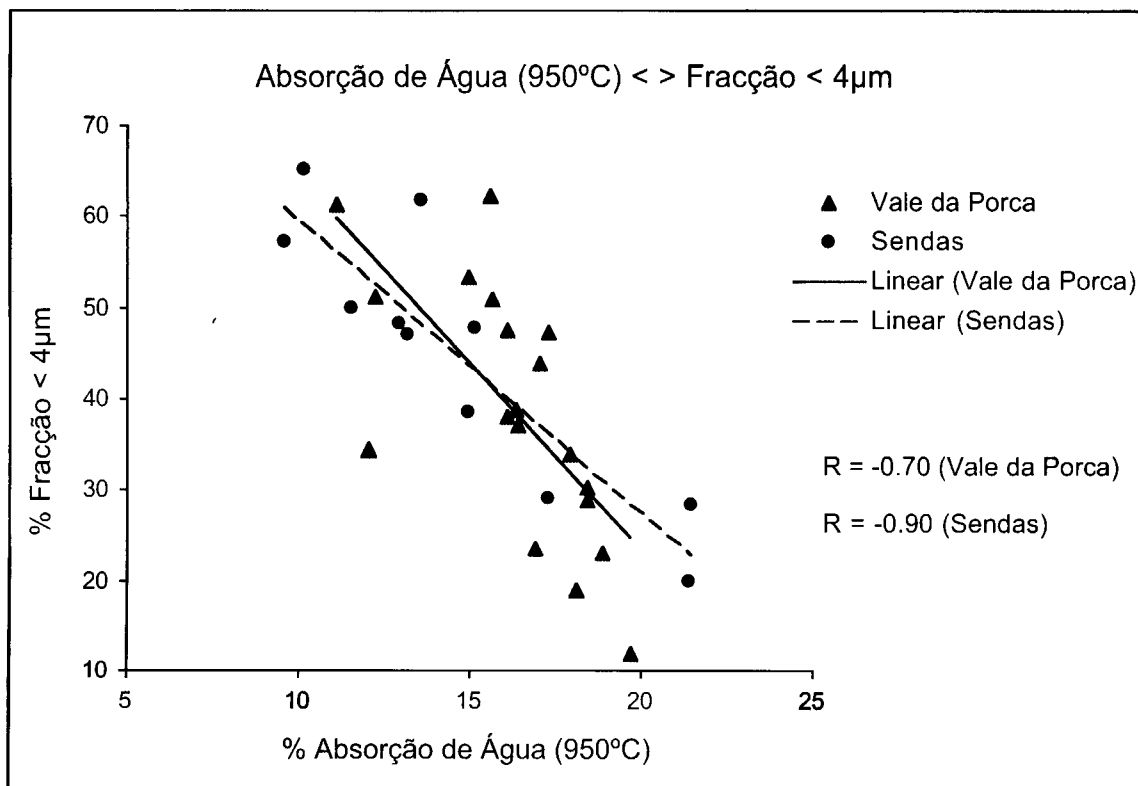


Figura 8.33 – Correlação entre a absorção de água em provetes cozidos a 950°C e a percentagem da fracção < 4 µm.

9 – CORRELAÇÕES ENTRE PROPRIEDADES DOS RESÍDUOS DE EXPLORAÇÃO

Para melhor compreender as diversas relações existentes entre os vários parâmetros, das amostras dos resíduos de exploração estudados, efectuou-se o calculo das correlações totais das propriedades mais importantes desses resíduos.

Os resultados das correlações efectuadas estão presentes nos quadros 9.1 e 9.2, referentes às amostras dos areeiros de Vale da Porca e Sendas, respectivamente. São apresentadas as correlações obtidas entre as seguintes propriedades: a granulometria, representada pela fracção $> 63\mu\text{m}$ (areia), fracção $4-63\mu\text{m}$ (limo) e fracção $< 4\mu\text{m}$ (argila); os ensaios tecnológicos, representados pelo índice de plasticidade (IP), absorção de água (AA), resistência mecânica à flexão (RF) e a retracção total (RT) após cozedura cerâmica a 950°C ; os minerais principais que compõem a amostra total, esmectite (Esm), illite, caulinite (Caul), goetite (Goet), quartzo (Qtz) e o feldspato potássico (FK); e a composição química das amostras, representada pelos óxidos dos elementos maiores com teores superiores a 0,5% e pela perda ao rubro (PR).

9.1 – Correlações dos resíduos de exploração do areeiro de Vale da Porca

Da análise das correlações mais significativas ($R \geq |0,6|$) presentes no quadro 9.1 podem-se retirar as seguintes conclusões para as amostras do areeiro de Vale da Porca:

- incorporação na estrutura do quartzo de grande parte do SiO_2 evidenciada pela correlação positiva deste óxido com o mineral em questão;
- incorporação do Al_2O_3 na estrutura dos minerais argilosos (esmectites, illite, caulinite) constatada pela correlação positiva daquele óxido com estes

Quadro 9.1 – Correlações totais mais significativas das amostras de Vale da Porca.

Classes Texturais			Parâmetros Tecnológicos				Minerais da Amostra Total					Óxidos dos Elementos Maiores (>0.5%)							
Fr.>63µm	Fr.4-63µm	Fr.<4µm	IP	AA	RF	RT	Esm	Ilite	Caul	Qtz	Goet	FK	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	MgO	K ₂ O	TiO ₂	PR
Fr.>63µm	1.0																		
Fr.4-63µm	-0.8	1.0																	
Fr.<4µm	-0.9	0.5	1.0																
IP	-0.9	0.7	0.9	1.0															
AA	0.8	-0.6	-0.7	-0.8	1.0														
RF	-0.9	0.7	0.9	0.9	-0.8	1.0													
RT	-0.8	0.7	0.7	0.8	-0.7	0.8	1.0												
Esm	-0.7	0.7	0.6	0.7	-0.8	0.8	0.7	1.0											
Ilite	-0.8	0.8	0.6	0.8	-0.7	0.7	0.7	0.7	1.0										
Caul	-0.9	0.7	0.7	0.9	-0.7	0.8	0.7	0.6	0.7	1.0									
Qtz	0.9	-0.8	-0.7	-0.9	0.8	-0.8	-0.7	-0.8	-0.9	-0.8	1.0								
Goet	-0.5	0.3	0.6	0.6	-0.5	0.6	0.5	0.2	0.5	-0.4	1.0								
FK	0.9	-0.8	-0.8	-0.8	0.6	-0.8	-0.8	-0.6	-0.7	0.8	-0.5	1.0							
SiO ₂	1.0	-0.8	-0.9	-1.0	0.8	-1.0	-0.8	-0.8	-0.8	0.9	-0.6	0.9	1.0						
Al ₂ O ₃	-1.0	0.7	0.9	1.0	-0.8	1.0	0.8	0.7	0.7	-0.9	0.6	-0.9	-1.0	1.0					
Fe ₂ O ₃	-1.0	0.8	0.9	1.0	-0.8	0.9	0.8	0.8	0.8	-0.9	0.6	-0.9	-1.0	1.0	1.0				
MgO	-0.9	0.8	0.8	0.9	-0.8	0.9	0.7	0.9	0.7	-0.9	0.2	-0.8	-0.9	0.8	0.9	1.0			
K ₂ O	0.6	-0.4	-0.7	-0.7	0.7	-0.8	-0.6	-0.5	-0.6	0.6	-0.5	0.6	0.7	-0.7	-0.7	1.0			
TiO ₂	-1.0	0.9	0.8	0.8	-0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	-0.9	0.4	-0.8	-0.9	0.9	0.9	-0.6	1.0		
PR	-1.0	0.7	0.9	1.0	-0.8	1.0	0.8	0.8	0.9	-0.9	0.6	-0.9	-1.0	1.0	1.0	0.9	-0.7	0.9	1.0

IP – Índice Plasticidade; AA – Absorção de água; RF – Resistência à flexão após cozedura (950°C); RT – Retracção total após cozedura (950°C); Esm – Esmectite; Caul – Caulinite; Qtz – quartzo; Goet – goetite; FK – Feldspato potássico; e PR – Perda ao rubro.

IP – Índice Plasticidade; AA – Absorção de água; RF – Resistência à flexão após cozedura (950°C); RT – Retração total após cozedura (950°C); Esm – Esmectite; Caul – Caulinite; Qtz – quartzo; Goet – goetite; FK – Feldspato potássico; e PR – Perda ao rubro.

minerais. Sendo a caulinite mais aluminosa, aquela correlação tem um valor mais elevado;

- presença, como seria de esperar, do K_2O na estrutura dos feldspatos potássicos, indicada pela correlação positiva K_2O/FK ;
- distribuição do Fe_2O_3 pela estrutura da goetite, bem como pela estrutura das ilites e esmectites (correlações positivas $Fe_2O_3/Goet$, $Fe_2O_3/Ilite$ e Fe_2O_3/Esm);
- concentração preferencial do TiO_2 na estrutura das esmectites e da ilite, indicada pelas correlações positivas TiO_2/Esm e $TiO_2/Ilite$;
- distribuição preferencial na fracção arenosa ($Fr. >63\mu m$) do quartzo (Qtz), indicada pelas correlações positivas $Fr.>63\mu m/Qtz$ e $Fr.>63\mu m/SiO_2$, e do feldspato potássico (FK), representada pelas correlações positivas $Fr.>63\mu m/FK$ e $Fr.>63\mu m/K_2O$;
- distribuição preferencial dos minerais de argila (esmectite, ilite e caulinite) nas fracções mais finas, limo ($Fr. 4-63\mu m$) e argila ($Fr. <4\mu m$), como atesta a correlação positiva destas fracções com os minerais de argila, com o Al_2O_3 e o TiO_2 . Essa distribuição está também assinalada pela correlação negativa existente entre os minerais de argila e a $Fr.>63\mu m$;
- contribuição dos minerais argilosos para os valores da perda ao rubro evidenciada pela correlação positiva Al_2O_3/PR ;
- dependência do valor do índice de plasticidade em relação ao teor em minerais argilosos, indicada pela correlação positiva $Fr.<4\mu m/IP$, Al_2O_3/IP e IP/PR , estando o índice de plasticidade dependente da granulometria (correlações negativas $Fr.>63\mu m/IP$ e IP/Qtz);
- as correlações positivas $Fr.>63\mu m/AA$ e AA/Qtz indicam a dependência da absorção de água em relação à granulometria. As correlações negativas

Fr.<4 μ m/AA e AA/Al₂O₃ indica-nos também a dependência deste parâmetro em relação ao teor em minerais de argila;

- dependência da resistência mecânica à flexão após cozedura cerâmica a 950°C em relação à quantidade de minerais de argila (correlação positiva RF/Al₂O₃ e Fr.<4 μ m/RF), bem como em relação à fracção mais grosseira (correlações negativas Fr.>63 μ m/RF e RF/Qtz);
- a retracção total é influenciada pelo teor de minerais argilosos, que nos é indicado pelas correlações positivas RT/Al₂O₃ e Fr.<4 μ m/RT. É também influenciada pela quantidade da fracção arenosa (correlações negativas Fr.>63 μ m/RT e RT/Qtz).

9.2 – Correlações dos resíduos de exploração do areeiro de Sendas

Da análise das correlações presentes no quadro 9.2 podem-se retirar as seguintes conclusões para as amostras do areeiro de Sendas, tendo também em consideração as correlações mais significativas ($R \geq |0,6|$):

- incorporação na estrutura do quartzo de grande parte do SiO₂ evidenciada pela correlação positiva deste óxido com o mineral em questão;
- presença preferencial do Al₂O₃ na estrutura dos minerais argilosos interpretada pelas correlações positivas Al₂O₃/Caul, Al₂O₃/Fr.<4 μ m e Al₂O₃/PR;
- distribuição preferencial de ferro total (Fe₂O₃) pela estrutura da goetite, indicada pela correlação positiva Fe₂O₃/Goet;
- presença de ferro total na estrutura dos minerais argilosos, evidenciada pelas correlações positivas Fe₂O₃/Fr.<4 μ m, Fe₂O₃/Al₂O₃ e Fe₂O₃/PR;
- contribuição dos minerais argilosos para os valores da perda ao rubro (correlação positiva Al₂O₃/PR);

Quadro 9.2 – Correlações totais mais significativas das amostras de Sendas.

Classes Texturais				Parâmetros Tecnológicos				Minerais da Amostra Total					Óxidos dos Elementos Maiores (>0.5%)							
Fr.>63	Fr.4-63	Fr.<4	IP	AA	RF	RT	Esm	Illite	Caul	Qtz	Goet	FK	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	MgO	K ₂ O	TiO ₂	PR	
Fr>.63µm	1.0																			
Fr.4-63µm	0.0	1.0																		
Fr.<4µm	-0.7	-0.6	1.0																	
IP	-0.8	-0.3	0.9	1.0																
AA	0.7	0.6	-0.9	-0.9	1.0															
RF	-0.7	-0.4	0.8	0.9	-0.9	1.0														
RT	-0.9	-0.2	0.8	0.9	-0.8	0.8	1.0													
Esm	-0.5	0.3	0.2	0.4	-0.2	0.4	0.5	1.0												
Illite	-0.6	0.3	0.3	0.4	-0.4	0.3	0.5	0.4	1.0											
Caul	-0.6	-0.4	0.8	0.8	-0.7	0.7	0.7	0.2	-0.1	1.0										
Qtz	1.0	0.0	-0.7	-0.9	0.7	-0.8	-0.9	-0.7	-0.5	-0.7	1.0									
Goet	-0.4	-0.7	0.7	0.6	-0.6	0.6	0.6	-0.1	-0.1	0.6	-0.4	1.0								
FK	0.6	0.4	-0.8	-0.6	0.7	-0.6	-0.7	-0.4	-0.6	-0.3	0.6	-0.4	1.0							
SiO ₂	0.9	0.3	-0.9	-0.8	0.7	-0.8	-0.9	-0.3	-0.4	-0.7	0.8	-0.6	0.7	1.0						
Al ₂ O ₃	-0.8	-0.4	0.9	0.9	-0.8	0.8	0.9	0.2	0.3	0.8	-0.8	0.8	-0.7	-1.0	1.0					
Fe ₂ O ₃	-0.9	-0.3	0.9	0.8	-0.8	0.8	0.9	0.4	0.5	0.6	-0.9	0.6	-0.6	-1.0	0.9	1.0				
MgO	-0.9	0.3	0.5	0.6	-0.4	0.5	0.7	0.6	0.7	0.3	-0.8	-0.1	-0.6	-0.7	0.5	0.7	1.0			
K ₂ O	0.2	-0.5	0.2	0.1	-0.4	0.1	-0.1	-0.3	0.2	-0.2	0.2	0.2	-0.3	0.1	0.0	0.1	-0.1	1.0		
TiO ₂	-0.7	-0.5	0.8	0.9	-0.9	0.8	0.8	0.1	0.3	0.7	-0.7	0.8	-0.5	-0.8	0.8	0.9	0.4	0.4	1.0	
PR	-0.9	-0.2	0.8	0.8	-0.6	0.7	0.9	0.3	0.3	0.7	-0.8	0.6	-0.5	-1.0	0.9	0.9	0.6	-0.3	0.6	
																			1.0	

IP – Índice Plasticidade; AA – Absorção de água; RF – Resistência à flexão após cozedura (950°C); RT – Retração total após cozedura (950°C); Esm – Esmeclite; Caul – Caulinite; Qtz – quartzo; Goet – goetite; FK – Feldspato potássico; e PR – Perda ao rubro.

- distribuição preferencial na fracção arenosa ($Fr.>63\mu m$) do quartzo (Qtz), indicada pelas correlações positivas $Fr.>63\mu m/Qtz$ e $Fr.>63\mu m/SiO_2$, e do feldspato potássico indicada pela correlação positiva $Fr.>63\mu m/FK$;
- presença na fracção $4-63\mu m$ (limo) de quartzo e feldspatos, interpretada pela ligeira correlação positiva daquela fracção com o SiO_2 ($R=0.3$) e com o FK ($R=0.4$);
- distribuição preferencial na fracção argilosa ($Fr.<4\mu m$) dos minerais de argila (esmectite, ilite e caulinite), indicada pela correlação positiva daquela fracção com o Al_2O_3 , o TiO_2 e a perda ao rubro;
- dependência do valor do índice de plasticidade em relação ao teor em minerais argilosos, evidenciada pela correlações positivas $Fr.<4\mu m/IP$, Al_2O_3/IP e IP/PR , bem como em relação à granulometria, como nos indicam as correlações negativas $Fr.>63\mu m/IP$, $Fr.4-63\mu m/IP$ e IP/Qtz ;
- influência da granulometria na quantidade de absorção de água, indicada pelas correlações positivas $Fr.>63\mu m/AA$, $Fr.4-63\mu m/AA$, AA/SiO_2 e AA/Qtz e do teor em minerais de argila, evidenciada pelas correlações negativas $Fr.<4\mu m/AA$, AA/Al_2O_3 e AA/PR ;
- dependência da resistência mecânica à flexão após cozedura cerâmica a $950^\circ C$ em relação à quantidade de minerais de argila, como nos indicam as correlações positivas RF/Al_2O_3 , RF/PR e $Fr.<4\mu m/RF$, bem como em relação à fracção mais grosseira, dependência essa evidenciada pelas correlações negativas $Fr.>63\mu m/RF$, RF/SiO_2 e RF/Qtz ;
- a retracção total é influenciada pelo teor de minerais argilosos, facto evidenciado com as correlações positivas RT/Al_2O_3 , RT/PR e $Fr.<4\mu m/RT$, e pela quantidade da fracção arenosa, evidenciado pelas correlações negativas $Fr.>63\mu m/RT$, RT/Qtz e RT/SiO_2 .

9.3 – Considerações sobre as correlações observadas

As generalidade das conclusões tiradas são comuns aos resíduos de ambos os areeiros, o que era expectável devido às semelhanças existentes entre eles. As diferenças existentes expressam-se pelos diferentes valores de correlação obtidos para os dois grupos de resíduos.

A análise das correlações observadas, salvaguardando as ligeiras diferenças mineralógicas e granulométricas entre os resíduos de Vale da Porca e de Sendas, permitiu verificar as seguintes interdependências:

1. composição mineralógica $\Leftrightarrow$ composição química;
2. composição granulométrica $\Leftrightarrow$ composição mineralógica;
3. composição granulométrica e químico-mineralógica $\Leftrightarrow$ características tecnológicas.

A interdependência existente entre a composição mineralógica e a composição química ficou bem marcada nas correlações obtidas, constatando-se que a composição química reflecte, necessariamente, a mineralogia dos resíduos.

É bastante notória a influência da composição granulométrica na mineralogia, constatada pela variação dos teores dos minerais presentes nos resíduos com as variações texturais destes. No entanto, nas amostras de Sendas, observa-se que a classe textural limo (fracção 4-63 μ m) apresenta fraca correlação com a composição mineralógica, de tendência inversa à observada nas amostras de Vale da Porca. Neste mesmo depósito a ilite e esmectite apresentam fraca correlação com a granulometria, especialmente com as fracções mais finas.

As propriedades tecnológicas dos materiais estudados são reflexo da sua composição químico-mineralógica e granulométrica, dada a sua dependência em relação a estas propriedades.

10 – CONSIDERAÇÕES SOBRE A APLICABILIDADE DOS RESÍDUOS DE EXPLORAÇÃO

A partir da caracterização granulométrica, mineralógica, química e tecnológica efectuada aos resíduos de exploração, é possível definir o tipo de aplicações em que se poderão utilizar estes materiais.

Estes resíduos poderão ser classificados como “Argilas Comuns”, pois apesar da sua origem antrópica, isto é, apesar de resultarem da separação e acumulação artificial provocada pela acção directa do Homem, apresentam semelhanças com materiais naturais classificados como argilas comuns.

Gomes (1988) refere a existência de vários conceitos de argila, adoptados função da formação profissional, técnica ou científica dos que por ela se interessam, ou função da sua génese, propriedades ou da sua aplicação com base em alguma ou algumas das suas propriedades específicas. A argila comum é assim classificada devido às aplicações menos “nobres” que lhe são atribuídas dada as suas propriedades. No entanto, são materiais de elevada importância sócio-económica, dada a sua ampla utilização na produção dos mais diversos produtos desde a olaria aos cerâmicos de construção.

Velho *et al.* (1998) divide as argilas comuns em dois tipos de argilas: argilas para olaria, plásticas, facilmente moldáveis no torno do oleiro, apresentando cores variadas (cinzento, castanho e castanho avermelhado), e de composição complexa; e argilas para telha e tijolo, grosseiras (contêm apreciável quantidade de limo e areia), cores variadas (preto, cinzento, verde, vermelho, castanho e amarelo), sendo o teor de fracção argila baixo mas suficiente para lhe conferir o desenvolvimento da plasticidade necessária para a moldagem dos corpos cerâmicos. Os resíduos de exploração estudados, dada a suas características granulométricas, inserem-se no grupo das argilas para telha e tijolo.

10.1 – Granulometria

Segundo Gomes (2002), o comportamento tecnológico da argila utilizada como matéria prima para o fabrico deste tipo de produtos (cerâmicos de construção) depende mais da composição mineralógica e da distribuição dimensional do grão do que da composição química. Refere também que são as propriedades físicas do produto cerâmico, por exemplo a resistência mecânica à flexão em seco e em cozido, bem como a absorção de água do material cozido, as mais importantes para a definição da sua aplicação.

Tendo em consideração a influência da granulometria nas aplicações dos materiais, utilizou-se o diagrama triangular de Winkler (1954) para projectar os teores das fracções $< 2\mu\text{m}$, $2-20\mu\text{m}$ e $> 20\mu\text{m}$ (figura 10.1), referentes às amostras estudadas. Este diagrama fornece informações quanto ao tipo de utilização possível, das “argilas” na produção de materiais para uso na construção civil.

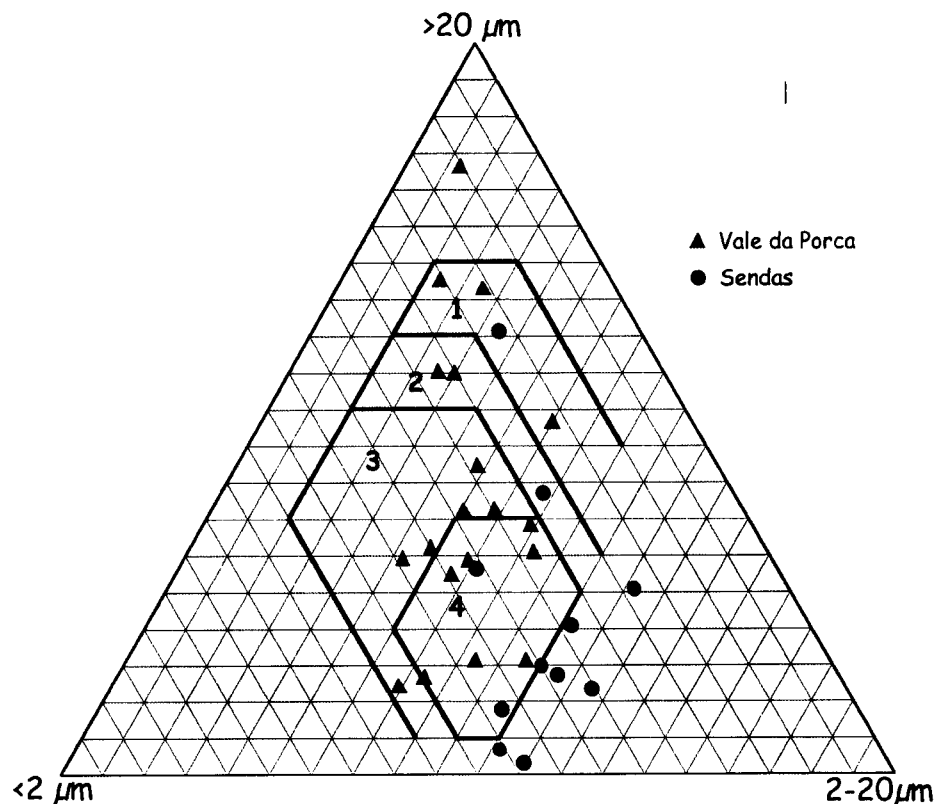


Figura 10.1 – Diagrama de Winkler (1954). Domínios delimitando o tipo de potencial uso das argilas: 1 – tijolo maciço; 2 – tijolo furado; 3 – telha; 4 – tijoleira. Projecção dos dados referentes às amostras de Sendas e Vale da Porca.

Da análise do diagrama de Winkler, verificamos a possibilidade de aplicação de quase todos os materiais estudados, na produção de telha, tijoleira e tijolo maciço ou furado. No entanto algumas das amostras de Sendas localizam-se ligeiramente fora dos campos propostos pelo autor do diagrama. No entanto, esta informação não pode ser utilizada sem o cruzamento com outras características tecnológicas, como a resistência, ou a plasticidade.

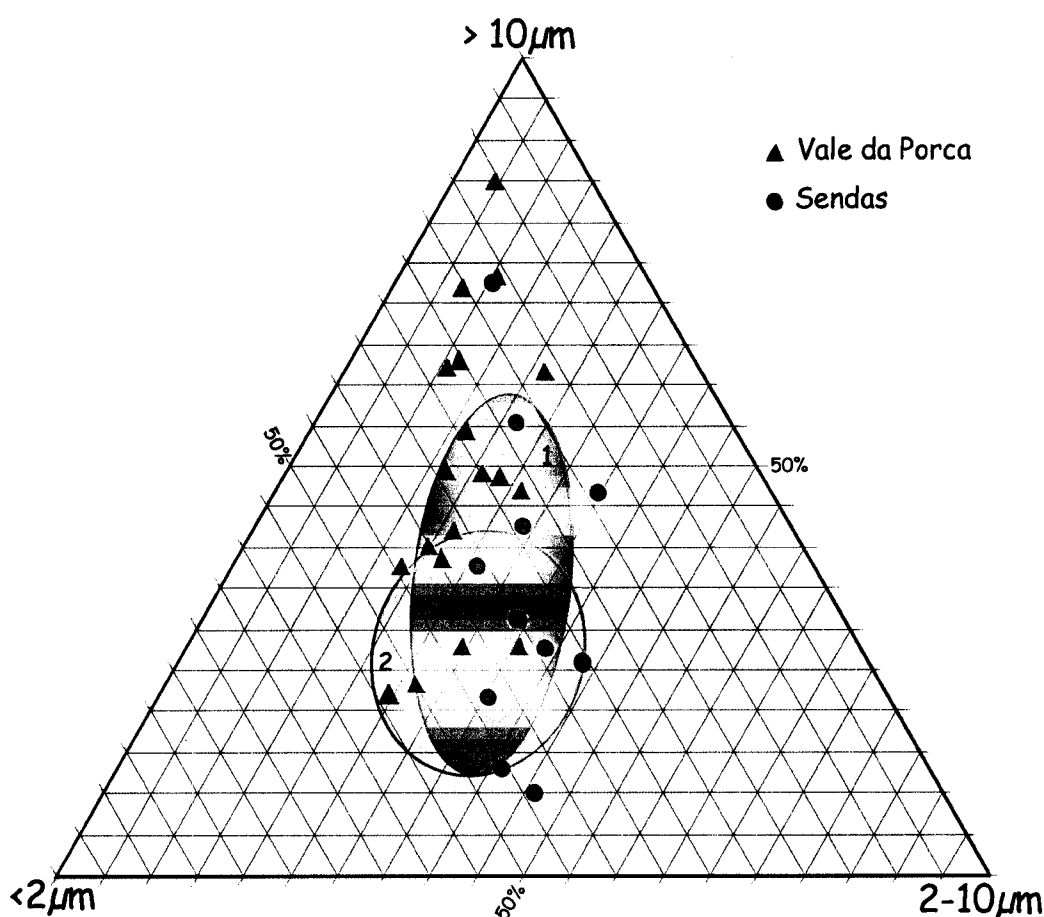


Figura 10.2 – Projecção dos dados referentes às amostras de Vale da Porca e Sendas no diagrama de Winkler adaptado por Dondi *et al.* (1998). Domínios delimitando o tipo de uso potencial das argilas: 1 – tijolo furado; 2 – Tijolo maciço

Dondi *et al.* (1998) refere que com a evolução tecnológica, observada na indústria cerâmica de construção durante as últimas décadas, ocorreu também uma mudança nos requisitos granulométricos dos materiais por ela empregues, de modo a assegurar um bom comportamento durante as várias fases do processo de fabrico.

Com base nesta mudança e a partir de dados referentes aos materiais utilizados pela indústria italiana, estes autores reformularam o diagrama de Winkler, utilizando como limites os intervalos dos teores das fracções $> 10\mu\text{m}$, $2-10\mu\text{m}$ e $< 2\mu\text{m}$, como se pode observar nas figuras 10.2 e 10.3.

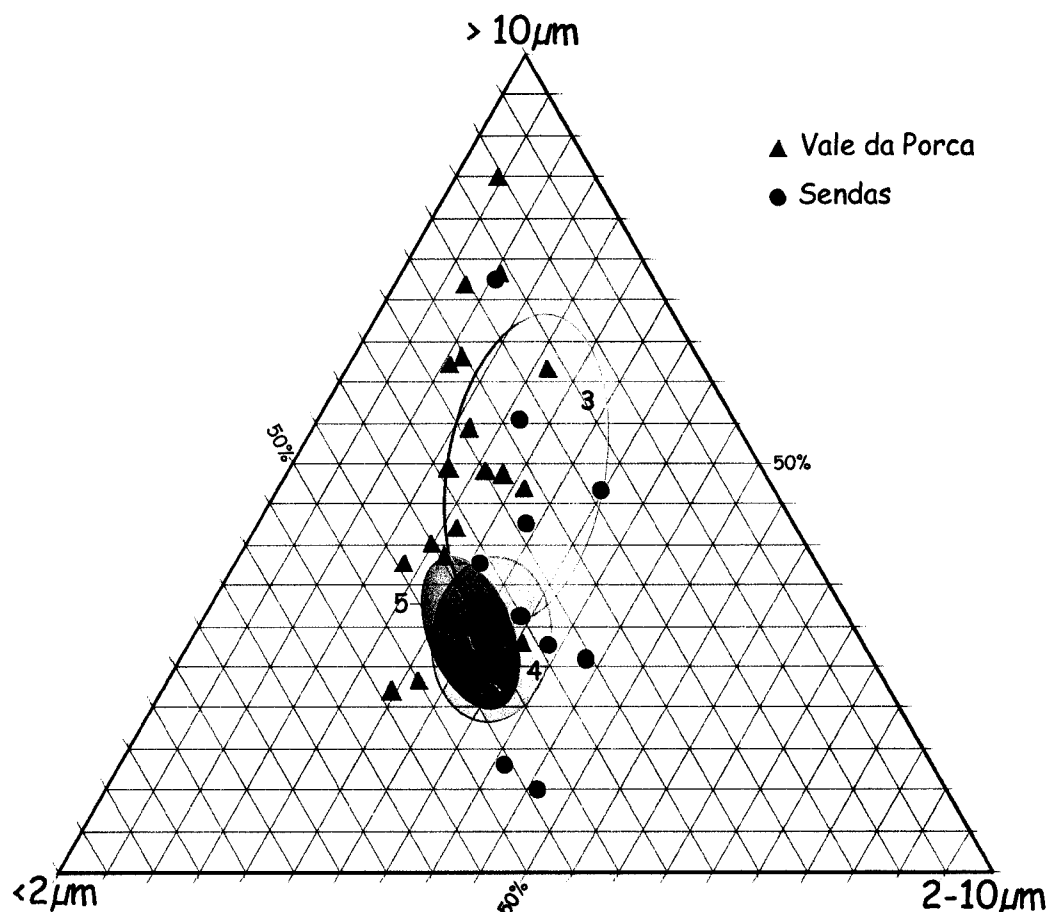


Figura 10.3 – Projecção dos dados referentes às amostras de Sendas e Vale da Porca no diagrama de Winkler adaptado por Dondi *et al.* (1998). Domínios delimitando o tipo de uso potencial das argilas: 3 – tijolo maciço moldado; 4 – tijoleira 5 – telhas.

Da análise da projecção dos dados referentes às amostras de vale da Porca e Sendas nos diagramas apresentados anteriormente, verifica-se a apetência destes materiais para a produção de tijolo maciço, tijolo maciço moldado e tijolo furado. Algumas das amostras apresentam também potencialidade de aplicação na produção de telha e tijoleira.

10.2 – Composição químico-mineralógica

A composição química, obviamente relacionada com a composição mineralógica, não sendo o factor mais importante a condicionar o comportamento tecnológico das argilas tem também a sua influência. Gomes (1990) refere que nas argilas para produção de tijolo e telha os teores em SiO_2 , Fe_2O_3 , CaO e $\text{Na}_2\text{O}+\text{K}_2\text{O}$ são elevados. Fabbri & Dondi (1995) apresentaram a variação da composição química (quadro 10.1) e mineralógica (quadro 10.2) das pastas cerâmicas utilizadas no fabrico de tijolo furado ou alveolado. As amostras estudadas apresentam teores elevados dos óxidos referidos por Gomes (1990), exceptuando o CaO e o Na_2O . Apresentam também composição química e mineralógica semelhantes às referidas por Fabbri & Dondi (1995). Poderemos portanto considerar estes materiais como tendo apetência, do ponto de vista químico, para utilização na cerâmica de construção.

Quadro 10.1 – Composição química das argilas para fabrico de tijolo furado ou alveolado, segundo Fabbri & Dondi (1995).

SiO_2	51-57%	MnO	≈0,1%	K_2O	2,0-2,5%
Al_2O_3	11,5-13,5%	MgO	2,5-3,5%	P_2O_5	0,1-0,2%
TiO_2	≈ 0,7%	CaO	7-11%	S	<0,5%
Fe_2O_3	4,5-5,5%	Na_2O	0,5-1,5%	P.R.	12-13%

Quadro 10.2 – Composição mineralógica das argilas para fabrico de tijolo furado ou alveolado, segundo Fabbri & Dondi (1995).

Quartzo	30-40%	Caulinite	0-15%
Illite/Mica	20-30%	Esmectite	0-20%
Calcite/Dolomite	0-25%	Feldspato	5-10%
Clorite	0-10%	Óxidos/hidróxidos de Fe	5-10%

Do ponto de vista mineralógico os resíduos são semelhantes às argilas referenciadas no quadro 10.2. No entanto, estes resíduos diferem no seguinte: não apresentam carbonatos nem clorite; os teores médios de illite são mais elevados; o teor médio de caulinite dos resíduos de Vale da Porca é também mais elevado e o teor médio de quartzo dos resíduos de Sendas é mais baixo que o apresentado no referido quadro.

10.3 – Plasticidade

Os valores do índice de plasticidade e do limite de fluidez das amostras dos resíduos de Vale da Porca e Sendas, projectados no Diagrama de Casagrande, adaptado por Gippini (1969), permitem classificar esses materiais como tendo baixa ou alta plasticidade (figura 8.12). A média do índice de plasticidade das amostras estudadas (quadro 8.4) permitiu constatar a sua elevada plasticidade e, segundo a projecção da figura 8.12, verificar ainda que a grande maioria das amostras não se inclui dentro dos campos definidos por Gippini (1969) para argilas com características adequadas ou óptimas para a extrusão.

São os resíduos de Vale da Porca que apresentam valores médios de índice de plasticidade mais satisfatórios. Já os resíduos de Sendas apresentam valores demasiado elevados, que se devem a factores granulométricos (baixo teor de areia) e mineralógicos (teores relativamente altos de esmectite) o que torna o seu uso pouco recomendável, dada as elevadas contracções e deformações que os materiais cerâmicos poderão apresentar.

10.4 – Resistência mecânica à flexão

A resistência mecânica à flexão, média, apresentada pelas amostras é bastante favorável. No entanto, como se referiu anteriormente, há que considerar a resistência dos resíduos como subestimada, pois os provetes ensaiados foram elaborados manualmente, sem recurso a um extrudador com dispositivo de vácuo.

Segundo Gomes (2002) a resistência mecânica em seco apresentada por estes resíduos (quadro 8.6) é indicadora de uma argila magra, por apresentarem valores médios inferiores a 30 Kg/cm^2 , no entanto as amostras de Sendas aproximam-se do valor considerado para argilas normais ($30\text{-}70 \text{ Kg/cm}^2$).

Segundo a norma NP 497 (telha) e a norma UNE 67-037 (abobadilha), definidas pela Decreto-Lei n.º 304/90 e a Directiva Comunitária 106/89/CEE, a resistência mecânica para estes produtos deverá ser $\geq 100 \text{ kg/cm}^2$. Considerando este valor apenas as amostras de Sendas se adequariam à produção deste tipo de materiais.

A norma NP 80, definida pelos referidos diplomas e reguladora da qualidade do tijolo, estabelece três classes para este tipo de material de acordo com os seus valores de resistência: 1) classe A com valores mínimos de 140 kg/cm² para tijolo maciço e 45 kg/cm² para tijolo furado; 2) classe B com valores mínimos de 100 kg/cm² para tijolo maciço e 30 kg/cm² para tijolo furado; e 3) classe C com valores mínimos de 70 kg/cm² para tijolo maciço e 15 kg/cm² para tijolo furado. Segundo esta norma, os resíduos de Vale da Porca serviriam para a produção de tijolo furado de classe A e as amostras de Sendas para tijolo furado de classe A e tijolo maciço de classe B.

10.5 – Cor

A cor apresentada pelas amostras dos resíduos estudados permite considerar estes materiais como *cerâmicos de pasta vermelha*, segundo a classificação proposta por Gomes (1990) (figura 10.4), podendo ser utilizados para produção de tijolo, telha e ladrilho de piso.

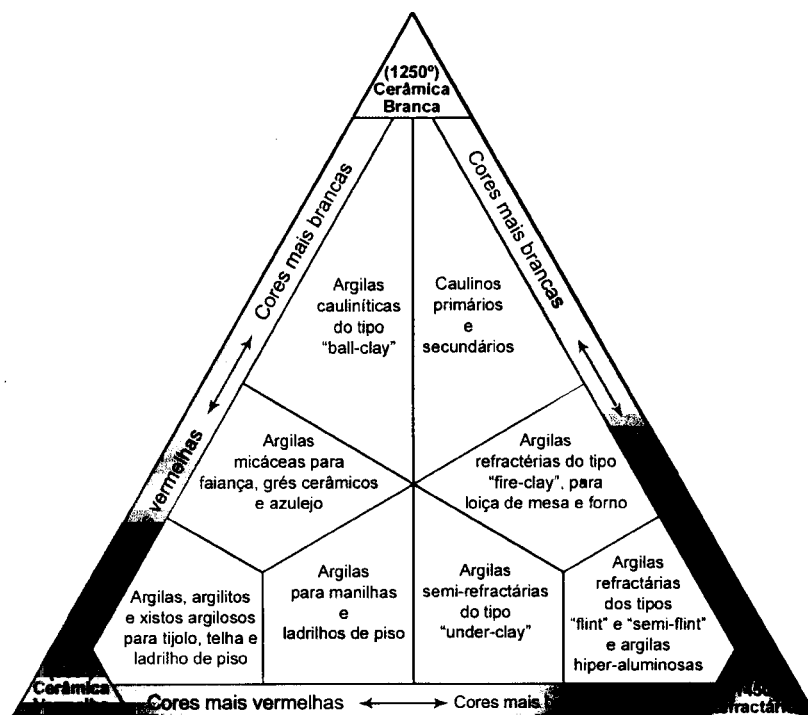


Figura 10.4 – Classificação de materiais cerâmicos com base na cor e na natureza das matérias primas (adaptado de Gomes, 1990).

Os parâmetros cromáticos apresentados pelas amostras após cozedura cerâmica (quadro 8.10 e anexo A.5.3) é relativamente constante o que é favorável à produção de materiais cerâmicos de cor uniforme.

10.6 – Absorção de água

Tendo em consideração o grau de porosidade dos produtos cerâmicos, os cerâmicos porosos são aqueles que têm uma capacidade de absorção de água compreendida entre 10-20% em peso, enquanto que os não porosos têm uma capacidade de absorção de água inferior a 10% (Gomes, 2002). Segundo esta classificação, poderemos definir os materiais cerâmicos elaborados com os resíduos, dada a sua capacidade de absorção de água (quadro 8.11), como materiais porosos.

Segundo a classificação dos materiais cerâmicos resultante da adaptação de Parras (1999) da classificação de Enrique e Amorós (1985), materiais porosos com características granulométricas, mineralógicas e tecnológicas, semelhantes às dos resíduos estudados, são classificados como *Cerâmica estrutural* e *Cerâmica de olaria*, tendo por campo de aplicação a produção de cerâmicos como telha e tijolo. Portanto, segundo esta classificação, os resíduos de exploração dos areeiros de Sendas e de Vale da Porca poderão ser utilizados na produção desse tipo de materiais.

No entanto, a norma NP 495, definida pelo Decreto-Lei n.º 304/90 e pela Directiva comunitária 106/89/CEE, refere que as telhas devem ser impermeáveis. Já a norma NP 80, referida nos mesmos documentos, define para o tijolo de face à vista valores de absorção de água $\leq 7\%$. Tendo em consideração estas normas, teriam que se realizar outros ensaios para verificar a aptidão destes materiais para a produção de telha, não podendo estes ser utilizados tal-qual na produção de tijolo de face à vista.

10.7 - Conclusão

Os resíduos de exploração dos areeiros de Sendas e de Vale da Porca, apresentam um conjunto de características que analisadas no seu conjunto permitem retirar as seguintes conclusões.

Podem-se definir os resíduos de exploração de Vale da Porca como correspondentes a *argilas* com:

- elevado teor médio em SiO_2 ;
- conteúdo moderado em Al_2O_3 ;
- composição mineralógica em que a Ilite, a Caulinite e o Quartzo são dominantes;
- teores baixos de esmectites, quer na amostra total quer na fracção $<2\mu\text{m}$;
- teores elevados da fracção limo-argilosa;
- teores moderados da fracção arenosa;
- plasticidade moderada a alta, o que confere trabalhabilidade razoável;
- boa resistência mecânica à flexão após cozedura cerâmica (950°C);
- parâmetros cromáticos com pouca variação, proporcionando uma cor uniforme do produto cerâmico final;
- percentagem de absorção de água favorável à elaboração de produtos cerâmicos de construção.

Podem-se definir os resíduos de exploração de Sendas como correspondentes a *argilas* com:

- conteúdo moderado a elevado em SiO_2 ;
- conteúdo moderado em Al_2O_3 ;
- composição mineralógica em que a Ilite é dominante, com teores moderados de Caulinite e Quartzo;
- teor baixo a moderado de esmectite na amostra total e moderado na fracção $<2\mu\text{m}$;
- teores bastante elevados da fracção limo-argilosa;
- teores bastante baixos da fracção arenosa;
- plasticidade bastante elevada, o que torna má a razoável a trabalhabilidade;
- elevada resistência mecânica à flexão após cozedura cerâmica (950°C);

- parâmetros cromáticos com pouca variação, proporcionando uma cor uniforme do produto cerâmico final;
- teores de absorção de água favoráveis à elaboração de produtos cerâmicos de construção.

Pode-se portanto concluir que, face às suas características, são os resíduos de Vale da Porca os únicos que poderiam ser empregues *tal-qual* na produção de cerâmicos de construção, nomeadamente tijolo. No entanto, para garantir melhor trabalhabilidade das pastas cerâmicas e melhor qualidade do produto final, será sempre aconselhável a correcção destes materiais com outros que lhes melhorem as características. Estes resíduos poderão também ser utilizados para melhorar as características de argilas exploradas em outros locais.

Os resíduos de Sendas devido à sua elevada plasticidade, elevado teor de fracção limo-argiloso, e ao seu teor em esmectite, não poderão ser utilizados *tal-qual*. A sua utilização só poderá ser possível com adição de matérias primas ricas em fracção arenosa, de forma a baixar a sua elevada plasticidade e a diminuir o efeito da esmectite. Estes resíduos também poderão ser utilizados para corrigir as características de outras argilas que, por exemplo, apresentem baixa plasticidade.

11 – CONCLUSÕES

A exploração de matérias-primas não metálicas, às quais genericamente é costume dar-se a designação de *Minerais Industriais*, foi durante muito tempo dominada pela esperança da descoberta de massas minerais de tal modo puras que os produtos extraídos pudessem ser utilizados na sua forma tal e qual (Leite, 2000).

Actualmente em Portugal, onde a cartografia geológica está relativamente bem desenvolvida, podemos considerar bastante improvável a descoberta de novas massas minerais, como algumas exploradas num passado recente. Esse cenário está bem patente em Trás-os-Montes Oriental, onde a cartografia geológica dos depósitos sedimentares cenozóicos é bastante completa, sendo estes preferencialmente procurados para exploração de matérias primas não metálicas.

Gerados na dependência de sistemas aluviais, relacionados com a evolução da drenagem durante o Cenozóico, estes depósitos possuem grande diversidade dimensional. Os sedimentos são predominantemente conglomeráticos, de matriz areno-lutítica e lutítica-arenosa, na maioria dos casos de cor avermelhada, ocorrendo alguns níveis essencialmente lutíticos nas regiões de Miranda do Douro e Mirandela. As características dos depósitos indicam que a sua potencialidade como recurso reside na exploração das unidades mais grosseiras, para o aproveitamento de areias e seixos, e das unidades lutíticas para aproveitamento de argilas.

A análise da cartografia geológica e dos trabalhos existentes sobre os depósitos cenozóicos da região de Trás-os-Montes oriental mostrou que, apesar de não existirem recursos em materiais ditos “nobres” (ex: argilas especiais, areias especiais), os existentes são de elevada importância sócio-económica numa região que sofre há anos os efeitos da interioridade. Estes recursos têm vindo a ser utilizados na construção civil e obras públicas quer pelo aproveitamento dos inertes (areia e seixo) explorados nas unidades grosseiras, quer pelo aproveitamento das

argilas comuns para produção de cerâmicos de construção, exploradas nas unidades lutíticas.

Apesar da importância destes recursos verificou-se que nem sempre são explorados e/ou utilizados de uma forma correcta. Quanto à sua indevida utilização, alguns autores fizeram referência à aplicação de grés argiloso como inerte na construção civil e de argilas montmoriloníticas na produção de cerâmicos de construção, materiais estes pouco aptos aos fins a que os destinaram. Quanto à exploração incorrecta destes recursos, verificou-se que em alguns areiros a não existência de lavra selectiva levou à destruição de níveis lutíticos com potencial utilização na indústria cerâmica.

O aproveitamento das fracções grosseiras (seixo e areia) como inertes é geradora de resíduos de exploração, causando estes impacte negativo de vários níveis. Leite (2000) refere que em muitos produtos resultantes da transformação industrial de matérias primas minerais, os efeitos de concentração preferencial dos minerais podem ser igualmente significativos a ponto de deles se poder tirar partido. Em Trás-os-Montes Oriental parte significativa dos sedimentos explorados (a fracção limo-argilosa corresponde, em média, a $40 \pm 20\%$ dos depósitos) está a ser desaproveitada, podendo esta ser considerada, pelas suas características, como subproduto explorável.

A caracterização mineralógica, química granulométrica e tecnológica dos resíduos de exploração de dois areiros em actividade na região (areiro de Vale da Porca e areiro de Sendas) levou às seguintes conclusões:

- os resíduos são, quanto à composição mineralógica, predominantemente quartzo-ilítico-cauliníticos (areiro de Vale da Porca) e ilítico-quartzo-cauliníticos (areiro de Sendas);
- do ponto de vista químico os resíduos são siliciosos, com teores médios a baixos de Al_2O_3 e teores baixos de Fe_2O_3 ;
- granulometricamente os resíduos do areiro de Vale da Porca correspondem essencialmente a areia limo-argilosa e a argila limosa, e os de Sendas a argila limosa e limo argiloso;

- os resíduos apresentam características químico-mineralógicas e granulométricas que os caracterizam como argilas comuns;
- a plasticidade das pastas cerâmicas elaboradas com os resíduos é elevada a bastante elevada;
- após cozedura a 950°C, os materiais elaborados com os resíduos, apresentam cor vermelha;
- os materiais cerâmicos, elaborados com os resíduos, apresentam boa resistência mecânica à flexão após cozedura a 950°C;
- os resíduos dão origem, quando cozidos a 950°C, a materiais cerâmicos porosos;
- os resíduos apresentam propriedades tecnológicas que indicam a sua adequabilidade à produção de cerâmicos de construção, sendo no entanto necessária a sua beneficiação, especialmente nos resíduos de Sendas.

Costa (1998) refere o desenvolvimento do conceito de exploração integrada, onde se possível o resíduo deverá ser nulo. Neste contexto a extracção do recurso corresponderá unicamente a uma fase do projecto. Esta incluirá a definição e desenvolvimento da utilização posterior do sítio de exploração e deverá tratar todos os produtos extraídos, uns geradores de mais valias pela via da comercialização, outros geradores de menos valias pelos custos inerentes à sua deposição final.

A aplicação deste conceito às explorações existentes nos depósitos sedimentares do Cenozóico desta região, permite classificar os resíduos como um produto extraído gerador de menos valias. Esta situação advém dos custos inerentes à sua deposição, visto ser necessário ocupar parte da exploração com os reservatórios para a colocação daqueles resíduos ou adquirir terrenos adjacentes com esse objectivo. A caracterização químico-mineralógica, granulométrica e tecnológica dos resíduos estudados mostra que estes poderão ser encarados como um produto gerador de mais valias, produto este que dado o seu volume (em média $40 \pm 20\%$ do recurso) poderá ter uma importância bastante elevada nesta região.

O estudo efectuado neste trabalho permitiu analisar de um modo mais abrangente, e de um ponto de vista mais integrador, as potencialidades, como recurso geológico, dos sedimentos cenozóicos desta região. Verificou-se que as

potencialidades destes depósitos sedimentares podem ser largamente ampliadas com a caracterização dos resíduos gerados pela sua exploração, podendo estes resíduos vir a ser valorizados como um subproduto com mais valias comerciais.

A abordagem utilizada nos areeiros estudados, se implementada em outras explorações, actuais ou futuras, nesta região ou em regiões com depósitos semelhantes, poderá mitigar os impactes a elas associados, ampliar as reservas existentes, rentabilizar as explorações, contribuindo assim para a utilização sustentada dos recursos.

12 – BIBLIOGRAFIA

ASTM C674/88 – Standard test methods for flexural properties of ceramic whiteware materials. (Reapproved in 1994).

ASTM C689/93 – Standard test methods for modulus of rupture of unfired clays.

Brindley, G.W. & Brown, G. (ed.) (1980) – Crystal structures of clay minerals and their X-ray identification. Min. Soc. of G.B., monograph 5, London, 495 p.

Cabral, J.M.L.C. (1985) – Estudos de Neotectónica em Trás-os-Montes Oriental. Provas de A.P.C.C.. Universidade de Lisboa.

Cabral, J.M.L.C. (1995) – Neotectónica em Portugal Continental. *Memórias do Inst. Geol. e Min.* Lisboa, 31: 265 p.

Carta Militar de Portugal (1996) – Folha 64, Vinhas (Macedo de Cavaleiros), Série M 888, Inst. Geogr. Exército, Edição 2.

Carta Militar de Portugal (1996) – Folha 78, Macedo de Cavaleiros, Série M 888, Inst. Geogr. Exército, Edição 2.

Carvalho, C., Oliveira, A. F. & Grade, J. (1999) – Argilas da região da Cruz da Légua. Caracterização químico-mineralógica e tecnológica e ensaio de classificação tipológica. *Estudos Notas e trabalhos*, Inst. Geol. Min., t. 41, pp. 59-82.

Carvalho, C. I. P., (2001) – Classificação tipológica do jazigo sedimentar das argilas da Cruz da Légua. Tese de Mestrado, Universidade de Aveiro, 108 p.

Casagrande A. (1932) – Research on the Atterberg Limit of Soils. Public Roads, 13 (8).

Coroado, J.P.P.F. (2000) – Propriedades cerâmicas das argilas das unidades litoestratigráficas “Argilas de Aveiro” e “Argilas de Tomar”. Tese de Doutoramento. Dep. Geociências, Universidade de Aveiro, 364 p.

Costa, L. R. (1998) – Da indústria mineira à geoindústria: Uma alteração estrutural profunda. Boletim de Minas, vol.35, n.º1. Inst. Geol. e Mineiro. Versão online do site do IGM (http://www.igm.pt/boletim/vol35_1/artigo1.htm).

Deer, W.A., Howie, R.A. & Zussman, J. (2000) – *Minerais constituintes das rochas. Uma introdução*. Fundação Calouste Gulbenkian, Lisboa, 727 p.

Dias, M. I. M. (1998) – Caracterização mineralógica e tecnológica de argilas especiais de bacias terciárias portuguesas. Tese de Doutoramento, Centro Geologia, Fac. Ciências da Universidade de Lisboa, 333 p.

Dondi, M., Fabri, B. & Guarini, G. (1998) – Grain-size distribution of Italian raw materials for building clay products: a reappraisal of the Winkler diagram. *Clay Minerals*. 33, pp. 435-442.

Enrique, N. & Amarós, A. (1985) – *Tecnologia cerâmica* (5 vol.). Instituto de Química Técnica, Univ. Valencia.

Fabbri, B. & Dondi, M. (1995) – *Caratteristiche e difetti del laterizio*. Grupo Editoriale Faenza Editrice, S.p.A, Faenza, Italy, 142 p.

Farias, P., Gallastegui, G., Lodeiro, F.G., Marquinez, J., Parra, L.M., Maciá, J.P. & Fernandez, L.R. (1987) – Aportaciones al conocimiento de la litoestratigrafia y estrutura de galicia Central. IX Reun. Geol. Oeste Penin, Mem. Mus. Lab. Min. Geol. Fac. Ciências da Universidade do Porto, 1, pp. 411-431.

Ferreira, N., Iglésias, M., Noronha, F., Pereira, E., Ribeiro, A. & Ribeiro, M.L. (1987) – Granitóides da Zona Centro Ibérica e o seu enquadramento geodinâmico. In:

Geologia de los granitoides y rocas asociadas del Macizo Hespérico. Libro Homenaje a Garcia de Figueirola. Ed. Rueda, Madrid. Parte 1. Cap. 4., pp. 37-52.

Gippini, E. (1969) – Contribution à l'étude des propriétés des molage des mélanges optimaux de matières premières. *L'Industrie Céramique*, 619, pp. 423-435.

Gomes, C. S. F. (1988) – *Argilas. O que são e para que servem*. Fundação Calouste Gulbenkian, Lisboa, 446 p.

Gomes, C. S. F. (1989) – Considerações Sobre Minerais, Rochas Industriais e Matérias Primas Cerâmicas. *Geociências*, Rev. Univ. Aveiro, vol. 4, fasc. 2, pp. 173-179.

Gomes, C.S.F. (1990) – *Minerais Industriais: matérias-primas cerâmicas*. Lisboa, Instituto Nacional de Investigação Científica (ed.), 247 p.

Gomes, C. S. F. (2002) – *Argilas. Aplicações na Indústria*. Edição de autor. Aveiro. 338 p.

Gonçalves, L., Alves, M. I. C. & Pereira, D. I. (2003) – Depósitos cenozóicos do Planalto Mirandês (Trás-os-Montes). Potencialidades dos recursos minerais não metálicos. *Ciências da Terra*. Lisboa, n.º esp. V, CD-Rom, pp. F34-F37.

Grade, J. & Moura, C. A. (1981) – Atapulгите na fracção argilosa de sedimentos da região de Mogadouro – Vimioso – Miranda do Douro. *Memórias e Notícias, Publ. Mus. Lab. Mineral. Geol., Univ. Coimbra*, n.ºs 91-92, pp. 173-182.

Grade, J. & Moura, C. A. (1985) – *Catálogo das argilas portuguesas utilizadas na indústria cerâmica*. D.G.G.M., Lisboa, 175 p.

Grade, J. & Moura, A. C. (1987) – Argilas da região de Bragança. Alguns aspectos químico-mineralógicos e tecnológicos. *Estudos, Notas e Trabalhos*, D.G.G.M., Lisboa, t. 29, pp. 53-57.

Griffin, G.M. & Carver, R.E. (1971) – Interpretation of X-ray diffraction data. In: Robert E. Carver (Edt), *Procedures in Sedimentary Petrology*. chap. 24. pp. 541-569.

Hardy, R. & Tucker, M. (1988) – X-ray powder diffraction of sediments. In: Maurice Tucker (Eds.) *Techniques in sedimentology* chap. 7, pp. 191-228.

Hooltzapffel, T. (1985) – Les minéraux argileux. Préparation. Analyse diffractométrique et détermination. Soc. Géol. Nord., 12, 136 p.

Iglésias, M. P. L., Ribeiro & M. L., Ribeiro, A. (1983) – La interpretation aloctonista de la estructura del Noroeste Peninsular. *Libro Jubilar J. M. Rios*, Geologia de España, Inst. Geol. Min. España, 1: pp. 459-467.

Instituto Geológico e Mineiro (1998) – Postal da Carta Geológica de Portugal Publicação integrado nas Comemorações dos 150 anos da criação da 1ª Comissão Geológica.

Julivert, M., Fontboté, J. M., Ribeiro, A. & Conde, L. E. (1974) – Memória explicativa del Mapa Tectónico de la Península Ibérica y Baleares. Inst. Geol. Minero de España, 113 p.

Leite, R. M. (2000) – Valorização de matérias-primas minerais e resíduos da actividade extractiva, através das tecnologias de processamento. *Cerâmica. Indústria sustentável em matérias-primas nacionais?*. Instituto Geologico e Mineiro, pp. 67-81.

Lotze F. (1945) – Zur gliederung der Variszidem de Iberischen Meseta. *Geote Kt. Forsch.*, 6, 78-92 (trad. Rios, J. M., 1950 – Observaciones respecto a la division de los variscides de la Meseta Ibérica. Publ. extranjeras sobre geologia de España, V, pp. 147-166).

Marques, F. (1994) – Estudo tectónico das rochas infracrustais do manto de soco do SW do maciço de Bragança (Trás-os-Montes). Tese de Doutoramento. Universidade de Lisboa, 196 p.

Meireles, C. (1997) – Sector a norte do Maciço de Bragança. Guia da Excursão. XIV Reunião da Geologia do Oeste Peninsular, pp. 45-59.

Meireles, C. (2000) – Carta Geológica de Portugal, na escala 1:50,000. *Notícia explicativa da folha 3-D (Espinhosela)*. Inst. Geol. Min. Lisboa, 64 p.

Meireles, C., Ribeiro, A. & Pereira, E. (1995) – Contribuição para o conhecimento da Litoestratigrafia e Tectónica do Paleozóico a norte de Bragança. IV Congresso Nacional de Geologia, Fac. Ciênc. Univ. Porto, *Mem. Museu Min. Geol.* n.º 4, pp. 349-353.

Moore D.M. & Reynolds, R.C. (1989) – *X-Ray diffraction and the identification and analysis of Clay Minerals*. Oxford University press. Oxford. 332 p.

Moreira, J. C. B. (1991) – Matérias primas não metálicas para o abastecimento da indústria cerâmica. *Geonovas*, N.º especial 2, Lisboa, pp. 1-15.

Moreira, J. D. D. & Lima, L. M. P. (1987) – Prospeção geoelectrica de argilas de Trás-os-Montes zona de Palaçoulo (Miranda do Douro). *Estudos, Notas e Trabalhos*, D.G.G.M., Lisboa, t. 29, pp. 71-82.

Munhá, J., Oliveira, J. T., Ribeiro, A., Oliveira, V., Quesada, C. Kerrich, R. (1986) – Beja-Acebuches ophiolit: characterization and geodynamic significance. *Maleo, Soc. Geol. Portugal*, 2 (13), 31 p.

Neiva, J. M. C. (1949) – Depósitos detriticos pliocénicos das proximidades de Bragança. *C. R. Cong. Int. Geog.*, 2, pp. 149-151.

Parras, J. A. (1996) – Mineralogia y propiedades ceramicas de pizarras paleozoicas de Ciudad Real. Ph.D. Thesis, Universidad Complutense de Madrid, 327 p.

Pereira, D. I. (1997) – Sedimentologia e Estratigrafia do Cenozóico de Trás-os-Montes Oriental (NE Portugal). Tese de Doutoramento, Universidade do Minho, 341 p.

Pereira, D. I. (1998) – Enquadramento estratigráfico do Cenozóico de Trás-os-Montes oriental. *Actas V Cong. Nac. Geol. Comun. Inst. Geol. e Mineiro*, Lisboa, pp. A126-A129.

Pereira, D. I. (1999) – Terciário de Trás-os-Montes oriental: evolução geomorfológica e sedimentar. *Comun. Inst. Geol. e Mineiro*, t. 86, pp. 213-226.

Pereira, D. I., Alves, M. I. C., Araújo, M. A. & Cunha P. P. (2000) – “Estratigrafia e interpretação paleogeográfica do Cenozóico continental do norte de Portugal”. 1º Congresso sobre o Cenozóico de Portugal, Ciências da Terra (UNL), 14, pp. 73-84.

Pereira, D. I. & Azevêdo, T. M. (1991) – Origem e evolução dos depósitos de cobertura da região de Bragança. *Memórias e Notícias*, Pub. Mus. Min. Geol. Univ. Coimbra, n.º 122, pp. 247-263.

Pereira, D. I. & Azevêdo, T. M. (1992) – Caracterização geomorfológica e sedimentológica dos depósitos de Raña da região de Bragança (NE Portugal) com vista à definição das suas condições de génese e evolução. *Symposium sobre La Raña en España e Portugal*. Centro de Ciencias medio-ambientales del Consejo Sup. Inv. Cientificas. Madrid, 2, pp. 59-70.

Pereira, D. I. & Azevêdo, T. M. (1993) – Depósitos de preenchimento das depressões associadas ao acidente de Bragança-Manteigas, no sector a norte do Douro (Trás-os-Montes, NE Portugal). 3ª Reunião do Quaternário Ibérico, Coimbra, pp. 183-190.

Pereira, D. I. & Azevêdo, T. M. (1995) – Evolução quaternária do graben da Vilariça (Trás-os-Montes, NE Portugal). *Cuadernos do Laboratório Xeológico de Laxe*, Corunha, 20, pp. 123-137.

Pereira, D. I. & Brilha, J. B. (2000) – Mineralogia da fracção argilosa da Formação de Vale Álvaro (Bragança, NE Portugal). *Ciências da Terra (UNL)*, 14, pp. 83-88.

Pereira, E., Ribeiro, A., Marques, F., Munhá, J. Castro, P., Meireles, C., Ribeiro, M.A., Noronha, F. Ferreira, N. & Pereira, D.I. (2001) – Carta Geológica de Portugal na escala 1/200.000. Folha 2. Instituto Geológico e Mineiro, Lisboa.

Pereira, E., Ribeiro, A. & Castro P. (2000) – Carta Geológica de Portugal na escala 1/50.000. Notícia explicativa da Folha 7-D (Macedo de Cavaleiros). *Inst. Geol. e Min.*, Lisboa, 63 p.

Pereira, V. B. (1991) – Recursos Nacionais em Areias: Panorâmica Actual e Perspectivas Futuras. *Geonovas*, N.º especial 2, Lisboa, pp. 46-60.

Poças, M. E. P. (2004) – Contribuição da palinologia para a caracterização paleoecológica e paleoclimática do Cenozóico a norte do Douro. Tese de Mestrado, Universidade do Minho, Braga, 115 p.

Poças, E., Pereira, D. & Pais, J. (2003) – Análise palinológica preliminar da Formação de Vale Álvaro (Bragança, NE Portugal). *Ciências da Terra (UNL)*. Lisboa. N.º esp. V. CD-ROM, pp. A130-A133.

Ramalhal, F. J. S. (1968) – *Estudo geológico e sedimentológico dos depósitos discordantes dos arredores de Bragança*. Instituto de Investigação Científica de Angola, Luanda, 115 p.

Ribeiro (1974) – Contribution à l'étude tectonique de Trás-os-Montes oriental. *Memórias Serv. Geol. Portugal*, Lisboa, 24 (nova série), 168 p.

Ribeiro, A., Antunes, M. t., Ferreira, M. P., Rocha, R. B., Soares, A. F., Zbyszewski, G., Moitinho de Almeida, F., Carvalho, D. & Monteiro, J. H. (1979) – *Introduction à la géologie générale du Portugal*. Ser. Geol. Portugal, Lisboa, 114 p.

Ribeiro, A., Quesada, C. & Dalmeyer, R. D. (1987) – Tectonostratigraphic terranes and the geodynamics evolution of the Iberian Variscan Fold Belt. Conf. Deformation and Plate Tectonics, Gojón (Spain), pp. 60-61.

Ribeiro, A., Quesada, C. & Dalmeyer, R. D. (1990 a) – Geodynamic evolution of the Iberian Massif. Part VIII in: R. D. Dalmeyer and E. Martínez Garcia (Eds.). *Pré-Mesozoic of Iberia*. Springer-Verlag. Berlin, pp. 399-409.

Ribeiro, A., Pereira, E. & Dias, R. (1990 b) – Allochthonous Sequences; Structure in the northwest of the Iberian Peninsula. In: R. D. Dalmeyer and E. Martínez Garcia (Eds.). *Pré-Mesozoic of Iberia*. Springer-Verlag. Berlin, pp. 220-236.

Ribeiro, A. & Pereira, E. (1997) – Introdução à Geologia de Trás-os-Montes. Guia da Excursão. XIV Reunião da Geologia do Oeste Peninsular, pp. 3-44.

Ribeiro, O. & Feio, M. (1949) – Les dépôts de type "raña" au Portugal. C. R. Cong. Int. Geog., 2, pp. 152-159.

Schultz, L. G. (1964) – Quantitative interpretation of mineralogical composition X-ray and chemical data for the Pierre Shale, Geol. Survey, Paper, 391-C.

Shepard, F.P. (1954) – Nomenclature based on Sand-silt-clay ratio. *Journal. Sed. Petr.* 24. pp. 151-158.

Silva, A. F., Rebelo, J. A., Ribeiro, M. L. (1989) – Carta Geológica de Portugal na escala 1/50.000. Notícia explicativa da Folha 11-C (Torre de Moncorvo). Serv. Geol. Portugal, Lisboa, 65 p.

Teixeira, C. (1972) – Carta Geológica de Portugal, escala 1:500.000. *Serv. Geol. Portugal*, Lisboa.

Teixeira, C. & Gonçalves, F. (1980) – *Introdução à Geologia de Portugal*. Instituto Nacional de Investigação Científica, Lisboa.

Velho, J., Gomes, C. & Romariz, C. (1998) – *Minerais Industriais. Geologia, propriedades, tratamentos, aplicações, especificações, produções e mercados*. Edição de autor. Coimbra. 592 p.

Winkler, H.G.F. (1954) – Bedeutung der korngrossen-verteilung und des mineralbestandes von tonen für die herstellung grobkeramischer erzeugnisse, Berichte Deutsche Keramische Gesellschaft, 37/10, pp. 337-343.

ANEXOS

Quadro A.1 – Resultados da frequência relativa (%) dos minerais da amostra total estimada a partir da difracção de Raios X.

	Amostras	Esmeclite	Ilite	Caulinite	Quartzo	Goetite	FK	Plag.
VALE DA PORCA	VP – 01	3	32	20	35	4	2	4
	VP – 02	1	30	19	39	6	4	1
	VP – 03	1	34	22	31	4	7	1
	VP – 04	1	27	12	46	5	8	1
	VP – 05	0	17	6	58	2	15	2
	VP – 06	1	26	5	45	3	16	4
	VP – 07	2	36	23	32	4	2	1
	VP – 08	2	30	24	37	3	4	1
	VP – 09	3	36	25	26	6	3	1
	VP – 10	2	37	13	36	7	4	1
	VP – 11	1	25	16	46	2	8	1
	VP – 12	0	19	9	52	3	16	1
	VP – 13	3	41	19	25	4	8	1
	VP – 14	3	40	33	13	7	2	1
	VP – 15	4	41	23	23	3	3	2
	VP – 16	1	40	22	28	4	4	1
	VP – L1	3	51	22	18	3	1	2
	VP – L2	6	43	22	20	4	3	1
	VP – L3	4	32	27	29	5	2	2
SENDAS	SD – 01	6	48	20	19	4	1	2
	SD – 02	6	47	19	17	5	2	3
	SD – 03	7	48	19	18	5	1	2
	SD – 04	2	47	20	22	5	2	2
	SD – 05	6	42	22	22	5	1	2
	SD – 06	2	44	15	32	3	1	3
	SD – 07	2	50	6	33	5	2	2
	SD – 08	2	35	10	41	2	5	5
	SD – L1	5	45	13	26	2	4	6
	SD – L2	9	51	9	25	1	1	3
	SD – L3	5	52	11	24	2	2	5

FK – Feldspato potássico; Plag. – Plagioclase.

Quadro A.2 – Resultados da frequência relativa (%) dos minerais da fracção < 2µm estimada a partir da difracção de Raios X em pastas orientadas.

	Amostras	Esmectite	Illite	Caulinite	Goetite
VALE DA PORCA	VP - 01	7	59	27	8
	VP - 02	2	35	58	5
	VP - 03	6	44	39	11
	VP - 04	1	30	63	6
	VP - 05	5	51	32	12
	VP - 06	5	50	40	4
	VP - 07	7	46	38	10
	VP - 08	5	53	35	6
	VP - 09	11	38	40	11
	VP - 10	8	47	37	7
	VP - 11	1	49	35	15
	VP - 12	5	45	41	9
	VP - 13	3	52	34	11
	VP - 14	4	26	64	6
	VP - 15	7	53	31	9
	VP - 16	6	61	25	7
	VP - L1	15	57	20	8
	VP - L2	11	67	20	3
	VP - L3	8	55	30	8
SENDAS	SD - 01	27	40	31	3
	SD - 02	17	35	34	15
	SD - 03	9	39	44	8
	SD - 04	8	17	67	8
	SD - 05	6	34	44	16
	SD - 06	21	40	27	12
	SD - 07	11	46	32	11
	SD - 08	4	50	29	17
	SD - L1	14	59	23	5
	SD - L2	35	38	17	10
	SD - L3	13	63	20	4

Quadro A.3 – Resultados percentuais da Análise Química da amostra total obtidos por fluorescência de Raios X.

	Amostras	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	MnO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	MgO	TiO ₂	P ₂ O ₅	P.R.
VALE DA PORCA	VP-01	60,35	19,33	6,01	0,29	0,06	<0.20	3,59	0,79	0,81	0,13	8,20
	VP-02	62,42	18,42	6,26	0,21	0,06	<0.20	3,60	0,52	0,69	0,14	7,35
	VP-03	64,00	17,82	5,56	0,21	0,05	<0.20	3,76	0,54	0,61	0,13	6,99
	VP-04	68,99	15,27	4,80	0,19	0,05	0,24	3,83	0,41	0,61	0,12	5,26
	VP-05	80,11	9,96	2,56	0,12	0,04	<0.20	3,48	0,25	0,44	0,08	2,61
	VP-06	71,96	13,83	4,02	0,18	0,04	<0.20	4,04	0,40	0,56	0,12	4,39
	VP-07	60,99	19,03	6,13	0,30	0,07	<0.20	3,57	0,76	0,74	0,13	7,99
	VP-08	58,09	21,07	6,15	0,17	0,06	<0.20	3,76	0,65	0,68	0,14	8,74
	VP-09	52,46	23,06	7,71	0,19	0,07	<0.20	3,24	1,01	0,84	0,16	10,86
	VP-10	58,08	20,64	6,63	0,21	0,06	<0.20	3,38	0,71	0,67	0,14	8,96
	VP-11	68,17	15,55	4,82	0,21	0,06	<0.20	3,88	0,49	0,62	0,13	5,54
	VP-12	73,81	12,74	3,85	0,16	0,04	<0.20	3,78	0,34	0,54	0,11	4,18
	VP-13	59,96	19,22	6,44	0,14	0,06	0,24	3,49	0,88	0,78	0,13	8,27
	VP-14	51,58	24,03	7,67	0,14	0,07	0,22	3,25	0,88	0,77	0,17	11,10
	VP-15	59,06	20,08	6,03	0,17	0,07	0,21	3,71	0,92	0,79	0,12	8,63
	VP-16	58,99	19,90	6,30	0,16	0,06	0,32	3,46	0,93	0,78	0,12	8,65
VP-L1	56,62	20,51	7,39	0,15	0,09	0,29	3,41	1,24	0,79	0,14	9,09	
VP-L2	53,88	22,09	7,64	0,15	0,08	<0.20	3,44	1,26	0,83	0,14	10,08	
VP-L3	50,73	24,05	7,74	0,14	0,06	0,28	3,19	1,09	0,75	0,16	11,51	
SENDAS	SD-01	51,69	22,16	8,21	0,09	0,25	0,32	3,47	1,65	1,00	0,16	10,87
	SD-02	51,52	22,35	8,20	0,09	0,23	0,22	3,49	1,59	1,02	0,15	10,86
	SD-03	47,76	23,81	9,16	0,10	0,44	0,22	3,39	1,71	1,01	0,19	11,91
	SD-04	52,93	21,94	8,13	0,12	0,16	0,20	3,37	1,37	1,01	0,15	10,39
	SD-05	48,03	24,23	8,48	0,11	0,17	<0.20	3,29	1,51	0,99	0,16	12,61
	SD-06	57,11	20,16	6,70	0,14	0,15	0,49	3,55	1,32	0,86	0,13	8,94
	SD-07	56,97	20,12	7,36	0,10	0,25	0,30	3,73	1,19	0,93	0,16	8,50
	SD-08	70,72	13,49	5,10	0,10	0,36	0,51	3,45	0,75	0,81	0,13	4,41
	SD-L1	54,69	19,51	7,23	0,07	0,72	0,68	2,98	1,63	0,81	0,19	11,26
	SD-L2	61,17	16,96	6,54	0,08	0,97	0,88	3,24	1,60	0,80	0,19	7,20
	SD-L3	55,14	19,28	8,16	0,10	0,93	0,61	3,70	2,00	0,97	0,22	8,61

PR – perda ao rubro; o Fe₂O₃ corresponde ao ferro total.

Quadro A.4 – Resultados da frequência relativa (%) dos intervalos dimensionais, determinados com a análise granulométrica.

	Amostras	Classe Textural		
		Areia (> 63µm)	Limo (4-63µm)	Argila (< 4µm)
VALE DA PORCA	VP - 01	12	44	44
	VP - 02	25	41	34
	VP - 03	38	38	24
	VP - 04	47	23	30
	VP - 05	79	9	12
	VP - 06	58	23	19
	VP - 07	22	39	39
	VP - 08	22	31	47
	VP - 09	5	34	61
	VP - 10	23	26	51
	VP - 11	45	26	29
	VP - 12	61	16	23
	VP - 13	20	42	38
	VP - 14	9	39	52
	VP - 15	13	39	48
	VP - 16	17	46	37
	VP - L1	7	40	53
	VP - L2	12	54	34
	VP - L3	5	33	62
SENDAS	SD - 01	3	40	57
	SD - 02	2	50	48
	SD - 03	1	38	61
	SD - 04	4	46	50
	SD - 05		35	64
	SD - 06	15	36	49
	SD - 07		43	39
	SD - 08	37	43	20
	SD - L1	7	64	29
	SD - L2	11	60	29
	SD - L3	4	49	47

A.5.1 – Resultados gerais dos Ensaio Tecnológicos: Limites de Atterberg e Absorção de Água.

	Amostras	Limites de Atterberg (%)			Absorção de Água (%)
		LF	LP	IP	
VALE DA PORCA	VP - 01	68	40	28	17
	VP - 02	56	33	23	18
	VP - 03	55	31	24	17
	VP - 04	43	28	15	18
	VP - 05	26	24	2	20
	VP - 06	39	26	13	18
	VP - 07	57	34	23	16
	VP - 08	62	37	25	17
	VP - 09	80	45	34	11
	VP - 10	69	41	28	16
	VP - 11	43	28	15	18
	VP - 12	35	26	10	19
	VP - 13	60	37	23	16
	VP - 14	87	44	43	12
	VP - 15	63	38	25	16
	VP - 16	67	39	28	16
	VP - L1	74	37	37	15
	VP - L2	71	39	32	12
	VP - L3	86	48	38	16
SENDAS	SD - 01	110	46	64	10
	SD - 02	105	44	61	13
	SD - 03	96	49	47	14
	SD - 04	88	46	42	12
	SD - 05	110	54	57	10
	SD - 06	75	42	33	15
	SD - 07		39	30	15
	SD - 08	39	30	9	21
	SD - L1		50	27	21
	SD - L2	64	38	26	17
	SD - L3	80	38	42	13

LF – limite de fluidez; LP – limite de plasticidade; IP – Índice de Plasticidade.

Quadro A.5.2 – Resultados gerais dos Ensaios Tecnológicos: Parâmetros Cromáticos.

		Parâmetros Cromáticos					
		Em cru			Após Cozedura (950°C)		
Amostras		L*	a*	b*	L*	a*	b*
VALE DA PORCA	VP – 01	67,1	10,1	24,4	53,5	24,5	25,1
	VP – 02	62,8	15,0	29,0	52,0	26,5	26,3
	VP – 03	64,8	13,1	28,4	53,0	23,2	23,7
	VP – 04	64,5	12,7	27,5	53,0	23,2	23,7
	VP – 05	66,5	8,9	24,0	55,1	22,9	27,8
	VP – 06	64,1	12,2	28,3	53,9	24,4	27,6
	VP – 07	62,6	12,4	27,3	53,8	24,8	25,5
	VP – 08	66,6	12,0	27,3	52,3	26,7	26,2
	VP – 09	67,4	11,2	26,1	50,2	26,2	25,6
	VP – 10	66,2	11,9	26,6	53,2	26,8	26,9
	VP – 11	64,2	12,1	28,0	52,1	24,4	25,7
	VP – 12	64,3	12,8	27,6	53,2	26,2	27,9
	VP – 13	67,3	10,8	25,8	54,8	26,4	26,5
	VP – 14	67,2	13,0	28,4	51,0	26,9	26,0
	VP – 15	69,1	10,5	25,0	51,9	27,0	27,9
	VP – 16	68,1	11,6	25,5	51,0	27,3	27,5
	VP – L1	67,6	10,1	26,6	53,1	25,1	25,3
	VP – L2	68,8	8,8	25,5	52,6	25,4	25,0
	VP – L3	67,1	11,4	28,3	49,7	26,7	26,0
SENDAS	SD – 01	67,9	11,4	27,5	54,0	23,0	23,0
	SD – 02	68,4	10,9	27,3	54,8	25,1	24,9
	SD – 03	69,5	10,8	26,7	54,5	25,2	23,6
	SD – 04	67,8	11,0	26,7	51,7	25,5	24,5
	SD – 05	69,2	10,4	27,2	55,0	25,9	25,1
	SD – 06	66,9	10,8	24,9	53,9	25,3	24,5
	SD – 07	69,0	10,7	25,7	53,2	25,1	24,3
	SD – 08	66,7	9,8	23,8	53,7	25,9	26,5
	SD – L1	70,9	8,0	26,3	56,5	24,0	26,0
	SD – L2	69,9	6,6	23,0	54,0	26,3	27,8
	SD – L3	69,6	8,0	25,3	56,5	23,9	25,1

L* - eixo branco-preto; a* - eixo verde-vermelho; b* - eixo azul-amarelo.

Quadro A.5.3 – Resultados gerais dos ensaios tecnológicos: Retracção e Resistência Mecânica à Flexão.

	Amostras	Resistência mecânica à flexão(Kg/Cm ²)		Retracção (%)	
		Cru	Cozido (950°C)	Verde-Seco	Total
VALE DA PORCA	VP – 01	19	78	10	13
	VP – 02	10	52	7	9
	VP – 03	18	55	8	10
	VP – 04	12	28	6	8
	VP – 05	8	10	5	6
	VP – 06	10	15	5	6
	VP – 07	20	66	9	12
	VP – 08	22	67	10	11
	VP – 09	24	102	10	12
	VP – 10	19	81	9	11
	VP – 11	10	20	5	6
	VP – 12	9	12	4	5
	VP – 13	15	70	10	13
	VP – 14	22	100	10	12
	VP – 15	22	70	7	9
	VP – 16	24	77	7	8
	VP – L1	25	83	8	11
	VP – L2	29	103	10	12
	VP – L3	33	133	10	12
SENDAS	SD – 01	39	250	10	15
	SD – 02	29	128	11	15
	SD – 03	36	162	10	15
	SD – 04	44	113	8	13
	SD – 05	59	165	9	15
	SD – 06	21	81	9	11
	SD – 07	19	84	9	11
	SD – 08	7	14	4	5
	SD – L1	15	54	7	11
	SD – L2	16	74	11	12
	SD – L3	19	110	9	12