



UNIVERSIDADE DE ÉVORA

ESCOLA DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIA

DEPARTAMENTO DE GEOCIÊNCIAS

**“Formulação de Pastas Cerâmicas a partir de
Matérias-Primas Argilosas dos Concelhos de Vila
Viçosa e Redondo para a Produção de Olaria
Tradicional”**

Tiago Filipe Lourenço Pereira Alves

Orientação: Professor Doutor Rúben Sílvio Varela
Martins (Universidade de Évora)

Coorientação: Professor Doutor Joaquim Luís Galego
Lopes (Universidade de Évora)

Coorientação: Eng^a Maria Manuela Pereira Dinis
Baroso (Cencal - Centro de Formação Profissional
para a Indústria Cerâmica)

Mestrado em Engenharia Geológica

Dissertação

Évora, 2015



UNIVERSIDADE DE ÉVORA

ESCOLA DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIA

DEPARTAMENTO DE GEOCIÊNCIAS

**“Formulação de Pastas Cerâmicas a partir de
Matérias-Primas Argilosas dos Concelhos de Vila
Viçosa e Redondo para a Produção de Olaria
Tradicional”**

Tiago Filipe Lourenço Pereira Alves

Orientação: Professor Doutor Rúben Sílvio Varela
Martins (Universidade de Évora)

Coorientação: Professor Doutor Joaquim Luís Galego
Lopes (Universidade de Évora)

Coorientação: Eng^a Maria Manuela Pereira Dinis
Baroso (Cencal - Centro de Formação Profissional
para a Indústria Cerâmica)

Mestrado em Engenharia Geológica

Dissertação

Évora, 2015

**Meus queridos pais, a vocês não vos dedico a minha tese,
porque vos dedicarei sempre a minha vida!**

RESUMO

Formulação de Pastas Cerâmicas a partir de Matérias-Primas Argilosas dos Concelhos de Vila Viçosa e Redondo para a Produção de Olaria Tradicional

Devido à gradual escassez de barros para aplicação em cerâmica e olaria tradicional no Distrito de Évora, pretende-se caracterizar e quantificar, na região do Anticlinal de Estremoz, resíduos da indústria extrativa e transformadora de mármore, e solos argilosos que possam ser utilizados como matérias-primas alternativas.

Neste contexto, surge a “terra rossa”, que é um solo residual resultante da dissolução de rochas carbonatadas, como mármore e calcários, acumulado à superfície após a sua remoção para a abertura de pedreiras. As lamelas carbonatadas resultam do corte e polimento da rocha nas unidades industriais de transformação de rocha ornamental, tratando-se de um resíduo com um elevado potencial para possíveis aplicações industriais, como a cerâmica, graças à sua granulometria e composição mineralógica e química.

Com esta tese, pretende-se formular pastas cerâmicas com estes geomateriais que são depositados junto às unidades extrativas sem qualquer tipo de aproveitamento, utilizando-os como matérias-primas em diferentes aplicações cerâmicas.

ABSTRACT

Formulation of ceramic pastes with clay raw materials from Vila Viçosa and Redondo municipalities for the production of traditional pottery

Due to the gradual shortage of locally occurring clays for use in traditional pottery in the District of Évora, we tried to characterize and quantify some materials related to marble quarrying and processing in the Anticline region of Estremoz, and clayed soils that can be used as raw materials alternative to clay.

One of these materials is “terra rossa”, which is a residual soil of dissolution of the local carbonate rock, marble, accumulated on the ground surface after its removal necessary to open marble quarries.

The other material is the carbonate rich sludge, resulting from the cutting and polishing of marble in local industrial processing plants in order to transform it into ornamental stone. Thanks to its particle size and mineralogical and chemical composition this residue can be incorporated into ceramic pastes.

This thesis aims at the creation of ceramic pastes good for pottery being prepared with the geomaterials referred to.

AGRADECIMENTOS

Uma tese de mestrado é o resultado de vários meses de trabalho, que requer o máximo empenho, acabando sempre por envolver diversas instituições, pessoas, colegas, amigos e família. É com a maior das satisfações que expresso os meus mais profundos agradecimentos a todos aqueles que tornaram possível a realização deste trabalho.

A realização do trabalho no âmbito desta tese de mestrado coincidiu com o desaparecimento da minha querida “Avó Maria”. Desta forma, gostaria de aqui deixar registada a homenagem à sua eterna memória, e a minha profunda gratidão pelo carinho e amor, que sempre ao longo de toda a sua vida demonstrou por mim.

Em primeiro lugar, gostaria de agradecer ao meu orientador Professor Rúben Martins, pelo incentivo, apoio, disponibilidade, acompanhamento científico e orientação demonstrados ao longo da realização desta dissertação. Agradeço-lhe pelos ensinamentos que me tem transmitido ao longo do meu percurso como aluno de Licenciatura em Ciências da Terra e da Atmosfera e de Mestrado em Engenharia Geológica, sendo um privilégio enorme ter sido seu aluno e orientando. Gostaria de lhe agradecer também pela sua amizade e companheirismo em momentos muito difíceis.

Ao Professor Celso Gomes, pela ajuda e extraordinária disponibilidade na interpretação dos resultados obtidos nos ensaios de caracterização física e tecnológica, ajudando com os seus ensinamentos na formulação das pastas cerâmicas que foram criadas no âmbito deste trabalho.

Ao Cencal, Centro de Formação Profissional para a Indústria Cerâmica, das Caldas da Rainha, e à sua Diretora, a Dra. Ana Bica e em particular à Eng^a e coorientadora deste trabalho Maria Manuela Baroso, por ter tornado possível a realização de todos os ensaios tecnológicos, nos seus laboratórios e pela colaboração em diversos capítulos deste trabalho. Também agradeço, do fundo do meu coração à sua técnica de laboratório, Dulce Santos, por ter sido um pilar importante desta tese, pelos conhecimentos que me transmitiu, pela sua amizade, e pelo incansável apoio prestado durante todos os ensaios laboratoriais executados no Cencal, muitas das vezes em detrimento da sua vida particular.

Ao meu professor e coorientador, Professor Luís Lopes, pelos seus ensinamentos ao longo de todo o meu percurso enquanto estudante da Universidade de Évora, e pelo apoio e acompanhamento ao longo deste trabalho.

Ao Mestre Xico Tarefa (Sr. Francisco Rosado), oleiro da Vila de Redondo, pela sua colaboração, ampla disponibilidade, acompanhamento e empenho no estudo e conformação das peças cerâmicas, ficando para a história a sua frase: “Coca-Cola? Isso é a água suja do Capitalismo!”. Agradeço também ao seu filho, o Sr. Luís Carlos Rosado, pelo interesse que sempre demonstrou no acompanhamento deste trabalho, e em particular pelos contactos que desenvolveu, para que a apresentação desta tese fosse realizada no Auditório do Centro Cultural de Redondo.

À Câmara Municipal de Redondo, e em particular ao seu Presidente, o Sr. António Recto, e ao Vereador responsável pela área da Cultura, o Sr. Armindo Ramalhosa, pela oportunidade única que me concederam de defender a minha tese de mestrado em pleno Centro Cultural de Redondo.

Ao Departamento de Geociências da Universidade de Évora, e em particular à Diretora do Departamento, a Professora Paula Faria, por todo o apoio demonstrado e pela disponibilidade do laboratório de Geociências para a realização dos ensaios de caracterização física. Um agradecimento especial aos técnicos do laboratório de Geociências da Universidade de Évora, Sandra Velez e Jorge Velez, pelo apoio, amizade e pelo imenso ensinamento cedido ao longo de todo este trabalho.

À Diretora do Mestrado em Engenharia Geológica, Professora Isabel Duarte, pela sua dedicação às questões relacionadas com o mesmo, pela sua ajuda na resolução de problemas burocráticos e pelas palavras de incentivo ao longo da realização desta dissertação.

À Idalinda Fernandes e Maria Teresa Balixa, funcionárias do secretariado do Departamento de Geociências da Universidade de Évora, pela ajuda e paciência que sempre demonstraram para ajudarem em tudo o que estivesse ao seu alcance, durante todo o meu percurso académico.

Ao Professor Carlos Alexandre e à Luiseta Palma, técnica do Laboratório de Física do Solos da Universidade de Évora pela disponibilidade que demonstraram para a execução do ensaio de Análise Granulométrica no referido laboratório.

Ao Professor José Mirão, investigador do Laboratório Hércules da Universidade de Évora pela disponibilidade que demonstrou para a execução dos ensaios de Difração de Raios-X (DRX) no referido laboratório.

À Empresa Tecnovia, no Monte das Flores em Évora, e em particular ao seu técnico de laboratório, o Sr. Manuel Silva, pela disponibilidade que demonstraram na utilização dos seus equipamentos para a desagregação das matérias-primas argilosas.

À Empresa Cerâmica do Centro Lda. de Leiria, e em particular à Eng^a Alexandra Caetano pela disponibilidade que demonstrou, numa visita guiada às instalações de produção de grés e de barro vermelho da referida empresa.

À Empresa Ipiac-Nery Esicomatic Lda., de Torres Novas, e em particular ao seu General Manager, o Sr. Marco Silva pela ajuda, entrega e disponibilidade que demonstrou na elaboração da unidade de produção de pasta cerâmica. Agradeço também ao Eng^o Fernando Leonor do Departamento de Engenharia e ao Eng^o Jacinto Barreiros do Departamento Comercial e Financeiro da mesma empresa, pela disponibilidade que demonstraram na construção do “*layout*” da empresa e consulta dos respetivos catálogos comerciais.

À minha amiga e “avó” Ana Marta Cunha, pela disponibilização da sua tese de mestrado “Aplicação na Olaria de Terra Rossa de Ocorrências no Anticlinal de Estremoz”, tendo sido uma ferramenta de trabalho de grande qualidade que contribuiu para a minha compreensão acerca do aproveitamento de matérias-primas argilosas. Agradeço ainda pelas suas palavras de incentivo, carinho e amizade incondicional que sempre demonstrou ao longo de todo o meu percurso académico.

Aos colegas e amigos das Licenciatura de Ciências da Terra e da Atmosfera e Engenharia Geológica pela ajuda mas mais diversas situações, onde o seu companheirismo e amizade, se revelaram determinantes, conferindo-me ânimo e força para terminar este curso. Agradeço ao João Almeida, Gonçalo Jesus, Jorge Coelho, Luís Coradinho, Pedro Viveiros, Pedro Pires, João Félix, Joana Pita, Tiago Fernandes, Nélson Leite, Margarete Correia, Cátia Matos, Miguel Silva, Sofia Pinela, Catarina Pinho, João Alves, Flávia Susano e Oriana Gonçalves.

À minha amiga Verónica Ramos, pela amizade demonstrada ao longo de todo o meu percurso académico, bem como à sua família pela enorme hospitalidade durante o

tempo em que estive nas Caldas da Rainha. Agradeço ainda às minhas “meninas de RP” Ana Firmino, Cláudia Sofia Rosa, Ana Tecas, Daniela Gomes e Filipa Guerreiro pelo amor e carinho com que me receberam na sua “família”. Não me poderia nunca esquecer da “geração seguinte”, e por isso, agradeço ainda às minhas “pequeninas de RP” Catarina Liberal, Mariana Santos, Soraia Picado, Mariana Silva, Marta Mósca, Marta Fonseca, Catarina Abreu e Daniela Palma, que com o seu carisma, amor, carinho e alegria me devolveram o ânimo numa fase muito difícil da minha vida.

Um especial agradecimento à minha grande amiga Joana Margarida, pela amizade, amor, carinho, incentivo e apoio incondicional ao longo de todo o meu mestrado. Agradeço ainda ao meu grande amigo e “Padrinho” Paulo Ferreira, pelos ensinamentos, amizade e companheirismo que sempre demonstrou.

Ao meu patrão, o Sr. Mário Rato, e a todos os meus colegas do Restaurante “A Gruta”, a saber: Nicole Farias, Luís Veiga, Cláudia Alves, Gilmar Gonçalves, Samuel Alves, Ladislav Alves, Iryna Khanas, Mónica Dias, Nuno Neves, Odete Grade, Ricardo Grade, Pedro Montoito, Gonçalo Vieira, Ricardo Coelho e Verónica Jou, que pela amizade, companhia e boa disposição, me ajudaram a atravessar este obstáculo na minha vida.

À minha “família académica”, que sempre me apoiou nos momentos difíceis, com as suas palavras de encorajamento, carinho e força, e que me fizeram crescer ao longo de todo o meu percurso académico. Um profundo agradecimento à Mariana Francisco, Inês Feliciano, Rute Pataca, Ana Sofia Ferreira, Beatriz Grilo, Teresa Maria, Mariana Branco, Silvana Fonseca e Joana da Saúde Coelho.

Neste contexto “familiar”, nunca me poderia esquecer da Sofia Calhau, da Ana Isabel Marques e da Diana Machado, que com o seu amor, carinho e amizade, me ajudaram a ganhar forças para enfrentar a importante fase final deste percurso.

Aos meus “pequeninos” de Reabilitação Psicomotora que me ajudaram na realização de alguns ensaios no laboratório de Geociências da Universidade de Évora. Os meus agradecimentos à Juliana Gondim, Rita Ilha, Francisco Isidoro, Sara Cabral, Catarina Babau, Carina Pinhão, Daniela Isaque, Ana Filipa Silva, Joana Elias, Vanessa Fragoso, Nicole Almeida e Carolina Rebocho.

Aos muitos colegas e amigos do Conselho de Notáveis da Universidade de Évora, que com simples palavras e incentivos, muitas vezes com simples conversas informais, que foram verdadeiras ajudas na hora de ultrapassar todas as dificuldades que surgiram ao longo desta fase da minha vida. Os meus sinceros agradecimentos ao Pedro Fragoso, Marco Paulo, Cecília Bucete, João Amaral, Duarte Guerreiro, Daniel Cândido, Daniel Gomes, Maria Sant’Anna, Bruno Costa, Ana Sofia Miguel, João Ribeiro, Olga Marques, Ana Barradas, Inês Domingues, Bruno Monteiro, Paula Mascarenhas, Joaquim Villas-Boas, Nuno Croino, Beatriz Toste, Raquel Rei, João Ferreira, Joaquim Silvestre, Catarina Pinheiro, Teresa Albano, Andreia Lourenço, José Guerreiro, e tantos, tantos outros, que ajudaram à minha integração e percurso na Tradição Académica da Universidade de Évora.

À minha amiga Ana Lúcia Santos, pela ajuda, carinho e amizade que sempre demonstrou ao longo desta altura de imenso “stress” e trabalho.

Aos meus amigos Cláudio Tavares, Alexandre Coelho e João Fernandes, que pelo seu companheirismo, amizade, iniciativa, dedicação e espírito aventureiro, demonstraram sempre ser aquilo, que de mais próximo terei de um irmão!

À minha companheira e amiga Cristina Baleizão, pelo carinho, amor e dedicação que em tudo contribuíram para ultrapassar esta fase final do meu trabalho. Aqui te digo: “Só deus sabe o que gosto de ti.”

A toda a minha família, avós, tios e primos pelo amparo e companhia, sendo sempre incansáveis ao longo de uma vida inteira.

Por último, quero ainda agradecer às duas pessoas mais importantes da minha vida, aos meus pais, Amílcar Alves e Maria Lúcia Pereira, pela educação que sempre me proporcionaram e que me transformou na pessoa que hoje sou, bem como pela oportunidade que me ofereceram para lutar por este sonho. Dizer que vos amo, é pouco! É pouco, para aquilo me deram, que me dão e que sei que ainda me vão dar.

A todos vós, um muito obrigado, por me deixarem a mim fazer parte de vocês!

ÍNDICE

RESUMO	I
ABSTRACT	II
AGRADECIMENTOS	III
ÍNDICE	VIII
ÍNDICE DE FIGURAS	XII
ÍNDICE DE QUADROS	XVII
1 – INTRODUÇÃO	1
2 – ALGUNS CONCEITOS SOBRE ARGILAS	3
2.1 – SISTEMÁTICA DOS MINERAIS ARGILOSOS	4
2.2 – MINERAIS ARGILOSOS COM ESTRUTURAS LAMELARES	10
2.2.1 – GRUPO DO CAULINO – SERPENTINA	10
2.2.2 – GRUPO DA ILITE OU DAS MICAS ARGILOSAS	11
2.2.3 – GRUPO DA MONTMORILONITE – SAPONITE (ESMECTITES)	13
2.2.4 – GRUPO DA CLORITE	15
2.2.5 – GRUPO DA VERMICULITE	16
2.2.6 – GRUPO DA PIROFILITE – TALCO	17
2.3 – MINERAIS ARGILOSOS COM ESTRUTURAS NÃO LAMELARES	18
2.2.1 – GRUPO DA PLYGORSKITE – SEPIOLITE	18
2.4 – GRUPO DOS MINERAIS ARGILOSOS INTERESTRATIFICADOS	20
2.5 – GRUPO DOS MINERAIS ARGILOSOS FRACAMENTE CRISTALINOS	21
3 – PROPRIEDADES DA ARGILA	22
3.1 – GRANULARIDADE E GRANULOMETRIA	22
3.2 – SUPERFÍCIE ESPECÍFICA	22
3.3 – CAPACIDADE DE TROCA CATIONICA	23
3.4 – PROPRIEDADES COLOIDAI E REOLÓGICAS DO SISTEMA ARGILA + ÁGUA	26
3.5 – PLASTICIDADE	29
3.6 – ENDURECIMENTO APÓS SECAGEM E COZEDURA	31
4 – GÊNESE DA ARGILA	32
5 – MATÉRIAS-PRIMAS CERÂMICAS	37
5.1 – MATÉRIAS-PRIMAS PLÁSTICAS	39
5.1.1 – APLICAÇÕES DA ARGILA EM CERÂMICA	39
5.1.2 – ARGILAS ESPECIAIS	41
5.1.2.1 – CAULINO	41
5.1.2.2 – “FIRE-CLAY”	43
5.1.2.3 – “BALL-CLAY”	44
5.1.2.4 – BENTONITE	45
5.1.2.5 – ARGILAS FIBROSAS	47
5.1.3 – ARGILAS COMUNS	47
5.1.3.1 – ARGILA PARA OLARIA	50

5.1.3.2 – ARGILA PARA CERÂMICA ESTRUTURAL OU DE CONSTRUÇÃO	51
5.2 – MATÉRIAS-PRIMAS NÃO PLÁSTICAS	54
5.2.1 – FELDSPATOS	54
5.2.2 – CALCÁRIOS, DOLOMITE E CALCITE	55
5.2.3 – TALCO	56
5.2.4 – CHAMOTE	57
5.2.5 – QUARTZO	58
6 – PROCESSO CERÂMICO EM OLARIA TRADICIONAL	60
6.1 – PREPARAÇÃO DAS MATÉRIAS-PRIMAS	60
6.2 – CONFORMAÇÃO	62
6.3 – SECAGEM	62
6.4 – COZEDURA	62
6.5 – ARREFECIMENTO	65
6.6 – VIDRAGEM DAS PEÇAS CERÂMICAS	66
7 – ENQUADRAMENTO GEOLÓGICO REGIONAL	67
8 – METODOLOGIAS UTILIZADAS NO TRABALHO EXPERIMENTAL	71
8.1 – CAMPANHA DE AMOSTRAGEM	71
8.2 – ENSAIOS LABORATORIAIS DE CARACTERIZAÇÃO FÍSICA	76
8.2.1 – ANÁLISE GRANULOMÉTRICA	81
8.2.2 – LIMITES DE CONSISTÊNCIA E PLASTICIDADE	86
8.2.3 – ENSAIO DE EXPANSIBILIDADE	91
8.2.4 – ENSAIO DO TEOR DE MATÉRIA ORGÂNICA	94
8.2.5 – COMPOSIÇÃO MINERALÓGICA	97
8.3 – ENSAIOS DE CARACTERIZAÇÃO TECNOLÓGICA	99
8.3.1 – TRABALHABILIDADE, EXTRUDIBILIDADE E CONFORMAÇÃO	99
8.3.2 – SECAGEM DOS PROVETES	103
8.3.3 – COZEDURA DOS PROVETES	104
8.3.4 – PERCENTAGEM DE RETRAÇÃO LINEAR	106
8.3.5 – PERCENTAGEM DE ABSORÇÃO DE ÁGUA	108
8.3.6 – RESISTÊNCIA MECÂNICA À FLEXÃO	109
8.3.7 – PERCENTAGEM DE RESÍDUO NO PENEIRO 45 μm	112
8.3.8 – ANÁLISE TÉRMICA-DILATOMÉTRICA	113
8.3.9 – PLASTICIDADE DETERMINADA SEGUNDO O MÉTODO DE PFEFFERKORN	116
8.4 – ENSAIO INDUSTRIAL	119
9 – RESULTADOS DO COMPORTAMENTO CERÂMICO DAS MATÉRIAS-PRIMAS	
ARGILOSAS ESTUDADAS	120
9.1 – ENSAIOS LABORATORIAIS DE CARACTERIZAÇÃO FÍSICA	120
9.1.1 – ANÁLISE GRANULOMÉTRICA	120
9.1.2 – LIMITES DE CONSISTÊNCIA	122
9.1.3 – EXPANSIBILIDADE	124

9.1.4 – ENSAIO DO TEOR DE MATÉRIA ORGÂNICA	126
9.1.5 – COMPOSIÇÃO MINERALÓGICA	129
9.2 – ENSAIOS TECNOLÓGICOS E CARACTERIZAÇÃO DO COMPORTAMENTO DAS MATÉRIAS-PRIMAS ARGILOSAS ESTUDADAS	131
9.2.1 – TRABALHABILIDADE, EXTRUDIBILIDADE E CONFORMAÇÃO	131
9.2.2 – SECAGEM DOS PROVETES	132
9.2.3 – COZEDURA DOS PROVETES	133
9.2.4 – PERCENTAGEM DE RESÍDUO RETIDO NO PENEIRO 45 µm	139
9.2.5 – PLASTICIDADE SEGUNDO O MÉTODO DE PFEFFERKORN	139
9.2.6 – ANÁLISE TÉRMICA-DILATOMÉTRICA	141
9.3 – ENSAIO INDUSTRIAL	144
9.3.1 – CONFORMAÇÃO DAS PEÇAS CERÂMICAS	144
9.3.2 – SECAGEM E COZEDURA	148
10 – ENSAIOS TECNOLÓGICOS E CARACTERIZAÇÃO DO COMPORTAMENTO DAS PASTAS CERÂMICAS	151
10.1 – FORMULAÇÃO DE PASTAS CERÂMICAS SUJEITAS A DOIS PATAMARES DE COZEDURA	152
10.1.1 – TRABALHABILIDADE, EXTRUDIBILIDADE E CONFORMAÇÃO	154
10.1.2 – SECAGEM DOS PROVETES	158
10.1.3 – COZEDURA DOS PROVETES	159
10.1.4 – ANÁLISE TÉRMICA-DILATOMÉTRICA	162
10.2 – FORMULAÇÃO DE PASTAS CERÂMICAS COM INCORPORAÇÃO DE NATA	166
10.2.1 – TRABALHABILIDADE, EXTRUDIBILIDADE E CONFORMAÇÃO	167
10.2.2 – SECAGEM DOS PROVETES	170
10.2.3 – COZEDURA DOS PROVETES	171
10.2.4 – ANÁLISE TÉRMICA-DILATOMÉTRICA	174
11 – ENSAIO INDUSTRIAL E CARACTERIZAÇÃO DO COMPORTAMENTO DAS PASTAS CERÂMICAS NA RODA DE OLEIRO	179
11.1 – CONFORMAÇÃO DAS PEÇAS CERÂMICAS	179
11.2 – SECAGEM E COZEDURA DAS PEÇAS CERÂMICAS	184
12 – COMPARAÇÃO DE RESULTADOS COM ESTUDOS ANTERIORES	188
12.1 – ENSAIOS DE CARACTERIZAÇÃO TECNOLÓGICA	189
12.1.1 – TRABALHABILIDADE, EXTRUDIBILIDADE E CONFORMAÇÃO	189
12.1.2 – SECAGEM DOS PROVETES	191
12.1.3 – COZEDURA DOS PROVETES	193
13 – PROJEÇÃO DE UMA UNIDADE INDUSTRIAL DE PRODUÇÃO DE PASTA CERÂMICA PARA OLARIA	196
13.1 – LINHA DE PREPARAÇÃO DAS MATÉRIAS-PRIMAS	202
13.2 – LINHA DE PRODUÇÃO E MOLDAGEM DA PASTA CERÂMICA	204
13.3 – PERFIL INDUSTRIAL DA UNIDADE FABRIL	209

13.4 – CUSTOS E INVESTIMENTO NECESSÁRIO	213
14 – CONCLUSÕES	220
15 – REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	233
16 – SITES DA INTERNET CONSULTADOS	236
ANEXO I – ENSAIOS DE CARACTERIZAÇÃO FÍSICA	237
ANEXO II – ENSAIOS DE CARACTERIZAÇÃO TECNOLÓGICA	251

ÍNDICE DE FIGURAS

CAPÍTULO 1

Fig. 1.1 - Pedreira de extração de mármore e escombreyras.....	1
--	---

CAPÍTULO 2

Fig. 2.1 - Catiões e aniões formadores dos minerais argilosos e respetivos raios iónicos (<i>Adaptado de Martins, 2007</i>).....	5
Fig. 2.2 - Representação esquemática de um tetraedro (1) e de uma folha estrutural tetraédrica (2) (<i>Adaptado de Martins, 2007</i>).....	5
Fig. 2.3 - Representação esquemática de um octaedro (1) e de uma folha estrutural octaédrica (2) (<i>Adaptado de Martins, 2007</i>).....	6
Fig. 2.4 - Representação esquemática da estrutura cristalina da Caulinite (<i>Adaptado de Martins, 2007</i>).....	10
Fig. 2.5 - Representação esquemática da unidade estrutural da Illite (<i>Adaptado de Martins, 2007</i>).....	12
Fig. 2.6 - Representação esquemática das unidades estruturais da Montmorilonite (<i>Neuman et al, 2002</i>).....	13
Fig. 2.7 - Representação esquemática das unidades estruturais da Pirofilite e do Talco (<i>Adaptado de Martins, 2007</i>).....	17
Fig. 2.8 - Modelo estrutural da Palygorskite e da Sepiolite (<i>Martins, 2007</i>).....	18

CAPÍTULO 3

Fig. 3.1 - Série de Hofmeister para catiões monovalentes e bivalentes.....	25
Fig. 3.2 - Representação esquemática da distribuição de cargas elétricas e da dupla camada difusa, junto de uma partícula coloidal negativa (<i>Martins, 2007</i>).....	27

CAPÍTULO 5

Fig. 5.1 - Classificação das argilas para uso cerâmico (<i>Gomes, 1988, 2002</i>).....	41
Fig. 5.2 - Diagrama de Winkler com frações granulométricas do tijolo maciço (1), tijolo furado (2), telha (3) e tijoleira (4) (<i>Adaptado de Martins, 2007</i>).....	52

CAPÍTULO 7

Fig. 7.1 - Enquadramento geológico do Anticlinal de Estremoz (<i>Lopes, 2003</i>).....	67
Fig. 7.2 - Coluna estratigráfica do Anticlinal de Estremoz (<i>Adaptado de Oliveira, et al 1991</i>).....	68
Fig. 7.3 - Pseudomorfoses de Pirite (<i>Adaptado de Lopes, 2003</i>).....	69

CAPÍTULO 8

Fig. 8.1 - Localização geográfica do Anticlinal de Estremoz (<i>Lopes, 2003</i>).....	72
Fig. 8.2 - Localização das UNOR, das ADC e das Áreas de Exploração (<i>Lopes, 2003</i>).....	73

Fig. 8.3 - Localização geográfica dos três locais de amostragem das matérias-primas argilosas (<i>Imagem Google Earth</i>).....	73
Fig. 8.4 - Depósito da amostra Biblio VV (Coordenadas - N38°, 46', 37.9";W007°, 25', 28.2").....	74
Fig. 8.5 - Depósito da amostra Borba VV (Coordenadas - N38°, 48', 08.1";W007°, 26', 35.7").....	75
Fig. 8.6 - Depósito da amostra Lagoa (Coordenadas - N38°, 44', 24.8";W007°, 24', 49.5").....	75
Fig. 8.7 - Amostra Biblio VV em secagem, no laboratório do Departamento de Geociências.....	76
Fig. 8.8 - Amostra desagregada por desgaste no Moinho de Los Angeles da empresa “Tecnovia”.....	77
Fig. 8.9 - Partição da amostra inicial com o auxílio de um repartidor.....	77
Fig. 8.10 - Corte granulométrico a 250 µm por via seca.....	79
Fig. 8.11 - Material utilizado no segundo corte granulométrico a 250 µm.....	79
Fig. 8.12 - Corte granulométrico a 250 µm por via húmida.....	80
Fig. 8.13 - Peneiração por via húmida.....	83
Fig. 8.14 - Agitadores mecânicos, da marca Soilstate e modelo Hamilton Beach.....	85
Fig. 8.15 - Sedimentógrafo, da marca Micromeritics e modelo Sedigraph 5100.....	85
Fig. 8.16 - Representação esquemática do significado físico dos limites de consistência (<i>Faria, 2005</i>).....	86
Fig. 8.17 - Concha de Casagrande mostrando sulco perpendicular à superfície da concha.....	89
Fig. 8.18 - Remoção de fração da amostra, na zona da concha onde se deu a União.....	90
Fig. 8.19 - Execução de um filamento, por rolamento.....	90
Fig. 8.20 - Compactação do solo no interior do molde, com o auxílio de um pilão.....	92
Fig. 8.21 – Amostra nivelada.....	92
Fig. 8.22 - Recipientes, contendo os defletómetros e as três amostras ensaiadas.....	93
Fig. 8.23 - Ataque com peróxido de hidrogénio às diferentes amostras.....	95
Fig. 8.24 - Execução do ensaio de queima da matéria orgânica na mufla a 250 °C.....	96
Fig. 8.25 - Secagem parcial das amostras em molde de gesso.....	101
Fig. 8.26 - Extrusora Macocer e lastra de argila.....	101
Fig. 8.27 - Marcação dos sulcos, com auxílio de um paquímetro.....	102
Fig. 8.28 - Provetes extrudidos da amostra Biblio VV, com dimensões de 100 mm x 10 mm.....	102
Fig. 8.29 - Anel de Buller.....	105
Fig. 8.30 - Princípio de medição dos anéis de Buller e excerto de uma escala de medição (<i>Adaptado de Canotilho, 2003</i>).....	105
Fig. 8.31 - Provetes submersos em água na execução do ensaio de absorção.....	109

Fig. 8.32 - Prensa Zwick e provete durante o ensaio	112
Fig. 8.33 - Medição do diâmetro	112
Fig. 8.34 - Execução do ensaio da % de resíduo no peneiro de 45 µm	113
Fig. 8.35 - Dilatômetro Bahr DIL801L	115
Fig. 8.36 - Molde de execução de provetes (1) e plasticímetro (2)	117
Fig. 8.37 - Execução de um provete com auxílio do molde próprio	118
Fig. 8.38 - Homogeneização manual da amostra Biblio VV	119

CAPÍTULO 9

Fig. 9.1 - Curvas granulométricas das matérias-primas ensaiadas	120
Fig. 9.2 - Projeção das amostras estudadas de matérias-primas argilosas no Diagrama de Casagrande	123
Fig. 9.3 - Curvas de expansibilidade das três matérias-primas argilosas estudadas	125
Fig. 9.4 - Provetes das três matérias-primas após o ensaio de expansibilidade	126
Fig. 9.5 - Conjuntos de provetes no interior do forno elétrico	133
Fig. 9.6 - Medição dos valores de temperatura máxima	134
Fig. 9.7 - Provetes após o processo de cozedura	135
Fig. 9.8 - Provetes obtidos através do ensaio do método de Pfefferkorn	140
Fig. 9.9 - Curvas dilatométricas das matérias-primas argilosas estudadas	142
Fig. 9.10 - Preparação da matéria-prima para a conformação na roda de oleiro	144
Fig. 9.11 - Peças conformadas com o barro Biblio VV	145
Fig. 9.12 - Peças conformadas com o barro Lagoa	146
Fig. 9.13 - Peça conformada com o barro Borba VV	147
Fig. 9.14 - Conformação de uma garrafa de gargalo estreito	148
Fig. 9.15 - Peças conformadas com o barro Biblio VV após cozedura	149
Fig. 9.16 - Peças conformadas com o barro Lagoa após cozedura	150
Fig. 9.17 - Peças conformadas com o barro Borba VV após cozedura	150

CAPÍTULO 10

Fig. 10.1 - Homogeneização da pasta cerâmica no agitador mecânico vertical	152
Fig. 10.2 - Matérias-primas argilosas Borba VV (1) e Biblio VV (2), constituintes da pasta nº1	153
Fig. 10.3 - Matérias-primas argilosas Borba VV (1) e Lagoa (2), constituintes da pasta nº3	154
Fig. 10.4 - Provetes da pasta nº1, conformados com dimensões 100 x 10 mm	155
Fig. 10.5 - Provetes da pasta nº2, conformados com dimensões 100 x 10 mm	155
Fig. 10.6 - Provetes da pasta nº3, conformados com dimensões 100 x 10 mm	156
Fig. 10.7 - Projeção das pastas cerâmicas nº 1, nº 2 e nº 3 no Diagrama de Casagrande	157
Fig. 10.8 - Provetes antes do processo de cozedura	160

Fig. 10.9 - Curvas dilatométricas das pastas nº 1, nº 2 e nº 3, para o patamar de cozedura de 850 °C.....	163
Fig. 10.10 - Curvas dilatométricas das pastas nº 1, nº 2 e nº 3, para o patamar de cozedura de 950 °C.....	164
Fig. 10.11 - Nata de Mármore.....	166
Fig. 10.12 - Desidratação da pasta cerâmica nº 4 em placas de gesso.....	168
Fig. 10.13 - Projeção das pastas cerâmicas nº 4 e nº 5 no Diagrama de Casagrande.....	169
Fig. 10.14 - Curvas dilatométricas das pastas nº 4 e nº 5, no patamar de cozedura de 850 °C.....	175
Fig. 10.15 - Curvas dilatométricas das pastas nº 4 e nº 5, no patamar de cozedura de 950 °C.....	176
Fig. 10.16 - Curvas dilatométricas das pastas nº 4 e nº 5, no patamar de cozedura de 1050 °C.....	177

CAPÍTULO 11

Fig. 11.1 - Peças conformadas com a pasta nº 1.....	180
Fig. 11.2 - Peças conformadas com a pasta nº 2.....	180
Fig. 11.3 - Peças conformadas com a pasta nº 3.....	181
Fig. 11.4 - Peças conformadas com a pasta nº 4.....	182
Fig. 11.5 - Peças conformadas com a pasta nº 5.....	183
Fig. 11.6 – Conjunto de peças vidradas.....	185
Fig. 11.7 - Fissuramento nas peças cerâmicas.....	186
Fig. 11.8 - Rutura por choque térmico.....	187

CAPÍTULO 12

Fig. 12.1 - Projeção das pastas cerâmicas ensaiadas no Diagrama de Casagrande....	191
---	-----

CAPÍTULO 13

Fig. 13.1 - Maturação de matérias-primas argilosas.....	200
Fig. 13.2 - Diagrama de fluxos e legenda interpretativa da unidade industrial de produção de pasta cerâmica (<i>Adaptado de Ipiac-Nery, 2015</i>).....	201
Fig. 13.3 - Esquematização lateral (A) e frontal (B) do desagregador de navalhas 15/58 M (<i>Adaptado de Catálogo Ipiac-Nery, 2015</i>).....	202
Fig. 13.4 - Conjunto de cilindros equipados com navalhas cortantes.....	203
Fig. 13.5 - Esquematização lateral (A) e superior (B) do laminador de cilindros 26/32 AM (<i>Adaptado de Catálogo Ipiac-Nery, 2015</i>).....	204
Fig. 13.6 - Esquematização lateral (A) e frontal (B) do misturador 43/70 M do tipo filtro (<i>Adaptado de Catálogo Ipiac-Nery, 2015</i>).....	205
Fig. 13.7 - Dupla hélice com pás misturadoras.....	206
Fig. 13.8 - Esquematização lateral (A) e frontal (B) da extrusora monobloco 42/44 RNV (<i>Adaptado de Catálogo Ipiac-Nery, 2015</i>).....	207

Fig. 13.9 - Bomba de vácuo 39/60 AUE.....	208
Fig. 13.10 - Esquematização frontal (A) e lateral (B) da bomba de vácuo 39/60 AUE (Adaptado de Catálogo Ipiac-Nery, 2015).....	208

CAPÍTULO 14

Fig. 14.1 - Projeção das amostras estudadas no Diagrama de Casagrande.....	223
Fig. 14.2 - Diagrama de Winkler com frações granulométricas do tijolo maciço (1), tijolo furado (2), telha (3) e tijoleira (4) (Adaptado de Martins, 2007).....	231

ÍNDICE DE QUADROS

CAPÍTULO 2

Quadro nº 2.1 - Sistemática dos minerais argilosos (<i>Adaptado de Guggenheim et al, 2006</i>).....	7
---	---

CAPÍTULO 3

Quadro nº 3.1 - Valores de CTC e CTA das espécies de minerais argilosos mais comuns em argilas (<i>Martins, 2007</i>).....	24
--	----

CAPÍTULO 6

Quadro nº 6.1 - Reações físicas e químicas estabelecidas durante o aquecimento de um corpo cerâmico (<i>Adaptado de Gomes, 2002</i>).....	64
---	----

CAPÍTULO 8

Quadro nº 8.1 - Provetes elaborados para os ensaios de caracterização física.....	78
Quadro nº 8.2 - Classificação dimensional das partículas segundo Atterberg.....	81
Quadro nº 8.3 - Classificação dimensional das partículas segundo Wentworth.....	82
Quadro nº 8.4 - Classificação dos materiais geológicos com base no índice de plasticidade (<i>Faria, 2005</i>).....	87

CAPÍTULO 9

Quadro nº 9.1 - Parâmetros granulométricos das amostras de matéria-prima ensaiadas.....	121
Quadro nº 9.2 - Classes granulométricas das diferentes matérias-primas.....	122
Quadro nº 9.3 - Quadro síntese dos limites de consistência e dos índices de Plasticidade.....	122
Quadro nº 9.4 - Expansibilidade e teor de humidade das matérias-primas ensaiadas.....	124
Quadro nº 9.5 - Teores (em %) de matéria orgânica obtidos com o método de ataque com peróxido de hidrogénio.....	127
Quadro nº 9.6 - Percentagens de matéria orgânica obtidos com o ensaio controlo.....	128
Quadro nº 9.7 - Teores (em %) de matéria orgânica obtidos pela aplicação do método – queima a 250 °C.....	128
Quadro nº 9.8 - Difractometria por Difração de Raios X.....	129
Quadro nº 9.9 - Índices de plasticidade e teores de humidade de extrusão.....	131
Quadro nº 9.10 - Propriedades cerâmicas de conformação e após secagem.....	132
Quadro nº 9.11 - Propriedades cerâmicas das matérias-primas cozidas a 900 °C.....	136
Quadro nº 9.12 - Propriedades cerâmicas das matérias-primas cozidas a 1000 °C.....	137
Quadro nº 9.13 - Propriedades cerâmicas das matérias-primas cozidas a 1100 °C.....	138
Quadro nº 9.14 - Percentagens em peso de material retido no peneiro de 45 µm.....	139

Quadro nº 9.15 - Valores do índice de plasticidade segundo o método de Pfefferkorn.....	140
---	-----

CAPÍTULO 10

Quadro nº 10.1 - Valores do índice de plasticidade e teores da humidade de extrusão.....	156
Quadro nº 10.2 - Quadro síntese dos limites de consistência e dos índices de plasticidade.....	157
Quadro nº 10.3 - Propriedades cerâmicas de conformação e após secagem.....	158
Quadro nº 10.4 - Propriedades cerâmicas das pastas cerâmicas cozidas a 850 °C.....	161
Quadro nº 10.5 - Propriedades cerâmicas das pastas cerâmicas cozidas a 950 °C.....	162
Quadro nº 10.6 - Valores do índice de plasticidade e teores da humidade de extrusão.....	168
Quadro nº 10.7 - Quadro síntese dos limites de consistência e dos índices de plasticidade das pastas nº 4 e nº 5.....	169
Quadro nº 10.8 - Propriedades cerâmicas de conformação e após secagem das pastas nº 4 e nº 5.....	170
Quadro nº 10.9 - Propriedades cerâmicas das pastas cerâmicas nº 4 e nº 5 cozidas a 850 °C.....	172
Quadro nº 10.10 - Propriedades cerâmicas das pastas cerâmicas nº 4 e nº 5 cozidas a 950 °C.....	173
Quadro nº 10.11 - Propriedades cerâmicas das pastas cerâmicas nº 4 e nº 5 cozidas a 1050 °C.....	174

CAPÍTULO 12

Quadro nº 12.1 - Composições das pastas cerâmicas elaboradas no âmbito do presente estudo.....	189
Quadro nº 12.2 – Comparação dos Valores do índice de plasticidade e teores da humidade de extrusão.....	191
Quadro nº 12.3 - Propriedades cerâmicas dos provetes secos à temperatura de 110 °C.....	192
Quadro nº 12.4 - Propriedades cerâmicas das matérias-primas no primeiro patamar de cozedura.....	193
Quadro nº 12.5 - Propriedades cerâmicas das matérias-primas no segundo patamar de cozedura.....	194

CAPÍTULO 13

Quadro nº 13.1 – Equipamentos utilizados ao longo do ciclo de produção de pasta cerâmica.....	197
Quadro nº 13.2 - Investimentos de capital inicial.....	214
Quadro nº 13.3 - Valor dos custos fixos e variáveis anuais da unidade industrial.....	217
Quadro nº 13.4 - Análise do custo de produção anual.....	219

CAPÍTULO 14

Quadro nº 14.1 – Quadro-resumo dos resultados dos ensaios tecnológicos realizados nas instalações do Cencal.....	221
Quadro nº 14.2 - Valores de referência para o fabrico de tijolo, abobadilha e telha (Martins, 2007).....	231
Quadro nº 14.3 - Adequabilidade das matérias-primas para uso em cerâmica estrutural.....	232

1 - INTRODUÇÃO

No Alentejo, o distrito de Évora é um dos mais dinâmicos e diversificados em termos de atividade industrial aonde têm grande expressão, o turismo, a produção de vinho indústria extrativa e transformadora de mármore e o artesanato, em particular a olaria tradicional.

O subsector da indústria de rochas ornamentais, com especial incidência no Anticlinal de Estremoz, que representa um dos polos emblemáticos desta indústria, composto por unidades de extração e transformação, sendo gerador de quantidades dificilmente quantificáveis de resíduos, provenientes da destapação das pedreiras (“terra rossa”) e do desmonte, corte, serragem e polimento das rochas (escombros e “nata”). Estes resíduos são depois acumulados a céu aberto (escombreiras) com implicações ambientais de variada ordem (Fig. 1.1), de onde se destaca a destruição do coberto vegetal, as alterações na topografia do terreno, as perturbações significativas nas linhas de água superficiais e ainda os fortíssimos impactes visuais.



Fig. 1.1 - Pedreira de extração de mármore e escombreiras.

A “terra rossa” é um solo residual proveniente da alteração de rochas carbonatadas que constituem formações cársicas, como é o caso do Anticlinal de Estremoz, possuindo características mineralógicas, físicas e químicas que lhe conferem um elevado índice de plasticidade e boa trabalhabilidade, podendo assim constituir, boa matéria-prima para aplicação em cerâmica, mais precisamente na olaria tradicional.

A “nata” é um resíduo, resultante do corte e polimento de mármore, composto por carbonato de cálcio de elevada pureza e com uma granulometria extremamente fina, que a torna uma possível matéria-prima para a indústria cerâmica.

Além da indústria extrativa do mármore, também a olaria tradicional assume um papel de relevo na atividade económica da região, onde a Vila de Redondo e a Aldeia de S. Pedro do Corval são os seus polos mais emblemáticos. No entanto, ao longo dos anos tem-se notado uma gradual escassez de depósitos de argila de qualidade, levando os oleiros a adquirirem a matéria-prima na região de Leiria ou mesmo a importá-la de Espanha.

Se por um lado, os centros oleiros de Redondo e S. Pedro do Corval, por esgotamento dos barreiros de qualidade que alimentavam esta indústria tradicional, estão a adquirir as pastas cerâmicas na zona de Leiria e a importá-las de Espanha, por outro lado, os resíduos provenientes das pedreiras de mármore de Vila Viçosa, são acumulados, sem utilização imediata e com inevitáveis impactes ambientais.

Desta forma, a presente dissertação pretende continuar um estudo já iniciado no âmbito de outra tese de mestrado, onde o objetivo passa por desenvolver investigação, com vista à criação de pastas cerâmicas formuladas com os solos e resíduos provenientes das pedreiras, no sentido de, futuramente poder-se alimentar estes dois importantes centros oleiros.

Além da caracterização física e tecnológica dos resíduos atrás referidos, provenientes dos concelhos de Borba e Vila Viçosa, projetar-se-ão várias formulações de pastas cerâmicas com diferentes composições, com o objetivo de se encontrar as pastas mais adequadas para este tipo de indústria.

A investigação irá incluir a preparação das matérias-primas argilosas, a formulação das pastas cerâmicas, a cozedura e posterior caracterização tecnológica a realizar no laboratório do Cencal – Centro de Formação para a Indústria Cerâmica. Por último, esta investigação culminará com um ensaio industrial na olaria XT e avaliação das peças elaboradas.

Outro dos objetivos desta dissertação passa pelo dimensionamento de uma unidade fabril de produção de pasta cerâmica com vista ao fornecimento dos centros oleiros alentejanos, particularmente, os de Redondo e S. Pedro do Corval, podendo ainda ter fortes possibilidades de entrar no mercado espanhol, atendendo à proximidade do polo cerâmico de Barcarrota, situado na província de Badajoz.

2 – ALGUNS CONCEITOS SOBRE ARGILAS

Segundo *Gomes (1988)*, o termo argila é usado com diferentes sentidos que se adaptam de acordo com a formação técnica, profissional ou científica, daqueles que por ela se interessam (sejam eles, geólogos, agrónomos, mineralogistas, sedimentólogos, ceramistas, químicos, engenheiros civis ou geotécnicos, etc.), com a sua génese e propriedades e ainda com as suas aplicações que variam de acordo com algumas propriedades específicas das argilas.

Do ponto de vista do profissional que utiliza a argila citam-se alguns exemplos:

- um ceramista define argila como um material natural que adquire plasticidade quando é misturado com água em quantidades adequadas;
- um sedimentologista define argila como um termo granulométrica, cujas partículas possuem diâmetro esférico equivalente, inferior a 2 μm ;
- um petrologista vê a argila como uma rocha, ou seja, como um agregado de minerais;
- um mineralogista encara a argila como um mineral ou mistura de minerais, onde predominam os minerais argilosos, maioritariamente silicatos hidratados;
- um pedólogo trata a argila como a fração mais ativa de um solo, com partículas de dimensões coloidais (inferiores a 1 μm) e onde ocorre a fixação reversível de cations e anions;
- para um leigo e sociedade em geral, a argila, ou barro é um material natural que, quando húmido a “bota se enterra, agarra e escorrega”.

De uma forma geral, a argila é considerada um material plástico, constituído por partículas de grão muito fino, que podem ser minerais não argilosos, tal como o quartzo, o feldspato, as micas, a calcite, a dolomite, a hematite, etc., e minerais argilosos, como os filossilicatos hidratados, que são compostos essencialmente por silício, alumínio, magnésio, ferro, cálcio, potássio, oxigénio e hidrogénio. Este tipo de material caracteriza-se ainda pela sua elevada dureza quando sujeito a uma simples secagem, sendo esta mesma dureza significativamente muito mais alta após ser queimado a temperaturas muito elevadas (*Cunha, 2010*).

Do ponto de vista da aplicação, a argila pode ser utilizada em inúmeras indústrias, tais como: cerâmica; papel, tinta, cimento, na prospeção como lamas que se utilizam em perfurações para a pesquisa e exploração de água, petróleo ou gás natural, etc.. No entanto, antes de ser utilizada em qualquer tipo de indústria, é submetida a tratamentos de beneficiação e refinação que variam de acordo com a sua proveniência, características e destino final (*Cunha, 2010*).

2.1 – SISTEMÁTICA DOS MINERAIS ARGILOSOS

Os minerais argilosos, são os componentes fundamentais das argilas que para além destes, como referido anteriormente, têm na sua constituição uma componente de minerais não argilosos e ainda uma pequena fração de compostos orgânicos, inorgânicos cristalinos e amorfos. São os minerais argilosos, que conferem a plasticidade à argila, ou a uma determinada rocha com uma componente significativa de argila, depois de sujeita a humidificação adequada permitindo assim conformação, sendo também responsáveis pela sua elevada dureza para a secagem e cozedura (*Martins, 2007*).

Como referido anteriormente, os minerais argilosos pertencem ao grupo dos filossilicatos, essencialmente aluminossilicatos hidratados, formados por um conjunto de elementos químicos no seu estado iónico, e que se assemelham a pequenas esferas que se dispõem em modelos estruturais tridimensionais (*Gomes, 2002*). Todos os elementos químicos referidos sob a forma iónica representam as unidades mais elementares, que constituem os minerais argilosos, sendo estes os responsáveis pelas substituições atómicas isomórficas, característica determinante para a grande diversidade de espécies de minerais argilosos que existem em cada grupo ou modelo estrutural (*Martins, 2007*).

Segundo *Martins (2007)*, esta característica típica dos minerais argilosos de poderem apresentar, em grau elevado, substituição atómica isomórfica, leva a que os minerais argilosos possuam na sua generalidade cargas elétricas negativas, devido em grande parte a aspetos relacionados com os ambientes de formação, e que são normalmente de grande instabilidade, estando sempre associados às interfaces da crosta terrestre (Terra, Água, Atmosfera e Biosfera).

Os átomos das espécies químicas referidas na Fig. 2.1, sob a forma de iões são os componentes básicos estruturais dos minerais argilosos, seguindo-se-lhes em termos de complexidade os planos atómicos ou estruturais, as folhas estruturais, as camadas estruturais e a unidade estrutural.

Ânions		Cátions Intercalares		Cátions Octaédricos		Cátions Tetraédricos			
Íon	r(pm)	Íon	r(pm)	Íon	r(pm)	Íon	r(pm)		
O^{2-}	140	Li^{+}	68	Cu^{2+}	72	Al^{3+}	51	Si^{4+}	40
OH^{-}	141	Na^{+}	97	Mg^{2+}	66	Cr^{3+}	69	Ti^{4+}	68
F^{-}	136	K^{+}	142	Ca^{2+}	99	Fe^{3+}	64		
Cl^{-}	181	NH_4^{+}	143	Fe^{2+}	74				
Dipolo de água	145			Zn^{2+}	74				
				Ni^{2+}	69				
				Mn^{2+}	80				

Fig. 2.1 - Catiões e aniões formadores dos minerais argilosos e respectivos raios iônicos (Adaptado de Martins, 2007).

Os planos atômicos são formados pelos átomos que se dispõem de forma complanar na estrutura do mineral argiloso. As folhas estruturais são agrupamentos de átomos pertencentes a vários planos atômicos, que constituem configurações poliédricas que podem ser tetraedros ou octaedros, e que quando associadas, constituem folhas tetraédricas ou octaédricas.

Os tetraedros, nomeadamente o tetraedro SiO_4^{-4} (Fig. 2.2 – 1), possui um catião de silício (Si^{4+}), com coordenação tetraédrica que ocupa a posição central, podendo por vezes ser substituído por Al ou Fe. Os vértices desta estrutura são ocupados por iões de oxigénio (O^{2-}).

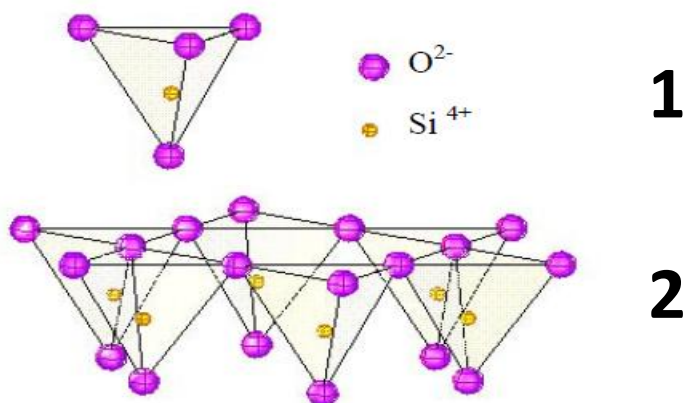


Fig. 2.2 – Representação esquemática de um tetraedro (1) e de uma folha estrutural tetraédrica (2) (*Adaptado de Martins, 2007*).

Estas estruturas são a unidade estrutural básica que é comum a todos os silicatos e que se unem entre si lateralmente, formando “folhas” estruturais tetraédricas (Fig. – 2), através de oxigénios posicionados nos vértices basais, constituindo arranjos hexagonais a duas dimensões, nos quais se verifica a relação $\text{Si}:\text{O} = 2:5$, dando origem ao radical Si_2O_5 , comum a todos os filossilicatos. O quarto oxigénio, situado num vértice apical, será partilhado pela folha octaédrica (Martins, 2007).

Segundo Martins (2007), os octaedros (Fig. – 1), possuem na posição central, como catiões de coordenação Al^{3+} , Mg^{2+} , Fe^{3+} , Fe^{2+} , sendo os seus vértices ocupados por oxigénios e/ou grupos hidroxilos. Quando a posição central é ocupada pelo catião Al^{3+} , denominam-se “Octaedros de Gibbsite”, já quando a mesma posição é ocupada pelo catião Mg^{2+} , passam-se a chamar “Octaedros de Brucite”. Todos os octaedros, acabam por se unir entre si lateralmente, constituindo assim as “folhas” estruturais octaédricas (Fig. – 2).

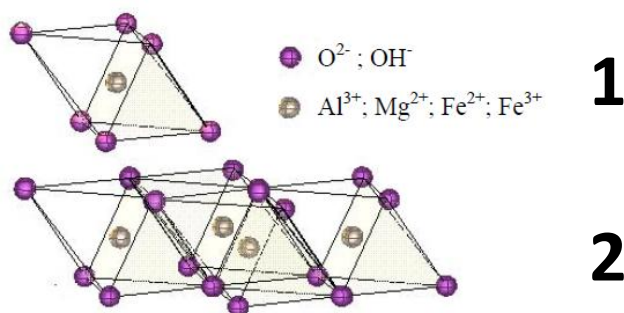


Fig. 2.3 - Representação esquemática de um octaedro (1) e de uma folha estrutural octaédrica (2) (Adaptado de Martins, 2007).

Quando se aumenta o nível de complexidade estrutural, passamos das “folhas” estruturais, para as “camadas” estruturais. Estas são constituídas por grupos de “folhas” estruturais, paralelas entre si, dispostas segundo os planos estruturais do tipo (001). A combinação das “folhas” estruturais de forma repetitiva e periódica, juntamente com o espaçamento entre as camadas, forma a unidade estrutural que corresponde à fórmula química unitária. A combinação de várias unidades estruturais forma uma placa de mineral argiloso, que acaba por ser visível com o auxílio de um microscópio.

De acordo com Martins (2007), o número e a natureza das folhas estruturais, tetraédricas e octaédricas, existentes nas “camadas” estruturais e que, por sua vez compõem a unidade estrutural, determinam os três tipos estruturais básicos dos minerais argilosos, 1:1 ou T:O; 2:1 ou T:O:T; 2:1:1 ou T:O:T:O, definindo-se assim a sistemática dos minerais argilosos, atualmente aceite pela comunidade científica (Quadro nº 2.1).

Quadro nº 2.1 - Sistemática dos minerais argilosos (*Guggenheim et al, 2006*).

Minerais Argilosos com Estruturas Lamelares			
Tipo Estrutura I	Grupo Estrutural	Sub-Grupo Estrutural	Espécies minerais mais comuns
1:1	Caulino-Serpentina	Trioctaédrico	Lizardite
		Diocctaédrico	Caulinite
2:1	Talco-Pirofilite	Trioctaédrico	Talco
		Diocctaédrico	Pirofilite
	Esmectite	Trioctaédrico	Saponite, Stevensite, Hectorite
		Diocctaédrico	Beidelite, Montmorilonite
	Vermiculite	Trioctaédrico	Vermiculite Trioctaédrica
		Diocctaédrico	Vermiculite Diocctaédrica
	Mica Flexível	Trioctaédrico	Lepidolite,Flogopite, Biotite
		Diocctaédrico	Moscovite, Paragonite
	Mica intercamadas	Trioctaédrico	Illite, Glauconite
		Diocctaédrico	Wonesite
	Mica Quebradiça	Trioctaédrico	Clintonite
		Diocctaédrico	Margarite
	Clorite	Trioctaédrico	Clinocloro, Chamosite
		Diocctaédrico	Donbassite, Sudoíte
Minerais Argilosos com Estruturas Não Lamelares			
1:1	Serpentina	Tetraédrico	Antigorite
		Trioctaédrico	Crisóstilo
	Caulinite	Diocctaédrico	Haloisite
2:1	Talco	Tetraédrico	Minesotaite
	Mica	Tetraédrico	Ganopilite
	Clorite	Tetraédrico	Gonierite
Minerais Argilosos com Estruturas Interestratificadas			
2:1	Pirofilite-Esmectite	Diocctaédrico-Diocctaédrico	Brinrobertsite
	Talco-Esmectite	Trioctaédrico-Trioctaédrico	Aliettite
	Talco-Clorite	Trioctaédrico-Trioctaédrico	Kulkeite
	Mica-Esmectite	Diocctaédrico-Diocctaédrico	Rectorite
	Biotite-Vermiculite	Trioctaédrico-Trioctaédrico	Hidrobiotite
	Clorite-Esmectite	Trioctaédrico-Trioctaédrico	Corrensite de baixa carga
	Clorite-Vermiculite	Trioctaédrico-Trioctaédrico	Corrensite de alta carga
	Clorite-Esmectite	Usualmente Diocctaédrico	Tosudite
1:1 ou 2:1	Serpentina-Clorite	Trioctaédrico	Dozeite

Através da observação da figura anterior, pode-se verificar a existência de uma divisão dos minerais argilosos, em três classes gerais:

- Minerais argilosos com estruturas em lamelares;
- Minerais argilosos com estruturas não lamelares;
- Minerais argilosos com estruturas interestratificadas;

Quando cristais de minerais argilosos exibem diferentes tipos de camadas estruturais, correspondentes a minerais argilosos, está-se na presença de uma estrutura híbrida, que se denomina interestratificada. Estes minerais resultam de estados metastáveis ou de transição, quando se dá a transformação de um mineral noutro, por exemplo através de diagénese.

Estes minerais interestratificados podem apresentar empilhamentos regulares quando as camadas estruturais distintas se repetem com periodicidade, com destaque para as estruturas mistas Illite-Vermiculite, Caulinite-Esmectite, Vermiculite-Montmorillonite, entre outros.

Segundo *Martins (2007)*, a maior parte dos minerais argilosos, possui estrutura lamelar, sendo também subdivididos de acordo com as suas características estruturais, tais como:

- A distância entre camadas estruturais adjacentes, ou espaçamento basal, que inclui o espaço existente entre as camadas estruturais quando este é ocupado por certos catiões e/ou moléculas de água, refletindo-se essa variação nos valores característicos das unidades estruturais. Assim, os minerais argilosos com unidade estrutural do tipo 1:1 apresentam um espaçamento basal ligeiramente superior a 7 *Angstrom* ($\text{\AA}$); os minerais argilosos com unidade estrutural do tipo 2:1 apresentam espaçamento basal próximo de 10 $\text{\AA}$; por último, os minerais argilosos com unidade estrutural do tipo 2:1:1, apresentam espaçamento basal ligeiramente superior a 14 $\text{\AA}$;
- O grau de ocupação atômica na camada octaédrica, uma vez que os subgrupos dos minerais argilosos se baseiam na população de catiões existentes na folha octaédrica pertencente à unidade estrutural. Assim, se 2 em 3 dos octaedros da célula unitária tiverem como catião central, um catião trivalente (como o Al^{3+}), o mineral diz-se dioctaédrico; se os 3 octaedros da célula unitária estiverem todos

ocupados por cátions bivalentes (como o Mg^{2+}), então o mineral diz-se trioctaédrico;

- A possibilidade dos espaços entre camadas estruturais se poderem expandir por introdução de moléculas polares, como as da água, do glicerol ou etilenoglicol, ou serem ocupados por cátions alcalinos ou alcalino-terrosos; assim sendo, as ligações químicas que prevalecem nas regiões intercalares são de diferentes naturezas. Em minerais como o Talco e Pirofilite, prevalecem ligações do tipo O-O, enquanto na Caulinite, Antigorite e Clorite as ligações são do tipo hidrogénio (OH-O). Nas Esmectites e Vermiculites, verifica-se uma interação entre o cátion trocável – molécula de H_2O -O enquanto nas Ilites prevalece a interação do cátion intercalar K^+ ou Na^+ ;
- A carga elétrica existente por unidade estrutural;
- O tipo de arranjo ao longo dos eixos cristalográficos.

Um elemento que representa um papel preponderante nas propriedades das argilas é a água, podendo estar presentes nos minerais argilosos que, são aluminossilicatos hidratados, sob três formas (*Gomes, 2002*):

1. Água higroscópica, ou humidade, ou água de adsorção, quando ocorre na forma livre à superfície das partículas, estando a elas ligadas por efeito de tensão superficial, não fazendo assim parte da estrutura. Evolui para valores baixos de temperatura, inferiores a $100\text{ }^\circ\text{C}$, quando o mineral é aquecido à pressão normal;
2. Água zeolítica, ou de absorção, ou de hidratação, sendo moléculas de H_2O , que se encontram em solução com certos cátions localizados nos espaços intercalares ou entre camadas estruturais, sendo responsáveis pela expansão de certos minerais argilosos como a esmectite. Esta água é liberta por aquecimento a temperaturas entre $100\text{ }^\circ\text{C}$ e $200\text{ }^\circ\text{C}$, quando o mineral é aquecido à pressão normal;
3. Água hidroxilica, ou estrutural, que coordenada cátions da folha octaédrica. É libertada a temperaturas altas, entre $400\text{ }^\circ\text{C}$ e $800\text{ }^\circ\text{C}$, dependentes do mineral, quando o mesmo é aquecido à pressão normal. Quando a evolução deste tipo de água é completa, a estrutura cristalina do mineral colapsa e amorfisa.

2.2 – MINERAIS ARGILOSOS COM ESTRUTURAS LAMELARES

2.2.1 – GRUPO DO CAULINO - SERPENTINA

Neste grupo de minerais argilosos, os tetraedros de sílica e a folha tetraédrica de sílica típicos da Caulinite, associam-se em arranjos hexagonais (Fig. 2.4). Neste caso, também alguns octaedros individuais se podem associar, formando uma folha octaédrica, onde os iões Al, Fe e Mg, podem funcionar como iões coordenados.

Relativamente à folha octaédrica, se apenas dois de dos três iões coordenados possíveis, estiverem ocupados, os minerais argilosos, em que tal situação se verifique pertencem ao subgrupo dioctaédrico do Caulino e a sua fórmula química é representada por $\text{Si}_4\text{Al}_2\text{O}_{10}(\text{OH})_2$. Por outro lado, se na folha octaédrica estiverem ocupados todos os lugares de coordenação possíveis, então os minerais argilosos, em que esta característica exista, pertencem ao subgrupo da Serpentina, com a fórmula química representada por $\text{Si}_4\text{Mg}_6\text{O}_{10}(\text{OH})_8$ (Martins, 2007).

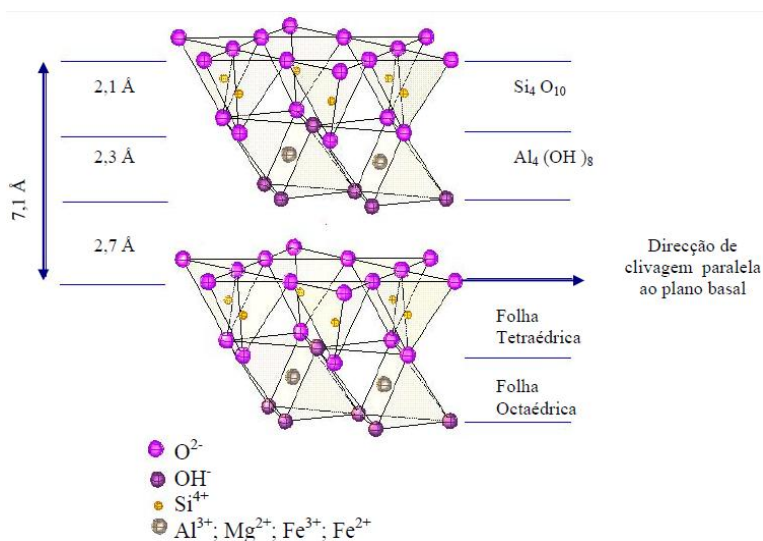


Fig. 2.4 - Representação esquemática da estrutura cristalina da Caulinite (Adaptado de Martins, 2007).

A Caulinite é o mineral argiloso essencial do Caulino, que por sua vez, é uma matéria-prima muito importante para a indústria cerâmica de pasta branca (porcelana, faiança, porcelanato). Apresenta uma composição química $\text{Si}_2\text{Al}_2\text{O}_5(\text{OH})_4$, que em cerâmica se pode exprimir pela fórmula racional $2\text{Al}_2\text{O}_3.4\text{SiO}_2.4\text{H}_2\text{O}$. Percentualmente, a sua composição química apresenta cerca de 46,54 % de SiO_2 , 39,59 % de Al_2O_3 , e 13,96 % de H_2O (Martins, 2007).

Os cristais de Caulinite apresentam um diâmetro médio entre 0,5 e 1 μm , podendo ocorrer em cristais constituídos por lamelas individuais, ou em empilhamentos de lamelas, vulgarmente denominadas por “livros”. Segundo *Gomes (2002)*, um cristal de Caulinite é constituído, em média, por 40 a 50 camadas estruturais, estando estes valores sempre dependentes do grau de ordem-desordem estrutural da Caulinite.

As variedades estruturalmente mais desordenadas da Caulinite são as mais abundantes, sendo as substituições isomórficas mais marcantes entre Al^{3+} por Fe^{2+} , Fe^{3+} ou Mg^{2+} , apresentando ainda cristais com dimensões médias menores, maior superfície específica, maior capacidade de troca catiónica, maior plasticidade e maior viscosidade que as suas homólogas estruturalmente menos desordenadas. Neste grupo, a ligação entre camadas estruturais adjacentes é assegurada por ligações ou pontes de hidrogénio, uma vez que existe um plano de iões hidroxilos (OH^-) numa das faces da camada e um plano de iões oxigénio (O^{2-}) na outra camada, formando pares $\text{OH}-\text{O}$. Já no subgrupo da Serpentina, as posições octaédricas da célula unitária estão preenchidas por magnésio, formando por isso um subgrupo estrutural trioctaédrico, e onde a Antigorite e o Crisótilo são as espécies mais frequentes.

2.2.2 – GRUPO DA ILITE OU DAS MICAS ARGILOSAS

Segundo *Martins (2007)*, a Ilite é o mineral argiloso mais abundante na crosta terrestre, continental e marinha, sendo dos minerais argilosos o mais frequente nas argilas. Apresenta algumas semelhanças químicas e estruturais com a Moscovite, contendo no entanto menos potássio e mais água.

Nestes minerais argilosos, cada camada estrutural, do tipo 2:1, é composta por uma folha octaédrica que se encontra entre duas folhas tetraédricas de sílica. Nos centros dos octaedros, o ião coordenado pode ser Al^{3+} , Fe^{3+} , Fe^{2+} ou Mg^{2+} , e pode levar à formação de composições químicas que se aproximam das micas trioctaédricas, como a Biotite (Fe^{2+} e Mg^{2+}) e a Flogopite (Mg^{2+}). Nas folhas tetraédricas, ocorrem substituições isomórficas, onde alguma quantidade de Si^{4+} , é substituída por Al^{3+} , conduzindo a um desequilíbrio de cargas elétricas, compensado pela captura de iões K^+ e/ou Na^+ no espaço entre camadas adjacentes, permitindo desta forma a ligação electrostática entre elas.

A composição química da unidade estrutural, ou célula unitária da Ilite pode ser representada por $K_x(Al,Mg)_4(Si, Al)_8O_{20}(OH)_4$, com $x < 1$. O espaçamento entre camadas estruturais consecutivas corresponde a 10 Å (Fig. 2.5), e a observação ao microscópio eletrónico dos cristais de Ilite revela lamelas de forma alongada e bordos geralmente irregulares, com diâmetros entre 0,1 e 2 µm.

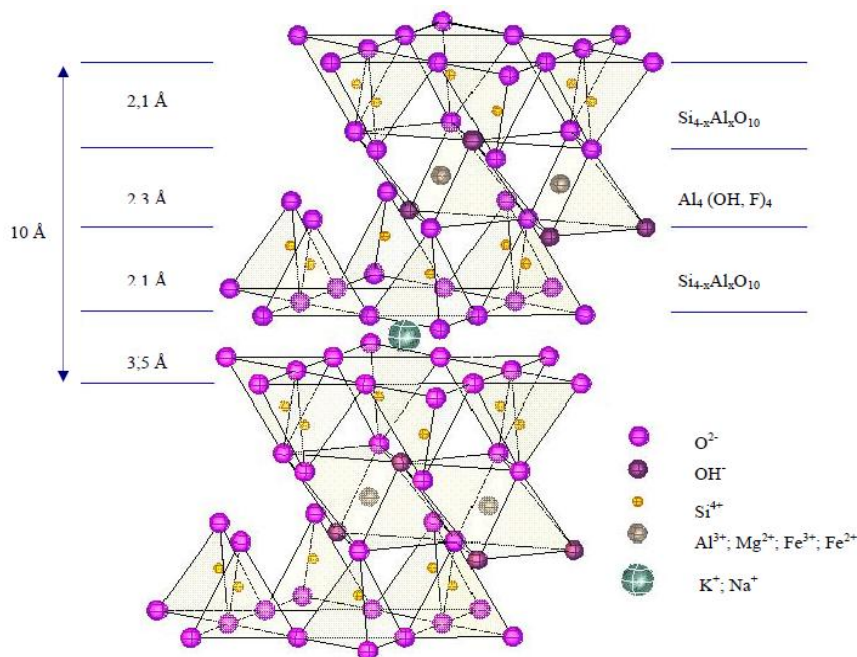


Fig. 2.5 – Representação esquemática da unidade estrutural da Ilite (*Adaptado de Martins, 2007*).

Segundo *Martins (2007)*, a Ilite ao ser aquecida, quando atinge temperaturas entre 100 °C e 150 °C, provoca uma reação endotérmica, que corresponde à perda de humidade, ou seja, água fixada à superfície das partículas. Entre 500 °C e 600 °C, dá-se o primeiro estágio de desidroxilação, por aquecimento dos grupos OH pertencentes à folha octaédrica, seguindo-se o segundo estágio de desidroxilação a cerca de 900 °C. Estas diferenças ocorrem devido à existência de diferentes valores de energia de ligação, entre os grupos OH e o Fe, Mg ou Al. Em temperaturas superiores a 900 °C, dá-se a ocorrência de uma reação exotérmica, que corresponde à formação de espécies minerais como a Espinela e o Corindo.

2.2.3 – GRUPO DA MONTMORILONITE – SAPONITE (ESMECTITES)

Este grupo também conhecido como grupo das Esmectites, tem o seu nome associado aos minerais que possuem uma estrutura esmética ou lamelar e que reflete uma ordem estrutural a duas dimensões. De uma forma geral, as suas partículas apresentam-se sob a forma de finas lamelas rígidas de contornos irregulares, com diâmetros médios de aproximadamente 0,4 μm , e subdividem-se em dois subgrupos (Martins, 2007):

- Grupo dioctaédrico, que inclui a Montmorilonite (rica em Al e Mg), a Beidelite (rica em Al) e a Nontronite (rica em Fe);
- Grupo trioctaédrico, onde se pode encontrar a Saponite (rica em Mg e Al), a Hectorite (rica em Mg e Li) e a Stevensite (rica em Mg).

De entre todas as Esmectites, a Montmorilonite é o mineral mais comum, possuindo uma estrutura do tipo 2:1 como a Ilite, onde duas folhas tetraédricas envolvem uma folha octaédrica (Fig. 2.6). A diferença principal entre estes dois minerais argilosos reside no facto do espaço entre duas camadas estruturais sobrepostas existirem catiões de Ca, Mg ou Na, que se encontram rodeados de moléculas de água orientadas, que fazem variar a distância basal entre 12.5 Å (se o catião for o Na^+) e 15.5 Å (se o catião for o Mg^{2+}).

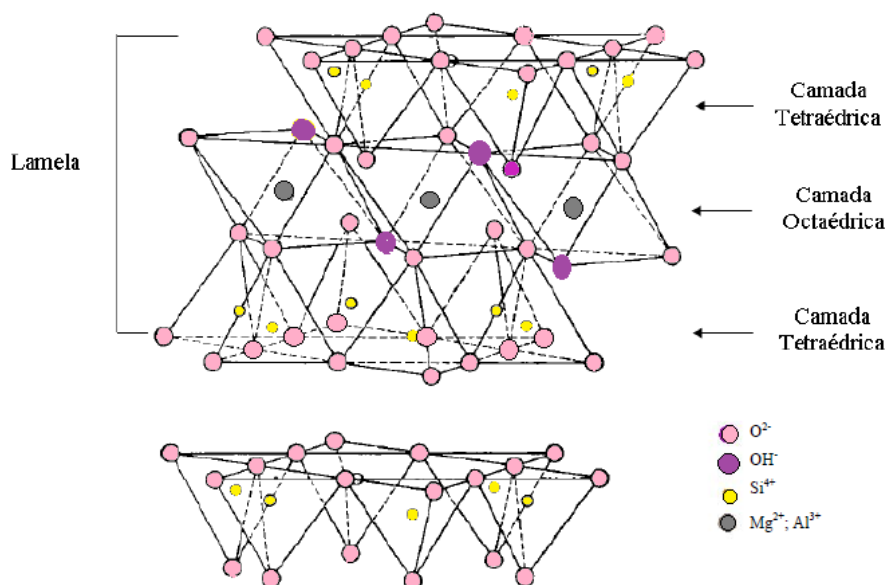


Fig. 2.6 - Representação esquemática das unidades estruturais da Montmorilonite (Neuman et al, 2002).

Esta característica confere a estes minerais a capacidade de solidificarem na presença de um sistema Esmectite-água, voltando novamente a fluir após agitação. Segundo *Martins (2007)*, esta capacidade, a que se dá o nome de tixotropia, é particularmente interessante na aplicação de argilas como lamas de sondagens.

Outra das características comportamentais dos minerais deste grupo é a expansibilidade. Esta característica resulta da ação de substâncias orgânicas (como o etilenoglicol e o glicerol), que quando introduzidas nos espaços entre camadas estruturais, produzem um aumento do espaçamento basal (001). É com a introdução destas substâncias orgânicas, que se consegue frequentemente determinar as quantidades relativas destes minerais argilosos através da difração de raios X, efetuada sob a fração argilosa ($< 2 \mu\text{m}$). Desta forma, podem-se distinguir os minerais argilosos expansivos (e dentro destes, diferenciar, por exemplo a Esmectite da Vermiculite) dos não expansivos.

Estruturalmente, a folha octaédrica possui como catiões coordenados, o Al^{3+} , Mg^{2+} e ainda o Fe^{2+} e o Li^+ . Na folha tetraédrica, o silício ocupa o centro das respetivas unidades estruturais, podendo ocorrer substituições atómicas isomórficas, com a substituição do Si^{4+} por Al^{3+} . No caso particular das Esmectites, a ocorrência destas substituições, dá-se com maior incidência nas folhas octaédricas do que nas folhas tetraédricas, verificando-se o oposto nos minerais do grupo das Illites.

Esta elevada capacidade de troca catiónica (CTC), também difere de espécie mineral, sendo superior em espécies minerais sódicas (com valores de CTC entre 90 e 120 meq/100g), e inferior em espécies minerais mais cálcicas (com valores de CTC entre 70 e 80 meq/100g) (*Martins, 2007*). A composição química da estrutura unitária da Montmorilonite varia consoante as substituições possíveis entre o silício e o alumínio nas folhas tetraédricas, ou entre o alumínio, o magnésio, o cálcio, etc. nas folhas octaédricas. De uma forma geral pode então representar-se através de $\text{Al}_4\text{Si}_8\text{O}_{20}(\text{OH})_4\text{nH}_2\text{O}$.

Por último, o comportamento térmico dos minerais do grupo das Esmectites, revela que para temperaturas inferiores a 120°C dá-se a libertação de águas higroscópicas ou de adsorção e que entre 120°C e 250°C , se desencadeia uma reação endotérmica que resulta na libertação de água zeolítica, que estava em contacto com os

catiões intercalares. Finalmente, a 700 °C, ocorre a libertação da água estrutural (desidroxilação), evoluindo grande parte da água de constituição, seguindo-se um segundo patamar entre 850 °C e 900 °C, que corresponde à libertação dos últimos hidroxilos, verificando-se assim o colapso de toda a estrutura (Martins, 2007).

2.2.4 – GRUPO DA CLORITE

Os minerais argilosos deste grupo podem resultar da alteração física de rochas ígneas ou metamórficas ou da transformação de silicatos ferromagnesianos (Biotite), ou ainda de outros minerais argilosos como as Esmectites.

As Clorites são minerais micáceos que apresentam uma estrutura trioctaédrica, do tipo 2:1:1, distinguindo-se das micas trioctaédricas, por conterem entre cada camada 2:1, uma folha octaédrica, do tipo Brucite, onde o catião coordenado é de uma forma geral do tipo Mg^{2+} , podendo no entanto ser permutável pelo Fe^{2+} , Al^{3+} , e muito raramente pelo Li^{+} . A ligação entre camadas estruturais adjacentes é garantida pela presença de catiões hidratados Mg, Al, Fe e Li, sendo o espaçamento entre camadas de cerca de 14,3 Å (Martins, 2007). A composição química da unidade estrutural de uma Clorite, mais vulgar, pode ser representada por $(Mg, Fe, Al)_{12}(Si, Al)_8O_{20}(OH)_{16}$.

Este grupo de minerais argilosos, subdivide-se em dois subgrupos, consoante as suas folhas estruturais:

1. Clorites trioctaédricas, que são as mais frequentes, como o Clinocloro, rico em Mg, e a Chamosite, rica em Fe. Em alguns casos como a Sudoite, a camada micácea é do tipo Moscovite;
2. Clorites dioctaédricas, como a Cookeite, possuem um carácter misto, com combinações de camadas estruturais dioctaédricas e intercamadas estruturais de hidróxidos trioctaédricos.

As clorites argilosas, quando sujeitas a aquecimento entre 100 °C e 150 °C, revelam perda de água higroscópica. Já entre 450 °C e 500 °C, dá-se a desidrilação da camada de Brucite intercalar nas Clorites férricas, acontecendo o mesmo nas clorites magnesianas, entre 600 °C e 650 °C. Por último, entre 800 °C e 900 °C, dá-se a destruição das camadas do tipo 2:1, que antecede uma reação exotérmica desencadeada por uma recristalização, podendo por vezes formar Olivina e Espinela (Carvalho, 2005).

2.2.5 – GRUPO DA VERMICULITE

Este grupo de minerais argilosos recebe esta denominação porque a sua espécie macroscópica, quando aquecida, resulta em crepitação e exfoliação, fazendo com que os seus cristais apresentem a forma de pequenos vermes.

As Vermiculites subdividem-se em subgrupos estruturais dioctaédricos (Vermiculites mais aluminosas) e trioctaédrico (Vermiculites mais magnesianas), onde de uma forma geral, todas apresentam camadas estruturais típicas das micas trioctaédricas, separadas por moléculas de água estruturadas em planos paralelos solvatando alguns catiões trocáveis como o Mg^{2+} . Neste grupo, o grau de solvatação do catião de troca possui um papel preponderante no espaçamento entre camadas estruturais sucessivas, podendo variar entre 10 e 15 Å (Martins, 2007).

Nestes minerais argilosos, a ligação entre camadas é mais fraca que nas micas e que no grupo das Clorites e mais forte que no grupo das Esmectites, podendo a composição química da sua unidade estrutural, ser representada por $E^+ (Mg^{2+}, Fe^{2+}, Fe^{3+}, Al^{3+})_6(Si, Al)_8O_{20}(OH).nH_2O$, onde E^+ representa o catião de troca (normalmente Mg).

Segundo Carvalho (2005), as Vermiculites, quando sujeitas a aquecimento produzem reações endotérmicas, entre 150 °C e 250 °C, e algumas exotérmicas entre 750 °C e 850 °C, a última das quais resultante da formação da Enstantite. No entanto, após a libertação da água estrutural ou coordenada que ocorre por volta de 500 °C, a Vermiculite pode reidratar se estiver em condições favoráveis de humidade. A perda brusca de água, produz a exfoliação da Vermiculite, que lhe confere propriedades ótimas para a sua aplicação como material isolador (Martins, 2007).

2.2.6 – GRUPO DA PIROFILITE - TALCO

Os minerais argilosos que constituem este grupo são pouco frequentes em argilas, resultando fundamentalmente de processos hidrotermais e epimetamórficos, podendo o Talco resultar, de processos pedo-genéticos em solos e outros perfis de meteorização.

Ao contrário de outros minerais argilosos, os minerais do grupo da Pirofilite são caracterizados por uma grande estabilidade estrutural e química, uma vez que as suas cargas unitárias possuem uma carga elétrica nula e assim não se verificam substituições atômicas isomórficas. O arranjo das suas camadas estruturais são do tipo 2:1 ou T:O:T, onde uma folha octaédrica se encontra entre duas folhas tetraédricas (Fig. 2.7).

Segundo *Martins (2007)*, este grupo de minerais argilosos subdivide-se em dois subgrupos:

1. Subgrupo dioctaédrico, que inclui a Pirofilite, cuja fórmula química se representa por $\text{Al}_4(\text{OH})_4\text{Si}_8\text{O}_{10}$;
2. Subgrupo trioctaédrico, que inclui o Talco, e cuja fórmula química se representa por $\text{Mg}_4(\text{OH})_4\text{Si}_8\text{O}_{20}$;

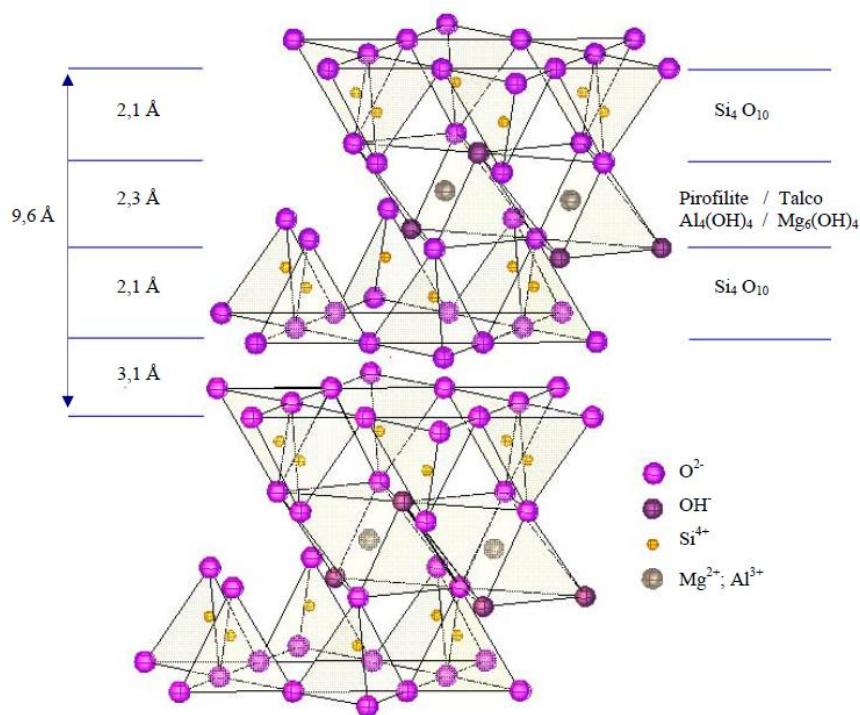


Fig. 2.7 - Representação esquemática das unidades estruturais da Pirofilite e do Talco (*Adaptado de Martins, 2007*).

2.3 – MINERAIS ARGILOSOS COM ESTRUTURAS NÃO LAMELARES

2.3.1 – GRUPO DA PALYGORSKITE – SEPIOLITE

A Palygorskite e a Sepiolite são dois minerais argilosos (aluminossilicatados hidratados) constituídos por folhas de pequena largura, conferindo-lhes um aspeto fibroso, que possuem modelos estruturais bastante diferentes dos minerais com estruturas em camadas.

As unidades estruturais destes dois minerais argilosos evidenciam folhas estruturais tetraédricas contínuas em duas dimensões e folhas octaédricas descontínuas (Fig. 2.8). As estruturas são constituídas por fitas do tipo 2:1 ou T:O:T, onde duas fitas se unem entre si, através de tetraedros de SiO_4 , partilhando oxigénios comuns, formando assim segmentos com o vértice apical, tanto para cima, como para baixo (Martins 2007).

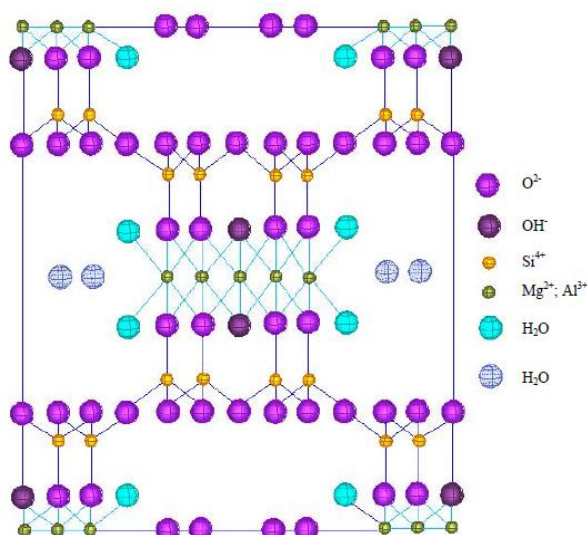


Fig. 2.8 - Modelo estrutural da Palygorskite e da Sepiolite (Martins, 2007).

As equidistâncias basais são de $10,4 \text{ \AA}$ na Palygorskite e $12,1 \text{ \AA}$ na Sepiolite, evidenciando ambos os minerais, uma boa exfoliação segundo os planos estruturais (001). Entre cada segmento contínuo de tetraedros, situam-se duas cadeias octaédricas incompletas de Gibbsite e Brucite, com dimensões $3,7 \times 10,6 \text{ \AA}$ na Sepiolite e $3,7 \times 6,4 \text{ \AA}$ na Palygorskite, sendo ambos preenchidos por moléculas de água do tipo zeolítico. Quando por alguma razão, esta água é removida, estes minerais argilosos adquirem uma capacidade absorvente, tornando-se assim interessantes em algumas aplicações industriais, onde seja necessário a utilização de materiais absorventes.

Segundo *Martins (2007)*, existem atualmente duas propostas que descrevem a fórmula química da unidade estrutural de Palygorskite:

1. A proposta de W.F. Bradley, que em 1940, descrevia a fórmula química da Palygorskite como sendo $\text{Si}_8\text{O}_{20}\text{Mg}_5(\text{OH}_2)(\text{OH}_2)_4.4\text{H}_2\text{O}$;
2. A proposta de B. Velde, que em 1992, defendia a fórmula química da Palygorskite como sendo $(^{2+},\text{R}^{3+})_8(\text{Si}^{4+},\text{R}^{3+})_5\text{O}_{20}(\text{OH})_2(\text{OH}_2)_4\text{M}^+(\text{H}_2\text{O})_4$, onde R^{2+} representa o Mg^{2+} e o Fe^{2+} , R^{3+} representa os Al^{3+} e o Fe^{3+} e o Fe^{3+} , e M^+ representa um cátion monovalente;

A diferença entre as propostas reside no fato de, segundo *Velde (1992)*, existirem substituições atômicas isomórficas que ocorrem no edifício estrutural, onde parte do Mg das folhas octaédricas e parte do Si das folhas tetraédricas podem ser substituídos por Al e Fe. A fórmula proposta por *Velde (1992)* contempla ainda o fato de existirem três tipos de águas diferentes no mineral:

1. Água de constituição ou estrutural $(\text{OH})_2$, representada pelos hidroxilos que se encontram fortemente ligados aos cátions octaédricos, onde a sua eliminação causa o colapso da estrutura cristalina;
2. Água de ligação ou de coordenação $(\text{OH}_2)_4$, representada por moléculas que completam e terminam as folhas octaédricas, estando ligado aos cátions octaédricos;
3. Água zeolítica, H_2O , que provoca a solvatação dos cátions de troca, e que não se encontra ligada quimicamente aos cátions octaédricos, sendo facilmente removível a baixa temperatura;

A Palygorskite quando aquecida produz uma reação endotérmica por volta dos 200 °C, ocorrendo a libertação de água zeolítica. Entre 300 °C e 550 °C ocorre a segunda reação endotérmica que coincide com a libertação da água de coordenação. Por último, a 800 °C, desencadeia-se a desoxidrilação da estrutura, seguindo-se uma reação exotérmica que ocorre durante a formação da Clinoestantite, Silimanite e Cristobalite.

A fórmula química que corresponde à unidade estrutural básica da Sepiolite define-se como $\text{Mg}_8\text{Si}_{12}\text{O}_{30}(\text{OH})_4(\text{OH}_2)_4.8\text{H}_2\text{O}$, podendo-se verificar alguma substituição atômica isomórfica do Mg por Al, Fe ou Ca (*Martins, 2007*).

2.4 – GRUPO DOS MINERAIS ARGILOSOS INTERESTRATIFICADOS

Segundo *Gomes (2002)*, é neste grupo, que existem vários minerais argilosos, com modelos estruturais variados, constituídos por empilhamentos não homogêneos de camadas estruturais de duas ou mais espécie de minerais argilosos de grupos distintos.

Este tipo de estruturas de camadas interestratificadas é muito comum nas argilas, especialmente em diferentes minerais argilosos como a Ilite, Montmorilonite, Clorite e Vermiculite, ocorrendo com muita frequência na natureza em unidades compostas.

Segundo *Gomes (2002)*, estes edifícios estruturais podem ou não evidenciar uma certa periodicidade de repetição da unidade estrutural, ou seja:

- Quando os empilhamentos são regulares, do tipo (ABABAB ou AABAAB), são facilmente detetáveis através da análise de difração de raios X, complementada com tratamentos térmicos e químicos, podendo ser classificado como mineral argiloso, como a Hidrobiotite (Ilite-Vermiculite), a Rectorite (Moscovite-Montmorilonite), a Corrensite (Clorite dioctaédrica-Esmectite trioctaédrica), etc.;
- Quando os empilhamentos são irregulares, do tipo (ABAABBBABBAAA), a sua determinação e quantificação torna-se bastante mais difícil, com o auxílio de difração de raios X, uma vez que os minerais interestratificados apresentam reflexões ou máximos de difração ou picos difusos e assimétricos;

O mineral interestratificado, tanto pode ser constituído por dois componentes (casos da Ilite-Esmectite, Mica-Clorite, Caulinite-Esmectite), como por três componentes (Ilite-Clorite-Esmectite, Ilite-Vermiculite-Esmectite). No fundo, estes minerais argilosos, representam estados metaestáveis ou de transição entre um mineral e outro.

2.5 – GRUPO DOS MINERAIS ARGILOSOS FRACAMENTE CRISTALINOS

Os minerais argilosos que se incluem neste grupo são característicos por apresentar uma estrutura fracamente cristalina, denominada paracristalina ou criptocristalina. São na sua maioria silicatos de alumínio e de ferro, com conteúdos variáveis de água, com destaque para a Alofana e Imogolite. Estes dois minerais, revelam grande instabilidade, sendo normalmente bons indicadores de áreas com atividade vulcânica recente, derivando com frequência para Halosite-10 Å, Halosite-7 Å e Caulinite (Martins, 2007).

A Alofana é um aluminossilicato hidratado, apresentando-se sob a forma de pequenas esferas, que surgem por neoformação ou alteração da Caulinite. Desta forma, o seu modelo estrutural acaba por ser semelhante a este mineral argiloso, apresentando no entanto alguns defeitos importantes na sua estrutura, tal como a ausência de Si^{2+} nas folhas tetraédricas, encontra-se por vezes o Al^{3+} no seu lugar. Este mineral argiloso evidencia uma relação entre o número de folhas estruturais tetraédricas de sílica e o número de folhas estruturais octaédricas de Gibbsite, que varia entre 1-2, ou pela razão Al/Si entre 1-2, contendo ainda um número indeterminado de moléculas de água (Martins, 2007).

A Imogolite, resulta da alteração de cinzas vulcânicas, revelando-se ao microscópio eletrónico com aspeto filamentosos, possuindo fibras ou tubos muito finos e alongados, pelo que deverá possuir uma estrutura em cadeia. Tal como a Alofana, também a Imogolite é um aluminossilicato hidratado, onde a relação entre folhas tetraédricas de sílica e folhas octaédricas de Gibbsite varia entre 1-1,5, variando ainda o número de moléculas de água, entre 2-3.

3 – PROPRIEDADES DA ARGILA

3.1 – GRANULARIDADE E GRANULOMETRIA

Segundo *Martins (2007)*, as argilas são os materiais de granularidade mais fina, uma vez que os seus constituintes minerais, os minerais argilosos, possuem dimensões muito reduzidas, com diâmetros esféricos equivalentes inferiores a 2 μm . Este parâmetro corresponde ao diâmetro de uma esfera virtual que circunscreve completamente uma partícula individual de mineral argiloso e que lhe é equivalente em volume. A reduzida dimensão dos cristais dos minerais argilosos, condiciona de sobremaneira as características reológicas do sistema argila + água.

No entanto, as argilas não possuem apenas minerais argilosos, possuindo ainda partículas de maiores dimensões. É graças a esta diversidade granulométrica que na utilização da argila como matéria-prima na indústria cerâmica, ou noutra qualquer indústria é fundamental a sua caracterização granulométrica. De uma forma geral, a distribuição dimensional do grão e a sua forma, são fatores extremamente importantes a ter em conta, nas mais variadas indústrias, particularmente na indústria cerâmica atendendo ao facto de poder influenciar propriedades como a plasticidade, textura, permeabilidade, viscosidade das suspensões, resistência mecânica húmida e em seco, e a contração dos corpos cerâmicos.

São vários os métodos em laboratório, que permitem determinar a distribuição dimensional do grão ou análise granulométrica das argilas, entre os quais a peneiração por via húmida, a sedimentação segundo a Lei de Stokes, a hidrociclonagem, a centrifugação e por último, a utilização de granulómetros ou analisadores de partículas com fonte de raios X ou raios laser.

3.2 – SUPERFÍCIE ESPECÍFICA

A superfície específica é o conceito que se encontra associado à dimensão média e à distribuição dimensional do grão, sendo uma propriedade que permite determinar o teor da fração argilosa de uma amostra, ou o teor relativo de partículas finas, o grau de dispersão e agregação das partículas, podendo ainda inferir sobre a composição mineralógica de uma argila, uma vez que cada mineral argiloso possui superfícies específicas características (*Martins, 2007*).

A superfície específica de uma argila define-se como a soma da área da superfície externa e da área da superfície interna dos minerais argilosos constituintes, por unidade de massa, sendo expressa em m^2/g . Como tal, e porque as argilas são constituídas fundamentalmente por minerais argilosos, de dimensões reduzidas, a determinação da superfície específica da globalidade das partículas oferece valores muito elevados, comparativamente com outros materiais geológicos, estando também sempre dependente do mineral argiloso predominante. Ou seja, a título de exemplo, uma Esmectite corresponde em média, uma superfície específica inferior à de uma Caulinite.

Em alguns casos, dentro do mesmo subgrupo de minerais argilosos, algumas espécies minerais podem possuir diferentes superfícies específicas diferentes, ou seja, a Caulinite, como apresenta diferentes géneses e ordens estruturais, pode ao mesmo tempo, apresentar uma superfície específica que se afasta dos valores dos restantes minerais argilosos do mesmo subgrupo. Como tal, uma Caulinite de reposição ou pedogénica e que possui uma baixa ordem estrutural, ou uma baixa cristalinidade, vai possuir uma maior superfície específica que uma Caulinite com elevada ordem estrutural ou alta cristalinidade.

Este tipo de diferenças também se faz notar entre as Bentonites sódicas e cálcicas. Assim, como a Bentonite é uma argila residual, que resultou da alteração de cinzas ou tufos vulcânicos e que é constituída fundamentalmente por Montmorilonite, possui uma granularidade muito fina, apresentando valores diferentes de superfície específica, consoante o catião intercalar (Na^+ ou Ca^{2+}), que se encontra nos espaços entre as camadas estruturais da Montmorilonite (*Martins, 2007*).

3.3 – CAPACIDADE DE TROCA CATIONICA

Todos os minerais argilosos possuem a capacidade de trocar iões que normalmente se encontram tanto nas superfícies exteriores, como nos espaços intercalares, ou seja, nas camadas estruturais, como acontece no caso dos minerais argilosos expansíveis.

Segundo *Martins (2007)*, a capacidade de troca cationica (CTC) que uma argila possui, depende acima de tudo, da área global da superfície externa e interna das partículas argilosas, do seu grau de cristalinidade (ou grau de ordem/desordem), da variação de cargas elétricas que ocorrem na estrutura cristalina, graças às substituições

atômicas isomórficas, à quebra de ligações químicas nas arestas das partículas e à dissociação dos grupos OH⁻ acessíveis.

Como tal, as trocas de íons que ocorrem à superfície das partículas por adsorção, dependem fundamentalmente do tamanho do cristal, enquanto as que se desenvolvem a nível interno, estão sempre dependentes da estrutura cristalina. Os íons adsorvidos, podem sempre ser trocados através de reações químicas, por outros íons de diversas soluções aquosas, sem que isso provoque alterações nas estruturas cristalinas dos minerais argilosos. No entanto, podem ocorrer alterações ao nível das propriedades físico-químicas e tecnológicas das argilas compostas por esses minerais (*Martins, 2007*).

Desta forma, a CTC define-se como a quantidade de catiões que um mineral argiloso pode adsorver ou trocar, variando de acordo com a superfície específica e a carga elétrica existente nas superfícies exterior e interior das partículas individuais dos minerais argilosos (*Velde, 1992; Gomes, 2002*). No entanto, convém afirmar que o valor da CTC (Quadro nº 3.1) não equivale ao valor da carga elétrica de uma argila, representando sim o valor da carga elétrica de um mineral argiloso específico.

Quadro nº 3.1 - Valores de CTC e CTA das espécies
de minerais argilosos mais comuns em argilas (*Martins, 2007*).

Mineral Argiloso	CTC (meq/100g)	CTA (meq/100g)
Caulinite	3 – 15	7 – 20
Haloisite	5 – 50	-
Illite	10 - 40	4 – 17
Clorite	10 - 40	5 – 20
Montmorilonite	60 – 150	20 – 30
Vermiculite	100 – 150	4
Alofana	25 - 50	-

Segundo *Martins (2007)*, o valor da CTC dos minerais argilosos, pode ser expresso em miliequivalentes por 100 g (meq/100 g) de argila seca a 100 °C e a pH=7, ou ainda em centimoles de carga por aquilo (cmol_c/Kg). No fundo quando os valores são expressos em cmol_c/Kg, significa que se caracteriza o valor global da CTC de uma argila, sendo um valor equivalente aos valores expressos em meq/100 g.

A CTC de uma argila aumenta com a diminuição das dimensões das partículas, uma vez que à medida que se diminui o tamanho das partículas, aumenta-se a área de superfície específica e o número de defeitos estruturais responsáveis pelas descompensações da carga elétrica. É esta característica, que permite que os minerais argilosos, quando sujeitos a moagem ou cominuição violenta, melhorem as suas propriedades, consoante o fim a que se destinam (*Martins, 2007*).

Segundo *Gomes (1988; 2002)*, a troca iónica é no fundo um processo puramente estequiométrico, entre a argila ou mineral argiloso e o eletrólito, onde por cada catião adsorvido é libertado outro equivalente, sendo a reação expressa da seguinte forma: X-argila + Y⁺ ⇌ Y-argila + X⁺. Já o sentido da reação depende essencialmente da natureza do mineral argiloso, do tipo de iões em jogo, da concentração da solução e de reações secundárias.

No entanto, nem todos os catiões e aniões são adsorvidos com a mesma energia, podendo até os iões não estarem fixos à estrutura cristalina com a mesma força em todos os minerais argilosos. Como tal, o poder de fixação de um catião é diretamente proporcional à sua valência e inversamente proporcional à sua apetência para ser hidratado. Os catiões mais comuns nas argilas podem ser agrupados de acordo com a sua facilidade em serem trocados, ou séries também denominadas por “*séries liotrópicas ou de Hofmeister*” (Fig. 3.1).

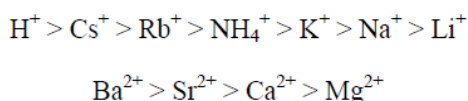


Fig. 3.1 - Série de Hofmeister para catiões monovalentes e bivalentes.

3.4 – PROPRIEDADES COLOIDAIS E REOLÓGICAS DO SISTEMA ARGILA + ÁGUA

Os sistemas coloidais com partículas argilosas são sistemas dispersos onde a fase dispersa é a argila e a fase dispersante é a água. Tal como referido anteriormente, as partículas constituídas por minerais argilosos, são geralmente de dimensões coloidais, entre 0,01 μm e 5 μm , sendo apenas observáveis com o auxílio de microscópios eletrónicos. Devido a estas pequenas dimensões, as argilas têm tendência para possuir elevadas superfícies específicas, o que favorece a troca catiónica entre os minerais argilosos e o meio líquido em que se encontram (*Martins, 2007*).

A maioria dos minerais argilosos, num sistema argila + água, apresentam uma tendência natural para a suspensão das partículas e apresentam de uma forma geral uma carga negativa resultante das diversas substituições atómicas isomórficas que ocorrem na estrutura cristalina dos minerais argilosos, onde iões de determinadas valências são substituídos por outros de valência menor como o Al^{3+} , Fe^{2+} ou Mg^{2+} .

De forma a manter o equilíbrio elétrico das partículas de minerais argilosos, ocorre geralmente a atração de iões com carga positiva, que se fixam nas superfícies e entre as camadas estruturais, formando então uma camada única de catiões. À medida que nos afastamos da partícula, a concentração desta camada de catiões vai diminuindo (“contra-íões”), aumentando assim o equilíbrio entre catiões e aniões, e a orientação das moléculas de água que diminui, levando à formação de uma dupla camada rígida.

Segundo *Helmholtz (1879)*, citado por *Martins (2007)*, a estabilidade de um coloide é determinada pela diferença de potencial estabelecida entre as duas camadas rígidas de iões positivos e negativos. Esta diferença de potencial que se denomina como “potencial zeta” (ζ), ou eletrocinética, determina se a partícula coloidal fica em suspensão ou precipita, variando de acordo com a espessura da dupla camada rígida que entretanto se formou.

Mais tarde, em 1910, *Gouy e Chapman*, defenderam que existe uma grande concentração de “contra-íões” junto da superfície da partícula coloidal, diminuindo exponencialmente com o aumento da distância à superfície (*Martins, 2007*). Mais recentemente, admite-se a existência de uma camada de “contra-íões” que se encontra de forma rígida ligada à superfície da partícula (Fig. 3.2).

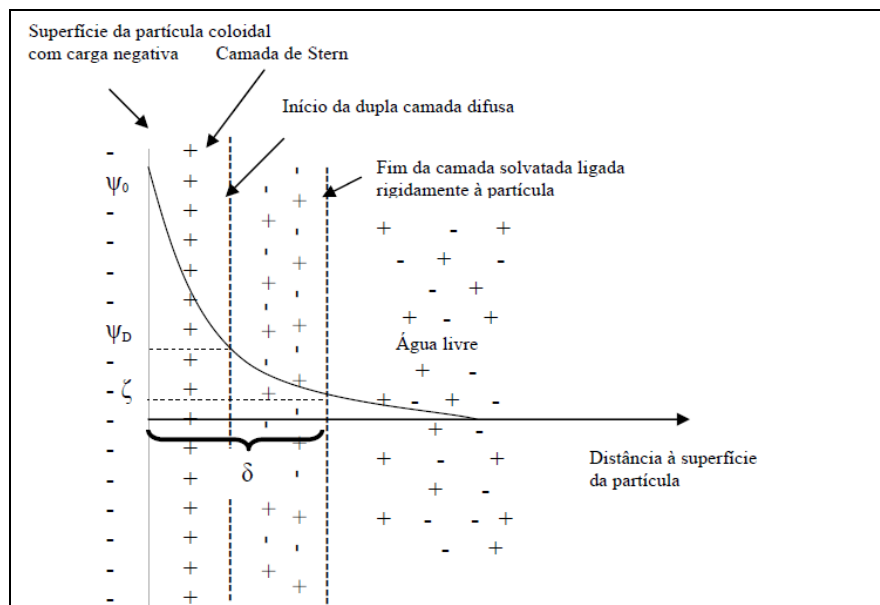


Fig. 3.2 - Representação esquemática da distribuição de cargas elétricas e da dupla camada difusa, junto de uma partícula coloidal negativa (Martins, 2007).

O potencial na superfície da partícula define-se como “*potencial Nernst*” (Ψ_0). Segue-se depois uma camada rígida de catiões ligados à partícula, desenvolvendo-se então a camada difusa de catiões. O potencial entre estas duas camadas é chamado de “*potencial Stern*” (Ψ_D). Por último, o “*potencial zeta*” é ligeiramente inferior ao valor do “*potencial Stern*” e determina a espessura da camada difusa, ou seja, determina a espessura da camada de água rigidamente ligada à partícula coloidal.

Existem coloides de dois tipos. Ou seja, enquanto uns possuem afinidade com o meio dispersante (neste caso a água), e desenvolvem estabilidade e viscosidade elevadas, denominam-se coloides hidrofílicos ou liofílicos, outros denominam-se hidrofóbicos ou liofóbicos, uma vez que são repelidos pelo meio dispersante, conduzindo a soluções instáveis, com viscosidade reduzida.

Resumindo, um sistema de água com argila, para ser perfeitamente disperso e desfloculado, necessita que as suas partículas sólidas possuam dimensões reduzidas (para não sedimentarem por ação da gravidade), sejam insolúveis no meio dispersante, e que o balanço entre forças electrostáticas de repulsão e atração de Van der Waals permita a repulsão entre diferentes partículas coloidais.

A floculação é um fenómeno que ocorre quando as condições anteriores não se verificam, e quando ocorre a diminuição do “*potencial zeta*” das partículas individuais, que por sua vez, provoca uma diminuição das forças electroestáticas de repulsão.

A dispersão, por sua vez, ocorre quando se dá ionização dos catiões de troca ou adsorvidos na superfície das partículas, e tanto maior, quanto maior for a carga negativa das partículas, resultando numa maior repulsão entre elas. Assim, se um determinado coloide tiver apetência para ceder eletrões, como é o caso do Na^+ e do K^+ , a ionização é forte, acontecendo o contrário para elementos com apetência para captar eletrões como o H^+ , Ca^{2+} e Mg^{2+} (Martins, 2007).

Segundo Martins (2007), a troca destes catiões em minerais argilosos, interfere com o “*potencial zeta*” e com a estabilidade das soluções. De uma forma geral, os catiões alcalinos (Li, Na, K, NH_4), permitem elevados valores de potencial zeta, enquanto o contrário sucede com os catiões bivalentes e multivalentes (Mg, H, Ca).

As superfícies das partículas dos minerais argilosos funcionam como condensadores elétricos, carregados com carga negativa, evidenciando-se mais esta situação nos casos em que os catiões são mais eletropositivos. A compreensão deste fenómeno é mais evidente no exemplo de dispersão de uma argila com o auxílio de um dispersante como o hidróxido de sódio. Ou seja, enquanto os iões Na^+ ficam em solução, os iões OH^- , ficam adsorvidos na superfície dos minerais argilosos, o que favorece a formação de um sistema coloidal, muito viscoso e estável.

Por outro lado se os catiões forem menos eletropositivos (casos do Ca^{2+} e Mg^{2+}), o potencial eletrocinético das partículas dos minerais argilosos diminui, provocando a aglomeração de partículas, a que se seguem fenómenos de floculação e precipitação. O aproveitamento destas reações faz-se nos tanques de decantação de argilas, quando se pretende a sua concentração.

Os episódios de floculação/desfloculação são de extrema importância na indústria cerâmica, sendo fundamental um conhecimento perfeito das propriedades reológicas dos materiais (capacidade de fluência e deformação da matéria), e do modo como o sistema argila + água flui sob a ação de uma força. Ou seja, trabalhos como a moldagem ou conformação de corpos cerâmicos, através de extrusão, pressão, trabalho e enchimento faz-se com base nestas propriedades (Martins, 2007).

Importa referir, que o comportamento reológico de um sistema argila + água, está sempre condicionado pela forma dos minerais argilosos, que na maior parte dos casos é lamelar, levando a que os mesmos em movimento deslizem uns sobre os outros.

Por último, existem ainda uma importante propriedade dos coloides, muito importante na indústria cerâmica, que é a tixotropia. Ou seja, esta propriedade indica-nos que se uma suspensão de argila for deixada em repouso por algum tempo, ela irá evidenciar um espessamento, que conduz a um aumento da viscosidade, fenómeno a que se atribui o nome de gelificação. No entanto, e como este estado é reversível, quando o sistema sofre uma forte agitação, verifica-se um aumento da fluidez (*Martins, 2007*). Esta propriedade é fundamental na indústria cerâmica, no estudo de comportamento de barbotinas, que são utilizadas na conformação de corpos cerâmicos por enchimento.

3.5 - PLASTICIDADE

A plasticidade define-se como a capacidade que um sistema possui para deformar por ação da força, sem entrar em rotura, mantendo a deformação adquirida depois da força deixar de se fazer sentir (*Martins, 2007*).

Nas argilas a plasticidade resulta da lubrificação exercida pela água entre as partículas lamelares dos minerais argilosos. Esta plasticidade é tanto mais evidenciada quando a argila contém água suficiente de forma a cobrir toda a superfície das partículas com uma película de “água rígida”, existindo ainda água livre entre as partículas, que as lubrifica e permite o deslizamento entre elas, quando lhes é aplicada uma tensão tangencial (*Gomes, 2002*).

Segundo *Martins (2007)*, são vários os fatores que afetam diretamente a plasticidade, entre eles:

- A granulometria, onde quanto menor for o tamanho do grão, maior é a sua superfície específica, traduzindo-se assim num aumento da plasticidade. Até mesmo os diferentes minerais argilosos exibem diferentes valores de plasticidade, que depende fortemente do tamanho médio das suas partículas, ou seja, no caso da Caulinite, a mesma só apresenta plasticidade, para valores de superfície específica superiores a $1,80 \text{ m}^2/\text{g}$;
- O hábito ou forma dos cristais dos minerais argilosos, onde geralmente, minerais com hábitos lamelares proporcionam plasticidades maiores que os minerais com

hábitos cristalinos. Desta forma, os minerais argilosos e outros minerais que apresentam clivagem fácil (preferencialmente basal), possuem melhores plasticidades, uma vez que as suas superfícies facilitam a orientação das moléculas de água, promovendo assim a lubrificação;

- A composição mineralógica de uma argila, onde quanto maior for o teor em minerais argilosos, maior será a sua plasticidade. Entre os minerais, e tal como anteriormente, diferentes espécies de minerais argilosos, conferem valores de plasticidade diferentes às argilas. Ou seja, entre as Montmorilonites e as Caulinites, são as primeiras que possuem maior plasticidade, uma vez que possuem cristais de menores dimensões e espessuras, e como tal uma maior superfície específica;
- A ordem estrutural, onde fracas ordens estruturais apresentam maiores valores de plasticidade, por possuírem cristais com menor dimensão e menor espessura média;
- A natureza dos iões de troca, onde, uma argila cujo catião de troca seja o Na^+ , irá necessitar de menos água, que uma argila com catiões de troca Ca^{2+} ou Mg^{2+} .

Assim, os termos sódicos de uma mesma espécie de mineral argiloso, necessitam de menos água que os termos cálcicos ou magnesianos, de forma a promover a plasticidade de uma argila. Ou seja, uma Illite ou uma Caulinite, sob a forma sódica, com adição de hidróxido ou carbonato de sódio, necessita de menos água para adquirir plasticidade, do que sob a forma cálcica, já que o sódio diminui a rigidez da água adsorvida, permitindo uma redução da força de ligação que a água rígida proporciona entre partículas, diminuindo assim a força de cisalhamento necessária de forma a desencadear o deslizamento entre as partículas lamelares destes minerais argilosos.

No entanto, o mesmo não se verifica em todos os minerais argilosos. No caso das Esmectites a adição do sódio como catião de troca provoca o efeito contrário. Ou seja, além de promover a destruição dos aglomerados, vai ainda desencadear a redução do número de camadas estruturais do tipo 2:1 que entram nos cristais das Esmectites, provocando o aumento da superfície específica, levando ainda ao aumento substancial do teor de água necessário para desenvolver plasticidade. Assim, enquanto a adição de desfloculante numa pasta Esmectítica faz aumentar a viscosidade e o limite de plasticidade, numa pasta Ilítica ou Caulínica a mesma adição tem efeito contrário.

3.6 – ENDURECIMENTO APÓS SECAGEM E COZEDURA

O endurecimento, ou o aumento da resistência mecânica de um corpo cerâmico, tanto após secagem, como após cozadura é uma característica determinante de uma argila ou pasta cerâmica, e que se adquire no decorrer do processo cerâmico e que está sempre dependente da composição mineralógica das matérias-primas (*Martins, 2007*).

Durante o processo de secagem que decorre a temperaturas até ao valor máximo de 110 °C, a matéria-prima sofre contrações, graças à evaporação de água que se encontra a envolver as partículas, permitindo assim que as mesmas estabeleçam um contacto físico entre si. A partir de determinada altura, a contração termina e apesar de ainda existir água em poros ou vazios entre as partículas, esta acabará por desaparecer, sem contudo provocar mais contrações.

Durante a secagem, os corpos cerâmicos adquirem uma resistência suficiente, permitindo a manipulação das peças entre a secagem e a cozadura, sem que se verifiquem alterações das suas formas. A resistência é sempre dependente da forma e espessura do corpo cerâmico, do tipo e teor de argila, da dimensão e forma das partículas que, tal como referido anteriormente são também determinantes para a plasticidade da matéria-prima utilizada.

Por último, a cozadura de um corpo cerâmico tem como principal objetivo, o aumento da resistência mecânica à flexão e compressão, iniciando-se sempre após a secagem, e cuja temperatura máxima, deverá estar sempre dependente das matérias-primas e dos produtos cerâmicos que se vão fabricar. É durante este processo que os diferentes minerais constituintes das matérias-primas sofrem modificações estruturais, que provocam variações volumétricas dos corpos cerâmicos (*Martins, 2007*).

4 – GÉNESE DA ARGILA

As argilas têm origem à superfície da crosta terrestre, desaparecendo em profundidade formando-se essencialmente nas interfaces da crosta com a atmosfera, a hidrosfera e a biosfera. Os minerais argilosos são os principais constituintes das rochas sedimentares, uma vez que são originadas pela meteorização química das rochas preexistentes e que são ricas em silicatos. No fundo, todos os minerais argilosos, resultam da transformação dos silicatos primários, ou de vidros vulcânicos, através de processos químicos e físicos, sempre na presença de água.

As argilas, sendo um produto de alteração de outras rochas existentes, terão sempre na sua constituição os elementos mais abundantes e que resistem de melhor forma a todos os processos de meteorização química e física, podendo ser encontradas em afloramentos residuais (permanecendo no local onde foi formada, resultante da alteração do maciço rochoso) ou sedimentares.

Em relação ao tipo de rocha mãe, destacam-se os granitos (cujos produtos de alteração são o Quartzo, as Micas e o Caulino); os maciços basálticos constituídos fundamentalmente por Feldspatos, Olivina, Piroxena, vidro vulcânico, quando sofrem alteração formam depósitos argilosos que atingem espessuras consideráveis; e por último, os filões e diques pegmatíticos são bastante ricos em Quartzo e Feldspato, são igualmente boas fontes de depósitos de Caulino, quando sujeitos à meteorização química e física.

A água assume um papel fundamental nos processos de desgaste e alteração das rochas, e como tal a sua quantidade e abundância, interfere nos tipos de formações argilosas e nas espessuras dos seus depósitos.

Nos ambientes com taxa de pluviosidade reduzida, como as zonas desérticas, o vento é o principal agente de erosão e sedimentação, como tal, limitamo-nos apenas um processo de ação física sobre as rochas. As argilas predominantes nestas regiões são essencialmente ilíticas e cloríticas, podendo ainda ocorrer alguns interestratificados com Vermiculite, Montmorilonite e Caulinite, dependendo sempre do tipo de rocha-mãe que lhe deu origem.

Nas regiões tropicais e equatoriais, onde existem grandes taxas de pluviosidade, ao que se juntam variações de temperatura muito acentuadas, prevalecem os depósitos de Caulino (se a lixiviação for intensa, com remoção significativa de minerais alcalinos e alcalino-terrosos), ou depósitos de Montmorilonite e Illite. Nestas regiões a penetração dos fluidos de lixiviação depende sobretudo da maior ou menor fracturação e porosidade da rocha mãe. As regiões temperadas estão sujeitas a processos moderados de meteorização, criando-se ambientes e condições extraordinárias, para a formação de minerais argilosos, como a Vermiculite, Montmorilonite e interestratificados. Por sua vez, nas zonas subtropicais e semiáridas, predominam os depósitos de Esmectites feríferas e magnesianas.

Nas regiões geladas do planeta, associadas aos polos Norte e Sul e às cadeias montanhosas, é a meteorização física dos agentes de erosão que prevalece sobre as rochas. Este agente erosivo é conhecido por formar depósitos com granulometrias muito heterogêneas, onde se encontram fragmentos de rocha, com uma fração argilosa de caráter detrítico, composta essencialmente por Illite, podendo ainda existir Clorite, Vermiculite, Caulinite, Montmorilonite e interestratificados de Illite-Vermiculite e Clorite-Montmorilonite. Esta heterogeneidade deve-se aos ambientes mistos de formação, graças à fusão das moreias glaciares, responsáveis por originar depósitos fluviais, glaciares, lacustres e até marinhos.

Nas regiões vulcanicamente ativas, e com forte atividade de fluidos hidrotermais, também é possível encontrar a formação de vários tipos de argilas. Ou seja, estas águas ou vapores de origem magmática que se encontram sob pressão elevada e temperaturas até 450 °C, à medida que se deslocam vão decompondo as rochas e os seus minerais de forma mais ou menos intensa, consoante o grau de alteração em que estes se encontram. Este fenómeno acaba ainda por refletir um zonamento com composições mineralógicas muito distintas.

Segundo *Gomes (1998)*, o zonamento que se verifica em diferentes filões de rochas ígneas extrusivas, apresenta-se mais diferenciado, com uma zona de Diquite junto ao veio constituído por Quartzo e sulfuretos, surgindo ainda Caulinite e Halosite, seguida de uma zona onde predomina a Caulinite e a Illite.

Mais afastado do veio, surge a zona da Halosite e da Vermiculite, estando a Vermiculite, associada à alteração da Biotite, existente na rocha encaixante. Por último, temos ainda a zona da Clorite e da Montmorilonite, que tal como a Vermiculite, resultam da alteração das Biotites, Piroxenas e Anfíbolas da rocha encaixante. Além das Clorites e das Montmorilonites, podem ainda surgir Vermiculites e outros interestratificados (de Vermiculite, com Clorite ou Montmorilonite), e ainda Clorite-Montmorilonite.

A distribuição zonada dos minerais argilosos coloca em evidência uma ligação com a direção da migração das soluções ou vapores hidrotermais. No entanto, o tipo de alteração em diferentes zonas está sempre dependente da natureza das soluções, da composição das rochas, da temperatura, da duração e intensidade com que o hidrotermalismo se faz sentir (*Martins, 2007*).

Os afloramentos de argilas sedimentares são o resultado da deposição de partículas argilosas que foram transportadas, tanto pela água, como pelo vento e pelo gelo, originando depósitos que por vezes se encontram a grandes distâncias da rocha mãe que lhes deu origem. De todos estes agentes erosivos, a água apresenta-se como o mais eficaz, capaz de arrastar ao longo dos rios, até ao mar grandes quantidades de material. Quando perde essa capacidade de transporte, em zonas aplanadas e com redução de velocidade, procede-se então à sedimentação das partículas. Como se trata de um processo bastante dependente das condições climáticas, que fazem oscilar as taxas de deposição, é frequente encontrar em alguns depósitos de argila, alguma alternância de níveis argilosos, com níveis mais arenosos.

Assim, é mais frequente encontrar depósitos de argilas secundárias ou sedimentares, em zonas mais aplanadas com depressões no terreno, e em planícies de inundação, junto à foz dos rios. Nestes depósitos fluviais ou deltaicos, observa-se um gradiente no tamanho das partículas, onde as mesmas são de menores dimensões à medida que se caminha em direção ao mar. Nas zonas de transição, de mistura entre água doce e salgada criam-se as condições que provocam alterações nas composições mineralógicas das argilas que aí se depositam.

Nos ambientes fluviais, o clima é o fator preponderante na formação dos depósitos sedimentares de argila. Em climas húmidos, as planícies de inundação

possuem densa vegetação, desenvolvendo-se zonas pantanosas com grandes acumulações de matéria orgânica vegetal. Nos climas áridos há uma tendência para a acumulação de nódulos de carbonatos, concreções de ferro e sais alcalinos, que se formam por culpa das elevadas taxas de evaporação. Nestes casos, as argilas não são sujeitas a grandes alterações na sua composição, sendo distinguidas fundamentalmente em termos granulométricos e estruturais (*Suguio, 1982; in Martins, 2007*).

Os ambientes lacustres, em climas áridos ou semiáridos, são muitas vezes efémeros, favorecendo assim a formação de depósitos de evaporitos, devido à elevada evaporação, bem como de calcários, dolomitos e fosforitos. A elevada concentração salina, torna o pH alcalino, criando-se condições para alterações cristaloquímicas nos minerais argilosos, podendo ainda haver minerais de neoformação como a Montmorilonite, Palygorskite e Sepiolite (*Martins, 2007*).

Nos ambientes lagunares, onde o seu fundo é preenchido por sedimentos lamosos, as frações argilosas são constituídas por minerais de neoformação e de transformação, como o Talco, a Corrensite, a Palygorskite, a Sepiolite, etc. Ainda intercalados nestes sedimentos, nota-se a presença de matéria orgânica e intercalação de níveis arenosos, por vezes eólicos, provenientes da erosão das dunas litorais. Esta composição de minerais argilosos nestes ambientes sedimentares ocorre devido à intensidade e frequência das marés e dos rios, que transportam os sedimentos até às lagoas, ajudando ainda a determinar o grau de salinidade destes ambientes.

No entanto, se tivermos lagoas onde ocorre uma participação mais equilibrada dos sedimentos quer do mar, quer dos rios, verifica-se a existência de séries sedimentares rítmicas, tanto com níveis de deposição detrítica, como com níveis de deposição química, onde a fração argilosa predominante é de origem ílítica, com algumas quantidades de Clorite, Montmorilonite e interestratificados (*Martins, 2007*).

Nos ambientes sedimentares marinhos, o processo de sedimentação é controlado pelas condições hidrodinâmicas da costa e da plataforma continental, com os sedimentos mais finos (onde se incluem as siltes e as argilas), a serem transportados por suspensão e depositados em zonas mais profundas da plataforma continental. Verifica-se com frequência a presença de todos os minerais argilosos, com destaque para a Ilite e Clorite. Por outro lado, enquanto a Caulinite se forma preferencialmente em zonas

costeiras, a Montmorilonite, distribui-se de forma mais ou menos irregular ao longo da plataforma.

Segundo *Abajo (2000)*, citado por *Martins (2007)*, de entre as rochas argilosas, destacam-se os argilitos, que correspondem a argilas formadas por sedimentação detrítica e química, ricas em carbonatos e onde podem estar presentes minerais de neoformação, como a Palygorskite, Sepiolite e Montmorilonite.

5 – MATÉRIAS-PRIMAS CERÂMICAS

As matérias-primas cerâmicas são minerais ou rochas com os quais se fabricam produtos cerâmicos e que se utilizam no seu estado natural, ou após tratamento prévio.

Atualmente o nível de competitividade no mundo empresarial, quer entre as empresas produtoras de matérias-primas, quer entre as unidades fabris que as transformam, torna os graus de exigência e controlo de qualidade mais apertados. Como tal, é imperioso conhecer todas as propriedades das matérias-primas envolvidas nos diferentes produtos cerâmicos, através de ensaios de caracterização física, química e tecnológica.

Atualmente são várias as matérias-primas cerâmicas utilizadas nos diferentes ramos da indústria cerâmica e do vidro. No fundo, o universo global de toda a indústria da cerâmica e do vidro, subdivide-se em três grupos principais:

- Porcelana, faiança e grés, produtos para fabrico dos quais, se usam areias, argilas refratárias, argilas comuns, calcários, calcite, caulino, feldspatos, quartzo, etc.;
- Cerâmica estrutural, construção civil e refratários, produtos para fabrico dos quais se usam areias, argilas comuns e refratárias, caulino, óxidos de cobalto e de cromo, feldspatos, quartzo, etc;
- Vidro, produtos para o fabrico dos quais se utilizam matérias-primas como areias especiais, argilas refratárias, barite, bauxite, calcário, fluorite, óxidos de manganês e de zinco, etc.

Segundo *Martins (2007)*, na verdade, toda a indústria cerâmica recorre a uma gama bastante grande e variada de matérias-primas, todas elas com propriedades e características muito próprias de acordo com os fins a que se destinam, inclusive dentro de cada subsector industrial. Como referido anteriormente, as matérias-primas que servem de base ao fabrico dos diferentes produtos cerâmicos são as argilas, a areia quartzosa rica em SiO_2 e os feldspatos; as argilas e os minerais argilosos são materiais, fundamentais na indústria cerâmica.

Os minerais argilosos mais frequentes nas argilas são: Caulinite, Illite e Montmorilonite, aos quais se juntam alguns minerais não argilosos como Gibbsite, Hematite e Goethite, Quartzo e Feldspatos.

Para além das matérias-primas referidas anteriormente, existe ainda uma grande variedade de outros minerais, sais e óxidos, que são igualmente empregues no fabrico de produtos cerâmicos, sendo utilizados como produtos para fundição (carbonato de potássio, sienito nefelínico, óxidos de ferro, óxidos de chumbo, etc.) e componentes refratários (alumina, silicatos de magnésio, Talco, Dolomite, cal e Calcite).

De todos os ramos da indústria cerâmica, o subsector da cerâmica estrutural, particularmente a que se destina ao fabrico de tijolos é dos menos exigentes em termos de qualidade da matéria-prima mineral, o que não significa que a sua seleção não seja também ela criteriosa garantindo assim e, de acordo com determinados parâmetros normalizados, um produto final de qualidade.

No fabrico da chamada cerâmica do barro vermelho, que inclui alguma louça utilitária, decorativa e cerâmica de construção são utilizadas maioritariamente algumas argilas comuns e que ao longo dos últimos anos, devido a uma exigência crescente por parte do consumidor, conduz a um controlo de qualidade mais apurado. Já na chamada cerâmica do barro branco e refratário, que inclui a faiança fina utilitária e decorativa, alguma azulejaria, porcelana e produtos cerâmicos técnicos, a indústria recorre maioritariamente às argilas ditas especiais.

Apesar da argila ser a base da indústria cerâmica, dificilmente se consegue fabricar peças cerâmicas de qualidade, única e exclusivamente com esta matéria-prima. A razão para que tal aconteça tem a ver com algumas características específicas da argila, que durante o processo cerâmico, particularmente nas fases de secagem e cozedura, tende a retrair e a fissurar, graças à sua composição mineralógica, a evoluções gasosas e à libertação, tanto da água adsorvida na superfície das partículas dos minerais argilosos, como da água zeolítica e da água estrutural que participam na estrutura do próprio mineral.

Como tal, a preparação de pastas cerâmicas, inclui a utilização de diferentes matérias-primas e que de acordo com a sua plasticidade, adquirida pela adição de uma

determinada quantidade de água, se subdividem em matérias-primas plásticas ou argilosas e matérias-primas não plásticas ou não argilosas.

5.1 – MATÉRIAS-PRIMAS PLÁSTICAS

Estas matérias-primas representam a base da indústria cerâmica, uma vez que facilitam a plasticidade, conformação e resistência mecânica às pastas, em cru e em cozido. A plasticidade é-lhes conferida graças à composição mineral das argilas, com especial destaque para os filossilicatos hidratados (minerais argilosos), graças ao tamanho reduzido das suas partículas ($<2\ \mu\text{m}$) e à forma essencialmente laminar ou tabular dos seus cristais que quando misturados com água permitem a conformação de peças cerâmicas (*Martins, 2007*).

A resistência mecânica assume um relevo importante, quando se trata do manuseamento das peças em cru, ou seja, antes do processo de cozedura, uma vez que se encontram bastante frágeis. Esta importante propriedade também depende dos minerais argilosos, da granulometria e do teor de matéria orgânica, conferindo uma determinada capacidade de endurecimento na secagem.

Para além da plasticidade e da resistência mecânica, os minerais argilosos existentes nas argilas, influenciam ainda outras características, tais como a retração linear na secagem, compactação, tixotropia e viscosidade das suspensões aquosas, conferindo-lhes assim uma enorme versatilidade no que diz respeito a aplicações tecnológicas (*Martins, 2007*).

5.1.1 – APLICAÇÕES DA ARGILA EM CERÂMICA

De acordo com a sua composição mineralógica, as argilas podem ser, ou monominerálicas (constituídas essencialmente por um mineral argiloso), como por exemplo o Caulino, em cuja composição prevalece a Caulinite, ou poliminerálicas (constituídas por dois ou mais minerais argilosos).

A característica principal de uma argila surge do tipo de minerais argilosos que a constituem. Ou seja, são os minerais argilosos, com partículas de pequenas dimensões, que quando misturados com água, conferem à argila plasticidade, aptidão à moldagem ou trabalhabilidade e capacidade de conservar a sua forma após secagem e cozedura.

Do ponto de vista químico, se as argilas tiverem um alto conteúdo em Al_2O_3 , isto, é, se forem bastante ricas em Caulinite e se a quantidade de ferro for vestigial, consideram-se como matérias-primas particularmente boas para o fabrico de cerâmica fina, cerâmica técnica, refratária e sanitária. Por outro lado, se a concentração em Al_2O_3 se mantiver alta, se a Caulinite estiver presente em quantidades consideráveis e se argila possuir uma baixa proporção em compostos de ferro, a sua utilização, pode também ser direcionada para o fabrico de produtos cerâmicos, como o grés e o azulejo.

Se as concentrações de Al_2O_3 forem baixas e as proporções de compostos de ferro e carbonatos de cálcio forem elevadas, as argilas com estas características constituem a base da cerâmica do barro vermelho, nomeadamente a olaria tradicional e a cerâmica de construção (tijolo, telha e abobadilha).

Na indústria cerâmica, utilizam-se sobretudo dois tipos de argilas:

- As argilas especiais, mais puras, que devido às suas propriedades específicas requerem processos, por vezes complexos de tratamento e purificação, sendo por isso matérias-primas onerosas, destinadas à elaboração de materiais cerâmicos mais nobres. Tendo em conta que são mais raras, com depósitos muito escassos, apresentando reservas pequenas, possuem por isso um maior valor económico;
- As argilas comuns, mais vulgares, com uma composição mineralógica bastante heterogénea, contendo minerais argilosos de diferentes grupos, com predominância para as Micas e Caulinite. Estes tipos de argilas que podem ser mais calcíticas ou dolomíticas apresentam sempre teores elevados de SiO_2 , sendo ao mesmo tempo, bastante pobres em Al_2O_3 .

Segundo *Gomes (1988; 2002)* é possível estabelecer uma classificação das argilas, para uso cerâmico (Fig. 5.1), baseando-se na cor após queima a 950 °C, 1250 °C e 1450 °C, em atmosfera oxidante. Estas temperaturas de cozedura adequam-se às diferentes indústrias cerâmicas, tais como: a indústria da cerâmica vermelha ou de construção ($T = 950\text{ °C}$); indústria da cerâmica branca ($T = 1250\text{ °C}$); e indústria de refratários ($T = 1450\text{ °C}$).

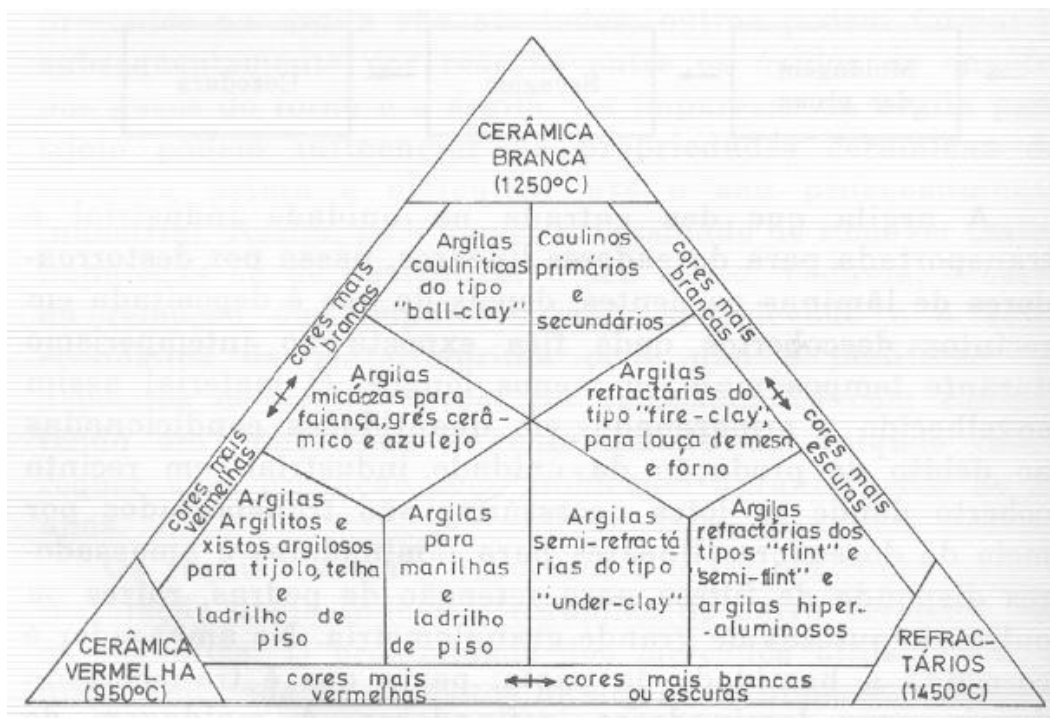


Fig. 5.1 - Classificação das argilas para uso cerâmico (Gomes, 1988, 2002).

Segundo Martins (2007), tanto as argilas comuns, como as argilas especiais, englobam vários tipos de argilas, consoante as suas características, e os fins para os quais elas melhor se adaptam.

5.1.2 – ARGILAS ESPECIAIS

O grupo das argilas especiais é composto por: Caulino (“China Clay”), Argila Refratária (“Fire-Clay”), Argila Plástica e Refratária (“Ball-Clay”), Argila Fibrosa e pela Bentonite (Martins, 2007).

5.1.2.1 – CAULINO

O Caulino, ou “China Clay” é uma argila e matéria-prima importante, constituída sobretudo por caulinite. É uma argila primária, ou residual que, quando cozida assume a cor branca, fundindo a cerca de 1800 °C, apresentando ainda baixos valores de plasticidade. É utilizada no fabrico de cerâmica utilitária, como porcelana e faiança, na elaboração de algumas peças refratárias, isoladores elétricos, azulejos e grés sanitário e porcelanas. No entanto, o caulino, graças às suas características e propriedades é bastante versátil, podendo ser utilizado em variadas indústrias: papel, borrachas, tintas, cerâmica, plásticos, fabrico de fibra de vidro, fármacos, catalisadores, pesticidas, pastas, tintas de impressão, etc. (Martins, 2007).

O caulino não é apenas constituído por Caulinite, nele podendo ocorrer ainda outros minerais argilosos, tais como: Halosite, Illite, Micas, e ainda minerais não argilosos como Quartzo, Feldspatos e minerais acessórios como Goethite, Turmalina e Pirite.

Os depósitos e jazigos de caulino são, geralmente, residuais ou sedimentares, dependendo se a alteração e depósito ocorreu junto à rocha mãe, ou se envolveu meteorização química e física e se no transporte e depósito intervieram diferentes agentes erosivos, com destaque para a água e o vento. No último caso os depósitos são constituídos por horizontes intercaladas com areias finas ou grosseiras, mais ou menos enriquecidas em caulino, cascalheiras estratos silto-argilosos.

São vários os fatores que podem fazer variar o valor comercial do Caulino, entre eles a quantidade de impurezas (hidróxidos de ferro, Biotite, Rútulo) que afetam a coloração das pastas cerâmicas, a granulometria caracterizada pelo facto dos caulinos primários junto à rocha mãe apresentarem maiores dimensões e menores valores de plasticidade, associados a minerais cromáticos que apresentam frações superiores a 20 µm e finalmente os teores em alumínio, ferro, titânio, etc..

De todos os fatores atrás referenciados, são os teores em alumínio, ferro e titânio que maior importância assumem nas características de um caulino. Ou seja, uma elevada percentagem em alumínio sob a forma Al_2O_3 , confere a esta argila altos valores de refractaridade, enquanto altas concentrações de óxidos de ferro sob a forma de Fe_2O_3 e de titânio, sob a forma TiO_2 , significam uma maior capacidade de conferir coloração às peças.

Em relação à granulometria, os caulinos primários como possuem uma fração argilosa relativamente pequena, entre 10 e 25 %, têm que sofrer processos de refinação e beneficiação, resultando daí o denominado caulino lavado, com elevados teores de Caulinite, entre 80 e 95 %.

A beneficiação permite assim melhoramentos ao nível das partículas de argila, melhorando o seu grau de brancura, o brilho, a dimensão e forma da partícula, alterando inclusive parâmetros como a própria reatividade das superfícies, a melhoria das suas propriedades de tixotropia, a diminuição da abrasividade e o aumento da refractaridade e capacidade de revestimento da substância mineral.

Segundo Gomes (2002), entre os diferentes métodos de beneficiação do caulino, destacam-se os métodos tradicionais - filtração eletromagnética de alto campo, floculação seletiva, flutuação por espumas, branqueamento, e os métodos avançados - laminação, calcinação, lotação, estruturação química, modificação química das superfícies das partículas.

5.1.2.2 – “FIRE-CLAY”

A “Fire Clay” ou argila refratária é uma argila com baixo teor em óxidos, hidróxidos de ferro, magnésio, alcalis, e com altos valores de alumínio. Como tal, é uma matéria-prima que pode ser classificada como sílico-aluminosa, uma vez que possui cerca de 46% de Al_2O_3 . São de uma forma geral, argilas cauliníticas, com uma ordem estrutural média, ou haloisíticas, podendo ainda conter Quartzo, Mica, Diquite, Illite, Montmorilonite, interestratificados de Illite-Montmorilonite e matéria orgânica.

Este tipo de argilas está normalmente associado a depósitos de carvão, surgindo ainda em níveis intercalados ou por baixo destes, daí ter também a designação de “*underclay*”. A sua refractaridade não é inferior a 1500 °C, apresentando uma cor marfim, ou castanho claro, ou ainda cinzento claro, após cozedura. Destinam-se sobretudo ao fabrico de cerâmica ornamental, louça de mesa e de forno.

Além das “*Fire Clay*”, existem ainda as “*Refractory Clays*”, que contêm maior quantidade de Caulinite relativamente ordenada e por isso com maior percentagem de alumina, o que é em parte explicado pelo contributo de hidróxidos de alumínio como a Gibbsite, Bohemite e Diásporo.

As “*Fire Clays*” são argilas pouco plásticas, a menos que sejam sujeitas a uma moagem prévia e intensa, sendo também duras, compactas de fratura concoidal e muito abrasivas. A sua refractaridade deve-se em grande parte, ao facto dos grãos de Caulinite se encontrarem inseridos num cimento silicioso e aluminoso e o contributo do alcalis ser inferior a 1 %. São especialmente empregues no fabrico do tijolo refratário, para revestimento em altos-fornos da indústria metalúrgica. As suas jazidas diferem um pouco dos depósitos de “*Fire Clay*”, estando normalmente associadas a cavidades cársticas, que surgem com a dissolução de calcários, sobrepostos por areias feldspáticas e cauliníticas.

5.1.2.3 – “BALL-CLAY”

As “*Ball Clay*” também denominadas “Argila em Bolas”, ou “Argilas Plásticas” e relativamente refractárias, são argilas sedimentares, altamente plásticas, com uma granulometria extremamente fina, com cerca de 50 a 90 % de partículas com diâmetro esférico equivalente inferior a 1 µm. Comparativamente com a “*China Clay*” e as “*Fire-Clay*”, estas argilas são bastante mais plásticas, mas menos refractárias.

As “*ball Clays*” são constituídas essencialmente por Caulinite de baixo grau de ordem estrutural, ou por Caulinite desordenada, cuja participação pode atingir quase 75 %. Ocorrem ainda outros minerais como as Micas, Quartzo, Clorite, Montmorilonite, interestratificados Illite-Montmorilonite e Caulinite-Montmorilonite, e ainda alguma matéria orgânica.

As “*ball Clays*” são de génese sedimentar, tendo origem em ambientes lacustres e deltaicos, próximos da rocha mãe, com a meteorização de maciços graníticos ou gnaissicos, que apresentam à partida uma elevada caulinização. Os seus depósitos, geralmente estratificados, possuem grandes quantidades de Micas e Quartzos, com diâmetro esférico equivalente semelhante à dos minerais argilosos. Como tal, possuem a particularidade das suas composições, texturas e propriedades sofrerem alguma variabilidade lateral e vertical, dentro do mesmo depósito, sendo necessário um conhecimento profundo de toda a jazida, com vista a uma extração adequada e seletiva.

Enquanto nos afloramentos as “*ball Clays*” apresentam tonalidades castanhas, cinzentas ou pretas, consoante o teor em matéria orgânica, após queima, a mesma assume tonalidades mais claras, com a destruição de toda a matéria orgânica. De facto, após cozedura ou queima a altas temperaturas, os óxidos de ferro e titânio, quase não existem nestas argilas e as mesmas podem passar a evidenciar cores mais claras como o marfim, amarelo acinzentado ou creme claro.

Segundo (Barba et al, 1997), estas argilas são utilizadas essencialmente no fabrico de pavimentos gresificados e revestimentos porosos de pastas brancas, bem como em grés porcelânico e produtos onde o grau de brancura é um requisito importante. Quando este tipo de argilas possuem um alto nível de pureza, apresentam também elevada plasticidade, o que confere às peças uma alta resistência mecânica, quer em seco, quer em cozido, permitindo ainda que a cozedura se realize num amplo

intervalo de temperaturas. Estas argilas são importantes, uma vez que podem ser incorporadas em pastas para a produção de pavimentos e revestimentos, grés sanitário e porcelana elétrica.

Como a 1800 °C, a estrutura das “*Ball Clay*” se adensa e retrai, muito dificilmente as mesmas podem ser usadas de forma isolada na cerâmica, por causa de uma retração excessiva que ocorre devido à evolução de voláteis como a água e o CO₂. Como tal, são adicionadas a outras argilas menos gordas, nomeadamente as argilas caulínicas, conseguindo-se assim um bom compromisso entre a plasticidade/trabalhabilidade e a retração após cozedura. Ou seja, a contribuição destas matérias-primas em pastas cerâmicas é variável consoante o produto final.

A título de exemplo, no fabrico de porcelanas elétricas a incorporação deste tipo de argila (até 40 % de toda a pasta) é importante graças à sua plasticidade, resistência mecânica e vitrificação. Já na porcelana fina, estas “*Ball Clay*”, nunca devem ultrapassar os 7 % de toda a pasta, uma vez que afetam a cor branca e a translucidez dos materiais cerâmicos.

5.1.2.4 – BENTONITE

A Bentonite é uma argila constituída essencialmente por Esmectites dioctaédricas, com destaque para a Montmorilonite e por termos intermédios entre Montmorilonite, Beidelite e Nontronite. Estas argilas apresentam-se gordurosas ao tacto, com cores variadas (branco, verde, azul, rosa, creme), com granulometria muito fina, elevada plasticidade, baixa refractaridade, possuindo ainda a particularidade de aumentarem dez a vinte vezes o seu volume quando em contacto com meio aquoso.

São argilas residuais, provenientes da meteorização de cinzas ou tufo vulcânicos, de rochas de carácter ácido ou intermédio (riólitos, dacitos e andesitos). Algumas rochas básicas, como as diábases e os basaltos, por ação dos agentes erosivos externos podem também dar origem a minerais argilosos que constituem a Bentonite.

As bentonites subdividem-se em bentonites que incham (“*Swelling bentonites*” ou bentonites sódicas) e bentonites que não incham (“*Non-swelling bentonites*” ou bentonites cálcicas), também denominadas metabentonites, que possuem na sua constituição, além dos típicos minerais do grupo da Montmorilonite, alguns

interestratificados Illite-Montmorilonite. O termo “inchar” é usado de forma a explicar a variação de volume destas argilas e nada tem a ver com a expansão por hidratação dos espaços entre planos estruturais basais, conhecido por “expansibilidade”.

As “*swelling bentonites*” que incham, graças à sua estrutura cristalina, composição química, elevada superfície específica e forma lamelar das suas partículas, são utilizadas como matéria-prima por excelência na constituição de lamas de sondagens, permitindo assim a remoção de “*cuttings*” resultantes do processo de perfuração. São também utilizadas como ligantes de areias em moldes para fundição, como “*pellets*” em minérios de ferro, como impermeabilizantes em sistemas de rega, são ainda aplicadas na indústria química, farmacêutica, e cerâmica e também como impermeabilizantes em sistemas de retenção e tratamento de resíduos industriais sólidos e líquidos. Além de todas estas aplicações, a sua utilização em cerâmica, passa por serem misturadas com outras argilas magras, de forma a aumentar a sua plasticidade, fundindo a temperaturas de 1200 °C.

As “*non-swelling bentonites*” que não incham, não evidenciam nenhuma tixotropia e são bastante semelhantes na composição mineralógica em relação às anteriores, diferindo destas, apenas nos catiões de troca que são predominantemente de cálcio ou magnésio. Em termos de utilizações industriais e após tratamento com ácidos inorgânicos concentrados (ácido sulfúrico entre 90 °C a 100 °C), estas matérias-primas produzem argilas ativas que são utilizadas na descoloração ou branqueamento de óleos minerais, vegetais ou animais.

De entre as “*non-swelling bentonites*”, destacam-se as argilas “*fuller’s earth*”, que são fundamentalmente argilas montmoriloníticas cálcicas, onde podem ainda estar presentes interestratificados de Illite-Montmorilonite ou de Clorite-Montmorilonite e ainda minerais argilosos fibrosos do grupo da Palygorskite. No entanto, é difícil diferenciá-las das bentonites cálcicas, devido à semelhança na composição mineralógica e nas propriedades dos catiões de troca. A principal diferença reside no facto de a bentonite cálcica só conseguir a clarificação de óleos através de uma ativação ácida, enquanto a “*fuller’s earth*” fá-lo mesmo no estado natural.

Estas argilas, embora formadas a partir de cinzas vulcânicas, não apresentam vidro vulcânico na sua constituição, sugerindo que a rocha mãe tenha sofrido um grau

maior de lixiviação e alteração. São matérias-primas excelentes para a absorção de óleos e gorduras, e clarificação de óleos, bem como absorventes de certos compostos químicos, sendo ainda usadas como condicionadores de solos, ajudando a fixar fungicidas e inseticidas. São também bons auxiliares de filtração, funcionando como agente absorvente para limpeza de soalhos, não se conhecendo contudo qualquer aplicação na indústria cerâmica.

5.1.2.5 – ARGILAS FIBROSAS

As argilas fibrosas são constituídas por minerais argilosos fibrosos, do grupo da Palygorskite e da Sepiolite. A cor que estas argilas apresentam, pode variar desde o branco ao rosa claro, no estado seco, e rosa escuro ou acinzentado quando humedecidas. Tanto a Atapulgitite, designação comercial de uma argila rica em Palygorskite, como a Sepiolite, têm origem hidrotermal ou metassomática, a que se sucede uma fase de transporte e deposição. A rocha mãe que dá origem a estas argilas, pode no entanto ser de natureza granítica, gnaissica, basáltica e até calcários cristalinos.

Apresentam algumas aplicações industriais, sobretudo na produção de esmaltes à base de magnésio, visto estas matérias-primas conterem teores relativamente elevados deste elemento. A Atapulgitite pode ser utilizada no fabrico de porcelana de “*Sèvres*” e a Sepiolite, pode ser introduzida em composições de pastas para azulejos porosos e louça sanitária. Devido à sua elevada porosidade, a Sepiolite, também pode ser utilizada na produção de ladrilhos refratários isolantes.

Estas matérias-primas, graças ao hábito alongado dos seus minerais fibrosos, só muito dificilmente floculam, apresentando assim boa viscosidade em suspensão, ou em dispersões aquosas, fazendo-se notar em meios com altos teores de eletrólitos e águas salgadas. São ainda utilizadas como agentes suspensores em tintas, fertilizantes, produtos farmacêuticos, medicinais e cosméticos, e como absorventes em camas para animais domésticos e tratamento de óleos e gorduras.

5.1.3 – ARGILAS COMUNS

As argilas comuns são as mais abundantes na natureza, sendo utilizadas no fabrico de produtos cerâmicos de menor valor comercial, tendo uma produção menos exigente, em termos de qualidade, quando comparadas com as argilas especiais.

Apresentam uma coloração avermelhada, e são utilizadas no fabrico de materiais para a construção civil, como tijolos, telhas, azulejos, ladrilhos, tubos cerâmicos e ainda utensílios para uso doméstico e decorativo. Devido às suas características proporcionam a formação de corpos cerâmicos mais porosos, e como tal, mais absorventes, em relação a todas as argilas atrás referidas.

Estas matérias-primas ocorrem sobretudo em depósitos do Terciário e Quaternário, com origens glaciares, eólicas, fluviais e até marinhas, formando-se em zonas continentais por ação da alteração de rochas ricas em Feldspatos, nomeadamente granitos e gnaisses, formando depósitos residuais ou sedimentares. Apresentam uma grande variabilidade mineralógica, cozendo a temperaturas entre 900 °C e 1050 °C, representando a base dos sectores da cerâmica estrutural, de construção e da olaria tradicional.

Em comparação com argilas especiais, as argilas comuns apresentam baixos teores da fração argilosa (entre 30 a 50 %), com um baixo contributo de finos e uma presença assinalável de areia e silte. Em termos granulométricos, as suas partículas apresentam um grão mais grosseiro, com predominância de granulometrias superiores a 20 µm. A sua plasticidade depende essencialmente do contributo dos minerais argilosos, das substâncias naturais não plásticas, matéria orgânica, tipo e teor de sais solúveis, o tipo de iões adsorvidos e do tamanho médio das suas partículas, podendo ser consideradas como argilas magras (se a fração mais grosseira for a predominante) ou gordas (se a fração de partículas inferiores a 2 µm for a predominante).

É esta heterogeneidade granulométrica, a que se juntam outras propriedades como a plasticidade, resistência mecânica à flexão em verde e em seco, retração em seco e cozido, intervalo de temperaturas de vitrificação e aspetos cromáticos após cozedura, que torna estas argilas muito versáteis no que toca às suas aplicações cerâmicas, proporcionando uma gama bastante alargada de produtos.

De uma forma geral, estas matérias-primas são de tal maneira plásticas, que se torna impossível utilizá-las de forma isolada em cerâmica, sendo necessário misturá-las com outras matérias-primas não plásticas, como a areia. Assim, sectores como a olaria, utilizam argilas plásticas, facilmente trabalháveis e moldáveis, onde argilas

excessivamente gordas (mais plásticas), podem encontrar um equilíbrio, quando adicionados materiais ou pastas menos gordas, ou magras (menos plásticas).

Estas argilas, também conhecidas como argilas do barro vermelho ou terracota, são constituídas maioritariamente por minerais dos grupos da Caulinite, da Illite, da Clorite e da Montmorilonite, com uma proporção média a alta de óxidos de ferro (> 3% do peso). É esta concentração de óxidos de ferro, que lhes confere a coloração avermelhada, podendo ainda haver outras tonalidades cremes, cinzentas, esverdeadas, e que variam de acordo com a composição mineralógica e a presença de elementos ferruginosos.

Se por um lado, os feldspatos existentes nestas argilas e que apresentam uma granulometria bastante fina, funcionam como inertes, onde na cozedura, passam a fazer parte da estrutura cristalina do material cozido, os sulfatos e sulfuretos são uma preocupação, visto serem responsáveis por uma série de eflorescências. Por último, a matéria orgânica, que pode estar presente em quantidades assinaláveis, ao existir em excesso numa pasta, irá diminuir a porosidade, provocando roturas mais frequentes durante a secagem.

Outro mineral argiloso importante nas argilas comuns pertence ao grupo das Esmectites que, em regra, contribui para o aumento da plasticidade da matéria-prima e do valor da resistência mecânica em seco do corpo cerâmico.

As argilas esmectíticas causam altas retrações e, como tal, processos como a secagem e a cozedura, devem sempre ser mais lentos de forma a evitar o fendilhamento ou a deformação dos corpos cerâmicos. Estas retrações em cozido estão sempre dependentes de fatores como o teor da fração argilosa, do teor de voláteis (CO₂, CH₄), e das características de desidratação dos minerais argilosos (*Gomes, 2002*).

Segundo *Gomes (2002)*, por vezes, associado à cozedura dos corpos cerâmicos em olaria, existe ainda a vitrificação, que representa um processo de fusão gradual, onde o líquido formado durante a cozedura constitui vidro quando arrefece, funcionando como agente ligante, conferindo assim uma maior rigidez ao corpo cerâmico. Visto este processo se manifestar a uma determinada gama de temperaturas, é importante que a temperatura de cozedura máxima e o aumento de temperatura, sejam controlados e

regulados com precisão, de forma a obter um grau de vitrificação adequado de acordo com a porosidade e resistência mecânica desejadas para o produto final.

Nesta situação, o fator mais importante em termos de comparação de temperatura de vitrificação em argilas corresponde ao tipo de minerais argilosos que constituem a sua matriz. Ou seja, em argilas onde a Ilite, a Esmectite ou a Clorite são os minerais argilosos dominantes, a temperatura de vitrificação é baixa, enquanto em argilas com elevada contribuição de Caulinite, a temperatura de vitrificação é mais elevada. Como intervenientes neste processo, podem ainda surgir certas impurezas minerais, como a Calcite e os Feldspatos, que ajudam a diminuir o valor da temperatura de vitrificação (Gomes, 2002).

Por último, a cor e a uniformidade cromática, são características importantes nas argilas comuns, especialmente ao nível da cerâmica estrutural. Estas propriedades estão dependentes do teor e estado de oxidação dos minerais ferrosos, da proporção de alguns compostos argilosos, como a alumina (Al_2O_3), o cálcio (CaO) e o magnésio (MgO), da temperatura de queima, do grau de vitrificação e da composição dos gases no interior do forno. Já a coloração vermelha que é a mais abundante na olaria tradicional obtém-se quando a argila contém 5% ou mais de Fe_2O_3 (Gomes, 2002).

Existem então dois tipos principais de argilas comuns, que se classificam de acordo com a sua aplicação. Ou seja, se a argila comum for utilizada para olaria, denomina-se de “*pottery clay*”, se for utilizada para cerâmica estrutural, denomina-se “*brick clay*”.

5.1.3.1 – ARGILA PARA OLARIA

Segundo Gomes (2002), a argila para olaria, ou “*pottery clay*” é utilizada em cerâmica ornamental de terracota, e possui um elevado grau de plasticidade, o que permite a sua moldagem e trabalhabilidade no torno do oleiro. Apresenta uma cor que varia desde o cinzento, passando por diferentes tonalidades de verde, até ao castanho avermelhado, consoante a sua composição mineralógica. Inclui na sua constituição minerais argilosos como a Caulinite, Ilite, Montmorilonite, Clorite, Vermiculite e interestratificados, e minerais não argilosos como o Quartzo, Feldspatos, Micas, óxidos e hidróxidos de ferro, tais como, Hematite, Goethite e Lepidocrocite.

Este tipo de argilas possuem baixos teores de Al_2O_3 (entre 15 a 25 %), baixos a médios teores de Fe_2O_3 (inferiores a 10 %) e após queima, proporcionam corpos cerâmicos que apresentam uma coloração variada, que vai desde o cinzento ao amarelo-ocre, castanho ou vermelho-tijolo. Esta coloração estará sempre dependente, não só dos minerais presentes, que sejam ricos em ferro, titânio e manganês, bem como da atmosfera do forno, durante a cozedura.

A cor vermelha, tão característica da olaria tradicional, só persiste se a cozedura se realizar até uma temperatura de vitrificação incipiente (inferior a 950 °C). No entanto, se ultrapassar este estado, a cor acabará sempre por escurecer. Por outro lado, altos teores em $\text{CaO} + \text{MgO}$ favorecem o aparecimento duma cor amarelo-ocre. Esta coloração é típica de argilas ricas em marga ou em calcário margoso, com temperaturas de cozedura entre 1000 °C e 1100 °C.

Estas argilas possuem um intervalo de vitrificação pouco amplo, que varia entre 1000 °C e 1100 °C, e uma fusão entre 1150 °C e 1330 °C, que pode diminuir, quando a relação $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{Fe}_2\text{O}_3 + \text{K}_2\text{O} + \text{CaO} + \text{MgO}$ também diminuir.

5.1.3.2 – ARGILA PARA CERÂMICA ESTRUTURAL OU DE CONSTRUÇÃO

A argila utilizada na cerâmica estrutural ou de construção, ou “*brick clays*”, é utilizada no fabrico de tijolos maciços e furados, telhas, ladrilhos, azulejos e outros materiais cerâmicos, destinados essencialmente à construção civil.

Em comparação com a argila utilizada em cerâmica de olaria, a argila utilizada na cerâmica de construção apresenta menor plasticidade, possuindo a suficiente, que permita a coesão e trabalhabilidade na conformação dos corpos cerâmicos, bem como a resistência mecânica a seco e após cozedura. Esta matéria-prima é constituída por uma argila grosseira, com um contributo elevado da fração silto-arenosa, onde a participação de minerais argilosos é significativamente baixa (entre 20 a 50 %), podendo conter Illite, Montmorilonite, Clorite, Caulinite e interestratificados. Tal como a “*pottery clay*”, a argila para cerâmica estrutural apresenta minerais não argilosos tais como Quartzo, Micas, Calcite, Dolomite, sulfatos como Gesso, sulfuretos como Pirite e Marcassite, óxidos e hidróxidos de ferro como Hematite e Goethite, cuja participação de areias vai desde os 20 aos 30 %, e a de calcário entre 5 e 25 %.

Apesar deste tipo de argila não possuir uma pureza igual às anteriores, constitui uma matéria-prima cujas propriedades permitem a sua interação com a água, garantindo uma deformabilidade suficiente, para que adquira uma forma definitiva. Após secagem, estas argilas adquirem rigidez e força de coesão, aumentando a densidade com o aumento da temperatura. São matérias-primas com cores mais ou menos avermelhadas e que variam consoante os teores em óxidos de ferro, sendo cozidas a temperaturas entre 850 °C e 950 °C, dando forma a peças porosas e sem vidrado.

Neste caso, o seu comportamento tecnológico está sempre mais dependente da distribuição dimensional do grão, do que da composição química. Ou seja, tal como referido anteriormente, a fração com dimensão inferior a 2 μm , diz respeito à componente argilosa de uma dada matéria-prima, que se torna um parâmetro característico, uma vez que nos fornece informações acerca da sua afinidade com a água, a retração durante secagem e cozedura, a trabalhabilidade, a resistência mecânica e a porosidade da pasta.

Assim, *Winkler (1954)* definiu um diagrama triangular (Fig. 5.2) onde são projetados os teores das diversas frações, permitindo selecionar a matéria-prima adequada, indicando para que tipo de produto cerâmico será a mais favorável.

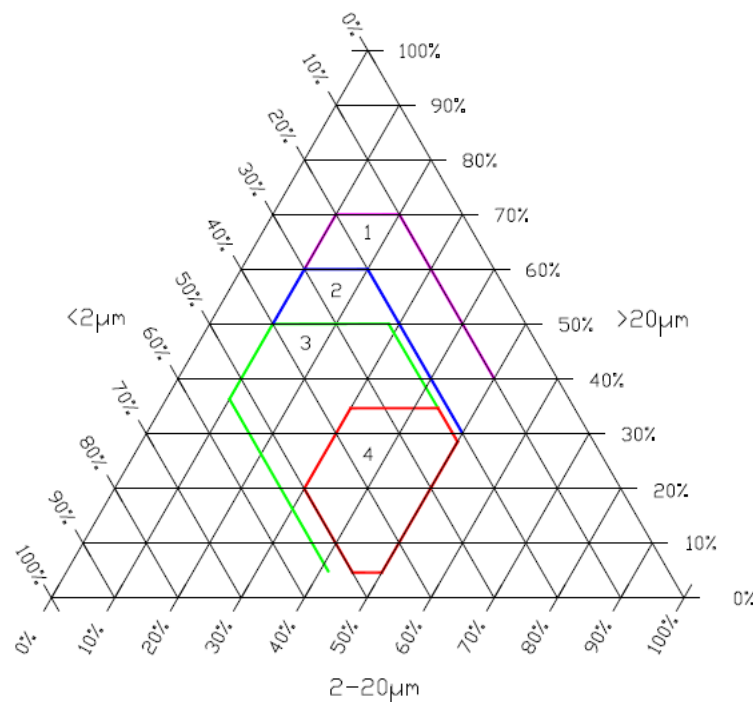


Fig. 5.2 - Diagrama de Winkler com frações granulométricas do tijolo maciço (1), tijolo furado (2), telha (3) e tijoleira (4) (*Adaptado de Martins, 2007*).

Em relação à composição química, as “*brick clays*” apresentam grandes variações relativas às percentagens de sílica, alumínio, ferro, cálcio, sódio, potássio, etc.. Este conhecimento, apesar de não ser fundamental, é importante, uma vez que nos fornece informações sobre a influência de vários elementos na resistência mecânica, devido à formação de fases líquidas de sinterização, ou de reestruturação interna.

A composição química garante-nos o conhecimento sobre o comportamento dos elementos constituintes das pastas às diferentes temperaturas, nomeadamente perdas de substâncias durante as fases de secagem e cozedura, podendo ainda indicar a quantidade e tipo de elementos nocivos que se libertam durante as fases referidas anteriormente e que podem contaminar e corroer as estruturas dos fornos (Martins, 2007).

A cor vermelha que as “*brick clays*”, destinadas ao fabrico do tijolo, apresentam após queima a baixas temperaturas (950 °C), deve-se principalmente à oxidação de compostos de ferro, que no final se apresentam na forma de óxido férrico. Quanto maior for a quantidade destes óxidos, mais intensa será a coloração avermelhada. Já a coloração branca e creme destas argilas, resulta da dissociação do calcário, que tende a combinar-se com o ferro, formando silicatos duplos de ferro e cálcio. Já teores elevados de ferro, elementos alcalinos e alcalino-terrosos são prejudiciais, uma vez que causam retrações acentuadas, colorações indesejáveis e reduções nas faixas de vitrificação dos corpos cerâmicos (Martins, 2007).

No fabrico de telhas, as argilas devem apresentar as mesmas características referidas anteriormente, devendo ainda possuir uma plasticidade adequada para a moldagem, elevada tensão ou módulo de rotura à flexão após secagem, permitindo o seu manuseamento entre este estágio e a cozedura, baixa porosidade e absorção de água, transformando-se assim num produto cerâmico impermeável. Tal como as anteriores, também aqui, se verifica a coloração vermelha após cozedura a 950 °C.

Na execução de ladrilhos, as argilas são plásticas, de fácil moldagem, com elevados teores de ferro e metais alcalinos que vitrificam a temperaturas relativamente baixas. Para temperaturas habituais de cozedura, entre 1000 °C e 1100 °C, a pasta apresenta uma cor vermelho-vivo, proporcionando baixos valores de absorção de água e porosidade aparente inferior a 5 % devido ao elevado grau de vitrificação que se verifica.

Por último, as argilas destinadas ao fabrico de manilhas vidradas são de uma forma geral plásticas, de boa extrudibilidade, pouco ricas em fundentes, e como tal semi-refractárias. Devem possuir elevados valores de resistência mecânica à compressão a verde, para que não se deformem com o próprio peso, bem como uma composição química adequada que permita a absorção de sais como o cloreto de sódio e um vidrado uniforme sem trincas, que são ruturas no corpo cerâmico provocadas por esforços mecânicos que se materializam em descontinuidades superiores a 1 mm.

5.2 – MATÉRIAS-PRIMAS NÃO PLÁSTICAS

As matérias-primas não plásticas, ou não argilosas, são várias, possuindo cada uma delas funções distintas e particulares, dividindo-se em fundentes e desengordurantes. Das principais matérias-primas não plásticas, fundentes, contam-se os Feldspatos, o Sienito Nefelínico, a Calcite, a Dolomite, o Talco, o Chamote e o Quartzo.

Estes materiais naturais contribuem para a formação de vidro no interior do corpo cerâmico cozido, levando a uma aglomeração de todos os componentes, reduzindo desta forma a porosidade e aumentando a resistência mecânica da peça. Estes fundentes têm ainda a particularidade de permitirem reajustes a temperaturas mais baixas do que aquelas que seriam de esperar se não fossem utilizados, levando a uma economia energética durante o processo da cozedura.

5.2.1 – FELDSPATOS

Os Feldspatos, que podem ser potássicos (K), cálcicos (Ca), sódicos (Na) ou mistos, consoante a sua constituição química, funcionam como fundentes numa pasta cerâmica, tendo em conta que contribuem para a formação de um vidro, através da aglutinação dos outros componentes.

Enquanto os Feldspatos da série alcalina como a Albite e a Ortoclase que são os mais utilizados na indústria cerâmica, fundem a 1100 °C e 1200 °C, os Feldspatos da série cálcica, não são utilizados nesta indústria, uma vez que a sua temperatura de fusão é muito elevada, rondando 1400 °C e 1500 °C. Já os Feldspatos da série sódica que fundem a temperaturas que variam entre 1118 °C e 1150 °C, por possuírem viscosidades de fusão muito altas, são bastante utilizados na indústria do vidro.

O fator determinante da utilização dos Feldspatos potássicos como fundentes na indústria cerâmica, deve-se ao facto destes minerais apresentarem uma fusão gradual, numa gama alargada de temperaturas, permitindo a libertação eficiente dos gases existentes na pasta, refletindo-se depois no aumento dos valores de resistência mecânica e na diminuição dos defeitos estruturais do produto final (Martins, 2007).

O sienito nefelínico é uma rocha com interesse especial como fonte de Feldspato, visto ser constituída quase na sua totalidade por Feldspato potássico e Nefelina, tratando-se este mineral de um feldspatoide de composição química $(K,Na)AlSiO_4$.

Apesar dos elevados teores de Feldspato potássico presentes no sienito nefelínico, existem também outras características que limitam a sua utilização na indústria cerâmica, tais como a existência de teores elevados de Fe_2O_3 , teores relativamente baixos de alumina, estando o seu aproveitamento e tratamento sujeito a desenvolvimento tecnológico, o que conduz forçosamente a um aumento do preço desta matéria-prima. Além dos valores pouco competitivos no mercado, também a grande distância entre as suas jazidas e os principais polos cerâmicos é um fator pouco favorável para a sua utilização na indústria cerâmica.

5.2.2 – CALCÁRIOS, DOLOMITE E CALCITE

As rochas carbonatadas, nomeadamente os calcários compostos essencialmente por Calcite ($CaCO_3$) e as dolomias compostas essencialmente por Dolomite ($CaMg(CO_3)_2$) possuem características que permitem serem utilizadas como fundentes na indústria cerâmica. A distribuição das rochas carbonatadas em Portugal dá-se em manchas descontínuas, a que estão associados alguns centros produtores de calcário sedimentar e cristalino, utilizados como rocha ornamental ou na produção de agregados.

Particularmente, na Zona dos Mármore (calcários cristalinos), nos Conselhos de Estremoz, Borba e Vila Viçosa, existem escombreyras constituídas maioritariamente por mármore sem qualidade para rocha ornamental, e por dolomias, juntamente com depósitos de “natas” (lamas resultantes dos processos de serragem e polimento da pedra natural), colocadas junto à corta de pedreiras que causam impactes ambientais e paisagísticos de variada ordem (Martins, 2007), provocando alterações na drenagem superficial e permeabilidade do solo, contaminação de águas superficiais e subterrâneas,

diminuição da qualidade, destruição do solo e coberto vegetal e redução da atividade agrícola.

Devido a recentes imposições ambientais, os industriais são obrigados a procurar soluções para estes volumes de resíduos, verificando-se particularmente um aproveitamento acentuado das escomboreiras, na produção de agregados com vista à construção rodoviária e à construção civil. Também se têm realizado alguns estudos para o aproveitamento das lamas resultantes do corte e polimento de rocha ornamental.

Martins (1996) realizou ensaios de aplicação de “nata” produzida na serragem do mármore na indústria cerâmica, particularmente no fabrico de faiança, com resultados bastante promissores, sendo constituída quase exclusivamente por Calcite com uma granulometria muito fina. A “nata” pode então funcionar como fundente numa pasta de faiança, mas também como desengordurante, reduzindo a plasticidade e a retração, facilitando a secagem tanto no exterior como no interior do molde.

As dolomias ocorrem em afloramentos associados às rochas calcárias, podendo ter origem sedimentar ou metamórfica. Em termos de aplicações cerâmicas, a dolomia pode ser utilizada no fabrico da porcelana e faiança, consoante a sua composição química.

Por último, se as rochas carbonatadas, quer calcíticas, quer magnesianas, possuírem elevados teores dos respetivos carbonatos (CaCO_3 e MgCO_3), superiores a 97 %, podem ser utilizadas no fabrico de cal viva, sendo um processo que se verifica durante o cozimento de peças cerâmicas, quando estes materiais são utilizados como fundentes.

5.2.3 – TALCO

O Talco é um mineral secundário, resultante de processos metamórficos e hidrotermais, devendo-se a sua formação à ação de soluções alcalinas ricas em CO_2 e SiO_2 , sobre silicatos de magnésio, tais como Olivinas, Piroxenas e Anfíbolas. O Talco é o primeiro elemento da Escala de Mohs, tendo por isso dureza um, e apresenta uma variedade de aspetos cromáticos que podem ir desde o verde-claro, até ao branco, passando por tonalidades acastanhadas e amareladas.

Esta substância mineral que é utilizada no fabrico de variados produtos cerâmicos, sendo incorporado nas pastas cerâmicas para a produção de cerâmica branca, eletrocerâmica, refractários, fundentes e corpos vitrificados, tem a particularidade de formar fases cristalinas, tais como Enstatite, Cristobalite e Cordierite, durante a cozedura do corpo cerâmico melhorando as suas propriedades.

No fabrico de louça utilitária e decorativa, o talco proporciona uma redução da temperatura de cozedura, contribuindo para uma diminuição da retração do corpo cerâmico e um aumento da sua resistência mecânica à flexão. Já na eletrocerâmica, o Talco é um bom isolador de eletricidade a altas temperaturas, possuindo um baixo coeficiente de dilatação térmica e uma elevada resistência aos impactos térmicos.

Se o talco for particularmente puro com uma pequena percentagem de ferro na sua constituição, durante o processo de cozedura e à temperatura de 1050 °C irá comporta-se como um inerte, sendo a partir desta temperatura que esta substância mineral começa a participar nas reações que se desencadeiam, tomando um comportamento de fundente.

A introdução desta matéria-prima nas pastas cerâmicas tem como principal objetivo o controlo da expansão térmica no fabrico de azulejos, onde existe um elevado coeficiente de dilatação a temperaturas baixas que favorecem o acordo pasta-vidrado, podendo assim assumir o papel dos carbonatos. Se for utilizado a temperaturas mais elevadas, o seu papel inverte-se, sendo por vezes introduzido em pastas cerâmicas para melhorar a resistência ao choque térmico. Por último, esta matéria-prima, em pastas esmectíticas é utilizada como aditivo, contribuindo assim para a diminuição da retração e do fendilhamento dos corpos cerâmicos.

5.2.4 – CHAMOTE

O chamote é um barro cozido, que não teve continuidade no circuito fabril, e que se for moído até atingir granulometrias que variam entre 80 µm e os 800 µm, fica em condições de poder ser incorporado em pastas cerâmicas. Visto ser quimicamente inerte e não reagir com os outros componentes de uma pasta, pode funcionar como desengordurante e como controlador do choque térmico.

Este tipo de material, quando incorporado até 20 % em pastas cerâmicas permite aumentar a resistência à rotura por flexão dos copos cerâmicos, no entanto, para percentagens superiores de incorporação os valores da resistência à rotura por flexão acabam por descer. Este comportamento estará relacionado com a reatividade do chamote durante a cozedura, a qual se integra durante certos limites, na estrutura silico-aluminosa.

5.2.5 – QUARTZO

O Quartzo é um mineral que surge em rochas formadas a pressões e temperaturas altas, em erupções vulcânicas e como subprodutos de alteração destas rochas, devido à meteorização. Neste processo, o próprio Quartzo, pode sofrer alterações estruturais, formando polimorfos, que tanto podem aparecer em cristais isolados, ou em agrupamentos de cristais (*Martins, 2007*).

É uma matéria-prima constituída exclusivamente por sílica (SiO_2) que possui elevada dureza, sete na Escala de Mohs, é refractário e possui também elevado poder abrasivo, fundindo a 1780 °C. Na natureza, pode ainda estar presente sob a forma de polimorfos do Quartzo, como Cristobalite e Tridimite.

Uma das aplicações diretas do Quartzo é na indústria metalúrgica, onde graças à sua estrutura cristalina perfeitamente definida, homogeneidade e dureza, é utilizada como mineral inerte, sendo por isso aplicado em moldes que aguentem altas temperaturas, sem entrarem em fusão. O quartzo costuma ser utilizado maioritariamente sob a forma de areias provenientes de depósitos sedimentares, resultantes da deposição de partículas transportadas pela água e pelo vento quando estes perdem capacidade de transporte, precipitando-se de forma seletiva, consoante a sua densidade. Visto este mineral ser muito resistente, vai persistir e tornar-se no elemento predominante nesses depósitos sedimentares.

Estas areias, essencialmente quartzosas, se possuírem determinadas características próprias, das quais sobressaem a granulometria, a componente da fração argilosa, o índice de finura, a mineralogia e a composição química, podem ser utilizadas em indústrias exigentes, como a indústria cerâmica, vidreira, fundição, tintas e fabrico de colas.

Na indústria cerâmica, estas areias, têm como função o controlo das contrações excessivas das pastas cerâmicas verificadas durante a secagem e a cozedura, bem como do coeficiente de expansão térmica que pode impossibilitar em alguns casos a coerência e compatibilidade pasta-vidrado, levando ao surgimento de defeitos, tais como o “craquelet”. Além das funções referidas anteriormente, também podem desempenhar o papel de desengordurante, nos processos de enchimento, contribuindo para uma melhor desfloculação da suspensão ou barbotina.

No entanto, e apesar destas areias apresentarem um papel fundamental no controlo volumétrico das pastas durante o processo de fabrico de um corpo cerâmico, é necessário o conhecimento pormenorizado do material, devido às características próprias do Quartzo e às suas modificações estruturais, traduzidas por alterações da estrutura e forma cristalina, causadas pelos aumentos e diminuições de temperatura.

No fundo, à medida que se dá o aumento da temperatura, a sílica vai adotando diferentes formas estáveis. À temperatura de 573 °C, dá-se a transformação do Quartzo α para o Quartzo β , com a conseqüente variação brusca de volume, continuando o aquecimento, verifica-se uma passagem para Tridimite γ a 870 °C, surgindo a Cristobalite β a 1470 °C. Se o aquecimento não atingir 1470 °C, todo o Quartzo acaba por se transformar em Tridimite β , não voltando a retomar a estrutura própria do Quartzo α .

O arrefecimento entre 573 °C e a temperatura ambiente, deve ser efetuado a ritmo uniforme, caso contrário corre-se o risco de se criarem tensões e roturas no corpo cerâmico. Ao proceder-se a este arrefecimento, os estados de equilíbrio não se sucedem como no aquecimento, podendo a Cristobalite β manter-se até temperaturas próximas de 200 °C, transformando-se de seguida em Cristobalite α .

Este perfeito conhecimento do comportamento dos polimorfos da sílica (SiO_2), bem como das variações bruscas de volume com a temperatura é de grande importância para a produção de refratários, utilizados nos fornos da indústria siderúrgica. Assim, neste tipo de indústrias onde são produzidos materiais a altas temperaturas, são utilizadas preferencialmente misturas de Cristobalite com Tridimite, evitando-se assim grandes variações de volume verificadas na passagem de Quartzo α a Quartzo β .

6 – PROCESSO CERÂMICO EM OLARIA TRADICIONAL

O fabrico de uma peça cerâmica implica um conjunto de diferentes processos técnicos onde se inclui a preparação da matéria-prima, a conformação da peça, a secagem, a cozedura e o seu acabamento. Estes procedimentos básicos são utilizados, tanto no fabrico de cerâmica utilitária, como de decoração, como ainda na cerâmica estrutural, encontrando-se diferenças, apenas em algumas operações específicas.

No fabrico de louça de olaria tradicional, no Alentejo, usam-se três tipos de processos, entre eles, o tradicional de origem mais antiga, o contemporâneo de origem mais recente e o misto.

O processo contemporâneo recorre a matérias-primas produzidas industrialmente, normalmente importadas de Espanha ou outras regiões de Portugal, substituindo o barro de origem local, utilizando equipamentos mecanizados, tanto na preparação da pasta, como na conformação da louça, observando-se assim a substituição de fornos a lenha, por fornos a gás ou elétrico. No processo de fabrico misto, e para a preparação das matérias-primas, recorre-se à fieira, mas o torneamento da peça é manual, utilizando-se fornos a gás, lenha ou eletricidade para a cozedura das peças (*Gancho, 1998;2000*).

6.1 – PREPARAÇÃO DAS MATÉRIAS-PRIMAS

Devido à grande variabilidade das argilas, até nos próprios afloramentos, é necessário que exista um controlo apertado das matérias-primas, uma vez que as mesmas podem afetar de forma significativa todo o processo cerâmico e os produtos acabados.

O processo de preparação das matérias-primas, no fabrico de louça e cerâmica de conservação (principais alvos da olaria tradicional), é composto por três operações: extração, depuração e amassadura, onde as últimas duas se realizam tanto de forma manual, como de forma semi-mecânica. A argila, depois de extraída dos barreiros (na maioria dos casos localizados junto das unidades fabris e pequenas olarias por razões económicas), passa por uma pré-preparação, com vista à sua homogeneização, em termos mineralógicos, químicos e granulométricos.

A extração de argilas faz-se no início e fim do verão, de forma a constituir reservas suficientes até ao verão seguinte, uma vez que durante o inverno, para além da dificuldade de deslocação de viaturas no campo, existem certas operações que apenas podem ser realizadas durante as épocas mais quentes e secas.

As jazidas de argilas, ou barreiros, são extraídos a céu aberto, de onde é retirado o “cabeço de solos” que corresponde aos primeiros 50 cm de perfil do solo. Esta camada superficial é retirada, uma vez que possui muitas impurezas, que acabam por causar alguns defeitos nas peças. Desta forma, aproveita-se apenas a camada de solo, entre os 50 cm e 1 m de profundidade, sendo o restante afloramento reorganizado de forma a diminuir o desnível do terreno, repondo assim a topografia inicial.

Em seguida, realiza-se a depuração, que representa um conjunto de processos, onde se prepara e limpa a argila antes de esta ser amassada. Se a depuração ocorrer de forma manual, é constituída por quatro fases distintas:

1. Partilhar ou migar, que se dá no pátio da olaria, e consiste na desagregação dos torrões de argila e na remoção de algumas impurezas como pedras ou impurezas maiores;
2. Lotear, onde se misturam argilas de qualidades diferentes, numa tina ou tulha (por vezes com argilas de barreiros diferentes), de modo a corrigir a natureza gorda ou magra da argila, operação nem sempre sendo executada se a argila for de excelente qualidade;
3. Derregar e lavar o barro, que consiste na desagregação das partículas de argila dentro da tina ou tulha, misturando-a com água durante várias horas, com a finalidade de remoção das impurezas;
4. Coar e decantar a argila, onde se peneira a calda anteriormente preparada com auxílio de um arneiro, não peneirando o material depositado até 30 cm de fundo, que se considera desperdício. O material passado no arneiro, é depositado num tanque de “chão roto” para permitir o escoamento do excesso de água, adquirida pela argila nos processos anteriores, de modo a obter-se uma consistência que permita o seu manuseamento.

Por outro lado, se a depuração ocorrer de forma semi-mecânica, apenas as três primeiras etapas se verificam.

A amassadura da argila tem como objetivo eliminar as bolhas de ar de forma a tornar a pasta mais homogênea e mais fina ao tacto, sendo nesta fase que o barro é dividido em porções cilíndricas necessárias para a conformação de uma peça.

Após a conformação de um cilindro de barro, “sova-se” novamente o mesmo com o objetivo de retirar ainda algumas bolhas de ar que possam ter ficado durante a operação de “sovar” o barro, com um movimento de rotação inverso de cada uma das mãos, provocando uma torção que leva à rotura do cilindro.

Por último, ocorre o processo de empelar, que consiste em reduzir o cilindro de barro inicial em porções de pasta que o oleiro irá utilizar na realização de um peça de louça ou parte dela, quando a mesma é resultado da conjugação de diferentes peças.

6.2 – CONFORMAÇÃO

A conformação das peças cerâmicas tem como objetivo dar a forma pretendida à argila ou pasta, para que seja possível a sua modelagem e torneamento. A modelagem é feita manualmente, sendo utilizada na conformação de asas e feitios a aplicar nas peças. Já o torneamento é utilizado na conformação das peças de louça utilitária e pode ser realizada em roda de oleiro ou em torno elétrico. A moldagem é um processo que pode ser manual, na produção de peças não circulares, ou mecânica, para a produção de louça aberta de pequena dimensão realizada em pequenos moldes.

6.3 – SECAGEM

Esta fase do processo cerâmico é especialmente delicada, uma vez que a remoção de água deve ser feita gradualmente, de forma a perturbar minimamente a forma e o volume dos corpos cerâmicos. De facto, o corpo cerâmico é uma estrutura complexa, constituído por diversos materiais, que compõem a pasta cerâmica e que respondem de forma diferenciada às variações de temperatura e humidade.

Para além das matérias-primas plásticas, a maioria das matérias-primas não plásticas, possuem também elas, um papel fundamental na formação do corpo cerâmico, uma vez que permitem uma maior estabilidade dimensional e uma maior porosidade dos corpos cerâmicos, facilitando assim a sua secagem. Outros fatores como a porosidade existente numa argila, e os diferentes teores de humidade numa mesma pasta, são outras das propriedades que devem sempre ser controladas.

Antes do processo de cozedura, as peças cerâmicas devem ser sempre secas, de forma a perderem a água em excesso (através de evaporação), adquirida pela pasta ao longo do processo inicial de conformação. A secagem pode ser efetuada em meio natural (olaria tradicional), ou em secadores apropriados, como os secadores de câmaras, contínuos, semicontínuos, rápidos e secagem direta sobre vagões de forno de túnel (*Gomes, 2002*).

De uma forma geral e, tendo como exemplo o setor da olaria tradicional, o processo de secagem faz-se até temperaturas próximas de 110 °C. Durante este processo o ar promove a evaporação da água presente na superfície das peças. Este facto cria um fluxo por capilaridade até à superfície, da água livre que inicialmente preenche espaços e poros entre partículas, levando-a a ocupar os espaços vazios deixados pelas moléculas de água que entretanto passaram para a atmosfera (*Martins, 2007*).

Na primeira fase de secagem, a peça endurece e a matéria argilosa retrai de uma forma não uniforme, secando primeiro as extremidades e depois o interior da massa. Tendo em conta, que esta é uma secagem diferencial é uma das operações mais delicadas, e como tal, deve ocorrer muito lentamente, caso contrário, as peças poderão apresentar fendas e deformações, devido a uma rápida contração.

Durante o verão, este processo pode demorar dois a três dias, devendo-se ter sempre alguns cuidados, de forma a evitar uma secagem muito rápida. Durante o Inverno, a mesma pode ser executada de forma mais gradual e homogénea, podendo demorar, até cerca de um mês. Este processo depende não só do tipo de peça, mas também do local onde o mesmo ocorre, aconselhando-se o uso de espaços arejados e secos, onde as peças possam ser viradas e recolocadas num local diferente dentro da olaria, de forma a permitir uma secagem homogénea.

6.4 – COZEDURA

A cozedura é o processo da produção do corpo cerâmico, durante o qual este adquire definitivamente as suas características e propriedades devidamente adequadas aos fins a que se destina. Assim sendo, uma pasta cerâmica é sempre sujeita a uma gama de temperaturas de cozedura, mais apropriadas às matérias-primas que a constituem e às propriedades finais desejadas do produto cerâmico. Após a secagem prévia da peça ao

ar ou em secadores ventilados, a cozedura é realizada em fornos, podendo ser realizada uma, ou duas operações de cozedura distintas.

Quando é realizada apenas uma cozedura, esta é denominada “cozer a chacota”, ou cozedura da matéria-prima. Nesta fase, é importante, que o aquecimento do forno seja lento, programando-se diferentes patamares de temperatura, durante períodos de tempo específicos, uma vez que ainda podem ocorrer variações de volume de uma forma muito acentuada, provocada pela resposta diferencial dos diferentes minerais aos aumentos de temperatura (Quadro nº 6.1).

Quadro nº 6.1 - Reações físicas e químicas estabelecidas durante o aquecimento de um corpo cerâmico (*Adaptado de Gomes, 2002*).

Temperatura	Reações
Até 150 °C	Perda de água livre (água excedente e móvel não fixada à superfície das partículas, sendo a primeira a sofrer evolução gasosa) e de água higroscópica (fixada à superfície das partículas por ação de tensão superficial, sendo a segunda a sofrer evolução gasosa). A perda de um e de outro tipo de água provoca forte retração do corpo cerâmico, que se não for bem controlada pode causar fissuração irremediável no corpo cerâmico.
250-350 °C	Perda de água zeolítica quando nas matérias-primas argilosas estão presentes minerais argilosos expansivos (caso de esmectites) que possuem água deste tipo; perda de água de constituição de hidróxidos de ferro (caso de goethite) quando estão presentes; perda por combustão de matéria orgânica (húmus) quando ela existir. As perdas referidas implicam retrações do corpo cerâmico.
450-700 °C	Perda de água de constituição ou estrutural dos minerais argilosos (de minerais do grupo da caulinite e da esmectite a temperaturas mais baixas e de minerais do grupo da ilite/mica a temperaturas mais altas). Desta perda de água resulta o colapso e a amorfização da estrutura cristalina dos minerais argilosos referidos e a consequente retração do corpo cerâmico. Por exemplo, a caulinite possui cerca de 14% em peso de água estrutural.
573 °C	Inversão do quartzo α em quartzo β . O quartzo é um mineral ubíquo nas matérias-primas cerâmicas argilosas. Da inversão referida resulta uma pequena dilatação (cerca de 2%) do corpo cerâmico.
700 - 900 °C	Evolução gasosa de CO_2 por decomposição de carbonatos, a temperatura mais baixa quando se trate de dolomite (carbonato duplo de cálcio e magnésio) e a temperatura mais alta quando se trate de calcite (carbonato de cálcio). Tal implica a criação de porosidade adicional no corpo cerâmico.
Acima de 800 °C	Começa a ter lugar a sinterização do corpo cerâmico e da reação entre si da sílica, da alumina e dos outros óxidos (de ferro, de potássio, de cálcio, de sódio) resulta a formação de novas fases cristalinas (as chamadas fases cristalinas de alta temperatura). Do facto resulta também a diminuição da porosidade do corpo cerâmico, a diminuição da absorção de água e o aumento da resistência mecânica à flexão.

Além do controle do aumento da temperatura, é também importante controlar o arrefecimento no interior do forno, principalmente quando aos 573 °C ocorre a nova inversão do Quartzo, acompanhada de rápida contração de cerca de 2%, e, entre os 700 °C e os 450 °C, quando ocorre a solidificação dos vidrados, sendo necessárias velocidades de arrefecimento mais lentas, de forma a evitar o aparecimento de gretas nos corpos cerâmicos. No geral, os três momentos críticos durante o processo de cozedura situam-se no aquecimento, entre 500 °C e 600 °C, e entre 900 °C e 1070 °C e, por último, no arrefecimento, entre 600 °C e 400 °C, existindo por isso a necessidade de um controlo rigoroso das velocidades de aquecimento e arrefecimento do forno nestes patamares de temperatura.

Durante a operação de cozedura e devido às alterações físicas e químicas referidas anteriormente, a argila, torna-se dura, e apresenta a sua configuração permanente, com uma resistência mecânica à flexão superior à revelada na secagem ao ar, apresentando ainda algumas propriedades refractárias e alguma porosidade.

Quando se realizam duas cozeduras, a segunda designa-se por “cozer a vidro”, na qual o aquecimento do forno é mais rápido e pode atingir temperaturas superiores a 1000 °C. A duração das cozeduras depende sempre da dimensão da câmara do forno, da quantidade de material cerâmico que se colocou no forno, do tipo de cozedura e da dimensão dos objetos cerâmicos.

6.5 – ARREFECIMENTO

Tal como a secagem e a cozedura, que são processos obrigatoriamente lentos, também o arrefecimento assim tem de o ser. Ou seja, quando o forno atinge a temperatura necessária à cozedura da louça a fonte de energia térmica é interrompida e o forno irá arrefecer até atingir de novo a temperatura ambiente.

O tempo necessário para o arrefecimento da louça depende sempre também da qualidade e quantidade da louça que existe na câmara do forno, a temperatura máxima atingida, as características do forno e o valor da temperatura no exterior. Após o arrefecimento das peças ocorre o desenformamento, onde as mesmas sofrem uma inspeção manual, visual e sonora da qualidade da louça antes de se proceder à sua limpeza final, ou seguirem para vidragem.

6.6 – VIDRAGEM DAS PEÇAS CERÂMICAS

A vidragem, ou cozedura do vidrado, é um processo que consiste no aumento da impermeabilização das peças cozidas, através da aplicação por imersão, vertimento ou pincelamento, de um pó de vidro contendo sílica combinado com uma mistura de óxidos de sódio, potássio e cálcio, misturado com água na superfície do corpo cerâmico.

A maior parte das peças vidradas acaba por ser chacotada a uma determinada temperatura, voltando sempre ao forno após a aplicação do vidrado a uma temperatura superior. A grande diferença entre a cozedura do vidrado e a cozedura de chacota reside no patamar de temperatura constante, em que o forno está ligado num período de vinte a trinta minutos. Ou seja, este patamar representa o período de maturação do vidrado, durante o qual todas as reações químicas devem ser completas, inclusive a expulsão dos gases de fusão (*Canotilho, 2003*).

A primeira operação consiste na preparação do forno para a cozedura do vidrado, devendo o cuidado ser muito grande, uma vez que se trabalha com vidros fundentes que poderão verter para as placas do forno. Desta forma, será importante aplicar um revestimento protetor para que o vidrado não escorra pela peça até às placas, através da aplicação de uma mistura em partes iguais de caulino e sílex, ou caulino e alumina, acrescentando água, evitando-se desta forma a sua deterioração. A utilização de uma esponja molhada para limpar a base da peça cerâmica do excesso de vidrado, também ajuda a evitar que o mesmo escorra pelo forno.

Visto o vidrado entrar em fusão durante o processo de cozedura é importante que existam espaços livres entre as peças e entre estas e as paredes do forno, de aproximadamente 1,5 cm. Para que ocorra sucesso e exista uma aderência perfeita no acordo pasta-vidrado é importante que se considerem os seguintes aspetos:

- O aquecimento e o arrefecimento devem ser uniformes em toda a peça;
- Os gases provenientes da cozedura dos vidrados, têm de ser libertos por completo, evitando que o CO₂ fique aprisionado sob o vidro, dando origem a variados defeitos;
- O vidrado deve sofrer uma maturação completa, através da existência de um patamar de temperatura, à temperatura de fusão, num período que pode ir de vinte a trinta minutos, levando a que as reações químicas sejam completas.

7- ENQUADRAMENTO GEOLÓGICO REGIONAL

O Anticlinal de Estremoz está integrado no sector setentrional da conhecida Zona de Ossa Morena (Fig. 7.1) que corresponde a uma das principais unidades tectónico-estratigráficas da Orogenia Hercínica que se desenvolveu entre o período Devónico e o Carbónico.

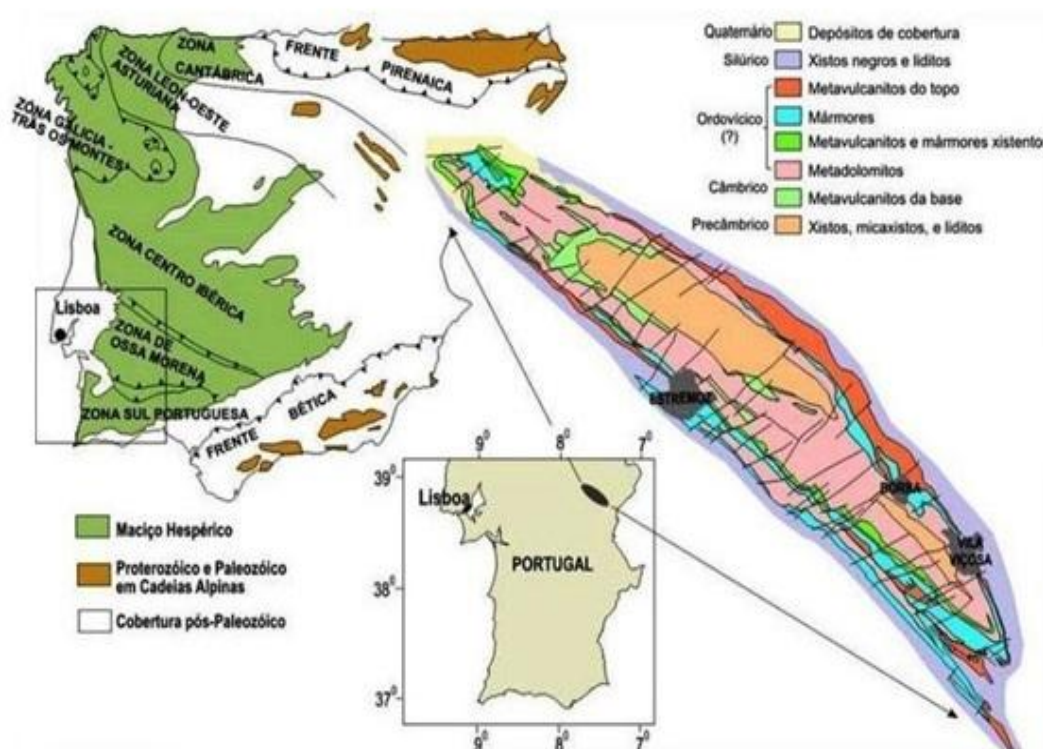


Fig. 7.1 - Enquadramento geológico do Anticlinal de Estremoz (Lopes, 2003).

As unidades geológicas que afloram nesta região são na sua grande maioria de origem sedimentar, o que faz prever que sejam litologicamente muito variadas, em consequência das variações dos materiais depositados, das diferentes condições e locais de deposição. Esta complexidade foi posteriormente aumentada pelas condições de evolução a que as rochas estiveram sujeitas ao longo dos tempos geológicos, sofrendo deformação e metamorfismo.

O anticlinal engloba unidades geológicas que se distribuem, em termos de idade, desde o Pré-Câmbrico ao Silúrico, passando pelo Ordovício e, mais recentemente, com os depósitos de cobertura que datam do Quaternário. Esta estrutura corresponde a uma estrutura grosseiramente simétrica disposta em anti forma anticlinal. Apresenta uma forma elíptica com cerca de 360 km² (45 km x 8 km), que se prolonga segundo o seu eixo maior desde a povoação do Cano a noroeste até ao Alandroal a sudeste.

O núcleo mais antigo do Anticlinal de Estremoz data do Proterozoico Superior e tem idades provavelmente compreendidas entre 700 e 540 milhões de anos, sendo constituído por xistos negros, metagrauvaques e metachertes negros, apresentando-se bastante alterados, aflorando em dois núcleos que definem duas depressões topográficas a norte de Estremoz e entre Borba e Vila Viçosa (Lopes, 2003).

Para este local admite-se a existência de um ciclo orogénico Cadomiano, anterior ao ciclo Varisco, que se caracteriza pela estruturação interna de clastos, com a presença de dobras, constituintes do conglomerado da base do Câmbrio Inferior do nordeste alentejano, cuja origem é essencialmente vulcânica. Os materiais constituintes deste conglomerado correspondem aos observados nos afloramentos do Pré-Câmbrio, que devido a apresentarem-se arredondados, é possível definir uma direção este-oeste para a superfície de deposição dos sedimentos na bacia de sedimentação paleozoica, que é substancialmente diferente da orientação do Anticlinal de Estremoz.

A esta formação sucedem-se os metavulcanitos, com ambos a fazerem já parte da importante formação dolomítica de idade Câmbria Inferior, datada por comparação litoestratigráfica com a formação carbonatada de Elvas e outras similares, que se encontram um pouco por toda a Zona de Ossa-Morena. Além dos metavulcanitos ácidos e básicos, fazem ainda parte desta formação as arcoses, os calcários dolomíticos e calcíticos, intercalados entre si, por vezes, xistificados (Fig. 7.2) (Lopes, 2003).

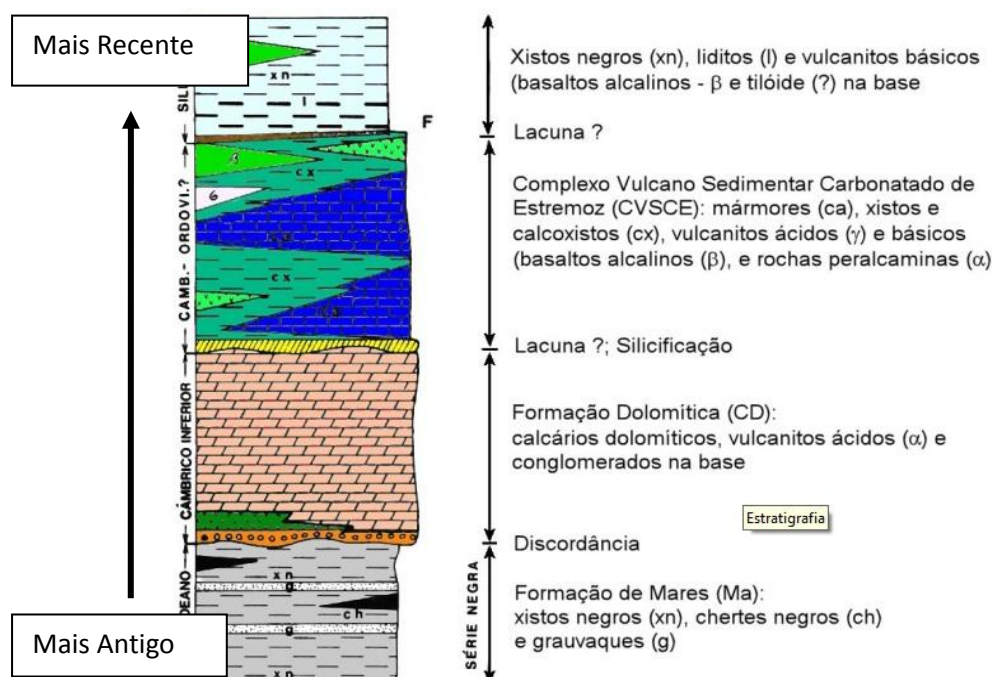


Fig. 7.2 - Coluna estratigráfica do Anticlinal de Estremoz (Adaptado de Oliveira, et al 1991).

No topo da formação dolomítica e praticamente por todo o anticlinal, ocorre um horizonte silicioso descontínuo mineralizado com sulfuretos, resultante da exposição aérea dos carbonatos durante o Câmbrio Médio e Superior e grande parte do Ordovício e que, localmente provocou carsificação e silicificação. À superfície e em ambiente oxidante, o ferro e o enxofre dos cristais de pirite foram substituídos por óxidos e hidróxidos de ferro, mantendo o seu aspeto original inalterado, dando origem às pseudomorfoses de pirite em óxidos (Fig. 7.3).



Fig. 7.3 - Pseudomorfoses de Pirite (*Adaptado de Lopes, 2003*).

Sobre esta discordância siliciosa assenta então o Complexo Vulcano-Sedimentar-Carbonatado de Estremoz (CVSE), constituído por diversas variedades de mármore mais ou menos xistificados, calcoxistos, metavulcanitos ácidos e básicos e rochas ígneas intrusivas. É neste complexo que se encontram intercalados os mármore calcíticos que são explorados na região como rocha ornamental, com uma possível idade que corresponde ao período Ordovício, entre 455 a 435 milhões de “anos” atrás (*Gonçalves F., et al 1975*).

A grande heterogeneidade litológica desta formação evidencia um período de sedimentação carbonatada, em concordância com períodos de vulcanismo essencialmente aéreo, de onde resultou uma sequência alternada de calcários, piroclastos, escoadas basálticas e algumas rochas detríticas.

Estes níveis vulcânicos mais básicos são os responsáveis pela formação das variedades de mármore rosados que, durante os processos metamórficos e tectónicos da região, libertaram manganês, que entraram na rede cristalina da calcite, conferindo-lhe esta cor (*Lopes, 2003*).

A estes mármore rosados estão associados veios esverdeados que correspondem a concentrações de clorite, formados por metamorfismo dos níveis piroclásticos.

No final periclinal sudeste do Anticlinal de Estremoz, na freguesia de Pardais, conselho de Vila Viçosa, nos níveis superiores do Complexo Vulcano-Sedimentar-Carbonatado de Estremoz, ocorrem as formações de mármore “Ruivina”. Este mármore representa o nível mais alto da série carbonatada, onde a sua cor escura indica uma variação de fácies, ou seja, revela a mudança de um ambiente sedimentar oxidado para um ambiente sedimentar redutor, que teria continuidade na sequência constituída por xistos esverdeados, xistos luzentes, quartzitos finos, xistos negros e liditos, com idades compreendidas entre o Silúrico e o Devónico.

Em termos tectónicos, o Anticlinal de Estremoz foi afetado por duas fases de dobramento seguidas de ações de cisalhamento, devido à Orogenia Hercínica. A primeira fase de dobramentos F1 conduziu a dobras isoclinais apertadas, de plano axial N-S e NNW-SSE, inclinando cerca de 20° para ENE com um eixo essencialmente sub-horizontal. Na segunda fase de dobramento, F2, as dobras resultantes apresentam orientação NW-SE, com inclinação dos planos axiais que podem atingir 70° a 80° para SW (com a atitude média de N30W, 65° SW) e com eixos mergulhantes entre 20° e 40° para SE e NW (*Carvalhosa, et al 1987*).

Todo o maciço do anticlinal sofreu importantes esforços tectónicos que lhe provocaram, além dos dobramentos, uma terceira fase de divisão em compartimentos (*Ladeira, et al 1981*). Essa compartimentação apresenta as seguintes direções mais importantes:

- NNE – SSW. As fraturas com esta direção apresentam inclinações essencialmente verticais, estando associadas, em alguns casos, a processos de dolomitização secundária (“olho de mocho”);
- ENE – WSW. Estas fraturas, também elas sub-verticais, são geralmente preenchidas por filões doleríticos (conhecidos na região como “cabos reais”);
- Sub – horizontal (inclinação máxima de 30°). Estas fraturas sub-horizontais que podem apresentar inclinações máximas na ordem do 30° e direções ENE-WSW ou NNE-SSW.

8 – METODOLOGIAS UTILIZADAS NO TRABALHO EXPERIMENTAL

As metodologias de trabalho adotadas subdividiram-se por objetivos:

1. Identificação das formações geológicas e recolhas de amostras, em depósitos de argilas e de lamas nos Conselhos de Borba e de Vila Viçosa;
2. Caracterização física da “terra-rossa” e lamas carbonatadas;
3. Caracterização tecnológica e industrial da “terra-rossa” e lamas carbonatadas;
4. Conformação de peças cerâmicas a partir das matérias-primas previamente estudadas;
5. Formulação de pastas cerâmicas, com base na “terra-rossa” e nas lamas carbonatadas;

Enquanto os ensaios de caracterização física, foram realizados no Laboratório do Departamento de Geociências da Universidade de Évora, os ensaios de caracterização tecnológica foram realizados no Laboratório do CENCAL – Centro de Formação Profissional para a Indústria Cerâmica, nas Caldas da Rainha. O ensaio industrial, que incluiu a conformação das peças cerâmicas, foi executado na Olaria XT, do Mestre Xico Tarefa, na Vila de Redondo.

8.1 – CAMPANHA DE AMOSTRAGEM

A recolha das amostras teve como principal objetivo realizar o aproveitamento dos possantes horizontes de solo existentes na zona das pedreiras, um pouco por todo o Anticlinal de Estremoz, e que resultam das destapações que antecedem a abertura das pedreiras para a exploração de rochas ornamentais. Na maioria das vezes este solo é depositado a céu aberto sem que se faça qualquer aproveitamento, acabando por ser contaminado com outros materiais, impossibilitando, muitas das vezes, o seu aproveitamento futuro.

Em certas regiões do Alentejo existe uma forte tradição em olaria tradicional, sendo a Vila de Redondo e a Aldeia de S. Pedro do Corval os polos mais emblemáticos desta atividade. No entanto, nos últimos anos, tem-se vindo a notar uma diminuição dos depósitos de argila de qualidade, o que leva os oleiros da região a adquirir a sua matéria-prima na região das Caldas da Rainha, ou mesmo a importá-la de Espanha.

Como tal, procedeu-se à recolha de três amostras, com cerca de 30 kg cada, no Anticlinal de Estremoz, com vista à sua caracterização para posterior elaboração de pastas cerâmicas, que possam ser usadas na indústria cerâmica e particularmente na olaria tradicional.

O Anticlinal de Estremoz situa-se na região do Alentejo, no distrito de Évora, abrangendo os concelhos de Sousel, Estremoz, Borba, Vila Viçosa e Alandroal. Possui uma forma elíptica com cerca de 40 km no eixo maior e 8 km no eixo menor, com uma orientação NW-SE, desenvolvendo-se entre Sousel e Alandroal (Fig. 8.1).

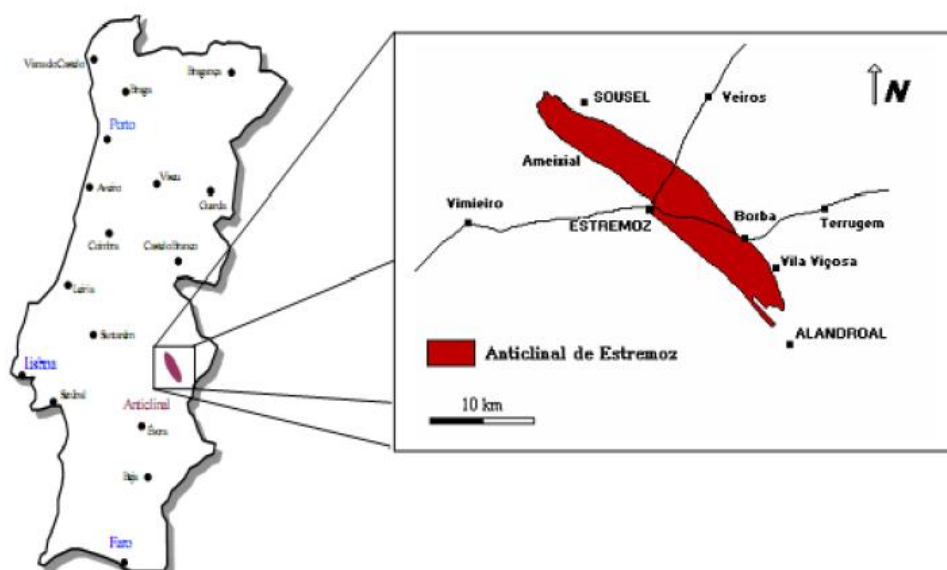


Fig. 8.1 - Localização geográfica do Anticlinal de Estremoz (Lopes, 2003).

Apesar da inexistente rede ferroviária e fluvial, a zona do Anticlinal de Estremoz apresenta importantes vias rodoviárias com destaque para o IP7 (atual A6), a EN4, a EN255 e a EN254.

Devido à implementação do Plano Regional de Ordenamento do Território da Zona dos Mármore (PROZOM) que visa promover uma organização do espaço de forma sustentada, salvaguardando para a indústria extrativa os espaços onde ocorrem os depósitos de mármore com valor económico, o Anticlinal de Estremoz foi dividido em cinco Unidades de Ordenamento (UNOR) (Fig. 8.2).

Foram também criadas oito Áreas de Deposição Comum (ADC) com o objetivo de evitar que se depositem os escombros em áreas que futuramente podem ser utilizadas para exploração. Juntamente com as escombreyas proliferam na região também depósitos de “terra-rossa” e depósitos de lamas carbonatadas, vulgarmente denominadas

“natas”. Devido ao potencial que estes materiais possuem como matérias-primas cerâmicas, foram sujeitas a uma caracterização física, tecnológica e industrial no âmbito desta dissertação de mestrado.

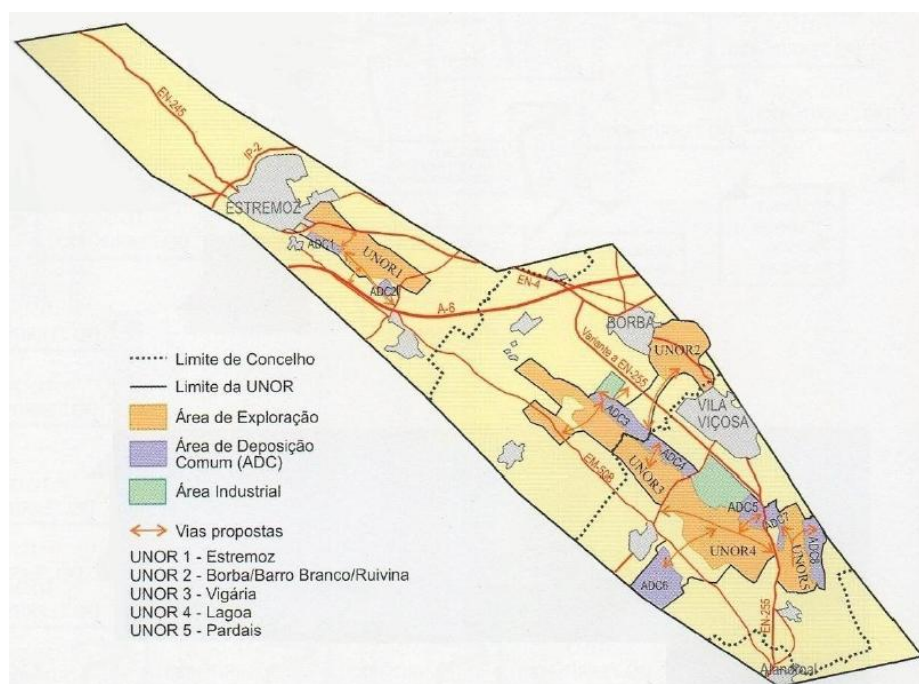


Fig. 8.2 - Localização das UNOR, das ADC e das Áreas de Exploração (Lopes, 2003).

Com base em estudos anteriores, desenvolvidos no âmbito de uma Tese de Mestrado de Ana Marta Cunha (2010), seleccionaram-se três lugares específicos para amostragem de “terra-rossa” (Fig. 8.3).

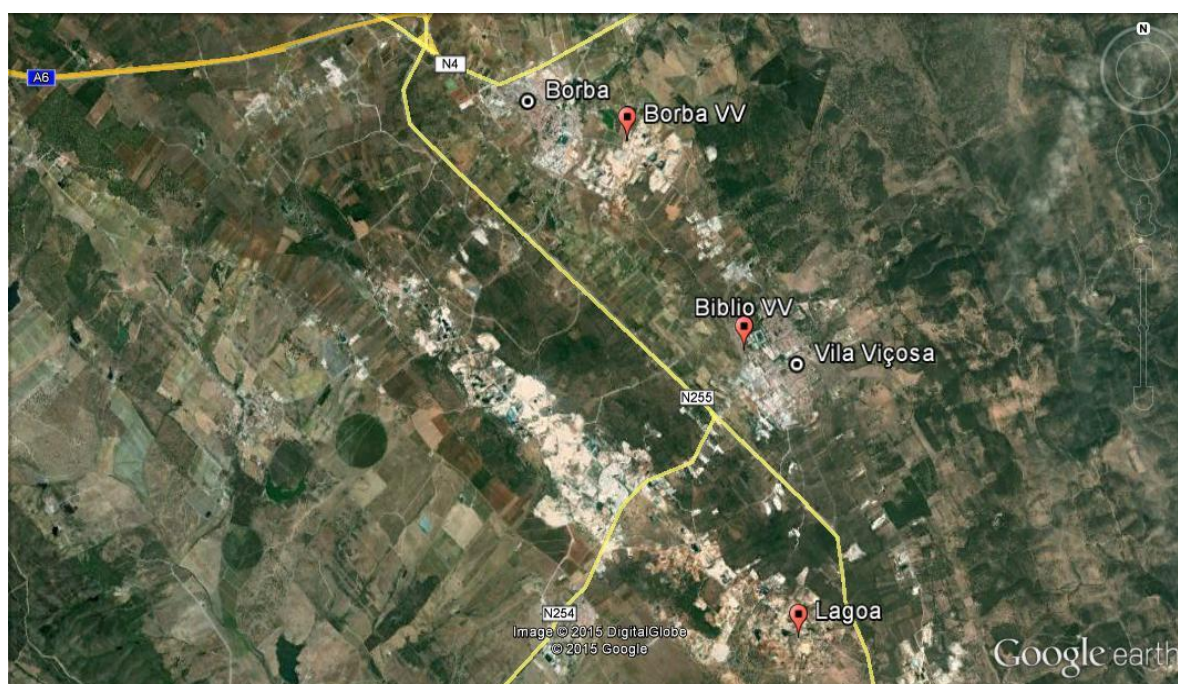


Fig. 8.3 - Localização geográfica dos três locais de amostragem das matérias-primas argilosas (Imagem Google Earth).

A amostra Biblio VV é a única das três amostras que não corresponde a terra-rossa (solo residual de alteração dos mármores), tendo sido recolhida num depósito que resultou das escavações para as fundações da futura biblioteca municipal de Vila Viçosa. Neste depósito (Fig. 8.4) que se encontra junto à antiga estação de caminho-de-ferro, verificou-se que o material que o constitui possuía elevados valores de plasticidade. Tendo em conta que esta escavação apresenta uma volumetria considerável de material e, atendendo aos resultados obtidos em estudo anterior, é relevante para esta investigação a recolha da amostra, visto possuir forte potencial para utilização na olaria tradicional justificando-se por isso a continuação dos estudos.



Fig. 8.4 - Depósito da amostra Biblio VV
(Coordenadas - N38°, 46', 37.9"; W007°, 25', 28.2").

A segunda amostra, à qual foi atribuída a designação de Borba VV, foi recolhida num depósito formado com material resultante da destapação das pedreiras localizadas junto à EN 255, entre Borba e Vila Viçosa. Este depósito (Fig. 8.5), com um volume aproximado de 3000 m³, encontra-se há várias décadas exposto aos agentes atmosféricos, o que possibilitou a sua homogeneização e amadurecimento.



Fig. 8.5 - Depósito da amostra Borba VV
(Coordenadas - N38°, 48', 08.1"; W007°, 26', 35.7").

A última amostra, designada por Lagoa, foi recolhida num afloramento *in situ* (Fig. 8.6) que se situa junto ao Monte da Lagoa, no extremo Sudeste do Anticlinal de Estremoz. Esta “terra-rossa” foi sujeita a remoção durante os trabalhos de destapação da pedreira, encontrando-se também ela sujeita aos agentes atmosféricos.



Fig. 8.6 - Depósito da amostra Lagoa
(Coordenadas - N38°, 44', 24.8"; W007°, 24', 49.5").

8.2 – ENSAIOS LABORATORIAIS DE CARACTERIZAÇÃO FÍSICA

Os ensaios laboratoriais de caracterização física que avaliam as propriedades das argilas, tais como análise granulométrica (fração superior a 0.075 mm), expansibilidade, limites de consistência (liquidez e plasticidade) e determinação do teor de matéria orgânica, foram realizados no Laboratório do Departamento de Geociências da Universidade de Évora.

As análises mineralógicas, como a difração de raios-X, foram realizadas no Laboratório Hércules da Universidade de Évora. Por último, a análise granulométrica da fração inferior a 0.075 mm, foi realizada nos laboratórios de física dos solos e sedimentologia da Universidade de Évora, na Herdade da Mitra.

As amostras, depois de recolhidas no campo, foram transportadas para o laboratório do Departamento de Geociências da Universidade de Évora, onde foram espalhadas sobre folhas de plástico e deixadas a secar (Fig. 8.7).



Fig. 8.7 - Amostra Biblio VV em secagem, no Laboratório do Departamento de Geociências.

Visto o processo de secagem ao ar ser um processo muito lento, optou-se por recorrer a uma estufa e secagem a temperaturas da ordem dos 110 °C, de forma a garantir uma secagem mais rápida e eficaz de toda a amostra. Depois de secas as amostras foram submetidas a uma desagregação e diminuição dos torrões de argila (sem contudo reduzir e afetar o tamanho das partículas individuais), com recurso a um moinho de Los Angeles, no laboratório de Geotecnia da Empresa “*Tecnovia*” na Pedreira do Monte das Flores (Fig. 8.8).



Fig. 8.8 – Amostra desagregada por desgaste no Moinho de Los Angeles da empresa “Tecnovia”.

A desagregação das amostras foi feita por desgaste com recurso a esferas de aço com 430 g de peso médio e 4,76 mm de diâmetro. No interior do moinho de Los Angeles foram introduzidas vinte e três esferas juntamente com a amostra original, programando-se o mesmo para quinhentas voltas (cerca de trinta voltas por minuto). Em cada volta, as esferas ao chocarem entre si, por ação da gravidade, promoveram a desagregação dos torrões de solo existentes na amostra inicial.

Em seguida, as amostras já desagregadas foram de novo transportadas para o Laboratório do Departamento de Geociências, onde se procedeu ao quarteamento das mesmas, com o objetivo de elaborar os provetes que seriam utilizados nas análises granulométricas. O quarteamento (Fig. 8.9) foi realizado de forma a obter-se uma toma de material de menor massa, mas que fosse ao mesmo tempo representativa da amostra total original. Esta operação foi repetida por três vezes com auxílio de um repartidor e dois alguidares, sendo que, a metade depositada num deles era rejeitada e guardada em stock. O material do último quarteamento constituiu o provete representativo, da amostra original.



Fig. 8.9 - Partição da amostra inicial com o auxílio de um repartidor.

Após a etapa de quarteamento elaboraram-se então os diferentes provetes, com quantidades e granulometrias distintas, utilizados nos ensaios de caracterização física e (Quadro nº 8.1).

Quadro nº 8.1 - Provetes elaborados para os ensaios de caracterização física.

Ensaio	Granulometria requerida pela norma (mm)	Quantidade requerida pela norma (g)
Teor de Matéria Orgânica	Inferior a 2,0	± 1
Análise Granulométrica (fração superior a 0.075 mm)	Amostra representativa	± 100
Análise Granulométrica (fração inferior a 0.075 mm)	Amostra representativa	± 100
Expansibilidade	Inferior a 0,425	± 100
Limites de Consistência	Inferior a 0,425	± 250
Difração de Raios-X	Inferior a 0,063	± 1
Fluorescência de Raios-X	Inferior a 0,063	± 1

Como referido anteriormente, com o provete de cerca de 2500 g, foram executados quarteamentos e peneiramentos com vista à preparação definitiva dos provetes. Assim sendo, esta amostra passou por quarteamentos sucessivos, de modo a obter-se aproximadamente 100 g da amostra que foi posteriormente utilizada no ensaio da análise granulométrica.

Em seguida, a parte restante foi passada pelo peneiro nº 10 (2,00 mm), de onde se retirou o provete para a determinação da matéria orgânica. Continuando na sequência de peneiração, o material foi sujeito a um novo corte no peneiro nº 40 (425 μm), de onde se extraíram porções para os ensaios de expansibilidade e dos limites de consistência. Por último, o material passou no peneiro nº 230 (63 μm), de onde se retiraram provetes para os ensaios de difração de raios-X.

Antes da realização dos ensaios, todo o material sobran­te de cada uma das amostras, que correspondia a cerca de 25 kg, sofreu um corte no peneiro nº 60 (250 μm). Este corte granulométrico foi composto por duas fases distintas, de forma a poder poupar tempo de trabalho, salvaguardando no entanto, a qualidade do produto final.

O primeiro corte granulométrico (Fig. 8.10) foi feito por via seca, fazendo passar a totalidade da amostra, no peneiro nº 60 (250 μm), peneirando até que maior parte da fração inferior a 250 μm ficasse retida num peneiro base.



Fig. 8.10 - Corte granulométrico a 250 μm por via seca.

Enquanto essa fração retida foi armazenada em sacos de plástico para utilização futura nos ensaios de caracterização tecnológica, industrial e de conformação das peças, a fração que ficou retida no peneiro 250 μm foi armazenada para o segundo corte granulométrico (Fig. 8.11).



Fig. 8.11 – Material utilizado no segundo corte granulométrico a 250 μm .

O segundo corte granulométrico foi feito por via húmida (Fig. 8.12), lavando toda a amostra num balde com abertura que possibilitava a colocação permanente do peneiro nº 60 (250 μm).



Fig. 8.12 – Corte granulométrico a 250 μm por via húmida.

Toda a amostra sobran­te do primeiro corte granulométrico foi lavada em al­guidares, de forma a retirar toda a fração inferior a 250 μm , que não foi removida com a peneiração por via seca. A água retida nos al­guidares, com as par­ículas de d.e.e. (diâmetro esférico equivalente) inferior a 250 μm , foi então colocada em baldes, onde decantou durante 24 h. Após este tempo, decantou-se o excesso de água, concentrando-se assim a argila. Toda a fração retida no peneiro 250 μm , foi rejeitada constituindo resíduo.

Mesmo após a decantação, todas as amostras apresentavam ainda humidade em excesso. Como tal, foi necessário adicionar algum do material obtido através da peneiração por via seca, homogeneizando em seguida de forma manual a amostra, aumentando a sua consistência, para que permitisse uma trabalhabilidade adequada com vista à conformação das peças cerâmicas na olaria do Mestre Xico Tarefa.

Todo o material sobran­te e inferior a 250 μm foi armazenado em sacos plásticos para que pudesse ser depois utilizado nas instalações do CENCAL, na preparação dos provetes necessários para os ensaios de caracterização tecnológica.

8.2.1 – ANÁLISE GRANULOMÉTRICA

A distribuição dimensional do grão de uma argila, ou matéria-prima cerâmica após moagem, para uma posterior incorporação numa pasta cerâmica é um parâmetro essencial que condiciona o comportamento de uma matéria-prima ou pasta ao longo de todo o processo cerâmico. Características como a plasticidade, a variação de volume durante a secagem, a cozedura, a absorção de água após cozedura e a resistência mecânica dependem essencialmente da granulometria e da constituição mineralógica das matérias-primas.

A argila é constituída essencialmente por minerais argilosos, que possuem diâmetro esférico equivalente inferior a 2 μm , podendo no entanto incluir partículas de dimensão superior, visto estas poderem ser também constituídas por minerais não argilosos.

De forma a uniformizar os limites das diferentes classes grosseiras, *Atterberg (1905)* divulgou uma classificação (Quadro nº 8.2) com base no valor unitário 2 mm, referindo-se à dimensão das partículas segundo uma progressão geométrica de razão dez. Nesta, os valores limites das classes, que se dividem em intervalos, foram determinados pelas propriedades físicas, tais como capilaridade, adesão e sensibilidade aos movimentos aleatórios de partículas macroscópicas de um fluido.

Quadro nº 8.2 - Classificação dimensional das partículas segundo Atterberg.

Dimensão em mm	Designação Portuguesa
> 200	Bloco
200 – 20	Burgau
20 – 2	Seixo
2 – 0,2	Areia Grossa
0,2 – 0,02	Areia Fina
0,002 – 0,002	Limo ou Silte
< 0,002	Argila

Mais tarde *Wentworth (1922)* divulgou uma nova escala (Quadro nº 8.3), mais pormenorizada, mas que mantinha no entanto o mesmo carácter geométrico da respetiva

progressão dimensional. Esta classificação é importante para o nosso estudo, uma vez que é possível identificar as frações granulométricas mais frequentes das matérias-primas utilizadas.

Quadro nº 8.3 - Classificação dimensional das partículas segundo Wentworth.

Dimensão das Partículas		Designação		Classe Granulométrica
		Inglesa	Portuguesa	
Milímetros (mm)	>256	Boulder	Bloco	Fenoclastos
	256 – 64	Cobble	Burgau	
	64 - 8	Pebble	Seixo	
	8 - 2	Granule	Areão	
	2 – 1	Very Coarse sand	Areia muito grosseira	Areias
	1 – 0,5	Coarse sand	Areia grosseira	
	0,5 – 0,25	Medium sand	Areia média	
	0,25 – 0,125	Fine sand	Areia fina	
	0,125 – 0,063	Very fine sand	Areia muito fina	
Micra (µm)	63 – 31	Coarse silt	Limo grosseiro	Limo
	31 – 15,6	Medium silt	Limo médio	
	15,6 – 7,8	Fine silt	Limo fino	
	7,8 – 3,9	Very fine silt	Limo muito fino	
	3,9 – 2,0	Coarse clay	Argila grosseira	Argila
	2,0 – 1,0	Medium clay	Argila média	
	1,0 – 0,5	Fine clay	Argila fina	
	0,5 – 0,25	Very fine clay	Argila muito fina	
	0,25 – 0,13	Colloids	Colóides	

São vários os métodos existentes para a determinação da análise granulométrica. No entanto, no caso presente foi utilizada a peneiração por via húmida da fração superior a 0.075 mm e um sedimentógrafo, da marca Micromeritics e modelo Sedigraph 5100, com fonte de raios-X, para a fração de grão inferior a 0.075 mm, tendo sido o método utilizado para todas as amostras em estudo.

A primeira fase da análise granulométrica consistiu na peneiração por via húmida da fração superior a 75 μm (0.075 mm), e foi realizada de acordo com a especificação do LNEC (E 239 – 1966), utilizando-se para tal uma bateria de peneiros ASTM dispostos por ordem decrescente de abertura de malha: 9.5 mm (nº 3/8), 4,75mm (nº 4), 2,00 mm (nº 10), 0,850 mm (nº 20), 0,425 mm (nº 40), 0,250 mm (nº 60), 0,106 mm (nº 140) e 0,075 mm (nº 200).

Para a execução deste ensaio, utilizou-se a amostra representativa inicial, que foi previamente quarteada, colocando-se a mesma numa estufa ventilada, entre 105 °C e 110 °C, durante 24 h, com o objetivo de evitar a agregação de partículas mais finas. Passadas as 24 h a amostra foi colocada num exsicador para arrefecer. Depois de arrefecida, foi pesada, registando-se a sua massa, dando-se início ao processo de peneiração por via húmida.

Na prática, a análise granulométrica é realizada agitando e fazendo passar a amostra através de uma série de peneiros arranjados por ordem decrescente da abertura da malha (Fig. 8.13) para que os de malha mais larga se encontrem na parte superior e os de malha mais apertada se encontrem na parte inferior, pesando-se depois o material que fica retido em cada peneiro. É importante que a peneiração seja feita de forma mecânica ou manual, do peneiro de malha com abertura maior para o de malha com abertura menor. Neste caso, deve-se evitar a perda de partículas, limitando a quantidade de material que cada peneiro deve conter e, evitando que os mesmos fiquem entupidos.



Fig. 8.13 - Peneiração por via húmida.

Assim, conhecendo a massa inicial da amostra, facilmente se calcula a percentagem da massa do supra crivo de cada peneiro (partículas com a mesma dimensão granulométrica). A massa das partículas retida nos diferentes peneiros é relacionada com a massa inicial da amostra, ou seja, as percentagens cumulativas que passam em cada peneiro são apresentadas tanto de maneira numérica como gráfica. A peneiração é dada como concluída quando durante um minuto, não passa mais de 1 % do material retido nesse peneiro.

Por último, retira-se o material que ficou retido em cada peneiro colocando-o em copos de vidro que são levados à estufa ventilada para secarem, após o que é registada a massa de cada fração.

Após a peneiração, os resultados são registados sob a forma de tabela, com os seguintes elementos:

- massa retida em cada peneiro;
- percentagem retida em cada peneiro;
- percentagem total do que passa através do peneiro (passados acumulados);
- percentagem total do que fica retido no peneiro (retidos acumulados) que corresponde ao complemento para cem de cada valor anterior.

A segunda fase da análise granulométrica, ou fase de sedimentação, tem como objetivo classificar a dimensão das partículas das diferentes amostras, na fração inferior a 75 μm .

Numa primeira fase as amostras foram colocadas em banho-maria, a uma temperatura de cerca de 100 °C, com o objetivo de destruir alguma da matéria orgânica existente. Em seguida, as amostras foram colocadas em suportes sobre Bicos de Bunsen, onde com a transferência de calor, se promoveu a destruição por completo da matéria orgânica.

Após esta fase de tratamento inicial, a cada porção de 3.5 g de amostra, foram adicionados 20 ml de hexametáfosfato de sódio a 1% e carbonato de sódio (que atuam como desfloculantes), agitando a mistura num agitador mecânico, da marca Soilstate e modelo Hamilton Beach, durante cerca de quinze minutos (Fig. 8.14).



Fig. 8.14 - Agitadores mecânicos, da marca Soilstate e modelo Hamilton Beach.

Em seguida, foi utilizado um crivo que permitiu o corte granulométrico a 100 μm da amostra. Após secagem na estufa a 110 $^{\circ}\text{C}$ até peso constante, a fração que ficou retida no crivo sofreu uma peneiração manual, enquanto a fração inferior foi colocada num pequeno contentor, do sedimentógrafo (Fig. 8.15) para ser analisada. A análise das frações granulométricas foi então feita através de raios X e da agitação da amostra.

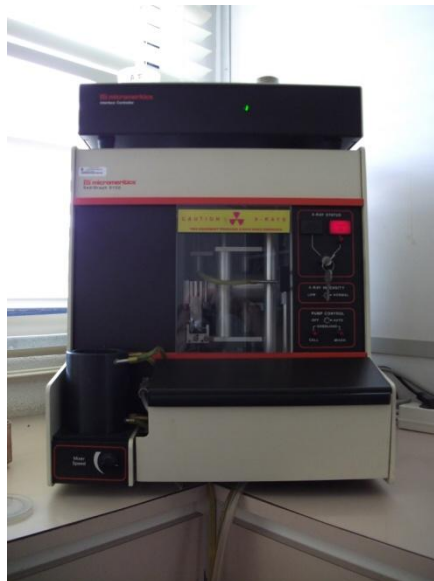


Fig. 8.15 - Sedimentógrafo, da marca Micromeritics e modelo Sedigraph 5100.

Os dados foram tratados e construíram-se as seguintes curvas granulométricas:

- Curva granulométrica das frações com dimensões superiores a 0,075 mm, e curva granulométrica das frações com dimensões inferiores a 0,075 mm;
- Curva granulométrica, com a junção das duas curvas anteriores, de forma a identificar todas as classes granulométricas das diferentes amostras.

8.2.2 – LIMITES DE CONSISTÊNCIA E PLASTICIDADE

A variação do teor de água num material argiloso ou numa argila pode conduzir a diferentes estados de comportamento, e como tal, os limites de consistência são ensaios particularmente importantes de forma a conhecer as características das matérias-primas em diferentes aplicações cerâmicas. À medida que se vai adicionando água, a argila ou material argiloso passa por diversos estados, passando do seu estado sólido inicial para outros estados que permitam a sua trabalhabilidade (Fig. 8.16).

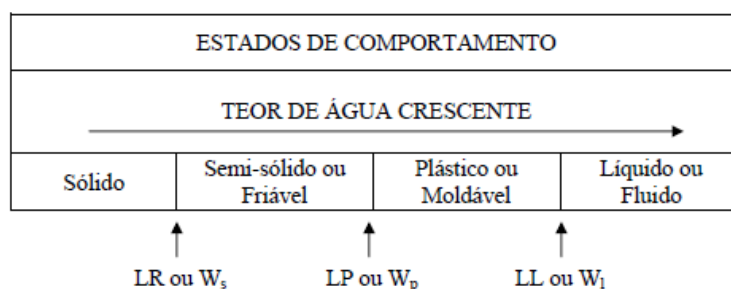


Fig. 8.16 - Representação esquemática do significado físico dos limites de consistência (Faria, 2005).

Na análise da Fig. 8.16, verifica-se que a adição de água à amostra leva a que a mesma assuma estados comportamentais diferentes: estado sólido não moldável; estado semi-sólido ou friável de difícil moldagem; estado plástico ou moldável permitindo moldagem e aquisição de forma; e estado líquido ou fluido, não permitindo moldagem. A fronteira LR ou W_s corresponde ao limite de retração, a fronteira LP ou W_p corresponde ao limite de plasticidade, e por último, a fronteira LL ou W_l, corresponde ao limite de liquidez.

São estes limites entre os diferentes estados, que foram calculados, de forma a saber qual o comportamento das amostras estudadas relativamente a pequenas variações do teor de água.

A plasticidade é uma das propriedades mais importantes das argilas, como matérias-primas cerâmicas, e relaciona-se diretamente com a sua trabalhabilidade. Este parâmetro reflete a capacidade que uma dada argila, possui em se deformar por ação de uma força, sem entrar em rutura, mantendo a forma adquirida quando essa força deixar de se exercer, quando se adiciona água à argila em determinada quantidade.

Segundo *Gomes (2002)*, a plasticidade é ainda influenciada por outros fatores físicos e químicos tais como a composição mineralógica, distribuição dimensional das partículas, forma das partículas dos minerais argilosos, estado de agregação, valor da carga elétrica dos cristais dos minerais argilosos, natureza dos catiões de troca da argila e grau de desfloculação ou de estruturação das pastas.

No entanto, a importância da plasticidade não se limita à conformação do corpo cerâmico, uma vez que argilas muito gordas ou com valores de plasticidade muito altos podem produzir defeitos nas peças cerâmicas, tanto na fase de secagem como na cozedura, estando esses defeitos relacionados com retrações excessivas e ocorrência de fendas nos corpos cerâmicos.

Estes defeitos podem ser evitados se a matéria-prima argilosa for misturada com uma matéria-prima não plástica ou inerte, como a reia, diminuindo assim a plasticidade da argila, evitando o desenvolvimento de tensões durante a extrusão, e contribuindo para o aumento da porosidade, facilitando a circulação de água para o exterior durante a fase de secagem.

Para a determinação da plasticidade de uma argila, de forma a classificá-la com base no índice de plasticidade (Quadro nº 8.4), existem vários métodos, diretos e indiretos.

Quadro nº 8.4 - Classificação dos materiais geológicos com base no índice de plasticidade (*Faria, 2005*).

Índice de Plasticidade – IP (%)	Classificação nominal	Descrição nominal
0 – 1	Não plástico	Silte
1 – 5	Ligeiramente plástico	Silte com traços de argila
5 – 10	De baixa plasticidade	Silte com pouca argila
10 – 20	De plasticidade média	Argila e silte
20 – 35	De alta plasticidade	Argila siltosa
> 35	Muito plástico	Argila

Os métodos diretos são os que permitem obter de modo mais fiável e aproximado o comportamento plástico da argila, sendo caracterizados pelo modo como a força é exercida (seja ela de compressão, extrusão, tração, flexão ou torção), avaliando a deformação causada pela ação dessa força, em conjugação com um determinado teor de humidade.

Os métodos indiretos são caracterizados por processos que avaliam a plasticidade propriamente dita, relacionando o teor de água com os diferentes comportamentos apresentados por uma argila. Os métodos indiretos mais comuns são aqueles que foram desenvolvidos por Atterberg e Pfefferkorn, optando-se pelo primeiro para a determinação dos limites de consistência. O estudo da plasticidade pelo método de Pfefferkorn será explicado num outro subcapítulo, uma vez que foi realizado no âmbito dos ensaios de caracterização tecnológica.

O índice de plasticidade de Atterberg (IP) exprime a diferença entre o limite de liquidez (LL) e o limite de plasticidade (LP), sendo o LP correspondente à fronteira entre o estado semi-sólido e o estado plástico, e o LL correspondente ao ponto de transição entre o estado plástico e o estado fluido. Todos estes parâmetros foram determinados, com o auxílio da Concha de Casagrande.

O ensaio de determinação dos limites de consistência foi realizado conforme o descrito na Norma Portuguesa NP-143 de 1969 e executado sob o material passado no peneiro ASTM nº40, ou seja, na fração de grão inferior a 425 µm.

Para a realização dos ensaios de determinação do limite de liquidez e limite de plasticidade, foi necessário preparar previamente a amostra. Ou seja, colocaram-se entre 300 g a 400 g do material peneirado anteriormente num recipiente, adicionando-se água destilada de forma a humedecer a amostra, deixando-a ficar em repouso durante três dias, promovendo a homogeneização do sistema argila/água, formando-se assim uma pasta homogénea que pudesse ser trabalhada. Sempre que foi necessário, acrescentar mais água, durante a execução dos ensaios, homogeneizou-se a pasta durante dez a quinze minutos.

Segundo a norma NP 143-1969, quando o ensaio é feito na Concha de Casagrande, entende-se por limite de liquidez de uma amostra de solo, o teor de água correspondente a vinte e cinco pancadas, obtido por interpolação numa curva que relaciona o teor de água de cada um dos provetes da amostra, com o número de pancadas para o qual os bordos inferiores de um sulco aberto num provete, se unem numa extensão de 1 cm, representando-se o resultado pelo símbolo LL.

A Concha de Casagrande é um utensílio constituído por uma calote esférica de latão, com uma espessura de 2,0 mm e por um dispositivo mecânico que permite fazer levantar a calote que em seguida cai, de uma altura regulável, sobre uma base dura. Para cada provete, a Concha de Casagrande é coberta por solo e realiza-se um sulco segundo o diâmetro da concha normal ao eixo da manivela, mantendo-o perpendicular à superfície da concha (Fig. 8.17).



Fig. 8.17 - Concha de Casagrande mostrando o sulco perpendicular à superfície da concha.

O sulco é realizado com um riscador que é uma peça em latão com uma das extremidades em perfil triangular com o vértice truncado numa largura de 2,0 mm e a outra com um calibre de 10,0 mm destinado a permitir regular a altura de queda da concha. Após a preparação do provete, aciona-se a manivela à velocidade de duas pancadas por segundo, até que as duas porções do provete, graças às pancadas da concha sobre a base, entrem em contacto entre si pela parte inferior do sulco numa extensão de cerca de um cm, anotando-se de seguida o número de pancadas correspondente. Com a ponta da espátula retirou-se uma pequena quantidade de provete na zona do sulco em que se deu a união (Fig. 8.18), limpando-se sempre, entre cada ensaio, a concha e o riscador.



Fig. 8.18 - Remoção de fração da amostra, na zona da concha onde se deu a união.

Este ensaio foi repetido de forma a obterem-se seis provetes (três abaixo das vinte e cinco pancadas e três acima das vinte e cinco pancadas), que posteriormente foram secos à temperatura de 110 °C durante 24 h, numa estufa ventilada. Após o período de tempo referido procedeu-se ao arrefecimento dos provetes no exsicador, pesando-se os mesmos em seguida.

O limite de plasticidade corresponde ao limite entre o estado semissólido e o estado plástico, sendo o seu valor obtido através da formação de filamentos cilíndricos, com cerca de 3,0 mm de diâmetro, por rolamento entre a palma da mão e uma placa de vidro, até rutura (Fig. 8.19).



Fig. 8.19 – Execução de um filamento, por rolamento.

Sempre que o filamento com 3,0 mm de diâmetro não rompia formava-se de novo uma esfera, fazendo-a rolar de novo. Após a rutura, aglomeravam-se os filamentos e pesava-se o conjunto. Tal como no ensaio anterior, este ensaio foi repetido de forma a obterem-se seis provetes para que, depois de secos durante 24 h em estufa e arrefecidos num exsicador, fossem pesados. O valor do índice de plasticidade de Atterberg das diferentes amostras foi determinado pela diferença entre o limite de liquidez e o limite de plasticidade respectivos.

8.2.3 – ENSAIO DE EXPANSIBILIDADE

Segundo *Martins (2007)*, apesar da expansibilidade ser uma propriedade fundamental na caracterização geotécnica de rochas silto-argilosas e, por isso, considerada uma propriedade geotécnica, a expansibilidade foi considerada importante no âmbito do nosso estudo. Esta propriedade está relacionada com diversos processos físico-químicos, representando uma libertação de tensões associada à hidratação dos minerais argilosos, à hidratação e modificação volumétrica de minerais argilosos potencialmente expansivos. A expansibilidade das rochas silto-argilosas e das argilas depende fundamentalmente dos minerais argilosos, particularmente da proporção entre minerais expansíveis e não expansíveis.

Na expansibilidade dos minerais argilosos, a hidratação dos minerais argilosos, pode ocorrer através de três processos distintos: 1) sob a forma de água adsorvida por tensão superficial às partículas coloidais (água higroscópica); 2) sob a forma de água capilar formando películas contínuas que preenchem os micróporos existentes entre as partículas sólidas; 3) e sob a forma de água gravítica que ocupa os macroporos. Como tal, a expansibilidade pode ser caracterizada de duas maneiras distintas (*Martins, 2007*):

- Como intercrystalina, quando a água é adsorvida nas superfícies externas dos cristais dos minerais argilosos e nos vazios existentes entre eles;
- Como intracrystalina, quando a água é absorvida na estrutura dos minerais argilosos, provocando o afastamento, ou expansão das diferentes camadas estruturais que os constituem.

A expansibilidade também pode ocorrer por alteração dos minerais preexistentes, com fenómenos de hidratação (transformação da Anidrite, levando à formação de Gesso) e oxidação (oxidação da Pirite com produção de ácido sulfúrico e sulfatos de ferro hidratados), o que por sua vez pode também provocar um aumento de volume e consequente expansão do solo ou material argiloso.

O ensaio de expansibilidade foi executado segundo a especificação do LNEC, E200-1967. Este ensaio permite determinar a variação de volume da fração de solo passada no peneiro nº 40 (425 µm), expressa em percentagem, que resulta de uma absorção de água pelo solo, por fenómenos de capilaridade, através de uma placa porosa.

Após o solo ter sido peneirado no peneiro nº 40 (425 μm), tomou-se uma amostra com cerca de 100 g, que se levou à estufa a secar a 60 °C, durante 16 h. Terminado esse tempo, o copo com o material foi hermeticamente fechado e arrefecido no exsicador, tendo sido aberto no minuto anterior à realização do referido ensaio.

O aparelho utilizado para a leitura da expansibilidade foi um defletómetro com precisão de 0,01 mm, montado num pilar metálico, para que ficasse em contacto com uma placa de perspex. Esta placa assentou, por sua vez, sobre o provete previamente colocado num molde e por cima de uma placa porosa. Após a colocação do solo no molde, este sofreu uma compactação, com o auxílio de um pilão, em duas camadas aproximadamente iguais para que o total excedesse ligeiramente o bordo do molde (Fig. 8.20).



Fig. 8.20 - Compactação do solo no interior do molde, com o auxílio de um pilão.

Cada uma das camadas foi compactada com cinquenta compressões, uniformemente distribuídas, com o ritmo de uma compressão por segundo e onde a força a exercer foi apenas a necessária para a compactação. Terminada esta fase, retirou-se a alonga do molde, efetuando-se o nivelamento da amostra através da remoção do excedente de solo com uma espátula (Fig. 8.21).



Fig. 8.21 – Amostra nivelada.

Em seguida, colocou-se de novo a alonga e, dentro dela por cima do provete, foi colocada uma placa de perspex. Todo o aparelho foi então colocado dentro de um recipiente com água, montando-se o defletómetro, apoiando a extremidade da haste no centro da saliência cilíndrica da placa de perspex. Anotou-se o valor inicial indicado no defletómetro e em seguida encheu-se o recipiente com água destilada até ao bordo superior da base do aparelho (Fig. 8.22).



Fig. 8.22 - Recipientes, contendo os defletómetros e as três amostras ensaiadas.

Colocou-se o cronómetro em funcionamento, fazendo-se leituras de minuto a minuto, até aos primeiros cinco minutos, depois de quinze em quinze minutos até completar uma hora, seguindo-se leituras em intervalos de hora a hora. Após as primeiras vinte e quatro horas, foram feitas leituras de duas em duas horas, até que em duas leituras consecutivas se obteve o mesmo valor, ou valores decrescentes. Estes valores decrescentes ocorrem quando termina o processo de expansão, seguindo-se o rearranjo das partículas.

O valor da expansibilidade é dado em percentagem e, arredondado às unidades, sendo determinado de acordo com a seguinte expressão:

$$\% \text{ Expansibilidade} = \frac{l_1 - l_0}{h_0} \times 100$$

Onde: l_1 representa a leitura final do defletómetro, l_0 , representa a leitura inicial do defletómetro, e h_0 corresponde à altura do molde, podendo variar de aparelho para aparelho.

Através deste ensaio, foram ainda determinados os teores de humidade dos provetes, com o intuito de se estabelecer uma correlação entre a expansibilidade e a capacidade de absorção/adsorção dos materiais ensaiados.

8.2.4 – ENSAIO DO TEOR DE MATÉRIA ORGÂNICA

Segundo *Martins (2007)*, a maioria das argilas possui matéria orgânica. Em alguns casos, pode atingir valores na ordem de 80 %, conferindo-lhes diferentes tonalidades, que vão desde o cinzento até ao negro. No fundo, em pleno afloramento, a presença da matéria orgânica pode variar, encontrando-se os teores mais elevados nas camadas mais superficiais.

A matéria orgânica é um material amorfo, bastante poroso, com baixa densidade, fortemente higroscópico, com uma alta reatividade química, apresentando uma capacidade de troca catiónica entre 60 cmol_c/Kg a 300 cmol_c/Kg e superfície específica com valores que se situam entre 500 m²/g e 800 m²/g. É um material que possui ainda uma grande capacidade para a formação de agregados e de retenção de água susceptível de variações significativas de volume e com baixa coesão e adesividade nas suas partículas (*Martins, 2007*).

Este material, quando em associação com matéria mineral pode apresentar uma componente viva (biomassa microbiana, biomassa faunística, etc.), uma componente não viva (morta e em decomposição) e matéria orgânica carbonizada (carvão vegetal, detritos vegetais, grafite, carvão mineral). A componente não viva pode ainda ser dividida em matéria orgânica particulada, constituída por fragmentos e detritos orgânicos de diversas origens, e por matéria orgânica dissolvida, constituída por compostos solúveis em água, dependendo sempre do grau de associação das suas moléculas, encontrando-se geralmente num estado coloidal (d.e.e. < 1 µm).

Quando o teor de matéria orgânica é muito elevado, o mesmo produz um incremento na porosidade do material e um aumento da rotura dos corpos cerâmicos após secagem. Outro defeito muito usual nos corpos cerâmicos provocados pela presença de matéria orgânica é o “coração negro” manifestando-se sob a forma de um núcleo de coloração escura, no interior das peças normalmente associado a uma combustão insuficiente, levando muitas vezes ao inchamento da peça cerâmica, provocada pelo aprisionamento de voláteis dentro dela.

A determinação da quantidade de matéria orgânica pode ser feita através de três métodos distintos: a queima total da matéria orgânica no interior de uma mufla, a

titulação com sulfato ferroso e dicromato de potássio e, por último, o tratamento químico por oxidação da matéria orgânica com peróxido de hidrogénio (H_2O_2).

Para a realização deste estudo, o método de determinação da matéria orgânica utilizado foi o tratamento químico com peróxido de hidrogénio. Este método apresenta, contudo, algumas desvantagens que podem inferir nos resultados finais, tais como a dissolução de alguns óxidos de manganês, a formação de oxalato de cálcio como subproduto da reação em amostras ricas em cálcio, a dissolução de óxidos de ferro durante a oxidação que podem precipitar e aglutinar as partículas, etc..

Neste ensaio, as amostras foram sujeitas a um corte granulométrico no peneiro nº 10 (2.00 mm). Após quarteamento, retirou-se cerca de 1 g com o qual se preparou o provete para análise. O referido provete foi inicialmente submetido a secagem em estufa, à temperatura de 105 °C, até peso constante. Posteriormente pesou-se em balança com sensibilidade até à terceira casa decimal, constituindo-se assim o provete que foi sujeito ao ataque do peróxido de hidrogénio. O provete foi então colocado num copo de vidro com H_2O_2 a 35 % (130 volumes), onde com a ajuda de um magneto se procedeu a uma agitação constante, com auxílio dos motores de rotação de placas de aquecimento (Fig. 8.23).



Fig. 8.23 – Ataque com peróxido de hidrogénio às diferentes amostras.

Este ensaio decorreu enquanto a mistura revelou efervescência. Terminado este efeito, a amostra foi de novo seca em estufa a 105 °C, até peso constante, determinando-se a percentagem de matéria orgânica pela diferença de pesos, referente à amostra inicial.

No entanto, verificaram-se alguns problemas durante a realização deste ensaio que serão enunciados no capítulo seguinte. Após duas tentativas de realização do ensaio, optou-se por um outro método, nomeadamente o método da queima integral da matéria orgânica, num pequeno forno (mufla) a 250 °C (Fig. 8.24).

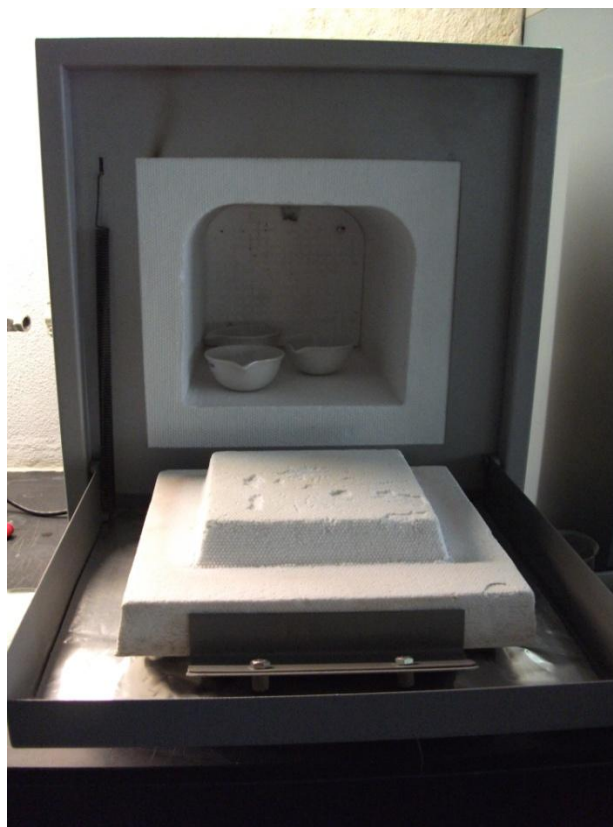


Fig. 8.24 - Execução do ensaio de queima da matéria orgânica na mufla a 250°C.

Neste ensaio, as amostras foram sujeitas a um corte granulométrico no peneiro nº10 (2.00 mm). Após quarteamento, retirou-se cerca de 5 g que foi utilizado para preparar o provete para análise, tendo o mesmo sido inicialmente submetido a secagem em estufa, à temperatura de 105 °C, até peso constante. Este peso foi registado, de forma a determinar o teor de água da amostra. Posteriormente pesou-se o provete numa balança com sensibilidade até à terceira casa decimal, constituindo-se assim o provete que foi sujeito à queima na mufla, a 250 °C durante quatro horas.

Em seguida, retiraram-se as amostras da mufla, tendo sido arrefecidas no exsiccador e novamente pesadas, registando-se o seu peso final. A determinação do teor de matéria orgânica obteve-se através da diferença de pesos em relação à amostra inicial.

8.2.5 – COMPOSIÇÃO MINERALÓGICA

A análise mineralógica permite identificar, caracterizar e quantificar os diferentes minerais existentes numa amostra. Neste caso o método utilizado foi o da difração de raios X (DRX), que correspondem a radiações eletromagnéticas da mesma natureza que as radiações que compõem a luz branca visível, mas com comprimentos de onda bastante inferiores. Devido à estrutura cristalina dos minerais argilosos, este método é a técnica mais usual na caracterização mineralógica de argilas, uma vez que permite a identificação de minerais argilosos e não argilosos fornecendo uma análise detalhada e rigorosamente aceitável.

Segundo *Gomes (1986)*, cada mineral apresenta uma estrutura cristalina própria e o seu diagrama DRX mostra o modelo de difração da radiação X nos átomos posicionados nos seus planos estruturais. Desta forma, cada espécie mineral tem um modelo de difração específico a partir do qual pode ser identificado, mesmo quando se encontra em misturas mais ou menos complexas de outras espécies minerais.

Os registos ou difractogramas obtidos pelo difractómetro de raios X representam diretamente as intensidades dos máximos de difração dos feixes de raios X, que vulgarmente são designados por “picos” e correspondem a radiações difratadas pelas estruturas cristalinas dos diferentes minerais, em função do ângulo de difração 2θ .

Para a obtenção dos difractogramas, utilizou-se o equipamento existente no Laboratório Hércules da Universidade de Évora, um difractómetro Bruker e modelo D8 Discover, com aplicações Davinci. Foi utilizada a radiação de $K\alpha$ Cu ($\lambda = 1,5405 \text{ \AA}$), com a eliminação do $K\beta$ Cu a ser conseguida através de um filtro de Ni. O equipamento foi operado com 40 mA e 40 kV, com um passo de 0,05 °/s e 1 s de medição em cada passo. Como foi usado um detetor linear Lynxeye, o tempo de medição corresponde a cerca de 96 s por passo.

Neste ensaio foi criado um provete com cerca de 1 g de cada uma das amostras (fração < 63 μm) que foi colocada num porta-amostra de alumínio, sem compressão exagerada, evitando-se assim a orientação preferencial dos cristais pelo facto de estes serem na sua maioria partículas lamelares, o que poderia causar um aumento da intensidade de certos máximos de difração e a consequente redução da intensidade dos máximos de difração correspondentes a outros minerais.

Esta montagem deve ser efetuada para que a superfície de pó exposta ao feixe de raios X não seja a mesma que foi comprimida. Uma vez montadas as amostras no respetivo porta-amostra, este é então colocado no difractor de raios X, para se proceder ao varrimento da amostra com o feixe monocromático de raios X, tendo-se efetuado registos difractométricos entre 2° e 34° (2θ), valores esses que se encontram referenciados no eixo das abcissas, onde $2\theta = 1 \text{ cm} = 1 \text{ \AA}$.

8.3 – ENSAIOS DE CARACTERIZAÇÃO TECNOLÓGICA

Neste capítulo é apresentada a sequência e a descrição dos ensaios tecnológicos realizados no laboratório do CENCAL, Centro de Formação Profissional para a Indústria Cerâmica, nas Caldas da Rainha, visando prever o comportamento, quer em seco, quer em cozido a várias temperaturas das diferentes matérias-primas.

Os ensaios tecnológicos incidiram inicialmente sobre três amostras das matérias-primas a estudar. Posteriormente foram formuladas pastas com essas matérias-primas que também foram sujeitas a ensaios. Os critérios que estiverem na base de seleção dos locais de amostragem e das amostras tiveram em conta as acessibilidades às formações geológicas, as reservas existentes e as potencialidades para uso como matérias-primas cerâmicas. A formulação das pastas cerâmicas foi condicionada pelos resultados obtidos nos ensaios das diferentes matérias-primas, bem como pelas características de trabalhabilidade de cada uma delas com vista à melhor conformação dos provetes. Todos os ensaios realizados nas matérias-primas e, mais tarde, nas pastas cerâmicas, tiveram como base os procedimentos de controlo do processo adotados pelo CENCAL.

8.3.1 – TRABALHABILIDADE, EXTRUDIBILIDADE E CONFORMAÇÃO

Na execução dos provetes para os ensaios tecnológicos, foi utilizado o processo - via plástica - no qual as características da matéria-prima não sofrem alterações substanciais, com a prensagem e a extrusão a serem os processos mais utilizados na indústria da cerâmica estrutural. Neste processo, a plasticidade da matéria-prima é crucial uma vez que permite a trabalhabilidade e a conformação dos provetes. De facto, a plasticidade é um parâmetro de grande importância na indústria cerâmica devendo ser avaliado como um parâmetro de controlo de qualidade das matérias-primas e das pastas respectivas, tendo ainda grande utilidade no cálculo das misturas de matérias-primas para a formulação de pastas cerâmicas (*Martins, 2007*).

Como referido anteriormente, a plasticidade permite a alteração de forma de um dado material sem que haja rutura quando sujeito à ação de uma força, mantendo a forma adquirida depois de esta força deixar de se fazer sentir. A primeira condição que se deve verificar para que se obtenham bons resultados na extrusão está relacionada com a composição do material a extrudir, a qual lhe confere maior ou menor plasticidade, com o grau de preparação e o seu conteúdo em humidade.

Nas matérias-primas magras ou menos gordas, as consistências são menores que nas matérias-primas gordas, e são alcançadas com menores percentagens de humidade. São estas matérias-primas que são mais sensíveis a pequenas variações no teor de humidade, onde o aumento de 2 % a 3 % de água poderá alterar de forma acentuada a sua consistência e as condições de fluxo na extrusora. No fundo, uma matéria-prima/pasta com boa trabalhabilidade e extrudibilidade, permite boas condições de fluxo através da extrusora, sendo para isso necessário a verificação dum equilíbrio entre as matérias-primas argilosas e as não argilosas.

Se a pasta possuir uma maior proporção de fração argilosa, tal proporciona o aumento da coesão da massa e da resistência interna entre as partículas, observando-se, contudo um deslizamento melhor na extrusora graças ao menor atrito nas suas superfícies metálicas. Por outro lado, se a pasta possuir uma maior proporção de matéria-prima desengordurante, por exemplo areia, irá ocorrer uma diminuição da coesão interna da massa e um aumento do atrito nas paredes da extrusora. Desta forma, para se obterem bons provetes, há que ter em conta algumas características do material a extrudir, tais como: a dimensão do grão, a sua plasticidade, a sua preparação (moagem e homogeneização) e, ainda, o seu teor de humidade.

O procedimento utilizado para a formação de provetes foi o mesmo indicado no Procedimento de Controlo do Processo nº C-00-98, adotado no CENCAL. As amostras utilizadas na execução dos provetes foram as mesmas que sofreram o corte granulométrico no peneiro nº 60 (250 µm) no Laboratório do Departamento de Geociências da Universidade de Évora.

Em seguida, tomaram-se cerca de 3 kg a 4 kg de amostra da fração inferior a 250 µm e dilui-se a mesma com o auxílio de um agitador, em quantidade indeterminada de água mas, a suficiente para garantir a desagregação das partículas e a sua homogeneização. Esta homogeneização mecânica foi feita apenas na amostra Borba VV. As restantes amostras (Biblio VV e Lagoa) sofreram uma homogeneização manual, adicionando água à mistura até a tornar fluida.

Posteriormente procedeu-se à secagem parcial em moldes de gesso até se obterem teores de humidade que permitissem obter plasticidade (Fig. 8.25).



Fig. 8.25 - Secagem parcial das amostras em moldes de gesso.

Depois das amostras adquirirem a plasticidade suficiente elas foram amassadas manualmente, até se obter uma pasta homogênea. Posteriormente, esta pasta foi colocada numa extrusora Macocer (Fig. 8.26) para a conformação de provetes, tendo-se seguido as especificações anotadas no Procedimento de Controlo do Processo nº C-01-00 do CEN/CAL. As pressões adotadas variaram de 1.5 Bar até 2 Bar e 5 Bar, dependendo do teor de humidade verificado nas pastas de forma a conseguir-se controlar a saída da lastra, evitando-se torções ou quebras que mais tarde se refletiriam nos provetes.



Fig. 8.26 – Extrusora Macocer e lastra de argila.

Assim, para pastas com teores de humidade maiores utilizaram-se valores de pressão mais baixas (como no caso das amostras Biblio VV e Lagoa) entre 1,5 Bar e 2,5 Bar, efetuando-se o contrário para as pastas com menores teores de humidade (no caso da amostra Borba VV), onde se atingiram valores até 5 Bar.

À saída da extrusora foi montado um bocal de conformação de seção circular com 10 mm de diâmetro, pelo qual saiu uma lastra que era colocada sobre um tabuleiro de madeira e cortada em provetes de 100 mm de comprimento. Obtiveram-se desta forma por cada amostra sessenta e cinco provetes cilíndricos com dimensões de 100 mm x 10 mm, nos quais foram feitos dois sulcos distanciados 50 mm entre si, com o auxílio de um paquímetro (Fig. 8.27) para posterior avaliação de retrações lineares a seco e em cozido às diferentes temperaturas.



Fig. 8.27 - Marcação dos sulcos, com auxílio de um paquímetro.

Os sessenta e cinco provetes (Fig. 8.28) foram agrupados em diferentes lotes, sendo um deles destinado a ensaios após secagem, outro a ensaios após cozedura a 900 °C, outro para ensaios após cozedura a 1000 °C e, por último, um destinado a ensaios após cozedura a 1100 °C. Da amostra, foi ainda retirada uma porção destinada à avaliação da percentagem de água de extrusão, determinada sobre o peso húmido após secagem.



Fig. 8.28 - Provetes extrudidos da amostra Biblio VV, com dimensões 100 mm x 10 mm.

8.3.2 – SECAGEM DOS PROVETES

Tal como referido anteriormente, uma secagem rápida e pouco homogênea a temperaturas elevadas e humidades relativamente baixas, pode produzir contrações e dilatações bruscas das peças cerâmicas, aumentando assim o risco de distorções e fendilhamento. A humidade de equilíbrio está relacionada com o fenómeno de reabsorção de água, após secagem, pelo que a peça cerâmica seca voltará a absorver a humidade atmosférica até que se estabeleça um equilíbrio, levando a uma expansão do corpo cerâmico, que pode favorecer o aparecimento de defeitos como o esfarelamento.

Segundo *Martins (2007)*, este fenómeno de reabsorção de água leva a pensar que secagens até níveis excessivamente baixos de humidade farão com que o corpo cerâmico absorva maior quantidade de humidade. Tal facto tem implicações óbvias na oscilação de volume, aumentando a probabilidade de aparecimento de defeitos estruturais e causando a diminuição dos valores de resistência mecânica. Habitualmente, os produtos cerâmicos de construção secam até possuírem uma humidade final que seja próxima da humidade higroscópica, o que corresponde na prática a uma humidade de equilíbrio.

A humidade final referida anteriormente, varia consoante a época do ano. Ou seja, é muito superior no inverno devido à prevalência de temperaturas mais baixas e de maior humidade relativa do ar. O tempo de permanência das peças à humidade atmosférica, entre a saída da estufa ventilada ou secador e a entrada no forno, pode também influenciar a hidratação dos corpos cerâmicos (*Martins, 2007*).

A secagem dos corpos cerâmicos dá-se em duas fases distintas. Numa primeira fase, a água existente à superfície dos corpos evapora, pelo que as moléculas de água livre existentes nos poros evoluem por capilaridade, ficando livres de água e retraídos os espaços por elas ocupados. Do facto resulta uma redução de volume considerável, aconselhando-se assim, uma secagem lenta de forma a evitar distorção e fendilhamento dos corpos. Na segunda fase de secagem, que pode ser realizada muito mais rapidamente, ocorre a evolução da água zeolítica (quando exista) e da água estrutural dos minerais argilosos. Os provetes obtidos por extrusão foram submetidos a uma secagem durante 24 horas, numa estufa ventilada a 110 °C. Após este período, os mesmos foram deixados a arrefecer durante 1 h ao ar livre.

8.3.3 – COZEDURA DOS PROVETES

O processo de cozedura a que as peças conformadas são sujeitas tem como objetivo conferir-lhes maior resistência mecânica e, ainda, estabilidade em relação à humidade, à temperatura e aos diferentes produtos químicos. Durante este processo a argila sofre profundas transformações que interferem com o seu comportamento elástico, com o seu volume e com a sua resistência mecânica. As pastas cerâmicas sendo constituídas por matérias-primas plásticas e não plásticas irão apresentar sempre um comportamento, durante e após a cozedura, que será altamente condicionado por estes dois tipos de componentes e pela sua proporção relativa.

Segundo *Gomes (2002)*, a absorção da humidade pelos corpos cerâmicos após cozedura, contribui para a diminuição da resistência mecânica, para o aparecimento de defeitos, como esfarelamentos, e para a sua expansão, sendo este último um fenómeno irreversível e dependente da humidade relativa do ambiente onde se encontra, das condições de cozedura, ciclo térmico, temperatura máxima de cozedura e tempo de permanência nessa temperatura.

A expansão por humidade atinge o seu valor máximo quando os corpos cerâmicos são cozidos entre 950 °C e 1000 °C, estando associada à hidratação de compostos criptocristalinos resultantes da transformação durante a cozedura dos diferentes minerais argilosos, tais como: Caulinite, Illite e Esmectite. Esta expansão pode também dever-se ao colapso incompleto das estruturas da Illite e da Esmectite, ou ainda à decomposição incompleta dos carbonatos presentes nas matérias-primas argilosas.

Assim, após a secagem, os provetes foram introduzidos em fornos elétricos, previamente programados para atingirem as diferentes temperaturas requeridas. A maior vantagem de utilização deste tipo de fornos reside no aspeto da segurança de utilização e na produção de uma atmosfera de combustão limpa, associando ainda um fácil manuseamento (*Canotilho, 2003*).

Dentro de um dos fornos, foi criada uma prateleira com o objetivo de obter dois parâmetros de temperatura diferentes graças a valores diferentes de emissão de calor das suas resistências, conseguindo-se obter diferenças de temperaturas na ordem de 100 °C. No interior dos copos com os provetes, foram colocados anéis de Buller de diferentes

diâmetros, de forma a permitir a medição da temperatura máxima de cozedura a que os provetes foram sujeitos (Fig. 8.29).



Fig. 8.29 - Anel de Buller.

Estes anéis, com uma gama de temperaturas compreendida entre 848 °C e 1440 °C, são fabricados com materiais cerâmicos refractários, que retraem durante o processo de cozedura, sendo geralmente retirados do interior do forno no final do referido processo. Os anéis de Buller subdividem-se em anéis de maiores e menores diâmetros.

No caso dos anéis de diâmetros maiores (5.5 cm ou nº 55), após arrefecimento, são colocados num indicador com um ponteiro que mede o valor de retração do anel (Fig.). Este valor de retração medido é então correspondente a um determinado valor de temperatura constante numa tabela (Fig. 8.30).

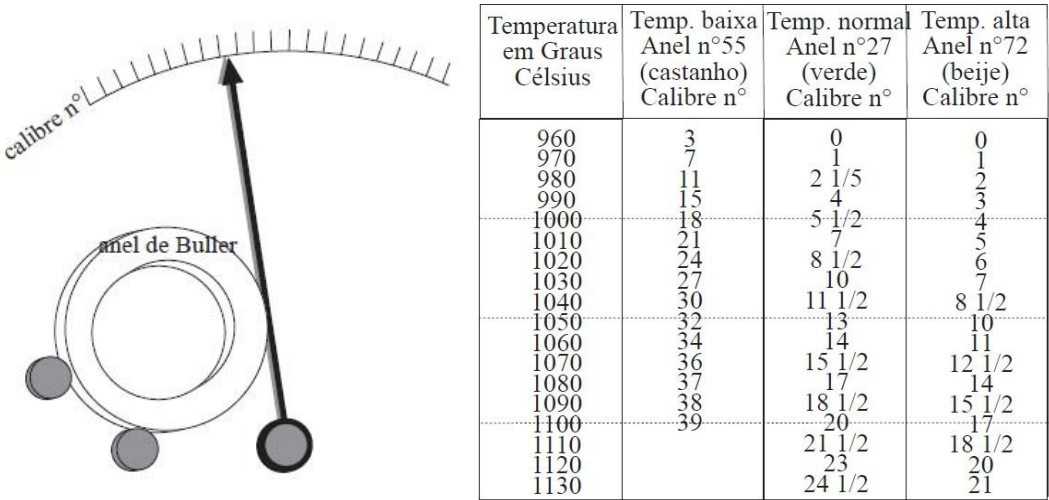


Fig. 8.30 - Princípio de medição dos anéis de Buller e excerto de uma escala de medição (Adaptado de Canotilho, 2003).

Em relação aos anéis de menores diâmetros, a medição do valor de contração durante o processo de cozedura, faz-se com a utilização de uma craveira graduada. Tal como nos anéis de maiores dimensões, o valor de retração que se obtém, corresponde a um determinado valor de temperatura constante numa tabela.

Os gradientes térmicos, ou curvas de cozedura, a que os provetes foram sujeitos no interior dos fornos variaram ligeiramente consoante a temperatura de cozedura pretendida e o forno utilizado, estando os mesmos, descritos no capítulo dedicado aos resultados laboratoriais.

8.3.4 – PERCENTAGEM DE RETRAÇÃO LINEAR

Os corpos cerâmicos, depois de conformados, ao serem submetidos aos processos de secagem e cozedura, são também sujeitos ao rearranjo das partículas que os constituem. Esta mudança conduz a inevitáveis variações de volume que estão dependentes das diferentes velocidades de secagem e cozedura, da temperatura, humidade atmosférica, composição química e mineralógica, do tamanho e forma dos grãos, da plasticidade e do método de compactação utilizado na extrusão.

No estado seco, a densidade de uma peça de cerâmica depende fundamentalmente da composição e distribuição granulométrica das matérias-primas. Como tal, em matérias-primas granulometricamente bem graduadas, obtém-se uma máxima compactação e uma porosidade mínima, uma vez que os grãos mais finos podem sempre ocupar os espaços vazios entre os grãos de maiores dimensões.

Assim, quanto menor for o tamanho das partículas, maior será a concentração de minerais argilosos ($<2\ \mu\text{m}$) e, como tal, maior será a retração ou contração após secagem. Por outro lado, se ocorrer uma concentração maior de minerais não argilosos, os corpos cerâmicos poderão exibir contrações húmido-seco negativas, ou seja, sofrendo dilatações. Dentro dos minerais argilosos, também se verifica uma diferença de comportamento em relação a esta propriedade. Ou seja, as argilas caulínicas e ilíticas apresentam contrações inferiores, em relação às argilas esmectíticas. Também a estrutura destes minerais influencia este parâmetro, onde quanto maior for a ordem estrutural dos minerais argilosos, menor será a retração das peças cerâmicas após secagem.

Durante o processo de cozedura a porosidade aumenta devido à libertação dos gases provenientes da destruição da matéria orgânica, da desidratação (perda de água zeolítica e água estrutural) dos minerais argilosos e da decomposição de carbonatos ou de sulfatos com evolução de CO₂ e SO₃, respectivamente.

A retração de um corpo cerâmico pode ser analisada segundo três vertentes: retração verde-seco, retração seco-cozido e retração total. Segundo *Gomes (2002)*, a retração que um corpo cerâmico argiloso sofre (a partir da sua consistência normal para trabalho) é denominada retração húmido-seco, sendo expressa em percentagem do comprimento inicial em verde. A retração seco-cozido caracteriza-se como sendo a retração que um corpo cerâmico seco sofre durante a cozedura. Já a retração total, é definida como o somatório das retrações húmido-seco e seco-cozido, expressando-se através da retração linear do corpo cerâmico sob a forma de produto acabado. Segundo *Facincani (1993)* citado por *Martins (2007)*, as maiores retrações lineares estão associadas a uma maior quantidade de fase líquida presente, devido à ação fundente de óxidos de cálcio, magnésio e ferro, juntamente com a dimensão das partículas. Ou seja, quanto menor for esta dimensão e, portanto, maior for a superfície específica, maior será o contacto entre as partículas, desenvolvendo-se assim mais rapidamente as reações de cozedura.

O conhecimento de todos estes parâmetros é importante uma vez que permite adaptar a formação de uma pasta, onde uma matéria-prima se poderá inserir, permitindo ainda efetuar os cálculos necessários para a execução das dimensões dos moldes das peças cerâmicas, com o intuito de compensar a percentagem de contração.

Os ensaios para obtenção dos diferentes valores de retração linear foram executados de acordo com o Procedimento de Controlo do Processo nº C-07-00 do CENCAL. Como referido anteriormente, em quinze dos sessenta e sete provetes extrudidos foi feita a marcação de dois pequenos sulcos distando 50 mm um do outro, valor medido com um paquímetro digital. Após secagem na estufa a 110 °C até peso constante, e cozeduras nos diferentes patamares de temperatura, procedeu-se de novo à medição da distância entre os dois sulcos, com o mesmo paquímetro, tendo os diferentes parâmetros sido calculados através das seguintes expressões:

$$\% \text{ de Retração } H/S = \frac{Ch - Cs}{Ch} \times 100$$

$$\% \text{ de Retração S/C} = \frac{C_s - C_c}{C_s} \times 100$$

$$\% \text{ de Retração total} = \frac{C_h - C_c}{C_h} \times 100$$

Onde:

- % de Retração H/S significa a percentagem de retração húmido-seco;
- % de Retração S/C representa a percentagem de retração seco-cozido (tendo sido obtidos os valores para cada um dos patamares de temperatura);
- % de Retração total significa a percentagem de retração total;
- C_h , representa a distância inicial entre os dois sulcos em milímetros (sendo neste caso de 50 mm);
- C_s , representa a distância entre os dois sulcos após secagem (mm);
- C_c , representa a distância entre os dois sulcos após a cozedura dos provetes às diferentes temperaturas (mm).

8.3.5 – PERCENTAGEM DE ABSORÇÃO DE ÁGUA

A absorção de água por um corpo cerâmico é influenciada pela distribuição granulométrica, ou melhor da distribuição dimensão do grão, de uma matéria-prima ou pasta, pela composição química e mineralógica dos minerais argilosos, pela sua própria estrutura cristalina e, ainda, pela porosidade existente na peça após secagem e cozedura.

O ensaio da determinação da percentagem de absorção de água permite determinar o grau de sinterização de uma determinada pasta ou matéria-prima argilosa cozida, quando mergulhada em água, tendo sido realizado de acordo com o Procedimento de Controlo de Processo nº C-03-00 do CENCAL.

O ensaio iniciou-se com a recolha de cinco provetes de cada amostra cozidas de acordo com as três temperaturas referidas anteriormente, registando-se o seu peso seco. Seguidamente foram mergulhados em água à temperatura ambiente durante 24 h. Após este período de tempo, foi removida a água superficial com auxílio de um pano húmido, tendo sido de novo pesados (Fig. 8.31).



Fig. 8.31 - Provetes submersos em água na execução do ensaio de Absorção.

A determinação da percentagem de absorção de água foi calculada através da média aritmética dos valores obtidos individualmente pela seguinte fórmula:

$$\% \text{ Absorção} = \frac{ph - pc}{pc} \times 100$$

Onde % Absorção representa o valor da percentagem de absorção de água; *ph* representa o peso dos pedaços dos provetes húmidos (em gramas); *pc* representa o peso dos provetes secos (em gramas).

8.3.6 – RESISTÊNCIA MECÂNICA À FLEXÃO

A resistência mecânica de um corpo cerâmico é um parâmetro extremamente importante, quer seja determinado em peças secas ou em peças cozidas, devendo o seu valor estar sempre adequado ao tipo de funções para as quais a peça cerâmica foi criada.

Os corpos cerâmicos secos devem sempre possuir uma resistência mecânica adequada, de forma a suportar toda a manipulação (carga, descarga, transporte, acondicionamento) que ocorre entre o estágio da secagem e o estágio da cozedura, sem contudo se deformarem. Este parâmetro, nestes corpos cerâmicos, depende essencialmente do tipo de matéria-prima, da distribuição da dimensão do grão, da forma das partículas e da percentagem da componente argilosa.

De facto, é a componente argilosa a principal responsável pela coesão das peças em seco, que será tanto maior quanto maior for a sua participação na pasta cerâmica e

quanto menor for o tamanho médio das suas partículas. No entanto, a participação da componente argilosa nunca deve ultrapassar certos limites, uma vez que se a mesma for excessiva, poderá aumentar a probabilidade de ocorrência de defeitos nos corpos cerâmicos.

Segundo *Cunha (2010)*, o teor da humidade de extrusão, a correta homogeneização da matéria-prima aquando da conformação e a humidade atmosférica relativa durante a secagem, implicam sempre algumas variações de volume nos corpos cerâmicos que influenciam de forma indireta os valores de resistência mecânica dos mesmos. Por outro lado, a dimensão dos grãos dos inertes, bem como a sua distribuição por toda a pasta, são igualmente importantes, uma vez que quanto maior for o grão, menor será o valor da resistência mecânica em seco, sendo aqui fundamental uma moagem eficaz das matérias-primas.

Existem ainda alguns valores de referência em relação à resistência mecânica à flexão em cru que podem dar ideia sobre o tipo de matéria-prima ou pasta. Ou seja, valores inferiores a 30 Kgf/cm² indicam a presença de argilas magras, de baixa plasticidade, elevada dimensão do grão e porosidade; valores entre 30 Kgf/cm² e 70 Kgf/cm² indicam plasticidade e porosidade normais; valores superiores a 70 Kgf/cm² são típicos de argilas gordas, com elevada plasticidade, e baixa porosidade.

As resistências mecânicas em cozido são forçosamente superiores às que são obtidas após secagem devido ao desenvolvimento de diversas forças de coesão mais fortes, de fases vítreas e da formação de fases de alta temperatura. Assim, tendencialmente, a resistência mecânica à flexão irá aumentar até o corpo adquirir a estrutura cerâmica “ideal” onde, após isso, o aumento de temperatura irá fazer diminuir o valor da resistência fazendo com que o material entre em fusão (*Ferraz, 2004 in Martins, 2007*).

Segundo *Martins (2007)*, durante o pré-aquecimento e antes de alcançar o ponto ideal de cozedura ocorrem modificações na rede cristalina dos minerais, tornando-se impossível a reversibilidade do processo e da afinidade do corpo cerâmico com água. Com o aumento de temperatura irão formar-se novas estruturas cristalinas, fusões parciais e variações de volume, devido à ocorrência de ligações mais fortes.

A resistência mecânica em cozido depende, essencialmente, da participação das matérias-primas argilosas e da dimensão das suas partículas. Assim, quanto menor for esta dimensão, maior será a reatividade superficial, sendo este um mecanismo fundamental de forma a promover e acelerar as reações de cozedura. No fundo, todos os parâmetros que condicionam a resistência em cru, irão também condicionar os valores da resistência mecânica em cozido.

O método utilizado para a avaliação das resistências mecânicas em cru e em cozido foi o da rutura por flexão, uma vez que, a mesma simula de forma mais real, o conjunto de forças que se desenvolvem durante a manipulação das peças, tendo-se adotado para o efeito, o Procedimento de Controlo do Processo nº C-04-00 do CENCAL.

Este método permite obter informações quantitativas sobre o comportamento e adequabilidade das matérias-primas argilosas quando sujeitas a esforços de flexão, com o intuito de averiguar o respetivo contributo para a resistência mecânica das pastas onde forem incluídas. Ou seja, enquanto o módulo de rotura em cru de uma matéria-prima argilosa se relaciona diretamente com a sua plasticidade, o módulo de rotura em seco e cozido de uma matéria-prima argilosa, dá-nos a ideia da adequabilidade de inclusão da mesma em pastas, de acordo com o tipo de produtos cerâmicos.

A determinação do módulo de rotura, foi efetuada sobre provetes cilíndricos de 100 mm x 10 mm, secos em estufa a 110 °C e cozidos às três temperaturas pretendidas.

O ensaio, executado numa prensa Zwick, consistia na colocação dos provetes sobre dois suportes fixos à distância de 7 cm (Fig. 8.32). A carga foi sendo aproximada gradualmente à velocidade de 150 mm/min ao ponto central do corpo do provete até este fraturar. Após o ensaio, é medido em cada provete o diâmetro no local exato da quebra (Fig. 8.33)



Fig. 8.32 – Prensa Zwick e provete durante o ensaio.



Fig. 8.33 – Medição do diâmetro.

A resistência mecânica à flexão, ou módulo de rotura, foi determinado segundo a expressão seguinte:

$$\text{Módulo de rotura} = \frac{8 \times F \times L}{\pi \times D^3}$$

Onde:

- F representa a força indicada no mostrador (Kgf);
- L a distância entre dois pontos fixos do apoio do provete (7 cm);
- D representa o diâmetro do provete (cm);
- π representa a constante de Arquimedes (3,141592).

O valor da resistência mecânica à flexão é determinado através da média aritmética dos diferentes valores obtidos, devendo-se sempre desprezar os valores do módulo de rotura que sejam em 10 % inferiores à média calculada, determinando-se assim um novo valor médio.

8.3.7 – PERCENTAGEM DE RESÍDUO NO PENEIRO 45 μm

As matérias-primas argilosas apresentam maioritariamente na sua constituição, minerais argilosos de grão muito fino, que são sempre acompanhados por outros minerais e matéria não mineral de maior tamanho, resultando do seu processo de formação. Como tal, torna-se importante conhecer-se a quantidade de resíduo que uma determinada matéria-prima argilosa deixa em determinado peneiro, uma vez que desta forma se pode obter a ideia da quantidade de participação das impurezas associadas à matéria-prima e assim determinar também o tipo de peneiro mais adequado a ser utilizado na produção de uma determinada pasta.

O ensaio da determinação da percentagem de resíduo a um dado peneiro, de uma determinada matéria-prima argilosa, foi realizado de acordo com o Procedimento de Controlo de Processo nº C-08-00 do CENCAL.

Neste ensaio, retirou-se uma quantidade de argila, da matéria-prima passada no peneiro nº 60 (250 μm), tendo sido seca na estufa à temperatura de 110 °C. Posteriormente pesaram-se 100 g da amostra e selecionou-se o peneiro com malha de 45 μm , verificando-se inicialmente se o mesmo se encontrava limpo e sem resíduos de ensaios anteriores. Posteriormente passou-se o peneiro por água corrente colocando nele a matéria-prima e submetendo-a à ação de um jato de água, durante o tempo necessário para que esta se revelasse límpida (Fig. 8.34).



Fig. 8.34 - Execução do ensaio de cálculo da percentagem de resíduo no peneiro de 45 μm .

Em seguida, passou-se para uma cápsula o resíduo retido no peneiro, deixando-o em repouso de forma a separar a água do resíduo. Secou-se novamente o resíduo numa estufa a 110 °C e pesou-se, tendo o valor desta pesagem em gramas, refletido a informação direta da percentagem de resíduo a esse peneiro.

8.3.8 – ANÁLISE TÉRMICA-DILATOMÉTRICA

A análise térmica-dilatométrica é de grande importância para a indústria cerâmica, uma vez que permite o registo contínuo das variações de volume que um corpo de prova sofre, quando submetido a ciclos de aquecimento e arrefecimento, permitindo assim a avaliação e controlo das dimensões finais dos produtos e possíveis ocorrências de defeitos, tal como as fissuras, deformações e tensões residuais.

Segundo *Gomes (1988)*, a análise térmica-dilatométrica permite pôr em evidência as variações de volume relacionadas com o coeficiente de dilatação, com a

eliminação de alguns constituintes por formação de compostos voláteis, com reações e transformações cristaloquímicas, com a sinterização, com a formação da fase vítrea ou líquida e com deformações. Permite ainda efetuar estudos cinéticos de certas transformações, se a temperatura for mantida de forma constante e se o registo dilatométrico for feito em função do tempo.

Este ensaio pode ser realizado em provetes crus e cozidos dando indicações importantes sobre a composição mineralógica, as variações de volume que os corpos cerâmicos sofrem e o comportamento que a matéria-prima argilosa tem no sistema pasta-vidrado. Geralmente, até temperaturas que rondam 400 °C verifica-se uma dilatação linear que termina quando se inicia a eliminação da água de constituição.

O Quartzo, quando presente nos corpos cerâmicos, é responsável por uma dilatação considerável que ocorre por volta de 573 °C. Esta dilatação, durante o aquecimento, resulta da transformação ou inversão de Quartzo α para Quartzo β . Durante o arrefecimento, ocorre uma variação do volume que se materializa numa retração, devido à passagem de Quartzo β para Quartzo α .

Dentro dos minerais argilosos, a presença dos mesmos nos diferentes provetes é de fácil identificação, uma vez que estes exibem algumas características típicas. Ou seja, uma contração significativa a baixas temperaturas (entre 175 °C e 300 °C), indica a existência de Montmorilonite devido à libertação de água estrutural, podendo funcionar como sinal de alerta para o industrial, uma vez que este efeito acabará por fazer aumentar a possibilidade de ocorrência de defeitos nos corpos cerâmicos.

Em argilas Ilíticas que, em regra, possuem uma percentagem considerável de Quartzo, a curva dilatométrica mostra uma estabilização de variação de volume entre 700 °C e 800 °C, sofrendo posteriormente uma rápida contração. Esta ocorre devido à presença de K₂O de forma abundante nestas argilas que causa a vitrificação do material. Se por alguma razão esta vitrificação não for homogénea por toda a peça, dá-se a ocorrência de defeitos como o fendilhamento.

A presença de carbonatos em pastas ou matérias-primas argilosas é também facilmente detetável através da análise térmico-dilatométrica, uma vez que ocorre uma retração brusca depois de 800 °C, revelando uma inversão por volta de 900 °C, causando uma expansão que será tanto maior quanto maior for o conteúdo de CaCO₃. O fim da

contração e o início da expansão são processos que se relacionam com a formação de silicatos e aluminossilicatos de cálcio, que reduzem a concentração da fase vítrea e o aumento de CO₂ libertado durante a transformação do CaCO₃, levando ao aumento da porosidade do material cozido.

O ensaio da análise térmica-dilatométrica foi realizado segundo os requisitos referidos no Procedimento de Controlo do Processo nº C-06-00 do CENCAL. Os corpos de prova foram obtidos a partir dos provetes secos, depois de submetidos ao ensaio de resistência mecânica à flexão. Este ensaio foi realizado num dilatómetro Bahr DIL801L (Fig. 8.35) e os dilatogramas foram registados utilizando o programa informático WinTA 7.0. A curva de calibração foi efetuada com o padrão α alumina (corindo, safira) e a taxa de aquecimento rondou os 10 °C/mim, a uma temperatura máxima de 1100 °C.



Fig. 8.35 – Dilatómetro Bahr DIL801L.

Obtidos o gráfico e a tabela, determina-se respectivamente, por leitura, a percentagem de dilatação a 573 °C, e o coeficiente de dilatação linear a 400 °C. A percentagem de dilatação a 573 °C corresponde ao valor lido na curva a 573 °C, ou seja, no ponto em que o quartzo α passa a quartzo β , com uma conseqüente variação na sua dimensão linear de cerca de 2 %. Já o coeficiente linear a 400 °C é calculado através da seguinte fórmula:

$$\text{Coeficiente de Dilatação Linear} = \frac{\frac{\% \text{ Dilatação } T(t)}{100}}{T(t) - T(\text{ambiente})} \text{ (unidades } ^\circ\text{C}^{-1}\text{)}$$

Onde o coeficiente de dilatação linear se expressa em °C⁻¹.

8.3.9 – PLASTICIDADE DETERMINADA SEGUNDO O MÉTODO DE PFEFFERKORN

Como referido anteriormente, a plasticidade de um material é a propriedade que permite que a sua forma seja alterada por ação de uma força, sem que ocorra rutura, e que a mesma seja mantida após a remoção ou diminuição dessa força. Nesta definição encontramos dois conceitos fundamentais: força de cedência (força abaixo da qual não é possível deformar o material) e deformação sem rutura.

No caso específico das pastas cerâmicas e das matérias-primas argilosas, o valor da força de cedência diminui à medida que a percentagem de água aumenta. Ou seja, quanto maior for a quantidade de água, menor é o esforço necessário para moldá-la. Por outro lado, a quantidade de água presente influencia também a extensão da deformação possível sem provocar a rutura do material que, será tanto maior quanto a percentagem de água presente. Assim, numa pasta com uma quantidade reduzida de água, observa-se, regularmente a existência de fendas durante o processo de conformação.

Pode-se então afirmar que os parâmetros que mais contribuem de forma decisiva para a plasticidade de matérias-primas argilosas e pastas cerâmicas são os minerais argilosos, devido à forma lamelar da maior parte das suas partículas e ao modo como estas se ligam à água que os rodeia. A água forma camadas à volta das partículas contribuindo por um lado para mantê-las unidas por uma ação resultante da tensão superficial e, por outro lado, permite o seu deslizamento comportando-se como agente lubrificante.

O tamanho das partículas é, também, um fator a considerar, podendo dizer-se, que de uma forma geral, a redução do tamanho dos constituintes argilosos de uma pasta tende sempre a aumentar a plasticidade da mesma. Também o envelhecimento das matérias-primas, no qual se deixam os barros expostos à ação dos agentes atmosféricos, é um fator a considerar no estudo da plasticidade de uma matéria-prima.

Neste caso, os mecanismos que conduzem ao acréscimo de plasticidade, podem resultar por ação da água numa separação das partículas eventualmente ligadas, ou pela ação de bactérias que fariam aumentar a quantidade de matéria orgânica presente, sendo certo que a mesma contribuiria, pela sua ação sobre as ligações entre as partículas, para uma maior plasticidade.

Em relação a uma determinada pasta ou matéria-prima argilosa, existe ainda uma operação que contribui para o aumento das propriedades plásticas, denominada por

desaeração, ou extração do ar. Esta conduz a um aumento da extensão da deformação suportada pelo material antes do ponto de rutura. A explicação para este fenómeno parece relacionar-se com o facto de quando o ar se encontra presente entre as partículas, evita que as mesmas possam unir-se entre si diminuindo assim a coesão de todo o conjunto. É por esta razão que os oleiros e artistas cerâmicos "batem" as suas pastas, e que, em extrusoras de pré-conformação e de conformação existe uma câmara de vazio.

Por último, a plasticidade de uma pasta ou matéria-prima argilosa pode ser também aumentada pela utilização de substâncias conhecidas por plastificantes. Nestes casos, a adição de um pó não plástico a um líquido de viscosidade elevada permite obter uma mistura com capacidade para ser moldada, onde o líquido atua como lubrificante, permitindo o deslizamento das partículas, e simultaneamente, a sua tensão superficial contribuindo assim para uma certa coesão do conjunto.

Existem várias técnicas e métodos para determinação da plasticidade de uma pasta plástica ou matéria-prima argilosa. Neste estudo optou-se pelo método de Pfefferkorn que foi realizado segundo os requisitos referidos no Procedimento de Controlo do Processo nº C-19-00 do CENCAL. Para a execução do ensaio utilizou-se o material peneirado inicialmente das três amostras estudadas, inferior a 250 μm , um molde próprio e um plasticímetro (Fig. 8.36).

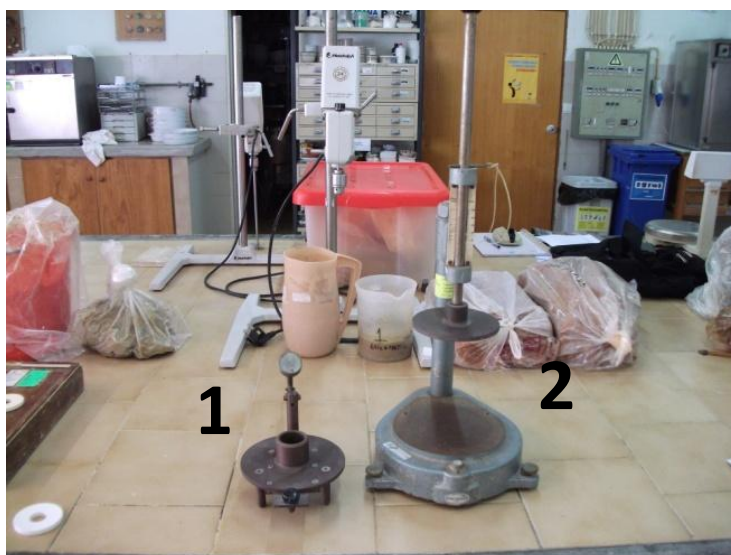


Fig. 8.36 - Molde de execução de provetes (1) e plasticímetro (2).

Neste caso, retiraram-se porções, sendo que uma delas foi colocada numa placa de gesso para secar ligeiramente, duas foram utilizadas tal e qual, uma foi amassada

manualmente com adição de alguma água, enquanto outra foi amassada com adição de água em quantidade superior à anterior.

Em seguida, executou-se com o molde próprio, cinco provetes para cada amostra, um de cada uma das partes referidas anteriormente (Fig. 8.37).



Fig. 8.37 - Execução de um provete com auxílio do molde próprio.

De seguida, colocou-se o provete retirado do molde na base do plasticímetro e soltou-se a cavilha que prende o disco superior, procedendo-se à leitura do valor indicado na escala que corresponde à deformação do provete (mm). Procedeu-se desta forma para os cinco provetes diferentes. Posteriormente calculou-se a percentagem de humidade de cada um dos provetes de acordo com o Procedimento de Controlo do Processo nº C-02-00. Por último, construiu-se um gráfico de valor adimensional ($40/a$) em função da percentagem de humidade, onde 40 representa a altura inicial do provete cilíndrico (mm).

8.4 – ENSAIO INDUSTRIAL

Tal como referido anteriormente, mesmo após a decantação, todas as amostras apresentavam excesso de água. Como tal, foi necessário adicionar material obtido através da peneiração por via seca, homogeneizando em seguida de forma manual a amostra, aumentando a sua consistência. Este processo foi repetido até que as matérias-primas apresentassem uma boa plasticidade de forma a serem trabalhadas e moldadas na olaria do Mestre Xico Tarefa (Fig. 8.38).



Fig. 8.38 – Homogeneização manual da amostra Biblio VV.

As peças cerâmicas foram conformadas na roda do oleiro (Fig.), permanecendo na olaria para secarem a uma temperatura ambiente constante e posteriormente sofrerem a primeira cozedura, também designada por cozedura de chacota. Neste tipo de cozedura, típica da olaria tradicional, o forno pode ser cheio na totalidade (diminuindo os custos associados ao consumo elétrico do forno uma vez que se diminui o número de cozeduras), com peças mais pequenas a serem introduzidas no interior de peças maiores, podendo também haver a sobreposição de peças e o seu encostamento.

As peças cerâmicas foram conformadas com diferentes formas, testando-se o comportamento das matérias-primas em peças com características distintas. Desta forma, foram elaborados pratos e potes, garrafas de gargalo fino e alongado, garrafas de gargalo grosseiro e curto, para que fosse possível uma análise à resposta que as superfícies davam à medida que eram sujeitas a variações de temperatura e ambiente.

9 – RESULTADOS DO COMPORTAMENTO CERÂMICO DAS MATÉRIAS-PRIMAS ARGILOSAS ESTUDADAS

9.1 – ENSAIOS LABORATORIAIS DE CARACTERIZAÇÃO FÍSICA

Neste subcapítulo serão apresentados os resultados dos ensaios de caracterização física, realizados no Departamento de Geociências da Universidade de Évora, das amostras das três matérias-primas.

9.1.1 – ANÁLISE GRANULOMÉTRICA

Dos dois diferentes métodos de análise granulométrica utilizados, resultaram duas distribuições dimensionais do grão, as quais depois de integradas permitiram a elaboração de um gráfico representativo da granularidade de cada uma das diferentes matérias-primas argilosas.

Das diferentes curvas granulométricas obtidas (Fig. 9.1), foram avaliadas as quantidades das frações arenosa, siltosa e argilosa; o parâmetro D_{50} que define a granularidade média do grão e que corresponde à dimensão das partículas, quando passados ou retidos 50% da amostra e a granularidade do solo.

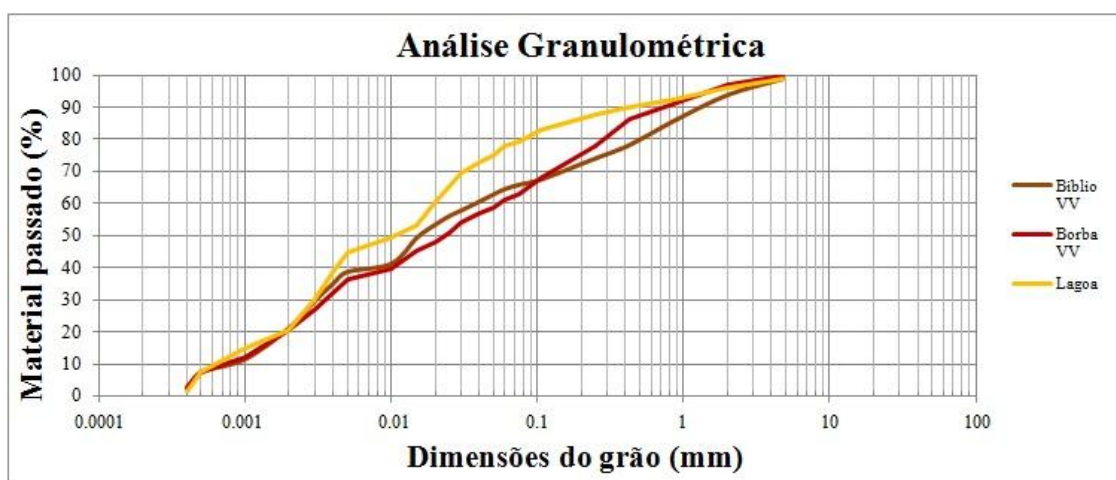


Fig. 9.1 - Curvas granulométricas das matérias-primas ensaiadas.

Além da representação das curvas granulométricas das matérias-primas ensaiadas, entre 12,7 mm e 0,0001 mm de diâmetro esférico equivalente, também se elaborou um quadro resumo (Quadro nº 9.1), contendo os valores das percentagens das frações arenosa, siltosa, argilosa e o valor do parâmetro D_{50} de cada amostra.

Quadro nº 9.1 - Parâmetros granulométricos das amostras de matéria-prima ensaiadas.

Fração	Biblio VV	Borba VV	Lagoa
--------	-----------	----------	-------

Granulométrica			
% Fração arenosa	25	24	18
% Fração siltosa	21	17	16
% Fração argilosa	54	59	66
Parâmetro D ₅₀ (µm)	15	25	10

Da análise da distribuição granulométrica da amostra Biblio VV, conclui-se que a mesma se encontra bem graduada e distribuída, estando nela representadas todas as frações granulométricas inferiores a 5 mm, sendo expressa por uma curva extensa. A fração arenosa que corresponde ao diâmetro esférico equivalente entre 2 mm e 0,02 mm, revela uma participação de 25 %, a fração siltosa (0,02 mm - 2 µm) compreende 21 % das partículas, enquanto que a fração argilosa (<2 µm), com cerca de 54 %, corresponde à fração predominante. De uma forma geral e, sendo o valor do parâmetro D₅₀=15 µm, constata-se que esta amostra apresenta uma granularidade muito fina, com 50 % das suas partículas a serem inferiores a 15 µm.

A distribuição granulométrica da amostra Borba VV é semelhante à da amostra Biblio VV, mostrando-se igualmente bem graduada e com uma granularidade fina. Relativamente às suas frações granulométricas, a amostra Borba VV apresenta uma fração arenosa com 24 % de partículas, uma fração siltosa, composta por 17 % de partículas, e por último uma fração argilosa com uma participação de quase 59 % do total de partículas. Neste caso, a única diferença situa-se no valor do parâmetro D₅₀, que nesta amostra nos indica que 50 % das partículas da amostra são inferiores a 25 µm.

Por último, a amostra Lagoa mostra-se igualmente bem graduada e com uma granularidade fina. Ao contrário das anteriores, apresenta uma maior participação da fração argilosa com cerca de 66 % das partículas. Já a fração siltosa e a fração arenosa representam respetivamente, 16 % e 18 %. Tal facto reflete-se também no valor do parâmetro D₅₀ da sua distribuição granulométrica, que nos indica que 50 % das suas partículas são inferiores a 10 µm.

Durante o ensaio da análise granulométrica da fração inferior a 75 µm, utilizou-se ainda o Sedigraph para a determinação da granulometria do solo, e a percentagem correspondente a cada uma das suas classes granulométricas (Quadro nº 9.2).

Quadro nº 9.2 - Classes granulométricas das diferentes matérias-primas.

Amostra	Areia Grosseira	Areia Fina			Limo			Argila	
Diâmetro (µm)	2000-200	200-100	100-50	50-20	20-10	10-5	5-2	2-1	< 1
BiblioVV	16,0 %	4,0 %	1,6 %	3,8 %	5,4 %	6,6 %	9,3 %	6,8 %	46,7 %
BorbaVV	11,1 %	6,6 %	2,4 %	4,4 %	4,3 %	4,4 %	7,9 %	5,1 %	53,8 %
Lagoa	7,7 %	5,3 %	1,4 %	3,4 %	4,0 %	4,4 %	7,2 %	5,3 %	61,3 %

Através da análise do Quadro nº 9.2, verifica-se que a distribuição granulométrica das partículas é uniforme em todas as amostras ensaiadas, correspondendo a maior participação (entre 47 % e 61 %) à fração argilosa em cada uma delas.

9.1.2 – LIMITES DE CONSISTÊNCIA

Sendo um dos objetivos desta dissertação a aplicação de matérias-primas argilosas na elaboração de pastas cerâmicas para olaria, a realização do ensaio dos limites de consistência (Quadro nº 9.3) revelou-se ainda mais importante, uma vez que permitiu prever determinados comportamentos durante todas as fases do processo cerâmico, tais como a sua plasticidade e trabalhabilidade.

Quadro nº 9.3 - Quadro síntese dos limites de consistência e dos índices de plasticidade.

Amostra	Limites de Consistência		
	LL (%)	LP (%)	IP (%)
Biblio VV	47,50	26	21,50
Borba VV	38	25	13
Lagoa	49	24	25

Tendo em conta o Quadro nº 8.4, incluído no capítulo de “Metodologias de Trabalho”, de todas as amostras ensaiadas, a amostra Biblio VV e a amostra Lagoa, são aquelas que apresentam os valores mais elevados do índice de plasticidade, 21,50 % e

25 % respetivamente, sendo por isso classificadas como possuindo alta plasticidade e, são constituídas maioritariamente por argila siltosa. Por outro lado, a amostra Borba VV, apresenta um valor médio do índice de plasticidade (13 %), sendo, por isso, classificada como matéria-prima de plasticidade média, constituída maioritariamente por argila e por algum silte.

De seguida, procedeu-se à projeção dos valores obtidos nos ensaios efetuados no Diagrama de Casagrande (Fig. 9.2), especialmente vocacionado para caracterizar matérias-primas para a indústria da cerâmica estrutural.

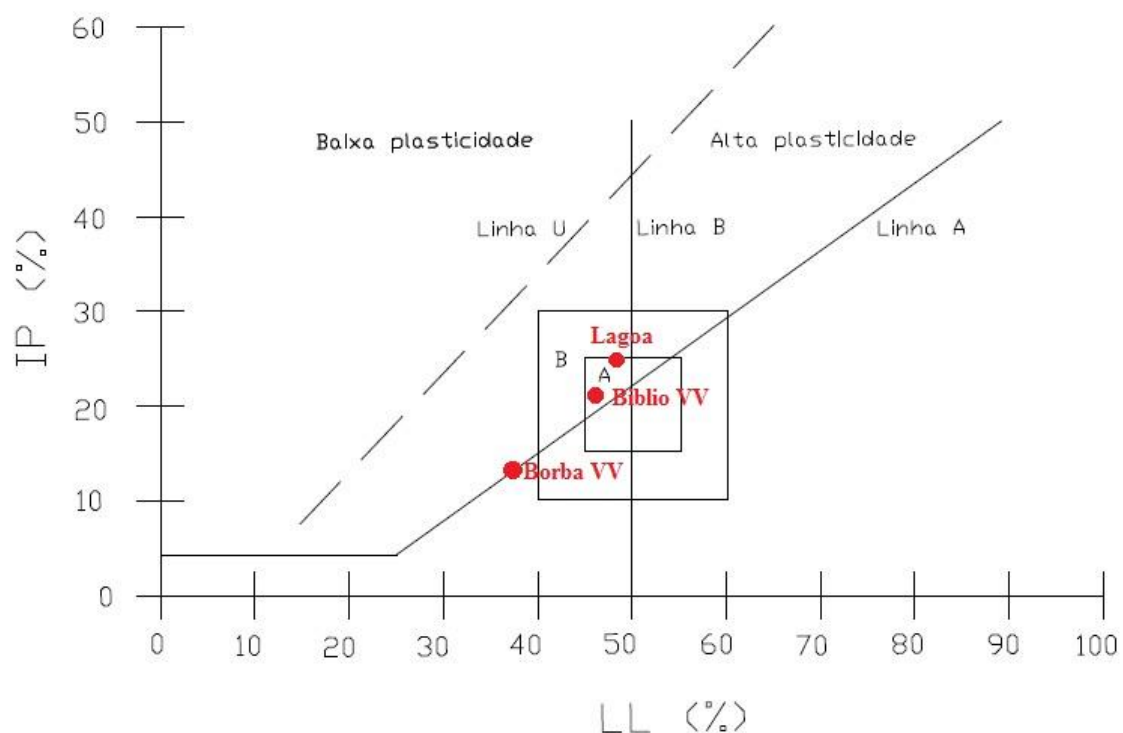


Fig. 9.2 - Projeção das amostras estudadas de matérias-primas argilosas no Diagrama de Casagrande.

Neste diagrama são visíveis três linhas rectas (“Linha U”, “Linha A” e “Linha B”) e dois campos quadrados (Campo A e Campo B) ou domínios de *Gippini (1969)*. Estes domínios de Gippini são particularmente importantes na cerâmica estrutural, uma vez que fornecem informação acerca da apetência que uma determinada matéria-prima possui para a sua conformação por via plástica.

A “Linha U”, a 45°, é a linha onde o LL coincide ou supera o LP, representando a fronteira acima da qual os materiais argilosos não revelam plasticidade; a “Linha A”, representada pela equação $IP=0,73(LL - 20)$, separa as argilas sem colóides orgânicos

(acima da reta) das argilas com colóides inorgânicos; a “Linha B” corresponde ao LL = 50 %, que separa as argilas de baixa plasticidade (LL < 50 %) das de alta plasticidade (LL > 50 %).

Relativamente aos domínios de Gippini, o “Campo A” inclui as argilas com características ótimas para extrusão, enquanto o “Campo B” inclui as argilas com características adequadas para extrusão.

Verifica-se que das três amostras ensaiadas, as amostras Biblio VV e Lagoa se situam no “Campo A” sendo, por isso, consideradas ótimas para conformação por extrusão. Já o mesmo não acontece com a amostra Borba VV, que se situa fora de ambos os campos, não apresentando qualidades adequadas ou ótimas para extrusão. No entanto, é verificável que todas as amostras se projetam em zonas indicadoras de matérias-primas plásticas, oscilando entre a média e a alta plasticidade e, apresentando por isso, uma maior capacidade para a conformação por via plástica.

9.1.3 – EXPANSIBILIDADE

A expansibilidade dos solos tipicamente argilosos é altamente influenciada pela composição mineralógica e pela participação de minerais argilosos expansivos, bem como pela dimensão e distribuição dos grãos que os compõem, sendo por isso, expectável diferentes progressões na expansão do material, desde o início do ensaio até ao momento em que cessa o efeito de incorporação de água. No Quadro nº 9.4 estão representadas a expansibilidade das amostras ensaiadas e o respetivo teor de humidade.

Quadro nº 9.4 - Expansibilidade e teor de humidade das matérias-primas ensaiadas.

Amostra	Expansibilidade (%)	Teor de Humidade (%)
Biblio VV	13	50
Borba VV	4	41
Lagoa	8	46

Como se pode verificar através da análise dos resultados apresentados no quadro anterior, a amostra mais expansível é a Biblio VV, a amostra Lagoa apresenta uma expansibilidade média e, por fim, a amostra Borba VV apresenta o valor de

expansibilidade mais baixo. A baixa expansibilidade é um indicador importante sobre a apetência dos materiais ensaiados para uso potencial como matérias-primas cerâmicas. Relativamente à amostra Biblio VV (que de acordo com outras propriedades, apresenta esta mesma apetência), o seu maior valor de expansibilidade está relacionado com a sua granularidade.

Com os valores registados durante o ensaio e até à sua estabilização, construiu-se um gráfico relacionando o valor da altura medida no defletómetro em milímetros e o tempo em minutos (Fig. 9.3). Na representação gráfica optou-se por uma uniformização da escala de forma a permitir uma melhor perceção da expansibilidade das matérias-primas ao longo do tempo. Como tal, optou-se por colocar as três curvas de expansibilidade no mesmo gráfico de forma a facilitar a comparação entre os valores obtidos das três matérias-primas.

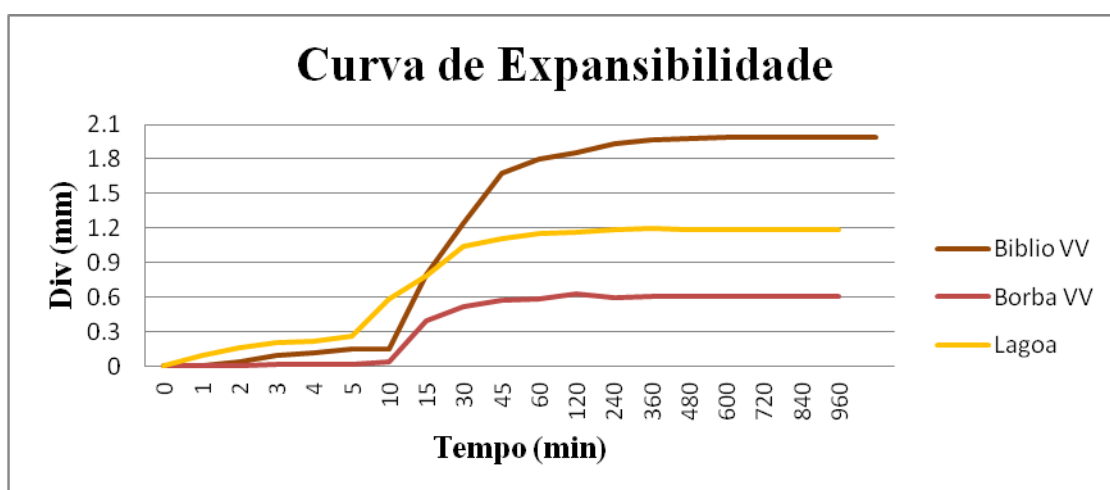


Fig. 9.3 - Curvas de expansibilidade das três matérias-primas argilosas estudadas.

A análise gráfica permite verificar algumas semelhanças no comportamento expansivo de todas as amostras. Assim sendo, nos primeiros minutos o valor de expansibilidade é quase nulo, ocorrendo um aumento exponencial entre 5 min e os 30 min. No intervalo de tempo entre 30 min e os 120 min o valor da expansibilidade aumenta ligeiramente, estabilizando a partir do último tempo referido. Como tal, pode-se prever que os minerais que compõem as matérias-primas começam a sofrer um rearranjo das suas partículas a partir deste intervalo de tempo.

De todas as amostras ensaiadas, a amostra Biblio VV foi a que apresentou a altura máxima de expansão, atingindo quase 2 mm. A amostra Lagoa apresentou uma

altura máxima de expansão de 1,2 mm, enquanto a amostra Borba VV apresentou o valor menor de altura máxima de expansão, aproximadamente 0,6 mm.

Neste ensaio de expansibilidade, foi também determinado o teor de humidade dos provetes (Fig. 9.4) com o intuito de se tentar estabelecer uma correlação entre a expansibilidade e a capacidade de absorção/adsorção de água das matérias-primas analisadas.



Fig. 9.4 - Provetes das três matérias-primas estudadas após o ensaio de expansibilidade.

Através da análise do quadro anterior, verifica-se que as matérias-primas revelaram teores de humidade bastante altos, atendendo aos valores de expansibilidade que se revelaram muito baixos. De facto, a única relação possível que se pode encontrar entre estes dois parâmetros é uma proporcionalidade direta, já que matérias-primas com expansibilidades menores revelam teores de humidade da mesma ordem de grandeza.

9.1.4 – ENSAIO DO TEOR DE MATÉRIA ORGÂNICA

A determinação quantitativa do teor de matéria orgânica foi efetuada na totalidade das amostras. Inicialmente, o método utilizado para a execução deste ensaio, foi o do ataque com peróxido de hidrogénio (H_2O_2), levando à destruição da matéria orgânica por oxidação. No entanto, este método acabou por se revelar pouco fiável, na medida em que em todas as amostras, os pesos no final do ensaio, se revelaram superiores aos pesos iniciais.

Este aumento de peso pode estar relacionado com diversos fatores. Um deles a oxidação do ferro existente nos minerais, passando de Fe^{2+} a Fe^{3+} , recombina-se

com outros elementos disponíveis e precipitar. Outra explicação surge com a existência de cálcio nas amostras que, em contacto com o peróxido de hidrogénio pode potenciar a formação de oxalato de cálcio como subproduto da reação, e assim, contribuir para o aumento do peso verificado após o ensaio.

Durante o ensaio do ataque com peróxido de hidrogénio observou-se efervescência nas três amostras, que por ordem crescente, foi menor na amostra Borba VV, intermédia na amostra Lagoa e maior na amostra Biblio VV. Relativamente a esta última, verificou-se que quando adicionado o reagente, a amostra entrava quase em combustão instantânea, não provocando mais efervescência. Após diversas tentativas, e de forma a poder realizar o ensaio nesta amostra, optou-se pela adição de água destilada à amostra, diluindo a quantidade inicial de peróxido de hidrogénio, impossibilitando a combustão instantânea.

No Quadro nº 9.5, são visíveis os teores, em percentagem, de matéria orgânica, obtidos através do método acima referido.

Quadro nº 9.5 - Teores (em %) de matéria orgânica obtidos com o método de ataque com peróxido de hidrogénio.

Amostra	Peso inicial (g)	Peso final (g)	Teor de matéria orgânica (%)
Biblio VV	1,004	1,089	-
Borba VV	1,005	1,073	-
Lagoa	1,002	1,056	-

Como se pode verificar através da análise do quadro anterior, foi impossível determinar o teor de matéria orgânica de uma forma fiável, uma vez que não existem percentagens negativas explicadas pelo facto de o peso final ser superior ao inicial. Desta forma, optou-se por repetir os ensaios. No entanto, nas repetições em vez de se adicionar peróxido de hidrogénio “a granel”, optou-se por realizar em simultâneo um ensaio controlo. Ou seja, toda a quantidade de peróxido de hidrogénio adicionada à mistura em suspensão foi anotada.

Assim, quando se procedeu à secagem das amostras, realizou-se em simultâneo a secagem de um copo de vidro contendo a quantidade de peróxido de hidrogénio,

adicionado durante o referido ensaio. Desta forma, foi possível saber com um certo grau de rigor, a quantidade de resíduo que fica no copo de vidro, podendo assim subtraí-lo ao peso final da amostra ensaiada (Quadro nº 9.6).

Quadro nº 9.6 - Percentagens de matéria orgânica obtidos com o ensaio controlo.

Amostra	Peso inicial (g)	Peso final (g)	Peso do resíduo (g)	Matéria orgânica (%)
Biblio VV	1,004	1,13	0,222	9,6
Borba VV	1,003	0,984	0,045	6,38
Lagoa	1,002	1,054	0,047	-

Pela análise do Quadro nº 9.6 verifica-se que, com o ensaio controlo é possível obter os teores de matéria orgânica nas amostras Borba VV e Biblio VV. Estes resultados são importantes, uma vez que são semelhantes aos valores obtidos para as mesmas amostras, de acordo com o segundo método experimental adotado.

Como foi referido no capítulo “Metodologias de Trabalho”, e tendo em conta que o método do ataque com peróxido de hidrogénio não é o mais fiável, optou-se então pela queima integral da matéria orgânica num pequeno forno mufla, a uma temperatura de queima que se situasse entre 200 °C e 250 °C, com um tempo de residência de duas horas à temperatura máxima. Após este novo ensaio registaram-se os valores obtidos que se encontram descritos no Quadro nº 9.7.

Quadro nº 9.7 - Teores (em %) de matéria orgânica obtidos pela aplicação do método - queima a 250 °C.

Amostras	Peso inicial (g)	Peso final (g)	Matéria orgânica (g)	% Matéria orgânica
Biblio VV	5,444	5,363	0,081	1,5
Borba VV	5,430	5,382	0,048	0,9
Lagoa	5,422	5,361	0,061	1,14

Pela análise do quadro anterior, verifica-se que os teores de matéria orgânica são menores, sendo a amostra Biblio VV a que possui maior teor, e amostra Borba VV a

que apresenta o menor valor. Estes resultados acabam por se aproximar dos valores de referência de algumas pastas cerâmicas, sendo por isso fiáveis e representativos do teor de matéria orgânica das diferentes matérias-primas ensaiadas. Estes resultados ajudam assim a explicar, a inexistência de fendilamentos e defeitos vários nos corpos cerâmicos durante as fases de conformação, secagem e cozedura.

9.1.5 – COMPOSIÇÃO MINERALÓGICA

A determinação da composição mineral das amostras estudadas foi efetuada através de Difração de Raios X (DRX), constando os resultados da análise semiquantitativa no Quadro nº 9.8, enquanto os máximos de difração das diferentes espécies minerais presentes podem ser observados nos difractogramas constantes no Anexo I.

A análise foi efetuada em amostras das três matérias-primas estudadas, na fração inferior a 63 µm, constando os resultados analíticos obtidos no Quadro nº 9.8 sob a forma de percentagens dos minerais não argilosos (Quartzo e Feldspato Alcalino), dos minerais argilosos (Caulinite e Ilite) e do Hidróxido de Ferro (Goethite).

Quadro nº 9.8 - Difractometria por Difração de Raios X.

Amostras	Quartzo (%)	Feldspato Potássico (%)	Caulinite (%)	Ilite (%)	Goethite (%)
Biblio VV	15	3	6	67	8
Borba VV	36	12	10	38	4
Lagoa	32	6	15	39	8

A análise do difractograma correspondente à amostra Biblio VV revela uma componente maioritária de minerais argilosos com especial destaque para a Ilite avaliada em cerca de 67 %. Os minerais não argilosos como o Quartzo e o Feldspato Potássico surgem no cortejo mineralógico como minerais acessórios. Ainda no mesmo difractograma foram identificados ainda máximos de difração correspondentes a Goethite e a Caulinite.

Já na análise efetuada sobre o difractograma correspondente à amostra Borba VV é observável que o Quartzo com 36 % e a Ilite com 38 % são as espécies minerais maioritárias. Nesta análise destaca-se ainda o elevado teor de Feldspato Potássico (11 %), sendo identificados também Caulinite e Goethite como minerais acessórios, havendo ainda a possibilidade de existência de Clorite em quantidade muito reduzida.

Por último, na análise efetuada no difractograma correspondente à amostra Lagoa, é igualmente observável que o Quartzo com 31 % e a Ilite com 39 % são as espécies minerais maioritárias, destacando-se ainda o elevado teor de Caulinite (15 %). A amostra Lagoa apresenta ainda Feldspato Potássico e Goethite como minerais acessórios.

Pela análise do Quadro nº 9.8 verifica-se que a existência de Feldspato Potássico em conjunto com Hidróxidos de Ferro ajuda a baixar o ponto de fusão da sílica, representada nas três amostras por diferentes percentagens de Quartzo. Esta simbiose ajuda a explicar a vitrificação que se verificou nas amostras durante o processo de cozedura. Destaca-se ainda o teor em percentagem de Quartzo na amostra Biblio VV que ajuda a explicar a excelente apetência que a mesma possui nos diferentes processos de extrusão e conformação. Ou seja, quanto menor for o teor de Quartzo, mais gorda e plástica será a matéria-prima em questão, facilitando assim a sua extrudibilidade e trabalhabilidade.

9.2 – ENSAIOS TECNOLÓGICOS E CARACTERIZAÇÃO DO COMPORTAMENTO DAS MATÉRIAS-PRIMAS ARGILOSAS ESTUDADAS

Neste subcapítulo, irão ser descritos os resultados que se obtiveram durante a execução dos ensaios tecnológicos de forma a poder caracterizar o comportamento cerâmico das matérias-primas selecionadas.

9.2.1 – TRABALHABILIDADE, EXTRUDIBILIDADE E CONFORMAÇÃO

Intimamente relacionada com a trabalhabilidade de uma matéria-prima argilosa está a sua plasticidade que, por sua vez, está dependente do teor de humidade (Quadro nº).

Quadro nº 9.9 - Índices de plasticidade e teores de humidade de extrusão.

Amostras	Índice de Plasticidade (%)	Humidade de Extrusão (%)
Biblio VV	21.50	35
Borba VV	13	28
Lagoa	25	29

No quadro anterior, estão representados os índices de plasticidade, determinados pelo método da Concha de Casagrande e os valores de humidade de extrusão (base húmida), para cada uma das matérias-primas argilosas ensaiadas.

Apesar de não existir uma correlação marcante entre o índice de plasticidade e o teor de humidade, verifica-se o aumento da humidade de extrusão à medida que aumenta o valor do índice de plasticidade. Foi possível constatar que, no caso da amostra Biblio VV, o seu elevado teor de humidade de extrusão pode estar relacionado com uma eventual homogeneização deficiente, ou seja, a distribuição da água pela pasta não ter ocorrido de uma forma homogénea. Assim, deveria ter-se retirado mais que uma porção de material e de várias zonas da matéria-prima sujeita a secagem nas placas de gesso, de forma a se obter um valor médio que seria mais fiável.

As duas amostras Biblio VV e Lagoa sendo as que apresentaram maior índice de plasticidade foram as que melhor se extrudiram, com pressões que variaram entre 1,5 Bar e 2 Bar. Como tal, ambas demonstraram ter boa plasticidade e trabalhabilidade, facilitando assim a extrusão e conformação dos provetes.

Já a amostra Borba VV foi a que apresentou piores resultados de trabalhabilidade, extrudibilidade (com pressões próximas de 3,5 Bar e 4 Bar) e conformação. Este facto refletiu-se na conformação dos provetes e na extrusão, tendo havido dificuldade na obtenção de corpos de prova perfeitos, uma vez que a grande maioria apresentava superfícies porosas e gretadas. Este resultado já era esperado devido aos baixos valores de plasticidade e, também pela sua composição mineralógica (tendo esta pasta uma participação mais siltosa).

9.2.2 – SECAGEM DOS PROVETES

A secagem é uma das fases mais importantes de todo o processo cerâmico, devido aos reajustes naturais e às variações de volume verificadas nos corpos cerâmicos até atingirem uma humidade de equilíbrio.

No Quadro nº 9.10, são apresentados os valores referentes ao ensaio de contração ou retração húmido/seco (% Ret. H/S) e os valores de resistência mecânica à flexão (RMF) obtidos a partir dos provetes conformados depois de secos, numa estufa ventilada, a uma temperatura máxima de 110 °C.

Quadro nº 9.10 - Propriedades cerâmicas de conformação e após secagem.

Amostra	Secagem em estufa a 110 °C	
	RMF (Kgf/cm ²)	% Ret. H/S
Biblio VV	23,06	5,94
Borba VV	21,45	5,55
Lagoa	33,25	5,58

Após a análise dos valores do quadro anterior, verifica-se que a amostra Lagoa é a que apresenta maior valor de resistência mecânica à flexão. De acordo com estes dados e, tendo em conta os baixos valores de resistência mecânica à flexão (23,06 Kgf/cm² e 21,45 Kgf/cm²) verifica-se que as amostras Biblio VV e Borba VV se comportaram como matérias-primas argilosas mais magras, nas quais a composição mineralógica se revela fundamental para explicar esta propriedade, bem como a distribuição dimensional das suas partículas.

Em relação aos valores das retrações é possível afirmar que eles se situam dentro dos valores normais (inferiores a 10 %). Todas as amostras apresentam valores semelhantes de retração húmido seco, sendo que o maior valor pertence à amostra Biblio VV. Estes valores relativamente baixos indicam que as amostras Biblio VV e Borba VV apresentam uma participação elevada de minerais argilosos na sua matriz.

9.2.3 – COZEDURA DOS PROVETES

Após a secagem na estufa ventilada a 110 °C os provetes foram introduzidos em dois fornos elétricos, programados com diferentes gradientes térmicos, conforme a temperatura final de cozedura previamente estabelecida (900 °C, 1000 °C e 1100 °C).

No primeiro forno elétrico colocaram-se dois conjuntos de provetes, em duas prateleiras diferentes (Fig. 9.5). Optou-se por este método, pois devido aos diferentes valores das resistências no interior do forno, foi possível estabelecer dois patamares diferentes de temperatura (1000 °C e 1100 °C).



Fig. 9.5 - Conjuntos de provetes no interior do forno elétrico.

Estas temperaturas foram atingidas de acordo com o seguinte gradiente térmico:

- 1 h 30 m – até 300 °C (200 °C/h);
- 1 h 30 m – 300 °C até 500 °C (150 °C/h);
- 2 h – 500 °C até 800 °C (150 °C/h);
- 1 h – 800 °C até 1000 °C (200 °C/h);
- 1 h – 1000 °C até 1100 °C (100 °C/h);
- 20 min – patamar de cozedura a 1100 °C.

A cozedura a altas temperaturas aumenta a probabilidade de se verificarem desfasamentos de temperatura nas diferentes secções do interior do forno, sendo importante aumentar os patamares finais de temperatura máxima, de forma a garantir o perfeito desenvolvimento de todas as reações físico-químicas pretendidas. No segundo forno elétrico, o objetivo foi atingir o patamar de temperatura de 900 °C, com o seguinte gradiente térmico:

- 1 h 30 m – até 300 °C (200 °C/h);
- 1 h – 300 °C até 400 °C (100 °C/h);
- 2 h – 400 °C até 700 °C (200 °C/h);
- 1 h – 700 °C até 800 °C (100 °C/h);
- 1 h – 800 °C até 900 °C (100 °C/h);
- 10 min – patamar de cozedura a 900 °C.

Através da análise das medições dos diferentes diâmetros dos anéis de Buller, foi possível concluir que o valor de temperatura máxima de cozedura a que cada provete foi sujeito, que corresponde a um valor máximo de temperatura lido numa tabela (Fig. 9.6).



Fig. 9.6 - Medição dos valores de temperatura máxima.

Assim, no primeiro patamar as temperaturas situaram-se entre 851 °C e 900 °C; no segundo patamar as temperaturas rondaram 1028 °C e 1048 °C; e por fim, o terceiro patamar obteve temperaturas entre 1051 °C e 1060 °C.

Por último, os provetes já cozidos (Fig. 9.7) foram sujeitos a diversos ensaios laboratoriais, de forma a determinar o valor da retração seco/cozido, retração total, resistência mecânica à flexão e absorção de água.



Fig. 9.7 - Provetes após o processo de cozedura.

No Quadro nº 9.11 constam os valores das propriedades cerâmicas dos provetes cozidos até 900 °C, temperatura que corresponde ao primeiro patamar térmico. Neste mesmo quadro constam ainda os seguintes dados: os valores referentes à retração dos provetes após cozedura, em relação aos valores da retração quando secos; os valores das retrações totais ou húmido/cozido no primeiro patamar térmico (900 °C), relacionando o valor da retração obtida após cozedura, com o valor da retração em verde; os valores da absorção de água após submersão dos provetes durante um período de 24 h; os valores da resistência mecânica à flexão; e os aspetos cromáticos dos provetes.

Como referido anteriormente, através dos Anéis de Buller foi possível obter as temperaturas máximas de cozedura dos provetes. Deste modo, para a amostra Lagoa verificou-se a temperatura máxima de 851 °C, para a amostra Borba VV obteve-se a temperatura de 881 °C e por fim, para a amostra Biblio VV obteve-se a temperatura de 900 °C.

A discrepância de valores encontrados é causada pela diferença de temperatura emitida pelas resistências no interior do forno elétrico.

Quadro nº 9.11 - Propriedades cerâmicas das matérias-primas cozidas a 900 °C.

Amostra	% Ret. S/C	% Ret. Total	RMF (Kgf/cm ²)	% Absorção de água	Cor
Biblio VV	1,86	7,46	136,92	25,1	Castanho-escuro
Borba VV	1,08	6,24	78,60	20,0	Laranja avermelhado
Lagoa	0,97	7,03	116,00	22,0	Castanho alaranjado

Relativamente à retração seco/cozido, todas as amostras evidenciaram retrações, sendo a amostra da matéria-prima Biblio VV a que apresentou o maior valor de retração. É também esta amostra que apresenta maior valor de retração total, possivelmente devido à sua composição mineralógica. Relativamente a estas duas características, as três amostras apresentam valores muito semelhantes.

Quanto aos valores de resistência mecânica à flexão são as amostras com maior componente argilosa que apresentam valores mais elevados, com destaque para a amostra Biblio VV. Comparativamente com a resistência mecânica dos provetes secos, constata-se um aumento substancial da resistência nos provetes cozidos a 900 °C, particularmente na amostra Biblio VV que revelou um aumento exponencial (de 23,06 Kgf/cm² para 136,92 Kgf/cm²) passando a ser o valor mais elevado.

Em relação à absorção de água todas as amostras apresentaram valores elevados para esta propriedade, onde, a capacidade absorvente de alguns minerais argilosos e a distribuição granulométrica das amostras, são os fatores que mais contribuem para tal facto.

Em relação ao segundo patamar de cozedura, no Quadro nº 9.12 constam os valores referentes às propriedades cerâmicas dos provetes cozidos até 1000 °C. Os valores de temperatura máxima que se obtiveram com os anéis de Buller foram: 1042 °C para a amostra Lagoa, 1028 °C para a amostra Borba VV e, por último, 1038 °C para a amostra Biblio VV.

Tal como na cozedura anterior a discrepância de valores é causada pela diferença de temperatura emitida pelas resistências no interior do forno elétrico. Foi neste forno, que se colocaram duas prateleiras de forma a ser possível atingir dois patamares de temperatura diferentes.

Quadro nº 9.12 - Propriedades cerâmicas das matérias-primas cozidas a 1000 °C.

Amostra	% Ret. S/C	% Ret. Total	RMF (Kgf/cm ²)	% Absorção de água	Cor
Biblio VV	8,88	14,68	319,58	9,3	Castanho-escuro
Borba VV	4,54	9,70	161,08	12,3	Laranja avermelhado
Lagoa	6,92	11,88	291,93	9,6	Castanho alaranjado

Relativamente à retração seco/cozido todas as amostras continuam a evidenciar retrações, sendo a amostra Biblio VV a que apresentou o maior valor de retração, sendo também a amostra que apresenta um maior valor de retração total, quase 15 %. Por outro lado, a amostra Borba VV apresenta os valores mais baixos de retração seco/cozido e de retração total.

Na resistência mecânica à flexão nota-se novamente um aumento considerável dos valores em relação aos valores obtidos no primeiro patamar de cozedura.

Em relação à absorção de água todas as amostras apresentaram valores mais baixos em relação ao primeiro patamar de cozedura. No entanto, pela análise do Quadro nº 9.12, verifica-se uma ligeira tendência para um comportamento contraditório entre a resistência mecânica à flexão e a absorção de água. Ou seja, quanto maior é o valor de retração total, menor será o valor da absorção, facto justificado pela densificação e fecho da porosidade do corpo cerâmico.

No Quadro nº 9.13, constam os valores referentes às propriedades cerâmicas dos provetes cozidos até 1100 °C, temperatura que corresponde ao terceiro patamar de temperatura. Tal como nas cozeduras anteriores, também neste patamar foram utilizados os anéis de Buller de forma a medir os valores máximos de temperatura. Assim foram registados os valores de temperatura máxima 1060 °C para a amostra Lagoa, 1051 °C para a amostra Borba VV e por último, 1057 °C para a amostra Biblio VV.

Quadro nº 9.13 - Propriedades cerâmicas das matérias-primas cozidas a 1100 °C.

Amostra	% Ret. S/C	% Ret. Total	RMF (Kgf/cm ²)	% Absorção de água	Cor
Biblio VV	11,19	16,31	409,78	4,3	Castanho-escuro
Borba VV	5,12	10,88	184,84	8,5	Castanho avermelhado
Lagoa	9,46	14,17	374,34	4,9	Laranja

Relativamente à retração seco/cozido todas as amostras continuam a evidenciar retrações, sendo a amostra Biblio VV a que apresentou novamente o maior valor de retração. É também esta amostra que apresenta maior valor de retração total. Por outro lado, é a amostra Borba VV que apresenta, novamente, os valores mais baixos de retração seco/cozido e retração total. Tal como anteriormente, também aqui foram as duas matérias-primas com maior componente argilosa (Biblio VV e Lagoa) que revelaram valores mais elevados de retração total.

Na resistência mecânica à flexão é novamente notório um aumento considerável dos valores obtidos, relativamente aos valores obtidos no segundo patamar de cozedura. Tal como foi constatado anteriormente é a amostra Borba VV que continua a revelar os piores resultados de resistência mecânica à flexão (184,84 Kgf/cm²).

Em relação à absorção de água, todas as amostras das matérias-primas estudadas apresentaram valores mais baixos em comparação com os valores obtidos no segundo patamar de cozedura. Tal como foi anteriormente constatado, verifica-se pela análise do Quadro nº 9.13 que ocorre uma ligeira tendência para um comportamento oposto entre a resistência mecânica à flexão e a absorção de água. Ou seja, quanto maior é o valor da resistência mecânica à flexão, menor será o valor da absorção de água, relação justificada pela densificação e fecho da porosidade do corpo cerâmico.

Por último, é possível concluir que os parâmetros analisados nos três patamares de cozedura (resistência mecânica á flexão, absorção de água, retração seco/cozido e retração total) apresentam resultados proporcionais. Assim, quando se obtêm maiores valores de retração total, também se verificam maiores valores de resistências mecânicas e, por conseguinte, menores absorções, refletindo assim estruturas mais

fechadas e com menores porosidades à medida que se aumenta a temperatura de cozedura.

9.2.4 – PERCENTAGEM DE RESÍDUO RETIDO NO PENEIRO 45 µm

A percentagem de resíduo retido num dado peneiro corresponde à quantidade de material que constitui uma determinada matéria-prima, cujo diâmetro é maior que a rede de um peneiro definido. No Quadro nº 9.14, encontram-se os valores referentes a esta propriedade nas três matérias-primas.

Quadro nº 9.14 - Percentagens em peso de material retido no peneiro de 45 µm.

Amostra	% Resíduo
Biblio VV	15
Borba VV	21,4
Lagoa	13,6

De acordo com os valores obtidos observa-se que a amostra Borba VV é aquela que apresenta uma percentagem maior de material e impurezas retidos no peneiro de 45 µm. Visto a distribuição dimensional do grão e a participação de minerais argilosos serem duas das propriedades que interferem na boa conformação de corpos cerâmicos pode estar aqui uma das explicações para os baixos valores apresentados por esta matéria-prima nos ensaios anteriormente referidos. Como tal, uma maior percentagem de resíduo implica uma conformação menos eficaz, afetando dessa forma os valores de retração e de resistência mecânica à flexão.

Por outro lado, o melhor comportamento das matérias-primas Biblio VV e Lagoa pode ser explicado pela menor percentagem de resíduo retido no peneiro de 45 µm que as duas matérias-primas apresentam.

9.2.5 – PLASTICIDADE SEGUNDO O MÉTODO DE PFEFFERKORN

Este índice de plasticidade é definido como a percentagem de água para a qual a amostra sofre uma retração de 30% em relação à sua altura inicial, que neste caso, é de 40 mm.

No Quadro nº 9.15 constam os valores obtidos durante este ensaio, onde se incluem a altura h_1 (deformação provocada pela queda de um punção), o teor de humidade e o valor do índice de plasticidade, para os cinco provetes submetidos a teste (Fig. 9.8).



Fig. 9.8 - Provetes obtidos através do ensaio do método de Pfefferkorn.

O grau de deformação do cilindro, representado pela relação entre a altura inicial do cilindro e a altura após a deformação - h_1 , se for inferior a 2,5 significa que a massa é difícil de trabalhar por estar demasiado seca. Por outro lado se a relação for superior a 4 a massa está muito pastosa. A percentagem de água correspondente a uma relação de deformação de 3,3 (média entre 2,5 e 4) dá-nos o índice de plasticidade de Pfefferkorn. Quanto maior for este índice maior será a plasticidade de uma massa argilosa.

Quadro nº 9.15 - Valores do índice de plasticidade segundo o método de Pfefferkorn.

Amostra	Nº do provete	Altura h_1 (mm)	Teor de humidade (%)	Índice de plasticidade $40/h_1$
Biblio VV	1	13	24,9	3,08
	2	16	24,6	2,5
	3	11	26,6	3,64
	4	23	22,8	1,74
	5	21	23,4	1,9
Borba VV	1	12,5	21,8	3,2
	2	19	20,6	2,11
	3	10	22,5	4,0
	4	17	20,9	2,35
	5	21	19,8	1,9
Lagoa	1	17	24,3	2,35
	2	9	25,9	4,44
	3	11	25,2	3,64
	4	23	22,7	1,74
	5	26	21,5	1,54

Com os valores constantes no quadro anterior foi possível construir o gráfico das curvas de Pfefferkorn (Anexo II) que nos indica o valor de teor de humidade ótimo para um índice de plasticidade de 3,3 (índice ótimo de plasticidade).

Para a amostra Biblio VV foi obtido o valor 25,6 %, para a amostra Borba VV o valor de teor de humidade ótimo foi 21,9 % e, por último, para a amostra Lagoa o teor de humidade ótimo foi 25 %.

Estes resultados confirmaram aquilo que já era esperado, pois o índice de plasticidade foi bastante elevado. Apenas na amostra Borba VV se verificou um teor de humidade inferior. Este valor, tal como os anteriores, já era esperado, visto que durante o processo de extrusão este barro provocou algumas dificuldades, confirmando-se como sendo a matéria-prima de menor plasticidade. A fraca plasticidade deste barro pode ser explicada pela sua composição mineralógica na qual existe uma participação maior de materiais não-plásticos como o Quartzo.

9.2.6 – ANÁLISE TÉRMICA-DILATOMÉTRICA

Todas as curvas dilatométricas apresentam um aumento gradual da dilatação linear verificando-se uma rápida contração a partir de 870 °C de temperatura. Esta rápida contração coincide com o início dos processos de sinterização e vitrificação a que correspondem rearranjos das partículas dos minerais argilosos após rotura da sua ordem estrutural e consequente amorfização.

Relativamente à temperatura crítica de 573 °C à qual ocorre a inversão polimórfica do quartzo que passa de quartzo α para quartzo β é possível verificar que durante o aquecimento não ocorre uma expansão significativa, sendo apenas visíveis alterações volumétricas durante o arrefecimento.

Através da análise das diferentes curvas dilatométricas (Fig. 9.9) pode-se concluir que as amostras possuem um comportamento muito semelhante entre si havendo, no entanto, algumas diferenças entre elas na contração durante a sinterização.

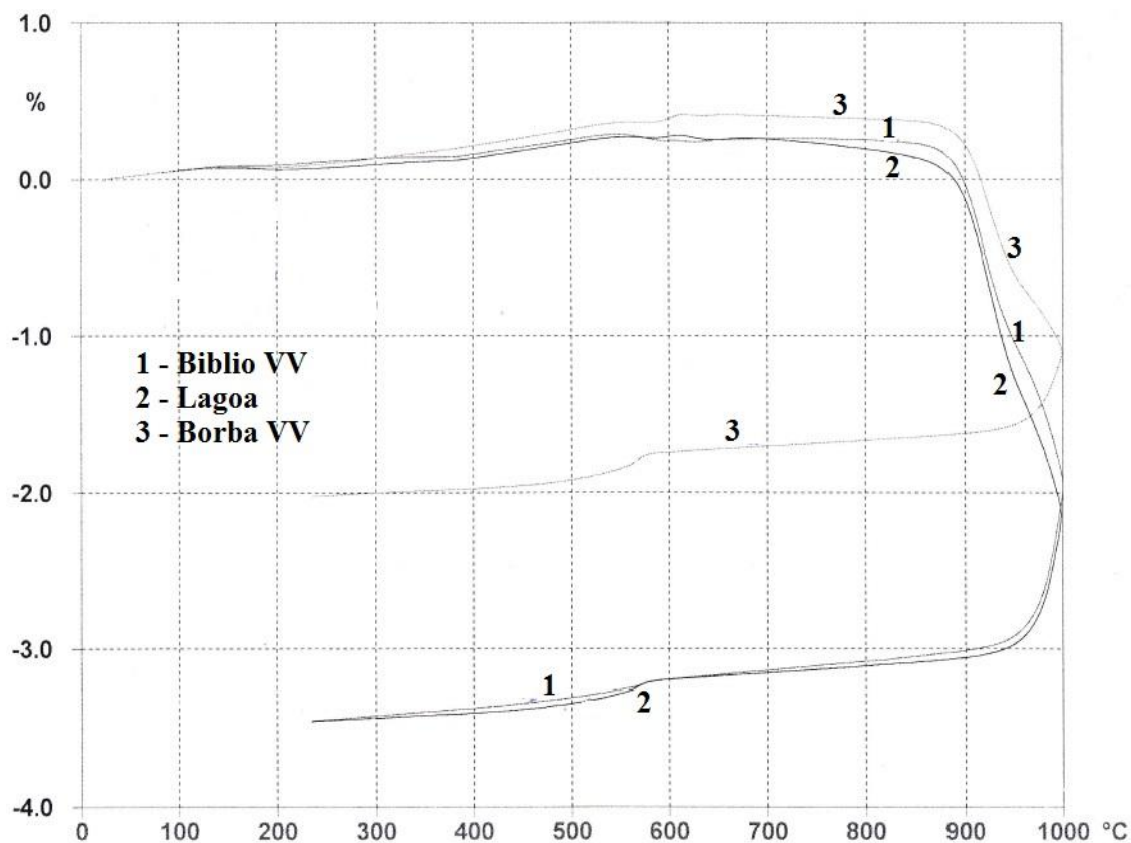


Fig. 9.9 - Curvas dilatométricas das matérias-primas argilosas estudadas.

As amostras Biblio VV e Lagoa apresentam curvas dilatométricas semelhantes. Ambas apresentam uma dilatação gradual até 130 °C, seguida de uma pequena retração até 200 °C. No que toca às retrações, a oscilação de volume poderia estar associada à libertação de água zeolítica associada a minerais argilosos do grupo das esmectites, embora o referido mineral não esteja presente na análise mineralógica, e à desidratação dos hidróxidos de ferro. Já as dilatações ocorrem devido à resposta natural do corpo cerâmico ao aumento da temperatura.

A partir de 300 °C regista-se uma dilatação progressiva e considerável até 573 °C, temperatura à qual ocorre a passagem de quartzo α para quartzo β . Posteriormente regista-se uma ligeira estabilização entre 600 °C e 800 °C. Este patamar de estabilização está relacionado com uma composição fortemente ílítica das matérias-primas e com a dificuldade de evolução da água estrutural que se apresenta fortemente ligada, ou em solvatação com os cátions intercalares (Na, K, Ca e Mg).

Após a estabilização ocorre uma ligeira retração do corpo cerâmico até 870 °C. De seguida, ocorre uma rápida e brusca retração de quase 3,5%, coincidindo com a sinterização e o consequente rearranjo estrutural das partículas. Durante o período de arrefecimento verifica-se ainda uma ligeira inflexão de volume a 570 °C, que corresponde à zona de inversão polimórfica do quartzo.

Também a curva dilatométrica da amostra Borba VV apresenta uma dilatação gradual até 130 °C, seguida de uma pequena retração até 200 °C. A partir desta temperatura regista-se a dilatação progressiva até 573 °C, temperatura à qual ocorre a passagem de quartzo α para quartzo β . Posteriormente regista-se uma ligeira estabilização entre 600 °C e 800 °C.

A partir de 870 °C ocorre igualmente uma retração muito brusca do corpo cerâmico a qual corresponde aos processos de sinterização e consequente rearranjo estrutural das partículas.

A principal diferença da amostra Borba VV para as anteriores reside no valor das percentagens de retração durante o arrefecimento. Ou seja, enquanto nas amostras Biblio VV e Lagoa a retração volumétrica é de 3,5 %, na amostra Borba VV essa mesma retração durante o arrefecimento é de 2 %, verificando-se igualmente uma ligeira inflexão de volume a 570°C que corresponde à zona de inversão polimórfica do quartzo.

9.3 – ENSAIO INDUSTRIAL

O ensaio industrial teve lugar na Olaria XT do Mestre Xico Tarefa, no Redondo. O material utilizado foi obtido através da peneiração por via seca (corte granulométrico a 250 μm), homogeneizado de forma manual, para aumentar a sua consistência. Este processo foi repetido até que a matéria-prima apresentasse uma boa plasticidade de forma a serem trabalhadas e moldadas na roda de oleiro. Depois de entregues as amostras ao Mestre Xico Tarefa, as mesmas foram espalhadas no chão da olaria, de forma a perderem alguma da humidade que ainda conservavam.

9.3.1 – CONFORMAÇÃO DAS PEÇAS CERÂMICAS

Neste subcapítulo irão ser referidas algumas considerações tecidas pelo Mestre Xico Tarefa, durante a preparação das matérias-primas (Fig. 9.10) e conformação de peças na roda do oleiro. Tratando-se de um profissional conceituado ao nível da Olaria as suas opiniões acerca de cada uma das matérias-primas foram registadas ao longo de todo o processo de conformação.



Fig. 9.10 - Preparação da matéria-prima para a conformação na roda de oleiro.

Apesar dos valores encorajadores da análise granulométrica, dos índices de plasticidade e do corte granulométrico realizado a 250 μm , os resultados das resistências mecânicas a cru, revelaram baixos valores, suscitando algumas dúvidas, em relação ao seu comportamento após conformação.

No entanto, depois de conformadas as peças e de acordo com a opinião do Mestre Xico Tarefa, todas as matérias-primas ensaiadas possuem trabalhabilidade e qualidade para serem utilizadas em olaria, de forma individual ou através da mistura entre elas.

Em relação ao barro Biblio VV, foram conformadas cinco peças diferentes (Fig. 9.11), das quais uma garrafa de gargalo estreito, uma garrafa de gargalo grosso, um prato, uma taça e por último uma cabaça. O Mestre Xico Tarefa referiu que esta matéria-prima é uma das que oferece melhor resposta às diferentes solicitações durante a conformação, prevendo ainda que eventualmente deverá ser a mais resistente ao choque durante o processo da cozedura.



Fig. 9.11 - Peças conformadas com o barro Biblio VV.

Em relação ao barro Biblio VV, o Mestre Xico Tarefa alertou para a presença de um “grão amassuracado”. Este grão resulta de barro que secou nas extremidades dos baldes onde foi feita a homogeneização das amostras, e que caiu, misturando-se na pasta. No entanto, este não se revela como um ponto negativo, nem implica a necessidade de qualquer tipo de tratamento.

Durante a conformação da garrafa de gargalo estreito ocorreu um incidente, com a abertura de uma fenda. Esta resultou de gotas de água que caíram sobre a peça. A fenda foi, entretanto, tamponada com papel de jornal de forma a evitar o seu aumento, não se evidenciando após o processo de cozedura.

Segundo o Mestre Xico Tarefa, o barro Biblio VV, comporta-se como “mais que uma pasta”, aconselhando ainda a sua mistura com outros barros mais fracos nas proporções de 4:1, 3:1 e 2:1, tornando-as também aptas para o processo cerâmico. Ainda segundo o Mestre Xico Tarefa, este barro é aconselhado para o fabrico de peças cerâmicas em miniatura.

Relativamente ao barro Lagoa foram conformadas quatro peças diferentes, a saber: uma garrafa de gargalo grosso, um pote de gargalo estreito e dois pratos (Fig. 9.12). O Mestre Xico Tarefa referiu que esta matéria-prima, tal como a anterior, oferece uma boa resposta às diferentes solicitações durante a conformação, prevendo, ainda que, eventualmente deverá ser resistente ao choque durante o processo da cozedura.



Fig. 9.12 - Peças conformadas com o barro Lagoa.

Segundo o Mestre Xico Tarefa esta matéria-prima comporta-se tal como a anterior, como “mais que uma pasta”, referindo até que com a adição de “terra da rua”, se conseguiria formular uma boa pasta para aproveitamento cerâmico. Em relação à trabalhabilidade o Mestre Xico Tarefa aconselha que esta matéria-prima não seja utilizada em peças muito grandes, devido à sua alta plasticidade.

Comparando a pasta do barro Lagoa com a pasta tradicionalmente usada o Mestre Xico Tarefa refere que a matéria-prima em estudo é mais trabalhável, utilizando para isso a expressão “isto é mel”, alertando, no entanto, que este fator positivo, pode indiciar alguns problemas no processo de secagem.

Comparado com o barro Biblio VV, o barro Lagoa é muito mais plástico, inclusive na fase de amassadura. No entanto, e apesar da sua apetência para aproveitamento em olaria, o Mestre Xico Tarefa alerta para que a sua secagem, principalmente durante o verão, não seja feita de forma brusca. O oleiro refere que só após as peças conformadas perderem 60 % a 70 % da humidade adquirida nas diferentes fases do processo cerâmico, é que as mesmas podem ser submetidas a uma secagem brusca ao sol. Até lá, as peças deverão ser sempre mantidas no interior da olaria, de forma a evitar a ocorrência de fendilhamento.

Por outro lado, após cozedura e baseado em estudos anteriores, o Mestre Xico Tarefa, refere que com cozeduras de pelo menos 850 °C esta matéria-prima parece um “sino”, tal é a sua dureza. De forma a tentar que a peça conformada obtenha este nível de resistência ainda durante o processo de secagem, é aconselhável a sua mistura com uma areia siliciosa, aumentando assim a sua resistência.

Por último, com o barro Borba VV foram conformadas quatro peças diferentes, uma garrafa de gargalo grosso, um pote de gargalo estreito e dois pratos. O Mestre Xico Tarefa referiu que esta matéria-prima, de todas é a que revelou pior comportamento. Apesar de apresentar também ela, uma boa trabalhabilidade, é necessário ter mais astúcia para a trabalhar. Tal afirmação foi feita, porque esta amostra é mais magra, verificando-se a formação de algumas pequenas fendas no processo de conformação (Fig. 9.13), e de algumas gretas e fendas no processo de amassadura.



Fig. 9.13- Peça conformada com o barro Borba VV.

Ainda em relação à trabalhabilidade, o Mestre Xico Tarefa afirmou que sentia “uma areia diferente” na conformação das peças com este barro e que, não sentiu o mesmo com os barros anteriores. Segundo o oleiro isto acaba por ser uma vantagem, uma vez que permite a subida das peças (Fig. 9.14).



Fig. 9.14 - Conformação de uma garrafa de gargalo estreito.

Em termos de plasticidade e, comparando com as anteriores, esta matéria-prima apresenta cerca de 70 % da plasticidade das anteriores. Este valor, referido pelo Mestre Xico Tarefa, poderá ser importante funcionando até como valor de referência para avaliar as porções das diferentes matérias-primas participantes na formulação de pastas cerâmicas. O mestre oleiro aconselhou que este barro deveria ser otimizado pela mistura na razão de 2:1 ou até 1:1, com qualquer um dos barros anteriores.

Por último, foi ainda referido que este barro é mais refractário que os anteriores podendo, por isso, juntar-se com outras matérias-primas de forma a produzir barro de chama e louça de chama. Devido à dificuldade que existe em encontrar depósitos de barro para esta aplicação (que suporte chama direta e aguente o choque térmico), esta matéria-prima pode ser utilizada de forma a suprimir essa deficiência.

9.3.2 – SECAGEM E COZEDURA

A secagem das peças ocorreu numa zona da olaria, onde existe alguma corrente de ar e, onde existem prateleiras suficientemente espaçadas entre elas, para que se verifique a secagem homogénea de todas as peças.

Importa referir que a secagem das peças ocorreu durante o mês de Julho, numa época do ano em que se observam temperaturas elevadas, nomeadamente dentro da olaria, levando a uma secagem demasiado rápida e heterogénea das peças. No entanto, tal facto, não provocou a ocorrência de qualquer tipo de defeitos relevantes nas peças.

As peças foram cozidas num forno elétrico durante um período aproximado de 6 h. O forno à temperatura inicial de 15 °C foi aquecendo lentamente à velocidade de 180 °C/h, com o seguinte gradiente de temperatura.

- 4 h – até 700 °C (180 °C/h);
- 1 h 30 m – 700 °C até 900 °C (180 °C/h);
- 1 h – 900 °C até 930 °C (100 °C/h);
- 10 min – patamar de cozedura a 930 °C.

Este controlo da temperatura de cozedura é importante de forma a evitar o aparecimento de defeitos nas peças, tais como a rotura das mesmas, provocada pela extração muito rápida da água na primeira etapa de cozedura, o aparecimento de rachas que resultam de variações bruscas de volume e o aparecimento de manchas, motivado pela condensação de vapor de água com impurezas resultante de cozeduras muito rápidas.

Em relação ao barro Biblio VV, não se verificaram quaisquer defeitos nas peças após a cozedura (Fig. 9.15), sendo visível o seu castanho como cor característica.



Fig. 9.15 - Peças conformadas com o barro Biblio VV após cozedura.

Pela análise da figura anterior, verifica-se que o gargalo da cabaça entortou, situação atribuída é memória que a argila possui, assumindo a posição que tinha antes do processo de cozedura. Já na garrafa de gargalo estreito, o seu gargalo foi quebrado, aquando da sua colocação dentro do forno.

Já em relação ao barro Lagoa não se verificaram quaisquer defeitos nas peças após a cozedura, tendo-se mantido a característica tonalidade laranja (Fig. 9.16).



Fig. 9.16 - Peças conformadas com o barro Lagoa após cozedura.

Por último, a cozedura das peças do barro Borba VV também não proporcionou qualquer defeito nas diferentes peças manufaturadas que apresentaram cor laranja-avermelhada (Fig. 9.17).



Fig. 9.17 - Peças conformadas com o barro Borba VV após cozedura.

10 – ENSAIOS TECNOLÓGICOS E CARACTERIZAÇÃO DO COMPORTAMENTO DAS PASTAS CERÂMICAS

Na composição de uma pasta cerâmica, podem participar diferentes matérias-primas, que vão desde os materiais plásticos (argilas comuns e/ou argilas especiais como é o caso de caulinos), aos desengordurantes (areia quartzosa), passando pelos fundentes (feldspato, calcite, dolomite, talco, etc.) e até alguns agentes reguladores (pigmentos corantes, secantes e desfloculantes).

Se por um lado, os materiais plásticos quando misturados com água, conferem à pasta a plasticidade que permite a conformação das peças cerâmicas e a respectiva resistência mecânica adequada após secagem e após cozedura, os desengordurantes como a areia quartzosa funcionam como o “esqueleto da pasta”, ou seja, ajudam a evitar retrações elevadas na secagem e na cozedura, diminuindo a possibilidade do aparecimento de alguns tipos de defeitos nos corpos cerâmicos durante o processo cerâmico, contribuindo para a regulação do coeficiente de dilatação ou expansão térmica. Já os fundentes, promovem a formação de uma fase líquida a temperaturas elevadas da cozedura e que promove a agregação dos diversos componentes das pastas, resultando a formação dum vidro que circunda e liga os grãos dos minerais da pasta, contribuindo assim para o aumento da resistência mecânica após cozedura dos corpos cerâmicos (*Cencal, 2008*).

Desta forma, cada um dos diversos componentes que compõem uma pasta acaba por ter um papel diferente e importante, fazendo com que as propriedades da mesma sejam iguais às de uma boa matéria-prima argilosa. Esta igualdade de comportamentos, permite que as mesmas possam ser trabalhadas por diferentes métodos, permitindo a manipulação das peças em cru, proporcionando ainda que os materiais cozidos que foram manufacturados com as pastas apresentem as características ideais para as tarefas que foram concebidos.

Assim, o desenvolvimento da formulação de uma pasta, ou seja, a proporção em que cada um dos seus componentes entra na mistura, exige um conhecimento perfeito das matérias-primas que se pretende utilizar e da forma como o seu comportamento individual é influenciado pela presença de outras, numa decisão onde a experiência terá sem dúvida nenhuma, uma palavra a dizer (*Cencal, 2008*).

A partir dos resultados obtidos nos ensaios de caracterização física e tecnológica que foram realizados nas três matérias-primas estudadas, e com base nas potencialidades das suas reservas aparentes no terreno, formularam-se cinco pastas cerâmicas diferentes.

Todas as pastas passaram por um processo de diluição e homogeneização, utilizando-se para o efeito quantidade indeterminada de água e a ação de um agitador mecânico vertical (Fig. 10.1), tendo-se seguido um período de secagem das pastas em placas de gesso até à obtenção da quantidade adequada de humidade que permitisse conferir alguma plasticidade e trabalhabilidade às pastas de forma a permitir a conformação de provetes para ensaios por extrusão.



Fig. 10.1 - Homogeneização da pasta cerâmica no agitador mecânico vertical.

Apesar de o método utilizado na homogeneização das pastas cerâmicas e conformação dos provetes ter sido o mesmo empregado em todas as pastas, estas foram sujeitas a ensaios com patamares de cozedura diferentes. Como tal, tornou-se necessário dividir o estudo das mesmas por dois subcapítulos, o primeiro inclui as três pastas cerâmicas elaboradas com as matérias-primas argilosas sujeitas a dois patamares de cozedura e, o segundo inclui duas pastas cerâmicas sujeitas a três patamares de cozedura.

10.1 – FORMULAÇÃO DE PASTAS CERÂMICAS SUBMETIDAS A DOIS PATAMARES DE COZEDURA

A pasta nº 1 foi preparada com as matérias-primas argilosas Biblio VV e Borba VV, em percentagens iguais (50 %) (Fig. 10.2). Estando ambas perfeitamente

caracterizadas físico-quimicamente e tecnologicamente, a realização de uma pasta com uma composição baseada nas duas matérias-primas referidas era bastante interessante, não só ao nível de reservas aparentes no terreno, mas também ao nível da sua trabalhabilidade. Como tal, revelou-se importante conhecer o comportamento da matéria-prima argilosa com maior reserva aparente e pior trabalhabilidade (Borba VV), em conjunto com a matéria-prima argilosa com menor reserva aparente, mas que apresentava melhor trabalhabilidade (Biblio VV).

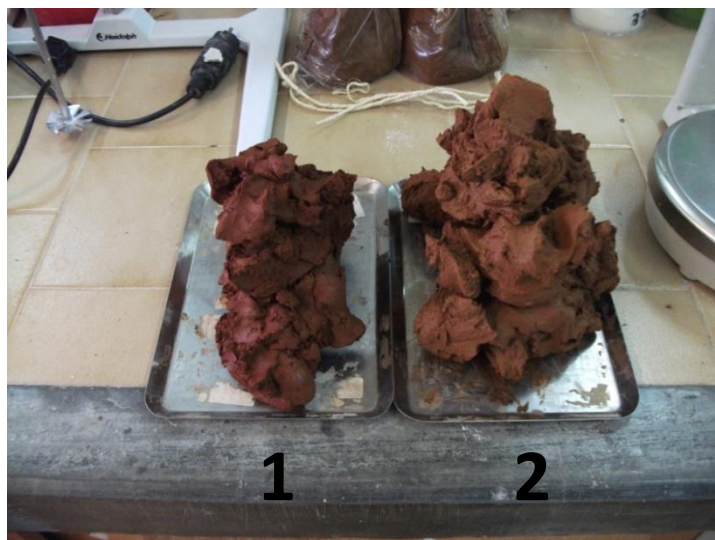


Fig. 10.2 - Matérias-primas argilosas Borba VV (1) e Biblio VV (2), constituintes da pasta nº 1.

A pasta nº 2 foi preparada misturando a matéria-prima argilosa Biblio VV com areia quartzosa ou siliciosa P 500, numa razão de 4 para 1 (80 % Biblio VV e 20 % areia). A realização de uma pasta com uma composição baseada nestas duas matérias-primas era interessante visto a areia permitir abrir a estrutura do corpo cerâmico, facilitando assim a sua secagem. Esta areia siliciosa, de granulometria inferior a 45 μm era constituída essencialmente por quartzo, isto é, por sílica (> 98 %), com um diâmetro médio de 8 μm .

Outra das razões que levou à elaboração desta pasta cerâmica coincidiu com a possibilidade de realização de vidragem nas peças cerâmicas elaboradas com a matéria-prima argilosa Biblio VV. Ou seja, após a cozedura dos corpos cerâmicos elaborados com esta matéria-prima verificou-se que as mesmas apresentavam elevada dureza e baixa porosidade. Visto ser necessário existir alguma porosidade para que o vidrado se associe ao corpo cerâmico, torna-se importante a adição de areias de modo a permitir a abertura do corpo cerâmico para uma melhor aceitação do vidrado.

Por último, a utilização deste tipo de areias na cerâmica é muito importante, uma vez que ajuda a reduzir os valores das retrações durante a secagem e a cozedura, a controlar o coeficiente de expansão térmica, sendo também consideradas antiplásticas, uma vez que contrariam a plasticidade excessiva de certas matérias-primas argilosas e consequentemente das pastas cerâmicas.

A pasta nº 3 foi preparada com as matérias-primas argilosas Borba VV e Lagoa, na razão aproximada de 2 para 1 (65 % Lagoa e 35 % Borba VV) (Fig. 10.3). Havendo sido realizada a caracterização física e tecnológica destes dois materiais, optou-se pela realização de uma pasta com uma composição baseada nestas duas matérias-primas, sendo bastante interessante, não só ao nível de reservas aparentes no terreno mas, também, ao nível da sua trabalhabilidade.

Ou seja, tal como na pasta nº 1 foi importante conhecer o comportamento da matéria-prima argilosa com maior reserva aparente e pior trabalhabilidade (Borba VV), em conjunto com uma matéria-prima argilosa com uma reserva aparente considerável e que apresentou igualmente uma melhor trabalhabilidade (Lagoa).



Fig. 10.3 - Matérias-primas argilosas Borba VV (1) e Lagoa (2), constituintes da pasta nº 3.

10.1.1 – TRABALHABILIDADE, EXTRUDIBILIDADE E CONFORMAÇÃO

Após o período de desidratação em placa de gesso, a amassadura manual para homogeneização da pasta nº 1 revelou que esta composição apresentava boa plasticidade e trabalhabilidade. Após extrusão verificou-se que a qualidade dos provetes obtidos (Fig. 10.4) permitiu classificá-la como sendo possuidora de boa extrudibilidade.



Fig. 10.4 – Provetes da pasta nº 1, conformados com dimensões 100 mm x 10 mm.

Tal como a pasta anterior, também na pasta nº 2 e após o período de desidratação em placa de gesso, a amassadura manual para a sua homogeneização revelou que a composição apresentava boa plasticidade e trabalhabilidade. Após extrusão, verificou-se ainda que a qualidade dos provetes obtidos (Fig. 10.5) permitiu classificar esta pasta como sendo possuidora de boa extrudibilidade.



Fig. 10.5 - Provetes da pasta nº 2 conformados com dimensões 100 mm x 10 mm.

Tal como nas duas pastas anteriores, também na pasta nº 3 e após o necessário período de desidratação em placa de gesso, a amassadura manual para homogeneização da pasta revelou que a composição apresentava boa plasticidade e trabalhabilidade. Após extrusão, verificou-se ainda que a qualidade dos provetes obtidos (Fig. 10.6) permitiu classificar esta pasta como sendo possuidora de boa extrudibilidade.



Fig. 10.6 - Provets da pasta nº 3, conformados com dimensões 100 mm x 10 mm.

No Quadro nº 10.1 estão representados os índices de plasticidade, determinados pelo método da Concha de Casagrande, e os valores de humidade de extrusão (base húmida), para cada uma das pastas cerâmicas elaboradas. Através da análise do Quadro nº 10.1 verificou-se que não existe qualquer tipo de correlação entre o valor do índice de plasticidade e o valor da humidade de extrusão.

Quadro nº 10.1 - Valores do índice de plasticidade e teores da humidade de extrusão.

Amostras	Índice de Plasticidade (%)	Humidade de Extrusão (%)
Pasta nº 1	23	23
Pasta nº 2	21	32
Pasta nº 3	26	31

De uma forma geral foi possível constatar que as três pastas cerâmicas apresentaram boa extrudibilidade com pressões que variaram entre 1,5 Bar e 3 Bar, apresentando por isso boa plasticidade, trabalhabilidade e extrudibilidade, propriedades que facilitaram a conformação de provets sem imperfeições.

Tal como nas matérias-primas, também nas pastas cerâmicas elaboradas, foram avaliados os limites de consistência (Quadro nº 10.2). Os ensaios realizados foram importantes uma vez que permitiram avaliar de forma rigorosa a sua plasticidade e trabalhabilidade, propriedades importantes para eventuais aplicações em cerâmica artesanal e cerâmica industrial.

Quadro nº 10.2 - Quadro síntese dos limites de consistência e dos índices de plasticidade.

Amostra	Limites de Consistência		
	LL (%)	LP (%)	IP (%)
Pasta nº 1	47	24	23
Pasta nº 2	44	23	21
Pasta nº 3	49	23	26

De acordo com a classificação dos materiais geológicos argilosos com base no índice de plasticidade descrito por *Faria (2005)* presente no Quadro nº 8.4 e tendo em conta os valores apresentados no Quadro nº 10.2., todas as amostras são constituídas maioritariamente por argilas siltosas, por possuírem valores elevados do índice de plasticidade, que variam entre 21 % e 26 %, sendo por isso classificadas como possuindo alta plasticidade. Tal como nas matérias-primas argilosas, também nas pastas elaboradas se procedeu à projeção dos valores obtidos nos ensaios efetuados no Diagrama de Casagrande (Fig. 10.7), especialmente vocacionado para caracterizar matérias-primas para a indústria da cerâmica estrutural.

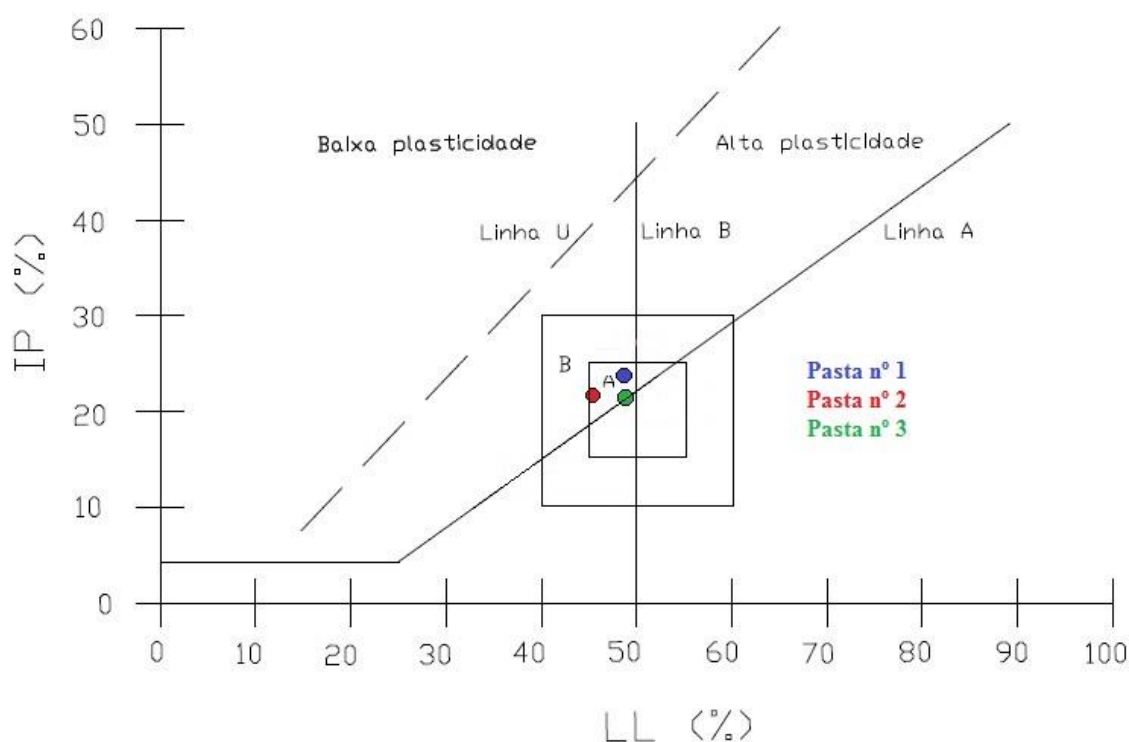


Fig. 10.7 - Projeção das pastas cerâmicas nº 1, nº 2 e nº 3 no Diagrama de Casagrande.

Através da análise da Fig. 10.7, verifica-se que as três amostras ensaiadas, se projectam no “Campo A” sendo, por isso, consideradas ótimas para conformação por extrusão. Verifica-se ainda que todas as amostras se projetam em zonas indicadoras de matérias-primas plásticas, apresentando uma alta plasticidade e, apresentando por isso, maior capacidade para conformação por via plástica.

10.1.2 – SECAGEM DOS PROVETES

No Quadro nº 10.3 são apresentados os valores referentes ao ensaio de contração ou retração húmido/seco (% Ret. H/S) e os valores de resistência mecânica à flexão (RMF) obtidos a partir dos provetes conformados depois de secos, em estufa ventilada, a uma temperatura máxima de 110 °C.

Quadro nº 10.3 - Propriedades das pastas após conformação e após secagem.

Amostra	Secagem em estufa a 110 °C	
	RMF (Kgf/cm ²)	% Ret. H/S
Pasta nº 1	16,40	6,2
Pasta nº 2	17,75	7,3
Pasta nº 3	22,35	5,81

Após análise dos valores constantes no quadro anterior verifica-se que a pasta nº 3 é a que apresenta maior valor de resistência mecânica à flexão. De acordo com estes dados e, tendo em conta os baixos valores de resistência mecânica à flexão, 16,40 Kgf/cm² e 17,75 Kgf/cm², obtidos respetivamente para as pastas nº 1 e nº 2, verifica-se que ambas se comportaram como as pastas cerâmicas mais magras, nas quais a areia siliciosa (pasta nº 2) e a matéria-prima argilosa de pior qualidade, Borba VV (pasta nº 1) se revelaram fundamentais de forma a explicar os valores da RMF.

Em relação aos valores das retrações é possível afirmar que eles se situam dentro dos valores normais (inferiores a 10 %), e que todas as amostras apresentaram valores semelhantes de retração húmido/seco, sendo que o maior valor pertence à pasta nº 2, onde apesar da existência de uma areia siliciosa, a percentagem de quartzo na sua constituição é muito reduzida (15,04 %). De uma forma geral, os valores relativamente

baixos obtidos nas pastas nº 1 e nº 3 resultam de uma participação mais elevada de quartzo nas matérias-primas argilosas Borba VV (pastas nº 1 e nº 3) e Lagoa (pasta nº 3), com percentagens de 36,1 % e 31,85 %, respetivamente.

10.1.3 – COZEDURA DOS PROVETES

Após a secagem na estufa ventilada a 110 °C os provetes foram introduzidos em dois fornos elétricos programados com diferentes gradientes térmicos, conforme a temperatura final de cozedura previamente estabelecida (850 °C e 950 °C). Tal como na cozedura dos provetes das matérias-primas argilosas é importante aumentar os patamares finais de temperatura máxima, de forma a garantir o perfeito desenvolvimento de todas as reações físico-químicas e o grau de cozedura pretendido.

No primeiro forno elétrico cozeram-se os provetes à temperatura máxima de 850 °C, tendo o gradiente térmico apresentado a seguinte evolução:

- 1 h – 0 °C a 200 °C;
- 1 h – 200 °C a 400 °C;
- 1 h – 400 °C a 600 °C;
- 1 h - 600 °C a 800 °C;
- 30 min – 800 °C a 850 °C;
- 30 min à temperatura de 850 °C.

No segundo forno, o objetivo foi atingir o patamar de temperatura de 950 °C, tendo o gradiente térmico apresentado a seguinte evolução:

- 1 h – 0 °C a 200 °C;
- 1 h – 200 °C a 400 °C;
- 1 h – 400 °C a 600 °C;
- 1 h - 600 °C a 800 °C;
- 1 h – 800 °C a 950 °C;
- 20 min à temperatura de 950 °C.

No interior dos corpos cerâmicos e juntamente com os provetes, foram colocados vários anéis de Buller, que permitiram verificar o valor de temperatura máxima de cozedura a que cada provete foi sujeito (Fig. 10.8).



Fig. 10.8 - Provetes antes do processo de cozedura.

Através da análise das medições dos diferentes diâmetros dos anéis de Buller, no primeiro forno foi possível concluir que o primeiro patamar de cozedura se encontrava entre 848 °C e 858 °C; e o segundo patamar se situava entre 1000 °C e 1020 °C. Em ambos os fornos, o arrefecimento dos provetes deu-se de forma gradual após ter sido atingido o valor de temperatura máxima. Por último, os provetes já cozidos foram sujeitos a diversos ensaios laboratoriais, de forma a determinar o valor da retração seco/cozido, retração total, resistência mecânica à flexão e absorção de água.

No Quadro nº 10.4 constam os valores das propriedades cerâmicas dos provetes cozidos até 850 °C, temperatura que corresponde ao primeiro patamar térmico. Neste mesmo quadro constam ainda os seguintes dados: os valores referentes à retração dos provetes após cozedura, em relação ao valor da retração quando secos; os valores das retrações totais ou húmido/cozido no primeiro patamar térmico (900 °C), relacionando o valor da retração obtida após cozedura, com o valor da retração em verde; os valores da absorção de água após submersão dos provetes durante um período de 24 h; os valores da resistência mecânica à flexão; e, ainda, os aspetos cromáticos dos provetes.

Como referido anteriormente, através dos Anéis de Buller foi possível obter as temperaturas máximas de cozedura dos provetes. Deste modo, para a pasta nº 1 verificou-se a temperatura máxima de 848 °C; para a pasta nº 2 obteve-se a temperatura

de 855 °C e por fim, para a pasta nº 3 obteve-se a temperatura de 858 °C. A discrepância de valores encontrados é causada pelas diferenças de temperatura no interior do forno elétrico e ao posicionamento das peças em relação às fontes de calor (resistências eléctricas).

Quadro nº 10.4 - Propriedades cerâmicas das pastas cerâmicas cozidas a 850 °C.

Amostra	% Ret. S/C	% Ret. Total	RMF (Kgf/cm ²)	% Absorção de água	Cor
Pasta nº 1	0,36	6,18	83,50	24,2	Castanho claro
Pasta nº 2	0,15	6,94	70,45	26,0	Castanho-escuro
Pasta nº 3	1,23	7,12	69,97	24,0	Cor-de-Laranja

Relativamente à retração seco/cozido, a pasta nº 3 foi aquela que apresentou o maior valor de retração, provavelmente graças à presença da matéria-prima Lagoa que foi a que apresentou maior índice de plasticidade, sendo por isso mais “gorda”, não sendo de excluir o facto de ter cozido à temperatura maior (858 °C). Por outro lado a pasta nº 2 revelou a menor retração seco/cozido, muito provavelmente devido à incorporação de areia. Relativamente à retração total as três pastas revelaram valores semelhantes.

Quanto aos valores de resistência mecânica à flexão todas as pastas cerâmicas apresentam valores inferiores, quando comparados com os valores obtidos nos ensaios das matérias-primas argilosas. Comparativamente com a resistência mecânica dos provetes secos constata-se um aumento substancial da resistência nos provetes cozidos a 850 °C, particularmente na pasta nº 3 que revelou um aumento exponencial de 16,40 Kgf/cm² para 83,50 Kgf/cm² passando então a ser o valor mais elevado.

Em relação à absorção de água todas as amostras apresentaram valores elevados para esta propriedade, onde a capacidade absorvente de alguns minerais argilosos e a distribuição granulométrica dos seus grãos, contribuem para tal facto.

Em relação ao segundo patamar de cozedura, no Quadro nº 10.5 constam os valores referentes às propriedades cerâmicas dos provetes cozidos até 950 °C. Os valores de temperatura máxima que se obtiveram com os Anéis de Buller foram: 1009 °C para a pasta nº 1, 1020 °C para a pasta nº 2 e, por último, 1000 °C para a pasta nº 3.

Tal como na cozedura anterior a discrepância de valores foi causada pelas diferenças de temperatura no interior do forno elétrico.

Quadro nº 10.5 - Propriedades cerâmicas das pastas cerâmicas cozidas a 950 °C.

Amostra	% Ret. S/C	% Ret. Total	RMF (Kgf/cm ²)	% Absorção de água	Cor
Pasta nº 1	7,56	12,46	256,34	12,6	Castanho-escuro
Pasta nº 2	5,3	11,49	256,28	15,7	Castanho-escuro
Pasta nº 3	6,53	12,73	208,06	14,9	Cor-de-laranja

Relativamente à retração seco/cozido a pasta nº 1 foi aquela que apresentou o maior valor de retração. Por outro lado, foi a pasta nº 3 que apresentou maior valor de retração total, estimado em quase 13 %. Por último, a pasta nº 2 foi aquela que apresentou os valores mais baixos de retração seco/cozido e de retração total.

Na resistência mecânica à flexão nota-se novamente um aumento considerável dos valores em relação aos valores obtidos no primeiro patamar de cozedura, sendo duas vezes superiores em relação aos anteriores. De referir o facto das pastas nº 1 e nº 3 terem revelado o mesmo valor de resistência e a pasta nº 3 valor um pouco inferior.

Em relação à absorção de água todas as amostras apresentaram valores mais baixos em relação ao primeiro patamar de cozedura. Tal facto tem a ver com os aumentos das retrações que estão relacionadas com a temperatura. Assim é de esperar que, quanto maior for o valor de retração total, menor será o valor da absorção, facto este que é justificado pela densificação e fecho da porosidade do corpo cerâmico.

10.1.4 – ANÁLISE TÉRMICA-DILATOMÉTRICA

Tanto em matérias-primas, como em pastas cerâmicas, a análise térmico-dilatométrica, permite determinar a variação dilatométrica que um provete sofre, quando aquecido a determinada temperatura com um determinado ciclo de aquecimento.

No entanto, no caso específico das pastas cerâmicas, este ensaio reveste-se de vital importância, para que ocorra o acordo pasta/vidrado. Ou seja, na produção de materiais cerâmicos argilosos vidrados, é essencial que haja compatibilidade entre os

coeficientes de dilatação térmica de ambos, que se designa por acordo pasta/vidrado, evitando assim o fendilhamento ou o “descasque” do vidrado.

Na execução deste ensaio foram utilizados provetes redondos e paralelepípedicos, nos dois patamares de cozedura (850 °C e 950 °C), com as faces completamente direitas e comprimentos entre 2.5 cm e 3 cm, de forma a avaliar:

- A percentagem (%) de dilatação a 573 °C;
- O coeficiente de dilatação cúbico a 400 °C;

Com os dados obtidos foi possível então construir as curvas dilatométricas das diferentes pastas formuladas (Fig. 10.9), que foram agrupadas consoante o valor do patamar de cozedura a que os seus provetes foram submetidos (850 °C ou 950 °C).

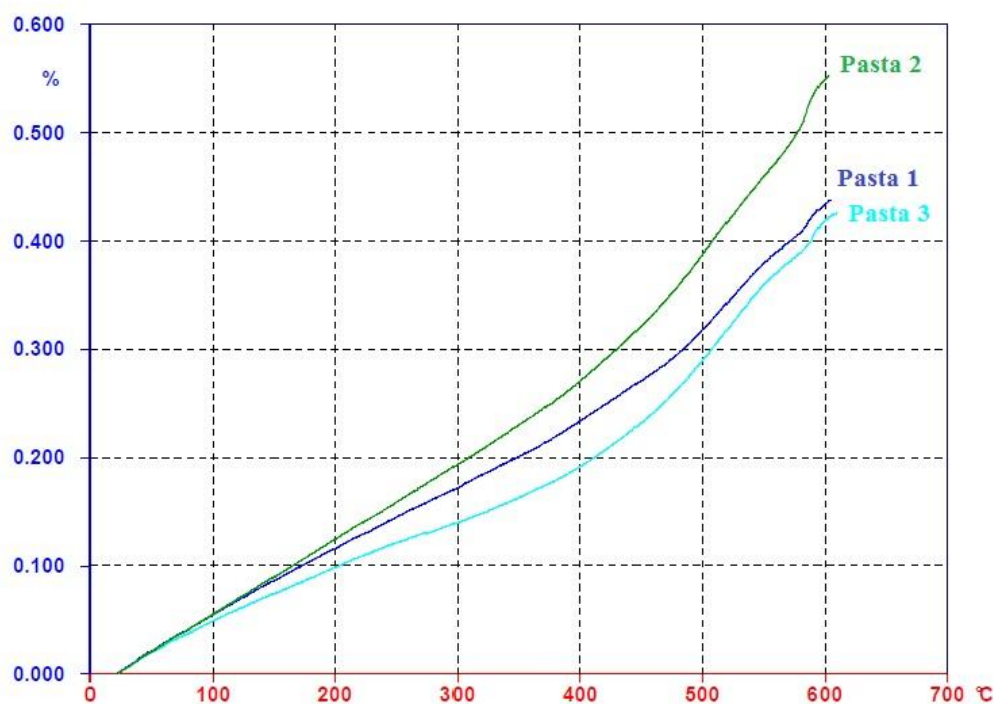


Fig. 10.9 - Curvas dilatométricas das pastas nº 1, nº 2 e nº 3, para o patamar de cozedura de 850 °C.

Através da análise das diferentes curvas dilatométricas, para o patamar de cozedura de 850 °C, pode-se concluir que as amostras possuem um comportamento muito semelhante entre si destacando-se ligeiramente a pasta nº 2, das outras duas pastas, particularmente nas últimas temperaturas analisadas, devido à presença da areia siliciosa na sua constituição.

Existem ainda algumas diferenças entre as curvas no valor dos coeficientes de dilatação cúbica e da percentagem de dilatação a 573 °C, uma vez que todas as curvas dilatométricas apresentam um aumento gradual da dilatação linear, até à temperatura crítica de 573 °C à qual ocorre a inversão polimórfica do quartzo α para quartzo β .

A esta temperatura, o maior valor de percentagem de dilatação a 573 °C, ocorre na pasta nº 2, com uma percentagem de dilatação de 0,491 %, enquanto as pastas nº 1 e nº 3, apresentam percentagem de dilatação de 0,400 % e 0,392 %, respetivamente. Em relação aos valores do coeficiente de dilatação cúbico, o maior valor é de $284,33 \times 10^{-7}$ °C para a pasta nº 2, seguido de $224,5 \times 10^{-7}$ °C para a pasta nº 1, e finalmente $151,54 \times 10^{-7}$ °C para a pasta nº 3.

Em relação às curvas dilatométricas para o patamar de cozedura de 950 °C (Fig. 10.10), verifica-se que as mesmas apresentam as mesmas características que as anteriores.

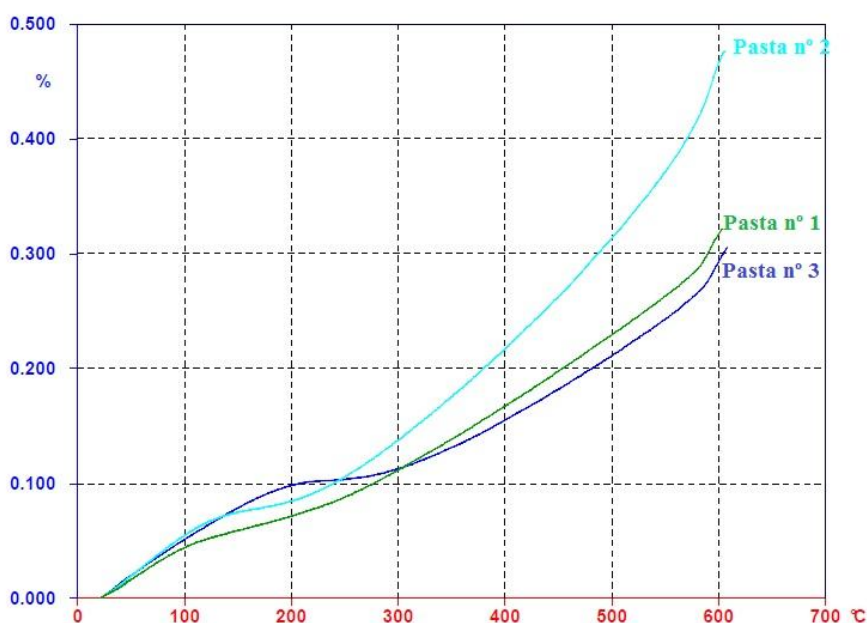


Fig. 10.10 - Curvas dilatométricas das pastas nº 1, nº 2 e nº 3, para o patamar de cozedura de 950 °C.

Através da análise das diferentes curvas dilatométricas constantes na figura anterior pode-se concluir que as amostras, de uma maneira geral possuem um comportamento muito semelhante às amostras que foram submetidas ao patamar de

cozedura de 850 °C, no entanto, verificaram-se algumas diferenças de comportamento entre 140 °C e 300 °C.

A curva dilatométrica da pasta nº 1 revela um perfil semelhante ao da cozedura a 850 °C, porém, as pastas nº 2 e nº 3 apresentam um comportamento ligeiramente diferente. A pasta nº 2, entre 140 °C e 240 °C tem um ligeiro abrandamento da dilatação. A partir de 240 °C, a pasta nº 2 sofre uma dilatação mais acentuada que se irá prolongar até 0,560 %. A pasta nº3 apresenta um crescimento suave até 200 °C, seguindo-se uma variação de volume quase nula até 300 °C, à semelhança da pasta nº 2, apesar das matérias-primas Borba VV e Lagoa possuírem percentualmente, cada uma delas metade do teor de Ilite estimado na Biblio VV. A partir da temperatura de 300 °C, a pasta nº3 sofre um aumento de dilatação linear até 0,302 %.

Em relação ao que foi explanado, a pasta nº 1, foi aquela que apresentou uma curva ligeiramente diferente, sendo previsível um comportamento semelhante às pastas nº 2 e nº 3, atendendo à sua composição (Biblio VV (50 %) + Borba VV (50 %)). Em relação aos valores da percentagem de dilatação a 573 °C, o maior valor pertence igualmente à pasta nº 2, com 0,404 %, enquanto as pastas nº 1 e nº 3, apresentam valores de 0,290 % e 0,260 %, respetivamente.

A determinação do coeficiente de dilatação cúbico revelou o valor de 171,69 $\times 10^{-7}$ °C para a pasta nº 2, seguido de 132,29 $\times 10^{-7}$ °C para a pasta nº1 e, finalmente 122,10 $\times 10^{-7}$ °C para a pasta nº 3. Comparativamente com os resultados obtidos na cozedura a 850 °C, estes mostraram valores inferiores, perfeitamente justificável pelo facto da temperatura atingida levar ao início da formação da mulite primária e de uma fase líquida, contribuindo assim para a contração do corpo cerâmico e eliminação da porosidade.

Comparando com os valores padrão de uma pasta vermelha para trabalhar em prensas e moldes (% dilatação a 573 °C = 0,398 %; coeficiente de dilatação cúbico a 400 °C = 191,20 $\times 10^{-7}$ °C), verifica-se que as pastas nº1 e nº3 apresentam percentagens inferiores de dilatação a 573 °C (0,290 % na pasta nº 1 e 0,260 % na pasta nº 3) e valores inferiores de coeficiente de dilatação cúbico a 400 °C (132,29 $\times 10^{-7}$ °C na pasta nº1 e 122,10 $\times 10^{-7}$ °C para a pasta nº 3). Já a pasta nº 2 é aquela cujo comportamento mais se assemelha à pasta tradicionalmente utilizada em prensas e moldes, com

percentagem de dilatação a 573 °C de 0,404 % e de coeficiente de dilatação cúbico a 400 °C de $171,69 \times 10^{-7} \text{ } ^\circ\text{C}$.

Quando comparados com os valores padrão de uma pasta vermelha existente no mercado para trabalhar na roda de oleiro (% dilatação a 573 °C = 0,339 %; coeficiente de dilatação cúbico a 400 °C = $152,82 \times 10^{-7} \text{ } ^\circ\text{C}$) verifica-se que, todas as pastas cerâmicas formuladas apresentam valores muito diferentes da percentagem de dilatação a 573 °C e do coeficiente de dilatação cúbico a 400 °C.

10.2 – FORMULAÇÃO DE PASTAS CERÂMICAS COM INCORPORAÇÃO DE “NATA”

Estas pastas cerâmicas foram submetidas a três patamares de temperatura, de forma avaliar o comportamento da “nata” de mármore a altas e a baixas temperaturas de cozeduras. Esta “nata” de mármore (Fig. 10.11) que é constituída essencialmente por calcite, isto é, carbonato de cálcio (CaCO_3), resulta da deposição por efeito de tratamento químico com agentes flocculantes das águas utilizadas durante o corte e polimento do mármore, representando uma prática comum por todo o anticlinal de Estremoz.



Fig. 10.11 - Nata de Mármore.

Outra das razões que conduziu à incorporação desta matéria-prima na formulação das pastas cerâmicas foi o facto de, a altas temperaturas a presença e existência de CaCO_3 , permitir a combinação de CaO com outros óxidos (SiO_2 , FeO , MgO , por exemplo) presentes nas matrizes dos materiais argilosos.

A título de exemplo, a 950 °C o CaCO_3 se extingue por completo, dando origem a dióxido de carbono (CO_2) que evolui e cria porosidade, e a óxido de cálcio (CaO) que se pode recombinar com outras espécies químicas (FeO e SiO_2) dando origem a novas espécies minerais como Wollastonite (CaSiO_3) e Ferissilite e Enstatite (silicatos de ferro e magnésio), fazendo aumentar o valor da resistência mecânica dos corpos cerâmicos após a cozedura.

Em ambas as pastas, a utilização da “nata” é importante, uma vez que funcionando como desengordurante, esta matéria-prima não argilosa irá conferir menor valor de plasticidade à pasta, fazendo com que a mesma possua valores menores de retração, tanto após secagem, como após as diferentes cozeduras.

A pasta nº 4 foi preparada com a matéria-prima argilosa Lagoa e com “nata” de mármore proveniente de pedreiras do Anticlinal de Estremoz, com dimensão do grão inferior a 250 μm . Na formulação estabelecida adotou-se a razão 5 para 1 (88 % Lagoa e 12 % “nata”). Estando ambas as matérias-primas perfeitamente caracterizadas, a realização de uma pasta com composição baseada nas mesmas era bastante interessante, ao nível de reservas aparentes no terreno, uma vez que a terra rossa e a “nata” de mármore são duas matérias-primas consideradas como resíduo, sendo ainda muito abundantes na região.

Por último, a pasta nº 5 foi preparada com as matérias-primas argilosas Borba VV, Lagoa e Nata de Mármore, na razão 3 para 1,5 para 0,5 (65 % Lagoa, 23 % Borba VV e 12 % de Nata). A realização de uma pasta com uma composição baseada nestas três matérias-primas era bastante interessante, não só ao nível de reservas aparentes no terreno, onde a Borba VV e a Lagoa são as duas terras rossas mais abundantes na região, mas também ao nível da sua trabalhabilidade.

10.2.1 – TRABALHABILIDADE, EXTRUDIBILIDADE E CONFORMAÇÃO

Após o período de desidratação em placa de gesso (Fig. 10.12), a amassadura manual para homogeneização da pasta nº 4, revelou que a composição cerâmica apresentava boa plasticidade e trabalhabilidade. Após extrusão e com pressões que variaram entre 2,5 bar e 3,5 bar, verificou-se ainda que a qualidade dos provetes obtidos permitiu classificar esta pasta como sendo possuidora de boa extrudibilidade.



Fig. 10.12 - Desidratação da pasta cerâmica nº 4 em placas de gesso.

Tal como na pasta anterior, após o período de desidratação em placa de gesso, a amassadura manual para homogeneização da pasta nº 5 revelou que a composição apresentava boa plasticidade e trabalhabilidade, verificando-se no entanto que a mesma se apresentava por vezes bastante gretada. Já durante o processo de extrusão verificou-se que esta pasta apresentava fraca extrudibilidade, sendo necessário o aumento da pressão na extrusora (passando dos 2,5 bar para 4 bar) permitindo contudo a conformação de provetes com qualidade e sem imperfeições.

No Quadro nº 10.6, estão representados os índices de plasticidade, determinados pelo método da Concha de Casagrande e os valores de humidade de extrusão (base húmida), para cada uma das pastas cerâmicas elaboradas.

Quadro nº 10.6 - Valores do índice de plasticidade e teores da humidade de extrusão das pastas nº 4 e nº 5.

Amostras	Índice de Plasticidade (%)	Humidade de Extrusão (%)
Pasta nº 4	27	30
Pasta nº 5	25	32

Através da análise do Quadro nº 10.6, verifica-se que existe uma correlação entre o valor do índice de plasticidade e o valor da humidade de extrusão, onde um menor valor de humidade de extrusão corresponde a um maior valor do índice de plasticidade.

Tal como nas matérias-primas argilosas, também nas pastas cerâmicas elaboradas se realizaram os ensaios dos limites de consistência (Quadro nº 10.7). Estes ensaios revelaram-se importantes uma vez que permitiram avaliar de forma rigorosa a plasticidade e trabalhabilidade das pastas, propriedades importantes para eventuais aplicações futuras ao nível da cerâmica artesanal e cerâmica industrial.

Quadro nº 10.7 - Quadro síntese dos limites de consistência e dos índices de plasticidade das pastas nº 4 e nº 5.

Amostra	Limites de Consistência		
	LL (%)	LP (%)	IP (%)
Pasta nº 4	46	19	27
Pasta nº 5	47	22	25

Tendo em conta os valores apresentados no Quadro nº 10.7, ambas as amostras apresentam valores elevados do índice de plasticidade (entre 25 e 27), sendo por isso classificadas como possuindo alta plasticidade e, constituídas maioritariamente por argilas siltosas. Tal como anteriormente, também nas pastas elaboradas se procedeu à projeção dos valores obtidos nos ensaios efetuados no Diagrama de Casagrande (Fig. 10.13), especialmente vocacionado para caracterizar matérias-primas para a indústria da cerâmica estrutural.

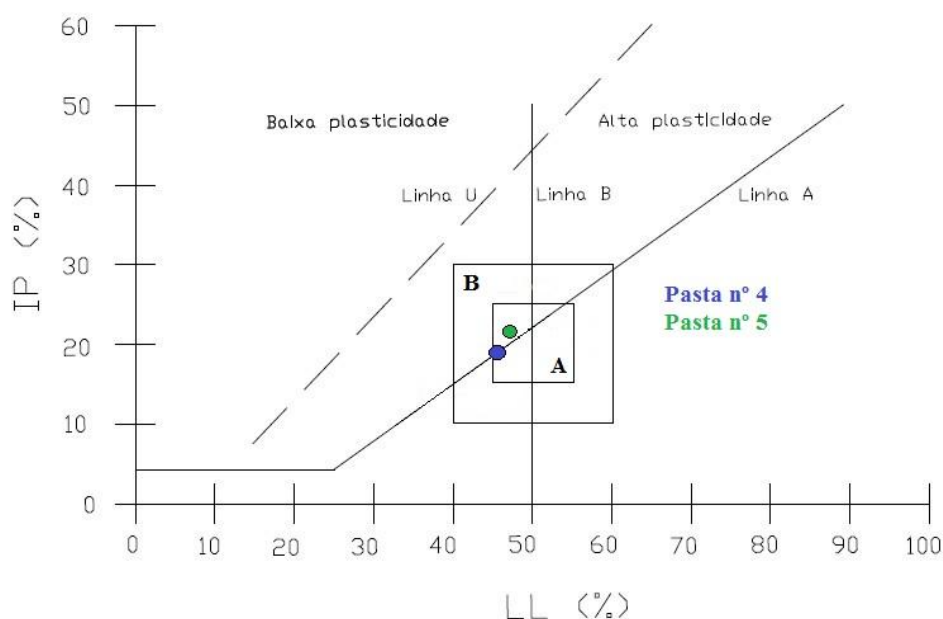


Fig. 10.13 - Projeção das pastas cerâmicas nº 4 e nº 5 no Diagrama de Casagrande.

Através da análise da Fig. 10.13, verifica-se que as duas amostras ensaiadas se situam no “Campo A” sendo, por isso, consideradas ótimas para conformação por extrusão. Verifica-se ainda que as amostras se projetam em zonas indicadoras de matérias-primas plásticas, apresentando uma alta plasticidade e, apresentando por isso, uma maior capacidade para a conformação por via plástica.

10.2.2 – SECAGEM DOS PROVETES

No Quadro nº 10.8, são apresentados os valores referentes ao ensaio de contração ou retração húmido/seco (% Ret. H/S) e os valores de resistência mecânica à flexão (RMF) obtidos a partir dos provetes conformados depois de secos, numa estufa ventilada, a uma temperatura máxima de 110 °C.

Quadro nº 10.8 - Propriedades cerâmicas de conformação e após secagem das pastas nº 4 e nº 5

Amostra	Secagem em estufa a 110 °C	
	RMF (Kgf/cm ²)	% Ret. H/S
Pasta nº 4	24,67	5,55
Pasta nº 5	23,28	5,60

Após a análise dos valores do quadro anterior, verifica-se que ambas as pastas possuem valores de resistência mecânica à flexão muito próximos, tendo em conta que a diferença entre eles é de apenas 1,39 Kgf/cm². Os valores obtidos indicam um comportamento característico das pastas cerâmicas gordas.

Em relação aos valores das retrações, é possível afirmar que elas se situam dentro dos valores normais (inferiores a 10 %) e que ambas as amostras apresentam valores semelhantes de retração húmido/seco. De uma forma geral, os valores relativamente baixos de retração húmido/seco, indicam que as duas pastas cerâmicas elaboradas com “nata” de mármore apresentam uma participação elevada de minerais argilosos na sua matriz.

10.2.3 – COZEDURA DOS PROVETES

Após a secagem, os provetes foram introduzidos em dois fornos elétricos, programados com diferentes gradientes térmicos, conforme a temperatura final de cozedura previamente estabelecida (850 °C, 950 °C e 1050 °C). Tal como na cozedura dos provetes das matérias-primas argilosas, é importante aumentar os patamares finais de temperatura máxima, de forma a garantir o perfeito desenvolvimento de todas as reações físico-químicas e do grau de cozedura desejado, pretendendo-se ainda estudar o comportamento da “nata” de mármore a altas temperaturas.

No primeiro forno elétrico cozeram-se os provetes a 850 °C. Esta temperatura foi atingida de acordo com o seguinte gradiente térmico:

- 2 h 30 m – até 400 °C (180 °C/h);
- 2 h 30 m – 400 °C até 850 °C (180 °C/h);
- 30 min – patamar de cozedura a 850 °C

No segundo forno elétrico, o objetivo foi atingir o patamar de temperatura de 950 °C, com o seguinte gradiente térmico:

- 2 h – até 400 °C (200 °C/h);
- 2 h 30 m – 400 °C até 950 °C (180 °C/h);
- 20 min – patamar de cozedura a 950 °C.

Neste mesmo forno elétrico, estabeleceu-se também a curva de cozedura para atingir o patamar de temperatura de 1050 °C. Para tal patamar de temperatura programou-se o forno com o seguinte gradiente térmico:

- 2 h – até 400 °C (200 °C/h);
- 3 h – 400 °C até 1000 °C (200 °C/h);
- 1 h – 1000 °C até 1100 °C (100 °C/h);
- 20 min – patamar de cozedura a 1100 °C.

Juntamente com os provetes, foram colocados vários Anéis de Buller, que permitiram verificar o valor de temperatura máxima de cozedura a que cada provete foi

sujeito através da medição do diâmetro destes anéis, correspondente a um valor máximo de temperatura lido numa tabela.

Através da análise das medições dos diferentes diâmetros dos anéis de Buller, foi possível concluir que no primeiro patamar de cozedura a temperatura efetiva foi de 850 °C, no segundo patamar a temperatura foi de 970 °C, e por fim, no último patamar de cozedura, atingiu-se a temperatura máxima de 1060 °C. A discrepância dos valores das temperaturas efetivas em relação aos patamares programados é causada pela diferença de calor emitido pelas resistências existentes no interior do forno elétrico.

Tal como em todas as amostras anteriores, os provetes já cozidos foram sujeitos a diversos ensaios laboratoriais, de forma a determinar o valor da retração seco/cozido, retração total, resistência mecânica à flexão e absorção de água.

No Quadro nº 10.9 constam os valores das propriedades cerâmicas dos provetes cozidos até 850 °C, temperatura que corresponde ao primeiro patamar térmico. Neste mesmo quadro constam ainda os seguintes dados: os valores referentes à retração dos provetes após cozedura, em relação ao valor da retração quando secos; os valores das retrações totais ou húmido/cozido, relacionando o valor da retração obtida após cozedura, com o valor da retração em verde; os valores da absorção de água após submersão dos provetes durante um período de 24 h; os valores da resistência mecânica à flexão; e os aspetos cromáticos dos provetes.

Quadro nº 10.9 - Propriedades cerâmicas das pastas cerâmicas nº 4 e nº 5, cozidas a 850 °C.

Amostra	% Ret. S/C	% Ret. Total	RMF (Kgf/cm ²)	% Absorção de água	Cor
Pasta nº 4	0,87	6,08	67,97	25,2	Cor-de-Tijolo
Pasta nº 5	0,85	6,1	73,38	26	Cor-de-Tijolo

Relativamente à retração seco/cozido e à retração total, ambas as amostras evidenciaram retrações similares com valores que diferem apenas nas casas decimais. Estes valores similares são em grande parte influenciados pelas percentagens da matéria-prima argilosa Lagoa, presente em ambas as amostras.

Quanto aos valores de resistência mecânica à flexão também estas pastas cerâmicas apresentaram valores inferiores, quando comparados com os valores obtidos

nos ensaios das matérias-primas argilosas. Comparativamente com a resistência mecânica dos provetes secos constata-se um aumento substancial da resistência nos provetes cozidos a 850 °C, passando dos 24,67 Kgf/cm² para 67,97 Kgf/cm² na pasta nº 4, e de 23,28 Kgf/cm² para 73,38 Kgf/cm² na pasta nº 5.

Em relação à absorção de água ambas as amostras apresentaram valores elevados para esta propriedade, onde a capacidade absorvente de alguns minerais argilosos e a distribuição granulométrica das amostras, contribuem para tal facto.

Em relação ao segundo patamar de cozedura, no Quadro nº 10.10 constam os valores referentes às propriedades cerâmicas dos provetes cozidos até 950 °C. Os valores de temperatura máxima que se obtiveram com os anéis de Buller foram de 970 °C, e aqui, tal como anteriormente, a discrepância de valores foi causada pela diferença de temperatura emitida pelas resistências no interior do forno elétrico.

Quadro nº 10.10 - Propriedades cerâmicas das pastas cerâmicas nº 4 e nº 5, cozidas a 950 °C.

Amostra	% Ret. S/C	% Ret. Total	RMF (Kgf/cm ²)	% Absorção de água	Cor
Pasta nº 4	3,5	8,7	269	11,9	Vermelho-escuro
Pasta nº 5	4,6	9,3	274	10,7	Vermelho-escuro

Tal como na cozedura anterior, relativamente à retração seco/cozido e à retração total, ambas as amostras evidenciaram retrações similares que são em grande parte influenciados pelas percentagens da matéria-prima argilosa Lagoa, presente em ambas as amostras. Neste patamar de cozedura, verifica-se uma diferença de valores consideráveis com as três pastas cerâmicas formuladas anteriormente, e cuja explicação reside na utilização da “nata” de mármore.

Na resistência mecânica à flexão nota-se novamente um aumento exponencial dos valores em relação aos valores obtidos no primeiro patamar de cozedura, sendo quatro vezes superiores em relação a estes valores. Como tal, passa-se de 67,97 Kgf/cm² para 269 Kgf/cm² na pasta nº 4 e de 73,38 Kgf/cm² para 274 Kgf/cm² na pasta nº 5.

Em relação à absorção de água ambas as amostras revelaram valores mais baixos em relação ao primeiro patamar de cozedura. No entanto, pela análise do Quadro nº 10.10, verifica-se uma ligeira tendência para um comportamento inversamente

proporcional entre a percentagem de retração total e a absorção de água. Ou seja, quanto maior é o valor de retração total, menor será o valor da absorção, facto este que é justificado pela densificação e fecho da porosidade do corpo cerâmico.

Em relação ao terceiro e último patamar de cozedura, no Quadro nº 10.11 constam os valores referentes às propriedades cerâmicas dos provetes cozidos até 1050 °C, obtendo-se através dos Anéis de Buller um valor de temperatura máxima efetiva de 1060 °C.

Quadro nº 10.11 - Propriedades cerâmicas das pastas cerâmicas nº 4 e nº 5, cozidas a 1050 °C.

Amostra	% Ret. S/C	% Ret. Total	RMF (Kgf/cm ²)	% Absorção de água	Cor
Pasta nº 4	5,05	9,81	308,87	8,5	Vermelho
Pasta nº 5	4,83	9,66	325,56	9	Vermelho

Tal como anteriormente, relativamente à retração seco/cozido e à retração total, ambas as amostras evidenciaram retrações similares que são em grande parte influenciados pelas percentagens da matéria-prima argilosa Lagoa, presente em ambas as amostras.

Na resistência mecânica à flexão verifica-se um pequeno aumento em relação aos valores obtidos no segundo patamar de cozedura, passando de 269 Kgf/cm² para 308,87 Kgf/cm² na pasta nº 4 e de 274 Kgf/cm² para 325,56 Kgf/cm² na pasta nº 5.

Em relação à absorção de água todas as amostras apresentaram valores mais baixos quando comparados ao segundo patamar de cozedura.

Tal como seria de esperar o aumento de retrações, com o incremento da temperatura e em particular quando se atingem valores elevados, tem a ver com a formação da fase Espinela a 980 °C, o surgimento de fases líquidas a partir da fusão do Feldspato a 1050 °C, com a vitrificação da Ilite e o crescimento da Mulite, levando ao aumento da resistência mecânica e à diminuição da porosidade.

10.2.4 – ANÁLISE TÉRMICA-DILATOMÉTRICA

Na execução deste ensaio foram utilizados provetes redondos e paralelepípedicos, dos três patamares de cozedura (850 °C, 950 °C e 1050 °C) com as

faces completamente direitas, com comprimentos entre 2,5 cm e 3 cm, de forma a avaliar:

- A percentagem (%) de dilatação a 573 °C;
- O coeficiente de dilatação cúbico a 400 °C;

Com os dados obtidos foi possível então construir as curvas dilatométricas das duas pastas formuladas (Fig. 10.14), que foram divididas consoante o valor do patamar de cozedura a que os seus provetes foram submetidos.

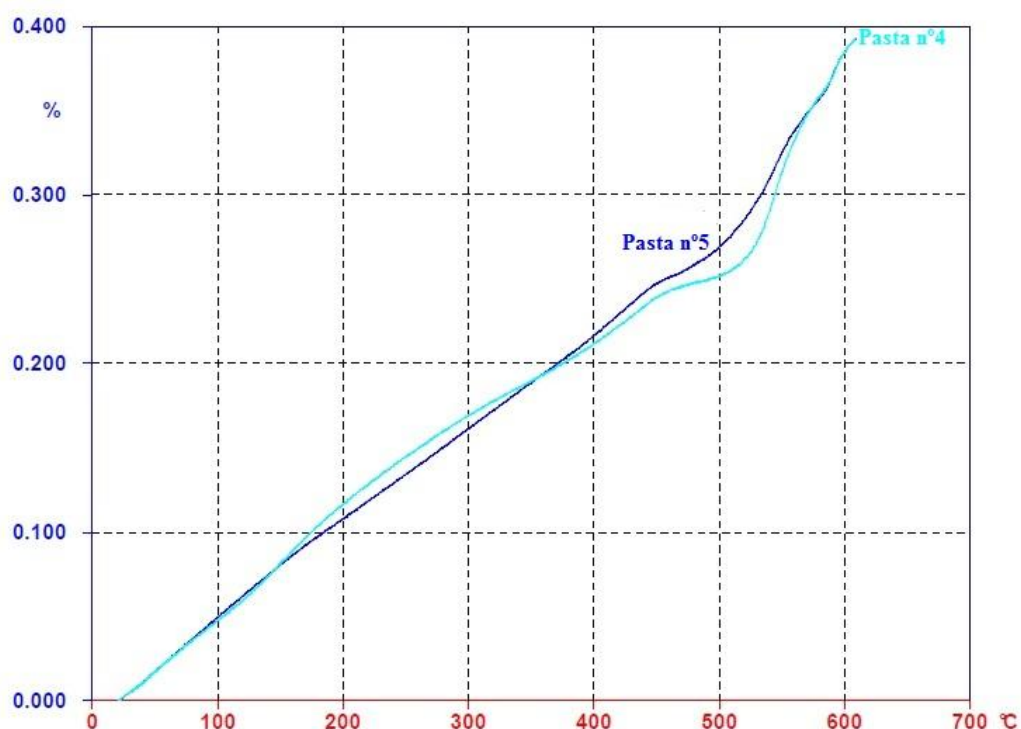


Fig. 10.14 - Curvas dilatométricas das pastas nº 4 e nº 5, no patamar de cozedura de 850 °C.

Através da análise das duas curvas dilatométricas, no patamar de cozedura de 850 °C, verifica-se que ambas as pastas cerâmicas possuem um comportamento muito semelhante entre si havendo, no entanto uma dilatação inferior entre 450 °C e 550 °C, na pasta nº 4, quando comparada com a pasta nº 5. Este fenómeno passa-se no intervalo de temperaturas, onde se dá a eliminação da água de cristalização de minerais como a ilite, levando a uma densificação da estrutura.

Já entre 180 °C e os 300 °C verifica-se uma dilatação superior na pasta nº 4, quando comparada com a pasta nº 5.

Apesar das curvas dilatométricas apresentarem um aumento gradual da dilatação linear, até à temperatura crítica de 573 °C, onde ocorre a inversão polimórfica do quartzo que passa de quartzo α para quartzo β , verificam-se algumas diferenças entre os valores dos coeficientes de dilatação cúbica e da percentagem de dilatação a 573 °C.

Neste patamar de temperatura, o valor de percentagem de dilatação, é igual em ambas as pastas, com uma dilatação de 0,351 %. Em relação aos valores do coeficiente de dilatação cúbico a 400 °C, o maior valor é de $170,86 \times 10^{-7} \text{ }^{\circ}\text{C}$ para a pasta nº 5, seguido de $167,25 \times 10^{-7} \text{ }^{\circ}\text{C}$ para a pasta nº 4.

Em relação às curvas dilatométricas no patamar de cozedura de 950 °C (Fig. 10.15), verifica-se que as mesmas apresentam as mesmas características que as anteriores.

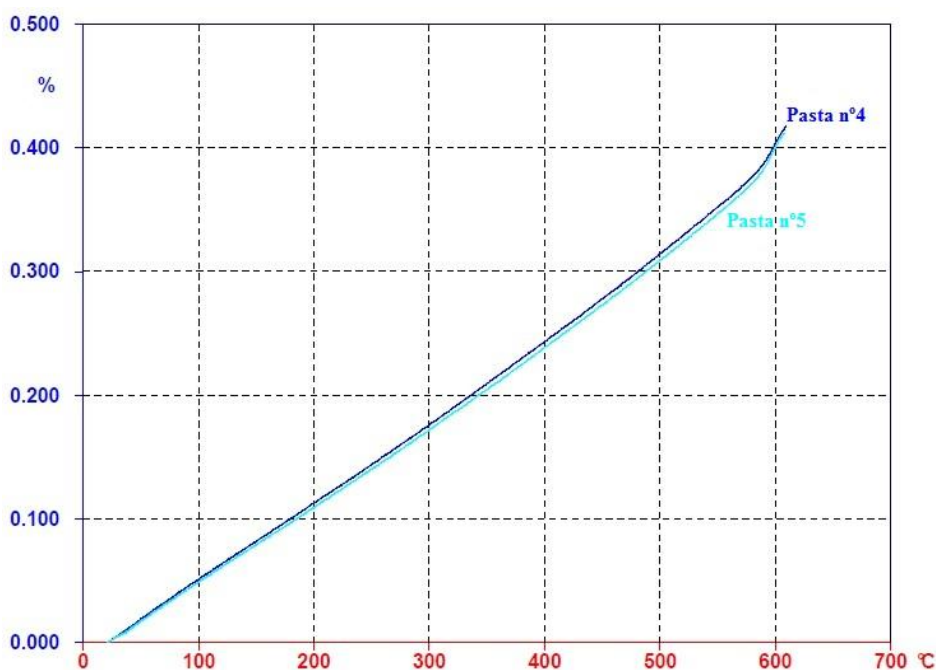


Fig. 10.15 - Curvas dilatométricas das pastas nº 4 e nº 5, no patamar de cozedura de 950 °C.

Através da análise das curvas dilatométricas, pode-se concluir que as amostras possuem um comportamento igual entre si. Em relação aos valores da percentagem de dilatação aos 573 °C. Em relação aos valores do coeficiente de dilatação cúbico aos 400 °C, o maior valor é de $192,21 \times 10^{-7} \text{ }^{\circ}\text{C}$ para a pasta nº4, seguido de $188,54 \times 10^{-7} \text{ }^{\circ}\text{C}$ para a pasta nº 5.

A cozedura no patamar de temperatura dos 950 °C é muito importante, uma vez que permite a comparação dos valores obtidos, com os valores padrão de outras pastas vermelhas utilizadas na Olaria Tradicional à temperatura de 985 °C.

Como tal e comparando com os valores padrão de uma pasta vermelha para trabalhar em prensas e moldes (percentagem de dilatação a 573 °C = 0,398 %; coeficiente de dilatação cúbico aos 400 °C = $191,20 \times 10^{-7} \text{ } ^\circ\text{C}$), verifica-se que ambas as pastas apresentam percentagens inferiores de dilatação (0,370 % na pasta nº 4 e 0,365 % na pasta nº 5) e valores semelhantes de coeficiente de dilatação cúbico a 400 °C ($192,21 \times 10^{-7} \text{ } ^\circ\text{C}$ na pasta nº 4 e $188,54 \times 10^{-7} \text{ } ^\circ\text{C}$ para a pasta nº 5).

Quando comparados com os valores padrão de uma pasta vermelha existente no mercado, para trabalhar na roda de oleiro (percentagem de dilatação a 573 °C = 0,339 %; coeficiente de dilatação cúbico a 400 °C = $152,82 \times 10^{-7} \text{ } ^\circ\text{C}$) verifica-se que a pasta nº 4 e nº 5 apresentam valores de percentagem de dilatação superiores. Em relação aos valores do coeficiente de dilatação cúbico, também aqui os valores obtidos através da análise térmico-dilatométrica, para as pastas nº 4 e nº 5 se revelaram superiores, quando comparados com os valores padrão de uma pasta vermelha.

Em relação às curvas dilatométricas no patamar de cozedura dos 1050 °C (Fig. 10.16), verifica-se que as mesmas características iguais às anteriores.

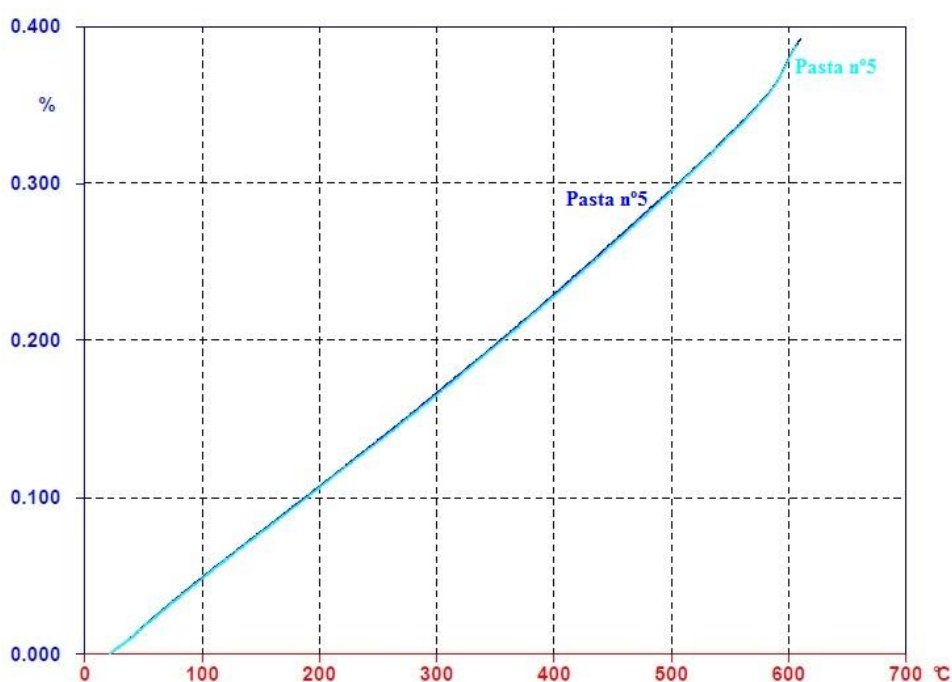


Fig. 10.16 - Curvas dilatométricas das pastas nº 4 e nº 5, no patamar de cozedura de 1050 °C.

Tal como anteriormente, na temperatura de cozedura de 1050 °C, verifica-se um comportamento igual entre as duas pastas, ocorrendo quase integralmente a sobreposição das curvas. Em relação aos valores da percentagem de dilatação a 573 °C, também eles são muito semelhantes com 0,349 % para a pasta nº 4 e 0,348 % para a pasta nº 5. Em relação aos valores do coeficiente de dilatação cúbica, estes são de $181,19 \times 10^{-7} \text{ }^{\circ}\text{C}$ para a pasta nº 4 e $180,06 \times 10^{-7} \text{ }^{\circ}\text{C}$ na pasta nº 5.

11 – ENSAIO INDUSTRIAL E CARACTERIZAÇÃO DO COMPORTAMENTO DAS PASTAS CERÂMICAS NA RODA DE OLEIRO

Tal como nas matérias-primas argilosas, também o ensaio industrial efetuado nas pastas cerâmicas teve lugar na Olaria XT, do Mestre Xico Tarefa, na vila de Redondo. O material utilizado foi obtido através da homogeneização das diferentes matérias-primas (argilosas e não argilosas) no misturador do CENCAL, onde se seguiu um período de secagem em placas de gesso até que a pasta cerâmica adquirisse um nível de plasticidade que permitisse a sua trabalhabilidade. Depois de entregues as amostras ao Mestre Xico Tarefa, as mesmas foram espalhadas no chão da olaria, de forma a perderem alguma da humidade que ainda conservavam.

11.1 – CONFORMAÇÃO DAS PEÇAS CERÂMICAS

Neste subcapítulo irão ser referidas algumas considerações tecidas pelo Mestre Xico Tarefa, durante a preparação das pastas cerâmicas e conformação de peças na roda de oleiro. Tal como sucedeu no ensaio das matérias-primas, também nas pastas cerâmicas formuladas, os resultados das resistências mecânicas em cru, revelaram baixos valores, inferiores aos das matérias-primas, suscitando algumas dúvidas, em relação ao seu comportamento durante a fase de conformação e manuseamento das peças.

Em relação à pasta nº 1, composta por 50 % da matéria-prima Borba VV e 50 % de Biblio VV, foram conformadas quatro peças diferentes, das quais uma garrafa de gargalo grosso, dois pratos e um jarro. O Mestre Xico Tarefa referiu que esta pasta cerâmica oferece uma excelente resposta às diferentes solicitações durante a conformação, ressaltando que é possível subir as peças em altura devido à elevada plasticidade da mesma.

Segundo o Mestre Oleiro que a considera uma ótima pasta, à pasta nº 1 também se pode aplicar o ditado popular “*rir ao fazer, chorar ao cozer*”. Ou seja, apesar de salientar a sua excelente trabalhabilidade, o Mestre Xico alerta para a possibilidade de surgirem ruturas nas peças durante os processos de secagem e cozedura.

Apesar dos baixos valores de resistência mecânica em cru ($16,40 \text{ Kgf/cm}^2$), as peças conformadas com esta pasta cerâmica são facilmente manipuláveis sem se danificarem (Fig. 11.1).



Fig. 11.1 - Peças conformadas com a pasta nº 1.

Relativamente à pasta cerâmica nº 2, composta por 80 % da matéria-prima Biblio VV e 20 % de areia quartzosa ou siliciosa, foram conformadas três peças diferentes, a saber: uma garrafa de gargalo estreito, um jarro de gargalo grosso e um prato (Fig. 11.2). O Mestre Xico Tarefa referiu que esta pasta cerâmica, tal como a anterior, oferece uma boa resposta às diferentes solicitações durante a conformação, e que, apesar dos baixos valores de resistência mecânica à flexão em cru ($17,75 \text{ Kgf/cm}^2$), é possível manipular as suas peças, sem contudo as danificar.



Fig. 11.2 - Peças conformadas com a pasta nº 2.

Em relação à trabalhabilidade o Mestre Xico Tarefa aconselha a que esta matéria-prima não seja utilizada em peças muito grandes, devido à sua alta plasticidade, considerando-a até mais plástica que a pasta anterior.

Apesar desta pasta já possuir 20 % de areia siliciosa, o Mestre Oleiro aconselha ainda a sua mistura com outros inertes (areias, “nata” de mármore, matérias-primas argilosas com menor plasticidade) em proporções até 20 %, tornando-a menos gorda (menos plástica) e igualmente apta para o processo cerâmico. Este comentário é importante, uma vez que a matéria-prima Biblio VV é a que apresenta menor volume de reserva aparente no terreno, possibilitando uma enorme margem de progressão em estudos futuros e novas formulações.

Com a pasta cerâmica nº 3 composta por 65 % da matéria-prima Lagoa e 35 % da matéria-prima Borba VV, foram conformadas três peças diferentes, das quais um pote de gargalo estreito e duas saladeiras (Fig. 11.3). O Mestre Xico Tarefa referiu que esta matéria-prima, de todas é a que revelou melhor comportamento, assemelhando-se inclusive às pastas que o mesmo habitualmente utiliza, todavia revelando melhor trabalhabilidade.



Fig. 11.3 - Peças conformadas com a pasta nº 3.

Ainda em relação a esta pasta cerâmica, o Mestre Oleiro indica que a mesma é mais refractária que as anteriores, podendo inclusive aguentar melhor o choque térmico relacionado com os processos de secagem e cozedura. Devido à dificuldade que existe em encontrar depósitos de barro que suportem chama direta e que aguentem o choque térmico, esta pasta cerâmica pode no futuro ser utilizada de forma a suprimir essa deficiência.

Relativamente à pasta cerâmica nº 4, composta por 88 % da matéria-prima Lagoa e por 12 % de “nata” de mármore, foram conformadas três peças diferentes, a saber: um pote de gargalo grosso, uma garrafa de gargalo grosso e um prato (Fig. 11.4). O Mestre Xico Tarefa referiu que esta pasta cerâmica, tal como a anterior (semelhante às pastas industriais), oferece uma boa resposta às diferentes solicitações durante a conformação, e que, apesar dos baixos valores de resistência mecânica à flexão em cru ($24,67 \text{ Kgf/cm}^2$), é possível manipular as suas peças, sem lhes imprimir deformações.



Fig. 11.4 - Peças conformadas com a pasta nº 4.

O Mestre Oleiro considera que esta pasta cerâmica é do melhor que há para trabalhar, considerando-a como a mais plástica de todas as pastas cerâmicas formuladas, alertando contudo, para o processo de secagem e de cozedura destas peças.

Por último, a pasta cerâmica nº 5, composta por 65 % da matéria-prima Lagoa, 23 % da matéria-prima Borba VV e por 12 % de “nata” de mármore, foram conformadas três peças diferentes, a saber: dois potes de gargalo grosso e um prato (Fig. 11.5).

O Mestre Xico Tarefa referiu ainda que esta pasta cerâmica, tal como a pasta nº 4, oferece uma boa resposta às diferentes solicitações durante a conformação, e que, apesar dos baixos valores de resistência mecânica à flexão em cru ($23,28 \text{ Kgf/cm}^2$), é possível manipular as suas peças, sem contudo as danificar.



Fig. 11.5 - Peças conformadas com a pasta nº 5.

Em comparação com a pasta nº 4, o Mestre Oleiro considera que esta pasta é igualmente ótima para trabalhar, considerando-a contudo menos plástica que a anterior, alertando, para o processo de secagem e de cozedura destas peças.

De uma forma geral, todas as pastas cerâmicas, apresentam excelente trabalhabilidade, chegando inclusive a igualar-se às pastas normalmente comercializadas e utilizadas pelo Mestre Oleiro. Segundo o Mestre Xico Tarefa, e estabelecendo um “*ranking*” das pastas cerâmicas formuladas no âmbito deste estudo, a pasta nº 3 considera-se como a melhor de todas, seguindo-se as pastas nº 4 e nº 5 (havendo pouca diferença entre elas) e por último as pastas nº 2 e nº 1.

Este “*ranking*” estabelecido pelo Mestre Xico Tarefa é muito importante, uma vez que as pastas que revelaram o melhor comportamento foram elaboradas com as matérias-primas argilosas mais abundantes e com maiores reservas na região (Lagoa e Borba VV).

Após a conformação, o Mestre Xico Tarefa produziu ainda algumas asas utilizando pequenos cilindros de pasta, conformando-os de forma curvilínea e que, foram posteriormente “colados” nas peças cerâmicas.

11.2 – SECAGEM E COZEDURA DAS PEÇAS CERÂMICAS

A secagem das peças ocorreu numa zona da olaria onde existe alguma corrente de ar e, onde as prateleiras estão suficientemente espaçadas entre elas, para que se verifique a secagem homogénea de todas as peças. Durante este processo foi ainda aplicado nas peças, um engobe feito à base de caulino. O engobe não é mais do que uma tinta aplicada na olaria tradicional após a fase inicial da secagem da peça, podendo ser de cor vermelha, almagre e branca, servindo para a tingir. É aplicado antes da primeira cozedura de forma a obter uma boa ligação à pasta. De uma maneira geral, esta aplicação evita problemas relacionados com a porosidade, tornando a peça impermeável após a aplicação de vidrado numa segunda cozedura.

Após a secagem à temperatura ambiente, as peças foram depois cozidas num forno elétrico durante um período aproximado de 6 h. O forno à temperatura inicial de 15 °C foi aquecendo lentamente à velocidade de 180 °C/h. Após quatro horas de cozedura que elevaram a temperatura do forno para 600 °C, a temperatura aumentou de novo (à velocidade de 180 °C/h) até se atingir a temperatura máxima entre 900 °C e 920 °C. De forma a estabilizar as tensões internas nas peças foi ainda adaptado um patamar de 10 a 15 min entre 900 °C e 920°C, no final das seis horas de cozedura.

Depois de cozidas, as peças foram vidradas, por imersão numa tina contendo uma mistura de água com um vidrado transparente, referência V 202 da Vitrifer.

O gradiente térmico durante a cozedura da vidragem foi idêntico ao da cozedura da peça, tendo-se atingido a temperatura máxima entre 940 °C e 950 °C, de forma a estabilizar as tensões internas nas peças, possibilitando uma aderência total do vidrado. Foi ainda adotado um patamar de vinte minutos à temperatura máxima, no final das seis horas de cozedura.

De uma forma geral e após observação das peças, concluiu-se que o vidrado aderiu de forma bastante favorável a todas as peças, não se notando por isso defeitos de enrolamento (Fig. 11.6).



Fig. 11.6 - Conjunto de peças vidradas.

No entanto, em algumas peças vidradas verificou-se a existência de craquelê. Desta forma, e visto o mesmo efeito só aparecer em algumas das peças, isto indica que existe um acordo pasta-vidrado bastante favorável (sendo apenas desfavorável pontualmente).

Desta forma, será importante, em futuras cozeduras, preparar o vidrado de acordo com as pastas cerâmicas formuladas, uma vez que os mesmos são preparados para interagirem com as pastas eliminando assim possíveis defeitos provocadas pelas diferenças de dilatação entre o vidrado e pasta, devendo esta ter uma dilatação superior de forma a manter o vidrado em compressão.

Outra das razões que podem levar ao aparecimento destes defeitos foi a expansão provocada pela humidade da pasta, uma vez que todas elas apresentavam altos teores de humidade.

Apesar dos resultados bastante satisfatórios, algumas das peças conformadas com as pastas cerâmicas nº 4 e nº 5, apresentaram fissuramento (Fig. 11.7).

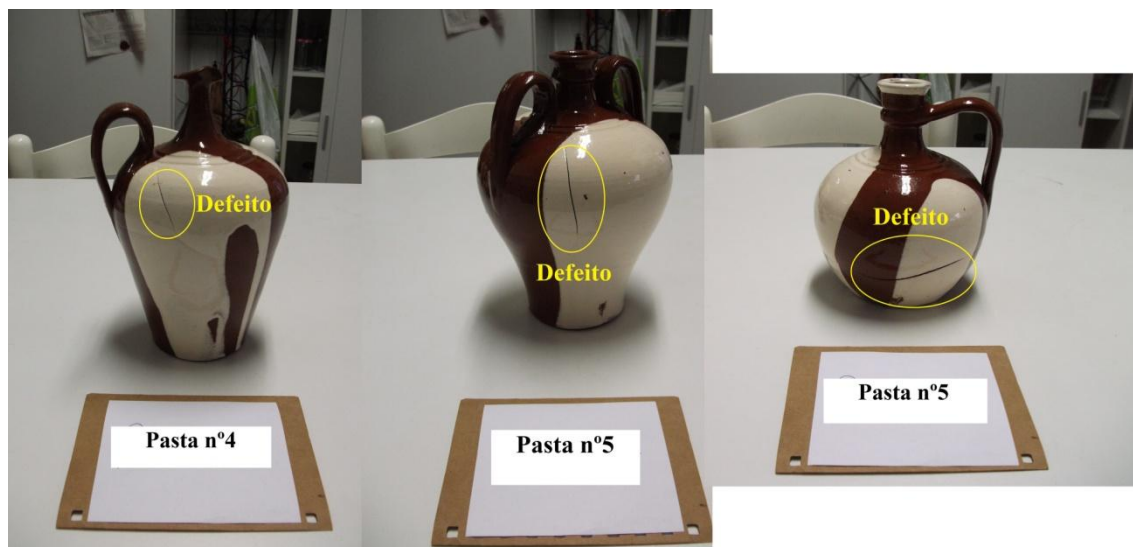


Fig. 11.7 - Fissuramento nas peças cerâmicas.

Tal facto não era de esperar, uma vez que as pastas apresentavam na sua constituição “nata de mármore”, que serviria para diminuir os valores de retração dificultando assim a ocorrência deste tipo de defeitos.

No entanto, e de acordo com o Mestre Xico Tarefa, estes defeitos não surgem devido às características das pastas, resultando sim de um possível choque térmico, uma vez que as peças cerâmicas que apresentavam defeitos foram colocadas junto às resistências do forno elétrico. A opinião do mestre oleiro é suportada pela possibilidade de ter ocorrido uma secagem irregular ou muito rápida das peças, seguida de uma cozedura muito rápida até aos 300 °C, causas essas que estão normalmente associadas ao fissuramento dos corpos cerâmicos (Canotilho, 2003).

Outra das causas, para o mesmo defeito ocorrido nas peças cerâmicas conformadas com a pasta nº 5, advém do facto desta pasta estar “cansada”, uma vez que foi aquela que esteve mais tempo sujeita ao processo de homogeneização no interior do misturador nas instalações do CENCAL. Segundo Canotilho (2003), a redução do manuseamento da pasta cerâmica durante o processo de fabrico, poderia ajudar a evitar o aparecimento destes defeitos.

Por último, verificou-se ainda a existência de uma rutura por choque térmico numa das peças conformadas com a pasta cerâmica nº 1 (Fig. 11.8).



Fig. 11.8 - Rutura por choque térmico.

Tal como o acontecido anteriormente também aqui e, de acordo com o Mestre Xico Tarefa, este defeito não surge devido às características da pasta, resultando sim de um possível choque térmico, uma vez que as peças cerâmicas que apresentavam defeitos foram colocadas junto às resistências do forno elétrico. Ou seja, tendo em conta que as outras peças conformadas com esta pasta cerâmica, sujeitas a igual curva de cozedura se apresentaram sem defeitos, conclui-se que a ocorrência deste defeito não está relacionada com a qualidade da pasta cerâmica.

Segundo *Canotilho (2003)*, este tipo de defeitos surge quando os processos de arrefecimento e aquecimento da pasta são demasiado rápidos, especialmente à temperatura de 573 °C, e quando a temperatura de cozedura da pasta se torna muito elevada. Como tal, cozer e arrefecer a pasta mais lentamente nos intervalos de temperatura onde as inversões do quartzo têm lugar (573 °C), e reduzir a temperatura de cozedura da pasta, são soluções sugeridas para evitar a ocorrência deste tipo de defeitos.

De uma forma geral, durante o processo de conformação, o mestre oleiro alertava para a probabilidade de ocorrerem problemas durante a secagem e cozedura, especialmente nas peças mais largas e abertas (pratos e saladeiras). Tal não se verificou, uma vez que os defeitos existentes estão associados a peças fechadas (garrafas e potes), que resultaram de um choque térmico muito elevado, visto as mesmas terem ficado colocadas muito próximas das resistências do forno, retirando assim, a responsabilidade do sucedido às características das pastas formuladas.

12 – COMPARAÇÃO DE RESULTADOS COM ESTUDOS ANTERIORES

No âmbito do presente estudo foi também realizada a comparação dos resultados obtidos com os resultados de um estudo anterior realizado no âmbito de uma tese de mestrado da Universidade de Évora, denominado “Aplicação na Olaria de Terra Rossa de Ocorrências no Anticlinal de Estremoz”.

O nosso estudo (estudo II) envolveu diferentes amostras de barros de terra rossa, todavia irão apenas ser comparados os resultados obtidos com os resultados estudo anteriormente realizado (estudo I), que incidiu em amostras de pastas cerâmicas comerciais denominadas Pasta Nacional (Interpastas) e Pasta Estrangeira (Collet) que são tradicionalmente utilizadas pelos oleiros de Redondo e São Pedro do Corval na conformação das peças que produzem.

Segundo *Cunha (2010)*, a pasta Collet apresenta 11 % de fração arenosa, 47 % de fração siltosa e 42 % de fração argilosa e um parâmetro $D_{50} = 3.0$. Esta pasta cerâmica apresenta uma baixa expansibilidade na ordem de 7 % e um teor de matéria orgânica de 0 %. Mineralogicamente é constituída por: Quartzo (45 %), Feldspato Potássico (5 %), Feldspato Sódico (5 %), Calcite (10 %), Ilite (15%), Hematite (Óxido de Ferro) (5%) e por Goethite (Hidróxido de Ferro) (5%).

A pasta cerâmica Interpastas apresenta 20 % de fração arenosa, 32 % de fração siltosa e 48 % de fração argilosa e um parâmetro $D_{50} = 2.9$. Tal como a pasta anterior, apresenta uma baixa expansibilidade na ordem de 11 % e um teor de matéria orgânica de 0 %. Mineralogicamente é constituída por Quartzo (40 %), Feldspato Potássico (10 %), Feldspato Sódico (10 %), Calcite (15 %), Hematite (5 %), 25 % de minerais argilosos onde se incluem Caulinite (15 %) e Ilite (10 %) (*Cunha, 2010*).

Estando já caracterizadas as pastas cerâmicas comerciais Collet e Interpastas (estudo I) elas vão ser comparadas com as cinco pastas cerâmicas formuladas e caracterizadas no âmbito do nosso estudo (estudo II), numeradas de 1 a 5 (Quadro nº12.1).

Uma vez que as pastas cerâmicas elaboradas no âmbito do estudo I só foram sujeitas a ensaios de caracterização tecnológica, apenas os resultados obtidos no decorrer dos mesmos serão tidos em conta para efeitos de comparação.

Quadro nº 12.1 - Composições das pastas cerâmicas elaboradas no âmbito do nosso estudo, isto é, no estudo II.

Nome da pasta	Composição
Pasta nº 1	50 % Borba VV + 50 % Biblio VV
Pasta nº 2	80 % Biblio VV + 20 % Areia siliciosa
Pasta nº 3	65 % Lagoa + 35 % Borba VV
Pasta nº 4	88 % Lagoa + 12 % Nata de mármore
Pasta nº 5	65 % Lagoa + 23 % Borba VV + 12 % Nata de mármore

12.1 – ENSAIOS DE CARACTERIZAÇÃO TECNOLÓGICA

A metodologia dos ensaios referentes à caracterização tecnológica das amostras de ambos os estudos foi executada da mesma forma, seguindo os procedimentos de controlo do CENCAL, tal como indicado no capítulo das metodologias desta dissertação.

12.1.1 – TRABALHABILIDADE, EXTRUDIBILIDADE E CONFORMAÇÃO

No Quadro nº 12.2, estão representados os limites de consistência, determinados pelo método da Concha de Casagrande e os valores de humidade de extrusão (base húmida), para cada uma das pastas cerâmicas elaboradas nos estudos I e II.

Quadro nº 12.2 - Comparação dos valores dos limites de consistência e índices de plasticidade.

Amostras	Pasta Collet	Interpastas	Pasta nº 1	Pasta nº 2	Pasta nº 3	Pasta nº 4	Pasta nº 5
Humidade de extrusão	19	20	31	32	31	30	32
Limite de Liquidez (%)	38	36	47	44	49	56	47
Limite de Plasticidade (%)	22	23	24	23	23	19	22
Índice de Plasticidade (%)	16	13	23	21	26	27	25

Através da análise do Quadro nº 12.2, verifica-se que não existe qualquer tipo de correlação entre o valor do índice de plasticidade e o valor da humidade de extrusão, podendo apenas afirmar-se que as pastas cerâmicas formuladas no âmbito do presente estudo, apresentaram percentagens superiores de humidade de extrusão e de índice de plasticidade em relação às pastas Collet e Interpastas.

De uma forma geral foi possível constatar que todas as pastas cerâmicas apresentaram boa extrudibilidade com pressões que variaram entre 1,5 e 3 bar, apresentando por isso boa plasticidade, trabalhabilidade e extrudibilidade que facilitaram a conformação de provetes sem imperfeições. Exceção feita às pastas nº 3 e nº 5 que necessitaram de maiores valores de pressão, entre 3,5 e 4,5 bar, pensando-se que esta situação tenha ocorrido graças à matéria-prima argilosa Borba VV, uma vez que esta apresenta o valor de plasticidade mais baixo obtido em todas as pastas, não comerciais e comerciais estudadas.

Tal como nas matérias-primas, também nas pastas cerâmicas foram realizados os ensaios dos limites de consistência. Estes ensaios, como referido anteriormente, são importantes uma vez que permitem avaliar de forma rigorosa a plasticidade e trabalhabilidade de pastas cerâmicas, propriedades importantes para eventuais aplicações em cerâmica artesanal e cerâmica industrial.

Tendo em conta os valores apresentados no Quadro nº 12.2, todas as pastas cerâmicas do estudo II revelaram valores elevados do índice de plasticidade (entre 21 % e 27 %), sendo por isso classificadas como possuindo alta plasticidade e constituídas maioritariamente por argilas siltosas. Já as pastas cerâmicas do estudo I apresentaram valores médios do índice de plasticidade, por isso classificadas como pastas cerâmicas de plasticidade média (13 % e 16 %), sendo constituídas maioritariamente também por argila e silte.

Tal como nas matérias-primas argilosas, também nas pastas cerâmicas se procedeu à projeção dos valores obtidos nos ensaios efetuados no Diagrama de Casagrande (Fig. 12.1), especialmente vocacionado para caracterizar matérias-primas para a indústria da cerâmica estrutural.

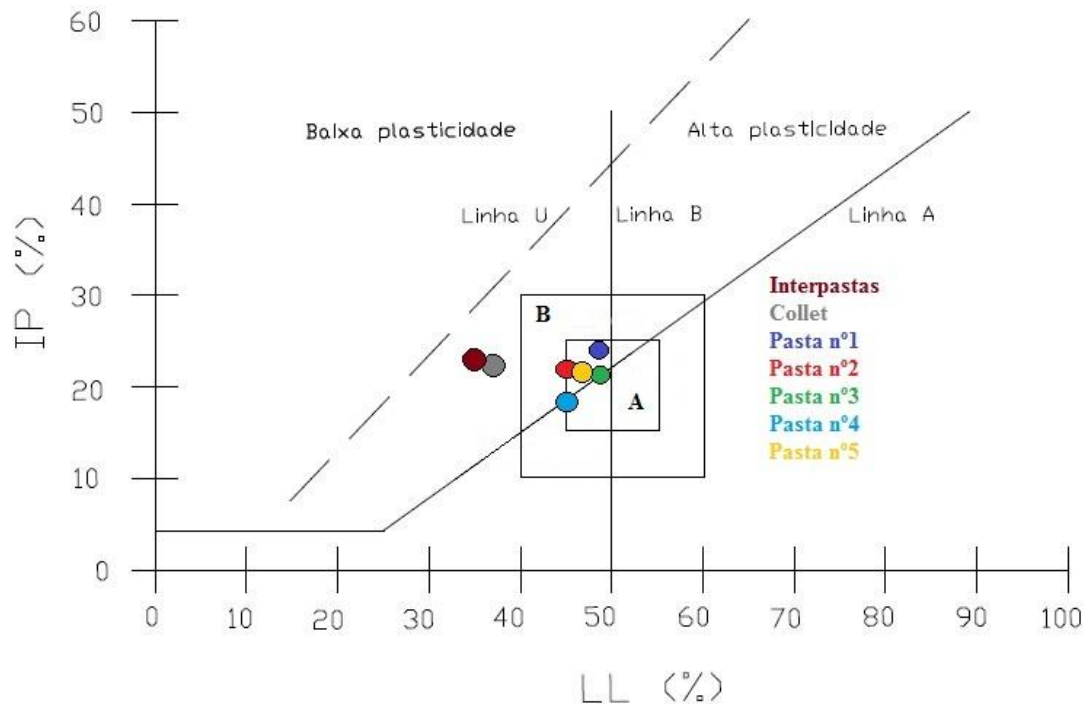


Fig. 12.1 - Projeção das pastas cerâmicas ensaiadas no Diagrama de Casagrande.

Através da análise da Fig. 12.1, verifica-se que as pastas cerâmicas elaboradas no âmbito do presente estudo (estudo II), em termos de limite de liquidez e índice de plasticidade, projetam-se no “Campo A” sendo, por isso, consideradas ótimas para conformação por extrusão.

Verifica-se ainda que todas as amostras se projetam em zonas indicadoras de matérias-primas plásticas, apresentado uma alta plasticidade e, apresentando por isso, uma maior capacidade para a conformação por via plástica. Já as pastas Collet e Interpastas, apesar de se situarem em zonas indicadoras de matérias-primas com alta plasticidade e com grande capacidade para conformação por via plástica, situam-se no “Campo B”, sendo por isso consideradas adequadas para extrusão.

12.1.2 – SECAGEM DOS PROVETES

No Quadro nº 12.3 são apresentados os valores de retração húmido/seco (% Ret. H/S) e resistência mecânica à flexão (RMF), dos provetes conformados com as pastas cerâmicas e após secos na estufa à temperatura máxima de 110 °C nos dois estudos.

Quadro nº 12.3 - Propriedades cerâmicas dos provetes secos à temperatura de 110 °C.

Amostras Secagem a 110 °C	Pasta Collet	Interpastas	Pasta nº 1	Pasta nº 2	Pasta nº 3	Pasta nº 4	Pasta nº 5
RMF (Kgf/cm ²)	96,88	69,27	16,40	17,75	22,35	24,67	23,28
% Ret H/S	5,50	5,74	6,2	7,3	5,81	5,55	5,60

Em relação à resistência mecânica à flexão, verifica-se que as pastas cerâmicas do estudo II apresentam valores bastante inferiores em relação às pastas cerâmicas do estudo I.

Aparentemente não se encontra uma justificação plausível para os valores de resistência mecânica à flexão das pastas do estudo II serem inferiores às das pastas industriais. De facto, observam-se valores de limite de plasticidade muito próximos de qualquer uma das pastas em análise e este parâmetro tem a ver com a quantidade de água necessária para que um corpo possua plasticidade sem apresentar ruturas e está obviamente relacionado com a composição mineralógica das pastas.

Por outro lado, a retração húmido ou verde/seco também revela valores muito semelhantes entre todas as pastas, com o pormenor das pastas nº 1 e nº 2 se destacarem com percentagens até superiores às das pastas industriais, podendo estes valores serem explicados pela elevada plasticidade da matéria-prima argilosa Biblio VV (constituente de ambas as pastas). Já as pastas cerâmicas nº 3, nº 4 e nº 5 do estudo II apresentam valores similares, comparativamente às pastas cerâmicas do estudo I.

Ora, este parâmetro, retração verde/seco, indica também o grau de compacidade das pastas por redução dos poros que inicialmente estavam preenchidos com água. Tal facto deveria favorecer maiores resistências mecânicas, o que não se observa. Estes resultados, algo intrigantes felizmente não tiveram comprovação aquando do ensaio industrial, visto as peças, depois de conformadas, terem sido manuseadas com facilidade e sem deformações.

12.1.3 – COZEDURA DOS PROVETES

Em ambos os estudos, foi feita a cozedura dos provetes a determinados gradientes térmicos e respeitando diferentes patamares de temperatura. Enquanto no estudo II se adotaram três patamares de temperatura (850 °C, 950 °C e 1050 °C), no estudo I adotaram-se dois patamares de temperatura (870 °C e 970 °C). Assim sendo, nesta comparação de resultados, apenas serão tidos em conta os valores correspondentes aos dois primeiros patamares de cozedura de ambos os estudos.

Desta forma, serão comparados os resultados obtidos nos primeiros patamares de cozedura (850 °C e 870 °C) e nos segundos patamares de cozedura (950 °C e 970 °C).

No Quadro nº 12.4 são apresentados os valores de retração seco/cozido (% Ret. S/C) e de retração total (% Ret. total), de resistência mecânica à flexão (RMF) e de % de absorção de água dos provetes após o primeiro patamar de cozedura.

Quadro nº 12.4 - Propriedades cerâmicas das matérias-primas no primeiro patamar de cozedura.

Amostra Cozedura a 850- 870 °C	Pasta Collet	Interpastas	Pasta nº 1	Pasta nº 2	Pasta nº 3	Pasta nº 4	Pasta nº 5
RMF (Kgf/cm ²)	251,02	181,94	83,50	70,45	69,97	67,97	73,38
% Ret S/C	-0,38	-0,34	0,36	0,15	1,23	0,87	0,85
% Ret Total	5,20	5,35	6,18	6,94	7,12	6,08	6,1
% Absorção	18	15	24	26	24	25	26

Em relação à resistência mecânica à flexão, verifica-se que as pastas cerâmicas do estudo II continuam a apresentar valores bastante inferiores em relação às pastas cerâmicas do estudo I, sendo contudo bastante similares entre si.

Em relação aos valores de retração seco/cozido verifica-se que as pastas cerâmicas do estudo I apresentaram dilatações, devidas eventualmente à sua

composição carbonatada (Cunha, 2010). No entanto, tal facto, não acontece contudo nas pastas cerâmicas nº 4 e nº 5, compostas por “nata” de mármore (100 % de carbonato de cálcio), não se encontrando por isso uma razão aparente para estas dilatações. Ainda em relação a este parâmetro é a pasta cerâmica nº 3 do estudo II que apresenta maior percentagem de retração seco/cozido.

Relativamente à retração total, são as pastas cerâmicas do estudo II que apresentam maiores valores, com destaque para a pasta cerâmica nº 3. Neste caso, são as pastas cerâmicas do estudo I que apresentam os menores valores de retração total.

Por último, em relação à percentagem de absorção de água, os valores de ambos os estudos são muito diferentes. Ou seja, as pastas cerâmicas do estudo II apresentam percentagens de absorção que variam entre 24 e 26 %. Já as pastas cerâmicas do estudo I apresentam percentagens de absorção inferiores que variam entre 18 e 15 %. Mais uma vez, verifica-se que os valores de resistência e absorção não se apresentam condizentes com as percentagens de retração dos corpos cerâmicos.

No Quadro nº 12.5 são apresentados os valores de retração seco/cozido (% Ret. S/C) e retração total (% Ret. total), de resistência mecânica à flexão (RMF) e de % de absorção de água dos provetes após o segundo patamar de cozedura.

Quadro nº 12.5 - Propriedades cerâmicas das matérias-primas no segundo patamar de cozedura.

Amostras Cozedura a 950- 970°C	Pasta Collet	Interpastas	Pasta nº 1	Pasta nº 2	Pasta nº 3	Pasta nº 4	Pasta nº 5
RMF (Kgf/cm ²)	390,11	259,03	256,34	256,28	208,06	269	274
% Ret S/C	0,32	0,47	7,56	5,3	6,53	3,5	4,6
% Ret Total	5,75	6,06	12,46	11,49	12,73	8,7	9,3
% Absorção	16	14	13	16	15	12	11

Em relação à resistência mecânica à flexão, verifica-se que o maior valor pertence à pasta Collet e que o menor valor pertence à pasta nº 3 do estudo II. Verifica-se no entanto que à exceção da pasta nº 3, todas as restantes pastas do estudo II apresentam valores similares e até superiores (pasta nº 5), quando comparadas com a pasta Interpastas.

Desta forma, conclui-se que em termos de resistência mecânica à flexão, as pastas elaboradas no âmbito desta tese de mestrado possuem um comportamento melhor que a pasta Interpastas, principalmente atendendo ao facto da temperatura de cozedura no estudo II (950 °C) ter sido inferior em 20 °C à temperatura de cozedura no estudo I (970 °C).

No parâmetro da retração seco/cozido são as pastas Collet e Interpastas que apresentam menores valores, quando comparadas com as pastas do estudo II. Em relação a esta propriedade, verifica-se ainda que as pastas nº 4 e nº 5 apresentam valores inferiores quando comparadas com as outras pastas do mesmo estudo. Tal facto deve-se à utilização da “nata” de mármore, que contribuiu para a redução dos valores deste parâmetro.

Relativamente à retração total, todas as pastas cerâmicas do estudo II apresentam um valor superior, quando comparadas com as do estudo I. Também aqui se verifica que as pastas nº 4 e nº 5 apresentam valores inferiores quando comparadas com as outras pastas do mesmo estudo. Tal como anteriormente, a utilização da “nata” ajuda a diminuir os valores totais de retração das peças cerâmicas após cozedura, revelando assim pastas mais equilibradas contribuindo para que não haja uma retração excessiva.

Por último, em relação à percentagem de absorção de água, os valores obtidos nas matérias-primas do estudo II, são inferiores às do estudo I. Relativamente a este parâmetro são as pastas cerâmicas com “nata” de mármore na sua constituição, aquelas que apresentam uma percentagem inferior de absorção, quando comparadas com todas as outras pastas cerâmicas. Tal facto deve-se novamente à utilização desta matéria-prima não argilosa, que contribuiu para a redução dos valores deste parâmetro, através do fecho da porosidade dos corpos cerâmicos. Em relação a esta propriedade, verifica-se ainda que as pastas nº 1, nº 2 e nº 3 apresentam valores semelhantes quando comparadas com as pastas do estudo I.

13 – PROJEÇÃO DE UMA UNIDADE INDUSTRIAL DE PRODUÇÃO DE PASTA CERÂMICA PARA OLARIA

Um dos objetivos propostos inicialmente no âmbito desta tese de mestrado consistia, em elaborar um estudo de viabilidade para a implantação de uma unidade de produção de pasta cerâmica na região de Estremoz – Borba – Vila Viçosa que pudesse alimentar os centros oleiros de Redondo e São Pedro do Corval. Esta projeção de uma unidade industrial tem capital importância uma vez que os barreiros de qualidade que alimentam as olarias tradicionais se esgotaram, levando a que os oleiros tenham que comprar as pastas cerâmicas que utilizam, ou na zona de Leiria, ou até a importá-las de Espanha.

Apesar de no ramo da olaria tradicional o número de peças produzidas não seja de fácil quantificação, uma vez que a produção depende do número de encomendas, do tamanho das peças e da altura do ano, é possível tentar chegar a um valor da quantidade de pasta que é consumida no importante centro oleiro antes referido.

Com base num inquérito realizado em 2010 aos oleiros de Redondo e São Pedro do Corval, no âmbito de uma dissertação de mestrado intitulada “Aplicação na Olaria de Terra Rossa de Ocorrências no Anticlinal de Estremoz”, foi possível estimar a quantidade de pasta adquirida pelos referidos oleiros. De uma forma geral os oleiros da região adquirem as suas pastas a fornecedores estrangeiros (Collet Cerâmica, SA) e a fornecedores nacionais (Mota-Pastas Cerâmicas, SA, Leiria, e Interpastas, Alcanede, que exploram barreiros da região).

Assim, relativamente à quantidade de pasta utilizada no fabrico dos produtos, os oleiros da região adquiriram um valor médio de 1600 t de pasta por ano, dos quais aproximadamente 925 t são originárias do estrangeiro (Collet Cerâmica, SA), 307 t são originárias de empresas Interpastas e Mota-Pastas Cerâmicas, SA e, por fim, 367 toneladas são originárias de depósitos locais.

Apesar de ainda se utilizarem alguns barreiros da região (que caminham a passos largos para o esgotamento das suas reservas), as pastas provenientes destes locais, são cada vez menos utilizadas, uma vez que apresentam algumas impurezas, exigindo uma preparação mais cuidadosa e dispendiosa, por isso tornando-se mais caras no contexto económico atual, em comparação com pastas previamente preparadas.

Como tal, foi considerado dimensionar uma unidade de produção industrial para que a mesma permitisse um volume de produção mínimo de cerca de 6 t de pasta por dia, de forma a satisfazer a necessidade dos oleiros da região. A instalação desta unidade fabril permitiria empregar seis trabalhadores, laborando num período de 8 h, cinco dias por semana, com períodos de paragem anual pré-estabelecidos, dedicando-se sobretudo à produção e formulação de pastas cerâmicas a partir de matérias-primas argilosas dos concelhos de Borba e Vila Viçosa.

Ao longo de uma linha de produção de pasta cerâmica, são vários os processos e equipamentos por onde as matérias-primas circulam, sendo tratadas sob a forma de sólidos para o desenvolvimento dos produtos finais. O dimensionamento da unidade fabril foi concebido, tendo como base a preparação das matérias-primas para os diferentes ensaios de caracterização física e tecnológica, ampliando-os até uma escala industrial.

Assim, numa caracterização de uma linha de produção de pasta cerâmica torna-se necessário descrever os equipamentos que constituem essa mesma linha (Quadro nº13.1), e também os vários circuitos de produção da referida pasta.

Quadro nº 13.1 – Equipamentos utilizados ao longo do ciclo de produção de pasta cerâmica.

TRANSPORTE DE MATÉRIA-PRIMA	FOTOGRAFIA
<i>Tipo de equipamento:</i> Pá carregadora c/ balde <i>Modelo:</i> Caterpillar 938K <i>Quantidade:</i> 1 <i>Potência do veículo:</i> 126 kW <i>Capacidade do balde:</i> 2.5 – 5 m³ <i>Função:</i> Carga da matéria-prima <i>Preço:</i>135.000 €	
<i>Tipo de equipamento:</i> Carrinha de transporte <i>Modelo:</i> Daily Iveco 70C15H/P <i>Quantidade:</i> 1 <i>Capacidade de carga:</i> 20 m³ <i>Função:</i> Transporte da matéria-prima até à unidade fabril <i>Preço:</i>40.000 €	

VEÍCULOS UTILITÁRIOS	FOTOGRAFIA
<i>Tipo de equipamento:</i> Carrinha utilitária <i>Modelo:</i> Mitsubishi L200 Invite – 4WD <i>Potência do veículo:</i> 100 kW / 136 CV <i>Capacidade de transporte:</i> 5 trabalhadores <i>Função:</i> Transporte de trabalhadores, deslocações da empresa <i>Preço:</i> 32.600 €	
<i>Tipo de equipamento:</i> Empilhadora de Combustão <i>Modelo:</i> Still RC 40 – 1,6 <i>Capacidade de transporte:</i> 3,5 t <i>Função:</i> Transporte das paletes de pasta cerâmica <i>Preço:</i> 8.000 a 12.000 €	
<i>Tipo de equipamento:</i> Carrinha de Transporte <i>Modelo:</i> Peugeot Boxer FT440 - L4H3 <i>Potência do veículo:</i> 130 CV <i>Capacidade de transporte:</i> 3 – 3.5 t <i>Função:</i> Transporte das paletes de pasta cerâmica para o cliente final <i>Preço:</i> 36.000 €	
LINHA DE PREPARAÇÃO DAS MATÉRIAS-PRIMAS	FOTOGRAFIA
<i>Tipo de equipamento:</i> Doseador Linear <i>Modelo:</i> 73/131 ZVE <i>Quantidade:</i> 1 <i>Potência do equipamento:</i> 6.25 kW <i>Dimensões:</i> 3500 x 935 x 600 mm <i>Capacidade máxima:</i> 25 a 35 t/h <i>Função:</i> Controlo do fluxo de material <i>Preço unitário:</i> 27.500 €	
<i>Tipo de equipamento:</i> Desagregador de Navalhas <i>Modelo:</i> 15/58 M <i>Quantidade:</i> 1 <i>Potência do equipamento:</i> 18.5 kW <i>Capacidade máxima:</i> 15 a 20 t/h <i>Nº de Navalhas:</i> 51 <i>Dimensões dos Cilindros:</i> 265 x 600 mm <i>Função:</i> Desagregação dos torrões de argila <i>Preço unitário:</i> 27.100 €	

<i>Tipo de equipamento:</i> Laminador de Cilindros <i>Modelo:</i> 26/32 AM <i>Quantidade:</i> 1 <i>Potência do equipamento:</i> 18,5 kW <i>Capacidade máxima:</i> 5,5 a 9 t/h <i>Dimensões dos cilindros:</i> 500 x 400 mm <i>Função:</i> Redução granulometria da matéria-prima <i>Preço unitário:</i> 19.450 €	
<i>Tipo de equipamento:</i> Rectificador de Cilindros <i>Modelo:</i> 28/18 VE <i>Quantidade:</i> 1 <i>Potência do equipamento:</i> 4.25 kW <i>Função:</i> Correção da abertura dos cilindros do laminador <i>Preço unitário:</i> 3.450 €	
LINHA DE PRODUÇÃO E MOLDAGEM DA PASTA	FOTOGRAFIA
<i>Tipo de equipamento:</i> Doseador Linear <i>Modelo:</i> 73/131 ZVE <i>Quantidade:</i> 1 <i>Potência do equipamento:</i> 6.25 kW <i>Dimensões:</i> 3500 x 935 x 600 mm <i>Capacidade máxima:</i> 25 a 35 t/h <i>Função:</i> Controlo do fluxo de material <i>Preço unitário:</i> 27.500 €	
<i>Tipo de equipamento:</i> Laminador de Cilindros <i>Modelo:</i> 26/32 AM <i>Quantidade:</i> 2 <i>Potência do equipamento:</i> 18,5 kW <i>Capacidade máxima:</i> 5,5 a 9 t/h <i>Dimensões dos cilindros:</i> 500 x 400 mm <i>Função:</i> Redução granulometria da matéria-prima <i>Preço unitário:</i> 19.450 €	
<i>Tipo de equipamento:</i> Rectificador de Cilindros <i>Modelo:</i> 28/18 VE <i>Quantidade:</i> 2 <i>Potência do equipamento:</i> 4.25 kW <i>Função:</i> Correção da abertura dos cilindros do laminador <i>Preço unitário:</i> 3.450 €	

<i>Tipo de equipamento:</i> Misturador Amassador <i>Modelo:</i> 43/7 M <i>Quantidade:</i> 1 <i>Potência do equipamento:</i> 15 kW <i>Capacidade máxima:</i> 5 a 6 t/h <i>Dimensões da cuba:</i> 2480 x 450 mm <i>Diâmetro da hélice:</i> 245 mm <i>Função:</i> Mistura das matérias-primas <i>Preço unitário:</i> 24.900 €	
<i>Tipo de equipamento:</i> Extrusora <i>Modelo:</i> 42/44 RNV <i>Quantidade:</i> 1 <i>Pressão máxima de extrusão:</i> 30 Kg/cm² <i>Potência do equipamento:</i> 30 <i>Capacidade:</i> 5 t/h <i>Função:</i> Conformação de charutos de pasta cerâmica <i>Preço unitário:</i> 82.790 €	

Inicialmente, as matérias-primas argilosas, provenientes da remoção do solo superficial exposto quando da abertura das pedreiras de mármore da região, serão recolhidas nos locais pré-selecionados com auxílio de uma pá carregadora, e transportados por via rodoviária, com recurso a uma carrinha, para a unidade fabril. Neste local, e após rececionadas, serão armazenadas em zonas cobertas (Fig.13.1), adjacentes ao edifício fabril (pré-stock), em proporções adequadas, dando-se início ao processo de maturação (apodrecimento) e homogeneização.



Fig. 13.1 - Maturação de matérias-primas argilosas.

Após esta fase inicial, a produção de pasta cerâmica na unidade industrial será composta por duas linhas paralelas e independentes entre si: uma linha de preparação das matérias-primas e outra linha de produção e moldagem da pasta cerâmica (Fig. 13.2).

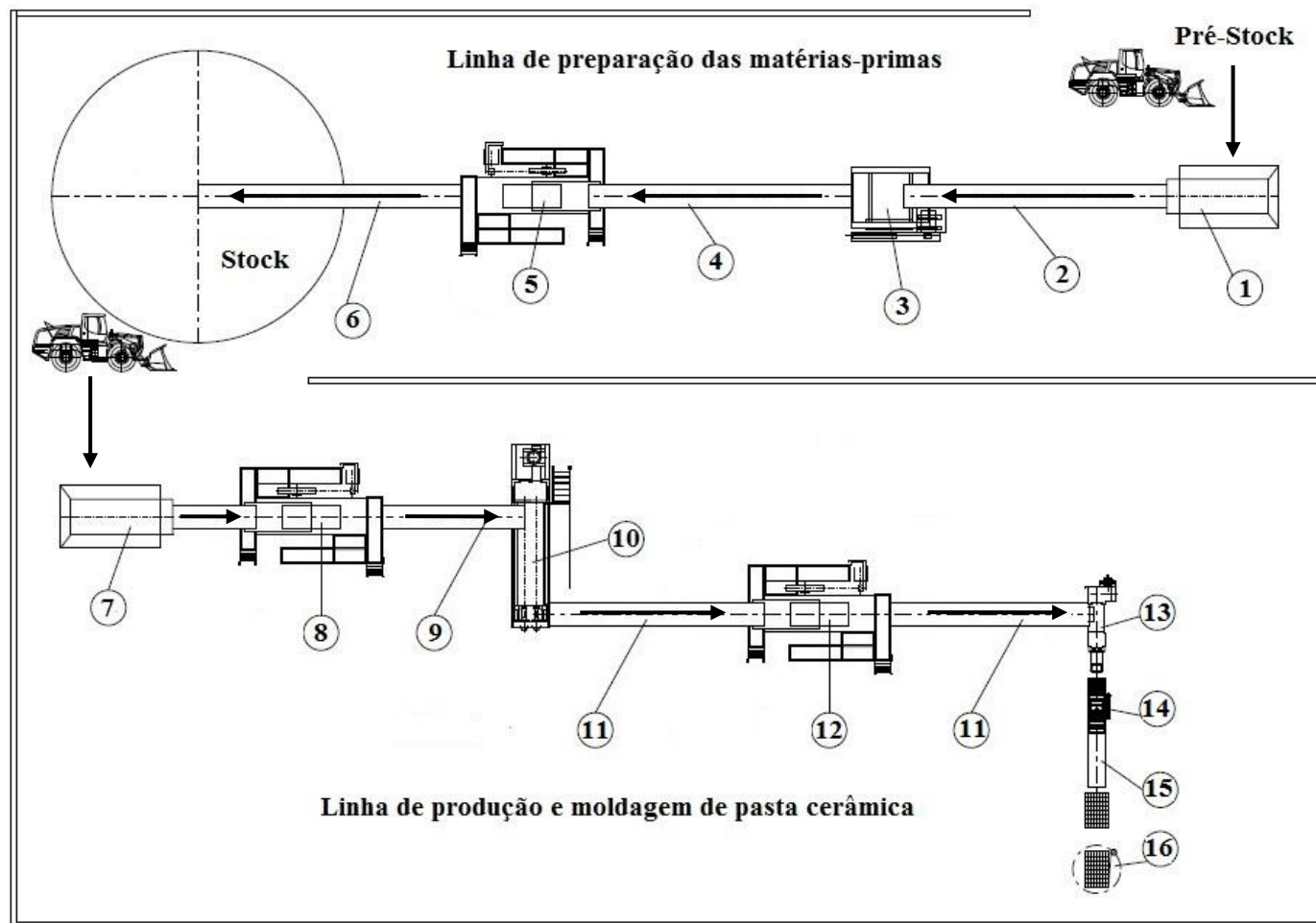


Fig. 13.2 - Diagrama de fluxos e legenda interpretativa da unidade industrial de produção de pasta cerâmica (Adaptado de Ipiac-Nery, 2015).

Nº	Designação do equipamento	Referência
1	Doseador Linear	73/121 ZVE
2	Transportador de Correia 9000x500 mm	63/404 VE
3	Desagregador de Navalhas	15/58 M
4	Transportador de Correia 9000x500 mm	63/404 VE
5	Laminador e Rectificador de Cilindros	26/32 AM
6	Transportador de Correia 9000x500 mm	63/404 VE
7	Doseador Linear	73/121 ZVE
8	Laminador e Rectificador de Cilindros	26/32 AM
9	Transportador de Correia 3000x500 mm	63/404 VE
10	Misturador / Amassador	43/7 M
11	2 x Transportador de Correia 4500x500 mm	63/404 VE
12	Laminador e Rectificador de Cilindros	26/32 AM
13	Extrusora	42/44 RNV
14	Cortador de Barra	19
15	Mesa Transportadora	63/368 ZVE
16	Plastificadora Manual	-

13.1 – LINHA DE PREPARAÇÃO DAS MATÉRIAS-PRIMAS

As matérias-primas argilosas depois de serem removidas da zona de armazenamento (pré-stock) são encaminhadas para a fase seguinte do processo produtivo que consiste na preparação das matérias-primas. Inicialmente passarão por um doseador linear, modelo 73/131 ZVE da Ipiac-Nery alimentado com recurso a pá carregadora que permitirá a alimentação da quantidade necessária de argila a utilizar, consoante as necessidades do mercado, promovendo assim um controle do fluxo de material até 35 t/h.

Este doseador é constituído por uma cuba de receção em chapa, com 5 mm de espessura, apoiada em perfis soldados e uma esteira metálica formada por escamas unidas por correntes de elos com roletes centrais. O acionamento da esteira metálica será feito através de um motor redutor epicycloidal com uma potência instalada de 4 kW e o acionamento dos garfos será feito de forma independente por um motor redutor epicycloidal com potência instalada de 2.25 kW. O doseador linear estará ainda equipado com uma central de lubrificação automática de rolamentos composta por: depósito de óleo, bomba de óleo, doseador de saídas e quadro elétrico com temporizador.

Do doseador, a matéria-prima será encaminhada por transportadores de correias Ipiac-Nery, modelo 63/404 VE, com 9 m de comprimento e 50 cm de largura, para um desagregador de navalhas 15/58 M da Ipiac-Nery (Fig. 13.3).

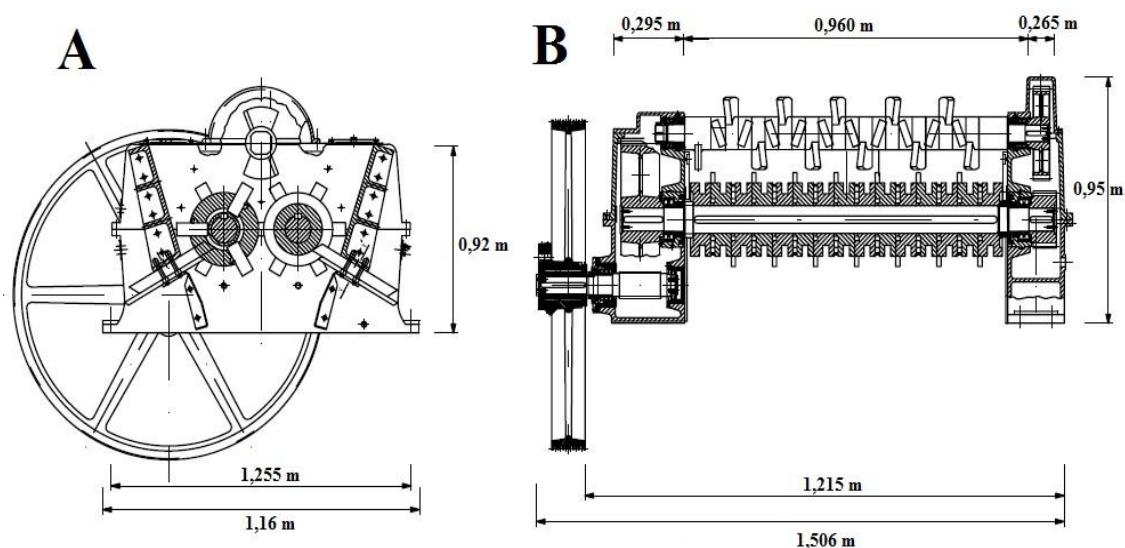


Fig. 13.3 - Esquematisação lateral (A) e frontal (B) do desagregador de navalhas 15/58 M (Adaptado de Catálogo Ipiac-Nery, 2015).

O desagregador será constituído por dois cilindros, cada um equipado com 51 navalhas cortantes que rodam a diferentes velocidades nos intervalos umas das outras (Fig. 13.4) de forma a eliminar os torrões de argila de maiores dimensões. Estas navalhas possuem a característica de serem autolimpantes, ideais para materiais argilosos, permitindo a remoção do material sem ser necessária a desmontagem dos cilindros.



Fig. 13.4 - Conjunto de cilindros equipados com navalhas cortantes.

O equipamento é acionado por um motor elétrico, blindado, de rotor em curto-circuito de 18,5 kW e 1500 rot/min, com um tambor 31/18 composto por 8 correias trapezoidais B-144 blindadas, permitindo uma capacidade máxima de produção até 20 t/h.

Após a desagregação, a matéria-prima segue depois para um laminador de cilindros 26/32 AM da Ipiac-Nery, que permitirá o controlo e redução granulométrica das mesmas. Este laminador é constituído por cilindros revestidos em liga especial de cromo com diâmetros de 20 cm, com uma potência instalada de 18.5 kW, que permitem uma produção de até 9 t/h. Os cilindros, que giram em sentidos contrários e com diferentes velocidades, vão promover o esmagamento das matérias-primas, com a granulometria do material moído a depender do afastamento entre os cilindros, prevendo-se que o mesmo seja de 3,5 mm.

O equipamento (Fig. 13.5) será acionado por um motor elétrico, blindado, de rotor em curto-circuito de 18,5 kW e 1000 rot/min, com um tambor 31/18 composto por 5 correias trapezoidais B-144 blindadas. Em paralelo com o laminador estará um retificador de cilindros 28/18 VE do tipo mó de esmeril, equipado com um sistema de deslocação que terá como função retificar as posições dos cilindros.

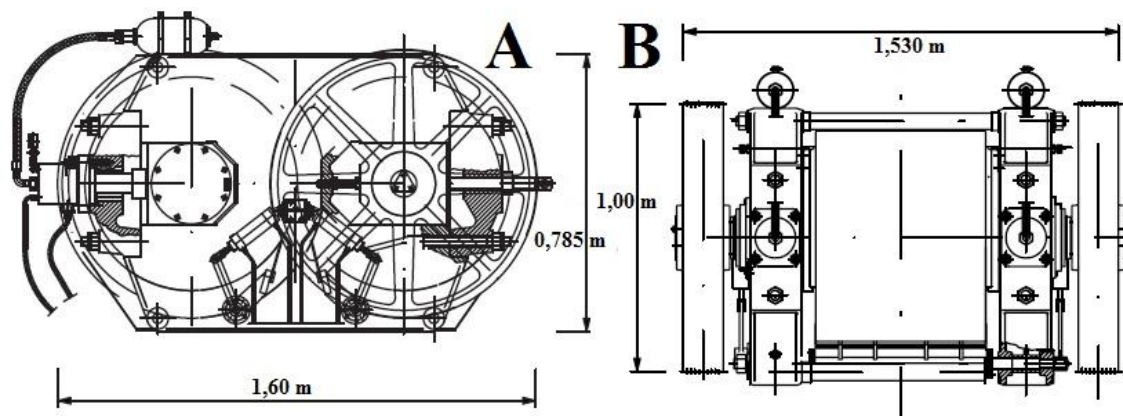


Fig. 13.5 - Esquemática lateral (A) e superior (B) do laminador de cilindros 26/32 AM
(Adaptado de Catálogo Ipiac-Nery, 2015).

Em seguida, a matéria-prima irá ser deslocada por transportadores de correia 63/404 VE com 9 m de comprimento e 50 cm de largura, para pilhas de material no interior da unidade fabril onde será armazenado em “stock”, favorecendo assim um novo processo de maturação e homogeneização das matérias-primas.

Além dos equipamentos acima referidos, o dimensionamento da linha de preparação das matérias-primas, prevê a montagem de um conjunto de carpintaria metálica e de um sistema de eletrificação.

O conjunto de carpintaria metálica será composto por um suporte de apoio do doseador linear, um suporte de apoio do desagregador de navalhas, um suporte de apoio do laminador de cilindros, um conjunto de suportes de apoio dos transportadores, uma tolva de carga do doseador e um conjunto de bicas de interligação da maquinaria. Já o sistema de eletrificação será constituído por um quadro elétrico para corte, arranque e proteção dos motores elétricos do tipo armário metálico, e por um conjunto de cabos elétricos de ligação ao quadro elétrico geral.

13.2 – LINHA DE PRODUÇÃO E MOLDAGEM DA PASTA CERÂMICA

As matérias-primas argilosas são então removidas da zona das stock-piles, e encaminhadas para a fase seguinte do processo produtivo, que consiste na produção e moldagem de charutos de pasta cerâmica.

Tal como na linha de preparação de matérias-primas, também aqui existirá um doseador linear, modelo 73/131 ZVE da Ipiac-Nery (alimentado com recurso a pá carregadora), que permitirá a alimentação da quantidade necessária de argila a utilizar,

promovendo assim um controle do fluxo de material até 35 t/h. Em paralelo com o laminador estará um rectificador de cilindros 28/18 VE do tipo mó de esmeril, equipado com um sistema de deslocação que terá como função retificar as posições dos cilindros.

O doseador referido é constituído por uma cuba de receção em chapa, com 5 mm de espessura, apoiada em perfis soldados, e uma esteira metálica formada por escamas unidas por correntes de elos com roletes centrais. O acionamento da esteira metálica será feito através de um motor redutor epicycloidal com uma potência instalada de 4 kW, e o acionamento dos garfos será feito de forma independente por um motor redutor SEW com potência instalada de 2.25 kW. O doseador linear estará ainda equipado com uma central de lubrificação automática de rolamentos composta por um depósito de óleo, uma bomba de óleo, um doseador de saídas e quadro eléctrico com temporizador.

Em seguida, a matéria-prima segue para um laminador de cilindros 26/32 AM da Ipiac-Nery, com potência instalada de 18.5 kW e capacidade máxima de produção de 9 t/h, onde irá sofrer um novo controlo e redução granulométrica, com abertura e afastamento entre os rolos de 1 mm que alimentará a jusante um misturador/amassador 43/70 M da Ipiac-Nery do tipo filtro (Fig. 13.6). O doseador e o laminador são equipamentos bastante importantes neste tipo de linhas de produção, possuindo a dupla função de amassar e filtrar a argila de modo a obter-se uma pasta homogénea, limpa de matéria orgânica e de outras impurezas.

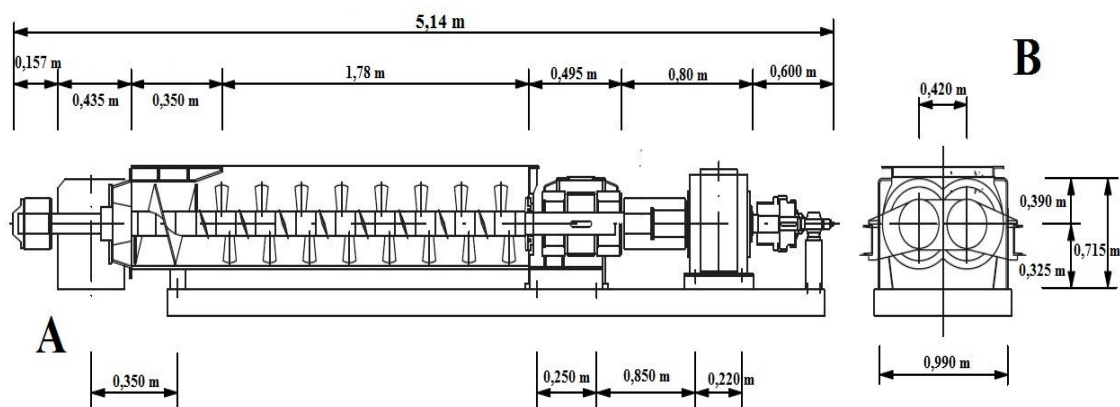


Fig. 13.6 - Esquematização lateral (A) e frontal (B) do misturador 43/70 M do tipo filtro
(Adaptado de Catálogo Ipiac-Nery, 2015).

Este misturador/amassador será constituído por uma cuba em “U”, com 2,48 m de comprimento e 0.45 de largura, com dois eixos de secção prismática com 245 mm de diâmetro, onde estarão assentes as pás misturadoras totalmente construídas em aço

resistente ao desgaste. O equipamento será acionado por um motor elétrico, blindado, de rotor em curto-circuito de 15 kW e 1000 rot/min, com um tambor 31/18 composto por 10 correias trapezoidais B-173 blindadas, permitindo uma produção de até 6 t/h.

As pás misturadoras (Fig. 13.7) estarão dispostas de maneira a promover a mistura perfeita das matérias-primas argilosas e das matérias-primas não argilosas (previamente adquiridas em pó e armazenadas em stock-piles), com um teor de humidade entre 20 a 25%.

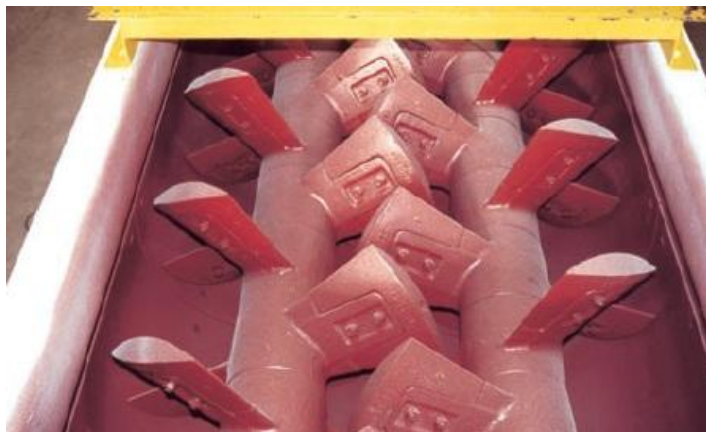


Fig. 13.7 - Dupla hélice com pás misturadoras.

A jusante do misturador/amassador será colocado um novo laminador 26/32 AM da Ipiac-Nery com uma potência instalada de 18.5 kW, com uma capacidade máxima de produção de 9 t/h, que fará a última redução granulométrica com o afastamento entre os rolos de 0.25 mm (250 μ m). Tal como nos laminadores de cilindros anteriormente referidos também aqui e em paralelo, estará um rectificador de cilindros 28/18 VE do tipo mó de esmeril, equipado com um sistema de deslocação que terá como função retificar as posições dos cilindros.

Este laminador de cilindros irá alimentar a jusante, através de um transportador de correia 63/404 VE, uma extrusora monobloco 42/44 RNV da Ipiac-Nery, constituída por um grupo misturador de 2 eixos com câmara de compressão constituído por uma cuba de 380 mm de largura e 1,223 m de comprimento, e por um cortador automático de barra 19 da Ipiac-Nery, que fará o corte dos charutos de pasta cerâmica.

A extrusora possuirá ainda uma embraiagem pneumática no veio de comando da caixa redutora e uma hélice compressora cónica de 280 mm de diâmetro, que permitirá uma pressão máxima de extrusão de 15 Kg/cm². De forma a auxiliar e automatizar o processo de extrusão, a extrusora irá ser equipada com um detector de falta de ar

comprimido com pressostato regulável (0 a 8 Kg/cm²) e por um durômetro com pressostato limitador regulável (0 a 40 Kg/cm²).

A extrusora monobloco (Fig. 13.8) será acionada por um motor elétrico, blindado, de rotor em curto-circuito de 30 kW e 1000 rot/min, com um tambor 31/18 composto por 6 correias trapezoidais SPB blindadas, permitindo uma capacidade de produção máxima até 5 t/h.

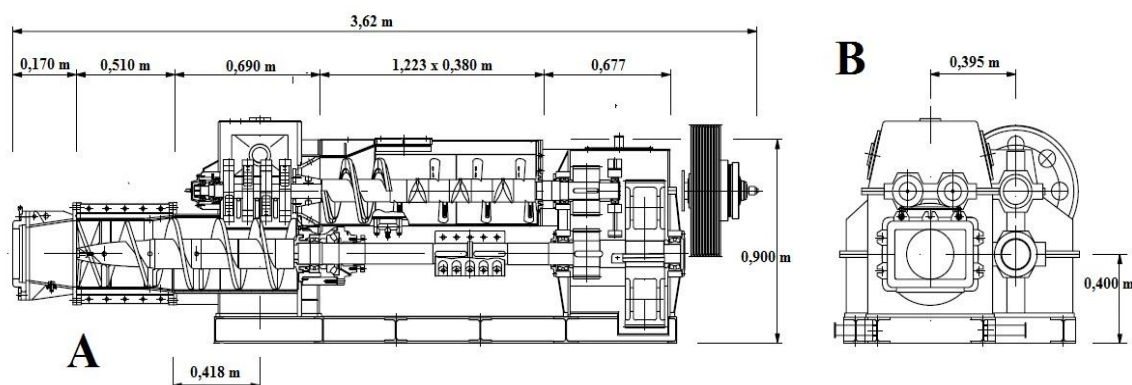


Fig. 13.8 - Esquematisação lateral (A) e frontal (B) da extrusora monobloco 42/44 RNV
(Adaptado de Catálogo Ipiac-Nery, 2015).

Do processo de conformação do produto final na extrusora, irão resultar charutos com 15 a 20 kg de peso, com 30 cm de comprimento por 10 cm de diâmetro. Este processo, designado por extrusão, consiste em fazer sair a pasta por um orifício de tamanho e forma variável (consoante as necessidades de mercado), que se designa por fieira ou boquilha e que tem como função melhorar a homogeneização da pasta, retirando-lhe o ar em excesso. As aparas resultantes da conformação da pasta cerâmica na extrusora monobloco serão reintroduzidas na linha de produção de pasta, através da sua adição ao misturador/amassador.

No caso particular da olaria tradicional e de forma a evitar a existência de bolhas de ar na pasta que possam causar complicações e defeitos na conformação das peças cerâmicas, é importante que a conformação dos charutos de pasta cerâmica seja feita com recurso a uma bomba de vácuo de forma a eliminar a quase totalidade do ar. Para tal, será utilizada uma bomba de vácuo 39/60 AUE do grupo Electro Bomba (Fig. 13.9) do tipo rotativo, cuja refrigeração por água, irá formar o anel líquido que irá retirar quase 90% da totalidade do ar da pasta, podendo a mesma ser utilizada em circuito fechado, reduzindo possíveis custos relacionados com o consumo e utilização de água.



Fig. 13.9 - Bomba de vácuo 39/60 AUE.

Esta bomba de vácuo (Fig. 13.10), com uma potência instalada de 4 kW, permitirá uma depressão máxima em mm de coluna de mercúrio de 730, necessitando de 14 litros de água por minuto para efetuar a refrigeração.

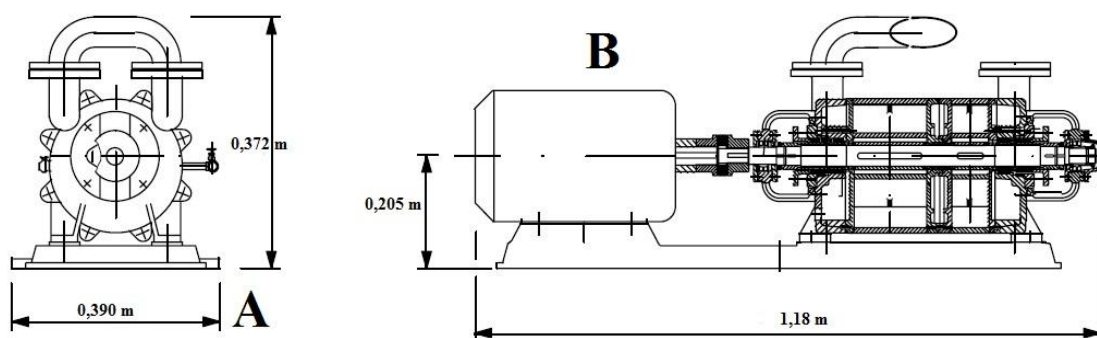


Fig. 13.10 - Esquematização frontal (A) e lateral (B) da bomba de vácuo 39/60 AUE (*Adaptado de Catálogo Ipiac-Nery, 2015*).

Por último, os charutos de pasta que podem ter diferentes pesos e dimensões (consoante o molde utilizado na extrusora), serão encaminhados por uma mesa transportada 63/368 ZVE com 4 m de comprimento, sendo depois colocados, em sobreposição, em cima de uma paleta seguindo depois para uma plastificadora manual de paletes do tipo rotativo.

Nesta plastificadora, os charutos de pasta cerâmica serão envoltos por plástico de forma a poderem ser armazenados num armazém que permita um controlo real da humidade, de forma a manter a pasta cerâmica elaborada com o nível certo de humidade para poder ser utilizada na roda do oleiro. Se for vontade dos clientes, é possível que os charutos sejam envoltos em película com recurso à força manual de um trabalhador para que poderem ser comercializados individualmente.

Além dos equipamentos acima referidos, o dimensionamento da linha de produção e moldagem de pasta cerâmica, prevê ainda a montagem de um conjunto de carpintaria metálica e de um sistema de eletrificação.

O conjunto de carpintaria metálica será composto por um suporte de apoio do doseador linear, dois suportes de apoio dos laminadores de cilindros, um suporte de apoio do misturador, um conjunto de suportes de apoio dos transportadores, uma tolva de carga do doseador, um conjunto de bicas de interligação da maquinaria e um conjunto de tubagens de vazão de ligação do grupo eletrobomba à extrusora. Já o sistema de eletrificação será constituído por um quadro elétrico para corte, arranque e proteção dos motores elétricos do tipo armário metálico, e por um conjunto de cabos elétricos de ligação do quadro elétrico dos motores ao quadro elétrico geral.

De forma a completar o dimensionamento da unidade fabril de produção de pasta cerâmica será ainda necessário edificar essa mesma unidade. Neste tipo de indústrias, os edifícios fabris deverão situar-se o mais próximo possível dos depósitos de onde se irão ser extraídas as matérias-primas argilosas. Desta forma deve-se estruturar a construção criando uma cobertura em chapa metálica, com paredes de alvenaria e uma base de assentamento em betão industrial para os equipamentos, e realizar a alimentação energética aos quadros elétricos, promovendo ainda a alimentação de água à extrusora, misturador e bomba de vácuo.

No local da construção deverá ser criada uma área social destinada a refeições dos funcionários, que servirá ainda de local de descanso nos períodos de pausa obrigatórios (hora de almoço) previstos na legislação, bem como as respetivas instalações sanitárias. No interior do edifício fabril, será ainda necessário criar um escritório administrativo e uma área de vendas, destinada à comercialização do produto e atendimento a clientes diretos.

13.3 – PERFIL DA UNIDADE INDUSTRIAL

Para a instalação de uma fábrica numa determinada região, é necessária a observação de alguns aspetos essenciais:

- A proximidade dos locais onde as matérias-primas argilosas serão recolhidas, em razão da volumetria e da necessidade de transporte da matéria-prima processada;

- A região onde a instalação da unidade industrial, deverá possuir infraestruturas apropriadas, apta a oferecer elementos como água, energia elétrica, telefone, saneamento e vias de acesso adequadas;
- A disponibilidade de mão-de-obra perto do local de instalação da empresa;
- A localização junto ao mercado consumidor, onde a proximidade com os centros oleiros de referência e centros urbanos tende a ser ideal;
- A existência de um local amplo, uma vez que a atividade industrial irá requerer grandes espaços para armazenamento e movimentação de cargas, contemplando sempre possíveis futuras ampliações, consoante as necessidades de mercado.

Existem ainda outros aspetos técnicos que são fundamentais, tais como a existência de estradas de acesso que sejam transitáveis em períodos chuvosos, a existência de uma situação jurídica regularizada da parte do imóvel e dos fornecedores de matéria-prima, o nível de carga fiscal das autarquias, etc. Associados a estes empreendimentos surgem também um conjunto de exigências legais e específicas, tais como a obtenção dos licenciamentos ambientais e a necessidade de seguir as especificações das autoridades reguladoras.

Visto que a unidade de produção projectada englobará e incluirá todos estes aspetos essenciais, passou-se à definição da sua estrutura, que será composta por:

- Uma zona coberta onde as argilas estarão colocadas em pré-stock por um período de tempo considerável, obtendo assim características adequadas ao seu processamento, com uma área de 225 m²;
- Um setor de processamento que deverá ser coberto e onde ficarão os equipamentos que transformam a matéria-prima em pasta cerâmica, dependendo fortemente do tipo de produtos e automação desejados, podendo variar entre cerca de 1800 a 2025 m²;
- Uma área de armazenamento e expedição onde os charutos de pasta cerâmica ficarão armazenados para posterior expedição para os clientes, com uma área total de 60 m², de forma a possibilitar a operação de uma empilhadora;
- Uma área pessoal, dividida em três secções onde ficarão igualmente o escritório administrativo e a loja comercial bem como as instalações dos trabalhadores, tais como o vestiário, o refeitório e as instalações sanitárias, prevendo-se que tenha uma área total de aproximadamente 80 m².

Para a unidade industrial, o dimensionamento do pessoal foi considerado tendo em conta o preço médio de venda da pasta cerâmica, a produção aproximada e a faturação mensal, empregando 2 funcionários na área administrativa e comercial, 2 funcionários na produção e área industrial, e 2 funcionários no carregamento e expedição da matéria-prima.

O processo produtivo será então composto: pela recolha de matéria-prima nas escombreyras ou em depósitos; pela receção das matérias-primas, através da descarga e colocação das argilas em pilhas de material, sendo realizado com auxílio de uma pá carregadora; por uma fase de maturação da argila, onde a mesma passa por transformações físicas e químicas que melhoram as suas propriedades; pela preparação da matéria-prima onde será processada por um conjunto de equipamentos; e pela moldagem e produção de charutos de pasta cerâmica, onde a mercadoria assume a sua forma final através da extrusão e do corte.

Os equipamentos necessários para a produção referida anteriormente subdividem-se de acordo com a sua finalidade: área de recolha da matéria-prima, área de produção, área de expedição, área administrativa e comercial e a área dos funcionários.

Na recolha da matéria-prima será utilizada uma pá carregadora e uma carrinha, enquanto os equipamentos utilizados na área de produção serão dois doseadores lineares, um desagregador de navalhas, três laminadores e rectificadores de cilindros, um misturador/amassador, uma extrusora com cortador de serra, uma mesa transportadora, uma plastificadora manual e seis transportadores de correias. Na área de expedição será utilizada uma empilhadora de paletes e uma carrinha de transporte

A área administrativa incluirá uma mesa, uma cadeira ergonómica, um computador, duas cadeiras simples para clientes e um conjunto de utensílios e material de escritório (papel, canetas, lápis, borracha, etc.). Por último, na área comercial onde serão disponibilizadas amostras das pastas cerâmicas comercializadas pela empresa, será colocada uma mesa de atendimento com material de escritório, duas cadeiras de atendimento e um sofá de espera. Comuns estas duas áreas irão existir ainda alguns itens, tais como impressora, armários e telefones. Na área dos funcionários, será colocada uma mesa, seis cadeiras, um frigorífico, um forno micro-ondas e um fogão.

Em relação à matéria-prima e à mercadoria, será importante procurar sempre um equilíbrio entre a quantidade armazenada em stocks e a procura. Este equilíbrio será sistematicamente analisado através de três importantes indicadores de desempenho:

- Rotação dos stocks utilizando como indicador, o número de ocasiões em que o capital investido em stocks, foi recuperado através das vendas, sendo usualmente medido em base anual, representando o que aconteceu no ano anterior;
- Cobertura de stocks, utilizando como indicador o período de tempo em que um determinado stock consegue cobrir um conjunto de vendas futuras, sem contudo se esgotar;
- Nível de serviço ao cliente, ou seja, o segmento de negócio, que demonstra o número de oportunidades de venda que podem ter sido perdidas, pelo fato de não existir uma determinada mercadoria em stock ou pela impossibilidade de executar uma encomenda com a devida rapidez.

A venda dos produtos será realizada por um funcionário da área comercial. Toda a mercadoria transacionada deverá ter uma nota fiscal emitida, ser carregada na carrinha de transporte e ser entregue ao cliente final. Este funcionário participará ainda ativamente no desenvolvimento futuro do negócio, possibilitando o crescimento da empresa, através de ações que surgem fora da rotina normal, tal como a pesquisa de novos produtos e mercados, aperfeiçoando ainda os processos logísticos e de gestão, tentando sempre manter uma presença constante em feiras e eventos realizados no âmbito do setor da indústria cerâmica.

O funcionário da área administrativa será responsável pelo controle financeiro da empresa, através de uma supervisão cuidada de todas as cobranças e pagamentos efetuados, realizando ainda outras atividades burocráticas em contexto de trabalho (pagamento de salários, pagamento a fornecedores, pagamento de tarifas de luz e água, etc.). Na execução destas exigentes atividades, será necessária uma automação comercial, através de um controle financeiro informatizado, através de um *software* adequado, que controle receitas e despesas, gerindo ainda relatórios sobre custos, receitas e lucros.

A divulgação dos produtos finais será feita a potenciais clientes, com a execução de visitas às olarias locais, distribuindo prospectos e catálogos que deverão ser

periodicamente reforçados com e-mails personalizados e através de um sítio na Internet, utilizando técnicas modernas que facilitem a pesquisa e localização da empresa pelos utilizadores de motores de busca como o Google.

Os funcionários da área de produção serão responsáveis pelo funcionamento dos equipamentos das duas linhas de produção, enquanto os funcionários da área de expedição serão responsáveis pela recolha de matéria-prima nos depósitos previamente seleccionados e pela expedição do material para os clientes finais.

13.4 – CUSTOS E INVESTIMENTO NECESSÁRIO

Em relação ao dimensionamento do investimento total e dos custos associados à abertura de uma unidade industrial com as valências atrás referidas, importa definir primeiro as características do mercado consumidor:

- a) Os consumidores serão essencialmente as olarias de Redondo e São Pedro do Corval;
- b) Canais de venda e métodos, através de vendas directas a oleiros e a revendedores de materiais de louça utilitário e decorativa;
- c) Extensão geográfica do mercado, onde a maioria da produção será vendida dentro de um raio de 50 km, possibilitando ainda a exportação para polos industriais na Extremadura Espanhola;
- d) Conquista de mercado nacional, a empresas da região de Leiria e Aveiro e Internacional, enfrentando importantes empresas de produção de pasta cerâmica na região Espanhola da Catalunha;
- e) Mercado adequado, onde apesar de uma difícil generalização devido à diversidade de oferta dos materiais, a empresa deverá ser capaz de produzir um volume anual mínimo de 1600 t;
- f) Custos de produção totais por ano, com gastos ao nível das matérias-primas, mão-de-obra, desenvolvimento da produção, custos de administração, vendas, e desvalorização de capital;

Ao nível de investimento inicial (Quadro nº 13.2) é necessário, acautelar despesas relacionadas com os custos de loteamento e a construção de infraestruturas, a instalação dos equipamentos, as despesas pré-operacionais relacionadas com a abertura da empresa, a criação dos projetos, e criação da marca, o recrutamento e a seleção de

funcionários, e por último, possuir capital de reserva técnica para eventuais problemas relacionados com os prejuízos operacionais nos primeiros meses de vida da empresa.

Quadro nº 13.2 - Investimentos de capital inicial.

Investimento	Custo em euros
Custo do terreno	144 000
Área total do imóvel – 2750 m ²	226 800
Área coberta do edifício fabril – 1800 m ²	504 000
Área total de estruturas auxiliares (interior do edifício fabril) – 140 m ²	39 200
Estruturas Anexas (poço artesiano, reservatório de água, estradas)	6 000
Abertura da empresa e criação do projeto	1 200
Recrutamento de funcionários	280
Instalação de eletrificação	75 000
Instalação de canalização	12 180
Equipamentos da área de produção	456 700
Equipamentos auxiliares	255 600
Equipamentos da área pessoal, administrativa e comercial	4 760
Capital de reserva técnica	100 000
Valor total de investimento	1 825 720

Em relação aos valores referidos anteriormente importa salientar que: os valores do custo do terreno tiveram como base, os preços médios por m² praticados em Vila Viçosa; os valores relacionados com a área total do imóvel e a área de construção de

estruturas anexas e auxiliares foram obtidos através de um orçamento disponibilizado por uma empresa de construção civil (*JFM Construções*), com um preço médio de 280 €/m²; os valores referentes à abertura e criação da empresa e o recrutamento de funcionários tiveram como base, os valores médios praticados em Portugal; o valor dos equipamentos foi fornecido pela empresa *IPIAC-Nery* de Torres Novas; o valor referente aos valores dos equipamentos da área pessoal, comercial e administrativa, tiveram como base os preços práticos nas lojas *Staples Office Center* e *Worten*; por último o valor do capital de reserva técnica representa 1/3 do valor total expetável de produção anual.

Os valores relacionados com a instalação elétrica foram fornecidos pela empresa *Amorim & Cruz - Construções, Lda*, e incluem a alimentação energética aos quadro elétricos dos equipamentos do setor de produção, a ligação e instalação da alimentação energética aos anexos e estruturas auxiliares (loja comercial, escritório, refeitório, vestiário e instalações sanitárias) e a instalação elétrica de equipamentos de iluminação no interior do edifício e na sua fachada exterior.

Neste caso particular, e como se trata de uma construção de raiz será ainda necessário obter os valores relacionados com a certificação energética da instalação elétrica, a segurança e os equipamentos utilizados na prevenção e contenção de incêndios.

Os valores relacionados com a instalação das canalizações foram fornecidos pelo Sr. Júlio Manuel Soares Gonçalves, e incluem: fornecimento e assentamento de tubagens de águas e esgotos, sanita, lavatório, urinol, um cilindro elétrico de 100 l e torneiras nas instalações sanitárias; fornecimento e assentamento de tubagens de águas e esgotos, lava-loiças de inox, misturadora e torneira na área do refeitório; alimentação de água e esgoto à extrusora e misturador; alimentação de água em seis pontos diferentes do edifício fabril, onde estarão acopladas mangueiras para lavagem dos equipamentos; e por fim, a execução de tubagens (em PVC) para esgotos e águas pluviais a executar no interior e exterior do edifício.

De forma a cobrir as despesas relacionadas com o investimento inicial, é importante que a referida empresa tenha capacidade de articulação no mercado, mantendo-se sempre alerta a novas oportunidades de negócios com outras entidades.

Como tal, será importante a criação de parcerias com fornecedores, distribuidores, clientes ou parceiros de importância estratégica, salvaguardando assim o futuro do negócio produtivo. Desta forma, deverão ser criadas e estabelecidas parcerias com empresas público-privadas de distribuição de água e eletricidade, sindicatos de trabalhadores, universidades e instituições locais, autarquias, empresários e clientes da região.

A unidade de produção industrial poderá gerar importantes contrapartidas com destaque para uma repercussão social positiva, devido à possibilidade de criação de postos de trabalho, utilizando mão-de-obra local, e no caso da mesma não se encontrar no nível profissional desejado, deverá ser necessário oferecer formações que ajudem a suprimir esta carência.

Além do investimento inicial, no tempo de vida de uma empresa existem ainda os custos associados com a produção classificados em duas categorias:

- Custos fixos, que não variam com os resultados financeiros da empresa, e que apresentam sempre o mesmo valor, sendo por isso as despesas mais preocupantes por serem absolutamente necessárias;
- Custos variáveis, que variam com as vendas da empresa, sempre de valor inconstante;

Nos custos fixos, irão estar presentes os valores resultantes dos pagamentos da água, luz e telefone, despesas e encargos associados com os funcionários, as taxas públicas de contribuição autárquica, e o empréstimo bancário contraído para o financiamento da empresa. Nos custos variáveis estarão presentes os gastos relacionados com o consumo de lubrificantes, combustível e energia elétrica, a recolha da matéria-prima, o desgaste e manutenção dos equipamentos e instalações, as expedições de encomendas, os impostos e as comissões comerciais.

No caso particular destas pequenas indústrias, os custos variáveis representam cerca de 50 % da faturação da empresa, enquanto os custos fixos representam cerca de 30 % da faturação da mesma (Quadro nº 13.3). De acordo com as percentagens referidas anteriormente, verifica-se que o lucro operacional da empresa irá corresponder a cerca de 20 % do valor total de faturação.

Quadro nº 13.3 - Valor dos custos fixos e variáveis anuais da unidade industrial.

Custos Fixos	Custo em euros	Custos Variáveis	Custo em euros
Água (2€/m ³)	5 064	Água, lubrificantes e combustível	X
Luz	18 652	Energia elétrica	
Telefone e Internet	499	Recolha da matéria-prima nos depósitos selecionados	
Funcionários	61 763	Manutenção de equipamentos	
Taxas públicas	6 804	Manutenção das instalações	
Pagamento do empréstimo bancário	X	Impostos, comissões comerciais e gastos administrativos	
Custo total	30 % da faturação total da empresa	Custo total tendo como base o volume previsto de negócios	50 % da faturação total da empresa

O cálculo do valor referente ao consumo de água representa o consumo médio mensal, de acordo com a tabela de preços das tarifas de consumo de água para comércio, indústria e agricultura, definida pelo município de Vila Viçosa com um preço de 2 €/m³.

O cálculo da energia elétrica resulta dos preços e tarifas praticadas pela entidade reguladora dos serviços energéticos, para uma potência contratada de 220 kW. Deste valor total: 180 kW correspondem ao valor total da potência instalada dos equipamentos utilizados no setor de processamento; 10 kW correspondem aos equipamentos utilizados nas instalações da área de pessoal (loja comercial, escritório, refeitório, vestiário e instalações sanitárias); 20 kW correspondem ao valor de potência instalada necessária para alimentar o consumo energético da zona de armazenamento (câmara refrigeradora) e expedição.

O valor correspondente ao telefone e internet representa o valor base utilizado pela Portugal Telecom, nomeadamente nos pacotes promocionais direccionadas para as empresas.

Em relação às despesas com funcionários, os valores referidos anteriormente foram baseados nas informações do “Boletim do Trabalho e Emprego”, divulgado pelo governo Português em 2014, que divide a tabela salarial dos funcionários de acordo com a sua função na empresa:

- Encarregado administrativo – 1103,50 €;
- Responsável de vendas – 751,50 €;
- Funcionários da área de produção – 724,00 €;
- Funcionários da área de expedição – 724,00 €.

Desta forma, pode-se prever que o gasto total mensal com funcionários será de 61763 €, onde estará desde logo incluído o subsídio de férias e de natal (13º mês), e os descontos relacionados com as tabelas de retenção de IRS.

As taxas públicas representam os valores do imposto municipal sobre imóveis (IMI) praticados pela Câmara Municipal de Vila Viçosa, referentes ao edifício industrial, cuja taxa média é de 0,30 % do valor total da área bruta de construção (área total do imóvel). Além deste custo também os custos variáveis relacionados com a participação no IRS que será de 4 %, mantendo-se também a derrama com 1,5 % sobre o lucro tributável sujeito e não isento de impostos sobre o rendimento das pessoas coletivas (IRC), existindo ainda uma taxa reduzida de derrama de 0,5 %, num volume de negócios no ano anterior que não ultrapasse os 150 000 €.

Os valores associados ao pagamento do empréstimo bancário são neste caso impossíveis de quantificar, uma vez que os mesmos estão dependentes dos valores das taxas de juros implementadas pelas instituições bancárias aquando do pedido de financiamento da empresa.

Por último, falta ainda analisar os custos totais de produção (Quadro nº 13.4), e lucros da empresa, tendo em conta a quantidade de pasta mínima necessária (1600 t), para suportar as encomendas dos centros oleiros de Redondo e São Pedro do Corval.

Quadro nº 13.4 - Análise do custo de produção anual.

Tipo de Custo	Resultado
Preço de venda (por tonelada)	200 €
Produção anual mínima	1600 t/ano
Total de vendas anual	320 000 €/ano
Custo de produção anual (80% da faturação da empresa)	256 000 €/ano
Lucro total, excluindo impostos (IVA, IRC, etc.)	64 000 €/ano
Capital de reserva técnica	100 000 €
Lucro percentual do capital de reserva técnica	64 %

14 – CONCLUSÕES

Ao longo dos trabalhos de investigação foi demonstrado que a zona do Anticlinal de Estremoz e, apesar da indústria extrativa de rochas ornamentais se encontrar em recessão económica há já bastantes anos, possui outras valências que se podem tornar alvos de investimento com margens de sucesso consideráveis. É exemplo disso o aproveitamento dos solos residuais que cobrem os depósitos de mármore e que ficam disponíveis quando são abertas pedreiras e o mármore é destapado. Tais solos possuem características que permitem a sua utilização na olaria tradicional podendo ainda alavancar a ancestral indústria oleira, das vilas de Redondo e São Pedro do Corval.

Efetivamente, o presente estudo colocou em evidência a existência de matérias-primas argilosas e não argilosas que, apesar de necessitarem de alguma preparação e beneficiação, ficam à disposição dos oleiros. Os depósitos destas matérias-primas ocorrem a cerca de 20 km de Redondo e 40 km de São Pedro do Corval.

No âmbito do presente estudo foram efetuados ensaios a oito materiais distintos, três matérias-primas argilosas e cinco pastas cerâmicas formuladas e preparadas laboratorialmente. De referir que as matérias-primas argilosas foram recolhidas em depósitos, nas escombreyras das pedreiras, e que as pastas cerâmicas foram formuladas com diferentes percentagens das matérias-primas, ou misturadas entre si, ou a que foram adicionados matérias-primas não argilosas como areias siliciosas ou “nata” de mármore.

Os estudos efetuados nas matérias-primas e nas pastas cerâmicas com elas preparadas permitiram realizar algumas considerações gerais que foram referidas nos capítulos 9 e 10, fazendo-se de seguida uma pequena síntese dos resultados mais relevantes, obedecendo à ordem dos ensaios realizados (Quadro nº 14.1).

Quadro nº 14.1 – Quadro-resumo dos resultados dos ensaios tecnológicos realizados nas instalações do Cencal.

-			Secagem – 110 °C		Cozedura – 850 °C				Cozedura – 950 °C				Cozedura – 1050 °C			
Amostras	Índice de Plasticidade	Humidade de Extrusão	RMF (Kg/cm²)	% Ret H/S	RMF (Kg/cm²)	% Ret Seco/Cozido	% Ret total	% Absorção	RMF (Kg/cm²)	% Ret Seco/Cozido	% Ret total	% Absorção	RMF (Kg/cm²)	% Ret Seco/Cozido	% Ret total	% Absorção
Biblio VV	22	35	23,06	5,94	136,92	1,86	7,46	25,1	319,58	8,88	14,68	9,3	409,78	11,19	16,31	4,3
Borba VV	13	28	21,45	5,55	78,60	1,08	6,24	20	161,08	4,54	9,70	12,3	184,84	5,12	10,88	8,5
Lagoa	25	29	33,25	5,58	116,00	0,97	7,03	22	291,93	6,92	11,88	9,6	374,34	9,46	14,17	4,9
Pasta nº 1	23	31	16,40	6,2	83,50	0,36	6,18	24,2	256,34	7,56	12,46	12,6	-	-	-	-
Pasta nº 2	21	32	17,75	7,3	70,45	0,15	6,94	26	256,28	5,3	11,49	15,7	-	-	-	-
Pasta nº 3	26	31	22,35	5,81	69,97	1,23	7,12	24	208,06	6,53	12,73	14,9	-	-	-	-
Pasta nº 4	27	30	24,67	5,55	67,97	0,87	6,08	25,2	269	3,5	8,7	11,9	308,87	5,05	9,81	8,5
Pasta nº 5	25	32	23,28	5,60	73,38	0,85	6,1	26	274	4,6	9,3	10,7	325,56	4,83	9,66	9

Nota 1: A pasta nº 1 é composta por 50 % da matéria-prima Borba VV e por 50 % da matéria-prima Biblio VV.

Nota 2: A pasta nº 2 é composta por 80 % da matéria-prima Biblio VV e por 20 % de uma areia siliciosa P500 com grão inferior a 45 µm.

Nota 3: A pasta nº 3 é composta por 65 % da matéria-prima Lagoa e por 35 % da matéria-prima Borba VV.

Nota 4: A pasta nº 4 é composta por 88 % da matéria-prima Lagoa e por 12 % de “Nata de mármore” com granulometria inferior a 250µm.

Nota 5: A pasta nº 5 é composta por 65 % da matéria-prima Lagoa, por 23 % da matéria-prima Borba VV e por 12 % de “Nata” de mármore com granulometria inferior a 250µm.

Um dos parâmetros determinantes para o desempenho de qualquer matéria-prima na indústria cerâmica é a granularidade avaliada pela granulometria que, estão altamente dependentes da eficácia do processo de desagregação das partículas e da moagem. As matérias-primas recolhidas no campo foram secas em laboratório e desagregadas num equipamento para ensaio de Los Angeles, de forma a não provocar alteração significativa na dimensão dos grãos.

Nas matérias-primas argilosas observou-se que todas as amostras apresentavam uma granularidade muito fina, com uma forte componente da fração argilosa, que varia entre 54 % na amostra Biblio VV e 66 % na amostra Lagoa. Também foi verificado que a distribuição granulométrica das amostras é bem graduada, verificando-se a principal diferença no parâmetro D_{50} do solo, onde 50 % das partículas da amostra Biblio VV são inferiores a 15 μm , 50 % das partículas da amostra Borba VV são inferiores a 25 μm , e por último, 50 % das partículas da amostra Lagoa são inferiores a 10 μm .

A plasticidade e a trabalhabilidade são propriedades importantes que caracterizam as matérias-primas cerâmicas, as quais, através dos limites de consistência são caracterizadas e avaliadas para futuras aplicações em cerâmica.

O ensaio físico dos limites de consistência foi realizado nas três matérias-primas argilosas e nas cinco pastas cerâmicas, permitindo avaliar o índice de plasticidade, tendo este parâmetro aumentado nas pastas cerâmicas formuladas. De todas as matérias-primas argilosas, a amostra Lagoa, revelou ser a mais plástica com um índice de plasticidade igual a 25 %. Por outro lado, foi a amostra Borba VV, aquela que apresentou menor valor de plasticidade ($IP = 13 \%$).

As pastas cerâmicas evidenciaram índices de plasticidade bastante elevados, com destaque para as pastas cerâmicas nº 3, nº 4 e nº 5, com valores de índice de plasticidade de 26 %, 27 % e 25 %, que foram formuladas com a matéria-prima argilosa Lagoa. A pasta que apresentou menor plasticidade foi a pasta nº 2, constituída pela matéria-prima argilosa Biblio VV ($IP = 21,5 \%$) e por areia siliciosa.

De uma forma geral, e de acordo com o Diagrama de Casagrande (Fig. 14.1), todas as amostras em estudo projetam-se em zonas indicadores de matérias-primas plásticas, oscilando entre a média e a alta plasticidade, apresentando por isso uma maior capacidade para a conformação por via plástica.

Já em relação às características ótimas de conformação por extrusão, apenas a matéria-prima argilosa Borba VV não se insere neste campo. Tal facto foi comprovado após a execução dos provetes desta matéria-prima argilosa, onde foi necessário exercer uma pressão de extrusão, mais elevada que possibilitasse a sua conformação.

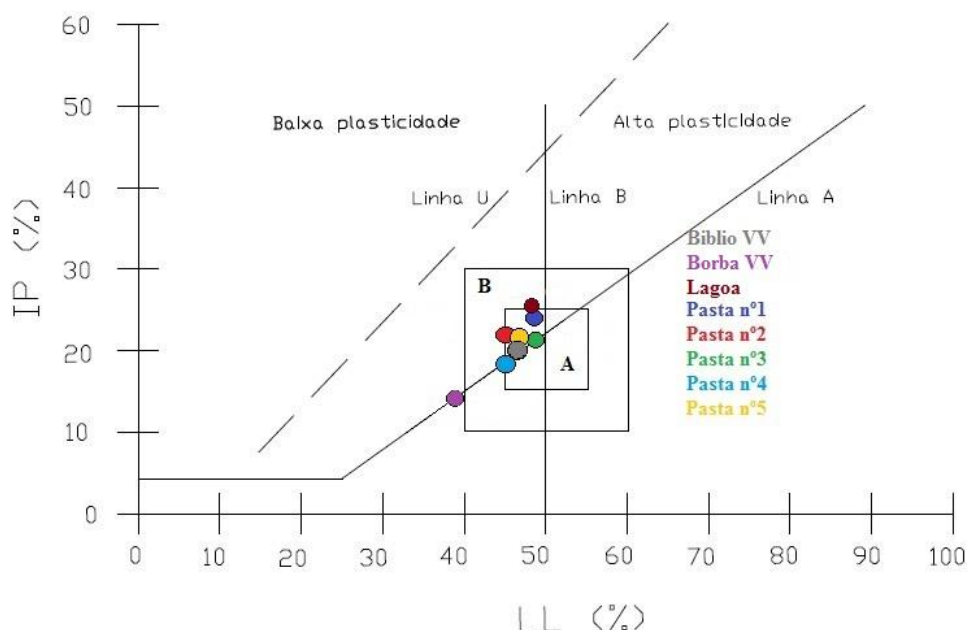


Fig. 14.1 - Projeção das amostras estudadas no Diagrama de Casagrande.

No que diz respeito ao ensaio de expansibilidade, de uma maneira geral as três matérias-primas argilosas em estudo apresentaram valores médios de expansibilidade, sendo a amostra Biblio VV (13 %) a que apresentou maior valor. Já as amostras Borba VV e Lagoa apresentaram expansibilidades de 4 % e 8 %, respetivamente.

A determinação semi-quantitativa da composição mineralógica que foi realizada somente às matérias-primas argilosas revelou em todas elas uma forte contribuição de filossilicatos (Biblio VV – 73,75 %, Borba VV – 48,16 %, Lagoa – 54,36 %), sendo a amostra Biblio VV essencialmente ilítica, enquanto as amostras Borba VV e Lagoa, possuem no seu cortejo mineralógico, de forma bem representativa, Ilite e Caulinite.

Além dos filossilicatos todas as matérias-primas argilosas revelaram no seu cortejo mineralógico Quartzo (Biblio VV – 15,04 %, Borba VV – 36,10 %, Lagoa – 31,85 %), Feldspato Potássico (Biblio VV – 3,05 %, Borba VV – 11,56 %, Lagoa – 5,46 %) e Goethite (Biblio VV – 8,16 %, Borba VV – 4,19 %, Lagoa – 8,32 %).

Dos resultados tecnológicos correspondentes às matérias-primas argilosas e pastas cerâmicas, concluiu-se que todas as amostras estudadas apresentaram uma

excelente trabalhabilidade, tendo-se obtido ótimos resultados durante a extrusão e conformação dos respetivos provetes. Por sua vez, a amostra Borba VV revelou-se bastante difícil de extrudir, tendo sido necessário aumentar a pressão da extrusora de forma a possibilitar a conformação dos provetes.

Tal como referido anteriormente, uma das propriedades fundamentais para a avaliação das matérias-primas e pastas cerâmicas é, de facto, o índice de plasticidade. Ou seja, quanto maior for o seu valor, de uma maneira geral, maior será também a humidade de extrusão, o que implica dessa forma valores mais elevados de retração verde/seco.

Assim, tal como seria de esperar, foram as amostras que apresentaram melhor plasticidade e trabalhabilidade aquelas que revelaram valores mais elevados de humidade de extrusão avaliada em base húmida (Biblio VV – 35 %, Pastas Cerâmicas - 30-32 %).

No que diz respeito à retração verde-seco, as amostras que apresentaram maiores retrações foram as pastas cerâmicas nº 1 (6,2 %) e nº 2 (7,3 %). As restantes amostras evidenciaram valores mais baixos de retração que variaram entre 5,55 % (Borba VV e pasta nº 4) e 5,94 % (Biblio VV). Aqui, verifica-se que a matéria-prima argilosa com maior valor de retração (Biblio VV) evidenciou também os maiores valores de retração verde/seco das pastas cerâmicas onde se assume como parte constituinte (Pastas nº 1 e nº 2).

Relativamente aos resultados do ensaio de resistência mecânica à flexão em cru, a amostra Lagoa apresenta um valor de resistência relativamente baixo (33,25 Kgf/cm²) e as amostras Biblio VV (23,06 Kgf/cm²) e Borba VV (21,45 Kgf/cm²) revelaram valores muito baixos. As pastas cerâmicas revelaram igualmente valores muito baixos de resistência mecânica à flexão, valores que variaram entre 16,40 Kgf/cm² e 24,67 Kgf/cm² nas pastas nº 1 e nº 4, respetivamente. Convém lembrar que baixos valores de resistência mecânica à flexão em cru implicam um manuseamento mais cuidadoso das peças cerâmicas, entre as fases de secagem e cozedura, de forma a evitar o aparecimento de defeitos nas peças.

No comportamento dos corpos cerâmicos após cozedura a 850 °C verificou-se que todos eles evidenciaram absorções elevadas, estando provavelmente este fenómeno

relacionado com a granularidade de cada amostra. Estes valores de absorção foram mais elevados na amostra Biblio VV (25,1 %) e nas pastas cerâmicas (entre 24,2 % e 26 %). Os valores mais baixos de absorção, mas que foram no entanto bastante elevados, pertencem às amostras Borba VV (20 %) e Lagoa (22 %).

As matérias-primas argilosas Biblio VV e Lagoa proporcionaram corpos cerâmicos que representaram boa resistência mecânica à flexão, 136,92 Kgf/cm² e 116,00 Kgf/cm², respetivamente. Os corpos cerâmicos preparados com a matéria-prima argilosa Borba VV (78,60 Kgf/cm²) e, as pastas cerâmicas revelaram, por sua vez, valores baixos de resistência mecânica à flexão, que variaram entre 67,97 Kgf/cm² na pasta nº 4, e 83,50 Kgf/cm², na pasta nº 1.

As retrações totais, de uma maneira geral, também se mostraram bastante elevadas com valores a variar entre 6,1 % (pasta nº 5) e 7,46 % (Biblio VV). No entanto, verificou-se que embora sendo elevadas, não são totalmente discrepantes em relação a muitas outras pastas e matérias-primas comuns empregues na indústria cerâmica. Em relação às retrações seco/cozido, todas as amostras em estudo revelaram retrações muito baixas, que variaram entre 0,15 % (pasta nº 2) e 1,86 % (Biblio VV). Importa ainda evidenciar que a matéria-prima argilosa Biblio VV se situa em ambos os extremos, podendo-se concluir que o valor de retração muito baixo da pasta nº 2 foi causado pela adição da areia siliciosa.

No comportamento dos corpos cerâmicos após cozedura a 950 °C registou-se um aumento dos valores das resistências mecânicas à flexão, onde as matérias-primas argilosas Biblio VV (319,58 Kgf/cm²) e Lagoa (291,93 Kgf/cm²) apresentaram os maiores valores. No extremo oposto situa-se a matéria-prima argilosa Borba VV com uma resistência mecânica à flexão de 161,08 Kgf/cm². Em relação às pastas cerâmicas, também elas evidenciaram um aumento considerável dos seus valores de resistência mecânica à flexão onde as pastas cerâmicas nº 4 (269 Kgf/cm²) e nº 5 (274 Kgf/cm²) apresentaram os maiores valores, seguindo-se as pastas nº 1 e nº 3 com valores iguais entre si (256 Kgf/cm²). No extremo oposto situa-se a pasta nº 3, com uma resistência mecânica à flexão de 208,06 Kgf/cm²

Convém referir que esta melhoria que se verifica ao nível da resistência mecânica à flexão pode ser muito compensatória, atendendo ao facto do intervalo de

cozedura 900 °C - 950°C, ser o intervalo de temperatura normalmente utilizado na olaria tradicional, facto esse que não implicará um maior consumo energético por parte dos oleiros no fabrico de peças cerâmicas.

Excetuando a matéria-prima Borba VV e as pastas cerâmicas nº 4 e nº 5 que contêm “nata” de mármore na sua formulação, todas as outras amostras em estudo, principalmente as que são compostas pela matéria-prima Biblio VV (14,68 %) apresentam valores de retração total muito elevados, e que variam entre 11,49 % (pasta nº 2) e 12,73 % (pasta nº 3). São as pastas nº 4 (8,7 %) e nº 5 (9,3 %), aquelas que apresentam os menores valores de retração total, que são influenciados pela presença da “nata” de mármore.

As absorções de água verificadas nos corpos de prova cozidos a esta temperatura continuam a ser elevadas (entre 10,7 % e 15,7 %). A exceção é feita aos provetes das matérias-primas argilosas Biblio VV e Lagoa, que revelaram absorções de água de 9,3 % e 9,6 % respetivamente.

No comportamento dos corpos cerâmicos após cozedura a 1050 °C realça-se a resistência mecânica evidenciada pela matéria-prima Biblio VV (409,78 Kgf/cm²), associada a um valor elevado de retração total (16,31 %) e a uma absorção relativamente baixa (4,3 %), indicando tal facto a existência de baixa porosidade aberta, que é comprovada pelo aspeto vitrificado dos seus provetes. Na resistência mecânica à flexão destaca-se também a matéria-prima Lagoa (374,34 Kgf/cm²), igualmente associada a um valor elevado de retração total (14,17 %) e a uma absorção de água relativamente baixa (4,9 %).

Apesar de a amostra Borba VV apresentar um valor de resistência mecânica não muito elevado (184,84 Kgf/cm²), tal facto não compromete a sua utilização como matéria-prima na indústria cerâmica e na olaria tradicional. Este valor surge associado a uma retração inferior (10,88 %) e a uma absorção de água relativamente mais alta (8,5 %).

Analisando os resultados anteriores, verifica-se que valores mais altos de resistência mecânica estão sempre associados a valores mais elevados de retração total, e valores mais baixos de absorção devido à diminuição da porosidade e o consequente aumento da vitrificação dos corpos cerâmicos.

Nesta temperatura de cozedura, apenas as pastas nº 4 e nº 5 (contendo “nata” de mármore), foram sujeitas a ensaios laboratoriais de caracterização tecnológica, de forma a testar o comportamento da “nata” a altas temperaturas, uma vez que é constituída essencialmente por carbonato de cálcio (CaCO_3). Como tal, no comportamento dos corpos cerâmicos após cozedura a 1050 °C é importante realçar os valores inferiores de retração total (9,81 % e 9,66 %), quando comparados com os valores das matérias-primas argilosas. Tal diferença é explicada pela presença do carbonato de cálcio, que diminui a plasticidade da pasta, diminuindo assim a sua retração.

Em relação à resistência mecânica, os valores das pastas nº 4 (308,87 Kgf/cm²) e nº 5 (325,56 Kgf/cm²) são elevados, apresentando-se os valores de absorção dentro dos parâmetros normais, tendo-se registado 8,5 % e 9 % respetivamente.

Todas as amostras estudadas foram sujeitas a conformação na roda de oleiro. Segundo o Mestre Xico Tarefa, todas elas revelaram apetência para aplicação em olaria. De acordo com a opinião do Mestre oleiro, todas elas mostraram excelente trabalhabilidade, referindo ainda o Mestre a semelhança das amostras com as pastas industriais, tradicionalmente usadas por si.

Após a cozedura de “chacota”, verificou-se que quase todas as peças cerâmicas se apresentavam sem defeitos e com uma elevada tenacidade, com destaque para a matéria-prima Biblio VV.

No entanto, verificou-se que nas pastas cerâmicas nº 1, nº 4 e nº 5 se registaram alguns defeitos como o aparecimento de fissuras e fendilhamento em algumas das peças. Porém, os defeitos observados nas peças, não deverão ser causados pelas matérias-primas utilizadas. Ou seja, de acordo com o mestre Xico Tarefa, estes defeitos poderão ter origem num choque térmico muito forte, uma vez que as pastas se apresentavam com um teor de humidade elevado e foram colocadas junto às resistências do forno.

Após a cozedura de vidragem, verificou-se que o vidrado aderiu perfeitamente resultando assim peças cerâmicas sem defeitos. Estas foram posteriormente pintadas, resultando dessa forma um produto final esteticamente interessante.

Após os trabalhos desenvolvidos foi possível provar que tecnicamente é viável a aplicação da “terra-rossa” em olaria tradicional, porque as matérias-primas argilosas Biblio VV, Borba VV e Lagoa, possuem características que as tornam matérias-primas cerâmicas de qualidade, quando utilizadas por si só ou misturadas entre si, com adição de matérias-primas não argilosas.

Um dos aspetos curiosos tem a ver com o facto dos resultados laboratoriais, quer das matérias-primas, quer das pastas formuladas, foram mais penalizantes do que os resultados industriais, tendo as peças revelado resistência em cru, suficientemente elevada para que não tivessem sofrido qualquer deformação após manuseamento durante a secagem. O mesmo se verificou em relação às peças cozidas às diferentes temperaturas.

Tal como foi referido no início desta dissertação, a escassez de matérias-primas de qualidade para alimentar as olarias das vilas de Redondo e de São Pedro do Corval, faz com que os oleiros tenham que recorrer a pastas cerâmicas produzidas industrialmente, forçando os mesmos a adquiri-las na região centro de Portugal, ou até a importá-las de Espanha.

Os depósitos estudados contêm reservas suficientes de forma a poderem alimentar estes dois centros oleiros durante bastantes anos. No entanto, é possível através de futuras prospeções e caracterização de solos na envolvente destes depósitos, que mais material com semelhantes características possa ser encontrado e utilizado em olaria tradicional.

O seu aproveitamento e possível industrialização poderiam trazer grandes benefícios, quer à indústria extrativa do mármore, particularmente nos concelhos de Borba, Vila Viçosa e Estremoz devido à enorme quantidade de material argiloso removido aquando das destapações para abertura de pedreiras, quer aos concelhos de Redondo e São Pedro do Corval que voltariam a possuir uma fonte de matéria-prima localizada muito mais próximo dos seus centros oleiros.

Porém, tendo-se provado a aplicabilidade técnica destas matérias-primas e pastas cerâmicas na olaria tradicional, associada à existência de extensas áreas no Anticlinal de Estremoz ocupadas por uma quantidade infundável de escombreyras, sendo por isso uma fonte quase inesgotável de matéria-prima, coloca-se a seguinte questão: será

economicamente viável a construção de uma unidade de produção de pasta cerâmica para a olaria tradicional?

Neste caso, como em tantos outros, o problema principal que se colocaria seria a distância entre a zona estudada e os grandes centros oleiros. No caso particular deste estudo, tal facto não se verifica e, por isso, foi ainda realizado o planeamento de uma unidade fabril de produção de pasta cerâmica.

De acordo com a empresa Ipiac-Nery, líder no sector de produção de equipamentos para cerâmica, a edificação de uma unidade industrial de produção de pasta cerâmica nesta região implicaria um custo total de aproximadamente 504 000 €. A este valor seria ainda necessário acrescentar cerca de 255 000 €, para a aquisição de equipamentos auxiliares, tais como veículos de transporte da matéria-prima e veículos utilitários. No fundo, este investimento teria um custo total de 754 000 €, ao qual se teria que juntar os valores referentes à compra do terreno, construção do edifício fabril e estruturas anexas, criação da empresa, gastos administrativos relacionados com a criação da marca, com a recrutamento de mão-de-obra, a aquisição dos equipamentos para as área comercial e administrativa, perfazendo um total de investimento inicial total de cerca de 1 825 000 €.

Atualmente, a generalidade dos oleiros adquire as suas pastas a um preço aproximado de 0,20 €/kg, ao qual acresce ainda o valor associado ao custo dos transportes da mesma. Ou seja, por cada tonelada de pasta que é adquirida pelos oleiros de Redondo e de São Pedro do Corval, são gastos em média cerca de 200 €. Tendo em conta que anualmente, e em média, são adquiridos cerca de 1600 t de pasta, conclui-se que o volume de negócio se situa em cerca de 320 000 € por ano, que poderia proporcionar um lucro líquido de cerca de 20 000 €.

Neste caso particular, o facto das matérias-primas argilosas não necessitarem de nenhum processo de refinação ou beneficiação muito dispendioso, constitui por si só um pré-requisito que jogará com a maior das certezas a seu favor. Como tal, as pastas cerâmicas produzidas industrialmente nesta unidade fabril, poderiam entrar no mercado a um preço bastante competitivo, por lhe serem imputados custos de transporte mais reduzidos, enquanto as pastas tradicionalmente utilizadas, acarretam outros custos mais elevados de transporte, bem como de extração e moagem de matéria-prima.

Outro aspeto que pode diminuir substancialmente os custos é o facto de a unidade industrial poder ser instalada em local cedido, por exemplo por uma autarquia, ou mesmo em instalações abandonadas, neste caso, seguramente, necessitando de obras de adaptação.

De forma a facilitar todo o processo de produção da pasta é importante que a recolha das matérias-primas seja feita em locais que não estejam contaminados com outras substâncias ou materiais.

Apesar de existirem algumas barreiras económicas, essas mesmas poderiam ser ultrapassadas se existisse uma associação de múltipla participação, que envolvesse empresários, estado e autarquias, conjugando-se assim esforços para a solução deste problema regional, oferecendo um incremento económico ao setor da olaria tradicional possibilitando a aquisição de pasta cerâmica de comprovada qualidade e, na resolução de problemas ambientais relacionados com estes resíduos, que se encontram depositados em depósitos e nalguns casos em escomboreiras que existem um pouco por todo o Anticlinal de Estremoz.

Os estudos desenvolvidos colocaram em evidência a importância da utilização destas matérias-primas na olaria tradicional, demonstrando que estes materiais podem ser encarados como matérias-primas e não como resíduos ou subprodutos da indústria extrativa das rochas ornamentais.

Importa agora prosseguir os estudos, de modo a poder-se valorizar ainda mais este conjunto de subprodutos relacionados com a extração e transformação de mármore no Anticlinal de Estremoz. Como tal, sugere-se ainda algumas linhas de investigação e, tece-se algumas considerações, que poderão ser seguidas no futuro.

De acordo com o diagrama de Winkler (Fig. 14.2) além da utilização na olaria tradicional, a matéria-prima Biblio VV, depois de ter sido sujeita a ligeira moagem, apresenta igualmente uma granularidade que lhe permite ser utilizada também na indústria cerâmica estrutural, nomeadamente no fabrico de telha.

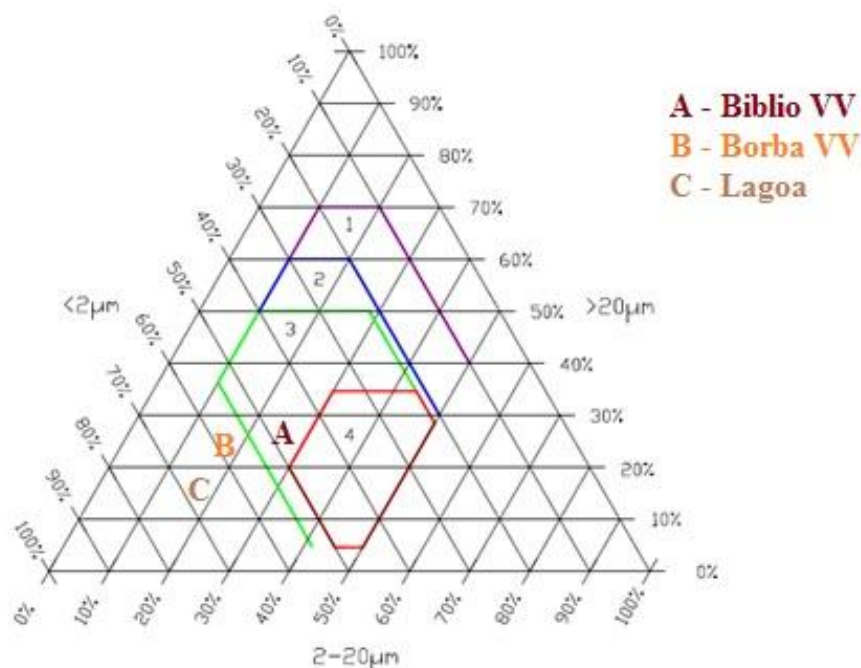


Fig. 14.2 - Diagrama de Winkler com frações granulométricas do tijolo maciço (1), tijolo furado (2), telha (3) e tijoleira (4) (Adaptado de Martins, 2007).

Neste caso, e de acordo com alguns valores de referência de matérias-primas utilizadas no fabrico de tijolo, abobadilha e telha (Quadro nº 14.2), além das suas granulometrias, as matérias-primas estudadas possuem propriedades como a retração total, a resistência mecânica à flexão em cozido e a absorção de água, que as tornam igualmente aptas nesta indústria.

Quadro nº 14.2 - Valores de referência para o fabrico de tijolo, abobadilha e telha (Martins, 2007).

Parâmetros	Tijolo de Alvenaria	Abobadilha	Telha
RMF em Seco (Kgf/cm ²)	45 - 50	50 - 60	70 - 90
Ret. H/S (Valor máximo em %)	5	5	6
Temperatura de cozedura (°C)	900 ± 50		1000 ± 50
RMF em cozido (Kgf/cm ²)	≥ 100	≥ 130	≥ 160
Ret. Total (%)	5 - 6		
Absorção (%)	10 - 17		Máximo 10

Apesar dos valores de retração húmido/seco e de resistência mecânica em cru das matérias-primas serem muito baixos, verificou-se que às temperaturas de cozedura normalmente utilizadas nesta indústria, as mesmas matérias-primas assumem um comportamento excecional em parâmetros como a absorção e a resistência mecânica à flexão.

No entanto, verificou-se que os valores de retração total são ainda muito elevados, sugerindo-se que as mesmas sejam utilizadas com outras matérias-primas que ajudem a diminuir a percentagem desta propriedade. Assim, comparando os valores presentes no quadro anterior, com os resultados obtidos neste estudo, chega-se às conclusões constantes no Quadro nº 14.3.

Quadro nº 14.3 - Adequabilidade das matérias-primas para uso em cerâmica estrutural.

Matéria-prima	Tijolo de Alvenaria	Abobadilha	Telha
Biblio VV	Possível	Possível	Possível
Borba VV	Possível	Possível	Possível
Lagoa	Possível	Possível	Possível

Apesar de a matéria-prima Biblio VV ter apresentado um valor de resistência mecânica em seco relativamente baixo, os valores obtidos após cozedura e a sua dureza, permitem classificar este material como de qualidade excecional. Assim, devido às reservas aparentemente muito reduzidas, seria fundamental realizarem-se trabalhos de prospeção geológica nas formações onde ocorre este material de forma a encontrar novos depósitos.

Por último, devido aos resultados positivos que a utilização da “nata” de mármore conferiu às pastas cerâmicas, diminuindo de forma significativa a retração linear, seria importante a continuação deste trabalho, através da formulação de novas pastas com “nata” em percentagens superiores. De acordo com os comentários do Mestre Xico Tarefa, seria importante formular novas pastas que tivessem na sua constituição até 20 % de “nata” de mármore.

15 – REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Abajo, M.F.; (2000); “*Manual sobre fabricacion de baldosas, tejas e ladrilhos*”; Beralmar SA; 316p;
- Barba, A.; (1997); “*Materias primas para la fabricacón de soportes de baldosas cerâmicas*”; Instituto de Tecnologia Cerâmica – AICE;
- Canotilho, M.H.P.C.; (2003); “*Processos de cozedura em cerâmica*”; Instituto Politécnico de Bragança; pp. 17 - 46;
- CENCAL – Centro de Formação Profissional para a Indústria Cerâmica; (2008); “*Procedimentos de Controlo de Processo*”; Serviços Técnicos; Revisão de Setembro; 130p;
- Cunha, A.M.; (2010); “*Aplicação na Olaria de Terra Rossa de Ocorrências no Anticlinal de Estremoz*”; Tese de Mestrado; Departamento de Geociências da Universidade de Évora; Universidade de Évora; 122p;
- Cunha, A.M., Martins, R.S.V., Lopes, L., Gomes, C., Arroz, M., Santos, D., Rosado, F.; (2012); “*Solos de Cobertura do Anticlinal de Estremoz e sua Aplicação em Cerâmica*”; Artigo Científico; 4º Edição do Congresso Global Stone; Borba; 8p;
- Facincani, E.; (1993); “*Tecnología Cerámica Los Ladrillos*”; Faenza Editrice Iberica S.L.; 263p;
- Falé P., Henriques P.; Midões C. & Carvalho J.; (2006); “*O Reordenamento da Actividade Extractiva como Instrumento para o Planeamento Regional: Vila Viçosa, Portugal*”; Revistas IGME; Vol 117, nº2, Lisboa;
- Faria, P.; (2005); “*Propriedades Composicionais e Geotécnicas de Solos Argilosos em Obras Rodoviárias*”; Universidade de Aveiro; Departamento de Geociências; 284p;
- Ferraz, E.J.M. de O.; (2004); “*Caulinos de Alvarães: propriedades e aplicações cerâmicas*”; Universidade de Aveiro; Departamento de Geociências; 408p;
- Gippini, E.; (1987); “*Pastas Ceramicas*”; Instituto Eduardo Torroja de la Construcción e del Cemento; 259p;
- Gomes, C.F.; (1988); “*Argilas, o que são e para que servem*”; Fundação Calouste Gulbenkian; 457p;
- Gomes, C.F.; (2002); “*Argilas, Aplicações na Indústria*”; Departamento de Geociências da Universidade de Aveiro; O Liberal, Empresa de Artes Gráficas, Lda.; Aveiro; pp. 6 – 158;

- Gonçalves, F.; (1972); “*Observações sobre o anticlinório de Estremoz. Alguns aspetos geológico-económicos dos mármore*”; Estudos, Notas e Trabalhos do Serviço de Fomento Mineiro – Vol.22; Porto; pp. 121 – 132;
- Guggenheim, S., et al; (2006); “*Summary of recommendations of nomenclature committees relevant to clay mineralogy: report of the Association Internationale pour l’Etude des Argiles (AIPEA) Nomenclature Committee for 2006*”; Artigo científico; Clay Minerals; 15p;
- Lopes, J. L. G.; (2003); “*Contribuição para o conhecimento Tectono – Estratigráfico do Nordeste Alentejano, transversal Terena – Elvas. Implicações económicas no aproveitamento de rochas ornamentais existentes na região (Mármore e Granitos)*”; Tese de Doutoramento; Departamento Geociências; Universidade de Évora; pp. 101 – 160;
- Lopes, L; (2008); Estudo Geológico: “*O triângulo do mármore*”; Vila Viçosa; Revista Monumentos; Dossiê 27; 10p;
- Lopes, L. & Silva, J. B.; (2005); “*Controle Estrutural e Constrangimentos Geológicos na Exploração de Mármore no Anticlinal de Estremoz – Alentejo – Portugal*”; ICIRO: I Congresso de Rochas Ornamentais do Brasil. Guarapart: Centro de Tecnologia Mineral (CETEM/MCT); Centro Tecnológico do Mármore e Granito (CETEMAG), edição em CD-ROM; Guarapart, Brasil;
- Martins, R.S.V.; (1996); “*Aplicações Industriais de Natas Resultantes da Indústria Transformadora de Rochas Ornamentais Carbonatadas*”; Tese de Mestrado; Departamento de Geociência da Universidade de Aveiro; Universidade de Aveiro; pp. 8 – 30
- Martins, R.S.V.; (2007); “*Investigação científica e tecnológica da matérias-primas minerais de Santiago do Cacém (Alentejo) e das suas potencialidades para a indústria cerâmica*”; Tese de Doutoramento; Departamento de Geociências da Universidade de Évora; Universidade de Évora; 457p;
- Miranda, C.M.R.; (2008); “*Argilas para Aplicação na Indústria de Louça Sanitária: Design e Fabrico*”; Tese de Mestrado; Departamento de Engenharia Cerâmica e do Vidro; Universidade de Aveiro; 101p;
- Pereira, V.M.C.; (1981); “*Mármore de Estremos – Vila Viçosa, contribuição para o seu conhecimento*”; A Pedra nº4;

- Ribeiro, M.J., Ferreira, A.A.L., Labrincha, J.A.; (2003); “*Aspectos Fundamentais Sobre a Extrusão de Massas Cerâmicas Vermelhas*”; Revista Cerâmica Industrial; Universidade de Aveiro; 6p;
- Ribeiro, C.G., Correia, M.G., Ferreira, L.G., Gonçalves, A.M.; Ribeiro, M.J.P., Labrincha, J.A.; (2004); “*Estudo sobre a Influência da Matéria Orgânica na Plasticidade e no Comportamento Térmico de uma Argila*”; Revista Cerâmica Industrial; Universidade de Aveiro; 4p;
- Suguio, K.; (1980); “*Rochas Sedimentares, Propriedades, Génese, Importância Económica*”; Editora Edgard Blucher, Lta; 500p;
- Toretti, I., Cargnin, M., Benincá, A.; (2012); “*Estudo da Determinação da Plasticidade de Matérias-Primas Cerâmicas Utilizando o Método de Pfefferkorn*”; 1º Simpósio de Integração Científica e Tecnológica do Sul Catarinense; Universidade Federal de Santa Catarina; 8p;
- Santos, D.; (1993); “*Introdução à Ciência e Tecnologia dos Materiais Cerâmicos*”; Compilação das aulas do Prof. Lopes Batista e Dr. Darlindo Lucas; Aveiro; 124p;
- Santos, P.S.; (1975); “*Tecnologia de argilas aplicadas às argilas brasileiras*”; Volume 2, aplicações; Editora Edgard Blucher Lda; Universidade de São Paulo; pp. 393 – 408;
- Velde, B. (1992); “*Introduction to clay minerals: chemistry, origins, uses and environmental significance*”; Chapman & Hall; London;

16 – SITES DE INTERNET CONSULTADOS

- Guia de “Boas Práticas de Gestão Estratégica na Indústria Cerâmica Europeia”:
http://www.apicer.pt/apicer/admin/EXPLORER/ficheiros/pdf/estudos/Apicer_GUIA_BP.pdf;
- Guia de “Referência sobre as melhores Técnicas Disponíveis na indústria cerâmica”:
<http://www.apicer.pt/apicer/admin/EXPLORER/ficheiros/pdf/estudos/DocRefSobreMelhoresTecDispInduCeramica.pdf>;
- Boletim de Trabalho e Emprego do Governo Português:
http://bte.gep.msess.gov.pt/completos/2014/bte10_2014.pdf;
- Catálogo Ipiac-Nery:
<http://www.ipiac-nery.com/pdf/catalogo.pdf>;
- Catálogo Worten:
<https://www.worten.pt/>;
- Catálogo Staples Office Center:
<https://www.staples.pt/>;
- Ficha técnica “Pá Carregadora - Caterpillar 938k”:
http://www.cat.com/en_US/products/new/equipment/wheel-loaders/small-wheel-loaders/18263412.html;
- Ficha técnica “Carrinha - Daily Iveco 70C15H/P”:
http://ibb.iveco.com/Daily%202014/Technical%20Descriptions/70C/ST_ENG_A75_C_1310_70C15H_-P_EN.pdf;
- Ficha técnica “Carrinha - Mitsubishi L200 Invite - 4WD”:
<http://www.mitsubishi-motors.pt/l200-cabina-dupla/>
- Ficha técnica “Empilhadora - Still RC 40 – 1,6”:
<http://www.still.de/rc40-datenblatt.0.30.html>;
- Ficha técnica “Carrinha – Peugeot Boxer FT 440 - L4H3”:
<http://www.professional.peugeot.pt/media/deliacms/media/115/11559-ea848f.pdf>;
- Site da Entidade Reguladora dos Serviços Energéticos – ERSE:
<http://www.erse.pt/pt/electricidade/tarifaseprecos/Paginas/default.aspx>;
- Site da Câmara Municipal de Vila Viçosa:
<http://www.cm-vilaviciosa.pt/pt/Paginas/home.aspx>;
- Site da Câmara Municipal de Redondo:
<http://www.cm-redondo.pt/pt/paginas/home.aspx>;
- Site da Portugal Telecom:
<https://www.ptempresas.pt/>;
- Site da Associação Portuguesa da Indústria Cerâmica - Apicer:
<http://www.apicer.pt/apicer/>;
- Site do Centro de Formação Profissional para a Indústria Cerâmica – Cencal:
<http://www.cencal.pt/>;

ANEXO I

ENSAIOS DE CARACTERIZAÇÃO FÍSICA

Análise granulométrica da matéria-prima Biblio VV				
Peneiro (mm)	Peso Retido (g)	Retido (%)	Retido Acumulado (%)	Passado Acumulado (%)
9,5	0	0	0	100
4,75	2,06	1,09	1,09	98,91
2,0	9,48	5,01	6,09	93,91
0,850	15,51	8,19	14,28	85,72
0,425	14,13	7,46	21,74	78,26
0,250	7,85	4,14	25,89	74,11
0,106	12,52	6,61	32,50	67,50
0,075	3,10	1,64	34,13	65,87
0,060	2,57	1,36	35,49	64,51
0,050	3,14	1,66	37,15	62,85
0,040	4,27	2,25	39,40	60,60
0,030	5,27	2,78	42,18	57,82
0,025	3,22	1,70	43,88	56,12
0,020	5,11	2,70	46,58	53,42
0,015	7,57	4,00	50,58	49,42
0,010	15,53	8,20	58,78	41,22
0,005	4,92	2,60	61,37	38,63
0,004	6,82	3,60	64,98	35,02
0,003	10,22	5,40	70,37	29,63
0,002	16,00	8,45	78,82	21,18
0,001	18,56	9,80	88,62	11,38
0,0005	7,76	4,10	92,72	7,28
0,0004	9,66	5,10	97,82	2,18
Fundo	185,27	97,81	97,82	2,18

Análise granulométrica da matéria-prima Borba VV				
Peneiro (mm)	Peso Retido (g)	Retido (%)	Retido Acumulado (%)	Passado Acumulado (%)
9,5	0	0	0	100
4,75	0,65	0,38	0,38	99,62
2,0	4,59	2,69	3,07	96,93
0,850	10,01	5,87	8,94	91,06
0,425	8,21	4,81	13,75	86,25
0,250	14,03	8,22	21,97	78,03
0,106	17,20	10,08	32,05	67,95
0,075	8,72	5,11	37,16	62,84
0,060	2,70	1,58	38,74	61,26
0,050	4,11	2,41	41,14	58,86
0,040	3,73	2,19	43,33	56,67
0,030	4,05	2,37	45,70	54,30
0,025	5,73	3,36	49,06	50,94
0,020	4,58	2,69	51,75	48,25
0,015	5,29	3,10	54,85	45,15
0,010	9,22	5,40	60,25	39,75
0,005	5,76	3,37	63,62	36,38
0,004	7,46	4,37	67,99	32,01
0,003	8,17	4,79	72,78	27,22
0,002	11,58	6,79	79,56	20,44
0,001	13,97	8,19	87,75	12,25
0,0005	7,97	4,67	92,42	7,58
0,0004	8,36	4,90	97,32	2,68
Fundo	156,09	91,46	97,32	2,68

Análise granulométrica da matéria-prima Lagoa				
Peneiro (mm)	Peso Retido (g)	Retido (%)	Retido Acumulado (%)	Passado Acumulado (%)
9,5	0	0	0	100
4,75	1,51	1,09	1,09	98,91
2,0	4,07	2,95	4,04	95,96
0,850	4,92	3,56	7,60	92,40
0,425	3,41	2,47	10,07	89,93
0,250	3,38	2,45	12,51	87,49
0,106	6,27	4,54	17,05	82,95
0,075	4,94	3,58	20,63	79,37
0,060	2,11	1,53	22,16	77,84
0,050	3,66	2,65	24,80	75,20
0,040	3,24	2,35	27,15	72,85
0,030	4,66	3,37	30,52	69,48
0,025	5,49	3,97	34,50	65,50
0,020	6,85	4,96	39,45	60,55
0,015	10,04	7,27	46,72	53,28
0,010	5,35	3,87	50,59	49,41
0,005	6,59	4,77	55,36	44,64
0,004	8,52	6,17	61,53	38,47
0,003	11,42	8,27	69,80	30,20
0,002	13,07	9,46	79,26	20,74
0,001	7,97	5,77	85,03	14,97
0,0005	10,31	7,47	92,49	7,51
0,0004	8,37	6,06	98,55	1,45
Fundo	120,05	86,89	98,55	1,45

Resultados obtidos através do Ensaio de Expansibilidade.					
Matéria-prima Biblio VV		Matéria-prima Borba VV		Matéria-prima Lagoa	
Tempo (min)	Div (mm)	Tempo (min)	Div (mm)	Tempo (min)	Div (mm)
0	0	0	0	0	0
1	0,04	1	0	1	0,09
2	0,09	2	0	2	0,16
3	0,12	3	0,015	3	0,2
4	0,15	4	0,015	4	0,22
5	0,15	5	0,015	5	0,26
10	0,8	10	0,035	10	0,58
15	1,24	15	0,395	15	0,79
30	1,68	30	0,515	30	1,04
45	1,8	45	0,575	45	1,11
60	1,85	60	0,585	60	1,15
120	1,93	120	0,625	120	1,16
240	1,97	240	0,595	240	1,19
360	1,98	360	0,605	360	1,2
480	1,99	480	0,605	480	1,19
600	1,99	600	0,605	600	1,19
720	1,99	720	0,605	720	1,19
840	1,99	840	0,605	840	1,19
960	1,99	960	0,605	960	1,19

Limite de Liquidez da matéria-prima Biblio VV							
		1	2	3	4	5	6
A	P. da cápsula + Solo húmido (g)	50,70	57,19	53	51,56	57,72	72,44
B	P. da cápsula + Solo seco (g)	48,95	55,26	51,39	49,75	54,85	69,1
C = A - B	P. da água (g)	1,75	1,93	1,61	1,81	2,87	3,34
D	P. da Cápsula	44,86	50,80	47,84	46,07	49,28	63,39
E = B - D	P. do solo seco (g)	4,09	4,46	3,55	3,68	5,57	5,71
W=100 x C/E	Teor de Humidade (%)	42,79	43,27	45,35	49,18	51,53	58,49
P	Número de Golpes	39	36	33	22	17	11
W _L	Limite de Liquidez	47.5%					

Limite de Liquidez da matéria-prima Borba VV							
		1	2	3	4	5	6
A	P. da cápsula + Solo húmido (g)	55,12	54,67	58,03	56,91	54,70	53,42
B	P. da cápsula + Solo seco (g)	53,79	53,12	55,6	54,56	52,45	51,29
C = A - B	P. da água (g)	1,33	1,55	2,43	2,35	2,25	2,13
D	P. da Cápsula	49,73	48,60	49,06	48,48	46,74	46,09
E = B - D	P. do solo seco (g)	4,06	4,52	6,54	6,08	5,71	5,2
W=100 x C/E	Teor de Humidade (%)	32,76	34,29	37,16	38,65	39,40	40,96
P	Número de Golpes	32	39	40	23	22	18
W _L	Limite de Liquidez	38%					

Limite de Liquidez da matéria-prima Lagoa							
		1	2	3	4	5	6
A	P. da cápsula + Solo húmido (g)	54,12	55,80	55,72	71,90	55,46	53,58
B	P. da cápsula + Solo seco (g)	52,16	53,68	53,12	69,1	52,55	51,51
C = A - B	P. da água (g)	1,96	2,12	2,60	2,80	2,91	2,07
D	P. da Cápsula	47,94	49,13	47,58	63,39	46,78	47,48
E = B - D	P. do solo seco (g)	4,22	4,55	5,54	5,71	5,77	4,03
W=100 x C/E	Teor de Humidade (%)	46,45	46,59	46,93	49,04	50,43	51,36
P	Número de Golpes	40	36	33	24	23	21
W _L	Limite de Liquidez	49%					

Limite de Liquidez da Pasta nº 1 (50 % Biblio VV + 50 % Borba VV)							
		1	2	3	4	5	6
A	P. da cápsula + Solo húmido (g)	44,09	41,47	42,92	52,08	42,98	45,76
B	P. da cápsula + Solo seco (g)	41,30	39,72	40,61	49,23	40,91	42,97
C = A - B	P. da água (g)	2,79	1,75	2,31	2,85	2,07	2,79
D	P. da Cápsula	35,34	35,69	35,99	44,22	36,06	37,49
E = B - D	P. do solo seco (g)	4,09	4,03	4,62	5,01	4,85	5,48
W=100 x C/E	Teor de Humidade (%)	68,22	43,42	50,00	56,89	42,68	50,91
P	Número de Golpes	27	38	23	13	33	18
W _L	Limite de Liquidez	47%					

Limite de Liquidez da Pasta nº 2 (80 % Biblio VV + 20 % Areia Siliciosa)							
		1	2	3	4	5	6
A	P. da cápsula + Solo húmido (g)	48,85	45,42	43,81	53,37	46,64	42,41
B	P. da cápsula + Solo seco (g)	45,28	42,72	41,28	49,61	44,64	40,02
C = A - B	P. da água (g)	3,57	2,70	2,53	3,76	2,00	2,39
D	P. da Cápsula	36,01	36,37	35,66	41,45	40,47	35,69
E = B - D	P. do solo seco (g)	9,27	6,35	5,62	8,16	4,17	4,33
W=100 x C/E	Teor de Humidade (%)	38,51	42,52	45,02	46,08	47,96	55,19
P	Número de Golpes	39	34	28	23	19	13
W _L	Limite de Liquidez	44%					

Limite de Liquidez da Pasta nº 3 (65 % Lagoa + 35 % Borba VV)							
		1	2	3	4	5	6
A	P. da cápsula + Solo húmido (g)	51,61	43,19	45,1	52,02	52,51	51,73
B	P. da cápsula + Solo seco (g)	48,72	40,85	41,96	49,17	49,72	49,39
C = A - B	P. da água (g)	2,89	2,34	3,14	2,85	2,79	2,34
D	P. da Cápsula	42,37	36,08	35,92	43,97	45,02	44,16
E = B - D	P. do solo seco (g)	6,35	4,77	6,04	5,20	4,70	5,23
W=100 x C/E	Teor de Humidade (%)	45,51	49,06	51,99	54,81	59,36	44,74
P	Número de Golpes	34	28	22	18	13	38
W _L	Limite de Liquidez	49%					

Limite de Liquidez da Pasta nº 4 (88 % Lagoa + 12 % Nata de Mármore)							
		1	2	3	4	5	6
A	P. da cápsula + Solo húmido (g)	50,60	39,20	41,3	41,60	48,70	42,5
B	P. da cápsula + Solo seco (g)	48,80	38,10	39,5	40	47,20	40,2
C = A - B	P. da água (g)	1,80	1,10	1,80	1,60	1,50	2,3
D	P. da Cápsula	45,00	35,70	35,7	36,30	44,10	36
E = B - D	P. do solo seco (g)	3,80	2,40	3,80	3,70	3,10	4,2
W=100 x C/E	Teor de Humidade (%)	47,37	45,83	47,36	43,24	48,39	54,76
P	Número de Golpes	36	28	24	32	19	14
W _L	Limite de Liquidez	46%					

Limite de Liquidez da Pasta nº 5 (65 % Lagoa + 12 % Borba VV + 12 % Nata de Mármore)							
		1	2	3	4	5	6
A	P. da cápsula + Solo húmido (g)	48,80	43,10	41,60	46,20	43,2	40,2
B	P. da cápsula + Solo seco (g)	47,40	40,70	39,90	44,9	41,2	38,8
C = A - B	P. da água (g)	1,40	2,40	1,70	1,30	2,00	1,4
D	P. da Cápsula	44,00	35,60	36,10	42,30	37,	35,9
E = B - D	P. do solo seco (g)	3,40	5,10	3,80	2,60	3,70	2,9
W=100 x C/E	Teor de Humidade (%)	41,18	47,06	44,74	50,05	54,05	48,28
P	Número de Golpes	37	28	33	24	13	19
W _L	Limite de Liquidez	47%					

Limite de Plasticidade da Matéria-prima Biblio VV							
		1	2	3	4	5	6
A	P. da cápsula + Solo húmido (g)	47,79	48,75	49,74	50,13	49,85	51,02
B	P. da cápsula + Solo seco (g)	47,57	48,51	49,53	49,94	49,64	50,75
C = A - B	P. da água (g)	0,22	0,24	0,21	0,19	0,21	0,27
D	P. da Cápsula	46,78	47,50	48,71	49,19	48,78	49,85
E = B - D	P. do solo seco (g)	0,79	1,01	0,82	0,75	0,86	0,9
W=100 x C/E	Teor de Humidade (%)	27,85	23,76	25,61	25,33	24,42	30
W _P	Limite de Plasticidade	26					

Limite de Plasticidade da Matéria-prima Borba VV							
		1	2	3	4	5	6
A	P. da cápsula + Solo húmido (g)	49,96	49,88	50,58	47,91	50,14	50,51
B	P. da cápsula + Solo seco (g)	49,75	49,69	50,39	47,68	49,95	50,3
C = A - B	P. da água (g)	0,21	0,19	0,19	0,23	0,19	0,21
D	P. da Cápsula	48,87	48,87	49,70	46,78	49,22	49,48
E = B - D	P. do solo seco (g)	0,88	0,82	0,69	0,90	0,73	0,82
W=100 x C/E	Teor de Humidade (%)	23,86	23,17	27,54	25,56	26,03	25,61
W _p	Limite de Plasticidade	25					

Limite de Plasticidade da Matéria-prima Lagoa							
		1	2	3	4	5	6
A	P. da cápsula + Solo húmido (g)	46,98	48,26	47,84	48,10	48,56	49,11
B	P. da cápsula + Solo seco (g)	46,80	48,13	47,66	47,92	48,4	48,95
C = A - B	P. da água (g)	0,18	0,13	0,18	0,18	0,16	0,16
D	P. da Cápsula	46,07	47,56	46,95	47,24	47,69	48,25
E = B - D	P. do solo seco (g)	0,73	0,57	0,71	0,68	0,71	0,7
W=100 x C/E	Teor de Humidade (%)	24,66	22,81	25,35	26,47	22,54	22,86
W _p	Limite de Plasticidade	24					

Limite de Plasticidade da Pasta nº 1 (50 % Biblio VV + 50 % Borba VV)							
		1	2	3	4	5	6
A	P. da cápsula + Solo húmido (g)	36,69	37,10	37,42	45,31	37,36	39,29
B	P. da cápsula + Solo seco (g)	36,42	36,82	37,14	45,09	37,12	38,94
C = A - B	P. da água (g)	0,27	0,28	0,28	0,22	0,24	0,35
D	P. da Cápsula	35,34	35,69	35,99	44,20	36,06	37,49
E = B - D	P. do solo seco (g)	1,08	1,13	1,15	0,89	1,06	1,45
W=100 x C/E	Teor de Humidade (%)	25,00	24,78	24,35	24,72	22,64	24,13
W _p	Limite de Plasticidade	24					

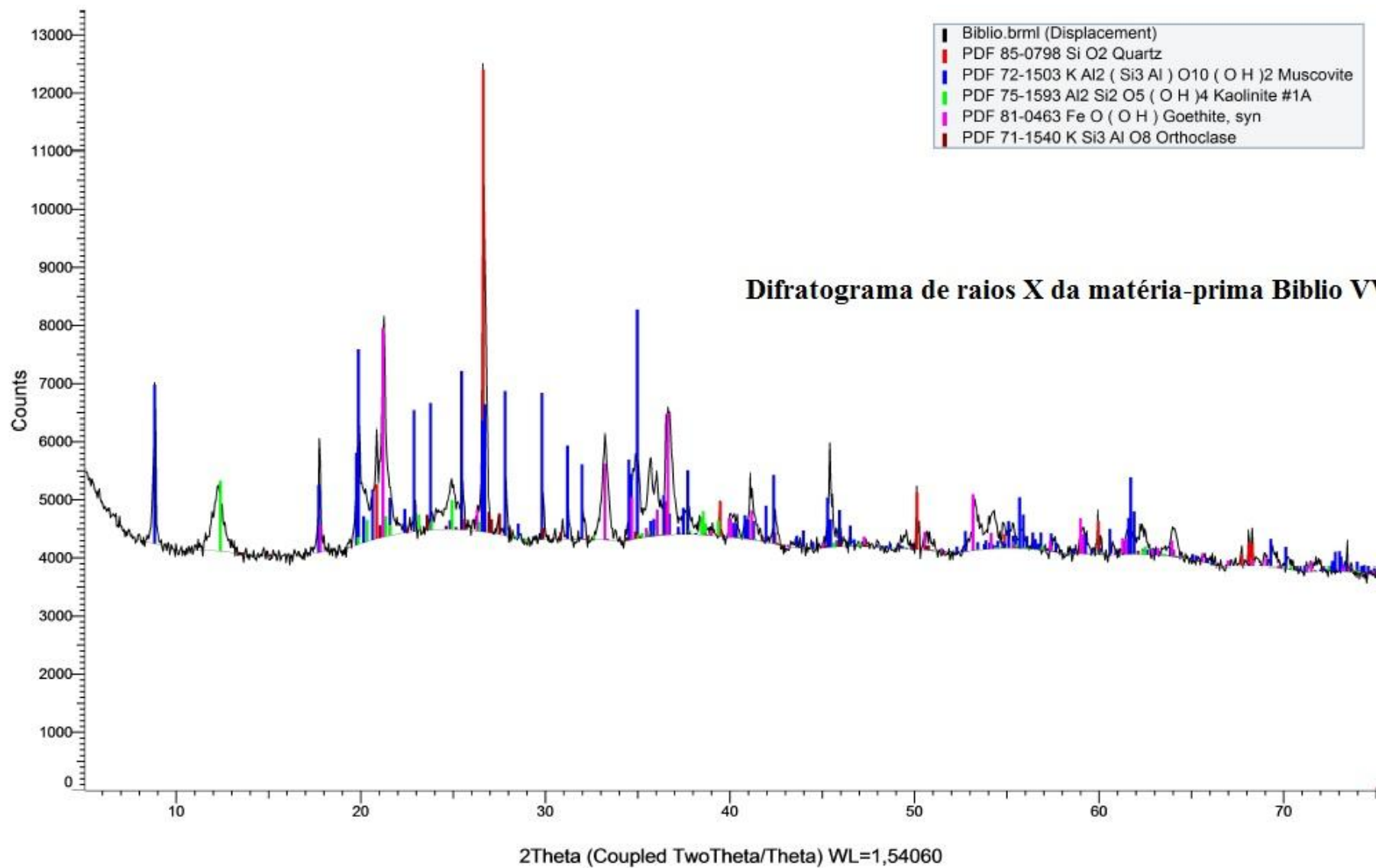
Limite de Plasticidade da Pasta nº 2 (80 % Biblio VV + 20 % Areia Siliciosa)							
		1	2	3	4	5	6
A	P. da cápsula + Solo húmido (g)	37,48	37,86	41,53	43,31	36,94	36,58
B	P. da cápsula + Solo seco (g)	37,28	37,53	41,33	42,96	36,69	36,38
C = A - B	P. da água (g)	0,20	0,33	0,20	0,35	0,25	0,2
D	P. da Cápsula	36,37	36,01	40,47	41,45	35,66	35,59
E = B - D	P. do solo seco (g)	0,91	1,52	0,86	1,51	1,03	0,79
W=100 x C/E	Teor de Humidade (%)	21,98	21,71	23,26	23,18	24,27	25,31
W _p	Limite de Plasticidade	23					

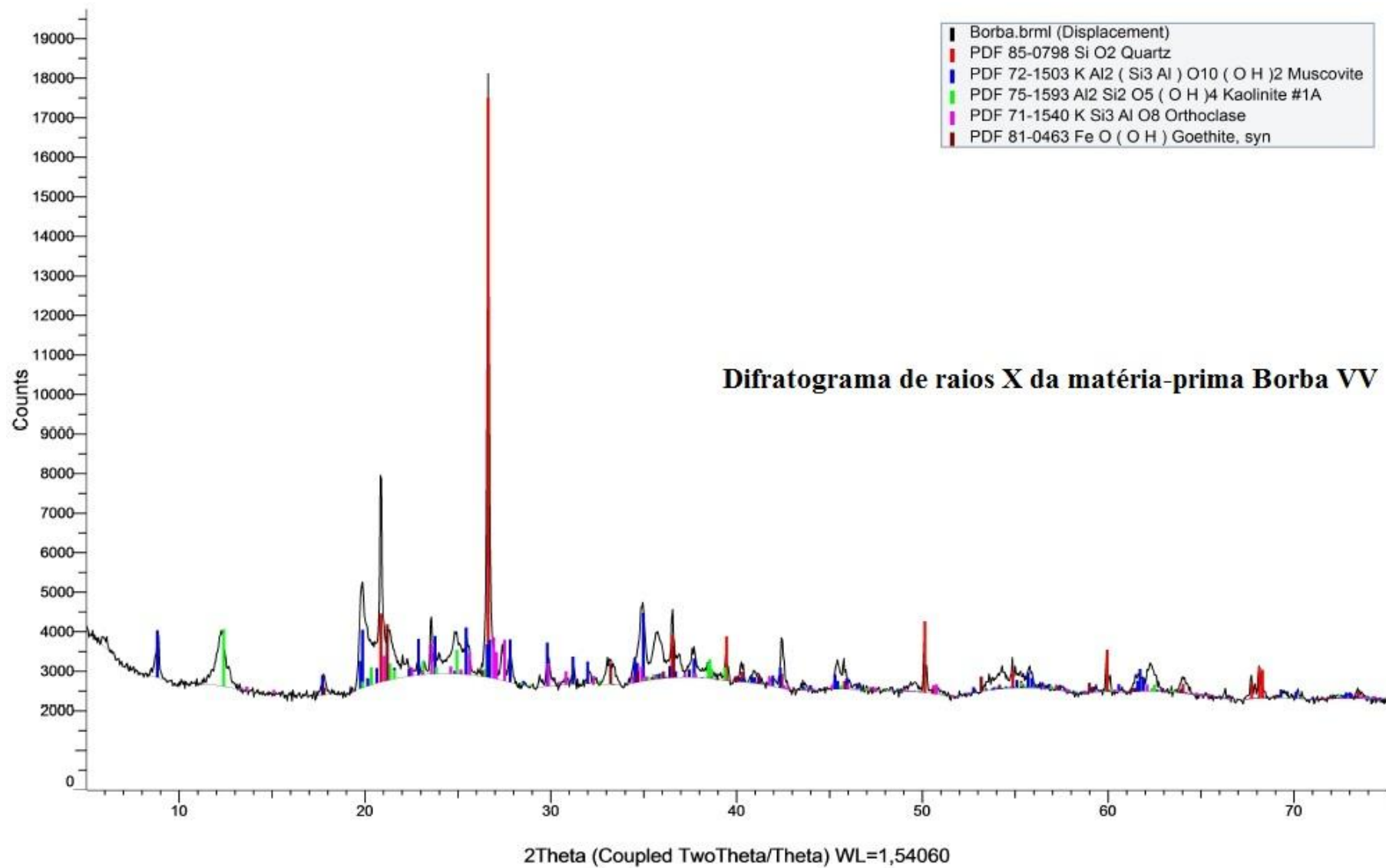
Limite de Plasticidade da Pasta nº 3 (65 % Lagoa + 35 % Borba VV)							
		1	2	3	4	5	6
A	P. da cápsula + Solo húmido (g)	43,72	37,50	37,20	44,99	46,29	45,47
B	P. da cápsula + Solo seco (g)	43,45	37,21	36,95	44,80	46,11	45,2
C = A - B	P. da água (g)	0,27	0,29	0,25	0,19	0,18	0,27
D	P. da Cápsula	42,37	36,08	35,92	43,97	45,02	44,16
E = B - D	P. do solo seco (g)	1,08	1,13	1,03	0,83	1,09	1,04
W=100 x C/E	Teor de Humidade (%)	25,00	25,66	24,27	22,89	16,5	25,96
W _p	Limite de Plasticidade	23					

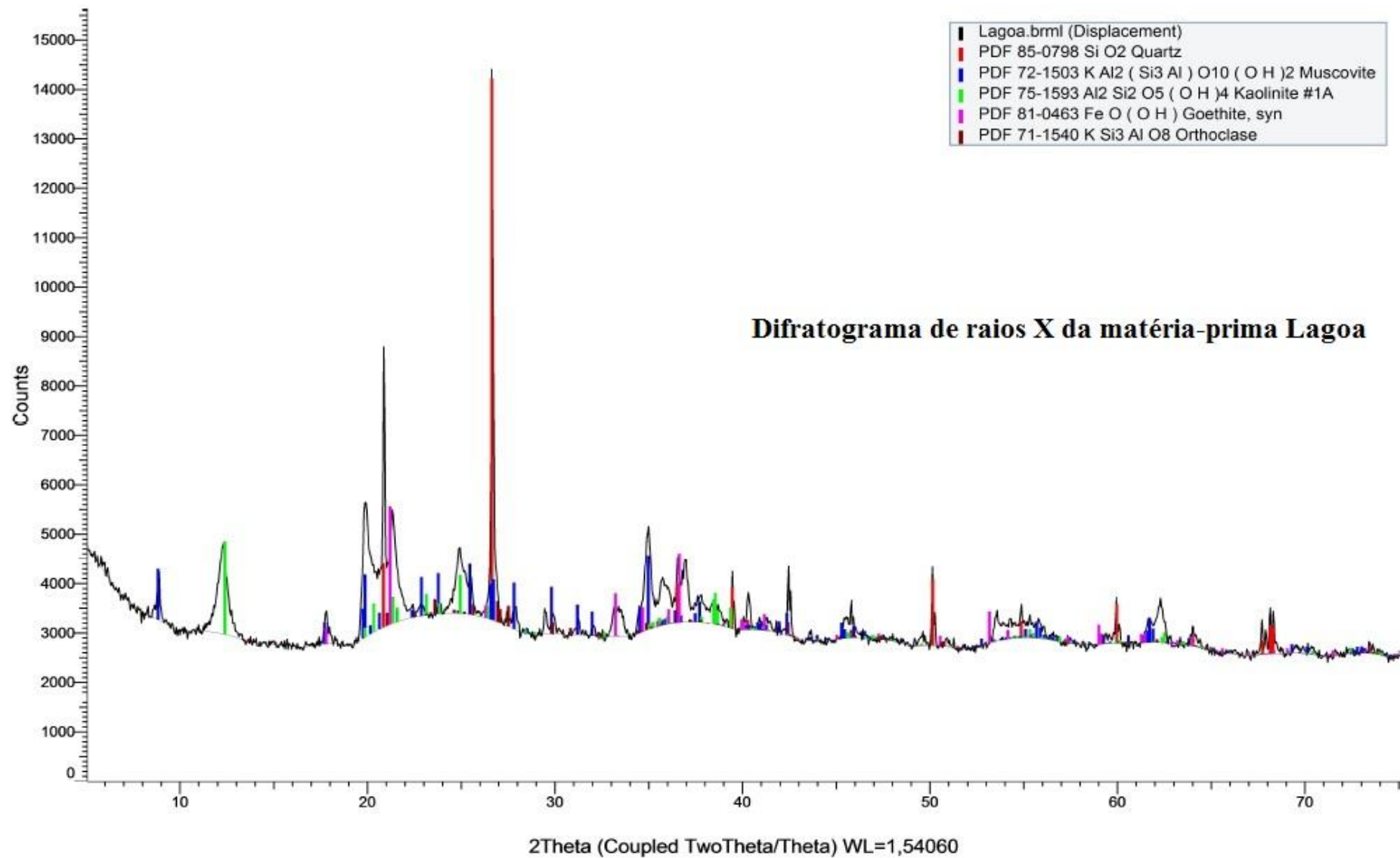
Limite de Plasticidade da Pasta nº 4 (88 % Lagoa + 12 % Nata de Mármore)							
		1	2	3	4	5	6
A	P. da cápsula + Solo húmido (g)	46,08	36,62	36,84	37,20	45,05	36,99
B	P. da cápsula + Solo seco (g)	45,91	36,61	36,63	37,05	44,88	36,8
C = A - B	P. da água (g)	0,17	0,21	0,21	0,15	0,17	0,19
D	P. da Cápsula	45,05	35,69	35,70	36,39	44,18	36,03
E = B - D	P. do solo seco (g)	0,86	1,13	1,14	0,81	0,87	0,96
W=100 x C/E	Teor de Humidade (%)	19,77	18,58	18,42	18,52	19,54	19,79
W _p	Limite de Plasticidade	19					

Limite de Plasticidade da Pasta nº 5 (65 % Lagoa + 12 % Borba VV + 12 % Nata de Mármore)							
		1	2	3	4	5	6
A	P. da cápsula + Solo húmido (g)	45,10	36,70	37,01	43,25	38,72	36,82
B	P. da cápsula + Solo seco (g)	44,90	36,47	36,85	43,05	38,5	36,64
C = A - B	P. da água (g)	0,20	0,23	0,16	0,20	0,22	0,18
D	P. da Cápsula	43,97	35,60	36,08	42,37	37,5	35,92
E = B - D	P. do solo seco (g)	0,93	0,87	0,77	0,88	1,22	0,9
W=100 x C/E	Teor de Humidade (%)	21,51	26,44	20,78	22,73	18,03	20
W _p	Limite de Plasticidade	22					

Valores dos Limites de Consistência			
Nome da Amostra	Limite de Liquidez (%)	Limite de Plasticidade (%)	Índice de Plasticidade (%)
Biblio VV	47,5	26	21,5
Borba VV	38	25	13
Lagoa	49	24	25
Pasta nº 1	47	24	23
Pasta nº 2	44	23	21
Pasta nº 3	49	23	26
Pasta nº 4	46	19	27
Pasta nº 5	47	22	25







ANEXO II

ENSAIOS DE CARACTERIZAÇÃO TECNOLÓGICA

Valores de % de retração das matérias-primas				
Amostra	Temperatura efetiva de Cozedura (°C)	% Contração		
		Húmido/Seco	Seco/Cozido	Total
Biblio VV	900	5.94	1,86	7,46
	1038		8,88	14,68
	1057		11,19	16,31
Borba VV	881	5.55	1,08	6,24
	1028		4,54	9,70
	1051		5,12	10,88
Lagoa	851	5.58	0,97	7,03
	1042		6,92	11,88
	1060		9,46	14,17

Valores de % de retração das pastas cerâmicas cozidas a duas temperaturas				
Amostra	Temperatura efetiva de Cozedura (°C)	% Contração		
		Húmido/Seco	Seco/Cozido	Total
Pasta nº 1	848	6,2	0,36	6,18
	1009		7,56	12,46
Pasta nº 2	855	7,3	0,15	6,94
	1020		5,3	11,49
Pasta nº 3	858	5,81	1,23	7,12
	1000		6,53	12,73

Valores de % de retração das pastas cerâmicas cozidas a três temperaturas				
Amostra	Temperatura efetiva de cozedura (°C)	% Contração		
		Húmido/Seco	Seco/Cozido	Total
Pasta nº 4	850	5,55	0,87	6,08
	970		3,5	8,7
	1060		5,05	9,81
Pasta nº 5	850	5,60	0,85	6,1
	970		4,6	9,3
	1060		4,83	9,66

Valores obtidos no ensaio da % de resíduo retido no peneiro 45 µm			
Matéria-prima	Peso inicial (g)	Peso retido no peneiro 45 µm (g)	% Resíduo retido no peneiro 45 µm
Biblio VV	100,0	15,0	15
Borba VV	100,0	21,4	21,4
Lagoa	100,0	13,6	13,6

Valores de absorção de água pelos provetes			
Amostras	T = ± 850 °C	T = ± 950 °C	T = ± 1050 °C
Biblio VV	25,1	9,3	4,3
Borba VV	20	12,3	8,5
Lagoa	22	9,6	4,9
Pasta nº 1	24,2	12,6	-
Pasta nº 2	26	15,7	-
Pasta nº 3	24	14,9	-
Pasta nº 4	25,2	11,9	8,5
Pasta nº 5	26	10,7	9

Resultados da análise térmico-dilatométrica das pastas cerâmicas				
Pasta Cerâmica	Ensaio	Temperaturas / Resultados		
		± 850 °C	± 950 °C	± 1050 °C
Pasta nº 1	% dilatação aos 573 °C	0,400 %	0,290 %	-
	Coefficiente dilatação cúbico aos 400 °C	$224,50 \times 10^{-7} \text{ }^{\circ}\text{C}$	$132,29 \times 10^{-7} \text{ }^{\circ}\text{C}$	-
Pasta nº 2	% dilatação aos 573 °C	0,491 %	0,404 %	-
	Coefficiente dilatação cúbico aos 400 °C	$288,33 \times 10^{-7} \text{ }^{\circ}\text{C}$	$171,69 \times 10^{-7} \text{ }^{\circ}\text{C}$	-
Pasta nº 3	% dilatação aos 573 °C	0,392 %	0,260 %	-
	Coefficiente dilatação cúbico aos 400 °C	$151,54 \times 10^{-7} \text{ }^{\circ}\text{C}$	$122,10 \times 10^{-7} \text{ }^{\circ}\text{C}$	-
Pasta nº 4	% dilatação aos 573 °C	0,351 %	0,370 %	0,348 %
	Coefficiente dilatação cúbico aos 400 °C	$167,25 \times 10^{-7} \text{ }^{\circ}\text{C}$	$192,21 \times 10^{-7} \text{ }^{\circ}\text{C}$	$181,19 \times 10^{-7} \text{ }^{\circ}\text{C}$
Pasta nº 5	% dilatação aos 573 °C	0,351 %	0,365 %	0,348 %
	Coefficiente dilatação cúbico aos 400 °C	$170,86 \times 10^{-7} \text{ }^{\circ}\text{C}$	$188,54 \times 10^{-7} \text{ }^{\circ}\text{C}$	$180,06 \times 10^{-7} \text{ }^{\circ}\text{C}$

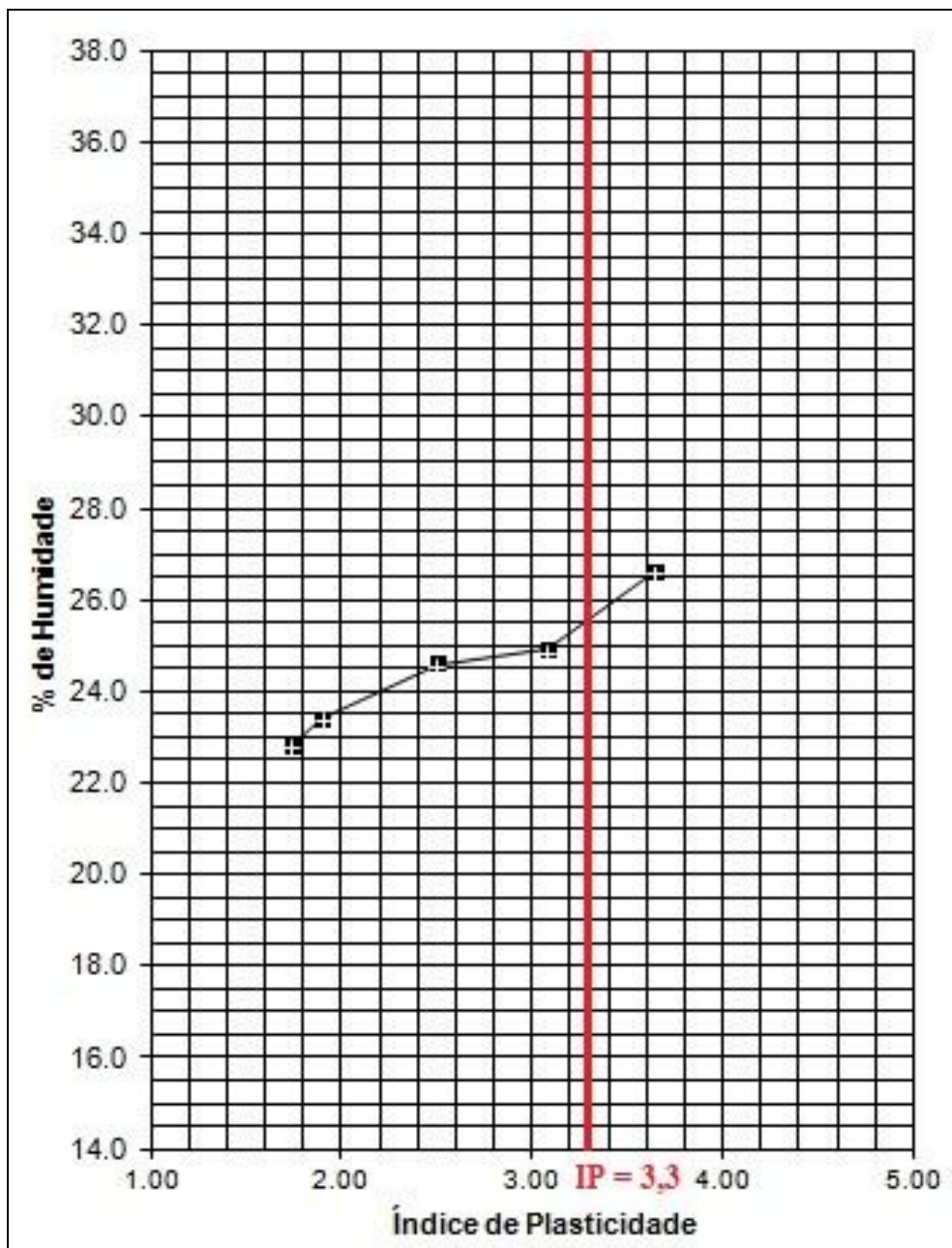


Gráfico de Pfefferkorn da matéria-prima argilosa Biblio VV.

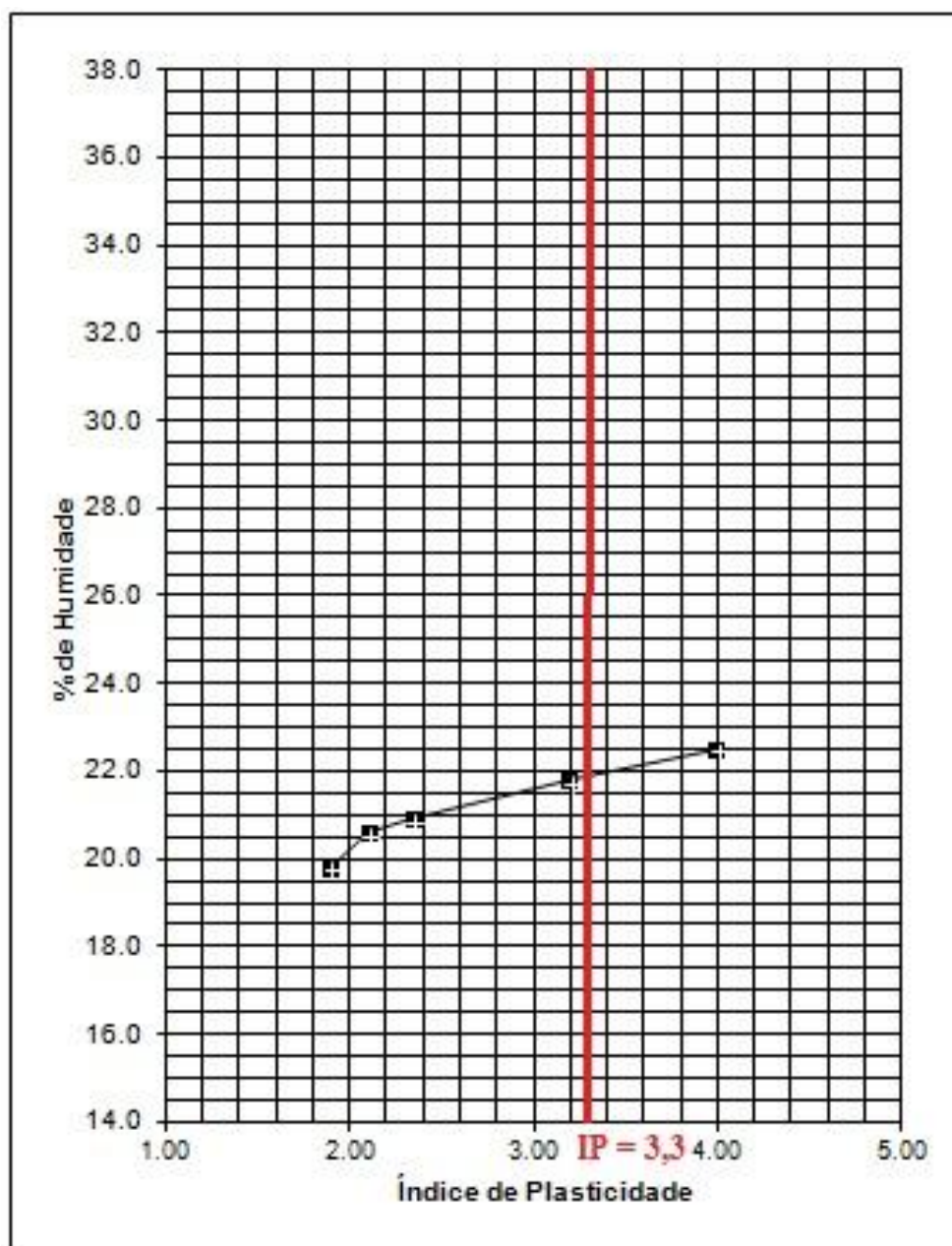


Gráfico de Pfefferkorn da matéria-prima argilosa Borba VV.

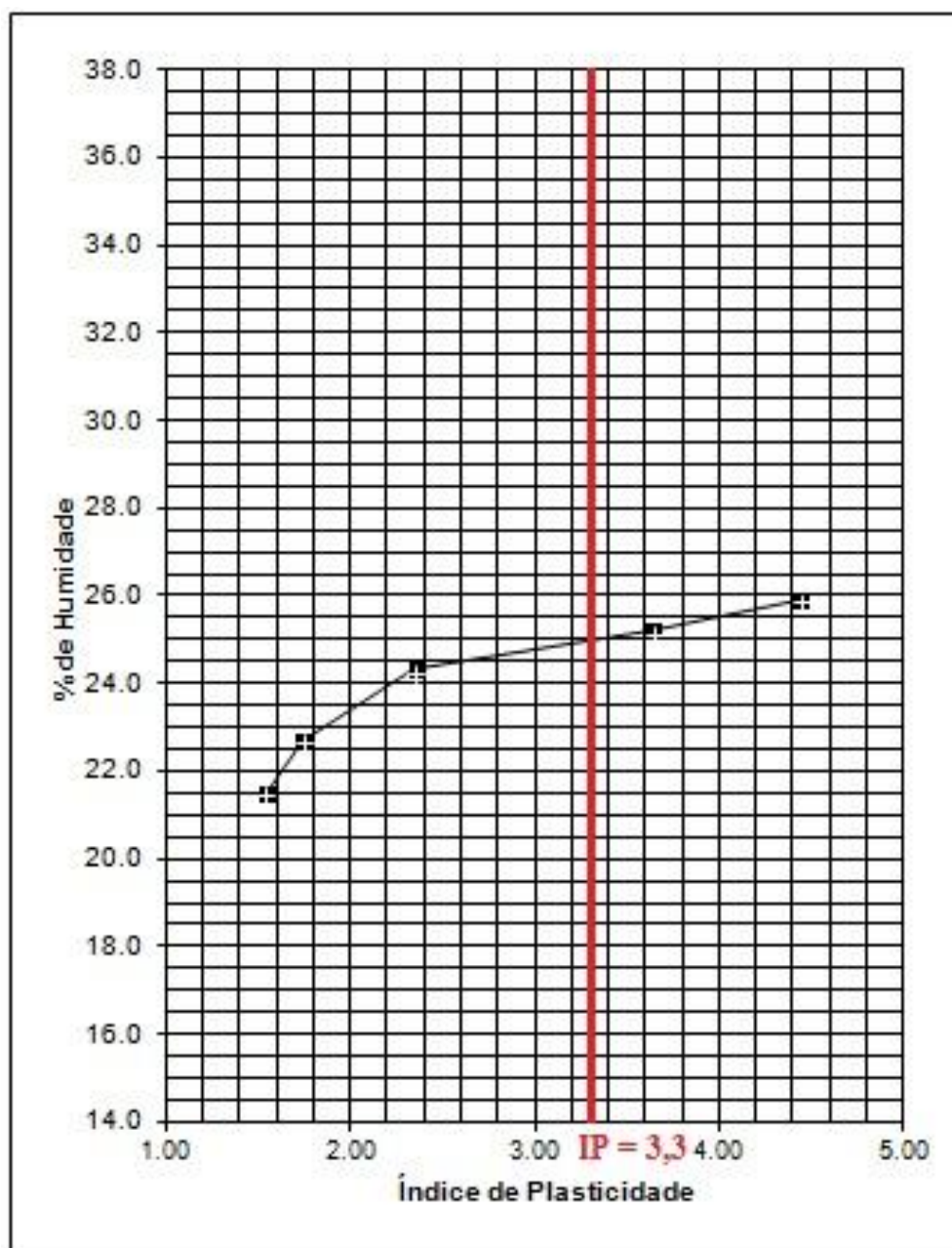


Gráfico de Pfefferkorn da matéria-prima argilosa Lagoa.

Valores dos Módulos de Rutura (MR) da Resistência Mecânica à Flexão das matérias-primas argilosas					
Amostras	MRseco (Kgf/cm ²)	MR T=850 °C (Kgf/cm ²)	MR T=950 °C (Kgf/cm ²)	MR T=1050 °C (Kgf/cm ²)	Observações
Biblio VV	23,06 ⁽¹⁾	136,92 ⁽²⁾	319,58 ⁽³⁾	409,78 ⁽⁴⁾	(1) Provete de cor chocolate, texturados; poucas superfícies de fratura (2) Provete de cor chocolate, texturados; poucas superfícies de fratura (3) Provete de cor castanho-escuro, texturados; poucas superfícies de fratura (4) Provete de cor castanho-escuro, texturados; poucas superfícies de fratura
Borba VV	21,45 ⁽¹⁾	78,60 ⁽²⁾	161,08 ⁽³⁾	184,84 ⁽⁴⁾	(1) Provete de cor castanho avermelhada, texturados; poucas superfícies de fratura (2) Provete de cor castanho avermelhada, texturados; poucas superfícies de fratura (3) Provete de cor castanho avermelhada, texturados; poucas superfícies de fratura (4) Provete de cor castanho avermelhada, texturados; poucas superfícies de fratura
Lagoa	33,25 ⁽¹⁾	116,00 ⁽²⁾	291,93 ⁽³⁾	374,34 ⁽⁴⁾	(1) Provete de cor de tijolo refratário, lisos; poucas superfícies de fratura (2) Provete de cor de tijolo refratário, lisos; poucas superfícies de fratura (3) Provete de cor de tijolo refratário, lisos; poucas superfícies de fratura (4) Provete de cor de tijolo refratário, texturados; poucas superfícies de fratura

Valores dos Módulos de Ruptura (MR) da Resistência Mecânica à Flexão das pastas cerâmicas cozidas a duas temperaturas				
Amostras	MRseco (Kgf/cm ²)	MR T=850 °C (Kgf/cm ²)	MR T=950 °C (Kgf/cm ²)	Observações
Pasta nº 1	16,40 ⁽¹⁾	83,50 ⁽²⁾	256,34 ⁽³⁾	(1) Provetes de cor castanha, lisos; pouco fissurados e sem superfícies de fratura (2) Provetes de cor castanho alaranjado, lisos; pouco fissurados e com poucas superfícies de fratura (3) Provetes de cor castanho-escuro, lisos; com poucas superfícies de fratura
Pasta nº 2	17,75 ⁽¹⁾	70,45 ⁽²⁾	256,28 ⁽³⁾	(1) Provetes de cor castanha, texturados; pouco fissurados e sem superfícies de fratura (2) Provetes de cor castanho alaranjado, texturados; pouco fissurados e com poucas superfícies de fratura (3) Provetes de cor castanho-escuro, levemente texturados; com poucas superfícies de fratura
Pasta nº 3	22,35 ⁽¹⁾	69,97 ⁽²⁾	208,06 ⁽³⁾	(1) Provetes de cor castanha, lisos; pouco fissurados e sem superfícies de fratura (2) Provetes de cor castanho alaranjado, lisos; com algumas fissurações e sem superfícies de fratura (3) Provetes de cor castanho alaranjado, levemente texturados; sem superfícies de fratura

Valores dos Módulos de Rutura (MR) da Resistência Mecânica à Flexão das pastas cerâmicas cozidas a três temperaturas					
Amostras	MRseco (Kgf/cm ²)	MR T=850 °C (Kgf/cm ²)	MR T=950 °C (Kgf/cm ²)	MR T=1050 °C (Kgf/cm ²)	Observações
Pasta nº 4	24,67 ⁽¹⁾	67,97 ⁽²⁾	269 ⁽³⁾	308,87 ⁽⁴⁾	(1) Provetes de cor castanha, texturados; poucas superfícies de fratura (2) Provetes de cor laranja, lisos; com algumas fissuras e sem superfícies de fratura com algumas inclusões calcárias (3) Provetes de cor castanha, texturados; sem fissuras e com algumas superfícies de fratura; algumas inclusões calcárias (4) Provetes de cor castanho-escura, texturados; sem fissuras e com poucas superfícies de fratura
Pasta nº 5	23,28 ⁽¹⁾	73,38 ⁽²⁾	274 ⁽³⁾	325,56 ⁽⁴⁾	(1) Provetes de cor castanha, texturados; poucas superfícies de fratura (2) Provetes de cor laranja, lisos; com algumas fissuras e sem superfícies de fratura com algumas inclusões calcárias (3) Provetes de cor castanha, texturados; sem fissuras e com algumas superfícies de fratura; algumas inclusões calcárias (4) Provetes de cor castanho-escura, texturados; sem fissuras e com poucas superfícies de fratura