Universidade do Minho

Instituto de Ciências Sociais

Maria de Fátima Soares Pacheco

Arqueometalurgia dos artefactos em ferro provenientes da zona arqueológica das Carvalheiras

Relatório de Estágio de Mestrado Arqueologia

Trabalho efectuado sob a orientação de
Doutora Carla Maria Braz Martins

Março 2017

DECLARAÇÃO

Nome: Maria de Fátima Soares Pacheco

Endereço eletrónico: fatima.p@outlook.pt

Telefone: 915971696

Número do Cartão de Cidadão: 14167445 8 zy3

Título da Tese de Mestrado:

Arqueometalurgia dos artefactos em ferro provenientes da zona arqueológica das Carvalheiras

Orientadora:

Doutora Carla Maria Braz Martins

Ano de conclusão: 2017

Ramo do Conhecimento do Mestrado:

Arqueologia

DE ACORDO COM A LEGISLAÇÃO EM VIGOR, NÃO É PERMITIDA A REPRODUÇÃO DE QUALQUER PARTE DESTA TESE.

Universidade do Minho, 03 / Março / 2017

Assinatura: _____

Agradecimentos

Este é, sem dúvida, o ponto deste trabalho mais complicado de escrever. São imensas as pessoas a quem tenho de agradecer por me terem apoiado e ajudado neste longo percurso e não quero, de todo, esquecer alguém.

O meu caminho na arqueologia nem sempre foi linear. Entrei na licenciatura em arqueologia seguindo a paixão por "coisas antigas" que vinha já de há muito tempo atrás. Não tinha (nem tenho) a experiência que é esperada e quase exigida a alguém que vai para arqueologia, mas consegui ter um percurso estável e adquirir imensos conhecimentos.

Com a aproximação da entrada no mestrado surge a dúvida sobre o tema que viria a servir de caminho para o resto da minha vida. Será que queria ou iria optar por um período ou um material? Romano, medieval, cerâmica, vidro? O que escolher? Surge a indecisão e as opiniões alheias.

Houve um certo período em que queria estudar vidro, andava fascinada com ele mas a minha entrada na *Signinum* mostrou-me as minhas verdadeiras paixões, os metais e a conservação e restauro. Um grande obrigada ao pessoal do laboratório de conservação e restauro da *Signinum*, principalmente à Sara Martins, Laura Pitt, Adriana Bastos, Ana Ferreira e ao Leonel Costa por me ajudarem durante todo o caminho pelo vasto mundo da conservação e restauro.

Não sendo possível (por razões agora óbvias) optar por um mestrado em conservação e restauro de material arqueológico optei por um mestrado no estudo dos metais.

Aqui agradeço ao Professor Doutor José Luiz Meireles Batista por me ter alertado com a sua calma e ponderação e me ter encaminhado para a minha atual orientadora, a Professora Carla Maria Braz Martins, pessoa que ele achava que melhor me poderia orientar no estudo dos metais e encontrar algo interessante nesse imenso mundo.

A primeira reunião e eu era um livro em branco. Sabia que queria estudar metais e nem estava bem consciente do que existia (a nível de material e de estudos já realizados). Olhando agora e pensando conscientemente, não censuro o medo em apostar em mim e relembro a cara da professora quando disse que não sabia o que queria estudar dentro dos materiais.

Surgiu a proposta de estudar objetos em ferro. Poderia dar um trabalho interessante e original, tendo em conta os poucos estudos existentes sobre o mesmo.

Depois desta escolha convivi com frases como "Ferro é o metal dos pobres", "E vais estudar o quê? Pregos e cavilhas?", "Podias ter escolhido um material mais bonito e com mais fácil acesso a bibliografia".

Para pessoas que me disseram isto tenho algumas palavras a dizer. Vivemos num mundo onde todos escolhem o mesmo e optamos pelo caminho mais fácil e é por isso que áreas como a arqueologia não evoluem. O ferro é um material muito interessante e merece ser estudado como todos os outros. O ferro não é, como vão poder ver neste trabalho, apenas pregos e cavilhas, existem pontas de lança, escudos, espadas, entre outros materiais que são tão belos como um vaso grego, uma lucerna romana ou uma fíbula castreja. A essas pessoas agradeço por optarem por outros materiais dando-me a oportunidade de desenvolver um trabalho original e que poderei aprofundar durante a minha vida.

Começo por agradecer profundamente à Professora Carla Maria Braz Martins por ter aceitado orientar-me neste momento da minha vida, e deste modo dar-me a grande oportunidade de fazer um trabalho original. Estou grata por todo o apoio que me deu ao longo deste tempo, por não ter desistido de mim quando soube da gravidez e tivemos de acelerar o processo. Peço desculpa se não cumpri as espectativas, se li pouco, se a deixei com algum cabelo branco, mas adorei trabalhar consigo, e foi uma honra ter sido sua orientanda.

Agradeço também à Dra. Isabel Silva, diretora do Museu de Arqueologia D. Diogo de Sousa, pelas facilidades concedidas na requisição das peças estudadas, principalmente as que se encontravam em exposição.

Ao pessoal do museu, sem exceção, mas principalmente ao Vítor Hugo e Clara Lobo pela paciência que sempre tiveram com as minhas dúvidas e partilha de conhecimentos, pelo apoio e pelo acompanhamento prestado ao longo do trabalho realizado no museu, e sobretudo pela sua simpatia.

Ao pessoal da Unidade de Arqueologia deixo também aqui o meu agradecimento pela disponibilidade demonstrada, principalmente à Engª Natália Botica sempre disponível para

resolver os problemas da base de dados, e à Drª Fernanda Magalhães por se prestar sempre livre para me tirar algumas das dúvidas que surgiram ao longo do trabalho.

Expresso a minha gratidão à diretora do Museu Geológico da UTAD Luísa Preto Gomes por ter permitido o acesso e fotografia de alguns materiais para este trabalho, ao director do departamento de geologia da UTAD Fernando Pacheco por ser a minha ligação à UTAD e me ter auxiliado na visita ao museu, e ao funcionário do museu Álvaro Pereira por me acompanhar nessa viagem, disponibilizando o seu tempo e conhecimento.

Agradece-se também ao Doutor Pedro Tavares do Departamento de Química da UTAD pela realização das análises efetuadas, e ao Eng.º José Inácio Ferrão de Paiva Martins do Departamento de Química da FEUP pela interpretação das mesmas e contributo numa área do saber díspar da Arqueologia, mas sua complementar.

Deixo aqui um agradecimento do fundo do coração aos meus amigos, principalmente à Catarina Castro, colega de turma por me apoiar sempre e me ajudar quando a cabeça estava mais confusa, Hugo Moura por estar sempre disponível para me ouvir desabafar, à Leila Santos por me apoiar sempre mesmo estando longe.

Ao Nuno Oliveira e João Fernandes pelas suas opiniões sinceras.

À minha avó Julieta Pacheco um muito obrigada por me ouvir nos meus desvaneios com a escrita e leitura.

Aos meus pais, Fernando Pacheco e Paula Pacheco, por serem o meu exemplo de vida. Obrigada por sempre terem apoiado a minha decisão de ir para arqueologia e tornarem esse sonho possível. Obrigada Pai por seres, a nível científico o bem exemplo, a minha base. Obrigada Mãe por me mostrares que uma mãe consegue fazer tudo, por seres o meu exemplo materno.

Ás minhas irmãs Lara e Sofia por me apoiarem, apesar de pouco presentes devido à distância.

À minha irmã Alzira por estar sempre disponível, pelas longas horas de conversa nos cafés, pelos passeios, apenas porque precisávamos de desanuviar.

Ao meu companheiro de vida Rúben Teixeira agradeço com todo o meu coração pelo apoio ao longo deste percurso, pela paciência, por me acalmar nos dias maus, por me levantar quando me viu prestes a desistir. Por me fazer sorrir nos dias cinzentos e nos dias soalheiros.

Por último, agradeço ao meu filho Alexandre que, mesmo sem perceber o que se passa e ter passado grande parte do tempo desta parte final do percurso dentro do meu ventre, por ser a minha força, por me alegrar os dias com o seu sorriso sincero e sem maldade.

Resumo

Arqueometalurgia dos artefactos em ferro provenientes da zona arqueológica das Carvalheiras

Este trabalho é o resultado do estudo de um conjunto de peças em ferro intitulado "Arqueometalurgia dos artefactos em ferro provenientes da zona arqueológica das Carvalheiras, um local arqueológico romano com uma ocupação desde 70 d.C. até ao século V d.C., que se insere na emblemática cidade de *Bracara Augusta*. No entanto, os objetos estudados compreendem-se numa ampla cronologia desde o período romano à atualidade.

Os objetivos fundamentais a alcançar foram delineados e planeados cuidadosamente numa sequência lógica de etapas: 1) escolha e identificação do local e artefactos a estudar; 2) estudo dos artefactos, sua identificação, caracterização e funcionalidades; 3) e finalmente a caracterização da matéria-prima utilizada. A atenção focou-se nas tipologias e funções, mas também se procurou apurar as cronologias de cada um dos objetos.

A escolha deste tema centrado na identificação e classificação de artefactos de ferro pretendeu dar mais um contributo para o conhecimento da zona arqueológica das Carvalheiras em Braga.

Abstract

Archaeometallurgy of the iron artefacts from Carvalheiras archaeological area

This report is the outcome of a study entitled "Archaeometallurgy of iron artefacts from the archaeological zone of Carvalheiras", based on the investigation of a selected group of iron items. The Carvalheiras area is a Roman archaeological site occupied from 70 A.C. until the Vth century A.D., situated within the emblematic city of *Bracara Augusta*. Nevertheless, the objects studied are understood in a wide chronology from the Roman period to the present time.

The objectives of this work have been carefully delineated and planned as one logical sequence of steps: 1) site and artefact selection and identification; 2) detailed examination of all the artefacts, their identification, characterization, and funcionalities; 3) finally, characterization of raw-materials used to produce the artefacts. Special attention has been given to typology and functions, and also to chronologies of each object.

The choice of a theme focused on the identification and classification of iron artefacts aims a better understanding on the Carvalheiras archaeological area in Braga.

Índice

Agradecimentos ii

Resumo vii

Abstract viii

1. Introdução 1

2. Introdução ao estudo dos objetos em ferro das Carvalheiras 5

2.1. Estado da arte 7

2.2. Objetivos e objeto de estudo 9

2.2.1. Objectivos 9

2.2.2. Objeto de estudo 10

2.3. Metodologia 12

2.4. Contexto dos objetos em estudo 16

2.4.1. Carvalheiras 16

2.4.2. O ferro 22

2.4.2.1. Caracterização do ferro 27

2.4.2.2. Extração do minério de ferro 30

2.4.2.3. Tratamento e metalurgia do minério de ferro 33

2.4.2.4. A transformação do ferro 47

3. Análise funcional e tipológica dos materiais estudados 49

3.1. Função - materiais de construção 60

3.1.1. Cavilhas romanas 60

3.1.2. Pregos romanos 61

3.1.3. Grampos romanos 62

3.1.3.1. Grampo de revestimento 62

3.1.3.2. Grampo de pedra 63

3.1.4. Ganchos romanos 63

3.1.4.1. Gancho de espigão 64

3.1.4.2. Gancho de manilha 64

3.1.5. Chaves 64

3.1.5.1. Chave de fechadura de tranca romana 65

3.1.5.2. Chave de fechadura em alavanca ou chaves rotativas contemporâneas 65

3.1.6. Dobradiças 66

3.1.6.1. Dobradiça romana 66

3.1.6.2. Dobradiça contemporânea 66

3.1.7. Ferrolho contemporâneo 67

3.1.8. Argola romana 67

3.2. Função – carpintaria (buril contemporâneo) 69

3.3. Função – doméstica 70

3.3.1. Colher contemporânea 70

3.3.2. Faca romana 71

3.3.3. Cutelo contemporâneo 72

3.3.4. Gramalheiras 73

3.3.4.1. Gramalheira romana 73

3.3.4.2. Gramalheira contemporânea 73

3.3.5. Espeto romano 74

3.3.6. Fechadura contemporânea 75

3.3.7. Grelha contemporânea 75

3.3.8. Martelo contemporâneo 76

3.3.9. Asas de sítula romanas 77

3.3.10. Argolas romanas 77

3.4. Função – adorno 79

3.4.1. Fivelas 79

3.4.1.1. Fivela romana 79

3.4.1.2. Fivela medieval 79

3.4.2. Anel romano 80

3.5. Função – decorativa (apliques romanos) 81

3.6. Função – agrícola 82

3.6.1. Foice roçadeira contemporânea 82

3.6.2. Machado contemporâneo 83

3.6.3. Cabo contemporâneo 83

3.6.4. Balança romana 84

3.7. Função - pecuária 86

3.7.1.Ferradura contemporânea 86

3.7.2. Chocalhos romanos 87

3.7.3. Tesoura romana 88

3.7.4. Pente de ripar contemporâneo 89

3.8. Função – pesca (fateixa romana) 90

3.9. Função – metalúrgica (copela romana) 91

3.10. Função - militar 92

3.10.1 Colchetes romanos 93

3.10.2. Pilum romano 94

4. Discussão dos resultados 97

4.1. Cronologias 99

4.2. Funções e tipologias 105

4.3. Tecnologia 106

4.4. Análises efectuadas 110

5. Considerações finais 119

Bibliografia 125

WEBSITES: 139

Anexos 141

Anexo 1. Inventário dos artefactos estudados 143

Anexo 2. Análise dos produtos de corrosão dos materiais estudados 183

Anexo 3. Resultados das análises realizadas 195

Anexo 3.1. Imagens das micrografias de MEV das amostras objeto de estudo.....197

Anexo 3.2. *Espectros de difração de raios-X das amostras objeto de estudo* Identificação das espécies realizada através do Software HighScore Plus com o banco de dados ICDD.....200

Índice de Figuras

Figura 1: Localização das Carvalheiras na malha urbana de *Bracara Augusta*. 16

Figura 2: Epígrafe proveniente da Capela de Stª Ana, Braga (Museu D. Diogo de Sousa, nº inv. 1992/0601) datada de 42-44 d.C.. Fotografia: Museu D. Diogo de Sousa / Manuel Santos. 17

Figura 3: Sítio arqueológico atual das Carvalheiras. 18

Figura 4: Esquema de planta da *domus* construída no séc. I d.C.. 19

Figura 5: Localização das Carvalheiras na cidade romana e medieval. 20

Figura 6: a) Forja (fotografia in www.freepik.es). b) Ponte D. Luís, Porto. 22

Figura 7: Exemplar de ferro meteorítico proveniente de Foum Zguid, Marrocos (exemplar gentilmente cedido para estudo pelo Dr. Victor Hugo, MDDS). 23

Figura 8: Localização dos escoriais, ferrarias e minas, identificados até ao presente, nos concelhos de Torre de Moncorvo e Freixo de Espada-a-Cinta. 26

Figura 9: Diagrama de fases Fe-Fe_3C (adaptado de Askeland e Phulé, 2003). 27

Figura 10: Minérios de ferro. 29

Figura 11: Escombreira do Carvalhal, Torre de Moncorvo. 30

Figura 12: Planta da concessão das minas de ferro de Guadramil, Bragança (Arquivo do Laboratório Nacional de Energia e Geologia, LNEG, S. Mamede de Infesta). 31

Figura 13: Minas de Guadramil, Bragança. 32

Figura 14: Esquema de forno pré-romano (Martins, 2008: 79, fig. 24, com base em Fernández Jurado, 1988-89: 184, fig.2). 34

Figura 15: Diferentes tipologias de fornos para metalurgia do ferro estudados e publicados por R. Pleiner (1997). 35

Figura 16: Recreação de um forno romano. Legenda: 1 - poço ou fossa; 2 - paredes de argila refratária; 3 - muro periférico; 4 - enchimento de areia; 5 - tubeiras ou agulhetas; 6 - palha e galhos para a ignição; 7 - camadas alternadas de plantas e carvão; 8 - buraco de sangramento (Fernández-Posse et al, 2002: 125). 36

Figura 17: Escorial Souto da Velha, Torre de Moncorvo. 37

Figura 18: Aço 1040: 0.37-0.44% C; 0.6-0.9% Mn; 0.04% máx. P; 0.05% máx. S; rest. Fe. Transformações perlítica e martensítica (Martins, 2015). 38

Figura 19: Velocidade de difusão e solubilidade do carbono no ferro (Martins, 2015). 39

Figura 20: Processo de têmpera superficial do ferro (Martins, 2015). 40

Figura 21: Forno para metalurgia do ferro detetado nas intervenções arqueológicas de Aldeia Nova / Olival dos Telhões, Almendra, Vª Nª de Foz Côa (Fotografia: Cosme e Martins, 2000: est. III n.º 5). 41

Figura 22: Forja catalã (in: www.enciclopedia.cat). 42
Figura 23: Esquema de alto-forno (Isenmann, s.d.: fig. 2). 44
Figura 24: Síntese das técnicas de modelação (adaptado de Callister, 2007). 47
Figura 25: Síntese das técnicas de fundição (adaptado de Callister, 2007). 48
Figura 26: Síntese das técnicas de junção (adaptado de Callister, 2007). 48
Figura 27: Exemplo de cavilha (nº inv. 1992.0297, romana). 60
Figura 28: Exemplo de prego (nº inv. 1994.0331, romano). 61
Figura 29: Exemplo de grampo (nº inv. 1992.0229, romano). 62
Figura 30: Exemplo de gancho (nº inv. 1991.7128, romano). 63
Figura 31: Exemplo de chave (nº inv. 1992.0208, contemporânea). 64
Figura 32: Exemplo de dobradiça (nº inv. 1995.0291, romana). 66
Figura 33: Ferrolho (nº inv. 2008.0651, contemporâneo). 67
Figura 34: Argola de prisão (nº inv. 2001.0034, romana). 67
Figura 35: Buril (nº inv. 2002.0712, contemporâneo). 69
Figura 36: Colher (nº inv. 1995.0304, contemporânea). 70
Figura 37: Faca (nº inv. 2000.0308, romana). 71
Figura 38:Cutelo (nº inv. 2003.0165, contemporâneo). 72
Figura 39: Relevo em mármore de 130 d.C. proveniente de Dresden, Skulpturensammlung [Albertinum]), Inv. No. 415 (Fotografia de DAI in Büttner, Jochen, Ancient balances at the Nexus of innovation and knowledge. Max Planck Institute for the History of Science, in https://www.mpiwg-berlin.mpg.de/en/news/features/features-feature32). 72
Figura 40: Exemplo de argola e gancho de suspensão de gramalheira (nº inv. 2001.0117, época). 73
Figura 41: Exemplo de espeto (in Manning, 1985: Plate 51). 74
Figura 42: Lingueta de fechadura (nº inv. 2008.0650, contemporânea). 75
Figura 43: Exemplo de ferro de engomar contemporâneo. 75
Figura 44: Cabeça de martelo de orelhas (nº inv. 2003.0167, contemporâneo). 76
Figura 45: Exemplo de asa de sítula (nº inv. 1992.0206, romano). 77
Figura 46: Argola. (nº inv. 2003.0047, romano). 78
Figura 47: Gancho de uso doméstico (nº inv. 1994.0532, romano). 78
Figura 48: Exemplo de fivela (nº inv. 2001.0053, época). 79
Figura 49: Anel de mesa (nº inv. 2001.0120, romano). 80
Figura 50: Aplique ovalado (nº inv. 2001.0089, romano). 81
Figura 51: Aplique com cravos (nº inv. 1991.7147, romano). 81

Figura 52: Foice (nº inv. 2003.0164, contemporânea)..... 82
Figura 53: Encaixe para encabamento de machado (nº inv. 2003.0166, contemporâneo). 83
Figura 54: Encaixe de encabamento de utensílio (nº inv. 1995.0289, contemporâneo). 83
Figura 55: Uma das mais antigas representações de balança de dois pratos, proveniente de um túmulo egípcio da 6ª Dinastia (2300 a.C.). (Fotografia: OIP 31, plate 30, Copyright The Oriental Institute of The University of Chicago, in Büttner, Jochen, Ancient balances at the Nexus of innovation and knowledge. Max Planck Institute for the History of Science, in https://www.mpiwg-berlin.mpg.de/en/news/features/features-feature32). 84
Figura 56: Ferradura (nº inv. 2003.0144, contemporânea). 86
Figura 57: Exemplo de chocalho (nº inv. 1991.1747, romano). 87
Figura 58: Tesoura (nº inv. 1992.0027, romano). 88
Figura 59: Exemplo de pente de ripar (in Martins, 1999: 21 n.º 8). 89
Figura 40: Fateixa (nº inv. 1992.0230, romana)..... 90
Figura 61: a) copela (nº inv. 1992.0029, romana); b) fios de ouro..... 91
Figura 62: Representação do soldado romano nos altos-relevos do arco de Constantino em Roma, 312 d.C. (Fotografia in http://apuntes.santanderlasalle.es/arte/roma/escultura/arco_constantino.htm)..... 92
Figura 63: A) Esquema de armadura segmentada com colchetes (in Bishop e Coulston, 1993: 41, fig. 14). B) Colchete (nºs de inv. 1991.0888 e 1991.0976 romanos). 93
Figura 64: Exemplo de ponta de lança – *pilum* (fotografia in https://foxsword.wordpress.com/category/swordplay/arsenal/armas/). 94
Figura 65: Ponta de lança (nº inv. 1992.0077, romano). 95
Figura 66: Talon de lança romana – *pilum* (nº inv. 2001.0151, romano). 96
Figura 67: Engaste de cabo (nº inv. 1995.0292, romano). 96
Figura 68: Cavilha datada do séc. IV d.C., com o número de inventário 1995.0288. 110
Figura 69: Aplique datado do séc. III/IV d.C., com o número de inventário 1991.7147. 111
Figura 70: Diagrama de Pourbaix para o sistema Fe-H_2O a 25°C, para concentrações 1 M do ferro na forma catiónica ou aniónica (adaptado de Pourbaix, 1966). 187
Figura 71: Diagrama de Pourbaix a 25°C, atividades das espécies iónicas variando entre 1 e 10^{-6}, para os sistemas: A) Fe-H_2O (Pourbaix, 1966); B) Fe-H_2O-Cl^-, GR1, (Cl^-) = 0,55 (Refait, Ph et al., 1998); C) Fe-H_2O-CO_3^{2-}, [CO_3^{2-}] = 0,1 mol L^{-1} (Drissi et al., 1995); D) Fe-H_2O- SO_4^{2-}, GR2, (SO_4^{2-}) = 0,072 (Genin, 1996). 188
Figura 72: Correlação Eh-pH para os solos (adaptada de Krauskoft, 1967)..... 192
Figura 73 : Potenciais redox críticos para pares redox possíveis no solo (adaptada de DeLaune e Reddy, 2005). 193

Figura 74: Pilhas de corrosão nos solos: a) galvânica; b) e c) concentração diferencial; d) temperatura diferencial (Martins, 1999). 194

Índice de Tabelas

Tabela 1: Listagem dos objetos não identificados. 11
Tabela 2: Exemplos de ferros e aços correntes (Selwin, 2004). 46
Tabela 3: Funcionalidades dos artefactos estudados de época romana 52
Tabela 4:Funcionalidades dos artefactos estudados de época medieval. 54
Tabela 5: Funcionalidades dos artefactos estudados de época contemporânea..... 54
Tabela 6: Objetos em ferro de datação romana. 101
Tabela 7: Objetos em ferro da Idade Contemporânea. 104
*T*abela 8: Tecnologia de produção das peças estudadas. 106
Tabela 9: Síntese cronológica dos tipos de fornos e obtenção do ferro e do trabalho do metal..... 109
Tabela 10: Artefactos analisados microscopicamente. 112
Tabela 11: Amostras analisadas. 114
Tabela 12: Análise por MEV/EDX dos ferros das Carvalheiras. 115
Tabela 13: Potenciais redox de solos em várias condições de arejamento. 192

Índice de Gráficos

Gráfico 1: Distribuição do número de artefactos por função..... 56
Gráfico 2: Objetos de época romana por funcionalidade..... 57
Gráfico 3: Objetos de época contemporânea por funcionalidade. 57
Gráfico 4: Cronologia geral dos objetos de ferro. 100
Gráfico 5: Dispersão cronológica dos objetos romanos..... 103

1. Introdução

O objeto principal do presente estudo é um conjunto de artefactos em ferro proveniente das várias campanhas de intervenções arqueológicas realizadas na Zona Arqueológica das Carvalheiras entre 1982 e 2002. O vasto espólio exumado e depositado no Museu D. Diogo de Sousa, Braga, revelou objetos com diferentes utilizações e tipologias, assim como diferentes cronologias, compreendendo utensílios domésticos, agrícolas, construção, armamento e de adorno.

O estudo dos materiais metálicos, principalmente de ferro, tem sido depreciado, apesar da sua abundante existência nos espólios dos museus a nível mundial, grande parte ainda por estudar. Assim, a nossa abordagem centra-se na análise deste material descrevendo e classificando os artefactos selecionados.

Com esta investigação pretende-se, além da identificação e classificação dos artefactos selecionados, a identificação da matéria-prima. A recognição destes materiais poderá vir a auxiliar o estudo do quotidiano da cidade de *Bracara Augusta*, tendo em conta que estão associados as várias atividades do dia-a-dia da sociedade em várias épocas cronológicas que não somente a romana.

Neste contexto, pretende-se compreender o papel do ferro no dia-a-dia da *domus* das Carvalheiras e da cidade romana de *Bracara Augusta*, já que a maior parte das peças estudadas são do período romano, não descurando os das épocas cronológicas posteriores. Surgem assim questões como que tipo de material utilizado, e a funcionalidade que desempenharia no quotidiano da sociedade. Este trabalho procura, na medida do possível, dar resposta a todas essas interrogações que foram surgindo.

Após a seleção da amostragem procedeu-se à observação dos artefactos, preenchendo a respetiva ficha de inventário para posterior catalogação, desenho e fotografia dos mesmos.

O presente relatório encontra-se organizado em três blocos fulcrais, contemplando tabelas, gráficos e fotografias que completam e facilitam a sua compreensão.

Numa primeira parte, efetua-se uma introdução ao estudo dos objectos em ferro nas Carvalheiras (Capítulo 2), compreendendo o estado da arte sumário, os objectivos deste trabalho e metodologia abordada. Também se considerou importante realizar uma abordagem ao contexto de estudo em duas vertentes: a primeira relacionada com a *domus* das Carvalheiras; e

a segunda com o ferro, matéria-prima utilizada nos artefactos em estudo, incluindo a sua caracterização, e breve abordagem ao processo de extracção e tratamento metalúrgico do minério de ferro, necessária para o entendimento dos processos de obtenção e trabalho dos ferros em estudo.

Numa segunda parte, Capítulo 3, realizou-se uma análise funcional e tipológica dos materiais estudados, que teve por base um inventário inicial, com a caracterização de cada uma das peças, fotografias e seus desenhos.

Na terceira parte, Capítulo 4, procede-se à discussão dos resultados, nas suas diferentes vertentes, desde a cronologia, métodos de obtenção dos ferros e seu tratamento posterior, assim como das análises efetuadas.

Este trabalho termina enunciando as principais conclusões resultantes do trabalho realizado, bibliografia, e anexos; estes últimos compreendem: 1) inventário das peças estudadas, com sua identificação e caracterização individual, 2) análise dos produtos de corrosão, 3) interpretação dos resultados obtidos.

2. Introdução ao estudo dos objetos em ferro das Carvalheiras

2.1. Estado da arte

O estudo da zona arqueológica das Carvalheiras iniciou-se em 1984 quando a Dr.ª Manuela Delgado e o Doutor Francisco Sande Lemos publicaram as primeiras notícias das campanhas de escavação feitas no local.

Em 1997/98 a Professora Doutora Maria Manuela Martins publica nos Cadernos de Arqueologia "A zona arqueológica das Carvalheiras. Balanço das escavações e interpretação do conjunto", onde faz uma revisão geral de tudo o que foi escavado até à data.

Alguns dos materiais encontrados durante as várias intervenções já se encontram estudados, designadamente os objetos de adorno por Mário Lourenço (2012) no seu relatório de estágio de mestrado - "Objetos do quotidiano de *Bracara Augusta*"; as estruturas arquitetónicas por Jorge Ribeiro (2010) na sua dissertação de doutoramento - "Arquitectura romana em *Bracara Augusta*. Uma análise das técnicas edilícias" abordando os materiais e técnicas construtivas; e também por Fernanda Magalhães (2010) na sua tese de mestrado - "Arquitectura doméstica em *Bracara Augusta*" destinada ao estudo da arquitetura romana.

As ânforas exumadas foram do mesmo modo alvo de estudo por Rui Morais (1998) na sua dissertação de mestrado - "As ânforas da zona das Carvalheiras: contribuição para o estudo das ânforas romanas de *Bracara Augusta*", e as moedas por Luís Amaral (2007) na sua dissertação de mestrado - "As moedas das Carvalheiras: contributo para o estudo da circulação monetária em *Bracara Augusta*".

Finalmente José da Silva estudou a fundo a insula das Carvalheiras em 2000 na sua tese de mestrado - "A ínsula das Carvalheiras: estudo de um exemplo de arquitetura privada em *Bracara Augusta*".

Em relação ao ferro, existem vários estudos sobre as suas características e diferentes tipos de ferro. Uma das obras mais utilizada para a caracterização deste material foi a de Lyndsie Selwyn (2004), "Metals and corrosion: a hand-book for the conservation professional", que descreve os tipos de ferro e as formas de corrosão a que ficam sujeitos de acordo com a situação em que se encontrem.

Todo o processo de mineração foi descrito detalhadamente em 1556 por Georgius Agricola na sua obra "De re metallica", e mais recentemente na obra de Antony Brown, Jenny Bennett and Edward Rhodes (2009) - "Roman mining on Exmoor: a geomorphological approach

at Anstey's Combe", em que é descrita um possível esquema de laboração da mineração de ferro na região de Exmoor no Sul da Inglaterra.

O processo metalúrgico é também ele bastante complexo, e foi-se desenvolvendo ao longo dos tempos em função da evolução tecnológica. Para a sua compreensão foram utilizadas uma série de obras relacionadas com o trabalho do ferro, nomeadamente a obra de Giovanna Fregni (2014) - "The archaeology of metalworking: fieldworkers practical guide", de Jean-Claude Blanchet (1984) - "Les preniers metallurgites en Pircardie et dans le Nord de la France: chalcolithique, age du bronze et debut du premier age du fer", e de Hamady Bocoum (2004) - "The origin of iron metallurgy in Africa. New light on its antiquity: West and Central Africa". É de referir que em "De re metallica" de Georgius Agricola, além do processo de mineração é também descrito o processo de metalurgia e trabalho do ferro.

Para a classificação de tipologias e catalogação foi de extrema importância a consulta das seguintes obras: Anika Duvauchelle (2005) - "Les outils en fer du musée romain d'Avenches"; William Manning (1985) - "Catalogue of romano-British iron tools, fittings and weapons in the British Museum"; Diderot e de Alembert (2002) - "Recueil de planches, sur les sciences, les arts libéraux, et les arts méchaniques, avec leur explication: travail du fer"; Manuela Delgado (1970) - "Elementos de sítulas de bronze de Conimbriga"; Miguel Pessoa e Lino Rodrigo (2004) - "Catálogo espaço-museu Villa Romana do Rabaçal", e Jane Waldbaum (1983) - "Metalwork from Stirdis: the finds through 1974".

Em relação ao ferro em Portugal, já se efetuaram muitos trabalhos principalmente relacionados com a área de Torre de Moncorvo, como seja o catálogo do Museu do Ferro e da Região de Moncorvo (2002), que contou com a contribuição de Jorge Custódio no estudo das minas de ferro de Torre de Moncorvo, assim como ainda deste autor em parceria com G. Monteiro de Barros o trabalho - "O ferro de Moncorvo e o seu aproveitamento através dos tempos" (1984).

Mais recentemente foi elaborado um estudo referente à "Mineração e metalurgia do ferro em Trás-os-Montes (Norte de Portugal) na época romana" por Francisco Sande Lemos e Carla Maria Braz Martins, onde é apresentada uma nova abordagem à mineração e metalurgia do ferro em Trás-os-Montes Oriental, com base em dados analíticos de Torre de Moncorvo e de intervenções arqueológicas (Lemos, F.S. e Martins, C. M. B., 2011: 243).

2.2. Objetivos e objeto de estudo

2.2.1. Objectivos

O presente trabalho tem, como principal objetivo contribuir para um melhor conhecimento sobre os artefactos de ferro provenientes da intervenção arqueológica nas Carvalheira em Braga, procurando complementar os dados já existentes.

Deste modo, o foco do trabalho é:

1 – Identificar, caracterizar e classificar os artefactos em ferro provenientes do sítio arqueológico já mencionado – Carvalheiras, Braga;

2 – Identificar as tipologias e funcionalidades de cada um dos objetos;

3 – Identificar, da forma mais precisa possível, as cronologias de cada um dos objectos;

3 – Caracterizar quimicamente o ferro utilizado no fabrico dos diferentes objetos;

4 – Identificar os mecanismos de corrosão e avaliação da sua conservação.

2.2.2. Objeto de estudo

O objeto de estudo neste trabalho são 73 artefactos em ferro provenientes do sítio arqueológico das Carvalheiras, independentemente da sua datação cronológica, e que se encontram depositados no Museu D. Diogo de Sousa, Braga (Figura 1).



Figura 1: Algumas das peças estudadas.

A falta de estudos sobre ferros que são, muitas das vezes, menosprezados, foi um incentivo para a elaboração deste trabalho. Tendo em conta que grande parte dos espólios dos museus, para além dos fragmentos cerâmicos, são compostos por peças em ferro, os catálogos sobre os mesmos escasseiam. Foi então de suma importância para a catalogação dos ferros das Carvalheiras os trabalhos de Anika Duvauchelle (2005), "Les outils en fer du musée romain d'Avenches", de William Manning (1985), "Catalogue of romano-British iron tools, fittings and weapons in the British Museum", de Diderot e de Alembert (2002), "Recueil de planches, sur les sciences, les arts libéraux, et les arts méchaniques, avec leur explication: travail du fer", de Manuela Delgado (1970), "Elementos de sítulas de bronze de Conimbriga", de Miguel Pessoa e

Lino Rodrigo (2004), "Catálogo espaço-museu Villa Romana do Rabaçal" e de Jane Waldbaum (1983), e "Metalwork from Stirdis: the finds through 1974".

Como objetivos inicialmente delineados, estabeleceu-se que seria primordial averiguar a identificação, tipologia e funcionalidade de cada objeto, determinando a sua cronologia. No entanto, entre o universo das 73 peças não foi possível identificar 9, uma vez que se apresentam como massas disformes resultante de uma corrosão acentuada, ou como simples chapas / placas fragmentadas que poderão ter servido um sem número de tipologias / funcionalidades (Tabela 1).

Tabela 1: Listagem dos objetos não identificados.

Nº Inventário	Placa de secção retangular	Placa de secção ovalada	Massa disforme
1992.0205	X		
1995.0282	X		
1995.0287		X	
2001.0030	X		
2001.0073	X		
2001.0122	X		
2002.0724	X		
2002.0726			X
2002.0124	X		

2.3. Metodologia

Das peças provenientes das intervenções arqueológicas nas Carvalheiras realizadas entre 1983 e 2002, e que se encontram em reserva no Museu de Arqueologia D. Diogo de Sousa, Braga, foram escolhidas as que se encontram catalogadas como especiais, devido ao seu bom estado de conservação e / ou tendo sido sujeitas a tratamento de conservação e restauro, designadamente um grupo composto por 73 peças, encontrando-se 15 em exposição permanente e 58 em reserva.

Este critério de selecção de peças, teve como consequência a não observância de cânones cronológicos, pelo que sob o ponto de vista cronológico foram englobadas também peças de períodos que não unicamente o romano, mas também de períodos posteriores. Apesar desta consciência, considerou-se importante a análise de peças de outros períodos, uma vez que existem tipologias e funções que se vão mantendo ao longo dos tempos.

O trabalho realizado teve várias fases: 1) recolha de dados e sua interpretação, 2) realização de análises, e 3) discussão dos resultados.

Assim:

1) A recolha de dados iniciou-se com uma pesquisa bibliográfica quer sobre a zona arqueológica das Carvalheiras, local de onde provêm os materiais, quer sobre o ferro, matéria-prima dos objetos abordados. Posteriormente, as 73 peças selecionadas foram inventariadas numa ficha descritiva e individual, da Unidade de Arqueologia da Universidade do Minho, com os seguintes elementos:

- Identificação da peça, compreendendo o número de inventário, atribuído pelo Museu D. Diogo de Sousa, a designação da peça e sua descrição, tendo-se recorrido à bibliografia para a utilização dos termos descritores, fotografia e desenho;
- Localização, relativa aos dados da proveniência da peça em contexto arqueológico, ou seja, a sondagem, unidade estratigráfica, e complexo;
- Cronologia, tentando ser o mais precisa possível, atendendo ao contexto estratigráfico, materiais que com a peça em causa foram exumados e suas cronologias, e correlacionando com as fases (re)construtivas da *domus* das Carvalheiras;
- Caracterização, que engloba:
    - matéria-prima utilizada, que no presente estudo é o ferro,

  - tipologia, tendo-se recorrido à bibliografia existente para cada uma das épocas cronológicas, mas também a paralelos actuais e etnográficos,
  - função da peça, tendo-se considerado a sua função principal, admitindo-se que a mesma possa deter outras, o que é explícito no Capítulo 3,
  - dimensões gerais da peça e de algum elemento em particular em milímetros, e o peso expresso em gramas;
- Bibliografia, com as referências específicas para a peça em estudo e / ou respetivos paralelos;
- Depósito, local onde as peças em estudo se encontram, que neste caso é o Museu D. Diogo de Sousa, Braga.

A pesquisa bibliográfica permitiu recolher todos os aspetos concretos para caracterizar a descrição dos objetos, o que nem sempre foi passível de ser observado diretamente na peça.

Para além das fontes bibliográficas constantes da bibliografia, foram utilizadas mais duas bases de dados online como orientação:

- Matriznet – Direção Geral do Património Cultural (DGPC), com informação relevante sobre alguns objetos existentes em museus portugueses, (http://www.matriznet.dgpc.pt/matriznet/home.aspx);
- Collection online – British Museum, com informação importante de bastantes artefactos depositados em diversos museus de vários pontos do mundo, (http://www.britishmuseum.org/research/collection_online/search.aspx).

A pesquisa nestas bases de dados permitiu-nos visualizar alguns dos objetos na totalidade quando o seu formato era mais duvidoso, enquanto que a bibliografia forneceu os elementos descritores para cada uma das peças.

A identificação da tipologia de cada um dos objectos foi um elemento essencial para a definição das diferentes categorias: material de construção, carpintaria, doméstica, adorno, decorativa, agrícola, pecuária, pesca, metalurgia e militar, associadas a diferentes atividades patentes no dia a dia em qualquer sociedade.

A funcionalidade das peças encontra-se interligada com a definição das diversas categorias correlacionadas com as atividades supramencionadas. Claro está que em relação a

certas peças não foi viável reconhecer qual a sua função, já que a sua tipologia não foi aferida, pelo que foram consideradas como indeterminadas.

O capítulo 3 é então concretizado com uma análise funcional e tipológica das peças estudadas, com um critério do geral – função, para o particular – tipologia, ou seja dentro de uma mesma função, que diferentes tipologias de peças podem existir, dentro, obviamente, das estudadas.

Para além do reconhecimento da tipologia, houve também o cuidado de identificar, sempre que exequível, todas as partes constituintes da peça tendo em vista uma normalização de terminologia.

Ainda nesta fase, houve a necessidade de efectuar o agrupamento de peças consoante as suas diferentes cronologias, mas respeitando os critérios já referidos.

2) Realização de análises para uma melhor caracterização da matéria-prima utilizada:

- Seleção e preparação das amostras para observação microscópica e análise quantitativa dos elementos químicos presentes, que compreendeu:

    - Todas as peças estudadas foram observadas microscopicamente, trabalho efectuado no Museu D. Diogo de Sousa, com um microscópio estéreo Stemi SV 11, da Zeiss, com lentes de aumento de 0.6x to 6.6x (11:1);

    - Foram seleccionadas 12 amostras provenientes de 12 peças, seleccionadas segundo um critério de não danificar a peça em causa, para uma análise quantitativa dos elementos químicos presentes.

- Numa segunda fase, das peças observadas microscopicamente, e tendo em conta os resultados obtidos, considerou-se pertinente a selecção de seis peças, designadamente as com os nºs de inventário 1992.0076, 2001.0151, 1995.0292, 1995.0289, 2003.0165, 2003.0167, que tendo revelado vestígios de madeira, foram fotografadas com uma máquina fotográfica Canon EOS 600D acoplada ao microscópio
- As 12 amostras seleccionadas para análise por microscopia eletrónica de varrimento (MEV) e análise por espectroscopia de energia dispersiva de raios-X (EDX) foram

realizadas no CEMUP – Centro de Estudo de Materiais da Universidade do Porto, com um equipamento FEI Quanta 400FEG, equipado com uma sonda de microanálise EDAX Genesis X4M, e no laboratório do centro de Química da Universidade de Trás-os-Montes e Alto Douro, Vila Real, pelo método de difração de raios X, com o equipamento PANalytical X´Pert Pro MPD munido de um detector X'Celerator e monocromador secundário (Cu Kα = 0,154 nm, 40 KV, 30 mA, dados registados com passo 0,017, 100 s / passo).

- Os resultados obtidos até então, atribuição de tipologias e cronologias, assim como os conseguidos através das análises realizadas permitiram efetuar a respectiva discussão no Capítulo 4.

2.4. Contexto dos objetos em estudo

2.4.1. Carvalheiras

Bracara Augusta é uma cidade de fundação augustana, com datação ainda problemática embora se aponte para 16 ou 15 a.C. (Morais, 2010: 7), com uma malha ortogonal adaptada ao relevo existente desenhando quarteirões quadrangulares de 120 pés de lado, *cardus* e *decumanus* com cerca de 10 a 12 pés, tendo o *cardus* e *decumanus maximus* 25 pés (Ribeiro, 2008; Morais, 1998). É num desses quarteirões que se enquadra a área arqueológica das Carvalheiras (Figura 1).

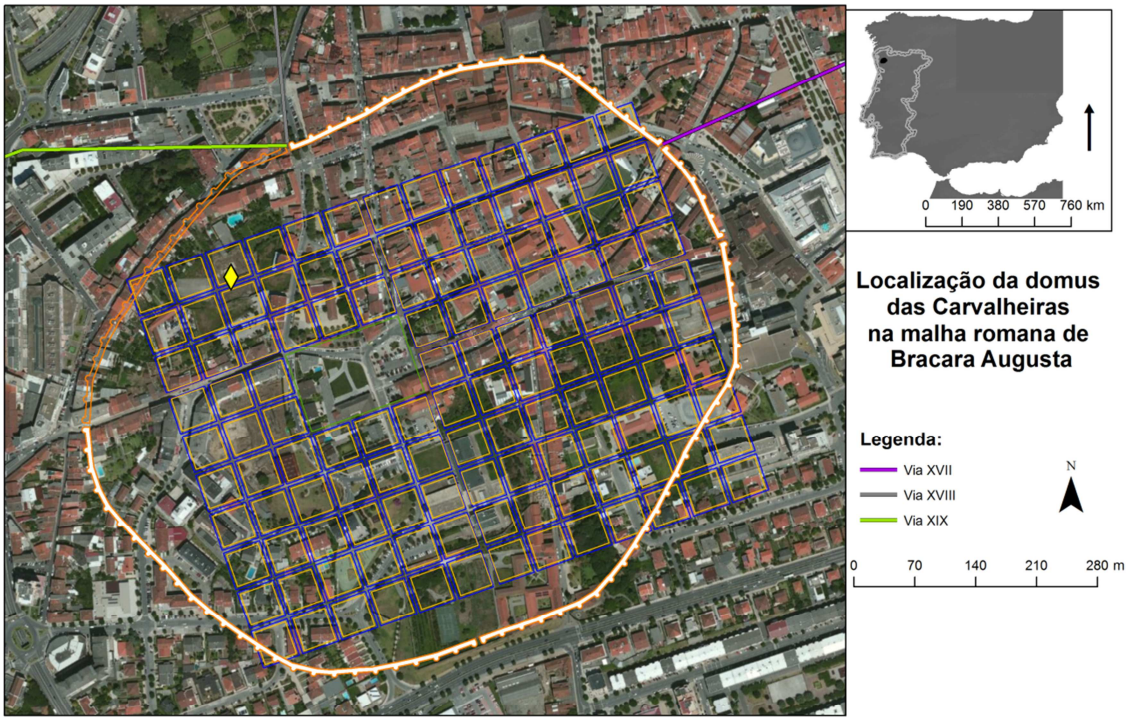


Figura 1: Localização das Carvalheiras na malha urbana de *Bracara Augusta*.

Ao longo do tempo, *Bracara Augusta* foi sofrendo várias alterações e remodelações, salientando-se as obras de monumentalização da cidade com a construção de edifícios públicos entre finais do século I d.C. e inícios do século II d.C., e a construção de uma muralha em finais do século III / inícios do século IV d.C. delimitando uma área de cerca de 48 ha (Morais, 1998: 13).

A cidade de *Bracara Augusta* floresceu graças à sua implantação estratégica, no centro das principais vias que articulavam o Sul com o Norte da Península, mas também com o interior, onde fervilhavam os principais circuitos comerciais (Morais, 1998: 15). *Bracara* era assim um enorme mercado, onde os cidadãos com cada vez mais poder de compra podiam adquirir e importar produtos. As epígrafes descobertas atestam bem essa função comercial, como por exemplo a proveniente da capela de Stª Ana, em Braga, atualmente depositada no Museu D. Diogo de Sousa, Braga, dedicada a *Caius Caetronius Miccio* pelos cidadãos romanos que negociavam em *Bracara Augusta* (Morais, 1998: 15-16) (Figura 2). Necessariamente terá havido também uma articulação com as vias fluviais e vias secundárias para um melhor intercâmbio comercial.



Figura 2: Epígrafe proveniente da Capela de Stª Ana, Braga (Museu D. Diogo de Sousa, nº inv. 1992/0601) datada de 42-44 d.C.. Fotografia: Museu D. Diogo de Sousa / Manuel Santos.

A cada vez maior autonomia política do Noroeste Peninsular ao longo do século III d.C., acaba por se traduzir no facto de *Bracara Augusta* assumir o papel de capital de província, e, posteriormente no século IV d.C. de província eclesiástica (Morais, 1998: 13-14).

As novas alterações políticas entre os séculos V e VI d.C. mantiveram *Bracara* como o centro político e administrativo do reino suevo, suscitando consequentemente remodelações de espaços e funcionalidades (Morais, 1998: 14).

O sítio arqueológico das Carvalheiras insere-se como já referido na malha urbana de *Bracara Augusta*, numa plataforma privilegiada nas imediações do *forum* e das termas do Alto da Cividade, em que um dos quarteirões foi ocupado por uma *domus* cujo acesso às ruas era efetuado através das zonas porticadas com lojas situadas ao nível do r/c (Martins, 2000) (Figuras 3 e 4).



Figura 3: Sítio arqueológico atual das Carvalheiras.

Os trabalhos arqueológicos nesta área iniciaram-se em 1983 e foram dados por terminados em 2002 ao fim de quatro fases de escavação, tendo tido como responsáveis das diferentes intervenções arqueológicas a Drª. Manuela Delgado e o Doutor Francisco Sande Lemos, assim como a Doutora Maria Manuela Martins (Magalhães, 2010: 35-36).

As estruturas detetadas revelam 5 fases cronológicas, designadamente:

- 1ª fase de finais do século I d.C., em que as estruturas da *domus* com 110 X 120 pés de lado (área total de 1150 m²) compreendiam um peristilo e átrio (Martins, 1997-98: 28; Martins, 2000: 6; Magalhães, 2010: 37), datação corroborada pelos materiais exumados, principalmente pelas *Terra sigillata* hispânica alto-imperial e ânforas béticas (Haltern 70, dressel 2-4) (Morais, 1998).

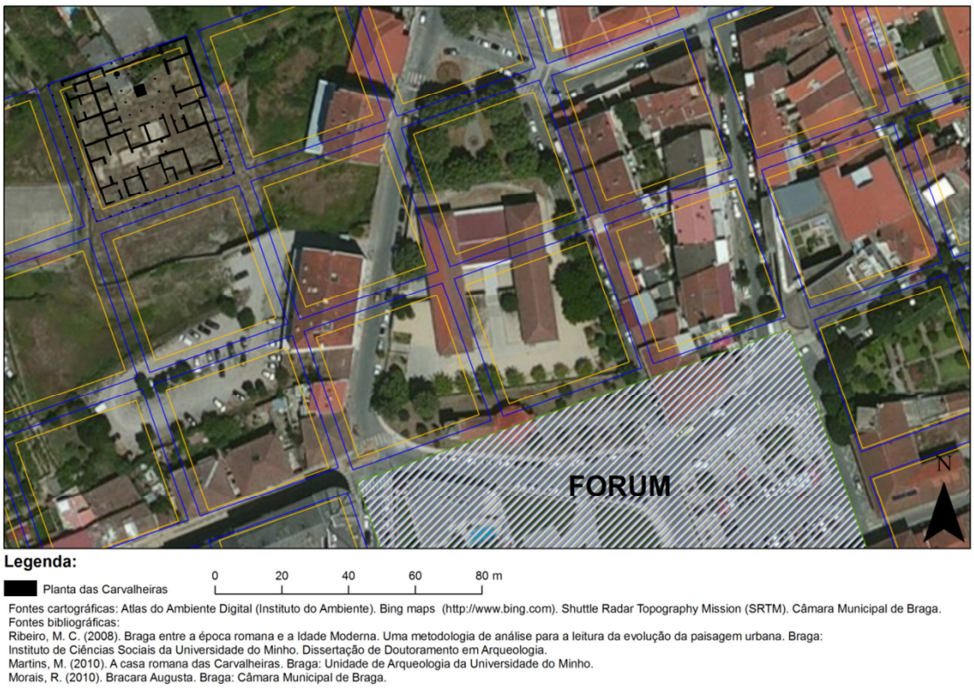


Figura 4: Esquema de planta da *domus* construída no séc. I d.C..

- 2ª fase da primeira metade do século II d.C., com a implantação de um balneário (Martins, 1998: 7; Magalhães, 2010: 39), tendo-se encontrado numismas datados de 98-117 e 103-111 d.C. sobre o pavimento (Amaral, 2007).
- 3ª fase de finais do século III / inícios do século IV d.C. que envolveu uma nova reestruturação da zona do peristilo a sul e Este, assim como da fachada Oeste; a *domus* ocupa o pórtico e o balneário é público (Martins, 2000: 31); dois numismas exumados datam de 266-270 d.C. (Amaral, 2007).
- 4ª fase datada de finais do século IV com o testemunho de uma moeda posterior a 316 d.C., compreendendo reparações na *domus*, assim como remodelações funcionais de espaços (Martins, 2000: 6).

- fase de abandono de ocupação com datação de finais do século IV / inícios do século V d.C. (Martins, 2000: 6).

O estudo desta habitação constituiu um grande avanço na definição da malha urbana de *Bracara Augusta*, permitindo individualizar um módulo construtivo urbano da mesma, caracterizado pelas suas ruas perpendiculares que viria a ser ratificado em outros locais da cidade (Martins e Ribeiro, 2013: 78).

No período seguinte, esta área encontra-se fora do perímetro da cidade medieval (Martins, 2000: 7) (Figura 5), numa área agrícola.

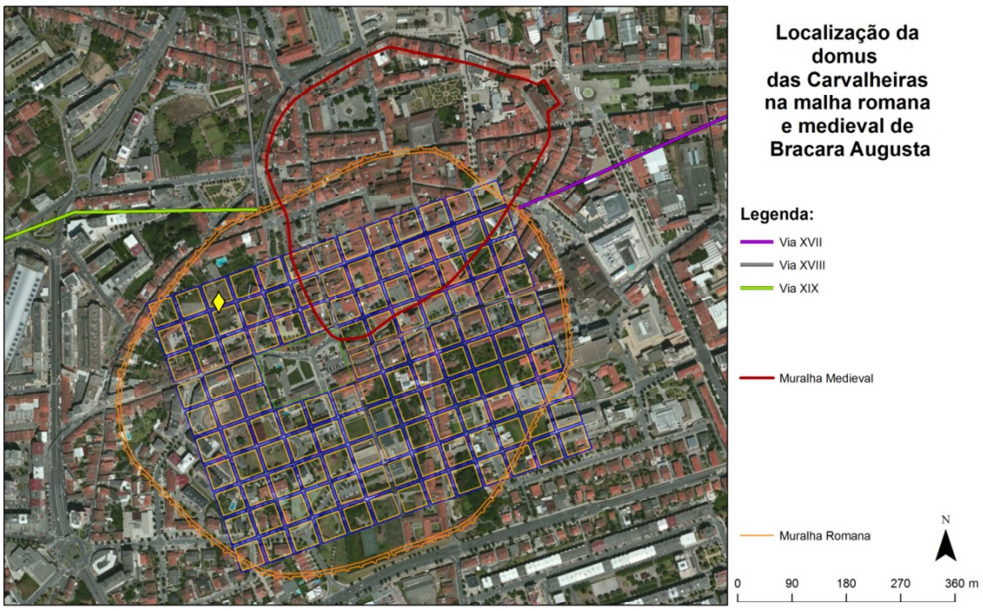


Figura 5: Localização das Carvalheiras na cidade romana e medieval.

No séc. XVI, com D. Diogo de Sousa, existe uma reestruturação do plano urbanístico, sendo que no mapa de Braunio de 1594, a área correspondente às Carvalheiras continua fora da linha de muralha, num quarteirão ladeado por casas, cujo interior é reservado à prática agrícola / hortícola (Ribeiro, 2008: 50, anexos e apêndices).

Esta cartografia mantém-se com poucas alterações até ao séc. XVIII, verificável no mapa de André Ribeiro Silva (Ribeiro, 2008: 57, anexos e apêndices), e séc. XIX, no mapa de Belchior José Garcez e Miguel Baptista Maciel (Ribeiro, 2008: 59, anexos e apêndices).

No séc. XX a zona das Carvalheiras encontra-se inserida num complexo plano urbanístico.

2.4.2. O ferro

Quando se fala do trabalho do ferro emerge na nossa imaginação um homem retirando o metal líquido e incandescente de um forno, batendo-o numa forja, dando-lhe forma (Figura 6), sendo considerado mais uma arte do que uma ciência (Wakelin e Ricketts, 1999: 1).



Figura 6: a) Forja (fotografia in www.freepik.es). b) Ponte D. Luís, Porto.

A tecnologia do ferro é um tema muito abordado no seio do mundo arqueológico, no entanto, são escassos os estudos sobre materiais ferrosos principalmente pela falta de vestígios de estruturas a eles associados, o que dificulta por vezes a sua datação.

É conveniente salientar que a periodização cronológica usando como referência o início do trabalho dos metais - "Idade do Cobre", "Idade do Bronze" e "Idade do Ferro", pode também ser enganosa. Efetivamente, esta cronologia denota apenas épocas históricas baseadas na utilização primordial de um certo tipo de material ou ferramenta, o que não exclui a possibilidade de outros materiais poderem também ter sido utilizados (Brack, 2008: 8), para além de se ter de atender que o início do trabalho de um metal não foi uniforme em todas as partes do mundo.

O trabalho do ferro deverá ter-se iniciado, aproximadamente, no século XVII a.C. com o Império Hitita. Muitos autores afirmam a existência de uma tecnologia do ferro bastante desenvolvida nas montanhas do Cáucaso no norte da Turquia e nas margens do Mar Negro, outros que afirmam que o primeiro contacto com este elemento terá ocorrido cerca de 4500 a.C. na Ásia Menor devido à presença de meteoritos (Figura 7) que teriam servido de matéria-prima para o fabrico de vários objetos (Diamantino, 2014: 27).



Figura 7: Exemplar de ferro meteorítico proveniente de Foum Zguid, Marrocos (exemplar gentilmente cedido para estudo pelo Dr. Victor Hugo, MDDS).

O Império Hitita terá sido o principal utilizador deste metal, mantendo supostamente em segredo o seu manuseamento; a comercialização de objetos feitos em ferro teria sido inicialmente restrita, consubstanciando-se em armamento e objetos de trabalho e, em alguns casos, oferendas de objetos de adorno. Talvez esta possa ser uma das explicações de entre 1500 e 700 a.C. os objetos em ferro surgirem muito esporadicamente em território europeu (Custódio e Campos, 2002: 205).

Através do comércio e do contacto cultural com os Hititas, a metalurgia do ferro e objetos produzidos vão-se difundindo para outras regiões, como seja a Índia, China, Japão e Damasco; neste último o designado aço de Damasco será muito utilizado a nível do armamento.

Ao longo do tempo vão surgindo escritos que referem a utilização deste metal ao longo de várias épocas, e por vezes alguns são mesmo contraditórios. Uma das primeiras referências surge na Bíblia, Génesis 4: 22, com a referência a Tubal-Caim, filho de Zila, fabricante de todos instrumentos em cobre e ferro (Bíblia, 2001: 7).

Do mesmo modo, inscrições egípcias datadas de 1590 a.C. descrevem que Thutmosis III conquistou Damasco apoderando-se das massas minerais aí existentes, assim como referem tributos em ferro bruto, armas e carros de guerra, oferecidos ao faraó (Launay, 1896: 1078).

Já Estrabão (Geografia, V, 64, como citado em Launay, 1896: 1079) e Diodoro de Sicília (Biblioteca Histórica, XVII, 7, como citado em Launay, 1896: 1079) consideram que a génese da metalurgia do ferro deve ser atribuída aos *Dactyli*, povo que vivia no monte Ida, Frígia, que descobriram o ferro em Creta e promoveram o desenvolvimento da sua tecnologia em torno de 1432 a.C., segundo a Crónica de Paros (Launay, 1896: 1079). Reza a lenda que os *Dactyli* eram antigos ferreiros que trabalhavam para Hefesto.

No entanto, a história dá-nos um outro povo também ele mestre no ofício da forja – *Cabeiri* (*cabíri* / *kabeiroi* / *kabiri*); esta gente com possíveis origens na Frígia, mas de origem pré-grega e não indo-europeia (Beeks, 2004 e 2009: 612), teria uma ascendência mítica que remontava a Hefesto, daí o seu exímio trabalho com o ferro (Launay, 1896: 1079). Heródoto, na sua História (XXV), refere outra pessoa – Glauco de Quios, como sendo o descobridor da arte de soldar o ferro (Larcher, 2006); é claro que esta obra histórica apresenta incongruências ao nível de sucessão de acontecimentos e mesmo de datas, no entanto, o nome por ele referido poderá situar-se em torno de 691 a.C. (Larcher, 2006).

Já em relação à utilização de vários tipos de aço, o escritor *Daimachus*, um contemporâneo de Alexandre o Grande, descrevia nas suas obras em 460 a.C. a sua utilização para a elaboração de armamento (Wakelin e Ricketts, 1999: 5).

O fervilhar comercial no Mediterrâneo liderado por gregos, cartagineses e fenícios (Custódio e Campos, 2002: 205) ajuda à generalização da utilização do ferro, cujo principal centro comercial era Tiro; e de facto, as intervenções arqueológicas levadas a cabo no palácio de Khorsabad, atual Iraque, datado do séc. VIII a.C. revelaram uma sala com cerca de 160 000 kg de objetos em ferro (Launay, 1896: 1078).

E de facto, os principais minérios de ferro são relativamente simples de trabalhar, uma vez que os seus óxidos aquecidos num baixo forno (700°C) são facilmente reduzidos à forma metálica (Launay, 1896: 1076).

Deste modo, a tecnologia do ferro expandiu-se no território europeu principalmente no sul e centro de Itália, Áustria (onde surge a Cultura Hallstatt) e Alemanha, mas não ao mesmo ritmo.

Na Europa central, a cultura de Hallstatt, compreendendo uma cronologia desde o Bronze Final e 1ª Idade do Ferro, correspondeu a uma estruturação de comunidades tornando-as bem organizadas, e entre 750-450 a.C. (1ª Idade do Ferro) foram as grandes responsáveis pela

expansão do conhecimento existente sobre a metalurgia do ferro para as sociedades mais ocidentais da Europa, principalmente na Península Ibérica.

A 2ª Idade do Ferro na Europa Central, que se consubstanciou com a cultura de La Tène (450-18 a.C.), desenvolveu a tecnologia da redução do minério de ferro nos baixos fornos em grande escala e todo o subsequente trabalho de forja, atingindo o seu auge de progresso. Os movimentos migratórios ao longo da Idade do Ferro permitiram a difusão deste ofício e tecnologia (Custódio e Campos, 2002: 205).

Finalmente, o Império Romano foi aquele que veio vulgarizar a utilização deste metal nas diversas atividades económicas. Segundo Plínio (História Natural, Livro XXXIV, 39, como citado em Launay, 1896: 1082):

> «É com o ferro que nós trabalhamos a terra, que nós plantamos as árvores, que nós podamos, que nós vestimos os pomares, que nós forçamos, todos os anos, a vinha a se rejuvenescer; é com o ferro que nós construímos as casas, que nós talhamos as pedras, etc. Mas o ferro é ainda empregue na guerra, no assassinato, no roubo, e usado não só de perto, mas também lançado de longe, seja com máquinas, com o braço, ou empunhando-o.».

O atual território português é rico em jazigos de ferro que terão sido amplamente explorados em época pré-romana e ao longo do período romano. Entre eles encontram-se os da serra algarvia, Cerro do Rocio (Aljezur), Adualho (Lagos), Alagoas (Loulé) e Serros Altos (Albufeira), do território Alentejano (S. Domingos, Aljustrel), da Guarda (Marmeleiro, Pousafoles do Bispo e Cabeço das Fráguas), a zona entre a Marinha Grande, Leiria e Porto de Mós, e a norte do Rio Douro na zona de Moncorvo (Cabeço da Mua, Ferraria do Carvalhal, Carvalhosa), para além de áreas pontuais (Lemos, 1993; Custódio e Campos, 2002; Alarcão, 1988: 79). Estes últimos jazigos têm sido profusamente estudados, revelando os testemunhos da presença da metalurgia do ferro nas diversas épocas (Lemos 1993; Custódio e Campos, 2002; Lemos e Martins, 2011). É ainda de realçar que grande parte da extração mineira romana se localizou na Faixa Piritosa Ibérica, uma área de mineralização primária de pirites (FeS_2) e calcopirites ($CuFeS_2$) com outros sulfuretos vários de zinco (blenda, ZnS) e chumbo (galena, PbS) (Bustamante Álvarez *et al.*, 2008: 164).

No entanto, subsistem ainda questões base no que toca ao trabalho do ferro em território português. Como seria recolhido o mineral? Como foi trabalhado? O processamento era no local ou seria levado para outros locais? E como se faria essa transformação?

Intervenções arqueológicas levadas a cabo em várias zonas de Moncorvo, entre elas Vale de Ferreiros e Serra do Reboredo, continuam a não ser suficientes para um total entendimento desta tecnologia (Lemos e Martins, 2011), apesar da deteção e identificação de várias evidências de mineração e metalurgia do ferro (Lemos 1993; Custódio e Campos, 2002). A Figura 8 mostra os escoriais, ferrarias e minas na zona de Torre de Moncorvo e Freixo de Espada-a-Cinta.

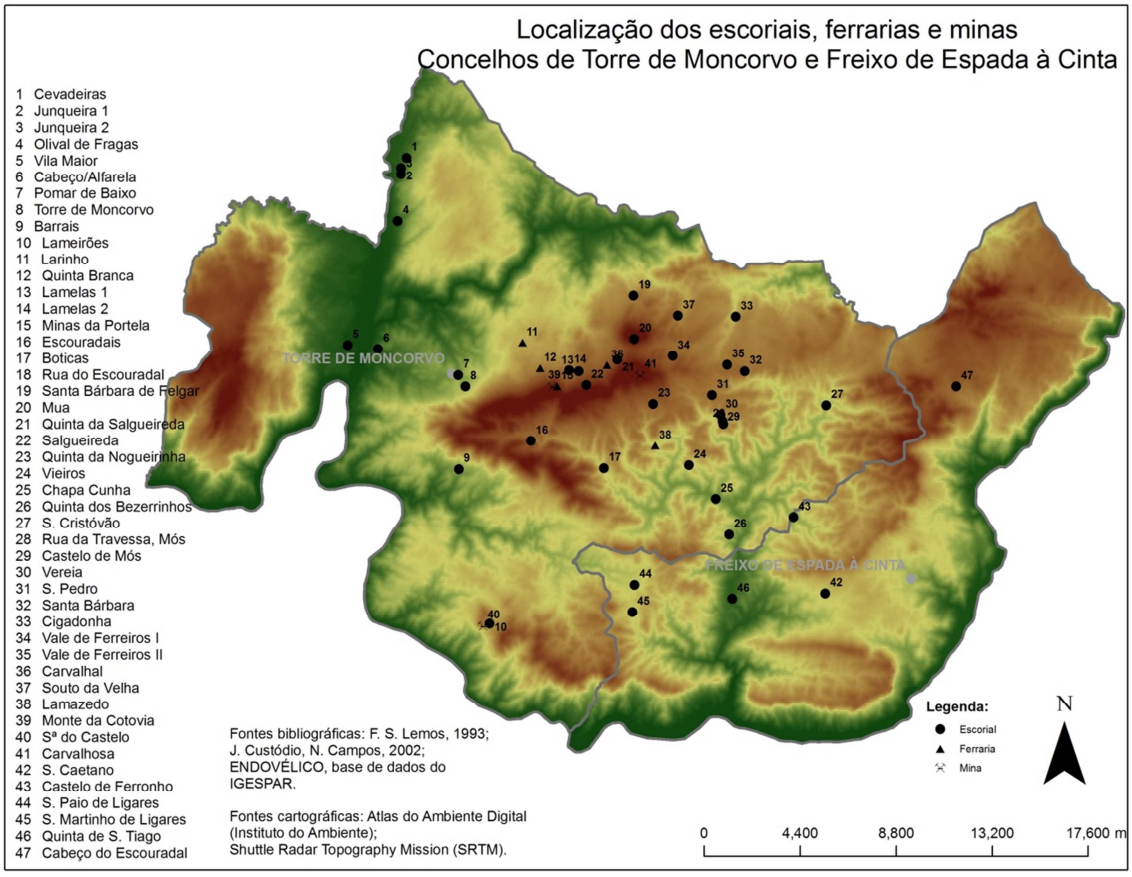


Figura 8: Localização dos escoriais, ferrarias e minas, identificados até ao presente, nos concelhos de Torre de Moncorvo e Freixo de Espada-a-Cinta.

2.4.2.1. Caracterização do ferro

O ferro é um dos elementos metálicos da tabela periódica, encontrando-se nos metais de transição e no grupo VIII com o símbolo Fe. O carbono é um elemento comum nas ligas ferrosas, e por isso o ponto de fusão do ferro altera-se com o seu teor, sendo de 1540°C e 1146°C, respetivamente, para 0% e 4,3% de C, conforme se pode ver no diagrama de fases na Figura 9.

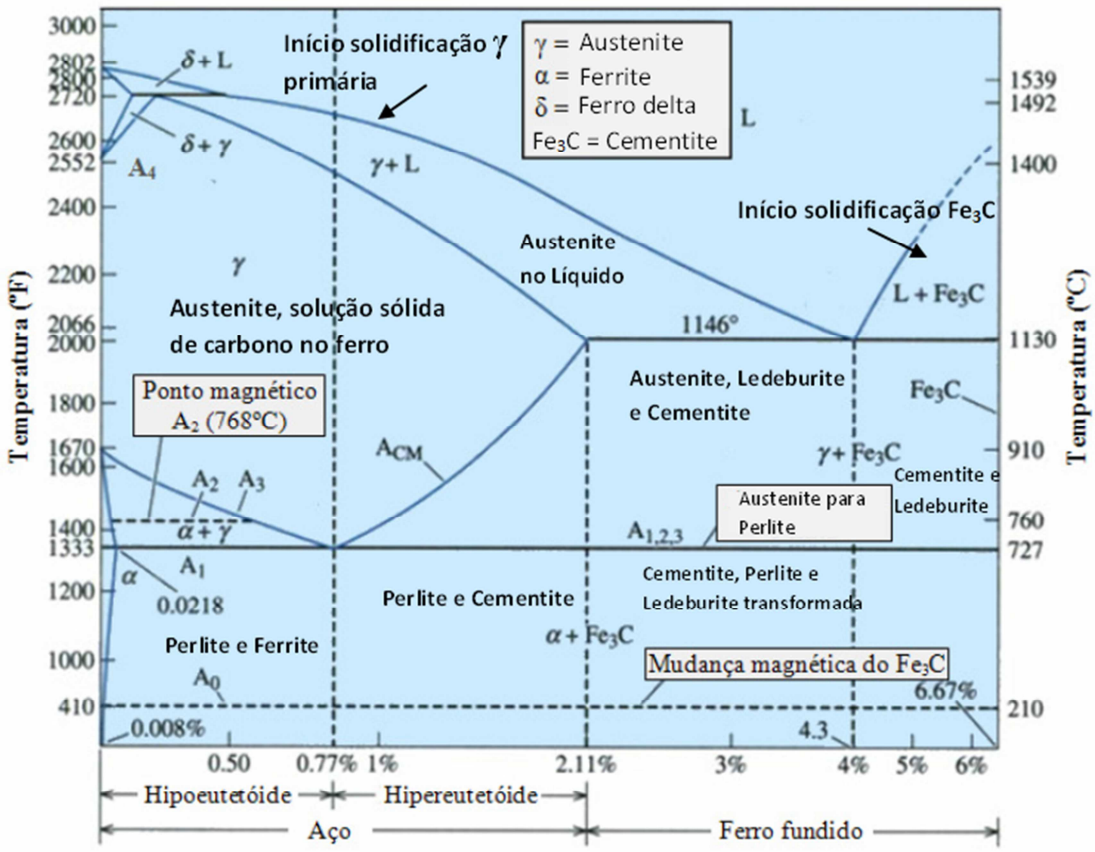


Figura 9: Diagrama de fases Fe-Fe_3C (adaptado de Askeland e Phulé, 2003).

Este diagrama binário é apresentado apenas até o teor de 6,67% de carbono por dois motivos: o primeiro é que este elemento forma com o ferro o composto Fe_3C, cementite, com o teor de 6,67% de carbono, e o segundo é o de nada ou muito pouco se conhecer das ligas acima deste teor de carbono. Como a extremidade direita do diagrama Fe-C corresponde a 6,67% de carbono, é corrente designá-lo de diagrama Fe-Fe_3C. Atendendo a que o Fe_3C se decompõe em ferro e carbono na forma de grafite quando as ligas são mantidas durante anos a temperaturas da ordem de 700°C (Chiaverini, 2002), este é um diagrama metastável. Contudo, nos aços é a cementite que se encontra vulgarmente e, por esse motivo, é o diagrama Fe-Fe_3C que se utiliza para prever as mudanças de fase nas ligas Fe-C submetidas a variações de temperatura. O

diagrama Fe-Fe_3C corresponde apenas à liga binária Fe-C, no entanto, os aços comerciais não são ligas binárias, pois também contêm outros elementos residuais vindos do processo de fabrico, tais como fósforo, enxofre, silício e manganês, mas que em teores normais pouco afetam o diagrama.

A proveniência do ferro é a terrestre, onde constitui cerca de 5% da crosta sendo o segundo metal mais abundante a seguir ao alumínio, e a meteorítica (Buchwald, 1975; Buchwald e Mosdal, 1985).

Em várias línguas o ferro meteorítico recebeu o nome de "pedra divina" ou "pedra do céu" devido á sua origem celeste. Desde tempos remotos que a terra é invadida por meteoritos, os quais são ricos em ferro e níquel (Chung, 1979; Piaskowski, 1982), e portanto ao tempo tornaram-se numa fonte de recolha fácil do ferro. Há ainda uma mística envolvente do ferro conferindo-lhe a capacidade de proteção contra todo o tipo de malefícios (Plínio, História Natural, XXXIV, 44, como citado em Launay, 1896: 1082).

O ferro em geral possui uma coloração cinza-prateada, é um metal relativamente duro mas suficientemente maleável para ser trabalhado a frio por martelagem ou com um cinzel, e apresenta uma elevada tendência para sofrer corrosão (Selwyn, 2004). Aliás, segundo Plínio (História Natural, XXXIV, 43, como citado em Launay, 1896: 1082) para preservar o ferro da "ferrugem" deveria ser revestido com uma mistura de alvaiade, gipsite e breu líquido, fórmula conhecida pelos gregos como "antipathie".

Os minérios de ferro na natureza encontram-se sob a forma de óxidos, carbonatos e sulfuretos, muitas das vezes associados a outros elementos como o fósforo, manganês ou níquel (Selwyn, 2004), já que o ferro puro é extremamente raro.

Os principais minérios de ferro (Figura 10) são os seguintes (Selwyn, 2004):

- Hematite Fe_2O_3
- Magnetite Fe_3O_4
- Limonite $FeO(OH).nH_2O$
- Pirite FeS_2
- Pirrotite $Fe_{1-x}S$
- Siderite $FeCO_3$

• Ilmenite $FeTiO_3$

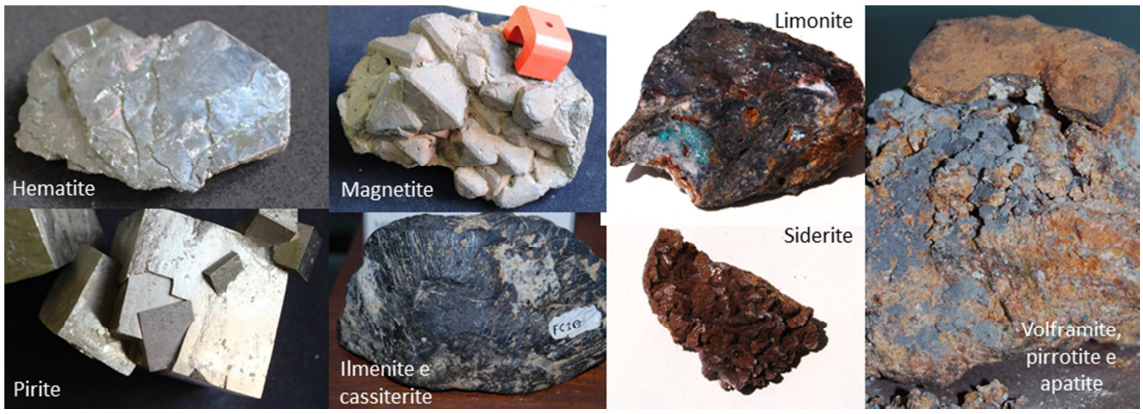


Figura 10: Minérios de ferro.

O trabalho do minério de ferro tornou-se assim essencial ao desenvolvimento das sociedades, e dependendo da sua associação mineralógica, tecnologia utilizada e teor de carbono poderá diferenciar-se como ferro forjado, ferro fundido ou aço. No entanto, estas ligas ferrocarbónicas contêm sempre algumas impurezas que advêm do seu tratamento, as quais essencialmente se concentram nas escórias sob a forma de óxido de silício (SiO_2), óxido de alumínio (Al_2O_3), óxido de cálcio (CaO), óxido de magnésio (MgO), etc. (Selwyn, 2004: 90; Gómez, 1999: 40).

2.4.2.2. Extração do minério de ferro

A escassez de trabalhos sobre este tema torna difícil assumir acertadamente a forma de extração deste minério e seu posterior armazenamento no período romano.

Jorge Custódio (2009) apresenta vários métodos que terão sido utilizados ao longo dos tempos. O mais ancestral consistia na recolha de calhaus ferríferos e sua separação de acordo com os teores em ferro; os de maior percentagem eram usados, e os restantes acumulados em montes ou pilhas com cerca de 1,50 m de altura – escombreiras (Figura 11). Este método era pouco exigente a nível de progresso e de conhecimento do minério, e possivelmente o mais corrente no período pré-romano.



Figura 11: Escombreira do Carvalhal, Torre de Moncorvo.

No período romano e já a uma escala "proto-industrial", a mineração teria sido consubstanciada pela abertura de trincheiras e valas a céu aberto, método esse que terá subsistido até ao século XX, sendo que a partir de finais da época moderna foi também utilizado o desmonte com o auxílio de explosivos colocados diretamente sobre a pedra (Figura 12).

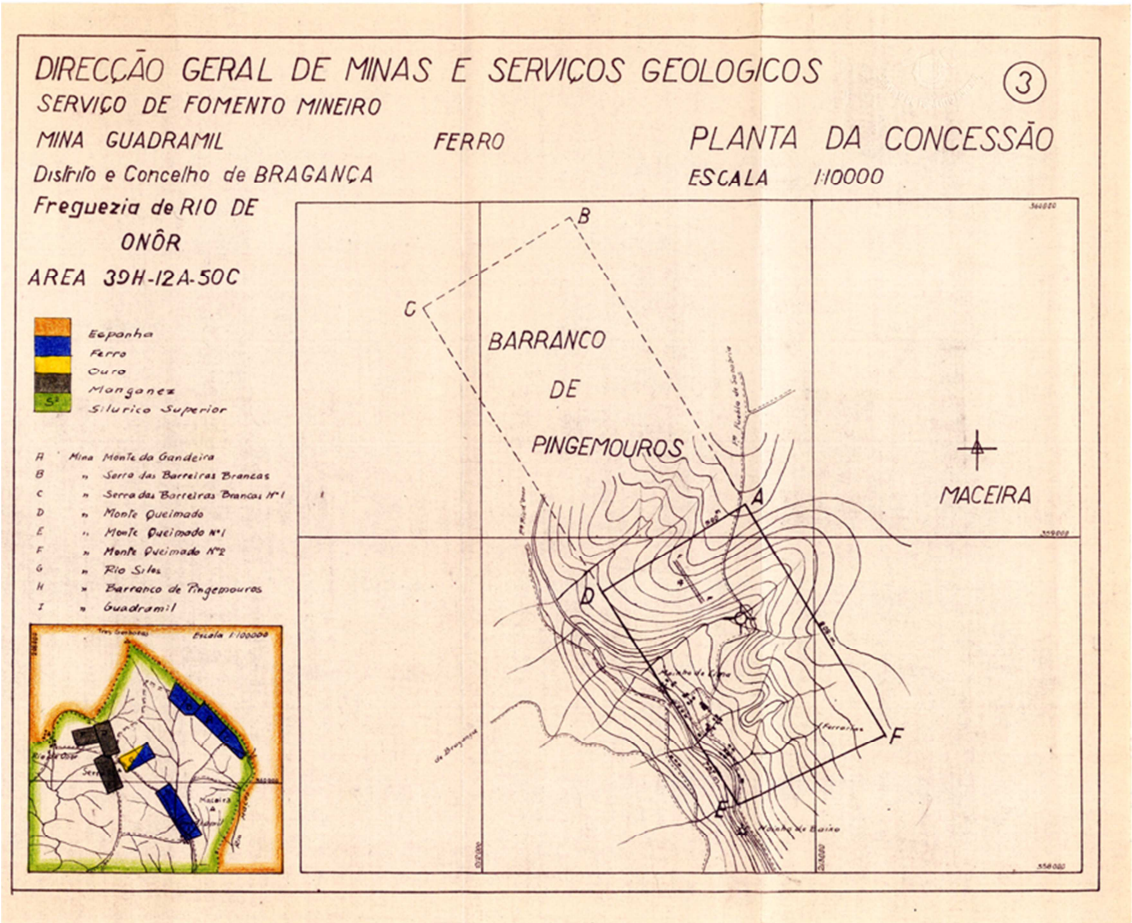


Figura 12: Planta da concessão das minas de ferro de Guadramil, Bragança (Arquivo do Laboratório Nacional de Energia e Geologia, LNEG, S. Mamede de Infesta).

Um outro método frequente, mas exigindo maior investimento e contratação de gente qualificada, era a exploração subterrânea com abertura de poços e galerias. Este processo tornava-se necessário sempre que os filões de minério se estendiam para camadas inferiores, i.e., não sendo acessíveis de um modo direto. A topografia seria pois uma ferramenta indispensável para a escolha do local de início de lavra e da sua paragem. Este método caracterizava-se pela perseguição do filão até ao seu esgotamento ou até deixar de haver compensação económica, e servia-se de instrumentos de ferro para lascar e partir a pedra para abrir complexos labirintos subterrâneos (Martins, 2008: 50).

A transferência de minério para a superfície far-se-ia por um sistema de roldanas com baldes através de cordas (Martins, 2008: 67-69), ou por um sistema de transporte mais complexo com carris e vagonetas de transporte.

A transformação paisagística operada é grande, primeiro com o "aparecimento" de pequenos montes de calhaus nas encostas, e de seguida com a perceção das depressões artificiais semelhantes às atuais pedreiras (Figura 13).



Figura 13: Minas de Guadramil, Bragança.

2.4.2.3. Tratamento e metalurgia do minério de ferro

Após extração, o minério de ferro no período romano era sujeito ao seguinte conjunto de operações:

a) Trituração - etapa de fragmentação do minério em pequenos pedaços, sendo seguida de uma crivagem para uniformizar o tamanho;
b) Lavagem - um processo de concentração do minério por separação gravítica, i.e., as partículas de ganga (alumino-silicatos, quartzo, argilas, areias e rochas xistentas e cálcicas) menos densas eram arrastadas pela água, e as de minério mais densas depositavam-se no fundo das mesas;
c) Calcinação ou ustulação - operação de transformação dos minérios em óxidos de ferro ($4FeCO_3 + O_2 \rightarrow 2Fe_2O_3 + 4CO_2$, ou, $4FeS_2 + 11O_2 \rightarrow 2Fe_2O_3 + 8SO_2$).
d) Redução - operação de conversão dos óxidos metálicos em ferro metálico por ação de monóxido de carbono proveniente do combustível (Lemos e Martins, 2011); a necessidade de escorificação exigia o uso de fundentes, i.e., compostos de menor ponto de fusão do que o metal a extrair, por exemplo a sílica, embora Plínio refira a utilização do sílex, rocha sedimentar silicatada (Launay, 1896: 1087).

Os fornos na época pré-romana (Figura 14) consistiam numa fossa aberta no solo de reduzidas dimensões para facilitar o aquecimento, onde se colocava o minério, o carvão e o fundente, e coberta com um material refratário, sendo o ar injetado por um fole para o interior por intermédio de tubeiras. Normalmente, o combustível utilizado era o carvão de madeira, mas o mais adequado seria a utilização de madeiras resinosas, como o pinheiro e o papiro (Plínio, História Natural, XXXIII, 30, como citado em Launay, 1896: 1087).



Figura 14: Esquema de forno pré-romano (Martins, 2008: 79, fig. 24, com base em Fernández Jurado, 1988-89: 184, fig.2).

Ao longo do tempo houve uma evolução na construção dos fornos, e na época romana apresentavam já maiores dimensões e comportavam chaminés em argila refratária com tipologias várias (Figura 15), o que permitia maior caudal de ar e consequentemente temperaturas mais elevadas. Estes fornos eram concebidos para remover a escória, e daí a designação de fornos de sangramento (Gener, 2010: 214).

O ponto de fusão do ferro puro, ferrite (α-Fe), é 1540°C. Landels (1980) considera que os fornos romanos europeus teriam apenas capacidade de atingir temperaturas da ordem de 1100°C, quando muito 1170°C (Mohen, 1992: 169). Deste modo, o termo fundição aplicado ao ferro, ao contrário de metais de ponto de fusão mais baixo como o cobre, zinco e estanho, não envolveria completamente a passagem do ferro ao estado líquido conforme se deduz da Figura 9.

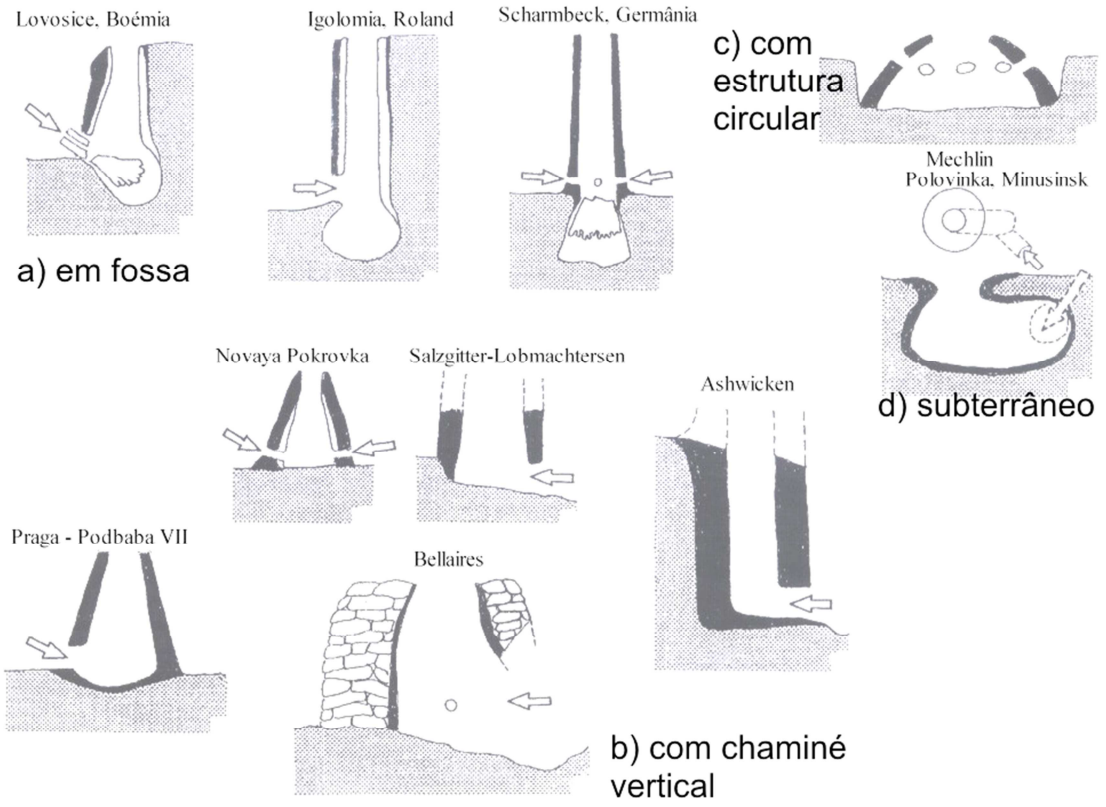


Figura 15: Diferentes tipologias de fornos para metalurgia do ferro estudados e publicados por R. Pleiner (1997).

No interior do forno (Figura 16) eram colocados, alternadamente, o carvão vegetal e o minério de ferro, sendo aceso o fogo na base do forno com palha ou ramos de árvores. Após a ignição dá-se a queima do material carbonoso com a geração de calor, como se segue (informação gentilmente interpretada e cedida pelo Eng.º José Inácio Ferrão de Paiva Martins, FEUP):

$C_{(s)} + O_{2(g)} = CO_{2(g)} + \text{calor}\ (\Delta H^o_{298} = -94{,}05\ kcal)$ 1)

Uma vez tendo lugar a reação 1), na presença de um excesso de carbono e a uma temperatura elevada o dióxido de carbono é reduzido a monóxido de carbono, como se segue:

$CO_{2(g)} + C_{(s)} = 2CO_{(g)}, \quad (\Delta H^o_{298} = +41{,}20\ kcal)$ 2)

O produto desta reação, o monóxido de carbono, é necessário para reduzir o minério de ferro de acordo com as reações que se seguem por ordem crescente de temperatura:

$3Fe_2O_{3(s)} + CO_{(g)} = CO_{2(g)} + 2Fe_3O_{4(s)}$, inicia-se a 454°C, $(\Delta H^o_{298} = -11{,}23\ kcal)$ 3)

$Fe_3O_{4(s)} + CO_{(g)} = CO_{2(g)} + 3FeO_{(s)}$, inicia-se a 593°C, $(\Delta H^o_{298} = +4{,}67\ kcal)$ 4)

$FeO_{(s)} + CO_{(s)} = CO_{2(g)} + Fe_{(s)}$, inicia-se a 704°C, $(\Delta H^o_{298} = -2{,}63\ kcal)$ 5)

$FeO_{(s)} + C_{(s)} = CO_{(g)} + Fe_{(s)}$, inicia-se a 704°C, $(\Delta H^o_{298} = +38{,}58\ kcal)$ 6)



Figura 16: Recreação de um forno romano. Legenda: 1 - poço ou fossa; 2 - paredes de argila refratária; 3 - muro periférico; 4 - enchimento de areia; 5 - tubeiras ou agulhetas; 6 - palha e galhos para a ignição; 7 - camadas alternadas de plantas e carvão; 8 - buraco de sangramento (Fernández-Posse et al, 2002: 125).

$CaCO_{3(s)} = CaO_{(s)} + CO_{2(g)}$, $(\Delta H^o_{298} = +42{,}65\ kcal)$ 7)

Esta reação sendo endotérmica requer energia e começa por volta da temperatura de 870°C. O óxido de cálcio formado remove o enxofre das pirites ou pirrotites, como se segue:

$FeS_{2(s)} + 2CaO_{(s)} + C_{(s)} = 2CaS_{(s)} + FeO_{(s)} + CO_{(g)}$, $(\Delta H^o_{298} = +24{,}16\ kcal)$ 8)

$Fe_{1-x}S_{(s)} + CaO_{(s)} + C_{(s)} = CaS_{(s)} + {}_{1-x}FeO_{(s)} + CO_{(g)}$, $(\Delta H^o_{298} = -31{,}03\ kcal)$ 9)

e ainda o seu carácter básico permite-lhe reagir com a sílica dando lugar ao metassilicato de cálcio, escória que sobrenada a massa de ferro:

$SiO_{2(s)} + CaO_{(s)} = CaSiO_{3(s)}$, $(\Delta H^o_{298} = -7{,}89\ kcal)$ 10)

É conveniente referir que há também formação de escória por interação da sílica com os óxidos de ferro, a qual pode reter partículas de ferro. A escória formada protege o ferro de uma reoxidação quando ele passa em frente às tubeiras, um local onde a atmosfera é mais oxidante. Abaixo das tubeiras, alguma escória drena para fora da massa pastosa de escória e de partículas e cai na lareira do forno.

As temperaturas atingidas não são suficientes para o ferro passar completamente para o estado líquido. No final obtém-se uma massa esponjosa de ferro contendo silicatos refratários e pedaços de minério por reagir recolhidos acima da escória líquida (Cleere e David, 1985: 526). Esta massa deveria então ser removida com umas pinças ou drenada assim que se atingisse uma temperatura da ordem de 1170°C (Mohen, 1992: 169).

A massa esponjosa produzida seria agora aquecida ao rubro (da ordem de 1200°C) e martelada, para que todas as impurezas fossem retiradas e ficasse o ferro – ferro forjado (Selwyn, 2004: 112). O ferro metálico, ou ferrite (α-Fe), a temperatura acima de 910°C converte-se em austenite (γ-Fe), uma fase metálica relativamente dúctil e como tal fácil de forjar (Scott e Eggert, 2009: 2). A quantidade de material (Figura 17) que conseguia ser produzido neste tipo de fornos era de cerca de 20 kg (Ricketts, 2000).



Figura 17: Escorial Souto da Velha, Torre de Moncorvo.

O trabalho de deformação plástica imposto à massa esponjosa, para além da segregação das impurezas, melhorava as propriedades mecânicas, uma vez que elimina ou solda as cavidades. O ferro fundido produzido, com um teor relativamente alto de carbono, cerca de 4-5%, é muito frágil e de uso limitado, pelo que sucessivos tratamentos de aquecimento na presença de ar poderiam baixar o teor de carbono para a gama dos aços ao carbono, %C < 2,1% de melhores propriedades mecânicas (Selwyn, 2004; Lemos e Martins, 2011). Atualmente este objetivo atinge-se misturando o ferro impuro com sucata de ferro a alta temperatura na presença de oxigénio. A primeira referência à fundição e ferraria aparece no Antigo Testamento com a seguinte citação: «Zilá também teve um filho, Tubal-Caim, que era um artífice de bronze e ferro» (Gênesis 4:22 em Guillaume, 1962).

Tratamentos térmicos de massa ou de superfície poderiam posteriormente ser realizados sobre o ferro ou aço de modo a alterar-lhe as suas propriedades mecânicas. Os primeiros, como seja a têmpera, consistia em aumentar a temperatura acima de 727°C, temperatura do eutectóide, e seguido de um arrefecimento rápido, i.e., mergulhando o metal em água. Ao impedir as transformações no estado sólido (processos difusionais dependentes da temperatura), i.e., a passagem da estrutura cúbica de faces centradas (austenite) a ferrite (cúbica de corpo centrado) e perlite (camadas alternadas de ferrite e cementite) ou a perlite e cementite, Figura 18, produz-se uma estrutura distorcida da austenite, a martensite (tetragonal) de maior dureza e maior tensão de rutura.

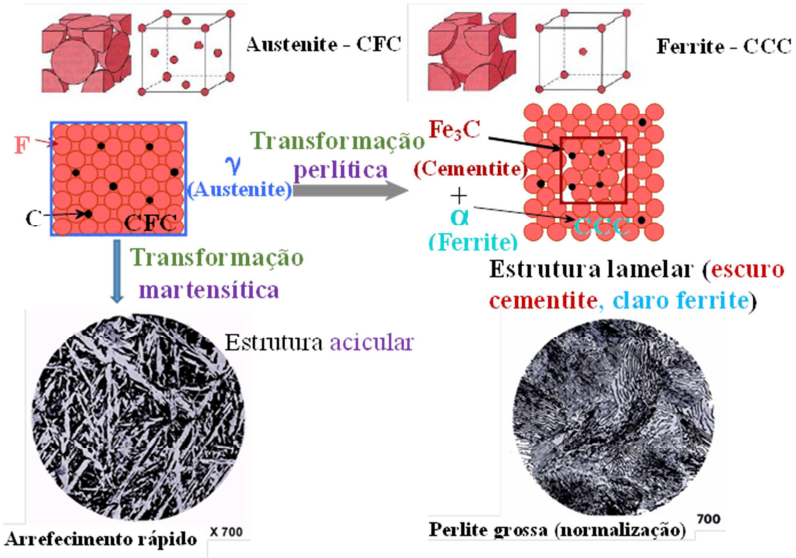


Figura 18: Aço 1040: 0.37-0.44% C; 0.6-0.9% Mn; 0.04% máx. P; 0.05% máx. S; rest. Fe. Transformações perlítica e martensítica (Martins, 2015).

Uma das primeiras menções da aplicação deste tratamento térmico surge com Homero, cerca de 800 a.C.: «Como quando um homem que trabalha como ferreiro gritando mergulha uma lâmina de machado grande ou enxó na água fria, tratando-o por têmpera, uma vez que este é o caminho de tornar o aço forte, como também o olho do Cyclops chiou sob a vara da oliveira.» (como citado em Lattimore, 1967). Atendendo à fragilidade da martensite, pode sem perda da sua capacidade resistente aumentar-se-lhe a ductilidade através de um revenido de tempera: levar o metal a uma temperatura cerca de 50°C abaixo da linha de transformação eutectóide (727°C), manter por algum tempo e depois arrefecer lentamente ao ar.

O segundo tipo de tratamento consistia no endurecimento superficial do ferro por via da introdução de carbono na composição. O ferro era levado ao rubro vermelho (900-1000°C) e de seguida colocado entre as brasas de carvão a 900°C durante algum tempo (Tylecote e Gilmour, 1985: 16), conforme se pode inferir da Figura 19.

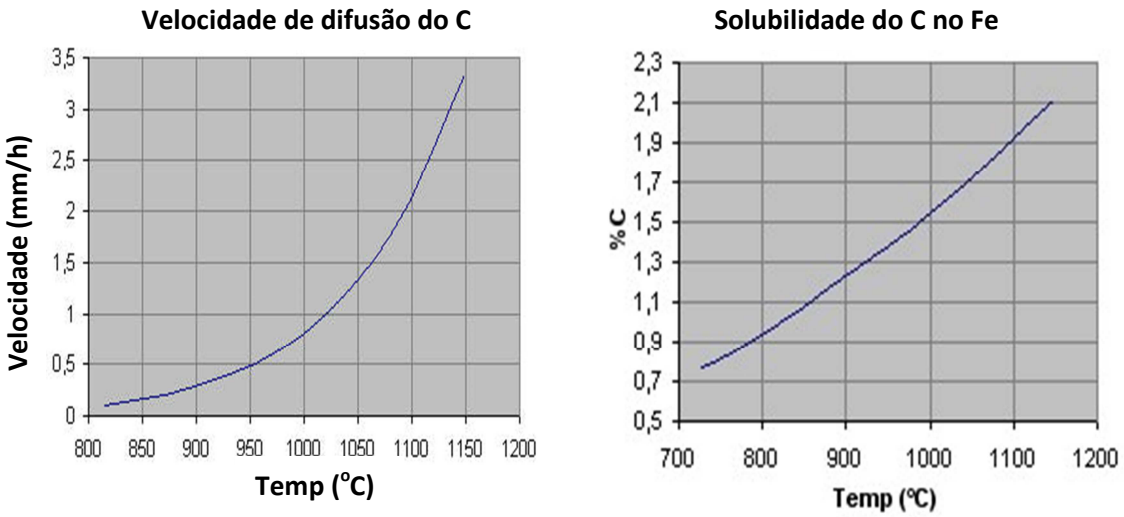


Figura 19: Velocidade de difusão e solubilidade do carbono no ferro (Martins, 2015).

A difusão do carbono através da estrutura do ferro permite desenvolver um estrato rico em carbono, dissolução do carbono em interstícios tetragonais ou octaédricos, que confere um endurecimento superficial adequado para ferramentas de corte e espadas compatível com o trabalho de forja.

$2CO_{(g)} + 3Fe_{(s)} = Fe_3C_{(s)} + CO_{2(g)}, \qquad (\Delta H^o_{298} = -35{,}22\ kcal)$ 11)

É conveniente referir que um endurecimento superficial do ferro utilizado em armamento podia também ser conseguido com uma têmpera superficial (Martins, 2015) como se mostra na Figura 20): 1) a lâmina ou gume era aquecida na zona da chama por toda ela lentamente até atingir uma cor vermelha (800-850°C > 727°C, temperatura do eutectóide); 2) o material é então removido da chama e mergulhado em água fria. Nesta fase, a lâmina é muito dura, mas frágil e quebra por isso com facilidade; 3) a lâmina é de seguida limpa e aquecida novamente à chama até uma tonalidade azulada, temperatura pretendida de revenido da têmpera (300-320°C). É importante uma boa observação pois o ferro muda de cor muito rapidamente; 4) finalmente, a lâmina é colocada sobre uma superfície metálica, por exemplo uma bigorna, a fim de se promover o seu arrefecimento lento. Há uma redução de tensões internas, o que permite obter uma lâmina dura e resistente ao desgaste sem ser quebradiça.

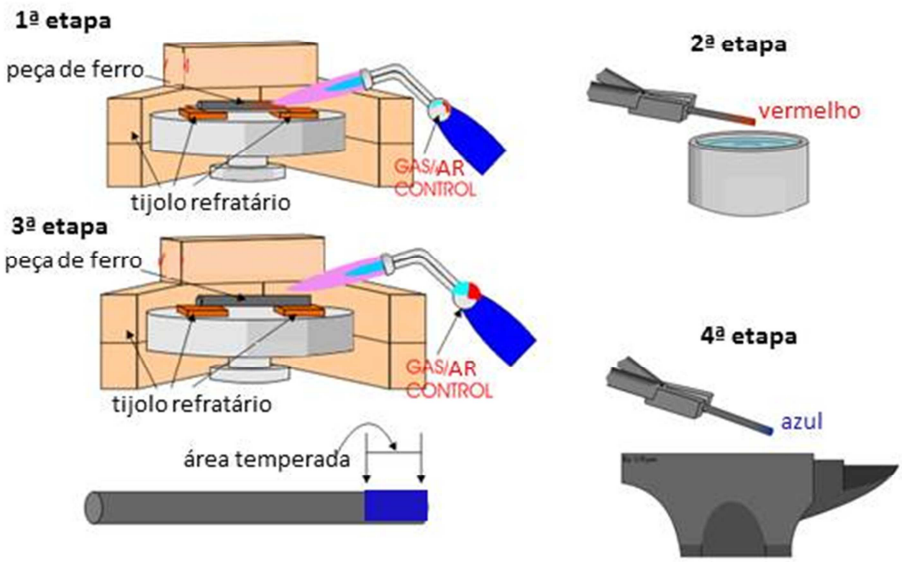


Figura 20: Processo de têmpera superficial do ferro (Martins, 2015).

As evidências arqueológicas de todo este processo siderúrgico são escassas, por vezes resumindo-se às escórias e objetos que lhe estão associados, como por exemplo fragmentos de tubeiras cerâmicas. Quando os fornos detêm estruturas pétreas, estas embora destruídas acabam por subsistir, como são exemplo os vestígios detetados na Rússia, Finlândia e Suécia; em Riitakanranta, Rovaniemi (Finlândia) surge uma estrutura bem definida de um forno com

fossa para escórias (Jørgensen, 2010; Karjalainen, 2014). No entanto, há sempre uma grande dificuldade na datação dos fornos e das escórias. No atual território português existem alguns vestígios arqueológicos e/ou literários de alguns fornos romanos (Figura 21).



Figura 21: Forno para metalurgia do ferro detetado nas intervenções arqueológicas de Aldeia Nova / Olival dos Telhões, Almendra, Vª Nª de Foz Côa (Fotografia: Cosme e Martins, 2000: est. III n.º 5).

O processo de tratamento e subsequente metalurgia do ferro foi evoluindo não de uma forma eliminatória, mas sim de forma cumulativa.

No período alto medieval, o forno progride para o denominado baixo-forno catalão ou forja catalã, um método direto de obtenção do ferro do seu mineral, que aparece nas montanhas da Catalunha no nordeste de Espanha, imediatamente após a queda do Império Romano e utilizado até ao séc. XVIII (Ricketts, 2000). É considerado como a inspiração dos altos-fornos atuais. Esta tecnologia inovadora influência significativamente a economia, pois em cerca de cinco horas a forja catalã conseguia produzir cerca de 160 kg de ferro contra os 20 kg dos métodos anteriores (Ricketts, 2000), e desse modo dava uma melhor resposta às necessidades de metal na época.

A primeira forja catalã (Figura 22) era construída em pedra e tinha cerca de 91 cm de altura e 75 cm de diâmetro. Pouco acima da base aparece um orifício onde era colocada uma tubeira associada a um fole para fornecimento de ar. O forno era carregado até ao nível da tubeira com carvão e depois com o minério de ferro que seria coberto com mais carvão. O processamento subsequente seria a ignição e consequente combustão do carvão e redução do minério a uma massa esponjosa (também conhecida como flor) que passaria posteriormente pelo processo de martelagem na forja para remoção das impurezas (Ricketts, 2000b).

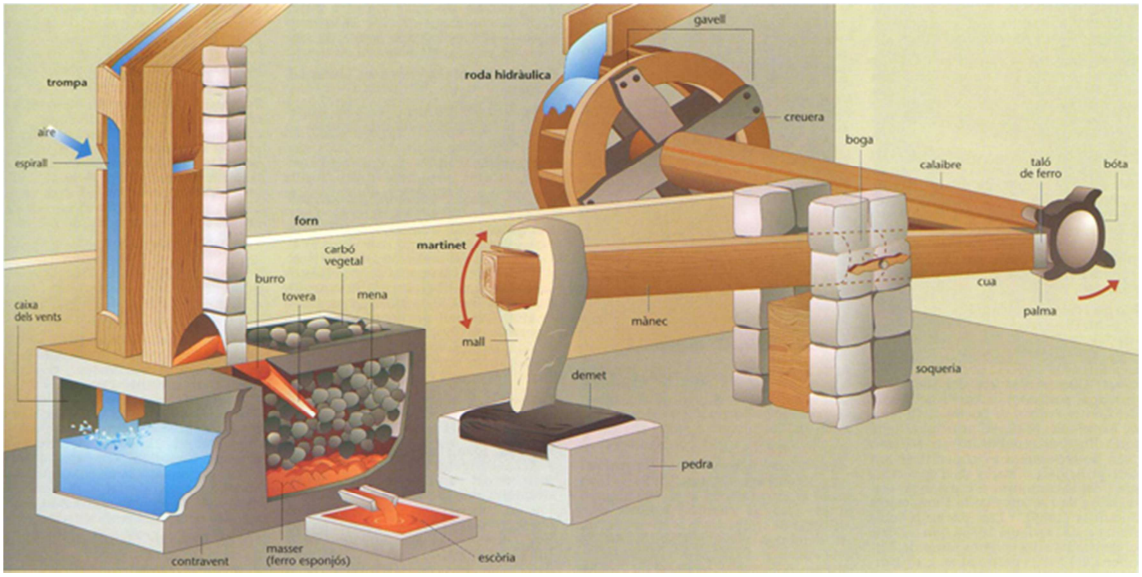


Figura 22: Forja catalã (in: www.enciclopedia.cat).

A forja catalã foi entretanto sofrendo alterações importantes e foi-se expandindo pelo resto da Europa. Não só aumentou de tamanho, como se introduziram foles mecânicos acionados por animais e, no séc. XII, começaram a ser utilizados os foles hidráulicos, i.e., acionados pela força das águas (Ricketts, 2000b). Esta última tecnologia no sistema de fornecimento de ar ao forno denomina-se de trompa, uma máquina hidráulica que a partir de um desnível de 5 a 12 m permite a obtenção de um caudal contínuo de ar com pressão suficiente para alimentar a combustão do carvão e contribuir com o oxigénio para a redução do metal.

O passo final no "design" do forno para produzir continuamente ferro líquido foi o Flussofen no século XIV no vale do Reno, em detrimento da ancestral massa esponjosa, ou seja, o ferro fundido. A sua propagação foi relativamente lenta, tal como indicado pela ausência de

qualquer referência a ele por Agrícola no seu livro "*De re Metalica*", impresso em 1556, embora ele descreva o Stuckofen. O Stuckofen poderia produzir 100 a 150 t por ano, superando a capacidade de produção de qualquer dos seus antecessores. Existem registos da utilização deste tipo de fornos em Portugal, mais propriamente na região de Torre de Moncorvo, datados de entre o fim do Império Romano e o fim da Monarquia Absoluta (Custódio, 2009: 201).

Salienta-se que os escritos mais antigos referindo o ferro fundido remontam ao Egipto, em que o mesmo viria de Tinuy, um país desconhecido, provavelmente da Ásia Ocidental, existindo registos de oferendas de vasilhas de ferro fundido (Breasted, 1906: 217).

O ferro fundido assim obtido é uma liga de ferro, carbono e silício que desde sempre foi classificado segundo a sua cor e dureza, características que variam consoante a forma como o carbono é absorvido durante o processo e a quantidade de silício e outros componentes presentes na composição (referencias). Normalmente apresenta teores de 2,11-6,67% de carbono e 1-3% de silício, podendo ainda ter outros elementos como o cobre, manganês, níquel, crómio que lhe conferem propriedades específicas.

Os tipos correntes de ferros fundidos são os seguintes (Isenmann, s.d.: 2) :

a) Ferro fundido cinzento, constituído por ferrite e flocos dispersos de grafite, o mais comum e mais antigo. É um metal duro e por isso bastante frágil, e composto por cerca de 2,5-4,0% de carbono livre e 1,0-3,0% de silício. A presença de grafite livre na estrutura confere-lhe uma boa maquinalidade. A boa fluidez na fundição permite-lhe por este processo de moldação obter peças de paredes delgadas e complexas. É muito utilizado na indústria de máquinas, equipamento, automóvel, ferroviária e naval (Singh, 2009: 59). Podem ser submetidos a tratamentos térmicos de normalização ou recozido.
b) Ferro fundido branco resistente ao desgaste, duro e quebradiço constituído por perlite e cementite. Este tipo de ferro fundido não possui grafite livre na sua microestrutura, neste caso o carbono encontra-se combinado com o ferro sob a forma de cementite. Sendo muito duro não pode ser maquinado. É muito utilizado em equipamentos de moagem e outros equipamentos semelhantes.
c) Ferro fundido dúctil ou nodular caracteriza-se pela sua ductilidade, tenacidade e resistência mecânica. Sendo a sua composição química semelhante à do ferro fundido cinzento, o que os distingue é o formato da grafite, que neste caso adquire um formato esferoidal que lhe proporciona todas as características referidas anteriormente. Este tipo

de material é utilizado em áreas como a mecânica e na construção, principalmente em tubagens de águas e de saneamentos.

d) Ferro fundido maleável, produzidos por tratamento térmico de ferros fundidos brancos e constituídos por ferrite e partículas de grafite livre.

Em época moderna, mais propriamente no séc. XIV no Norte da Europa, os fornos têm uma nova evolução a partir dos *Stuckofen* germânicos para os denominados altos-fornos, Figura 23. Estes, de maior dimensão, conseguem atingir temperaturas mais elevadas num menor espaço de tempo.

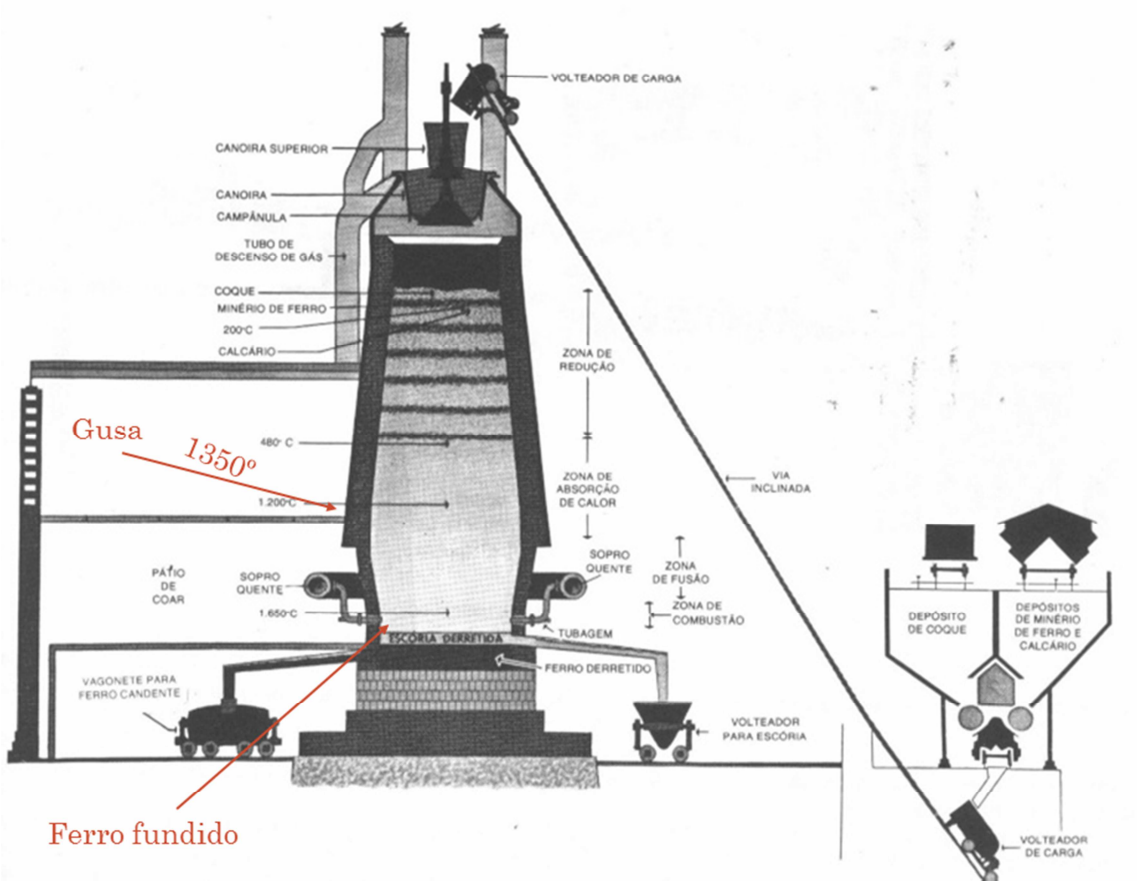


Figura 23: Esquema de alto-forno (Isenmann, s.d.: fig. 2).

A evolução deste tipo de fornos permitiu uma mais fácil obtenção do aço, que é uma liga de ferro e carbono, cuja percentagem deste último varia entre 0,008% e 2,11%, sendo esta característica que o diferencia do ferro fundido com percentagens de carbono entre 2,11% e

6,67%. É, na atualidade, uma das ligas de ferro mais utilizadas, podendo conter pequenas percentagens de outros elementos como o manganês, silício, enxofre e fósforo, e outros elementos, como sejam o níquel, crómio, vanádio, tungsténio, entre outros propositadamente introduzidos para lhe conferirem propriedades específicas (Oberg e Jones, 1920: 81).

Hoje em dia existem diferentes tipos de aço, de que se salientam pela sua particularidade os seguintes (Tabela 2):

a) Aço rápido ou de ferramenta, utilizado no fabrico de componentes de máquina e ferramentas de corte a frio, caracterizado pela sua dureza e resistência à abrasão e mantendo as suas propriedades mecânicas mesmo a temperaturas elevadas.
b) Aço patinável ou "Corten", com pequenos teores de níquel, crómio e cobre, conhecido pela sua capacidade de produzir um filme anticorrosivo, pátina, que lhe confere uma tonalidade acastanhada característica muito pretendida de um ponto de vista estético.
c) Aço inoxidável, com teores de crómio não inferiores a 12%, podendo ainda ter também níquel e molibdénio, bastante resistentes à corrosão. Além da resistência à corrosão possuem outras características, como sejam uma resistência a altas temperaturas, e uma boa ductilidade e tenacidade. De acordo com a sua estrutura, estes podem ser classificados como ferríticos, martensíticos ou austeníticos.

Tabela 2: Exemplos de ferros e aços correntes (Selwin, 2004).

Liga \ percentagem (%)	Carbono	Silício	Crómio	Níquel	Manganês	Cobalto	Molibdénio	Tungsténio	Vanádio	Fosforo	Cobre	Enxofre	Titânio
Ferro forjado	0,02-0,08												
Ferro fundido cinzento	2,5-4,4	1,0-3,0			0,3-1					0,1-1		0,05-0,25	
Ferro fundido branco	1,8-3,6	0,5-1,9	1,4-4	3,3-5	1,30		1			0,30		0,15	
Ferro fundido dúctil	3,0-4,0	1,8-2,8			0,1-1					0,01-0,1		0,005-0,02	
Ferro fundido maleável	2,2-2,9	0,9-1,9			0,50					0,20		0,10	
Aço rápido	0,67-1,3		3,75-4,5		0,30	5-12	4-9	2-20	1-5				
Aço patinável	0,05-0,25				2					0,15	0,20		
Aço inoxidável ferrítico	0,8- 0,12	1	12-30							0,40-0,45		0,03-0,045	0,75
Aço inoxidável martensítico	0,15	1	11,5-13,5		1					0,04		0,03	
Aço inoxidável austenítico	0,03-0,15	1	16-20	6-14	2		2-3			0,45		0,03	

2.4.2.4. A transformação do ferro

Após obtido o ferro metálico, independentemente do processo, é necessário dar-lhe forma, o que poderá ser conseguido através de três técnicas (Launay, 1896: 1089): modelação, moldagem e sinterização.

A Figura 24 sumariza as diferentes técnicas por modelação.

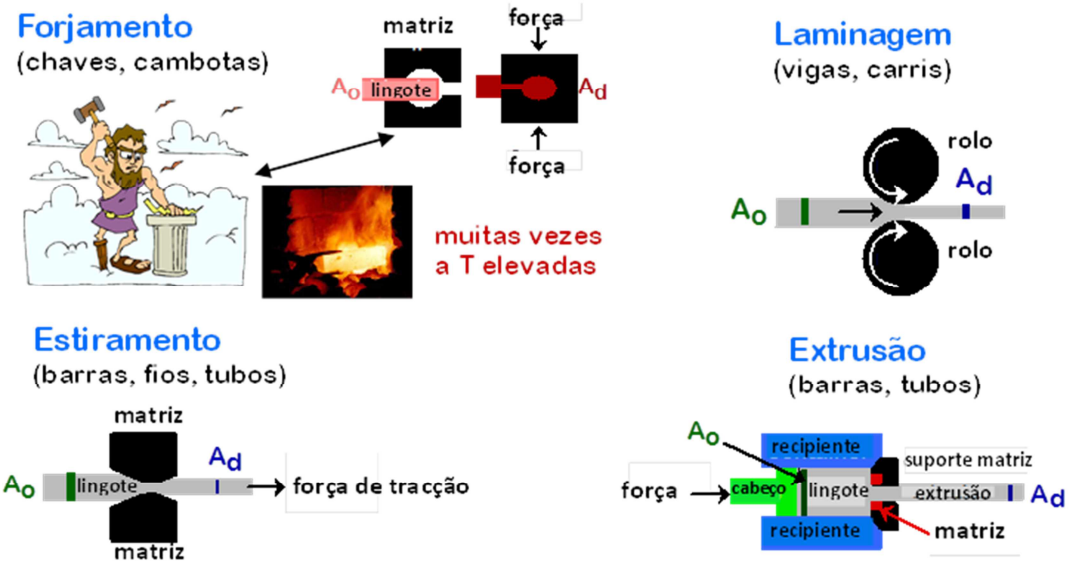


Figura 24: Síntese das técnicas de modelação (adaptado de Callister, 2007).

A realização destas técnicas a quente necessita de menor energia, permite uma recristalização do material, e portanto menor resistência mecânica do material, mas tem um acabamento pobre porque o material oxida. O processamento a frio exige maior energia, mas no entanto o material adquire maior resistência mecânica e tem um melhor acabamento.

A Figura 25 sumariza as diferentes técnicas por fundição.

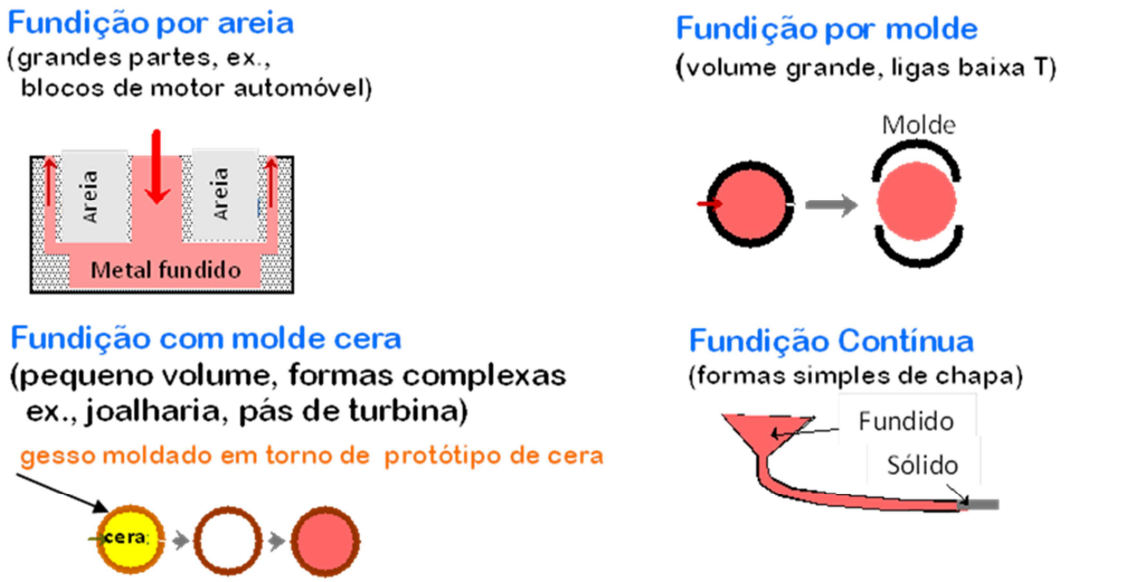


Figura 25: Síntese das técnicas de fundição (adaptado de Callister, 2007).

A Figura 26 sumariza as diferentes técnicas de junção.



Figura 26: Síntese das técnicas de junção (adaptado de Callister, 2007).

3. Análise funcional e tipológica dos materiais estudados

Os artefactos estudados foram analisados de acordo com o papel que desempenharam na sociedade, e nesse sentido consideraram-se os seguintes:

a) os relacionados com (re)construção de estruturas, independentemente do seu suporte físico (lítico – pedra, ou madeira), designadamente os materiais de construção e de carpintaria;
b) os de uso quotidiano nas atividades diárias das pessoas, nomeadamente os domésticos, os de adorno pessoal, e os decorativos;
c) os conectados com atividades económicas, como sejam, agricultura, pecuária, pesca e metalurgia;
d) os inventariados como armamento, i.e., constando de peças interligadas com a função militar ao nível das armaduras, armas ofensivas ou defensivas;
e) e por fim, aqueles cuja funcionalidade não pode ser aferida, maioritariamente devido às suas dimensões, ausência de traços característicos de uma função e corrosão, sendo, como tal, indeterminados (9 objetos).

Neste contexto, as Tabelas 3, 4 e 5 sumariam as funcionalidades atribuídas aos artefactos, havendo contudo a salientar que alguns deles, face à morfologia apresentada, estão associados a múltiplas funções.

Dentro de cada uma das funcionalidades e consequentemente tipologias revelou-se pertinente realizar a distinção entre os diferentes períodos cronológicos, designadamente:

- Romanos (Tabela 3), englobando os subgrupos: séc. II d.C., séc. III d.C., séc. III/IV d.C., séc. IV d.C. e séc. IV/V d.C.;
- Medievais (Tabela 4), um único objecto datado do séc. XV d.C.;
- Contemporâneos (Tabela 5), materiais compreendidos entre os séculos XIX e XX d.C..

Tabela 3: Funcionalidades dos artefactos estudados de época romana

Nº Inv.	Cronologia	Construção	Carpintaria	Doméstica	Adorno	Decorativa	Agrícola	Pecuária	Pesca	Metalurgia	Militar	Indeterminada
1992.0203	Romana	Cavilha										
1992.0231	Romana	Cavilha										
1992.0232	Romana	Cavilha										
1992.0297	Romana	Cavilha										
1994.0320	Romana	Cavilha										
1994.0321	Romana	Cavilha										
1994.0533	Romana	Cavilha										
1995.0280	Romana	Cavilha										
1995.0284	Romana	Cavilha										
1995.0285	Romana	Cavilha										
1995.0286	Romana	Cavilha										
1995.0288	Romana	Cavilha										
1994.0331	Romana	Prego										
1994.0531	Romana	Prego										
1995.0281	Romana	Prego										
1995.0283	Romana	Prego										
2001.0127	Romana	Grampo										
1992.0229	Romana	Grampo										
1991.7128	Romana	Gancho										
2001.0121	Romana	Gancho										
1992.0207	Romana	Chave										
1995.0291	Romana	Dobradiça										
1995.0292	Romana										*Pilum*	
2001.0033	Romana			Espeto								

Nº Inv.	Cronologia	Construção	Carpintaria	Doméstica	Adorno	Decorativa	Agrícola	Pecuária	Pesca	Metalurgia	Militar	Indeterminada
1992.0206	Romana			Asa de Sítula								
2002.0317	Romana			Asa de Sítula								
2001.0117	Romana	?		Gramalheira								
2001.0034	Romana	?						Argola				
2003.0047	Romana			Argola								
1994.0532	Romana	?	?	Argola				?				
1992.0029	Romana			?						Copela		
2001.0089	Romana	?				Aplique						
1991.7147	Romana		?			Aplique						
2000.0308	Romana			Faca								
2001.0032	Romana			?			Balança	?	?			
1991.1747	Romana							Chocalho				
1995.0293	Romana							Chocalho				
1992.0027	Romana							Tesoura				
1992.0230	Romana	?		?					Fateixa			
2001.0053	Romana				Fivela							
2001.0120	Romana				Anel							
1991.0888	Romana				X						Colchete	
1991.0976	Romana				X						Colchete	
1992.0076	Romana										*Pilum*	
1992.0077	Romana										*Pilum*	
2001.0151	Romana										*Pilum*	
2002.1051	Romana										*Pilum*	
1992.0205	Romana											X
1995.0282	Romana											X
1995.0287	Romana											X

Nº Inv.	Cronologia	Construção	Carpintaria	Doméstica	Adorno	Decorativa	Agrícola	Pecuária	Pesca	Metalurgia	Militar	Indeterminada
2001.0030	Romana											X
2001.0073	Romana											X
2003.0124	Romana											X

Tabela 4:Funcionalidades dos artefactos estudados de época medieval.

Nº Inv.	Cronologia	Construção	Carpintaria	Doméstica	Adorno	Decorativa	Agrícola	Pecuária	Pesca	Metalurgia	Militar	Indeterminada
1993.0402	Medieval				Fivela							

Tabela 5: Funcionalidades dos artefactos estudados de época contemporânea

Nº Inv.	Cronologia	Construção	Carpintaria	Doméstica	Adorno	Decorativa	Agrícola	Pecuária	Pesca	Metalurgia	Militar	Indeterminada
1992.0208	Contemporânea	Chave										
2002.0720	Contemporânea	Chave										
2002.0646	Contemporânea	Dobradiça										
2008.0651	Contemporânea	Ferrolho										
1995.0304	Contemporânea			Colher								
2003.0165	Contemporânea			Cutelo								
2008.0649	Contemporânea			Gramalheira								
2008.0650	Contemporânea			Fechadura								
2000.0309	Contemporânea			Grelha								
2003.0167	Contemporânea	?	?	Martelo						?		
2003.0164	Contemporânea						Foice					

Nº Inv.	Cronologia	Construção	Carpintaria	Doméstica	Adorno	Decorativa	Agrícola	Pecuária	Pesca	Metalurgia	Militar	Indeterminada
2003.0166	Contemporânea		?				Machado					
1995.0289	Contemporânea	?	?	?			Cabo					
2003.0144	Contemporânea			?				Ferradura				
1995.0290	Contemporânea							Pente Ripar				
2002.0712	Contemporânea	?	Buril							?		
2001.0122	Contemporânea											X
2002.0724	Contemporânea											X
2002.0726	Contemporânea											X

Como se observa no Gráfico 1, a maior parte dos artefactos são materiais de construção, o que se prende com as diferentes fases (re)construtivas do local das Carvalheiras, e com utensílios de uso doméstico.

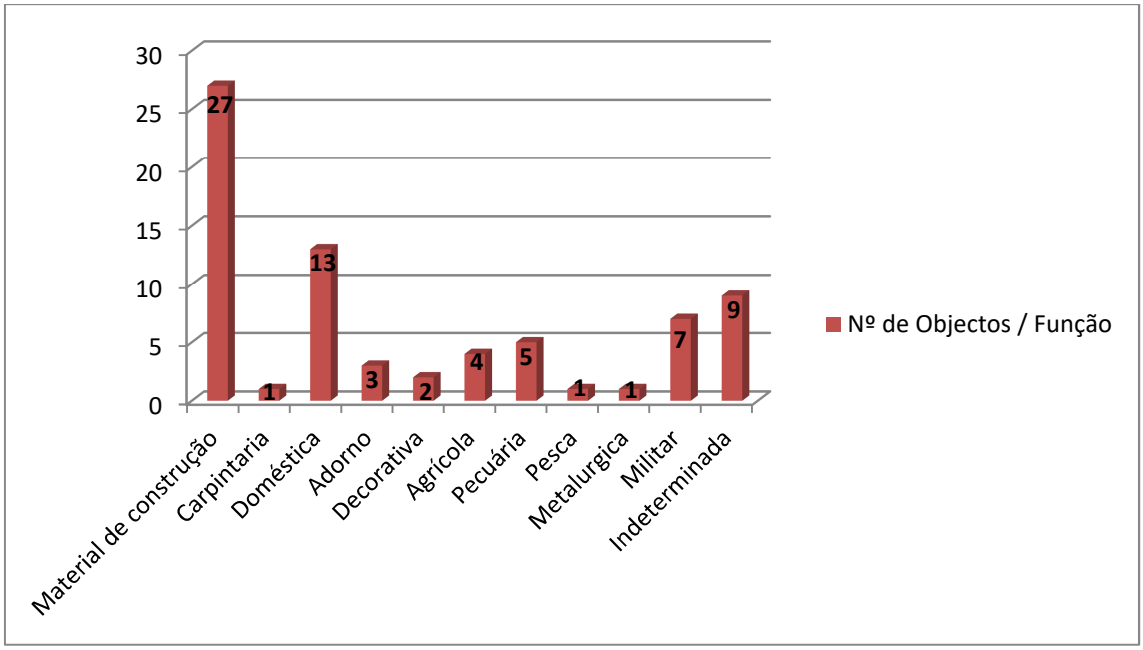


Gráfico 1: Distribuição do número de artefactos por função.

No entanto, poder-se-á verificar, que esses mesmos objetos se dividem diferentemente consoante as época cronológicas em que se inserem, principalmente romana e contemporânea, como se pode observar nos gráficos 2 e 3, respectivamente, sendo que só existe um único artefacto de época medieval, considerado de adorno – fivela com o nº de inv. 1993.0402, não havendo peça alguma do período moderno.

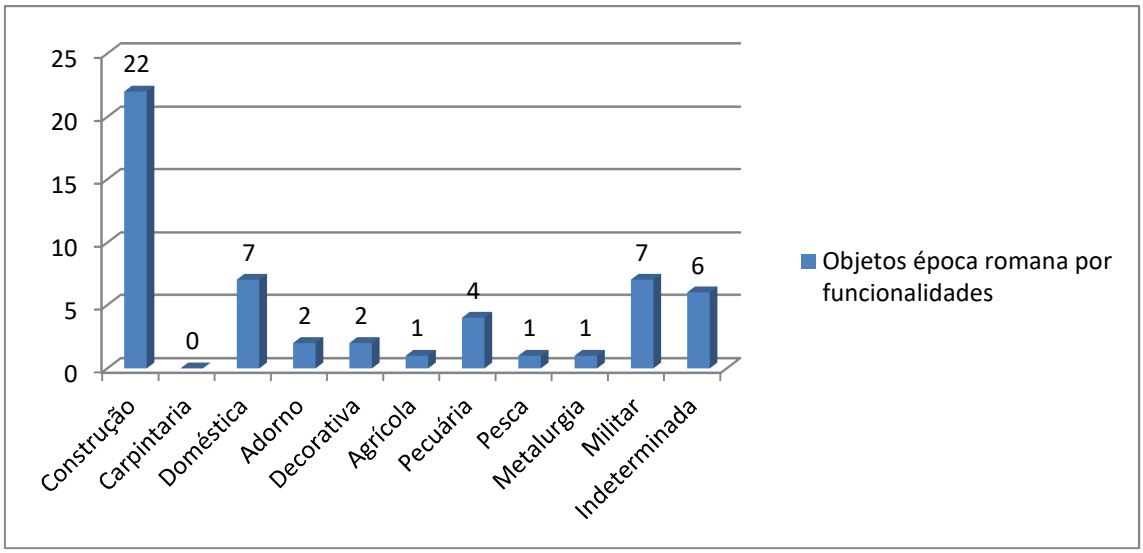


Gráfico 2: Objetos de época romana por funcionalidade.

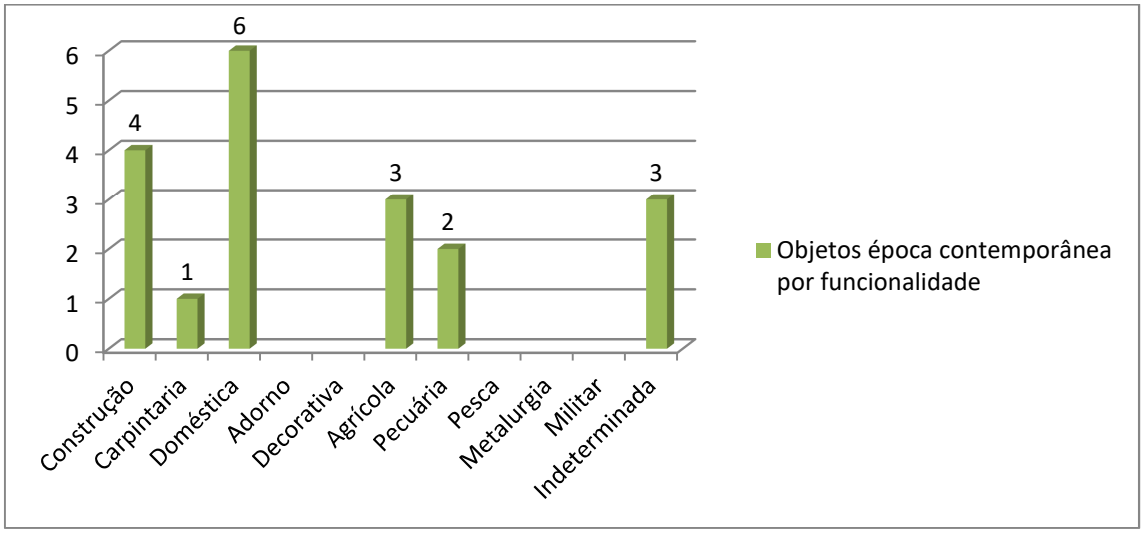


Gráfico 3: Objetos de época contemporânea por funcionalidade.

Os materiais de construção compreendem tipologias diversas como cavilhas, pregos, grampos, o que se prende com as sucessivas construções e remodelações existentes na área arqueológica das Carvalheiras, de época romana (Gráfico 2). Nesta função também foram incluídos materiais como dobradiças, ferrolhos e chaves, já que o seu uso – portas / janelas, se prende com a construção das estruturas; no entanto, a quase totalidade de peças que se

enquadram nestas últimas tipologias apresentam cronologias contemporâneas devido aos seus paralelos (Gráfico 3).

É de salientar que uma grande percentagem dos objetos considerados como de construção, de época romana, foram exumados em camadas de destruição, inferindo, como tal, que os mesmos pertencerão, pelo menos, ao período (re)construtivo anterior, facto determinante para atribuição da sua cronologia.

A atividade de carpintaria, aqui apenas representada por um buril de época contemporânea, estará indiretamente associada à construção de estruturas e trabalho da madeira.

As peças consideradas como tendo uma função decorativa são dois apliques de época romana, cujo suporte muito provavelmente terá sido de madeira. Esta funcionalidade está correlacionada com as construções existentes do mesmo período e / mobiliário em madeira necessário.

Os objetos de uso quotidiano, entre os quais asas de sítula, espeto, cutelo, colher, faca, gramalheira, ferro de engomar, argola, martelo, estão em número significativo – 13, encontrando-se sete com datações romanas e seis contemporâneas. As peças romanas prendem-se com os períodos de ocupação do local.

Há ainda a referir que duas fivelas e um anel foram classificados como de uso pessoal e de adorno. É claro que as fivelas também apresentam uma função prática. Uma vez mais, uma das fivelas e anel são romanos, enquanto a segunda fivela é medieval, peça "perdida" já que a área medieval de ocupação se tinha redeslocado.

As atividades relacionadas com a exploração de recursos económicos encontram-se igualmente representadas através dos objetos alvo de estudo, com um predomínio para a agropecuária, num total de 10 peças, entre as quais foice, machado, balança, ferradura, chocalhos, tesoura, e pente de ripar. Também em relação às cronologias, as peças encontram-se divididas por romanas e contemporâneas; no primeiro caso relacionado com a ocupação do local, no segundo com um local destinado a fins agrícolas / hortícolas.

Apenas se revelou uma fateixa romana como objeto relacionado com a pesca.

A deteção nesta área arqueológica das Carvalheiras de uma oficina romana de lapidação e gravação de pedras preciosas, semipreciosas e vidro (Cruz, 2011: 92-93 e fig. 1,B) poderá justificar a presença de uma copela interligada com a metalurgia, já que as gemas após lapidadas / gravadas serão engastadas em metal. Esta atividade conecta-se com a prática comercial de objectos de luxo – jóias, bem ao gosto romano.

As convulsões políticas em período romano, principalmente ao longo dos séculos III e IV d.C., justificarão a presença de armamento militar e consequente uso, tendo-se descoberto 7 objetos relacionados com armaduras – colchetes, e armas ofensivas – *pilum*.

Assim sendo, segue-se a descrição das diferentes tipologias detetadas englobadas em cada uma das funções.

3.1. Função - materiais de construção

3.1.1. Cavilhas romanas

Este tipo de objetos (Figura 27) apareceram essencialmente em contextos termais e habitacionais nas escavações realizadas em *Bracara Augusta*, e de entre elas as realizadas nas Carvalheiras (Martins, *et al.*, 2011).



Figura 27: Exemplo de cavilha (nº inv. 1992.0297, romana).

São objetos bastante versáteis com várias funcionalidades, possuindo uma extremidade variável consoante o uso a que se destinam; são elementos metálicos de fixação constituindo reforços associados a elementos estruturais.

As cavilhas exumadas na zona das Carvalheiras são todas semelhantes entre si em forma, compreendendo um corpo alongado com uma das extremidades em ângulo de 90º, e a outra terminando por uma ponta afilada, por vezes pontiaguda, havendo uma variação do tamanho (Pessoa, 2004, nº196). Foram assinaladas 12 cavilhas com os seguintes números de inventário: 1992.0203, 1992.0231, 1992.0232, 1992.0297, 1994.0320, 1994.0321, 1994.0533, 1995.0280, 1995.0284, 1995.0285, 1995.0286, 1995.0288, datadas do século II d.C., com exceção das 1995.0280 e 1995.0288 que serão do século IV d.C..

Estes artefactos apresentam um formato semelhante às cavilhas atuais utilizadas nas áreas da construção civil e marcenaria, sendo legítima a afirmação de terem desempenhado a mesma função à data (Lourenço, 2012: 46).

3.1.2. Pregos romanos

Os pregos, tal como as cavilhas, também são elementos metálicos de fixação constituindo reforços associados a elementos estruturais, e sendo também elementos de união, principalmente de elementos em madeira, como por exemplo vigas.

É um objeto composto por um pé ou corpo longo de secção arredondada e por uma cabeça de formato redondo e achatado (Figura 28), com tamanhos diversos.



Figura 28: Exemplo de prego (nº inv. 1994.0331, romano).

Os pregos estudados, com números de inventários: 1994.0331, 1994.0531, 1995.0283 e 1995.0288, apresentam datações compreendidas entre os séculos II e IV d.C. (Pessoa, 2004: nº191, e Manning, 1983: Plate 63, R87, R84).

3.1.3. Grampos romanos

Neste grupo distinguem-se dois tipos de grampos: o destinado a suporte de revestimentos e o grampo de fixação de pedra (Figura 29). São semelhantes, e apenas diferem em terem uma ou duas extremidades em forma de ângulo reto.



Figura 29: Exemplo de grampo (nº inv. 1992.0229, romano).

3.1.3.1. Grampo de revestimento

O único objeto detetado, com n.º de inventário 2001.0127, e datado do século II d.C., apresenta um corpo longo, com secção retangular, fraturada numa das extremidades, e terminando numa espécie de gancho em "L".

O gancho seria colocado em perfurações abertas na face superior das placas, e a outra extremidade penetraria profundamente na argamassa da parede. Este tipo de peça é uma das melhores maneiras de complementar a junção da placa à argamassa da parede (Pessoa, 2004: 102 e nº 184).

3.1.3.2. Grampo de pedra

Este tipo de grampos, bastante comum na época romana, servia para a junção de pedra ou madeira na construção. Também poderia ser utilizado em reparações.

É constituído por uma haste de ferro de secção retangular com as duas extremidades a terminar com um angulo de 90º; por vezes as extremidades apresentam secção retangular ou triangular.

A peça estudada, com número de inventário 1992.0229, é datada do século IV d.C., (Waldbaum, 1983: Plate 20, nº287).

3.1.4. Ganchos romanos

Os ganchos normalmente são constituídos por uma argola e um pé, e a morfologia deste último permitirá distintas funcionalidades (Figura 30).



Figura 30: Exemplo de gancho (nº inv. 1991.7128, romano).

3.1.4.1. Gancho de espigão

O gancho de espigão é composto por uma argola e um pé que termina numa extremidade pontiaguda destinada a perfurar a madeira ou pedra, como é o caso da peça com o número de inventário 1991.7128, do século IV d.C. (Manning, 1985: Plate 59, R31). Normalmente era utilizado aos pares – espigão duplo, podendo ter várias funcionalidades, designadamente na alvenaria, carpintaria e talha.

3.1.4.2. Gancho de manilha

O gancho de manilha é constituído por um pé com extremidade pontiaguda destinada a perfurar a pedra, e uma argola, a partir da qual se encaixam dois ganchos que sustentam uma outra argola por onde passaria uma corrente ou outro gancho. É o caso do objeto com o número de inventário 2001.0121 datado do século II d.C. (Manning, 1985: Plate 35, M3).

Estes ganchos podem ter sido usados na pecuária para prender os animais, na construção para prender objetos, ou doméstico nas gramalheiras.

3.1.5. Chaves

Normalmente, as chaves são compostas por uma cabeça, de tipologia diversa, um corpo normalmente cilíndrico e dente(s) recortado(s) (Figura 31).

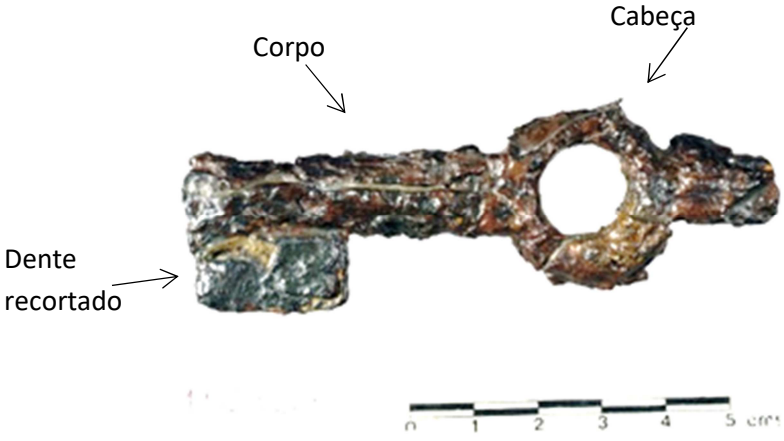


Figura 31: Exemplo de chave (nº inv. 1992.0208, contemporânea).

No entanto, a sua tipologia e tamanho são de acordo com o uso a que se destina.

3.1.5.1. Chave de fechadura de tranca romana

Este tipo de chave apresenta um corpo longo de secção retangular, com uma cabeça no prolongamento do corpo, perfurada, possivelmente para suspensão. A outra extremidade encontra-se dobrada em "L" e possui dois dentes recortados.

Esta tipologia é assaz primitiva – corpo de metal ou osso, comportando um par de dentes na extremidade, que passaria por um buraco na porta encaixando-se numa trave para levantar e abrir a fechadura.

Esta não é uma invenção romana, sendo que esta peça com o número de inventário 1992.0207 apresenta uma cronologia romana, século III d.C. (Pessoa, 2004: nº177).

3.1.5.2. Chave de fechadura em alavanca ou chaves rotativas contemporâneas

A chave é constituída por um corpo cilíndrico de secção retangular, com uma cabeça em chapa circular perfurada rematada por uma protuberância de formato retangular; a outra extremidade do corpo termina com dois dentes recortados.

Este tipo de chave é facilmente identificada devido à semelhança com as chaves utilizadas até ao século passado, e mesmo nos dias de hoje.

Este tipo de fechaduras é uma invenção romana e funcionava colocando a chave na fechadura e rodando, o que levantaria uma alavanca existente dentro do mecanismo e abriria a porta.

As peças que se estudaram, com os números de inventário 1992.0208 e 2002.0720 têm uma datação de finais do século XIX / inícios do século XX d.C. (Sauron, 1999: Planches 60, 4.11/6).

3.1.6. Dobradiças

A dobradiça é composta por duas chapas de secção retangular e articuladas por um eixo de forma anelar (Figura 32).

As suas tipologias e função não diferem muito ao longo dos tempos.

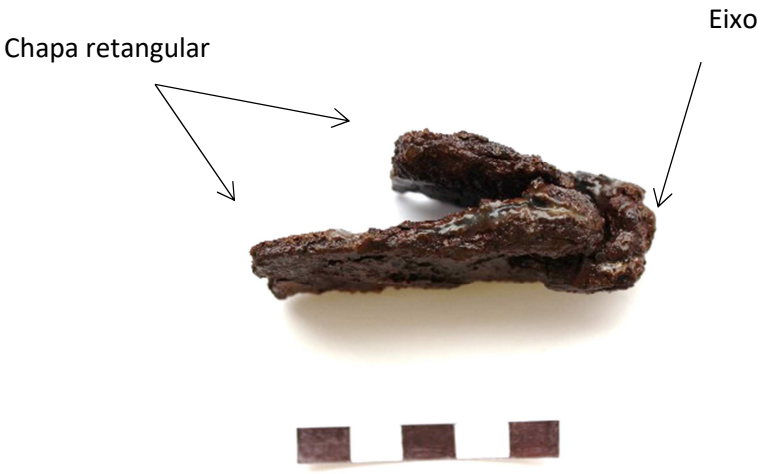


Figura 32: Exemplo de dobradiça (n° inv. 1995.0291, romana).

3.1.6.1. Dobradiça romana

Não tem vestígios das perfurações onde seriam colocados os pregos que prenderiam a dobradiça à porta, muito provavelmente devido à corrosão patente e subsequentes tratamentos de conservação.

A sua função é a articulação de elementos móveis, como por exemplo uma porta, a um elemento estrutural, designadamente uma parede.

A peça estudada tem o número de inventário 1995.0291 e é datada do século II d.C..

3.1.6.2. Dobradiça contemporânea

Foi estudada a peça com o número de inventário 2002.0646 de finais do século XIX / inícios do século XX d.C., que possui uma argola de secção rectangular numa das extremidades e duas perfurações circulares no corpo para comportar possivelmente pregos de fixação a um elemento de madeira.

3.1.7. Ferrolho contemporâneo

Objeto de formato trapezoidal, com quatro perfurações no corpo de secção retangular, e batente com decoração em espinha (Figura 33).



Figura 33: Ferrolho (nº inv. 2008.0651, contemporâneo).

Serviria como batente de porta, já que era preso à porta com quatro cravos e teria como função impedir que a porta batesse. É o caso do artefacto com o número de inventário 2008.0651, datado de finais do século XIX / Inícios do século XX d.C..

3.1.8. Argola romana

Argola de grandes dimensões, constituída por um aro aberto (Figura 34), comummente designada por argola de prisão.



Figura 34: Argola de prisão (nº inv. 2001.0034, romana).

Estas argolas eram colocadas nas paredes dos currais ou em exteriores de locais de paragem, para prender os animais, principalmente cavalos; eram presas em articulação com ganchos que perfuravam a parede.

A argola estudada com o número de inventário 2001.0034, data do século IV d.C..

3.2. Função – carpintaria (buril contemporâneo)

Ao analisar as peças do conjunto surgiu uma que poderia ter sido utilizada no trabalho da madeira, designadamente um buril.

O buril estudado com o número de inventário 2002.0712 (Manning, 1985: Plate 6, A30), é composto por um corpo longo de secção retangular, encontrando-se fraturado numa das extremidades, sendo a ponta mais estreita (Figura 35).



Figura 35: Buril (nº inv. 2002.0712, contemporâneo).

A secção destes objetos pode variar, entre ovalada, retangular ou quadrada, consoante o tipo de trabalho a fazer, assim como o seu tamanho, espessura e secção da ponta.

Deveriam ser suficientemente longos para manter as mãos dos carpinteiros longe da madeira de modo a que este não se magoasse ao burilar o material. Poderiam também ser utilizados no trabalho da pedra e do ferro.

Este buril é datado de finais do século XIX / inícios do século XX d.C..

3.3. Função – doméstica

Esta categoria é composta por todos os objetos utilizados no dia-a-dia, principalmente utensílios de cozinha e baixela de mesa.

3.3.1. Colher contemporânea

Uma colher é composta por cabo e concha (Figura 36).



Figura 36: Colher (nº inv. 1995.0304, contemporânea).

A colher estudada com o número de inventário 1995.0304, e datada de finais do século XIX / inícios do século XX d.C., apresenta um cabo com largura fina e secção retangular, terminando num formato ovalado; a concha teria um formato oval, mas encontra-se incompleta. Não apresenta vestígios de decoração.

A sua utilização é de baixela para ir à mesa e uso na cozinha.

3.3.2. Faca romana

A faca também faz parte da baixela de ir à mesa e uso na cozinha. É constituída por um cabo, encaixe para o mesmo e uma lâmina (Figura 37).



Figura 37: Faca (nº inv. 2000.0308, romana).

A faca estudada com o número de inventário 2000.0308, e datada do século IV d.C., é composta por uma lâmina irregular e com encaixe para encabamento de um cabo, eventualmente em madeira ou osso. Entre o encaixe e a lâmina tem um anel, provavelmente para segurar o cabo.

Seria utilizado em várias utilizações na cozinha, sendo a principal o corte de comida para alimentação.

3.3.3. Cutelo contemporâneo

O cutelo é constituído por um cabo e uma lâmina (Figura 38).

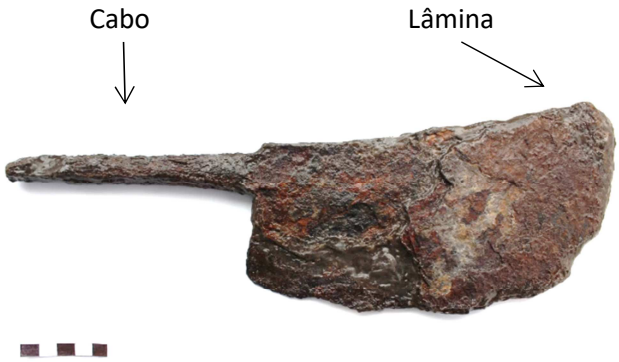


Figura 38:Cutelo (nº inv. 2003.0165, contemporâneo).

O cutelo estudado com o número de inventário 2003.0165, datado de finais do século XIX / inícios do século XX d.C. (Manning, 1985: 12a/b), apresenta um cabo com secção retangular, e uma lâmina de formato trapezoidal romba fruto do seu uso.

Normalmente, estas peças serviriam para cortar carne, sendo que a sua tipologia não se alterou com o tempo, visto existirem representações alusivas ao período romano da sua função (Figura 39).



Figura 39: Relevo em mármore de 130 d.C. proveniente de Dresden, Skulpturensammlung [Albertinum]), Inv. No. 415 (Fotografia de DAI in Büttner, Jochen, Ancient balances at the Nexus of innovation and knowledge. Max Planck Institute for the History of Science, in https://www.mpiwg-berlin.mpg.de/en/news/features/features-feature32).

3.3.4. Gramalheiras

Gramalheira é um conjunto de correntes em ferro, compreendendo argolas e ganchos, para suspensão de um pote / sítula sobre o lume (Figura 40).



Figura 40: Exemplo de argola e gancho de suspensão de gramalheira (nº inv. 2001.0117, romano).

A sua constituição e função não se alterou ao longo dos tempos.

3.3.4.1. Gramalheira romana

Argola com secção circular, regular, podendo fazer parte de uma gramalheira, e que sustentaria as correntes a partir de um gancho de suspensão; número de inventário 2001.0117, datada do século IV d.C. (Manning, 1985: Plate 65, S23).

3.3.4.2. Gramalheira contemporânea

Gancho com argola numa das extremidades, com o número de inventário 2008.0649 e datado de finais do século XIX / inícios do século XX d.C.. Possivelmente faria parte de uma gramalheira, mas poderia ter muitas outras funcionalidades.

3.3.5. Espeto romano

O espeto é um gancho para carne, sendo bastante comuns no período romano. São compostos por um corpo cilíndrico com um punho e um gancho ou argola numa das extremidades, e na noutra termina com dentes ou de forma pontiaguda (Figura 41), podendo, no entanto, ter variações na sua tipologia.

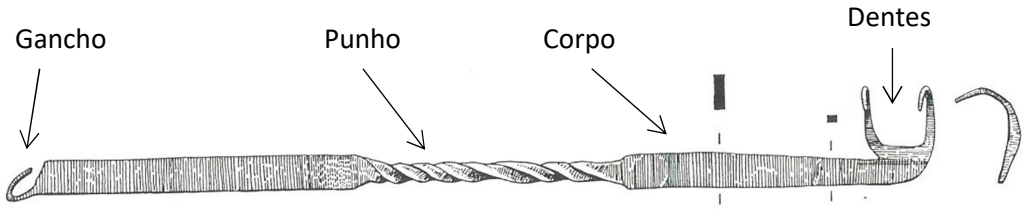


Figura 41: Exemplo de espeto (in Manning, 1985: Plate 51).

Normalmente encontram-se divididos em dois grupos tendo em conta a disposição dos ganchos. Neste caso, do número de inventário 2001.0033, datado do século IV/V d.C., trata-se de um espeto do tipo 2 segundo o catálogo do Museu Britânico, característico por ter dois dentes, um de cada lado do corpo, podendo ter ainda um terceiro (Manning, 1985: Plate 51, P38).

Independentemente do tipo, o corpo cilíndrico é bastante longo e, normalmente, decorado em forma de espiral no punho, terminando com uma argola que serviria para o pendurar.

A finalidade deste tipo de gancho era remover os pedaços de carne já cozida de dentro do caldeirão/pote.

3.3.6. Fechadura contemporânea

Lingueta de fechadura de arca com formato retangular com um arco numa das extremidades. Na parte superior teria uma perfuração que giraria num gancho ou num eixo que estaria presa na parte superior da arca. O arco na parte da extremidade encaixaria na fechadura que se encontraria na parte de baixo da arca.

A peça estudada (Figura 42) detém o número de inventário 2008.0650, e é datada de finais do século XIX / inícios do século XX.



Figura 42: Lingueta de fechadura (nº inv. 2008.0650, contemporânea).

3.3.7. Grelha contemporânea

Em época contemporânea, o conjunto de engomar era constituído por três peças: o ferro, a grelha e a trempe (Figura 43). O ferro teria um formato triangular encurvado, com um recipiente para colocar o carvão. Dentro teria uma grelha que impedia o carvão de contactar com a base, e desse modo obter uma temperatura não muito elevada para não queimar a roupa facilmente. Finalmente, a trempe servia para colocar o ferro em descanso.

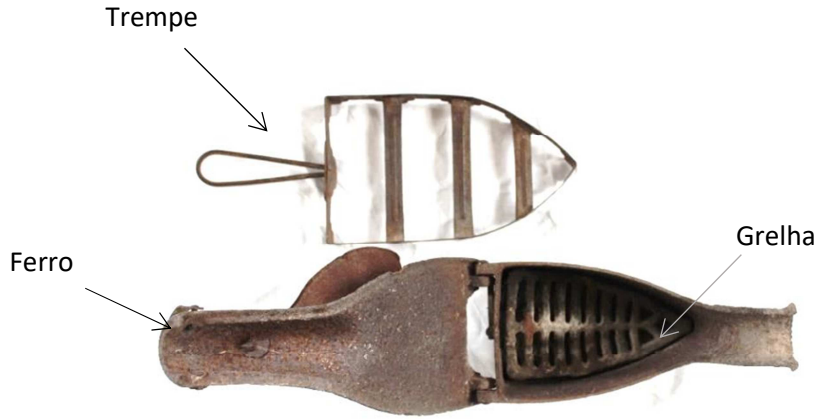


Figura 43: Exemplo de ferro de engomar contemporâneo.

O objeto estudado com o número de inventário 2000.0309, datado de finais do século XIX / inícios do século XX d.C., apresenta um formato triangular, fazendo parte da grelha interior que servia para suportar o carvão, impedindo que este ficasse no fundo do ferro.

3.3.8. Martelo contemporâneo

O martelo de orelhas é constituído por uma cabeça com encaixe para encabamento de cabo em madeira (Figura 44). A cabeça apresenta uma extremidade para arrancar pregos, com duas lâminas de secção retangular e cortantes, sendo a outra extremidade para batimento com superfície circular e apresentando concavidades semiesféricas, provavelmente do uso (batidas em pregos); o olhal de encaixe é retangular.



Figura 44: Cabeça de martelo de orelhas (nº inv. 2003.0167, contemporâneo).

O martelo estudado é contemporâneo, séculos XIX e XX, com o número de inventário 2003.0167, podendo ser utilizado em várias funções na vida doméstica.

3.3.9. Asas de sítula romanas

Os dois objetos estudados e datados dos séculos III/IV d.C., seriam parte constituinte de sítulas ou potes (caldeiros) (Manning, 1985: Plate 47, P14; Waldbaum, 1983: Plate 36, n.º 553). Estes objetos manufaturados normalmente em metais como o cobre e o bronze, muito raramente em ferro (Delgado, 1970), são constituídos por um aro e dois terminais que poderão comportar decoração ou não (Figura 45).

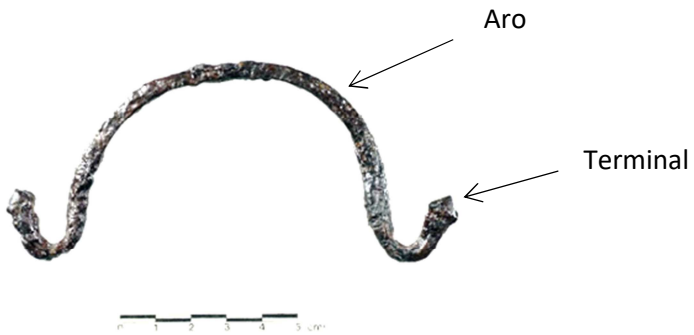


Figura 45: Exemplo de asa de sítula (nº inv. 1992.0206, romano).

O primeiro exemplar feito em ferro é bastante grosseiro, não possuindo decorações. Uma das extremidades termina num gancho em forma de cabeça de pato pouco estilizada, a outra encontra-se fraturada (número de inventário 2002.0317). O outro exemplar é elaborado de maneira mais cuidada, possuindo um arco mais perfeito e com extremidades curvadas que terminam em botão ligeiramente piramidal (número de inventário 1992.0206).

3.3.10. Argolas romanas

Neste grupo foram identificados dois tipos de argolas:

a) Argola com aro de secção circular e regular, que poderia ter tido várias utilizações (Figura 46), nomeadamente ter feito farte de elemento de suspensão; tem o número de inventário 2003.0047, e é datada do século IV d.C. (Manning, 1985: Plate 65, S23).



Figura 46: Argola. (nº inv. 2003.0047, romano).

b) Argola triangular com gancho cuja extremidade é pontiaguda (Figura 47). O formato do gancho indica que terá sido utilizado para passar uma faixa, podendo-se levantar como hipótese a sua utilização para prender os arreios dos cavalos (Manning, 1985: Plate 29, H23). Tem o número de inventário 1994.0532, e é datada, tal como a anterior, do século IV d.C..

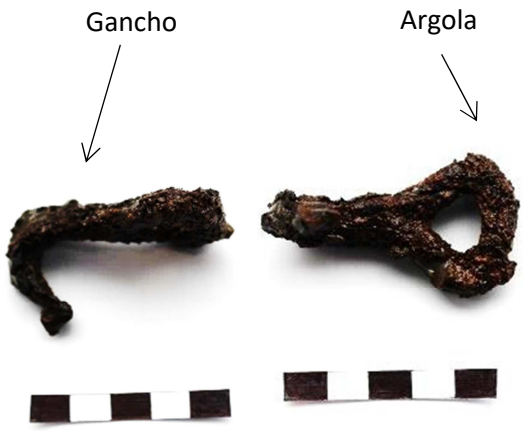


Figura 47: Gancho de uso doméstico (nº inv. 1994.0532, romano).

3.4. Função – adorno

Os objetos de adorno serviriam, tal como o nome indica, para ornamentar, independentemente de também poderem comportar uma função prática, designadamente as fivelas.

3.4.1. Fivelas

Uma fivela cumpre uma função prática, mas também é um elemento de adorno, constituída por um aro e um fuzilhão (Figura 48).



Figura 48: Exemplo de fivela (nº inv. 2001.0053, romano).

3.4.1.1. Fivela romana

Fivela ovalada com um fuzilhão de secção retangular seria utilizada em cintos ou no vestuário. Tem o número de inventário 2001.0053, sendo datada do século IV d.C..

3.4.1.2. Fivela medieval

Fivela trapezoidal, com cantos arredondados, cumprindo a mesma função da anterior. Tem o número de inventário 1993.0402, sendo datada do século XV d.C..

3.4.2. Anel romano

Anel de mesa com aro de secção em "D" com uma mesa quadrangular, não possuindo gravação na mesma (Figura 49).

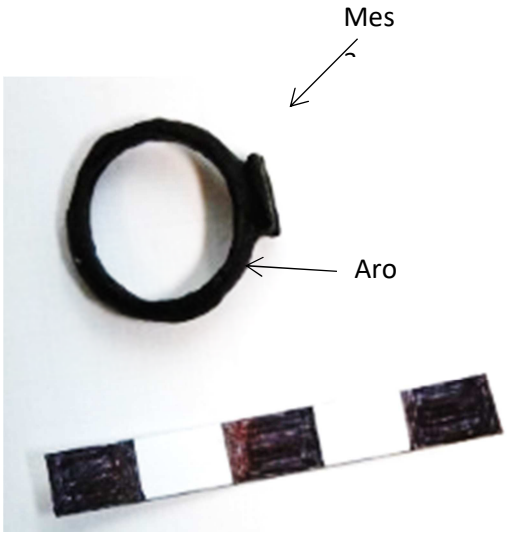


Figura 49: Anel de mesa (nº inv. 2001.0120, romano).

Os anéis eram um objeto de adorno bastante usual em homens e mulheres na época romana, sendo mais comum os elaborados em materiais nobres, designadamente o ouro e até mesmo o azeviche. Alguns anéis poderiam comportar significados próprios, como o estatuto social ou militar do seu portador, ou poderiam servir de selo (Lourenço, 2012: 23)

Tendo em conta o seu tamanho deveria ter ser utilizado no dedo mindinho ou no anelar, consoante o perímetro do dedo do seu dono.

A peça estudada detém o número de inventário 2001.0120, sendo datada pela sua tipologia, e não pelo seu contexto, do século III d.C..

3.5. Função – decorativa (apliques romanos)

Foram estudadas duas peças romanas que poderão ter servido de apliques decorativos para mobiliário em madeira.

a) Aplique constituído por uma placa de formato ovalado com dois pinos curvados e pontiagudos em cada extremidade (n.º de inventário 2001.0089) (Figura 50). A função que desempenharia causa ainda algumas dúvidas: como decoração de mobiliário (Manning, 1983: Plate 69, S131) ou como uma espécie de grampo com uma função específica em mobiliário como junção de partes. Datado do século III d.C..

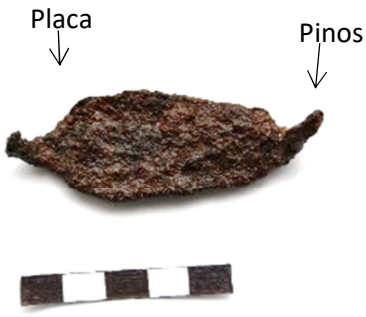


Figura 50: Aplique ovalado (nº inv. 2001.0089, romano).

b) Aplique composto por uma placa comportando nove cravos para fixação da mesma. Esta peça com o número de inventário 1991.7147 é datada do séc. III/IV d.C. (Figura 51).



Figura 51: Aplique com cravos (nº inv. 1991.7147, romano).

3.6. Função – agrícola

Nas intervenções arqueológicas nas Carvalheiras foram exumados vários objetos que seriam utilizados nas atividades agrícolas.

3.6.1. Foice roçadeira contemporânea

A foice roçadeira é constituída por uma lâmina curva com um cabo cilíndrico, que no caso estudado (n.º inventário 2003.0164) é inexistente. A extremidade da lâmina termina em forma de gancho, enquanto junto ao cabo é mais espessa com secção sub-retangular (Figura 52). Cabo e lâmina são peças separadas que seriam unidas. Estaria presa ao cabo de madeira por um cravo.

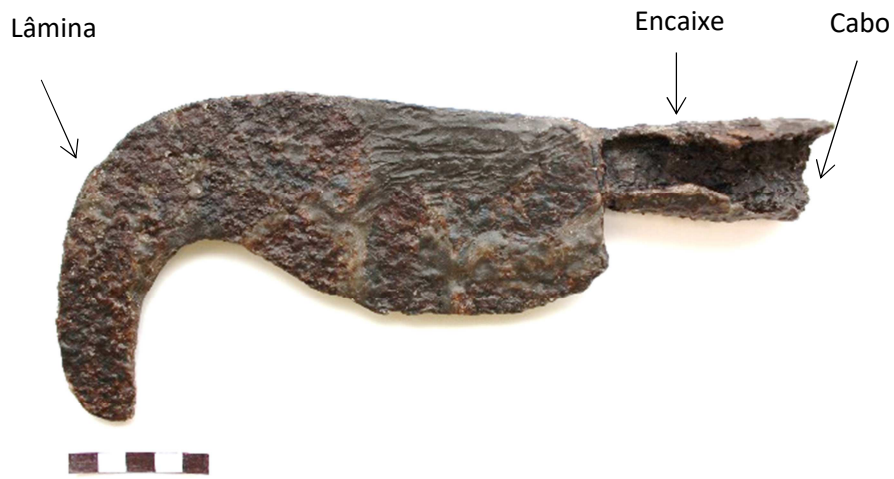


Figura 52: Foice (nº inv. 2003.0164, contemporânea).

Este objeto seria utilizado na apanha do cereal ou no trabalho vinícola. Trata-se de um exemplar recente, de finais do século XIX / inícios do século XX d.C., mas semelhante à *Falcata Ruscari*a romana, que era um pouco mais pequena, mas com o mesmo formato e utilizada no trabalho das vinhas.

3.6.2. Machado contemporâneo

O objeto em causa é um encaixe para encabamento de um machado (Figura 53); esta peça encontra-se fragmentada (n.º de inventário 2003.0166), faltando a lâmina com uma secção em forma de cunha e que seria triangular.

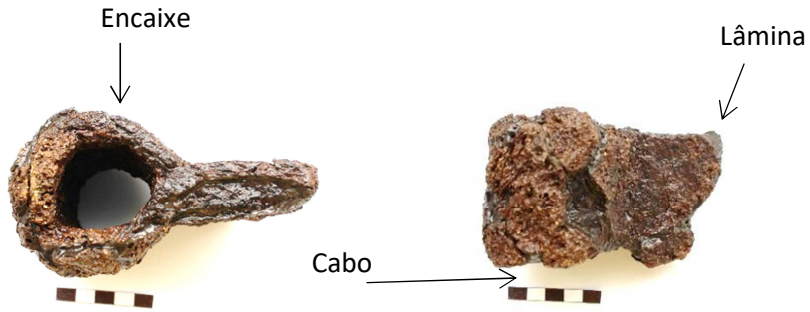


Figura 53: Encaixe para encabamento de machado (nº inv. 2003.0166, contemporâneo).

Este artefacto, datado de finais do século XIX / inícios do século XX d.C., é vulgarmente conhecido como machado de lenhador, podendo, no entanto, ter sido utilizado noutras atividades como a construção.

3.6.3. Cabo contemporâneo

O objeto em causa é um encaixe para encabamento (Figura 54), que por se encontrar extremamente fraturado não é possível averiguar a que utensílio pertenceria (n.º de inventário 1995.0289).

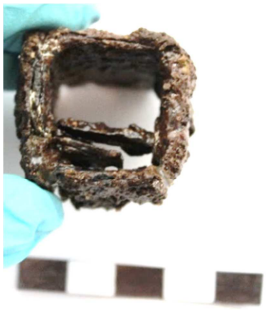


Figura 54: Encaixe de encabamento de utensílio (nº inv. 1995.0289, contemporâneo).

Assim, deveria ter sido constituído por uma lâmina, desconhecendo-se a sua tipologia, e um cabo de madeira que seria fixado ao encaixe através de um cravo ainda visível (Manning, 1985: Plate 76, V25b).

Esta peça encontra-se datada de finais do século XIX / inícios do século XX d.C..

3.6.4. Balança romana

A balança era composta por dois pratos equidistantes dum eixo central vertical (Figura 55). Para se pesar um objeto colocava-se o mesmo num dos pratos, e no outro iam-se colocando os pesos até nivelar os pratos, i.e., ficassem equilibrados. Os pesos eram facilmente adulterados a favor do comerciante.

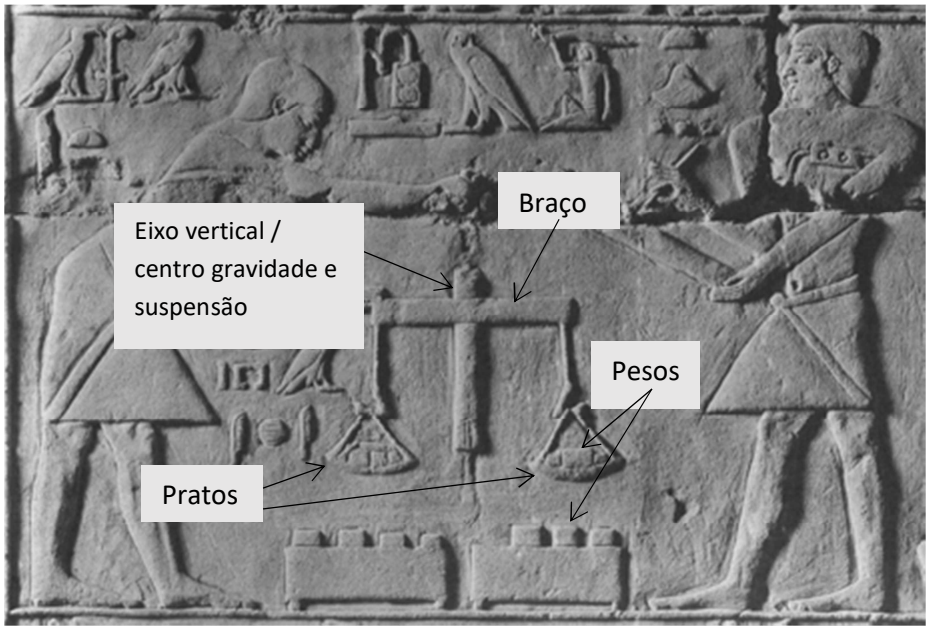


Figura 55: Uma das mais antigas representações de balança de dois pratos, proveniente de um túmulo egípcio da 6ª Dinastia (2300 a.C.). (Fotografia: OIP 31, plate 30, Copyright The Oriental Institute of The University of Chicago, in Büttner, Jochen, Ancient balances at the Nexus of innovation and knowledge. Max Planck Institute for the History of Science, in https://www.mpiwg-berlin.mpg.de/en/news/features/features-feature32).

O objeto estudado teria feito parte de um braço de uma balança de dois pratos (n.º de inventário 2001.0032), datado de meados do século IV d.C..

Este tipo de balanças eram principalmente utilizadas nas práticas comerciais.

3.7. Função - pecuária

Entre os objetos em estudo surgiram alguns artefactos relacionados com a pecuária. De entre eles surgem ferraduras e chocalhos que seriam utilizados pelos animais, tesouras, e pentes de ripar para recolher a matéria-prima proveniente dos animais (lã) e transformá-la.

3.7.1.Ferradura contemporânea

A ferradura é composta por uma chapa de ferro de secção retangular com perfurações onde seriam colocados os cravos que a prenderiam aos cascos do cavalo (Figura 56).



Figura 56: Ferradura (nº inv. 2003.0144, contemporânea).

O ofício de ferrageamento dos cavalos só aparece no mundo ocidental em torno do século X d.C., pelo que até então, e apesar dos cuidados extremos, os cavalos penavam pelo grande desgaste dos seus cascos, muitas vezes impossibilitando-lhes a locomoção. Deste modo, a ferradura é aplicada na parte morta do casco e fixa com cravos, protegendo-os, reduzindo as irregularidades da marcha e por vezes os próprios defeitos de formação.

Além de serem utilizadas nos cavalos é bastante comum vê-las em portas de casas, portões de quintas, principalmente em portas de estábulos como objeto que afastaria as cargas negativas e traria sorte (Pessoa, 2004: 58); frequentemente, para que funcione tem de ser

colocada em forma de "U" invertido, mas a sua colocação depende da tradição / país em questão. Estes costumes / lendas têm como fundamento dois aspetos: a utilização do ferro, cujas lendas, desde a antiga Grécia e posteriormente adotadas pelos romanos, referem ser um metal protetor contra os maus espíritos; a ferradura, seu formato e função, que lembram a lua crescente, o crescente fértil, e como tal símbolo da fertilidade, e também prosperidade e trabalho árduo (do cavalo).

A peça estudada tem o número de inventário 2003.0144, sendo datada de finais século XIX / inícios do século XX d.C..

3.7.2. Chocalhos romanos

O chocalho em ferro é constituído por três peças essenciais: corpo normalmente cilíndrico, no qual se solda uma asa semicircular e um badalo interior (Figura 57).

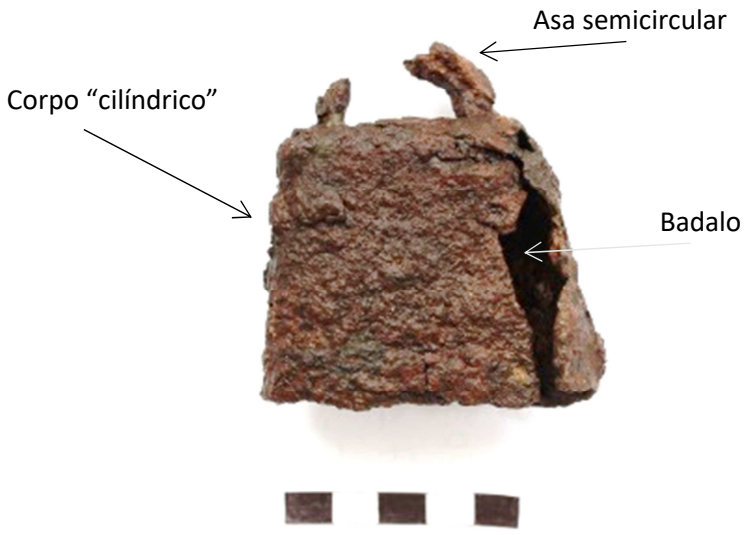


Figura 57: Exemplo de chocalho (nº inv. 1991.1747, romano).

As peças estudadas, com números de inventário 1991.1747 e 1995.0293, ambas datadas do século IV d.C. (Pessoa, 2004: nº 171), comportam ainda parte da argola de suspensão, e vestígios das hastes de suspensão do badalo.

Este tipo de objetos é, geralmente, feito em apenas uma folha de ferro fechada por caldeamento nas bordas, e fechada com um capelo através do mesmo processo (Pessoa, 2004: 95)

Tendo em conta o tamanho pequeno do seu corpo sonoro, supõe-se que teria sido utilizado em animais de pequeno porte, principalmente caprinos e ovinos.

3.7.3. Tesoura romana

A tesoura é um objeto de corte, constituída por duas lâminas que se entrecruzam num eixo permitindo assim o seu movimento (Figura 58).

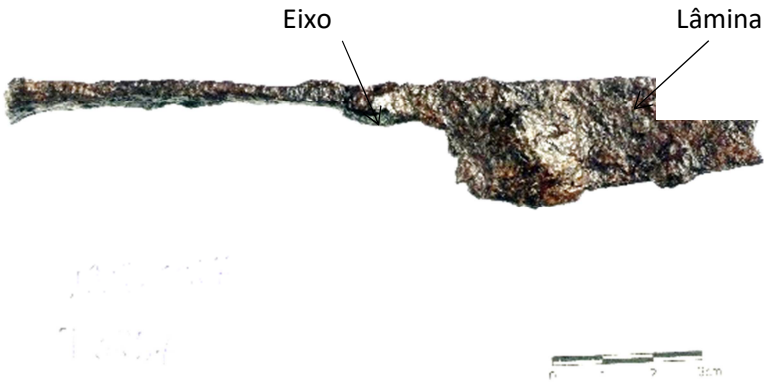


Figura 58: Tesoura (nº inv. 1992.0027, romana).

O fragmento de tesoura estudado, com o número de inventário 1992.0027 e datado do século IV d.C., é constituído por uma lâmina de secção retangular, obtida por forja e martelagem (Manning, 1985: Plate 14, D4).

As tesouras de mola em forma de "U" seriam utilizadas para tosquiar animais e para outras atividades, como o corte de peles. Consoante a função que desempenhava teria um diferente tamanho.

Não são um tipo de tesouras utilizadas estritamente pelos romanos, sendo conhecidos alguns exemplares nas sociedades indígenas peninsulares anteriores à conquista romana.

3.7.4. Pente de ripar contemporâneo

Quando a lã ou outro tipo de fibra natural é preparada para fiação é necessário utilizar um pente para desembaraçar fibras e garantir que elas fiquem paralelas umas às outras (Manning, 1985: 33) (Figura 59).



Figura 59: Exemplo de pente de ripar (in Martins, 1999: 21 n.º 8).

Os pentes de ripar podem comportar diversos tamanhos; os mais pequenos seriam colocados em mesas baixas, passado pelos seus dentes as fibras separando-se, no caso do linho, a planta da semente – linhaça (Martins, 1999: 10). Este trabalho era normalmente realizado por mulheres.

A peça estudada tem o número de inventário 1995.0290, sendo datada de finais do século XIX / inícios XX d.C. (Manning, 1985: Plate 14, D2a; Martins, 1999: 21, n.º 8-10).

3.8. Função – pesca (fateixa romana)

Mais raro de aparecer e consequentemente de estudar, foi detetada uma fateixa usualmente ligada à atividade piscatória (Figura 60).

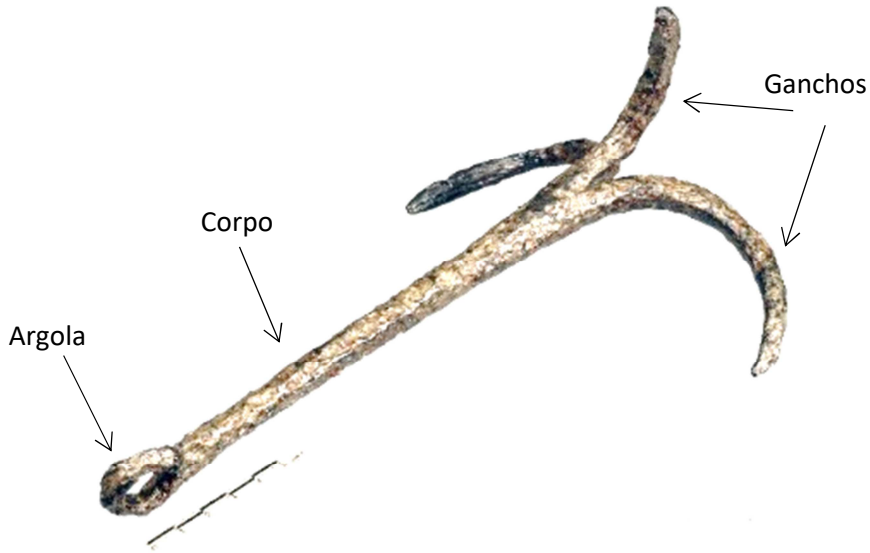


Figura 60: Fateixa (nº inv. 1992.0230, romana).

A fateixa é constituída por um corpo de secção circular, em que uma das extremidades comporta uma argola e na outra três ganchos; no caso estudado, com o número de inventário 1992.0230 e datado do século III/IV d.C., um dos ganchos com secção quadrangular encontra-se fraturado.

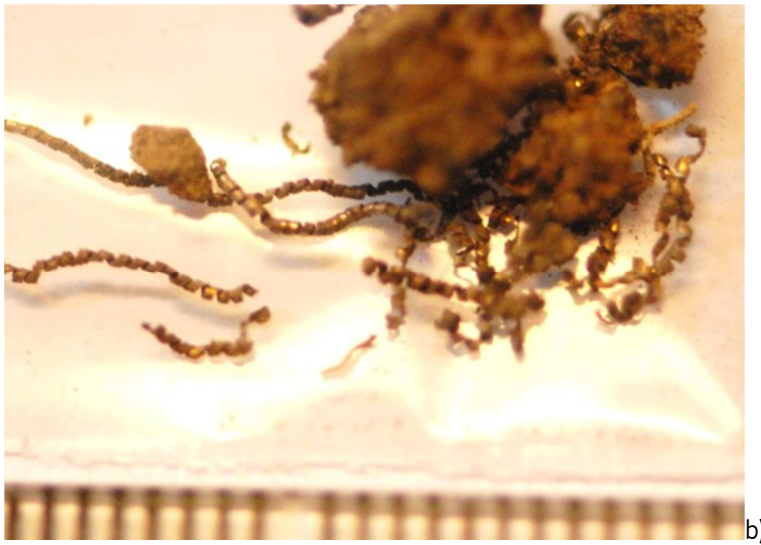
É uma espécie de anzol utilizado na pesca ou âncora de barcos mais pequenos. Além da pesca poderia ser utilizada para pendurar carnes ou tirar objetos de locais onde não se tem acesso a pé.

3.9. Função – metalúrgica (copela romana)

Este objeto é um recipiente em forma de pequena taça/pote com um bico simples e uma asa / pega (Figura 51). Tal como já referido anteriormente, o seu aparecimento justifica-se devido à existência de uma oficina de lapidação e gravação de pedras, tendo sido exumada conjuntamente com fios de ouro.



a)



b)

Figura 61: a) copela (nº inv. 1992.0029, romana); b) fios de ouro.

No entanto, não se exclui a possibilidade da sua função se prender com a iluminação (Sauron, 1999: Planches 51, n.º 10; Manning, 1989: Plate 44, P4). As candeias são muito comuns, apesar da sua quantidade em ferro ser menor que a de cerâmica. O sucesso deste tipo de candeias baseava-se em conseguir que o prato ficasse nivelado quando pendurado. O pavio

seria apoiada por um flutuador no bocal moldado, enquanto o combustível utilizado poderia ter sido óleo ou, mais provavelmente, gordura animal (Manning, 1989: 99).

A peça em estudo detém o número de inventário 1992.0029, sendo data do século IV d.C..

3.10. Função - militar

O exército era uma componente essencial à vida de um romano. E com Augusto foi criado um verdadeiro exército profissional composto por 28 legiões, em que cada uma delas englobava 6 000 homens (Alamein, 1983).

Apesar das tipologias do armamento se alterarem ao longo do período romano, o mesmo era composto por (Figura 62):

a) armas defensivas: elmo – *galea*, armadura – *lorica segmentata*, escudo – *scutum*;

b) armas ofensivas: "lança" – *pillum*, espada – *gladius*.

A armadura, com um cinto – *cingulum*, era colocada por cima de uma túnica de lã, e o soldado ainda comportava umas sandálias – *caligae*.

No conjunto de peças em ferro estudadas foram inventariadas algumas como pertencendo a objetos supramencionados.



Figura 62: Representação do soldado romano nos altos-relevos do arco de Constantino em Roma, 312 d.C. (Fotografia in http://apuntes.santanderlasalle.es/arte/roma/escultura/arco_constantino.htm)

3.10.1 Colchetes romanos

Foram estudadas duas peças, com números de inventário 1991.0888 e 1991.0976, datadas do século IV d.C., como sendo colchetes de uma armadura segmentada ou *lorica segmentata* (Bishop e Coulston, 1993: 89, n.º 29-35). Ambas as peças, macho e fêmea, têm um formato retangular com duas perfurações no corpo. Uma delas apresenta numa das extremidades uma argola e a outra um gancho de molde a que encaixassem um no outro de modo a fechar a armadura (Figura 63).

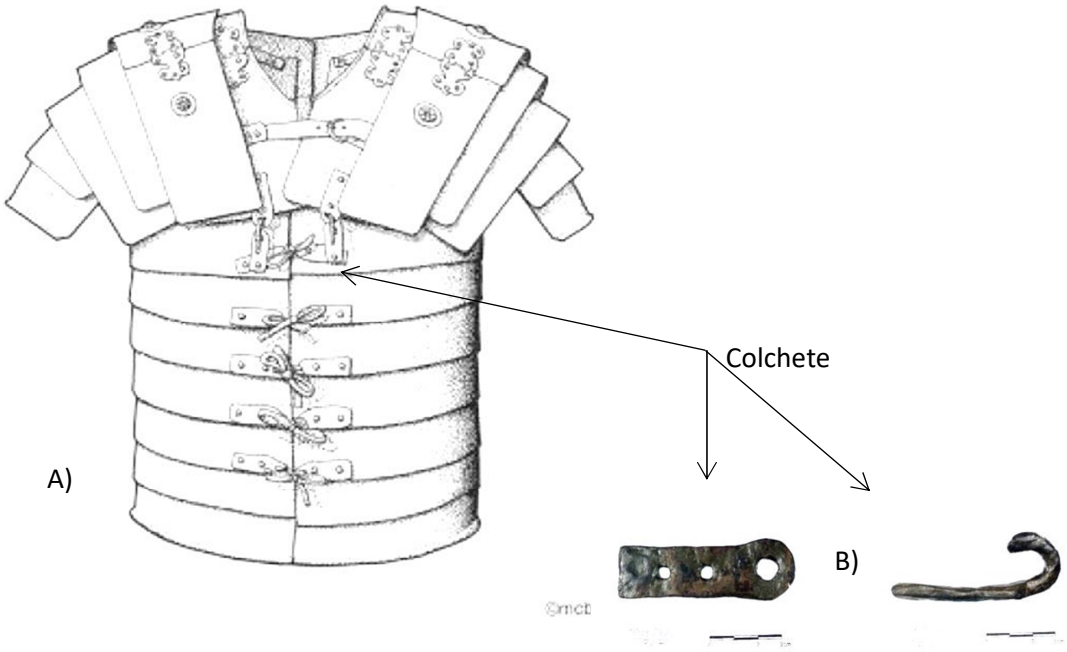


Figura 63: A) Esquema de armadura segmentada com colchetes (in Bishop e Coulston, 1993: 41, fig. 14). B) Colchete (nºs de inv. 1991.0888 e 1991.0976 romanos).

Estas armaduras, bastante comuns no período romano entre os séculos II e o século IV d.C., pertenciam normalmente aos legionários. Eram compostas por: parte superior com duas proteções de ombro, cada uma delas com quatro guardas de ombro menores, uma placa colar com couraça e uma placa traseira; e parte inferior composta por duas peças, possuindo cada um número variável de placas (geralmente entre seis e oito), que cobriam o tronco até abaixo das axilas. O número de placas seria função do tamanho de quem usava a armadura (Bishop, 2015: 4 e 5).

As peças eram ligadas através de correias de couro, e a parte do tronco fechava com fivelas e/ou colchetes, que para além da sua função prática também cumpriam a de adorno.

3.10.2. Pilum romano

A lança romana – *pilum*, fazia parte das armas ofensivas que um soldado romano aporta, sendo constituída por ponta de lança, engaste para cabo, cabo e coronha (Figura 64):

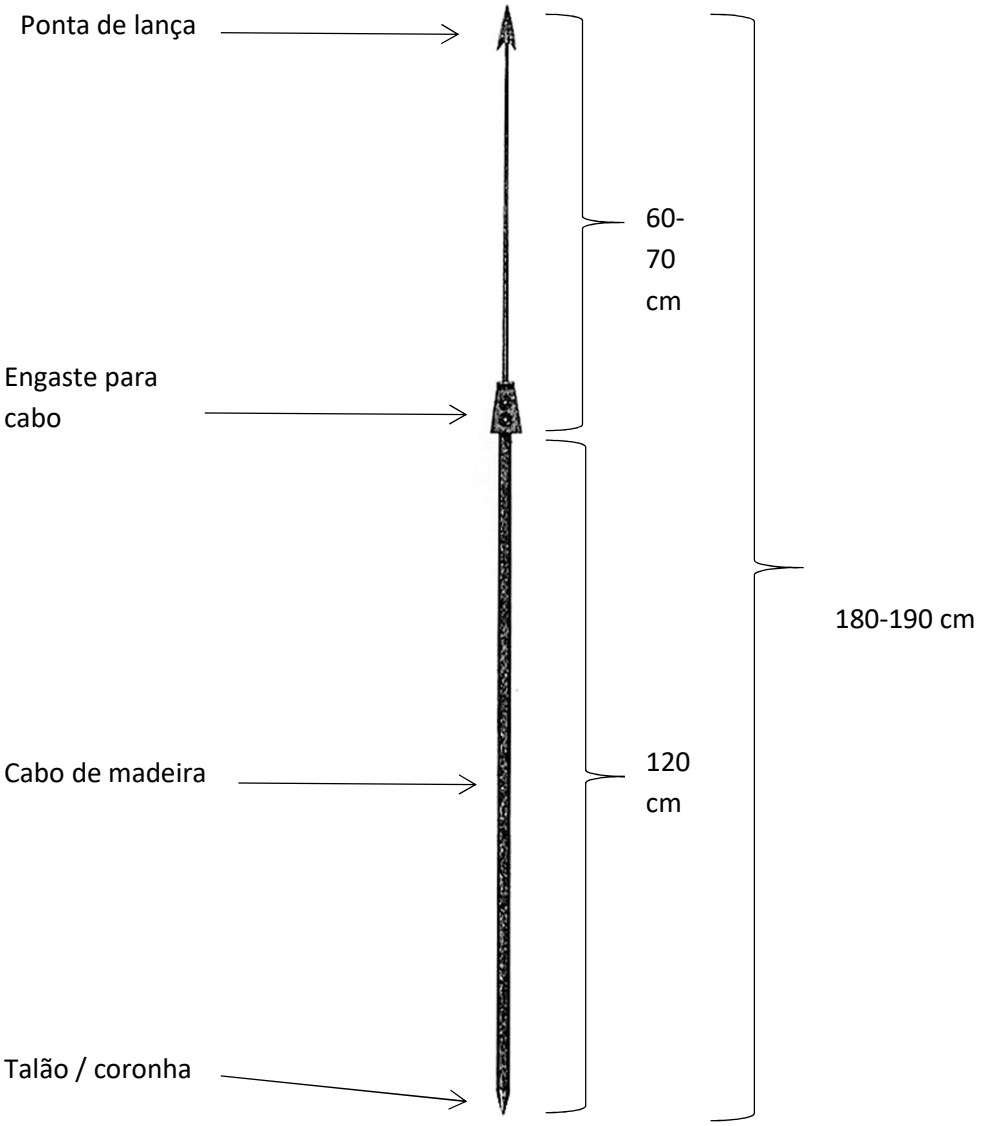


Figura 64: Exemplo de ponta de lança – *pilum* (fotografia in https://foxsword.wordpress.com/category/swordplay/arsenal/armas/).

a) Nesta coleção foram identificadas duas pontas de lança, com números de inventário 1992.0076 e 1992.0077, datadas dos séculos III/IV d.C. (Manning, 1989: Plate; Pessoa, 2004: n.º 202; Bishop e Coulston, 1993: 124, n.º 12). Este tipo de armamento seria utilizado como arma de arremesso ou como arma de corpo a corpo, ou mesmo a cavalo.

As pontas de lança possuíam entre 15 e 20 cm de comprimento, e eram constituídas por uma lâmina delgada em forma de folha com dois gumes e uma nervura central saliente. Na base possui um alvado para o encabamento, onde a ponta de lança seria presa ao cabo de madeira com um ou dois cravos (Figura 65).

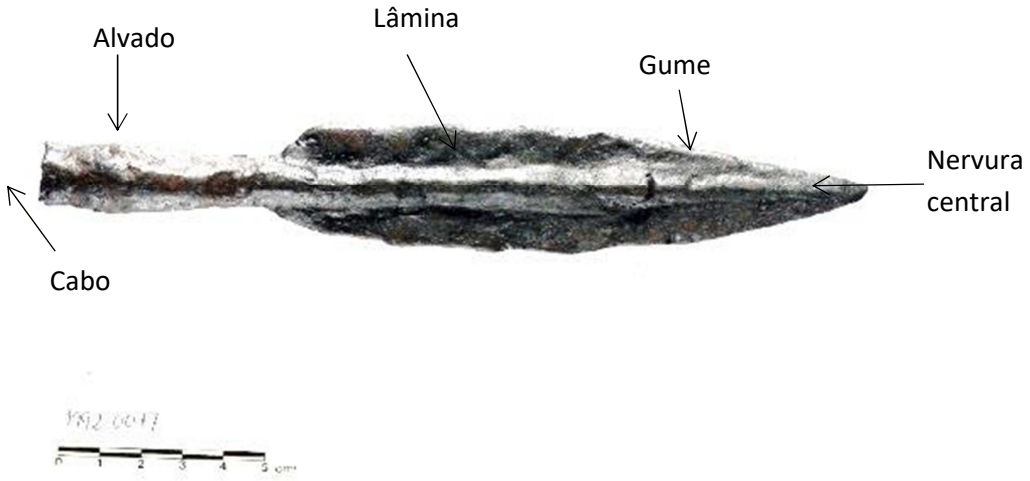


Figura 65: Ponta de lança (nº inv. 1992.0077, romana).

b) Foram também identificados dois talões (coronhas) semelhantes entre si, com os números de inventário 2001.0151 e 2002.1051, datados do século III/IV d.C. (Manning,1989: Plate 66, S65; Pessoa, 2004: n.º 207).

Característicos pelo seu formato cónico, as coronhas faziam parte das lanças, localizando-se no extremo oposto às pontas de lanças, servindo de contrapeso (Lourenço, 2012), mas também como ponta ativa secundária para atingir um adversário por trás (Bishop e Coulston, 1993: 124, n.º 15-17).

Compostos por uma folha de metal em formato cónico, as duas extremidades poderiam ou não encontrar-se soldadas uma à outra, podendo este objeto estar apenas apertado e preso à haste por cravos (Figura 66).



Figura 66: Talon de lança romana – *pilum* (n° inv. 2001.0151, romano).

c) Engaste para cabo, com o número de inventário 1995.0292, e datado do século IV d.C., que parece ser feito apenas por uma folha de ferro enrolada em forma de sino (Bishop e Coulston, 1993: 67, n.° 10-13). Apresenta ainda restos da madeira do cabo que comportaria (Figura 67).



Figura 67: Engaste de cabo (n° inv. 1995.0292, romano).

4. Discussão dos resultados

Nesta secção do trabalho pretende-se discutir alguns dos resultados obtidos ao longo do trabalho, designadamente ao nível da cronologia, análise funcional e tipológica, obtenção e trabalho do ferro, e análises realizadas.

4.1. Cronologias

A datação de ferros é sempre uma tarefa árdua. As tipologias perduram ao longo dos tempos, como foi possível verificar no capítulo anterior, assim como os processos de fabricos, independentemente das inovações que possam surgir.

Deste modo, a datação possível para as peças em causa é relativa, atendendo a outros objetos que em contexto arqueológico tenham sido exumados. Mesmo assim, ressalva-se o facto de em possíveis camadas de revolvimento e/ou enchimento, a amplitude cronológica ser grande, novamente dificultando as conclusões necessárias.

As diferentes fases de (re)construção da *insula* das Carvalheiras apontam para uma cronologia compreendida entre os finais do século I d.C. e o século V d.C. (Martins, 1997-98), pelo que a datação dos numismas encontrados e estudados por Luís Manuel Amaral (2007) no seu trabalho "As Moedas Das Carvalheiras" foram uma mais valia. Também os estudos das cerâmicas foram preciosos, nomeadamente os trabalhos de Rui Morais (1998) sobre "As Ânforas Da Zona Das Carvalheiras", de Josep Montesijos (2004) "*Terra Sigillata*", e de Maria Alexandra Gaspar (2000) sobre "Contribuição Para O Estudo Das Cerâmicas Cinzentas Dos Séculos V-VI D.C. de Braga".

Assim, observa-se que a grande maioria dos objetos em ferro se enquadra no período romano – 52, sendo 1 de época medieval e 20 de época contemporânea (Gráfico 4).

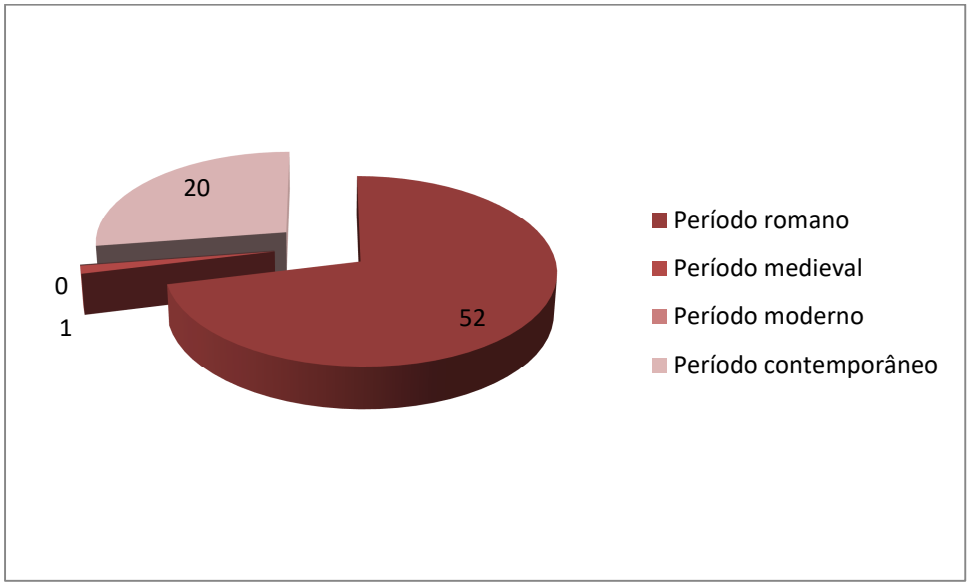


Gráfico 4: Cronologia geral dos objetos de ferro.

A categorização dos materiais estudados nas datações romanas, medieval e contemporânea, teve sempre como base o contexto estratigráfico onde os mesmos foram exumados (unidades estratigráficas e complexos); posteriormente, a articulação com os materiais que com eles foram detetados (que já foram devidamente estudados, publicados e que se encontram em depósito no MDDS), e numa última fase os paralelos tipológicos e etnográficos.

Assim, fez-se ainda um esforço suplementar para tentar reduzir as amplitudes cronológicas.

Deste modo, entre os objetos enquadrados no período romano há uma dispersão pelos séculos II, III, III/IV, IV e IV/V d.C., admitindo-se que algumas das datações atribuídas possam eventualmente ser mais antigas (Tabela 6).

Tabela 6: Objetos em ferro de datação romana.

Objetos/Época	Identificação	Romano	U.E.	Complexo	N	X	Y
1992.0203	Cavilha	II		=10=			
1992.0231	Cavilha	II	679	=2=	79	188	152
1992.0232	Cavilha	II	679	=2=	79	188	152
1992.0297	Cavilha	II	679	=2=	79	188	152
1994.0320	Cavilha	II	679	=2=	79	188	152
1994.0321	Cavilha	II	679	=2=	79	188	152
1994.0533	Cavilha	II	723	=29=	98	192	144
1995.0280	Cavilha	IV	500	=19=	50	188	140
1995.0284	Cavilha	II	679	=4=	83	192	152
1995.0285	Cavilha	II	928	=4=	83	192	152
1995.0286	Cavilha	II	924	=6=	83	192	152
1995.0288	Cavilha	IV	859	=15=	87	192	148
1994.0331	Prego	III	659	=0009=	106		
1994.0531	Prego	IV	851	=11=	80	184	152
1995.0283	Prego	II	679	=4=	83	192	152
2001.0127	Grampo	II	794	=37=	98	192	144
1992.0229	Grampo	IV	849	=5=	68	180	148
1991.7128	Gancho	IV	851	=7=	74	180	152
2001.0121	Gancho	II		=33=			
1992.0207	Chave	III	714	=4=	58	188	144
1995.0291	Dobradiça	II	725	=20=	112	192	140
1995.0292	*Pilum*	IV	725	=24=	112	192	140
2001.0033	Espeto	IV-V	695	=21=	52/53		
1992.0206	Asa Sítula	III/IV	718	=12=	50	188	140
2002.0317	Asa Sítula	III	500	=30=	53	191	132
2001.0117	Gramalheira	IV	928	=20=	83	192	152
2001.0034	Argola	IV	695	=21=	52/53		
2003.0047	Argola	IV	503		25	180	120/124
1994.0532	Argola	IV	723	=27=	98	192	144
1992.0029	Copela	IV		=1=			
2001.0089	Aplique	III	714	=43=	58	188	144
1991.7147	Aplique	III/IV	667	=0011=	15	168	140

Objetos/Época	Identificação	Romano	U.E.	Complexo	N	X	Y
2000.0308	Faca	IV	715	=8=	50	188	140
2001.0032	Balança	IV	695	=20=	52/53		
1991.1747	Chocalho	IV	501	=3=	34	160	144
1995.0293	Chocalho	IV	725	=24=	112	192	140
1992.0027	Tesoura	IV	775	=10=			
1992.0230	Fateixa	III/IV	774	=4=	78	172	156
2001.0053	Fivela	IV	796	=23=	58	188	144
2001.0120	Anel	III	sc	sc			
1991.0888	Colchete	IV	501	=3100=		176	132
1991.0976	Colchete	IV	501	=3100=		176	132
1992.0076	*Pilum*	III/IV	678	=7=	53	180	144
1992.0077	*Pilum*	III/IV	679	=7=	53	180	144
2001.0151	*Pilum*	III/IV	794	=38=	98/58	190	144
2002.1051	*Pilum*	III/IV	678	Estrato 1	53	180	144
1992.0205	Indeterminado	II	715	=11=	50	188	152
1995.0282	Indeterminado	IV	679	=4=	79	188	152
1995.0287	Indeterminado	IV-V	924	=10=	83	192	152
2001.0030	Indeterminado	IV-V	681	=24=	48	176	140
2001.0073	Indeterminado	III/IV	798	=35=	58	188	144
2003.0124	Indeterminado	IV-V	996	=77=	47	188	136

Esta dispersão pelos séculos apontados revela uma clara relação com as diferentes fases de (re)construções das Carvalheiras e ocupação do local, interpretando-se que muitos dos materiais de construção exumados em camadas de derrube / destruição dos séculos III / IV d.C. terão obrigatoriamente que ter uma cronologia anterior, já que pertencerão ao período de construção das estruturas que agora se encontram destruídas (Gráfico 5).

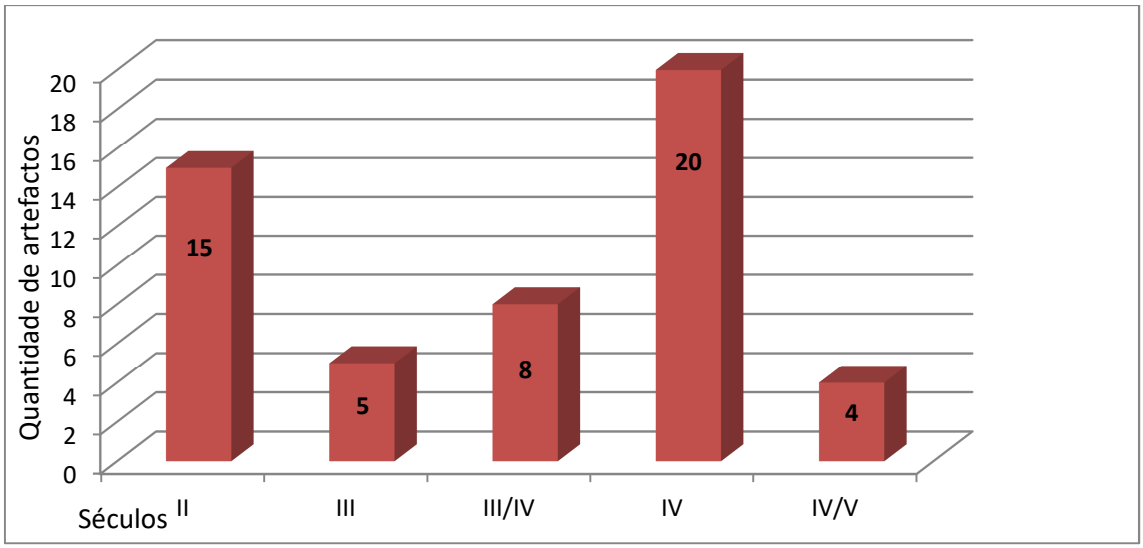


Gráfico 5: Dispersão cronológica dos objetos romanos.

Curiosamente, salienta-se a grande percentagem de materiais estudados baixo-imperiais – 37, aferindo-se apenas 15 alto-imperiais, na sua totalidade materiais relacionados com a construção de estruturas.

Do período medieval foi estudada uma única peça – uma fivela (1993.0402), do século XV, num mesmo contexto de um numisma de 1446 e 1449-84 (Amaral, 2007).

Nos complexos e/ou unidades estratigráficas mais recentes ocorrem materiais de época contemporânea de finais do século XIX / inícios do século XX, por vezes a par com materiais mais antigos (romanos), tendo sido preciosa a ajuda da bibliografia e paralelos actuais etnográficos, justificando-se assim os ferros estudados deste período (Tabela 7).

Tabela 7: Objetos em ferro da Idade Contemporânea.

Objetos/Época	Identificação	Contemporâneo	U.E.	Complexo	N	X	Y
1995.0281	Prego	XIX/XX	500	sc	63	160	156
1992.0208	Chave	XIX/XX	500	=2=	65	168	156
2002.0720	Chave	XIX/XX	500	=45=			
2002.0646	Dobradiça	XIX/XX	500	=35=	47	188	136
2008.0651	Ferrolho	XIX/XX	500				
1995.0304	Colher	XIX/XX	500	=0=			
2003.0165	Cutelo	XIX/XX	500	=0=			
2008.0649	Gramalheira	XIX/XX	500				
2008.0650	Fechadura	XIX/XX	500				
2000.0309	Grelha	XIX/XX	500	=0001=	36	172	144
2003.0167	Martelo	XIX/XX	500	=0=			
2003.0164	Foice	XIX/XX	500	=0=			
2003.0166	Machado	XIX/XX	500	=0=			
1995.0289	Cabo	XIX/XX	500	=1=	90	176	164
2003.0144	Ferradura	XIX/XX	500	=0=			
1995.0290	Pente Ripar	XIX/XX	500	sc			
2002.0712	Buril	XIX/XX	500	sc			
2001.0122	Indeterminado	XIX/XX	500	=33=			
2002.0724	Indeterminado	XIX/XX	500	=58=			
2002.0726	Indeterminado	XIX/XX	500	=46=	22	194	127

4.2. Funções e tipologias

A funcionalidade de cada um dos objectos estudados foi conseguida de acordo com a classificação tipológica dos mesmos. Para tal recorreu-se aos paralelos bibliográficos, tal como referido no Capítulo 2, e também etnográficos, principalmente para as peças de época contemporânea.

Deste modo conseguiu-se aferir na sua quase totalidade as tipologias e respectivas funções, com excepção de nove peças, devido ao seu elevado grau de corrosão e consequentes tratamentos de conservação.

Considerou-se como funções principais: materiais de construção, carpintaria, doméstica, adorno, decorativa, agrícola, pecuária, pesca, metalurgia e militar, apesar de se admitir que certos artefactos possam eventualmente ter mais que uma função, tal como identificado nas Tabelas 3, 4 e 5.

Em relação à análise tipológica e funcional, deixa-se contudo duas observações:

- a identificação das cavilhas do período romano, para além de elementos de fixação de materiais em madeira, poderiam também ser destinadas à fixação dos *tubuli laterici* (Ribeiro, 2010: 136); no entanto, as dimensões das peças estudadas não correspondem às apontadas por J. Ribeiro (2010: 136) - comprimentos de cerca de 200 mm, pelo que esta funcionalidade não foi colocada como hipótese, com uma possível exceção inventariada com o nº 1992.0203, já que apresenta um comprimento de 182 mm, continuando inferior ao referido por J. Ribeiro;

- a identificação como asa de sítula da peça inventariada com o nº 1992.0206, vem corrigir uma anterior classificação tipológica de M. Lourenço (2012: 200, CARV049) que a considerava como "asa de capacete imperial".

4.3. Tecnologia

De acordo com o exposto sobre a tecnologia do ferro, no Capítulo 2, as peças estudadas apresentam estruturas simples, como os pregos e cavilhas, ou compósitas, como as fivelas e chocalhos, e técnicas de produção diferentes consoante a tecnologia existente no período cronológico subjacente, tendo sido possível elaborar o seguinte quadro tecnológico (Tabela 8).

*T*abela 8: Tecnologia de produção das peças estudadas.

Identificação		Cronologia	Estrutura		Técnica de produção	
Nº de inv.	Objeto		simples	compósita	ferro forjado	ferro fundido
1992.0203	cavilha	II	X		X	
1992.0231	cavilha	II	X		X	
1992.0232	cavilha	II	X		X	
1992.0297	cavilha	II	X		X	
1994.0320	cavilha	II	X		X	
1994.0321	cavilha	II	X		X	
1994.0533	cavilha	II	X		X	
1995.0283	prego	II	X		X	
1995.0284	cavilha	II	X		X	
1995.0285	cavilha	II	X		X	
1995.0286	cavilha	II	X		X	
1995.0291	dobradiça	II		X	X	
2001.0121	gancho	II	X		X	
2001.0127	grampo	II	X		X	
1992.0207	chave	III	X		X	
1994.0331	prego	III	X		X	
2001.0089	aplique	III	X		X	
2001.0120	anel	III		X	X	
2002.0317	asa sítula	III	X		X	
1991.7147	aplique	III/IV	X		X	
1992.0076	*pilum*	III/IV	X		X	
1992.0077	*pilum*	III/IV	X		X	
1992.0206	asa sítula	III/IV	X		X	
1992.0230	fateixa	III/IV	X		X	
2001.0151	*pilum*	III/IV	X		X	
2002.1051	*pilum*	III/IV	X		X	
1991.0888	colchete	IV	X		X	
1991.0976	colchete	IV	X		X	
1991.1747	chocalho	IV		X	X	

Identificação		Cronologia	Estrutura		Técnica de produção	
Nº de inv.	Objeto		simples	compósita	ferro forjado	ferro fundido
1991.7128	gancho	IV	X		X	
1992.0027	tesoura	IV	X		X	
1992.0029	copela	IV	X		X	
1992.0229	grampo	IV	X		X	
1994.0531	prego	IV	X		X	
1994.0532	argola	IV	X		X	
1995.0280	cavilha	IV	X		X	
1995.0288	cavilha	IV	X		X	
1995.0292	*pilum*	IV	X		X	
1995.0293	chocalho	IV		X	X	
2000.0308	faca	IV		X	X	
2001.0032	balança	IV		X	X	
2001.0034	argola	IV	X		X	
2001.0053	fivela	IV		X	X	
2001.0117	gramalheira	IV		X	X	
2003.0047	argola	IV	X		X	
2001.0033	espeto	IV-V	X		X	
1993.0402	fivela	XV		X		X
1992.0208	chave	XIX/XX	X			X
1995.0281	prego	XIX/XX	X			X
1995.0289	cabo	XIX/XX	X			X
1995.0290	pente ripar	XIX/XX		X		X
1995.0304	colher	XIX/XX	X			X
2000.0309	grelha	XIX/XX	X			X
2002.0646	dobradiça	XIX/XX		X		X
2002.0712	buril	XIX/XX	X			X
2002.0720	chave	XIX/XX	X			X
2003.0144	ferradura	XIX/XX	X			X
2003.0164	foice	XIX/XX	X			X
2003.0165	cutelo	XIX/XX	X			X
2003.0166	machado	XIX/XX	X			X
2003.0167	martelo	XIX/XX	X			X
2008.0649	gramalheira	XIX/XX		X		X
2008.0650	fechadura	XIX/XX		X		X
2008.0651	ferrolho	XIX/XX	X			X

Tendo em conta que a obtenção direta do ferro metálico só é possível, em sequência da evolução dos fornos, a partir do período medieval, todos os objetos compreendidos no período romano são transformados através da modelação, mais especificamente pelo forjamento, mesmo quando em alguns casos se obtêm temperaturas na ordem dos 1175-1290°C – gusa.

Salienta-se que no contexto deste trabalho a aplicação da designação de ferro forjado implica por um lado a obtenção do ferro metálico, mais puro e livre de escórias, e por outro lado a técnica de modelação.

A forma de unir duas superfícies em ferro será através da martelagem sobreaquecendo as superfícies dos objetos.

Os ferros modernos e contemporâneos advêm de um processo de refinamento de minério que engloba a fundição e posterior moldagem em lingoteira. A transformação deste material na forma e material pretendido faz-se pelos processos transcritos nas Figuras 67 a 69. O que significa que o ferro metálico é obtido por fundição, mas a técnica de transformação poderá ser por fundição e/ou modelação, utilizando a junção.

Deste modo, e atendendo ao que foi exposto no Capítulo 2 foi possível desenhar o seguinte esquema resumo dos diferentes modos de obtenção de ferro metálico, tipos de fornos e trabalho posterior, desde a Idade do Ferro à actualidade (Tabela 9).

Tabela 9: Síntese cronológica dos tipos de fornos e obtenção do ferro e do trabalho do metal.

Cronologia	Tipo de forno				Obtenção do ferro		Trabalho do metal									
							Modelação				Fundição				Junção	
	tipo "soenga"	com chaminé	baixo-forno / forja catalã	alto-forno	forja	fundição	forjamento	lamina-gem	estira-mento	extrusão	areia	molde	cera	contínua	pó	soldadura
Idade do Ferro																
Romana																
Medieval																
Moderna																
Contemporânea																
Atualidade																

Legenda	
	Início / consolidação
	Consolidação / continuidade
	Lento desaparecimento

4.4. Análises efectuadas

Em relação a este item, era intenção recolher a maior informação possível através da análise microscópica das peças objeto de estudo. Contudo, a quase totalidade das mesmas foram submetidas a tratamentos de conservação e restauro onde se empregaram resinas (Figura 68). Deste modo, tornou-se bastante difícil a observação das texturas das superfícies dos ferros e respetivos encaixes, e mesmo a sua própria identificação.

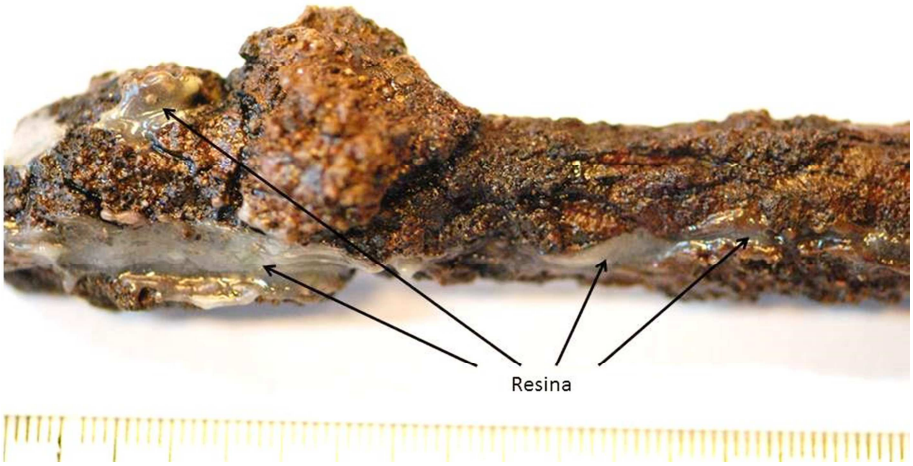


Figura 68: Cavilha datada do séc. IV d.C., com o número de inventário 1995.0288.

No entanto, a observação à vista desarmada evidencia claramente o estado de degradação de todas as peças por fenómenos de corrosão, como mostra a Figura 68 e Figura 69.

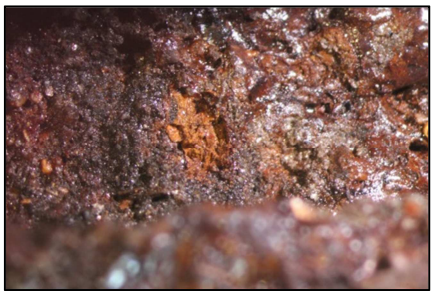
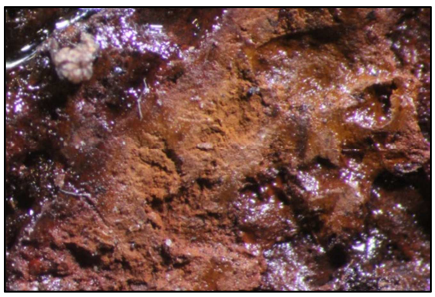
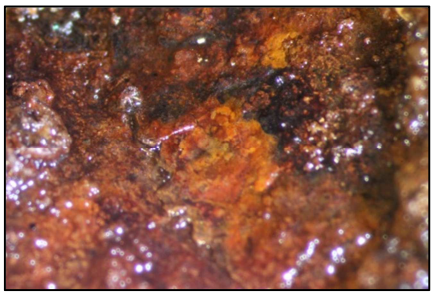


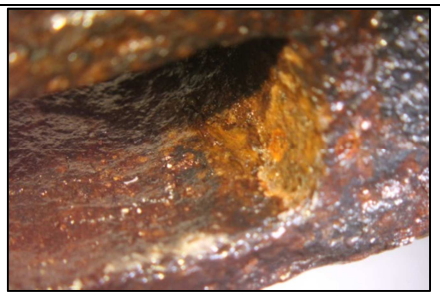
Figura 69: Aplique datado do séc. III/IV d.C., com o número de inventário 1991.7147.

A análise microscópica foi realizada no Museu D. Diogo de Sousa, tendo sido utilizado um microscópio estéreo Stemi SV 11, da Zeiss, com lentes de aumento de 0.6x até 6.6x (11:1), e uma máquina fotográfica Canon EOS 600D a ele acoplada.

O objetivo destas observações foi identificar materiais articulados com o ferro, particularmente averiguar da presença de vestígios de madeira em peças que teriam sido sujeitas a encabamento (Tabela 10), tendo em conta uma limitação grande acima mencionada.

Tabela 10: Artefactos analisados microscopicamente.

Nº inv.	Identificação	Cronologia	Fotografia
1992.0076	*Pilum* (ponta de lança)	Séc. III/IV d.C.	
2001.0151	*Pilum* (talão)	Séc. III/IV d.C.	
1995.0292	*Pilum* (engaste)	Séc. IV d.C.	
1995.0289	Cabo	Séc. XIX/XX	
2003.0165	Cutelo (cabo)	Séc. XIX/XX	

Nº inv.	Identificação	Cronologia	Fotografia
2003.0167	Martelo (encaixe para cabo)	Séc. XIX/XX	

O *pilum* romano, como já referido no Capítulo 3, comporta uma haste de madeira onde numa das extremidades se encaixa a ponta de lança (n.º inv. 1992.0076) com sistema de engaste (n.º inv. 1995.0292), e na outra se tem o talão (n.º inv. 2001.0151). Nele são ainda visíveis, apesar dos tratamentos de conservação, os vestígios da madeira utilizada.

Os utensílios domésticos e agrícolas do período contemporâneo apresentam, normalmente, cabos em madeira; no caso do encaixe com o número de inventário 1995.0289 não é possível identificar a que instrumento pertenceria. No cutelo (n.º inv. 2003.0165) e martelo (n.º inv. 2003.0167) são também visíveis os vestígios de madeira.

Das peças de ferro estudadas foram escolhidas doze (Tabela 11) para observação morfológica (MEV), determinação da composição elementar (EDX), e tipo de produtos de corrosão (DRX). As amostras foram obtidas praticando pequenas incisões com um bisturi na superfície das peças, para remoção de pequenos fragmentos, uma vez que se adotou o princípio da minimização de danos nos artefactos. Deste modo, os resultados reproduzem essencialmente a superfície do material constituída por produtos de corrosão (ver interpretação Anexo 2).

Tabela 11: Amostras analisadas.

Nº inventário	Identificação	Função	Cronologia
2002.0317	Asa de sítula	Doméstica	Séc. III d.C.
2001.0053	Fivela	Adorno	Séc. IV d.C.
2001.0089	Aplique	Decorativa	Séc. III d.C.
1991.1747	Chocalho	Pecuária	Séc. IV d.C.
1995.0292	*Pilum*	Militar	Séc. IV d.C.
2001.0151	*Pilum*	Militar	Séc. III/IV d.C.
1992.0076	*Pilum*	Militar	Séc. III/IV d.C.
2001.0073	Indeterminado	Indeterminado	Séc. III/IV d.C.
2003.0124	Indeterminado	Indeterminado	Séc. IV/V d.C.
1995.0281	Prego	Construção	Séc. XIX /XX
2002.0720	Chave	Construção	Séc. XIX /XX
2000.0309	Grelha	Doméstica	Séc. XIX /XX

As imagens de microscopia eletrónica de varrimento (MEV) e a análise por espectroscopia de energia dispersiva de raios-X (EDX) foram feitas com um equipamento FEI Quanta 400FEG, equipado com uma sonda de microanálise EDAX Genesis X4M, no CEMUP. A Tabela 12 apresenta os resultados das análises quantitativas em diversas áreas das peças escolhidas para esse efeito.

Tabela 12: Análise por MEV/EDX dos ferros das Carvalheiras.

	Amostra	Elemento/ (% em peso)																		
		C	O	Fe	P	S	Si	Cl	Bi	La	Mo	Cr	Ni	Mg	Al	K	Na	Ti	Cu	Ca	Gd
Dm/R	2002.0317 Z1	2,27	31,60	65,48	-	-	0,65	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	2002.0317 Z2	1,76	26,70	71,12	-	-	0,41	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	2002.0317 Z3	1,75	43,81	54,44	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	2002.0317 Z4	3,61	17,27	20,92	-	-	0,52	-	40,35	11,15	-	0,20	-	-	0,27	-	-	-	-	3,04	2,68
	2002.0317 Z5	3,95	42,08	8,10	-	-	20,31	-	-	-	-	-	-	1,04	13,44	11,07	-	-	-	-	-
A/R	2001.0053 Z1	4,57	43,22	46,97	0,54	0,74	-	3,96	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	2001.0053 Z2	4,45	18,93	16,10	-	-	0,69	-	46,32	13,51	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	2001.0053 Z3	3,19	-	65,97	-	-	0,91	-	-	-	2,53	15,80	11,60	-	-	-	-	-	-	-	-
D/R	2001.0089 Z1	4,48	49,71	5,70	-	-	18,14	-	-	-	-	-	-	0,54	14,82	6,18	-	0,44	-	-	-
	2001.0089 Z2	2,52	38,12	35,54	-	-	11,10	-	-	-	-	-	-	2,78	6,50	2,44	-	0,99	-	-	-
	2001.0089 Z3	3,58	41,12	51,77	0,48	-	2,12	-	-	-	-	-	-	-	0,92	-	-	-	-	-	-
	2001.0089 Z4	3,42	37,91	53,92	-	-	3,19	-	-	-	-	-	-	-	0,84	0,72	-	-	-	-	-
Pc/R	1991.1747 Z1	3,18	33,00	63,38	-	-	0,45	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	1991.1747 Z2	2,71	38,91	57,98	-	-	0,40	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	1991.1747 Z3	4,45	4,36	90,76	-	-	0,42	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

	Amostra	Elemento/ (% em peso)																			
		C	O	Fe	P	S	Si	Cl	Bi	La	Mo	Cr	Ni	Mg	Al	K	Na	Ti	Cu	Ca	Gd
	1991.1747 Z4	3,40	38,19	46,98	-	-	1,94	-	-	-	-	-	-	-	1,36	-	1,71	-	6,42	-	-
	1991.1747 Z5	2,66	24,17	14,24	-	-	0,57	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	58,36	-	-
	1991.1747 Z6	2,55	32,18	5,87	-	-	0,66	-	-	-	-	-	-	-	0,99	-	-	-	57,76	-	-
M/R	1995.0292 Z2	4,56	40,15	54,05	-	-	1,24	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	1995.0292 Z1	2,58	27,74	69,68	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
M/R	2001.0151 Z1	2,99	39,16	55,87	0,51	-	0,91	-	-	-	-	-	-	-	0,55	-	-	-	-	-	-
	2001.0151 Z2	-	56,69	-	-	-	43,31	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	2001.0151 Z3	3,89	-	96,11	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
M/R	1992.0076 Z1	2,48	36,55	56,00	-	-	-	4,97	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
I/R	2001.0073 Z1	1,95	37,79	56,64	0,80		1,44	-	-	-	-	-	-	-	0,91	-	-	-	-	0,47	-
	2001.0073 Z2	-	41,67	2,45	-	-	55,89	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	2001.0073 Z3	3,55	49,05	15,62	-	-	14,28	0,17	-	-	-	-	-	3,55	8,51	3,97	-	1,29	-	-	-
I/R	2003.0124 Z1	2,55	38,63	58,35	-	0,47	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
C/C	1995.0281 Z1	4,14	31,95	63,24	-	-	0,67	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
C/C	2002.0720	3,23	34,28	56,96	0,80	-	2,33	-	-	-	-	-	-	-	2,40	-	-	-	-	-	-
Dm/C	2000.0309 Z1	10,16	40,70	39,46	-	1,61	-	8,07	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	2000.0309	62,76	9,57	1,26	-	-	0,40	26,00	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Amostra	Elemento/ (% em peso)																			
	C	O	Fe	P	S	Si	Cl	Bi	La	Mo	Cr	Ni	Mg	Al	K	Na	Ti	Cu	Ca	Gd
Z2 2000.0309 Z3	83,17	10,15	1,44	-	-	1,57	2,62	-	-	-	-	-	-	0,80	0,25	-	-	-	-	-
2000.0309 Z4	3,59	34,86	57,86	0,95	-	2,06	0,32	-	-	-	-	-	-	0,37	-	-	-	-	-	-

Legenda (função / cronologia): C – construção, Dm – doméstica, A – adorno, D – decorativa, Pc – pecuária, M – militar, I – indeterminada / R – período romano, C – período contemporâneo.

Os resultados de MEV/EDX e DRX (ver Anexo 3.1 e 3.2.) possibilitam tirar as seguintes conclusões:

- Com as limitações inerentes ao método de análise por EDX, uma área restrita, as peças 2002.0317 (Z1 e Z2 sem o O_2), 2001.0053 (Z3 sem o O_2), 1995.0292 (Z1 sem o O_2), 2001.0151 (Z3), 1992.0076 (Z1 sem o O_2) e 2003.0124 (Z1 sem o O_2), permitem dizer que se está na presença de ferros forjados com C ≥ 2.4%. A refinação deveria ser bastante eficiente face aos teores de Si (< 1%) e P (< 1%) que se associam ao metal.
- A micrografia da peça 2000.0309, mostra a existência de 4 estratos definidos pela seguinte ordem até à superfície: Z4 → Z1 → Z2 → Z3, o que é ratificado pelo respetivo teor crescente de carbono, Z4 (3,59) < Z1 (10,16) < Z2 (62,76) < Z3 (83,19). Atendendo à sua funcionalidade doméstica, a mesma sofrerá sempre um processo de endurecimento por via da difusão de C através dos interstícios do Fe.
- As análises por EDX das peças 2002.0317 e 2001.0053 apresentam bismuto e lantânio, e na segunda significativamente ainda o crómio e níquel. Contudo, os seus difractogramas não evidenciaram a presença desses elementos em nenhuma das fases, ao contrário das amostras 1995.0292, 1985.0281, 2000.0309, 2001.0151 e 2001.073 que por EDX nas áreas analisadas não evidenciaram elementos atípicos, mas os seus espectros de difração de raios-X mostram fases onde aparecem, respetivamente, Cr, Bi, Gd, Bi e Pb, Gd e Cr. Esta aparente discrepância entre os resultados de EDX e de difração de raios-X justifica-se por se ter feito uma separação do material inicial em duas partes para os ensaios de EDX e raios-X. É bem possível que esses elementos estejam relacionados com a envolvente do solo.
- A deteção por EDX em algumas zonas (Z4, Z5 e Z6) da peça 1991.1747, de cobre pode indicar que a matéria-prima usada no fabrico do chocalho teria sido uma calcopirite, ou, face a que a imagem mostra estratos onde o Cu é predominante, que sobre o ferro teria sido depositado por imersão a quente o cobre como revestimento superficial.
- De acordo com os espectros de raios-X os produtos de corrosão são essencialmente óxidos e hidróxidos de ferro, como sejam a lepidocrocite, a goetite, a magnetite e a hematite. A presença de sílica e alumino-silicatos associa-se ao material do terreno de onde foram exumadas os artefactos arqueológicos.

5. Considerações finais

«O que impede de saber não são nem o tempo nem a inteligência, mas somente a falta de curiosidade.»

(Agostinho Silva in Farmácia de Província)

Os objetos em ferro são um dos materiais mais abundantes em contextos arqueológicos, e consequentemente armazenados nos museus de todo o mundo. Sendo o ferro um dos metais mais utilizados ao longo de toda a história da Humanidade justifica-se que o seu estudo seja um requisito indispensável no mundo arqueológico para a melhor compreensão da evolução da Civilização ao longo dos tempos.

Bracara Augusta foi uma cidade fundada pelo imperador Augusto no séc. I a.C. com base num programa de reorganização social e administrativa da Península Ibérica (Martins, 1991-92), sendo o estudo da *domus* das Carvalheiras essencial ao desenvolvimento da investigação e definição da malha urbana de *Bracara Augusta*.

A análise dos objetos em ferro da zona arqueológica das Carvalheiras permitiu um melhor entendimento das atividades desenvolvidas, quer em época romana, quer nos períodos subsequentes, principalmente ao nível da construção.

No decurso deste trabalho, por exigência do seu conteúdo os desafios foram vários, desde a identificação dos objetos em si, suas datações, atribuições de funcionalidades e identificação da matéria-prima.

Deste modo, considera-se que em relação às cronologias dos materiais estudados, avançou-se em relação a estudos anteriores (como por exemplo Lourenço, 2012), já que foi possível:

a) em relação aos materiais romanos apurar com uma maior precisão a sua datação, para além de um mero "romano", com as respetivas reservas devidamente apontadas no Capítulo 4, conseguindo-se agrupar as peças estudadas nos seguintes intervalos de tempo: séc. II d.C, séc. III d.C., séc. III / IV d.C., séc. IV d.C. e séc. IV / V d.C., com estreita articulação entre materiais exumados associados, contextos estratigráficos, fases (re)construtivas da *domus* das Carvalheiras e fases de ocupação;

b) em relação à fivela inventariada com o nº 1993.0402, determinar a sua cronologia – séc. XV d.C., por associação a materiais que conjuntamente com ela foram exumados, designadamente um numisma da mesma época, já que até ao momento se encontrava datada como indeterminada (Lourenço, 2012: 214, CARV077);

c) atribuir uma nova cronologia à dobradiça com o nº de inventário 2002.0646, cuja datação atribuída era romana (Lourenço, 2012: 170, CARV Leste04); não se considerou pois, pertinente essa cronologia, já que atendendo, não unicamente ao contexto estratigráfico, nem ao facto que em camadas superficiais se encontrarem "belos exemplares de objetos romanos", mas sim a tipologia de peças semelhantes atuais, pelo que a atribuição da datação de séc. XIX / XX se assemelha mais verosímil.

No que diz respeito às tipologias e respetivas funções, foi possível identificar na sua quase totalidade os objetos estudados, permitindo a sua categorização por funções principais: materiais de construção, carpintaria, doméstica, adorno, decorativa, agrícola, pecuária, pesca, metalurgia e militar, apesar de se admitir que certos artefactos possam eventualmente ter mais que uma função.

As cavilhas de forma geral, parte integrante dos materiais de construção, para além de elementos de fixação, muito provavelmente interligadas com materiais perecíveis, designadamente madeira, podem, segundo J. Ribeiro (2010: 136) ter uma outra funcionalidade interligada com o suporte dos *tubuli laterici*; no entanto, e atendendo às dimensões pelo autor referidas, a única peça estudada que eventualmente poderá comportar tal função é a inventariada com o nº 1992.0203.

Ainda correlacionado com as tipologias, à peça inventariada com o nº 1992.0206 foi atribuída uma correta identificação – asa de sítula, à semelhança das inúmeras peças existentes, assim como respetivos paralelos (Delgado, 1970; Manning, 1985, Plate 47, P 14; Waldbaum, 1983, Plate 36, nº 553), corrigindo-se assim a identificação de "asa de capacete imperial" atribuída por M. Lourenço (Lourenço, 2012: 200, CARV049).

O estudo analítico efetuado permitiu identificar a forma de obtenção do ferro utilizado no fabrico dos diferentes objetos e seu trabalho subsequente. Assim como a análise microscópica permitiu a identificação dos vestígios de madeira em algumas peças, designadamente as

inventariadas com os nºs 1992.0076, 2001.0151, 1995.0292, 1995.0289, 2003.0165 e 2003.0167.

Se é certo que *a priori* estes objetos estariam articulados com a madeira, nomeadamente para encabamento, o mesmo é importante confirmar, visto que Jorge Ribeiro e Manuela Martins (2012: 16) referem:

«A madeira assumiu igualmente uma grande importância, essencialmente nos sistemas abobadados e arquitravados, mas também na habitação privada, embora hoje seja difícil de detetar, devido às dificuldades inerentes à sua conservação.»

Através das análises efetuadas por microscopia eletrónica de varrimento e difração de raios-X, apesar de realizadas a um parco número de peças e em amostragem reduzida, foi possível:

a) determinar a constituição química de ferros forjados com uma boa tenologia de refinamento do metal, designadamente nas peças inventariadas com os nºs 2002.0317 (asa de sítula do séc. III d.C.), 2001.0053 (fivela do séc. IV d.C.), 1995.0292 (*pilum* – engaste, séc. IV d.C.), 2001.0151 (*pilum* – talão, séc. III / IV d.C.) e 1992.0076 (*pilum* – ponta de lança, séc. III / IV d.C.);
b) corroborar a funcionalidade de um dos objetos (inventariado com o nº 2000.0309) – grelha de ferro do séc. XIX / XX, que estaria em contato direto com o combustível – carvão; a estrutura do ferro alterou-se, endurecendo, via difusão do carbono, da sua superfície para o interior;
c) identificar a presença do níquel na peça com o nº de inventário 2001.0053, fivela do séc. IV d.C., o que revela uma possível introdução do elemento intencionalmente, já que o níquel confere ao ferro uma maior capacidade de resistência à oxidação, para além de o endurecer;
d) identificar o modo de produção do chocalho, com o nº de inventário 1991.1747, em que apesar de se colocar como hipótese duas alternativas, nomeadamente a matéria-prima para o seu fabrico ter sido a calcopirite, ou, a que será mais plausível, em que após o fabrico da peça em ferro, a mesma terá sido imergida num banho de cobre para revestimento e embelezamento final.

No final de todo este desafio na área dos metais de índole ferrosa, apercebemo-nos do vasto espólio de material metálico depositado nos nossos museus que espera por nós, o que

abre as portas para novos trabalhos inovadores no âmbito da transversalidade da Arqueologia com outros domínios do saber.

Bibliografia

AGRICOLA, G. (1912) – *De Re Metallica*, The Mining Magazine, Salisbury House, London.

ALAMEIN, M. (1983) - *A History Of Warfare*, William Morrow & Co, USA.

ALARCÃO, J. (1988) – *Roman Portugal*. Warminster: Aris & Phillips Ltd. Vol. 1.

ALARCÃO, J. e ETIENNE, R. (1977). *Fouilles de Conimbriga* - I - L'architecture, Mission Archéologique Française au Portugal e Musée Monographique de Conímbriga, De Boccard, Paris.

AMARAL, L.M.C.G. (2007) – *As Moedas Das Carvalheiras*, Instituto de Ciências Sociais, Universidade do Minho, Braga.

ARNOUX, M.M. (1988) - Le Commerce Du Minerai De Fer Dans Le Bocage Normand À La Fin Du Moyen Âge, in *Actes des Congrès de la Société Des Historiens Médiévistes de l'Enseignement Supérieur Uublic*. 19e congrès, Reims, pp. 95-103.

ASKELAND, D.R. e PHULÉ, P.P. (2003) - *Phulé. The Science And Engineering Of Materials*. 4th ed, Australia, Thomson/Brooks-Cole.

BEEKS, R.S.P. (2004) – The Origin Of The Kabeiroi. *Mnemosyne*, 57(4): 456-477.

(2009) – *Etymological Dictionary Of Greek*, Brill, pp. 612.

BISHOP, M.C. (2015) – *Body Armor*, in The Encyclopedia of the Roman Army, First Edition, John Wiley & Sons, Ltd.

BISHOP, M.C. e COULSTON, J.C.N. (1993) – *Roman Military Equipment From The Punic Wars To The Fall Of Rome*, London, B. T. Batsford Ltd.

BLANCHET, J.C. (1984) – *Les Preniers Metallurgites En Pircardie Et Dans Le Nord De La France: Chalcolithique, Age Du Bronze Et Debut Du Premier Age Du Fer*, França, Memories De La Societte Prehistorique Francaise, Tome 17.

BOCOUM, H. (2004) – *The Origin Of Iron Metallurgy In Africa. New Light on Its Antiquity: West and Central Africa*, Memories of Peoples, UNESCO.

BORCHERS, W. (1911) – *Metallurgy A Brief Outline Of The Modern Processes For Extracting The More Important Metals*, 1ª ed., Chapman & Hall, Limited, London.

BRACK, H.G. (2008) - *Steel And Toolmaking Strategies And Techniques Before 1870*, London: Davistown Museum, volume VI.

BREASTED, J.H. (1906) - *Ancient Records Of Egypt*, Vol. II, The University Of Chicago Press, Chicago.

BROWN, A., BENNET, J. e RHODES, E. (2009) – Roman Mining on Exmoor: A Geomorphological Approach at Anstey's Combe, Dulverton, in *Environmental Archaeology*, 14(1): 50-61.

BRUK, G. (2005) - *Ancient Northern European Axes*, Gränsfors Bruks AB, Sweden.

BUCHWALD, V.F. (1975) - *Handbook of Iron Meteorities II*. University of California Press, pp. 381-404.

BUCHWALD, V.F. e MOSDAL, G. (1985). Meteoritic Iron, Telluric Iron And Wrought Iron In Greenland*. Meddelelser om Gronland, Man & Society*, 9: 1-49.

BUSTAMANTE ÁLVAREZ, M., PÉREZ MACÍAS, J.A. e MARTINS, A. (2008) – Sigillatas Claras De Aljustrel: A Crise Do Século II D.C. Nas Minas Do Sudoeste Ibérico. *Revista Portugesa de Arqueologia*, 11(1): 163 -181.

CALLISTER, W.D. Jr. (2007) - *Materials Science And Engineering: An Introduction*, 7ª ed., John Wiley & Son Inc.

CAMPBELL, H.H. (1904) - *The Manufacture And Properties Of Iron And Steel*, 2ª ed., The Engineering And Mining Journal, London.

CHIAVERINI, V. (2002) - *Aços E Ferros Fundidos*. 7ª ed., São Paulo: Associação Brasileira de Metalurgia e Materiais.

CHUNG, L. (1979) - Studies On The Iron Blade Of A Shang Dynasty Bronze Yueh-Axe Unearthed At Kao-Ch'eng, Hapei, China. *Ars Orientalis*, 11: 259-89.

CLEERE, H. e CROSSLEY, D. (1985) - *The Iron Industry of the Weald*. Leicester University Press.

CORTEZ, F.R. (1958) - *Museu D. Diogo de Sousa: Roteiro Sumário*. Braga: Museu D. Diogo de Sousa.

COSME, S.R. e MARTINS, C.M.B. (2000) – Estudo Analítico Do Espólio Metalúrgico De Aldeia Nova / Olival Dos Telhões (Almendra, Vª Nª De Foz Côa). In *Actas do 3º Congresso de Arqueologia Peninsular*. vol. IX. Porto: ADECAP, pp. 215-221.

CRADDOCK, P.T. (1980) – *Scientific Studies in Early Mining And Extractive Metallurgy*, Trustees of The British Museum.

CRUZ. M. (2011) – Fragmentos De Vidro . Fragmentos De Memória. Aproximação À Actividade Vidreira Em Bracara Augusta. *CEM Cultura, Espaço & Memória*, 2: 83-94. Porto/ Braga: CITCEM.

CUSTÓDIO, J. (2009) - O Ferro Como Património Industrial de Moncorvo: História, Mineração e Indústria, in *Moncorvo. Da Tradição à Modernidade*, CEPESE, Edições Afrontamento, Porto.

CUSTÓDIO, J. e BARROS, G.M. (1984) – *O Ferro de Moncorvo e o Seu Aproveitamento Através dos Tempos*, Ferrominas EP, Moncorvo.

CUSTÓDIO, J. e CAMPOS, N. (2002) – *Museu do Ferro & da Região de Moncorvo*, vol. I, Centro de Interpretação, Moncorvo.

DELAUNE, R.D. e REDDY, K.R. (2005) - *Redox Potential. Encyclopedia Of Soils In The Environment*, D. Hillel ed., Academic Press, pp. 366-371.

DELGADO, M. (1970) – *Elementos de Sítulas de Bronze de Conimbriga*, in Separata de Conímbriga, vol. IX, Universidade de Coimbra, pp. 12-47.

(1993-94) - *Notícia Sobre Cerâmica De Engobe Vermelho Não Vitrificável Encontradas Em Braga*. *Cadernos de Arqueologia* 10/11, pp. 113-149, Braga.

DELGADO, M. e LEMOS, F.S. (1985) – Zona das Carvalheiras. Notícias das Campanhas de Escavação de 1984 e 1985. *Cadernos de Arqueologia*, Braga, Série III, pp. 151-167.

(1986) - Zona das Carvalheiras: notícia das campanhas de escavação de 1985. *Cadernos de Arqueologia*, 3: 151-153, Braga, 2ª série.

DELGADO, M., MARTINS, M. e LEMOS, F.S. (1989) - *Dossier Salvamento de Bracara Augusta (1976-1989)*. *Forum* 6: 3-40, Braga

(1990) - *Bracara Augusta: roteiro arqueológico*. Braga: CRT Verde Minho.

DELGADO, M., et al. (1984) - Intervenções Na Área Urbana De Bracara Augusta. *Cadernos de Arqueologia,* 1: 95-106, Braga, 2ª série

DELGADO, M. e SANTOS, L.A. (1984) - Marcas De Oficinas De Sigillatas Encontradas Em Braga. *Cadernos de Arqueologia*, 1: 49-69, Braga, 2ª série.

(1985) - Marcas De Oficinas De Sigillatas Encontradas Em Braga. *Cadernos de Arqueologia*, 2: 9-40, Braga, 2ª série.

DELGADO, D.A. *et al.* (2011) - Minería De Hierro En Riotinto (Huelva). *Boletín Geológico y Minero*, 122: 311-324.

DIAMANTINO, Paulo Nuno Rodrigues. (2014) - *Sustentabilidade Na Construção Metálica*, Tese de Mestrado, Instituto Superior de Engenharia do Porto, Porto.

DOMERGUE, C. e LEROY, M. (2000) – L'état de La Recherche Sur Les Mine et Les Métallurgies en Gaule, de L'Époque Gauloise au Haut Moyen Âge, *Gallia*, 57 : 3-10.

DRISSI, S.H., REFAIT, Ph, ABDELMOULA, M. e GENIN, J.M.R. (1995) - The Preparation And Thermodynamic Properties Of Fe(II)-Fe(III) Hydroxide-Carbonate (Green Rust 1); Pourbaix Diagram Of Iron In Carbonate-Containing Aqueous Media, *Corrosion Science*, 37: 2025-2041.

ENNING, D. e GARRELFS, J. (2014) - Corrosion Of Iron By Sulfate-Reducing Bacteria: New Views Of An Old Problem, *Applied and Environmental Microbiology*, 80: 1225-1236.

FABIÃO, C. (2014) – Por Este Rio Acima: A Bacia Hidrográfica Do Tejo Na Conquista E Implantação Romana No Ocidente Da Península. Cira Arqueológica 3. In *Actas do*

Congresso Conquista e Romanização do Vale do Tejo. Vila Franca de Xira: Câmara Municipal de Vila Franca de Xira, pp. 9-24.

FERNÁNDEZ JURADO, J.L. (1988-89) – Aspectos De La Minería Y La Metalurgia En La Protohistoria De Huelva. *Huelva Arqueológica*, X-XI (3): 178-214.

FERNÁNDEZ-POSSE, M.D., OREJAS, A., PLÁCIDO, D., RUIZ del ÁRBOL, M., SÁNCHEZ-PALENCIA, F.J. e SASTRE, I. (2002) - *Las Médulas. Patrimonio de la Humanidad*. Salamanca.

FONTES, L. de O. (1990) - Carta Arqueológica Do Concelho De Braga. *Forum,* 8: 107-132, Braga.

(1993) - Inventário De Sítios E Achados Arqueológicos Do Concelho De Braga. *Minia,* 1: 31-88, Braga, 3ª série.

FREGNI, G. (2014) – *The Archaeology of Metalworking: Fieldworkers Practical Guide*, BAJR Practical Guide Series, Guide 35.

GASPAR, A., LEMOS, F.S. e DELGADO, M. (1986) - O Salvamento De Bracara Augusta: Reflexões. In *Encontro Nacional de Arqueologia Urbana*, 1, Lisboa: IPPC, pp. 27-42.

GENER MORET, M. (2010) – Technologia De La Metalurgia Del Hierro. In MONTERO, I. coord., *Manual de Arqueometalurgia. Cursos de Formación Permanente para Arqueólogos*, 1. Madrid: Museo Arqueologico Regional de la Comunidad de Madrid; Sección de Arqueologia de CDI de Madrid, pp. 189 -232.

GENIN, J.M.R., OLOWE, A.A., REFAIT, P.H. e SIMON, L. (1996) - On The Stoichiometry And Pourbaix Diagram Of Fe(II)-Fe(III) Hydroxyl-Sulphate Or Sulphate-Containing Green Rust 2: An Electrochemical And Mössbauer Spectroscopy Study, *Corrosion Science,* 38: 1751-1762.

GLAD, N.D. (1992) – La Métallurgie du Fer Autour d'Avarium (Bouges) Dans l'Antiquité. *Revue Archéologique du Centre de La France*, 31 : 57-74.

GÓMEZ, P.R. (1999) – *Obtención De Metales En La Prehistoria De La Peninsula Ibérica*, Oxford: B.A.R. p. 238. (BAR International Séries; 755).

GOORGERTY, T.F. (1911) – *Hand-Forging and Wrought-Iron Ornamental Work*, Popular Mechanics Company, Publishers, Chicago.

GUILLAUME, A. (1962) - Metallurgy in the Old Testament. *Palestine Exploration Quarterly*, 94(2): 129-132.

ISENMANN, A. (s.d.) – *O Processo Do Alto-Forno E A Produção De Aço*. Minas Gerais: Centro de Educação Tecnológica de Minas Gerais.

JØRGENSEN, R. (2010) – *Production or trade? The supply of iron to North Norway during the Iron Age*. Tromso: University of Tromso. Dissertation for the degree of Doctor Philosophiae.

KARJALAINEN, J. (2014) – *Stone slab furnaces in the finnish iron age BA*. OpenArch Conference, Kierikki (http://www.slideshare.net/EXARC/stone-slab-furnaces-openarch-conference-kierriki-2014).

KMOŠEK, J. (2009) - *Rekonstrukce Pravěkého Hutnictví Železa*, Stř̌edoškolská Technika.

KRAUSKOFT, K.B. (1983), *Introduction to geochemistry*, New York, NY: McGraw Hill.

LANDELS, L.G. (1980) - *Engineering in the Ancient World*, Clarke, Irwin and Company.

LARCHER, P. H. (2006) – *História de Heródoto (484 a.C. – 425 a.C.)*, Brasil: Ed. eBooksBrasil.

LATTIMORE, R. (1967) - *The Odyssey of Homer*, New York, HarperCollins Publishers.

LAUNAY, L. (1896). Ferrum. In Daremberg, Mm. Ch. E Saglio, Edm., *Le Dictionnaire Des Antiquites Grecques Et Romaines*. Paris: Librairie Hachette, tome 2.2., pp. 1070-1094.

LEDEBUR, A. (1895) – *Manuel Théorique et Pratique de la Métallurgie du Fer*, Tome Prémier, Baudry & Cie Editeur, Paris.

LEMOS, F. S. (1993) – *Povoamento romano de Trás-os-Montes Oriental*, Braga: Universidade do Minho. Dissertação de Doutoramento.

(1995) - Bracara Augusta: Recuperação E Divulgação Da Memória Urbana. *Forum,* 17: 63-84.

(1996) - Entre 1976 E 1996: Breve Evocação De Duas Décadas De Actividade Arqueológica Em Braga. *Forum,* 19.

(2002) - Bracara Augusta: A Grande Plataforma Viária Do Noroeste Da Hispania. Forum, 31: 95-127.

(2003) - Bracara Augusta No Baixo Império E Na Antiguidade Tardia. Uma Primeira Interpretação. *Forum*, 34: 91-140.

LEMOS, F.S. e MARTINS, C.M.B. (2011) - Mineração e Metalurgia Do Ferro Em Trás-Os-Montes (Norte De Portugal) Na Época Romana. *Férvedes*, 7: 243-252.

LEMOS, F.S., MARTINS, M. e DELGADO, M. (1981) - *Actividade Arqueológica 1976-1980 Unidade De Arqueologia Da Universidade Do Minho*. Braga: UAUM.

(1995) - À Descoberta De Bracara Augusta: Um Projecto De Arqueologia Urbana No Norte De Portugal. *Forum,* 17: 53-60, Braga.

LOURENÇO, M.A. (2012) – *Objetos do Quotidiano de Bracara Augusta*, Braga: Universidade do Minho. Dissertação de Mestrado.

MAGALHÃES, F. (2010) - *Arquitectura Doméstica Em Bracara Augusta*, Tese de Mestrado, Instituto de Ciências Socais, Universidade do Minho, Braga.

MARTINS, C.M.B. (1999) – *Caminha. A Arte Do Linho E Do Traje*, Câmara Municipal de Caminha, Caminha.

(2008) – *A Exploração Mineira Romana e Metalurgia do Outro em Portugal*, Instituto de Ciências Sociais, Universidade do Minho, Braga.

MARTINS, J.I. (1999) - *Curso JTI Materiais, Módulos: I - Introdução À Corrosão* (pp. 1-15); *II – Formas De Corrosão* (pp. 16-41); *III – Meios Corrosivos* (pp. 50-109), Departamento de Engenharia Química, FEUP.

(2004) - A Corrosão E Protecção Dos Metais: Parte 1- Princípios Gerais E Tipos De Corrosão. *Corros. Prot. Mater.*, 23(2): 25-27.

(2015) - *Aulas De Ciência E Engenharia Dos Materiais*, Porto: FEUP.

MARTINS, J.I. e NUNES, M.C. (2006) - Reconsidering Differential Aeration Cells. *Electrochimica Acta*, 52: 552–559.

MARTINS, J.I., T.C. REIS, M. BAZZAOUI, M.C. Nunes, L. MARTINS, E.A. BAZZAOUI (2009) - The Influence Of pH On The Electrosynthesis Of Polypyrrole Coatings On Iron Surfaces In Malate And Sulfate Aqueous Solutions. *Progress in Organic Coatings*, 65: 62-70.

MARTINS, M. (1991-92). Bracara Augusta: A Memória De Uma Cidade. *Cadernos de Arqueologia,* 8/9: 180-200, Braga.

(1992-93) - História E Memória De Bracara Augusta. *Forum*, 12/13.

(1997-98) – A Zona Arqueológica Das Carvalheiras. Balanço Das Escavações E Interpretação Do Conjunto. *Cadernos de Arqueologia*, 14-15: 23-45.

(1996) - *Bracara Augusta: Uma Cidade Na Periferia Do Império. In Los Finisterres Atlânticos En La Antiguedad: Epoca Prerromana Y Romana*. Gijón: Electa, pp.121-127.

(2000) - *Bracara Augusta: a casa romana das Carvalheiras*. Braga: Unidade de Arqueologia da Universidade do Minho (Roteiros arqueológicos, 2).

(2000b). *Bracara Augusta: A Cidade Romana. Braga*: Unidade de Arqueologia da Universidade do Minho.

(2000c) - Bracara Augusta Revisitada, *Bracara Augusta*, 49 (116): 265-280.

MARTINS, M. e LEMOS, F.S. (1997-98) - Duas Décadas De Vida De Um Projecto: O Salvamento De Bracara Augusta. *Cadernos de Arqueologia*, 14/15: 9-21.

(1998) - Projecto De Salvamento E Estudo De Bracara Augusta. *Forum*, 23: 117-143.

MARTINS, M., RIBEIRO, J. e MAGALHÃES, F. (2006). A Arqueologia Urbana Em Braga E A Descoberta Do Teatro Romano De Bracara Augusta. *Forum*, 40: 9-30.

MARTINS, M., RIBEIRO, J., MAGALHÃES, F. e BRAGA, C. (2012). Urbanismo E Arquitetura De Bracara Augusta: Sociedade, Economia E Lazer. In: Ribeiro, M, Melo, A (coords.). *Evolução da Paisagem Urbana: Sociedade e Economia*. Braga: CITCEM, pp. 28-67.

MARTINS, M., MAR, R., RIBEIRO, J. e MAGALHÃES, F. (2013). A Construção Do Teatro Romano De Bracara Augusta. In: Ribeiro, M, Melo, A (coords.). *História da Construção: Arquitetura e Técnicas Construtivas*. Braga: CITCEM, pp. 40-73.

MATALOTO, R. (2014) – A Propósito De Um Conjunto De Glandes Plumbeal: O Castelo Das Juntas (Moura) No Contexto Do Episódio Sertoriano Das Guerras Civis Na Margem Esquerda Do Guadiana. *Cira Arqueológica*, 3: 343-384.

MAURIN, A. (1970) – *Corrosion Y Control De Corrosion*, Bilbao, Espanha, Artes Gráficas Grijelmo, S.A.

MENANT, F. (1987) – Pour Une Histoire Médiévale De L'Entreprise Minière En Lombardie. *Annales Économies, Sociétés, Civilisations*, 4 : 779-796.

MOHEN, J.P. (1992) – *Metalurgia Prehistórica: Introducion A La Paleometalurgia*, Paris, Masson, S.A.

MORAIS, R. (1997-98) – Importações De Cerâmicas Finas Em Bracara Augusta: Da Fundação Até À Época Flávia. *Cadernos de Arqueologia*, 14/15: 47-135.

(1998) – *As Ânforas Da Zona Das Carvalheiras*. Instituto de Ciências Sociais, Universidade do Minho, Braga.

(2003) - O Contributo Da Epigrafia Na História Económica De Bracara Augusta. *Trabalhos de Antropologia e Etnologia*, 43 (1-2): 115-121.

(2004) – *Autarcia E Comércio Em Bracara Augusta No Período Alto-Imperial: Contribuição Para O Estudo Económico Da Cidade*. 3 vols. Braga, Universidade do Minho.

(2010) – *Bracara Augusta*. Braga: Câmara Municipal de Braga.

NAVEIRO LOPEZ, J.L. (1993-94) - Las Ânforas De Las Carvalheiras (Braga). *Cadernos de Arqueologia*, 10/11: 203-243.

OBERG, E. JONES, F. D. (1920) - *Iron And Steel*, 1ª ed., The Machinery Publishing Co., Ltd., London.

PERAZA, A.F. e SUÁREZ, C.M. (2006) – La Metalurgia Del Fierro En La Asturias Castreña: Nuevos Datos Y Estado De La Cuestión*. Trabajos de Prehistoria*, 63(1): 113-131.

PESSOA, M. e RODRIGO, L. (2004) - *Catálogo Espaço-Museu Villa Romana do Rabaçal*. Penela: Câmara Municipal de Penela.

PIASKOWSKI, J. (1982) - A Study Of The Origin Of The Ancient High-Ni Iron Generally Regarded As Meteoritic. In *Early Pyrotechnology*, T.A. Werthime and S.F. Werthime, eds., Smithsonian Institution, Washington DC, pp.237- 43.

PICCOTTINI, G. (1984) – *Utensili di Ferro Romani da Aquileia e Dal Madgalensberg*.

PLEINER, R. (1985) - Les Débuts Du Fer En Europe, in *Dialogues d'Histoire Ancienne*, vol. 8, pp. 167-192.

(1997) – Les Primeres Producciones De Ferro A l'Europe Central I Oriental. *Cota 0*, 13: 71-84.

POURBAIX, M. (1966) - *Atlas Of Electrochemical Equilibria In Aqueous Solutions*. Houston: National Association of Corrosion Engineers.

REFAIT, Ph, ABDELMOUL, M. e GENIN, J.M.R. (1998) - Mechanism Of Formation And Structure Of Green Rust One In Aqueous Corrosion Of Iron In The Presence Of Chloride Ions, *Corrosion Science*, 40: 1547-1560.

RIBEIRO, M. do C.F. (2008) – *Braga Entre A Época Romana E A Idade Moderna. Uma Metodologia De Análise Para A Leitura Da Evolução Da Paisagem Urbana*, Tese de Doutoramento, Instituto de Ciências Socais, Universidade do Minho, Braga.

RIBEIRO, J. (2010) - *Arquitectura Romana Em Bracara Augusta. Uma Análise Das Técnicas Edilícias,* Tese de Doutoramento, Instituto de Ciências Socais, Universidade do Minho, Braga.

RIBEIRO, J. e MARTINS, M. (2012) – Materiais de construção em Bracara Augusta. In MELO, A. e CARMO, M. (coord.), *História da construção: os materiais*, CITCEM, Braga, pp. 15-34.

RICKETTS, J.A. (2000) - *History of Ironmaking*. Iron and Steel Society.

(2000b) - Historical Development And Principles Of The Iron Blast Furnace. In *Blast furnace ironmaking*, McMaster University, Ontario, Canada.

RODRIGUEZ COLMENERO, A. (1987) - *Aquae Flaviae: I - Fontes Epigráficas*. Chaves, Câmara Municipal, pp. 623-631.

(1993) - *Corpus - Catálogo De Inscripciones Rupestres Da Época Romana Del Cuadrante Noroeste De La Península Ibérica*. Sada, Ediciós do Castro, pp. 81-89.

RODRIGUEZ COLMENERO, A., FERRER SIERRA, S. e ALVAREZ ASOREY, R. (2004) - *Miliarios E Outras Inscricións Viárias Romanas (Conventos Bracarense, Lucense E Asturicense)*. Santiago de Compostela, Consello de Cultura Galega, Sección de Património Histórico.

SCLAFERT, T. (1926) – L'Industrie Du Fer Dans La Région D?Allevard Au Moyen-Age. *Revue de Geographie Alpin*, 14(2): 239-355.

SCOTT, D.A. (1991) – *Metallography And Microstructures On Ancient And Historic Metals*, Simgapure, The Getty Conservation Institute.

SCOTT, D. A. e EGGERT G. (2009) – *Iron And Steel In Art*, Corrosion Colarants And Conservation. Londres: Archetype Publications, pp. 196.

SELWYN, L. (2004) – *Metals And Corrosion: A Hand-Book For The Conservation Professional*, Canada, Canadian Conservation Institute.

SILVA, J. N. S. (2011), *Siderurgia*, Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Pará, Brasil.

SILVA, J.R.C. (2000) *A Insula Das Carvalheiras. Estudo De Um Exemplo De Arquitectura Privada Em Bracara Augusta,* Tese de mestrado em Arqueologia (policopiada), Instituto de Ciências Sociais, Universidade do Minho, Braga.

TYLECOTE, R.F. (1986) – *The Prehistoric Of Metallurgy In The British Isles*, London, The Institute of Metals, pp. 124-199.

TYLECOTE, R.F. e GILMOUR, B. J. J. (1986) - *The Metallography Of Early Ferrous Edge Tools And Edged Weapons*. Oxford: B.A.R. (BAR International Series; 155).

UHLIG, H.H. (1963) - *Corrosion And Corrosion Control*, John Wiley & Sons, Inc., New York.

VITALI, D., OLMER, F, RIECKHOFF, *et al.*, (1998) – L'Oppidum, Lieu De Production Et D'Échanges. *Gallia*, 55 : 48-84.

WAKELIN, D.H. e RICKETTS, J.A. (1999) – The Nature Of Ironmaking, in *Ironmaking*, chapter 1, The AISE Steel Foundation, Pitsburg, pp. 1-36.

WALDBAUM, J.C. (1973) – *Metalwork From Stirdis: The Finds Through 1974*, Cambridge, Harvard University Press.

WHITE, K. D. (1964) – *Agricultural Implements Of The Roman World*, Cambridge, Harvard University Press.

WEBSITES:

http://www.matriznet.dgpc.pt/

https://finds.org.uk/database/search

http://romanlocks.com/Keys.htm

https://www.mpiwg-berlin.mpg.de/en/news/features/features-feature32. *Büttner, Jochen, Ancient balances at the Nexus of innovation and knowledge. Max Planck Institute for the History of Science*

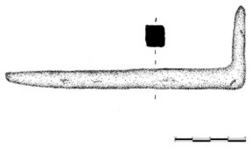
http://www.fao.org/docrep/009/ah637e/AH637E26.htm *19. Forging an axe head from low- and high-carbon steels*

http://www.timoteo.cefetmg.br/site/sobre/cursos/quimica/repositorio/artigos/arq/Processo_do_Alto_Forno.pdf

Anexos

Anexo 1. Inventário dos artefactos estudados

Identificação

N° inventário:	1992.0232					
Descrição:	Objeto constituído uma haste longa de secção retangular que vai estreitando e termina numa ponta mais estreita. A cabeça com uma secção retangular encontra-se dobrada em "L".					

Localização

Sondagem:	complexo 2, N 79, X 188, Y 152	U.E.:	679

Cronologia

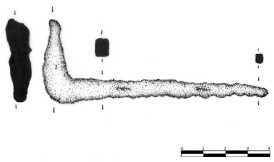
Séc. II d.C.

Caracterização

Matéria-prima:	Ferro	Tipologia:	Cavilha		Função:	Construção
Comprimento máx.:	134,38 mm		Altura máx.:	47,71 mm	Espessura máx.:	10,29 mm
Peso (g):	57,2					

Paralelos:	Pessoa, 2004, n° 196. Lourenço, 2012, p. 209, CARV067	Depósito: Museu D. Diogo de Sousa, Braga.

Identificação

N° inventário:	1992.0297					
Descrição:	Objeto constituído uma haste longa de secção retangular que vai estreitando e termina numa ponta mais estreita. A cabeça com uma secção retangular encontra-se dobrada em "L".					

Localização

Sondagem:	complexo 2, N 79 X 188 Y 152	U.E.:	679

Cronologia

Séc. II d.C.

Caracterização

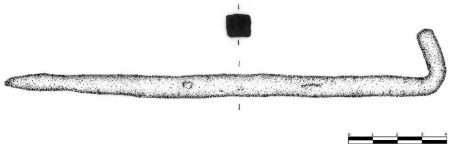
Matéria-prima:	Ferro	Tipologia:	Cavilha		Função:	Construção
Comprimento máx.:	100 mm		Altura máx.:	37 mm	Espessura máx..:	4 mm
			Altura min.:	3 mm		
Peso (g):	19,8					

Paralelos:	Pessoa, 2004, n° 196	Depósito: Museu D. Diogo de Sousa, Braga.

Identificação

N° inventário: 1992.0203





Descrição: Objeto com haste longa, de secção retangular, terminando numa das extremidades numa cabeça de formato e secção retangular e na outra de forma pontiaguda.

Localização

Sondagem: complexo 10, N 46 X 184 Y 132 U.E.: 500

Cronologia

séc. II d.C.

Caracterização

Matéria prima: Ferro Tipologia: Cavilha Função: Construção
Comprimento máx.: 182 mm Altura máx.: 27,6 mm Espessura máx.: 9,3 mm

Peso (g): 43,6

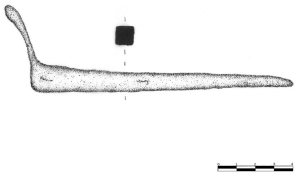
Paralelos: Pessoa, 2004, n° 196.
Lourenço, 2012, p. 199, CARV047

Depósito: Museu D. Diogo de Sousa, Braga.

Identificação

N° inventário: 1992.0231





Descrição: O objeto apresenta uma haste longa de secção retangular que vai estreitando e termina numa ponta mais estreita. A cabeça com uma secção retangular encontra-se dobrada em "L".

Localização

Sondagem: complexo 2, N 79 X 188 Y 152 U.E.: 679

Cronologia

séc. II d.C.

Caracterização

Matéria prima: Ferro Tipologia: Cavilha Função: Construção
Comprimento máx.: 154 mm Altura máx.: 46,89 mm Espessura máx.: 10,69 mm

Peso (g): 44,8

Paralelos: Pessoa, 2004, n° 196.
Lourenço, 2012, p. 208, CARV066

Depósito: Museu D. Diogo de Sousa, Braga.

Identificação

N° inventário: 1994.0320



Descrição: Objeto composto por haste longa com secção retangular, terminando numa extremidade em ângulo de 90° com formato e secção retangulares e na outra extremidade em forma de "L".

Localização

Sondagem: complexo 2, N 79 X 188 Y 152 U.E.: 679

Cronologia

Séc. II d.C.

Caracterização

Matéria-prima:	Ferro	Tipologia:	Cavilha		Função:	Construção	
Comprimento máx.:	121 mm		Altura máx.:	43 mm	Espessura máx.:		13 mm
Peso (g):	42,5						

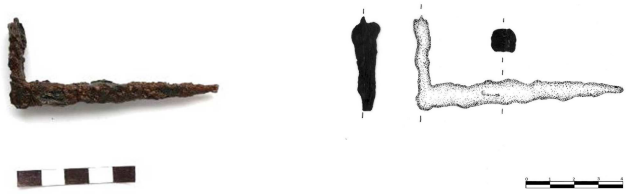
Dimensões específicas: **Cabeça**

Comp. máx.: 7 mm
Larg. máx.: 10 mm
Alt. máx.: 43 mm

Paralelos: Pessoa, 2004, n° 196. Depósito: Museu D. Diogo de Sousa, Braga.

Identificação

N° inventário: 1994.0321



Descrição: Objeto composto por haste longa com secção retangular, terminando numa extremidade em ângulo de 90° com formato e secção retangulares e na outra em forma de "L".

Localização

Sondagem: complexo 2, N 79 X 188 Y 152 U.E.: 679

Cronologia

Séc. II d.C.

Caracterização

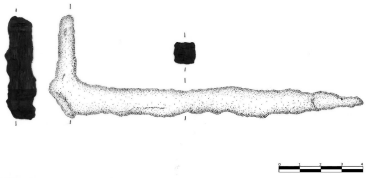
Matéria-prima:	Ferro	Tipologia:	Cavilha		Função:	Construção	
Comprimento máx.:	84 mm		Altura máx.:	36 mm	Espessura máx.:		9 mm
Peso (g):	18,3						

Paralelos: Pessoa, 2004, n° 196. Depósito: Museu D. Diogo de Sousa, Braga.
Ribeiro, 2010, p. 136

Identificação

Nº inventário: 1994.0533





Descrição: O objeto apresenta uma haste longa de secção retangular que vai estreitando e termina numa ponta mais estreita. A cabeça com uma secção retangular encontra-se dobrada em "L".

Localização

Sondagem: complexo 29, N 98 X 192 Y 144 U.E.: 723

Cronologia

Séc. II d.C.

Caracterização

Matéria-prima:	Ferro	Tipologia:	Cavilha		Função:	Construção	
Comprimento máx.:	149 mm		Altura máx.:	45 mm	Espessura máx.:		13 mm
Peso (g):	66,2						

Dimensões específicas: Cabeça

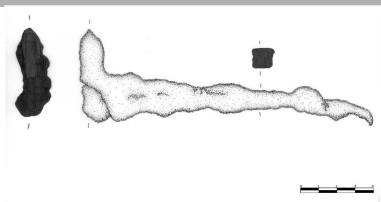
Comp. máx.:	14 mm
Larg. máx.:	13 mm
Alt. máx.:	45 mm

Paralelos: Pessoa, 2004, nº 196. Depósito: Museu D. Diogo de Sousa, Braga.

Identificação

Nº inventário: 1995.0284





Descrição: O objeto apresenta uma haste longa de secção retangular que vai estreitando e termina numa ponta mais estreita. A cabeça com uma secção retangular encontra-se dobrada em "L".

Localização

Sondagem: complexo 4, N 83 X 192 Y 152 U.E.: 679

Cronologia

Séc. II d.C.

Caracterização

Matéria-prima:	Ferro	Tipologia:	Cavilha		Função:	Construção	
Comprimento máx.:	15 mm		Altura máx.:	50 mm	Espessura máx.:		4 mm
Peso (g):	92						

Dimensões específicas: Cabeça

Comp. máx.:	15 mm
Larg. máx.:	17 mm
Alt. máx.:	50 mm

Paralelos: Pessoa, 2004, nº 196. Depósito: Museu D. Diogo de Sousa, Braga.

Identificação

N° inventário: 1995.0285





Descrição: O objeto apresenta uma haste longa de secção retangular que vai estreitando e termina numa ponta mais estreita. A cabeça com uma secção retangular encontra-se dobrada em "L".

Localização

Sondagem: complexo 4, N 83 X 192 Y 152 U.E.: 928

Cronologia

Séc. II d.C.

Caracterização

Matéria-prima:	Ferro	Tipologia:	Cavilha		Função:	Construção
Comprimento máx.:	48 mm		Altura máx.:	28 mm	Espessura máx.:	6 mm
Peso (g):	7,8					

Dimensões específicas: Cabeça

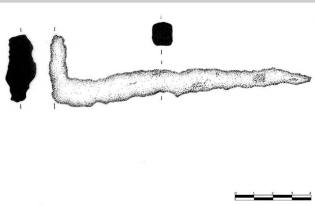
Comp. máx.: 7 mm
Alt. máx.: 28 mm

Paralelos: Pessoa, 2004, n° 196. Depósito: Museu D. Diogo de Sousa, Braga.

Identificação

N° inventário: 1995.0286





Descrição: O objeto apresenta uma haste longa de secção retangular que vai estreitando e termina numa ponta mais estreita. A cabeça com uma secção retangular encontra-se dobrada em "L".

Localização

Sondagem: complexo 6, N 83 X 192 Y 152 U.E.: 924

Cronologia

Séc. II d.C.

Caracterização

Matéria-prima:	Ferro	Tipologia:	Cavilha		Função:	Construção
Comprimento máx.:	138 mm		Altura máx.:	36 mm	Espessura máx.:	11 mm
Peso (g):	53,9					

Dimensões específicas: Cabeça

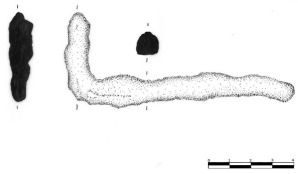
Comp. máx.: 13 mm
Larg. máx.: 9 mm
Alt. máx.: 36 mm

Paralelos: Pessoa, 2004, n° 196. Depósito: Museu D. Diogo de Sousa, Braga.

Identificação

Nº inventário: 1995.0280





Descrição: O objeto apresenta uma haste longa de secção retangular que vai estreitando e termina numa ponta mais estreita. A cabeça com uma secção retangular encontra-se dobrada em "L".

Localização

Sondagem: complexo 19, N 50 X 188 Y 140 U.E.: 500

Cronologia

Séc. IV d.C.

Caracterização

Matéria-prima: Ferro Tipologia: Cavilha Função: Construção

Comprimento máx.: 100 mm Altura máx.: 39 mm Espessura máx.: 12 mm

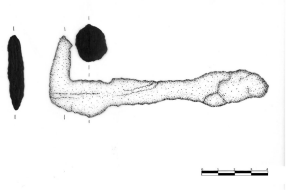
Peso (g): 47,8

Paralelos: Pessoa, 2004, nº 196. Depósito: Museu D. Diogo de Sousa, Braga.

Identificação

Nº inventário: 1995.0288





Descrição: Objeto composto por haste longa com secção retangular, terminando numa extremidade em ângulo de 90º com formato e secção retangulares e na outra em forma de "L".

Localização

Sondagem: complexo 15, N 87 X 192 Y 148 U.E.: 859

Cronologia

Séc. IV d.C.

Caracterização

Matéria-prima: Ferro Tipologia: Cavilha Função: Construção

Comprimento máx.: 132 mm Altura máx.: 43 mm Espessura máx.: 20 mm

Peso (g): 103,3

Dimensões específicas: Cabeça

Comp. máx.: 11 mm

Larg. máx.: 11 mm

Alt. máx.: 43 mm

Paralelos: Pessoa, 2004, nº 196. Depósito: Museu D. Diogo de Sousa, Braga.

Identificação

N° inventário:	1995.0283





Descrição: Objeto composto por um pé longo de secção arredondada e por uma cabeça de formato redondo e achatado

Localização

Sondagem:	complexo 4, N 83 X 192 Y 152	U.E.:	679

Cronologia

Séc. II d.C.

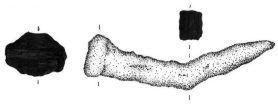
Caracterização

Matéria-prima:	Ferro	Tipologia:	Prego		Função:	Construção	
Comprimento máx.:	132 mm		Altura máx.:	11 mm		Espessura máx.:	15 mm
Peso (g):	79,8						
Paralelos:	Pessoa, 2004, n° 191. Manning, 1983, Plate 63, R87, R84.				Depósito: Museu D. Diogo de Sousa, Braga.		

Identificação

N° inventário:	1994.0331





Descrição: Objeto com pé de secção redonda e cabeça achatada redonda.

Localização

Sondagem:	complexo 9, N 106	U.E.:	659

Cronologia

Séc. III d.C.

Caracterização

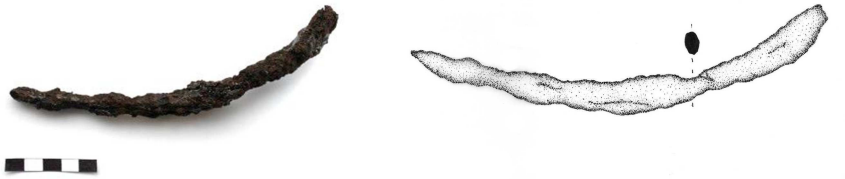
Matéria-prima:	Ferro	Tipologia:	Prego		Função:	Construção
Comprimento máx.:	94 mm		Largura máx.:	29 mm		
			Largura mín.:	2 mm		
Peso (g):	33					

Dimensões específicas:	Cabeça	Pé
Comp. máx.:	11 mm	83 mm
Larg. máx.:	29 mm	17 mm

Paralelos:	Pessoa, 2004, n° 191.	Depósito: Museu D. Diogo de Sousa, Braga.

Identificação

Nº inventário: 1994.0531



Descrição: Objeto com pé de secção redonda sem registos da cabeça

Localização

Sondagem: complexo 11, N 80 X 184 Y 152 U.E.: 851

Cronologia

Séc. IV d.C.

Caracterização

Matéria-prima:	Ferro	Tipologia:	Prego	Função:	Construção
Comprimento máx.:	80 mm		Largura máx.:	12 mm	
			Largura mín.:	5 mm	
Peso (g):	58,8				

Depósito: Museu D. Diogo de Sousa, Braga.

Identificação

Nº inventário: 1995.0281



Descrição: Prego com pé longo e pontiagudo de secção redonda e cabeça achatada redonda.

Localização

Sondagem: N 63 X 160 Y 156 U.E.: 500

Cronologia

Séc. XIX/XX d.C.

Caracterização

Matéria-prima:	Ferro	Tipologia:	Prego	Função:	Construção
Comprimento máx.:	295 mm		Largura máx.:	8 mm	
Peso (g):	192,6				

Dimensões específicas:	Cabeça	Pé
Comp. máx.:	5 mm	290 mm
Diâm. Máx.:	25 mm	
Larg. Máx.:		8 mm

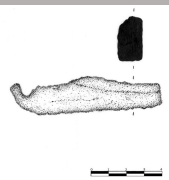
Paralelos: Pessoa, 2004, nº 191.
Manning, 1983, Plate 63, R87, R84.

Depósito: Museu D. Diogo de Sousa, Braga.

Identificação

N° inventário: 2001.0127





Descrição: Grampo de Revestimento: objeto apresenta uma haste longa, com secção retangular, fraturada numa das extremidades, e terminando numa espécie de gancho curto.

Localização

Sondagem: complexo 37, N 98 X 192 Y 144 U.E.: 794

Cronologia

Séc. II d.C.

Caracterização

Matéria-prima: Ferro Tipologia: Grampo Função: Construção

Comprimento máx.: 83 mm Largura máx.: 20 mm Espessura máx.: 23 mm

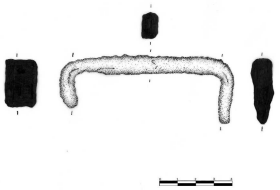
Peso (g): 72,4

Paralelos: Manning, 1983, Plate 20, n° 287. Depósito: Museu D. Diogo de Sousa, Braga.

Identificação

N° inventário: 1992.0229





Descrição: Grampo para pedra constituído por uma tira de ferro com secção retangular com uma das extremidades a terminar num ângulo de 90° e superfície retangular, e a outra numa superfície triangular ou retangular.

Localização

Sondagem: complexo 5, N 68 X 180 Y 148 U.E.: 849

Cronologia

Séc. IV d.C.

Caracterização

Matéria-prima: Ferro Tipologia: Grampo Função: Construção

Comprimento máx.: 96 mm Largura máx.: 15 mm

Altura máx.: 33 mm

Peso (g): 45,6

Paralelos: Waldbaum, 1983, Plate 20 n° 287. Depósito: Museu D. Diogo de Sousa, Braga.

Identificação

Nº inventário: 2001.0121



Descrição: Gancho de Manilha. Objeto com argola de secção quadrangular e com pé helicoidal de secção redonda.

Localização

Sondagem: complexo 33 U.E.: 500

Cronologia

Séc. II d.C.

Caracterização

Matéria-prima: Ferro Tipologia: Gancho Função: Construção
Comprimento máx.: 20 mm Altura máx.: 48 mm Diâmetro máx.: 9 mm

Peso (g): 9

Paralelos: Manning, 1985, plate 35, M3. Depósito: Museu D. Diogo de Sousa, Braga.

Identificação

Nº inventário: 1991.7128



Descrição: Objeto com uma superfície achatada. Possui uma parte arredondada com uma perfuração de 9 mm de diâmetro e a outra extremidade termina de forma pontiaguda.

Localização

Sondagem: complexo 7, N 74 X 180 Y 152 U.E.: 630

Cronologia

Séc. IV d.C.

Caracterização

Matéria-prima: Ferro Tipologia: Gancho Função: Construção
Comprimento máx.: 20 mm Largura máx.: 55 mm Diâmetro máx.: 9 mm
Espessura máx.: 3 mm

Peso (g): 14,1

Paralelos: Manning, 1985, plate 59, R31. Depósito: Museu D. Diogo de Sousa, Braga.

Identificação

N° inventário: 1992.0207



Descrição: Chave de Fechadura de Tranca. Chave composta por uma haste longa com secção retangular com perfuração na parte superior, possivelmente para suspensão. A outra extremidade encontra-se dobrada em "L" e possui dois dentes de secção retangular paralelos à haste.

Localização

Sondagem: complexo 4, N 58 X 188 Y 144 U.E.: 714

Cronologia

Séc. III d.C.

Caracterização

Matéria-prima: Ferro Tipologia: Chave Função: Construção
Comprimento máx.: 87 mm Largura máx.: 25 mm Espessura máx.: 10 mm

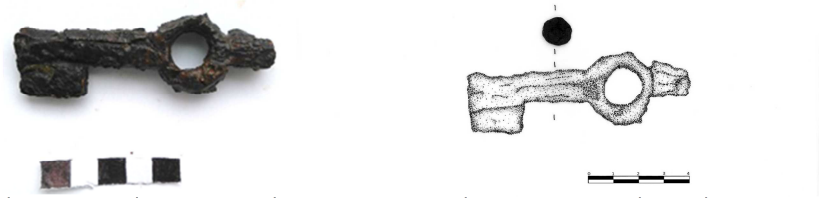
Peso (g): 49,9
Dimensões específicas: Argola
Diâm. Máx.: 12 mm

Paralelos: Pessoa, 2004, n° 177.
Alarcão, 1979, Planche XLVI, n° 152.
Petrie, 1917, W LXXVL, n° 199.

Depósito: Museu D. Diogo de Sousa, Braga.

Identificação

N° inventário: 1992.0208



Descrição: Chave rotativa constituída por uma haste curta de secção retangular com um anel circular numa das extremidades e uma protuberância de formato retangular na extremidade contrária.

Localização

Sondagem: complexo 2, N 65 X 168 Y 156 U.E.: 500

Cronologia

Séc. XIX/XX d.C.

Caracterização

Matéria-prima: Ferro Tipologia: Chave Função: Construção
Comprimento máx.: 150 mm Largura máx.: 59 mm Espessura máx.: 5 mm

Peso (g): 105,4

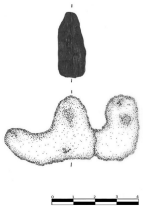
Paralelos: Sauron, 1999, Planche 60, 4.11/6.
Lourenço, 2012, p. 201, CARV051

Depósito: Museu D. Diogo de Sousa, Braga.

Identificação

Nº inventário: 2002.0720





Descrição: Parte de chave de dois dentes, com secção irregular.

Localização

Sondagem: complexo 45 U.E.: 500

Cronologia

Séc. XIX/XX d.C.

Caracterização

Matéria-prima: Ferro Tipologia: Chave Função: Construção

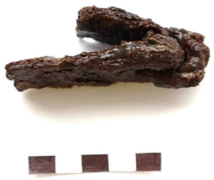
Comprimento máx.: 62 mm Altura máx.: 29 mm Espessura máx.: 14 mm

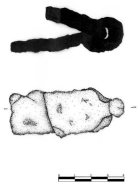
Peso (g): 38,7

Depósito: Museu D. Diogo de Sousa, Braga.

Identificação

Nº inventário: 1995.0291





Descrição: Objeto composto por duas peças. Ambas são constituídas por uma placa de ferro trapezoidal com secção retangular e por uma argola de secção arredondada numa das extremidades, que encaixam uma na outra. Uma das placas encontra-se fraturada.

Localização

Sondagem: complexo 20, N 112 X 192 Y 140 U.E.: 725

Cronologia

Séc. II d.C.

Caracterização

Matéria-prima: Ferro Tipologia: Dobradiça Função: Construção

Comprimento máx.: 69 mm Largura máx.: 20 mm

Peso (g): 57,3

Depósito: Museu D. Diogo de Sousa, Braga.

Identificação

Nº inventário: 2002.0646



Descrição: Lâmina de ferro com formato trapezoidal de secção retangular. Possui uma argola de secção retangular numa das extremidades e duas perfurações circulares no corpo.

Localização

Sondagem: complexo 35, N 47 X 188 Y 136 U.E.: 500

Cronologia

Séc. XIX/XX

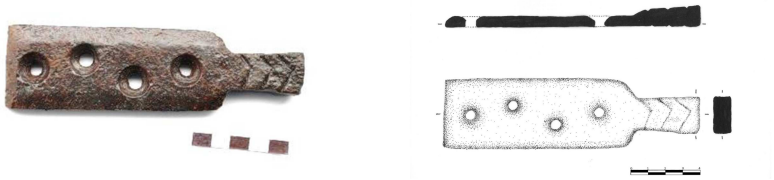
Caracterização

Matéria-prima:	Ferro	Tipologia:	Dobradiça		Função:	Construção	
Comprimento máx.:	123 mm		Largura máx.:	30 mm	Espessura máx.:		24 mm
Peso (g):	110,1						
Dimensões específicas:		Perfuração	Argola				
	Diâm. Máx.:	4 mm	11 mm				

Depósito: Museu D. Diogo de Sousa, Braga.

Identificação

Nº inventário: 2008.0651



Descrição: Ferrolho de Porta. Peça retangular com cabo trapezoidal com decoração em espinha no verso e no reverso. Placa aplanada no reverso, e perfurada ao longo do eixo longo.

Localização

U.E.: 500

Cronologia

Séc. XIX/XX

Caracterização

Matéria-prima:	Ferro	Tipologia:	Ferrolho		Função:	Construção	
Comprimento máx.:	147 mm		Largura máx.:	41 mm	Espessura máx.:		11 mm
Peso (g):	311,3						
Dimensões específicas:		Perfuração 1	Perfuração 2				
	Diâm. Máx.:	16 mm	6 mm				

Depósito: Museu D. Diogo de Sousa, Braga.

Identificação

Nº inventário: 2002.0712



Descrição: Objeto composto por uma haste longa de secção retangular, fraturado numa das extremidades e com a outra extremidade mais estreita.

Localização

U.E.: 500

Cronologia

Séc. XIX/XX

Caracterização

Matéria-prima:	Ferro	Tipologia:	Buril		Função:	Carpintaria	
Comprimento máx.:	120 mm		Largura máx.:	15 mm	Espessura máx.:		9 mm

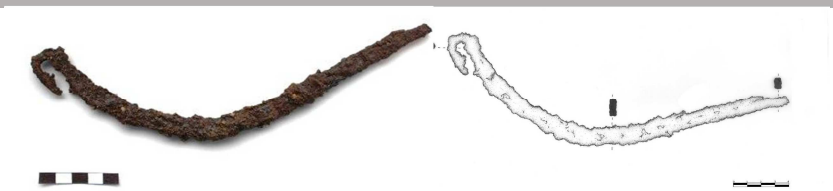
Peso (g): 65,7

Paralelos: Manning, 1985, Plate 6, A30.

Depósito: Museu D. Diogo de Sousa, Braga.

Identificação

Nº inventário: 2002.0317



Descrição: Asa em arco de secção retangular terminando em forma de gancho com secção quadrangular.

Localização

Sondagem: complexo 30, N 23 X 191 Y 132

U.E.: 500

Cronologia

Séc. III d.C.

Caracterização

Matéria-prima:	Ferro	Tipologia:	Asa de Sítula		Função:	Doméstica	
Comprimento máx.:	250 mm		Largura máx.:	13 mm	Espessura máx.:		7 mm

Peso (g): 110,1

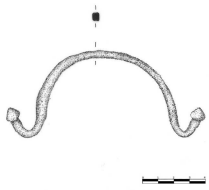
Paralelos: Manning, 1985, Plate 47, P14.

Depósito: Museu D. Diogo de Sousa, Braga.

Identificação

N° inventário: 1992.0206





Descrição: Asa de sítula em arco, com secção quadrangular com extremidades encurvadas terminando em botão piramidal. Não apresenta decorações.

Localização

Sondagem: complexo 12, N 50 X 188 Y 140 U.E.: 718

Cronologia

Séc. III / IV d.C.

Caracterização

Matéria-prima: Ferro Tipologia: Asa de Sítula Função: Doméstica
Comprimento máx.: 125,34 mm Altura máx.: 56,54 mm Espessura máx.: 4,43 mm

Peso (g): 21,1

Dimensões específicas: Terminal
Larg. Máx.: 8,91 mm
Alt. Máx.: 6,51 mm
Esp. Máx.: 7,47 mm

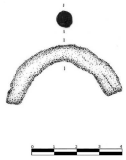
Paralelos: Manning, 1985, Plate 47, P14.
Waldbaum, 1983, Plate 36, n° 553.
Lourenço, 2012, p. 200, CARV049

Depósito: Museu D. Diogo de Sousa, Braga.

Identificação

N° inventário: 2001.0117





Descrição: Fragmento de argola com secção circular. Poderia fazer parte de uma gramalheira.

Localização

Sondagem: complexo 20, N 83 X 192 Y 152 U.E.: 928

Cronologia

Séc. IV d.C.

Caracterização

Matéria-prima: Ferro Tipologia: Gramalheira Função: Doméstica
Comprimento máx.: 75 mm Largura máx.: 6 mm

Peso (g): 15

Paralelos: Manning, 1983, Plate 65, S23.

Depósito: Museu D. Diogo de Sousa, Braga.

Identificação

Nº inventário: 2003.0047



Descrição: Objeto composto por duas peças, uma argola com secção retangular e um fuzilhão pontiagudo com secção retangular.

Localização

Sondagem: N 25 X 180 Y 120/124 U.E.: 503

Cronologia

Séc. IV d.C.

Caracterização

Matéria-prima: Ferro Tipologia: Argola Função: Doméstica

Dimensões específicas:		Argola	Fusilhão
	Comp. Máx.:	38 mm	56 mm
	Larg. Máx.:	26 mm	
	Alt. Máx.:	21 mm	5 mm
	Esp. máx.:		2 mm
	Peso (g):	21,3	2

Depósito: Museu D. Diogo de Sousa, Braga.

Identificação

Nº inventário: 1994.05 32



Descrição: Objeto composto por gancho com extremidade pontiaguda e com argola triangular de secção retangular.

Localização

Sondagem: complexo 27, N 98 X 192 Y 144 U.E.: 723

Cronologia

Séc. IV d.C.

Caracterização

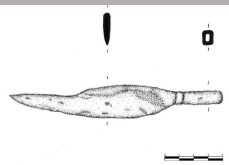
Matéria-prima: Ferro Tipologia: Argola Função: Doméstica

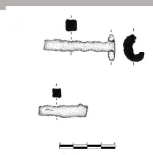
Comprimento máx.: 52 mm Largura máx.: 32 mm

Altura máx.: 31 mm

Peso (g): 25,5

Paralelos: Manning, 1985, Plate 29, H23. Depósito: Museu D. Diogo de Sousa, Braga.

Identificação						
N° inventário:	2000.0308					
Descrição:	Objeto constituído por lâmina com gume de formato irregular, iniciando com uma forma mais arredondada e terminando numa ponta mais recta e pontiaguda. Possui parte de cabo com secção quadrangular onde se consegue observar uma saliência de ligação entre cabo e lâmina.					
Localização						
Sondagem:	complexo 8, N 50 X 188 Y 140			U.E.:	715	
Cronologia						
Séc. IV d.C.						
Caracterização						
Matéria-prima:	Ferro	Tipologia:	Faca		Função:	Doméstica
Comprimento máx.:	146,8 mm		Largura máx.:	21,67 mm	Espessura máx.:	8,75 mm
Peso (g):	23,8					
Dimensões específicas:		Cabo	Lâmina			
	Comp. Máx.:	36,44 mm	110,36 mm			
	Larg. Máx.:	8,83 mm	21,67 mm			
	Esp. máx.:	9,43 mm	4,5 mm			
Paralelos:	Lourenço, 2012, p. 233, CARV114			Depósito: Museu D. Diogo de Sousa, Braga.		

Identificação						
N° inventário:	2001.0033					
Descrição:	Objeto com um pé quadrangular com uma base que parece uma argola incompleta com secção arredondada.					
Localização						
Sondagem:	complexo 21, N 52/53			U.E.:	695	
Cronologia						
Séc. IV / V d.C.						
Caracterização						
Matéria-prima:	Ferro	Tipologia:	Espeto		Função:	Doméstica
Comprimento máx.:	49 mm		Largura máx.:	17 mm	Largura mín.:	6 mm
Peso (g):	9,5					
Dimensões específicas:		Pé				
	Larg. Máx.:	5 mm				
	Comp. Máx.:	33 mm				
	Peso (g):	4,5				
Paralelos:	Manning, 1985, Plate 51, P38.			Depósito: Museu D. Diogo de Sousa, Braga.		

Identificação

Nº inventário: 1995.0304



Descrição: Cabo com secção retangular terminando numa das extremidades em concha e na outra em formato arredondado.

Localização

Sondagem: complexo 0 U.E.: 500

Cronologia

Séc. XIX / XX d.C.

Caracterização

Matéria-prima:	Ferro	Tipologia:	Colher		Função:	Doméstica	
Comprimento máx.:	172 mm		Largura máx.:	47 mm	Espessura máx.:		3 mm
			Largura mín.:	7 mm			
Peso (g):	36,7						

Depósito: Museu D. Diogo de Sousa, Braga.

Identificação

Nº inventário: 2003.0165



Descrição: Objeto cabo com secção retangular, com lâmina romba e formato trapezoidal.

Localização

Sondagem: complexo 0 U.E.: 500

Cronologia

séc. XIX / XX d.C.

Caracterização

Matéria prima:	Ferro	Tipologia:	Cutelo		Função:	Doméstica	
Comprimento máx.:	335 mm		Largura máx.:	98 mm	Espessura máx.:		11 mm
Peso (g):	474,5						

Dimensões específicas: Cabo

Larg. Máx.:	22 mm
Esp. Máx.:	13 mm
Comp. Máx.:	137 mm

Paralelos: Manning, 1985, 12a/b. Depósito: Museu D. Diogo de Sousa, Braga.

Identificação

N° inventário: 2008.0649



Descrição: Gancho com uma argola uma das extremidades e gancho na outra, com secção redonda.

Localização

U.E.: 500

Cronologia

Séc. XIX / XX

Caracterização

Matéria-prima:	Ferro	Tipologia:	Gramalheira		Função:	Doméstica	
Comprimento máx.:	185 mm		Largura máx.:	42 mm	Espessura mín.:		7 mm
Peso (g):	104,8						

Depósito: Museu D. Diogo de Sousa, Braga.

Identificação

N° inventário: 2008.0650



Descrição: Fechadura fragmentada que se encontraria na parte inferior do baú, com secção retangular. Apresenta uma saliência em arco com secção arredondada.

Localização

U.E.: 500

Cronologia

Séc. XIX / XX d.C.

Caracterização

Matéria-prima:	Ferro	Tipologia:	Fechadura		Função:	Doméstica	
Comprimento máx.:	86 mm		Largura máx.:	27 mm	Espessura máx.:		10 mm
Peso (g):	30,9						

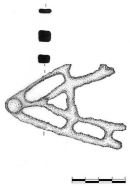
Paralelos: Waldbaum, 1983, Plate 26 nº 412.

Depósito: Museu D. Diogo de Sousa, Braga.

Identificação

Nº inventário: 2000.0309





Descrição: Grelha de Ferro de Engomar. Grelha com formato triangular com um alto na parte frontal que serviria de suporte na base do ferro. Possui perfurações de formatos irregulares.

Localização

Sondagem: complexo 1, N 36 X 172 Y 144 U.E.: 500

Cronologia

Séc. XIX / XX d.C.

Caracterização

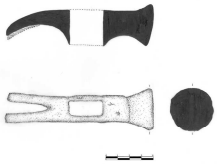
Matéria-prima:	Ferro	Tipologia:	Grelha		Função:	Doméstica	
Comprimento máx.:	90 mm		Largura máx.:	57 mm	Espessura máx.:		12 mm
Peso (g):	50,9						

Depósito: Museu D. Diogo de Sousa, Braga.

Identificação

Nº inventário: 2003.0167





Descrição: Objeto possui duas orelhas curvas com secção retangular. Face redonda e achatada. Corpo retangular com encaixe de cabo também retangular. Na face observam-se concavidades provavelmente provocadas pela batida em pregos de cabeça redonda.

Localização

Sondagem: complexo 0 U.E.: 500

Cronologia

Séc. XIX / XX d.C.

Caracterização

Matéria-prima:	Ferro	Tipologia:	Martelo		Função:	Doméstica
Comprimento máx.:	127 mm		Largura máx.:	36 mm		
			Altura máx.:	38 mm		
Peso (g):	325,5					

Dimensões específicas:

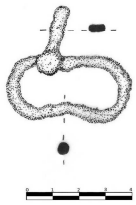
	Face	Encaixe
Diâm. Máx.:	36 mm	
Comp. máx.:		30 mm
Larg. Máx.:		13 mm
Alt. Máx.:		30 mm

Depósito: Museu D. Diogo de Sousa, Braga.

Identificação

N° inventário: 2001.0053





Descrição: Fivela com argola ovalada e secção redonda com fuzilhão retangular.

Localização

Sondagem: complexo 23, N 58 X 188 Y 144 U.E.: 796

Cronologia

Séc. IV d.C.

Caracterização

Matéria-prima: Ferro Tipologia: Fivela Função: Adorno

Comprimento máx.: 39 mm Largura máx.: 45 mm Espessura máx.: 6 mm

Peso (g): 8,6

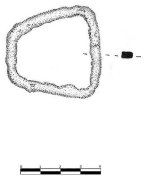
Dimensões específicas:	Argola	Fuzilhão
Comp. máx.:	26 mm	5 mm
Esp. Máx.:	2 mm	2 mm
Larg. Máx.:	45 mm	25 mm

Depósito: Museu D. Diogo de Sousa, Braga.

Identificação

N° inventário: 1993.0402





Descrição: Objeto com formato trapezoidal e secção retangular. Barra mais curta com duas barras a sair em ângulo reto e a terminar numa barra mais longa. Cantos arredondados. Sem fuzilhão.

Localização

Sondagem: complexo 2, N 89 X 176 Y 168 U.E.: 849

Cronologia

Séc. XV d.C.

Caracterização

Matéria-prima: Ferro Tipologia: Fivela Função: Adorno

Comprimento máx.: 45 mm Largura máx.: 44 mm Espessura máx.: 4 mm

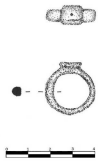
Peso (g): 18,6

Paralelos: Lourenço, 2012, p. 214, CARV077 Depósito: Museu D. Diogo de Sousa, Braga.

Identificação

Nº inventário: 2001.0120





Descrição: Anel de mesa composto por lâmina de ferro de secção ovalada e com mesa de formato retangular.

Localização

Sondagem: sem contexto

Cronologia

Séc. III d.C.

Caracterização

Matéria-prima:	Ferro	Tipologia:	Anel	Função:	Adorno
Diâmetro máx.:	21,86 mm			Espessura máx.:	2,76 mm
Diâmetro mín.:	20,83 mm				
Peso (g):	6,2				

Dimensões específicas: Mesa

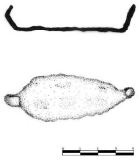
Comp. Máx.:	8,94 mm
Esp. Máx.:	1,61 mm
Larg. Máx.:	8,32 mm

Paralelos: Waldbaum, 1983, Plate 49 nº 848. Depósito: Museu D. Diogo de Sousa, Braga.

Identificação

Nº inventário: 2001.0089





Descrição: Objeto constituído por uma placa de formato ovalado com dois pinos curvados e pontiagudos de secção arredondada em cada extremidade.

Localização

Sondagem: complexo 43, N 58 X 188 Y 144 U.E.: 714

Cronologia

Séc. III d.C.

Caracterização

Matéria-prima:	Ferro	Tipologia:	Aplique	Função:	Decorativa
Comprimento máx.:	70 mm		Largura máx.:	24 mm	
Comprimento mín.:	55 mm		Altura máx.:	13 mm	
Peso (g):	10				

Paralelos: Manning, 1983, Plate 69, S131. Depósito: Museu D. Diogo de Sousa, Braga.

Identificação

N° inventário: 1991.7147



Descrição: Objeto composto por nove cravos colocados numa placa de ferro que serviria como decoração.

Localização

Sondagem: complexo 11, N 15 X 168 Y 140 U.E.: 667

Cronologia

Séc. III / IV d.C.

Caracterização

Matéria-prima: Ferro Tipologia: Aplique Função: Decorativa
Comprimento máx.: 69 mm Largura máx.: 25 mm Espessura máx.: 4 mm

Peso (g): 15,8

Depósito: Museu D. Diogo de Sousa, Braga.

Identificação

N° inventário: 2001.0032



Descrição: Braço de Balança. O objeto apresenta uma haste longa de secção retangular que vai estreitando e termina numa ponta mais delgada. A cabeça com uma secção retangular encontra-se dobrada em "L" e possui uma perfuração de formato oval.

Localização

Sondagem: complexo 20, N 52/53 U.E.: 695

Cronologia

Séc. IV d.C.

Caracterização

Matéria-prima: Ferro Tipologia: Balança Função: Agrícola
Comprimento máx.: 132 mm Largura máx.: 19 mm Espessura máx.: 5 mm
Altura máx.: 33 mm

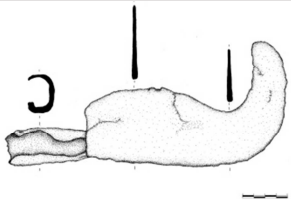
Peso (g): 61,5

Depósito: Museu D. Diogo de Sousa, Braga.

Identificação

Nº inventário: 2003.01 64





Descrição: Foice de lâmina contracurvada, e cabo em forma de cone em que na base se consegue observar a perfuração onde encaixaria a cavilha.

Localização

Sondagem: complexo 0 U.E.: 500

Cronologia

Séc. XIX / XX d.C.

Caracterização

Matéria-prima: Ferro Tipologia: Foice Função: Agrícola
Comprimento máx.: 105 mm Largura máx.: 254 mm Espessura máx.: 24 mm

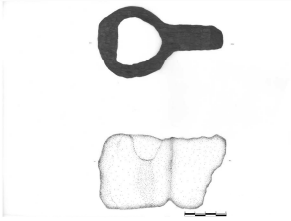
Peso (g): 335,7

Depósito: Museu D. Diogo de Sousa, Braga.

Identificação

Nº inventário: 2003.01 66





Descrição: Encaixe de machado onde conseguimos observar o arranque da lâmina. Apresenta um formato arredondado.

Localização

Sondagem: complexo 0 U.E.: 500

Cronologia

Séc. XIX / XX d.C.

Caracterização

Matéria-prima: Ferro Tipologia: Machado Função: Agrícola
Comprimento máx.: 120 mm Altura máx.: 67 mm Espessura máx.: 27 mm

Peso (g): 902,4

Dimensões específicas: Encaixe
Diâm. Máx.: 40 mm

Depósito: Museu D. Diogo de Sousa, Braga.

Identificação

Nº inventário: 1995.0289





Descrição: Peça quadrangular comportando um prego que serviria para encabamento em cabo de madeira.

Localização

Sondagem: complexo 1, N 90 X 176 Y 164 U.E.: 500

Cronologia

Séc. XIX / XX

Caracterização

Matéria-prima:	Ferro	Tipologia:	Cabo		Função:	Agrícola	
Comprimento máx.:	30 mm		Altura máx.:	36 mm	Espessura máx.:		3 mm

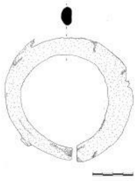
Peso (g): 20

Paralelos: Manning, 1985, Plate 76, V25b. Depósito: Museu D. Diogo de Sousa, Braga.

Identificação

Nº inventário: 2001.0034





Descrição: Argola de Prisão. Argola aberta de grandes dimensões, com secção circular irregular.

Localização

Sondagem: complexo 21, N 52/53 U.E.: 695

Cronologia

Séc. IV d.C.

Caracterização

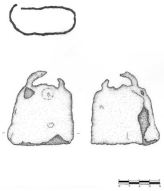
Matéria-prima:	Ferro	Tipologia:	Argola		Função:	Pecuária	
Diâmetro máx.:	134,35 mm				Espessura máx.:		29,54 mm
Diâmetro mín.:	117,03 mm				Espessura mín.:		10,60 mm
Peso (g):	321,6						

Depósito: Museu D. Diogo de Sousa, Braga.

Identificação

Nº inventário:	1991.1747





Descrição:	Chocalho formado por uma lâmina de ferro de formato cilíndrico que termina num capelo na parte superior, ainda com parte da argola de suspensão. No interior apresenta ainda vestígios das hastes de suspensão do badalo.

Localização

Sondagem:	complexo 3, N 34 X 160 Y 144	U.E.:	501

Cronologia

Séc. IV d.C.

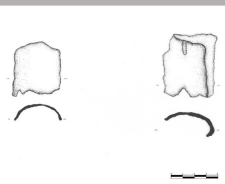
Caracterização

Matéria-prima:	Ferro	Tipologia:	Chocalho	Função:	Pecuária
Comprimento máx.:	63 mm	Altura máx.:	70 mm	Espessura máx.:	6 mm
Peso (g):	74,5				
Paralelos:	Pessoa, 2004, nº 171; Alarcão, 1979, Planche L, nº 221 Lourenço, 2012, p. 177, CARV004		Depósito: Museu D. Diogo de Sousa, Braga.		

Identificação

Nº inventário:	1995.0293





Descrição:	Objeto com um formato cilíndrico, ganhando no topo um capelo hemisférico com arranque de argola de suspensão. No interior conseguimos observar a argola com secção redonda que seguraria o badalo.

Localização

Sondagem:	complexo 24, N 112 X 192 Y 140	U.E.:	725

Cronologia

Séc. IV d.C.

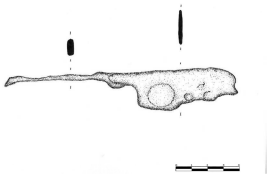
Caracterização

Matéria-prima:	Ferro	Tipologia:	Chocalho	Função	Pecuária
Comprimento máx.:	39 / 36 mm	Altura máx.:	52 / 45,5 mm	Espessura máx.:	4 / 1 mm
Peso (g):	26,5 / 10,6				
Paralelos:	Pessoa, 2004, nº 171; Alarcão, 1979, Planche L, nº 221		Depósito: Museu D. Diogo de Sousa, Braga.		

Identificação

N° inventário: 1992.0027





Descrição: Objeto composto por lâmina fragmentada com secção retangular. Haste com secção retangular que vai alargando da lâmina para a extremidade. Faria parte de uma tesoura em "U".

Localização

Sondagem: complexo 10 U.E.: 775

Cronologia

Séc. IV d.C.

Caracterização

Matéria-prima: Ferro Tipologia: Tesoura Função: Pecuária
Comprimento máx.: 149,53 mm Largura máx.: 21,36 mm Espessura máx.: 2 mm
Altura máx.: 25,73 mm
Peso (g): 22,3

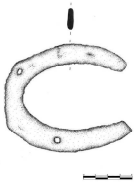
Paralelos: Manning, 1985, Plate 14, D4
Duvauchelle, 2005, Pl.41, 222

Depósito: Museu D. Diogo de Sousa, Braga.

Identificação

N° inventário: 2003.0144





Descrição: Lâmina de ferro com dois orifícios onde seriam colocados os cravos que a prenderiam aos cascos do animal.

Localização

Sondagem: complexo 0 U.E.: 500

Cronologia

Séc. XIX / XX d.C.

Caracterização

Matéria-prima: Ferro Tipologia: Ferradura Função: Pecuária
Comprimento máx.: 101 mm Altura máx.: 90 mm Espessura máx.: 7 mm
Peso (g): 111,2

Depósito: Museu D. Diogo de Sousa, Braga.

Identificação

Nº inventário: 1995.0290





Descrição: Placa trapezoidal, com secção irregular.

Localização

Sondagem: sem contexto U.E.: 500

Cronologia

Séc. XIX / XX d.C.

Caracterização

Matéria-prima: Ferro Tipologia: Pente de ripar Função: Pecuária

Comprimento máx.: 121 mm Altura máx.: 110 mm Espessura máx.: 20 mm

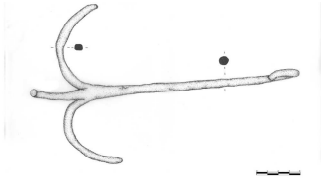
Peso (g): 169,5

Paralelos: Manning, 1985, Plate 14, D2a. Depósito: Museu D. Diogo de Sousa, Braga.

Identificação

Nº inventário: 1992.0230





Descrição: Objeto composto por pé de secção circular não regular, com argola de suspensão na extremidade superior e três ganchos revirados para cima com secção quadrangular. Um dos ganchos encontra-se fraturado.

Localização

Sondagem: complexo 4, N 78 X 172 Y 156 U.E.: 774

Cronologia

Séc. III / IV d.C.

Caracterização

Matéria-prima: Ferro Tipologia: Fateixa Função: Pesca

Comprimento máx.: 227mm Altura máx.: 149,43 mm Espessura máx.: 17,93 / 8,52 mm

Peso (g): 266,3

Dimensões específicas: Argola Perfuração

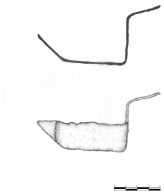
Diâm. Máx.: 24,95 mm 11,15 mm

Paralelos: Lourenço, 2012, p. 208, CARV065 Depósito: Museu D. Diogo de Sousa, Braga.

Identificação

Nº inventário: 1992.0029





Descrição: Objeto composto por um depósito com um bico simples e por uma asa de secção retangular. Apareceu juntamente com fios de ouro.

Localização

Sondagem: complexo 1

Cronologia

séc. IV d.C.

Caracterização

Matéria prima:	Ferro	Tipologia:	Copela		Função:	Metalúrgica
Comprimento máx.:	143 mm		Largura máx.:	13 mm	Espessura máx.:	2 mm
		Diâmetro máx.:		60 mm		
Peso (g):	20,3					

Dimensões específicas:	Asa	Bico
Comp. máx.:	35 mm	25 mm
Alt. Máx.:	40 mm	24 mm
Esp. Máx.:	2 mm	
Larg. Máx.:		9 mm

Paralelos: Sauron, 1999, Planches 51, n°10; Manning, 1989, Plate 44, P4

Depósito: Museu D. Diogo de Sousa, Braga.

Identificação

Nº inventário: 1991.0888





Descrição: Colchete de Armadura composto por placa trapezoidal com secção retangular com duas perfurações quadrangulares no corpo. Numa das extremidades possui argola de secção retangular.

Localização

Sondagem: complexo 3100, X 176 Y 132 U.E.: 501

Cronologia

séc. IV d.C.

Caracterização

Matéria prima:	Ferro	Tipologia:	Colchete		Função:	Militar
Comprimento máx.:	73,41 mm		Altura máx.:	7,96 mm	Espessura máx.:	25,47 mm
Peso (g):	30,2					

Dimensões específicas:	Argola
Diâmetro. máx.:	8,6 mm

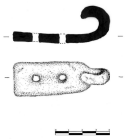
Paralelos: Mataloto, 2014.
Bishop e Coulston, 1993, p. 88 fig. 52.
Lourenço, 2012, p. 175, CARV001

Depósito: Museu D. Diogo de Sousa, Braga.

Identificação

Nº inventário: 1991.0976





Descrição: Colchete de Armadura composto por placa trapezoidal com secção retangular com duas perfurações quadrangulares no corpo. Numa das extremidades possui gancho de secção redonda.

Localização

Sondagem: complexo 3100, X 176 Y 132 U.E.: 501

Cronologia

séc. IV d.C.

Caracterização

Matéria prima: Ferro Tipologia: Colchete Função: Militar
Comprimento máx.: 71,1 mm Altura máx.: 7,21 mm Espessura máx.: 24,32 mm

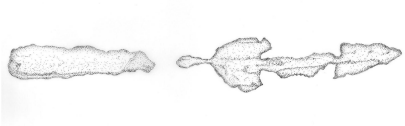
Peso (g): 32

Paralelos: Mataloto, 2014. Depósito: Museu D. Diogo de Sousa, Braga.
Bishop e Coulston, 1993, p. 88 fig. 52.
Lourenço, 2012, p. 175, CARV002

Identificação

Nº inventário: 1992.0076





Descrição: Ponta de lança: objeto encontra-se fraturado, faltando-lhe algumas partes da lâmina e a base encontra-se separada do resto. Apresenta uma lâmina delgada de dois gumes e nervura central. A base de formato cónico apresenta encaixe para encabamento.

Localização

Sondagem: complexo 7, N 53 X 180 Y 144 U.E.: 678

Cronologia

séc. III / IV d.C.

Caracterização

Matéria prima: Ferro Tipologia: Pilum Função: Militar
Comprimento máx.: 121 mm Altura máx.: 30 mm Espessura máx.: 8 mm

Peso (g): 25

Dimensões específicas: Cabo

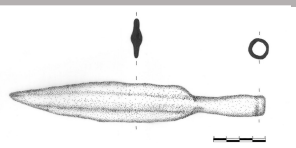
Comp. Máx.: 84 mm
Larg. Máx.: 18 mm
Diâm. Máx.: 12 mm
Peso (g): 33,4

Paralelos: Manning, 1989, Plate 81, v139 Depósito: Museu D. Diogo de Sousa, Braga.
Pessoa, 2004, nº 202.
Bishop e Coulston, 1993, p. 68 fig. 35.
Lourenço, 2012, p. 190, CARV030

Identificação

N° inventário:	1992.0077





Descrição: Ponta de lança: objeto apresenta uma lâmina delgada, alongada com dois gumes e com nervura central bem definida. Na base apresenta um alvado de formato cónico para encabamento de uma vara de madeira.

Localização

Sondagem: complexo 7, N 53 X 180 Y 144 U.E.: 679

Cronologia

séc. III / IV d.C.

Caracterização

Matéria prima:	Ferro	Tipologia:	Pilum	Função:	Militar
Comprimento máx.:	195,2 mm		Altura máx.:	30,1 mm	
Peso (g):	72,5				

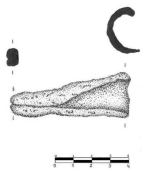
Dimensões específicas:	Lâmina	Cabo
Comp. máx.:	135,96 mm	56,24 mm
Larg. Máx.:	17,49 mm	16,89 mm
Alt- máx.:	9,99 mm	17,88 mm
Esp. Máx.:	1,46 mm	
Diâm. Máx.:		10,57 mm

Paralelos: Manning, 1989, Plate 81, v139 Depósito: Museu D. Diogo de Sousa, Braga.
Pessoa, 2004, n° 202.
Bishop e Coulston, 1993, p. 68 fig. 35.
Lourenço, 2012, p. 191, CARV031

Identificação

N° inventário:	2001.0151





Descrição: Pilum: parte inferior de lança - talão. Apresenta uma forma cónica oca, com rasgo de aperto que serviria para encabamento.

Localização

Sondagem: complexo 38, N 98/58 X 190 Y 144 U.E.: 794

Cronologia

séc. III / IV d.C.

Caracterização

Matéria prima:	Ferro	Tipologia:	Pilum	Função:	Militar
Comprimento máx.:	65 mm		Largura máx.:	25 mm	Espessura máx.: 3 mm
Peso (g):	18				

Paralelos: Manning, 1989, Plate 66, S65. Depósito: Museu D. Diogo de Sousa, Braga.
Pessoa, 2004, n° 207.
Fabião, 2014.

Identificação

Nº inventário: 2002.1051



Descrição: Pilum: objeto com formato cónico aberto, possivelmente maciço até meio. Parte da ponta encontra-se dobrada terminando de forma pontiaguda - talão.

Localização

Sondagem: Estrato 1, N 53 X 180 Y 144 U.E.: 678

Cronologia

séc. III / IV d.C.

Caracterização

Matéria prima:	Ferro	Tipologia:	Pilum		Função:	Militar	
Comprimento máx.:	155,01 mm		Largura máx.:	23,43 mm	Espessura máx.:		3,5 mm
			Altura máx.:	20,63 mm			
Peso (g):	36,6						

Paralelos: Manning, 1989, Plate 66, S65.
Pessoa, 2004, nº 207.
Fabião, 2014.
Lourenço, 2012, p. 237, CARV122

Depósito: Museu D. Diogo de Sousa, Braga.

Identificação

Nº inventário: 1995.0292



Descrição: Engaste de pilum: objeto com formato cónico oco e fechado, com duas extremidades abertas, uma no topo mais estreita e outra mais larga na parte de baixo.

Localização

Sondagem: complexo 24, N 112 X 192 Y 140 U.E.: 725

Cronologia

séc. IV d.C.

Caracterização

Matéria prima:	Ferro	Tipologia:	Pilum		Função:	Militar	
Comprimento máx.:	41 mm	Diâmetro máx.:		31 mm	Espessura máx.:		4 mm
			Altura máx.:	37 mm			
Peso (g):	27						

Paralelos: Bishop e Coulston, 1993, p.67 fig. 34.

Depósito: Museu D. Diogo de Sousa, Braga.

Identificação

Nº inventário: 1992.0205



Descrição: Objeto composto por uma lâmina de ferro com secção retangular e com uma das extremidades levantada.

Localização

Sondagem: complexo 11, N 50 X 188 Y 152 U.E.: 715

Cronologia

séc. II d.C.

Caracterização

Matéria prima: Ferro Tipologia: Indeterminada Função: Indeterminada
Comprimento máx.: 157 mm Largura máx.: 16 mm Espessura máx.: 2 mm
Altura máx.: 15 mm
Peso (g): 43,9

Depósito: Museu D. Diogo de Sousa, Braga.

Identificação

Nº inventário: 2001.0073



Descrição: Objeto composto por duas peças um prego de pé curto com secção circular e com cabeça circular. O outro é composto por uma lâmina de ferro com secção rectangular com uma argola numa das extremidades.

Localização

Sondagem: complexo 35, N 58 X 188 Y 144 U.E.: 798

Cronologia

séc. III / IV d.C.

Caracterização

Matéria prima: Ferro Tipologia: Indeterminada Função: Indeterminada
Comprimento máx.: 146 mm Largura máx.: 16 mm
Altura máx.: 22 mm
Peso (g): 46,5

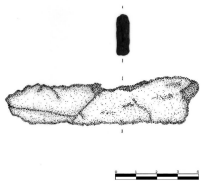
Paralelos: Alarcão, 1979. Planche XLVII, 170

Depósito: Museu D. Diogo de Sousa, Braga.

Identificação

Nº inventário: 1995.0282





Descrição: Lâmina de ferro com formato irregular e secção rectangular.

Localização

Sondagem: complexo 4, N 79 X 188 Y 152 U.E.: 679

Cronologia

séc. IV d.C.

Caracterização

Matéria prima: Ferro Tipologia: Indeterminada Função: Indeterminada

Comprimento máx.: 90 mm Altura máx.: 21 mm Espessura máx.: 9 mm

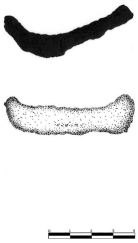
Peso (g): 31

Depósito: Museu D. Diogo de Sousa, Braga.

Identificação

Nº inventário: 1995.0287





Descrição: Objeto de formato rectangular e com secção ovalada.

Localização

Sondagem: complexo 10, N 83 X 192 Y 152 U.E.: 924

Cronologia

séc. IV / V d.C.

Caracterização

Matéria prima: Ferro Tipologia: Indeterminada Função: Indeterminada

Comprimento máx.: 75 mm Largura máx.: 9 mm

Altura máx.: 18 mm

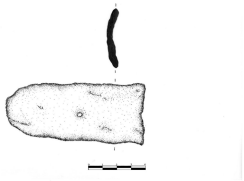
Peso (g): 15,8

Depósito: Museu D. Diogo de Sousa, Braga.

Identificação

Nº inventário: 2001.0030





Descrição: Placa concava com uma das extremidades ovalada e secção rectangular. No centro da placa consegue observar-se uma perfuração circular.

Localização

Sondagem: complexo 24, N 48 X 176 Y 140 U.E.: 681

Cronologia

séc. IV / V d.C.

Caracterização

Matéria prima: Ferro Tipologia: Indeterminada Função: Indeterminada
Comprimento máx.: 43 mm Altura máx.: 95 mm Espessura máx.: 4 mm

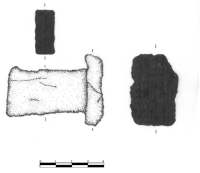
Peso (g): 32,1

Depósito: Museu D. Diogo de Sousa, Braga.

Identificação

Nº inventário: 2003.0124





Descrição: Objeto com formato retangular, com secção retangular. Uma das extremidades apresenta uma base retangular com secção retangular, a outra encontra-se fraturada.

Localização

Sondagem: complexo 77, N 47 X 188 Y 136 U.E.: 996

Cronologia

séc. IV / V d.C.

Caracterização

Matéria prima: Ferro Tipologia: Indeterminada Função: Indeterminada
Comprimento máx.: 48 mm Largura máx.: 27 mm
Altura máx.: 60 mm

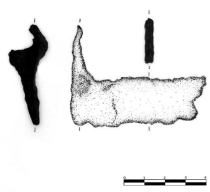
Peso (g): 75,1

Depósito: Museu D. Diogo de Sousa, Braga.

Identificação

Nº inventário: 2001.0122





Descrição: Objeto com pé de secção retangular com meia argola de secção retangular. A outra extremidade encontra-se fraturada.

Localização

Sondagem: complexo 33 U.E.: 500

Cronologia

séc. XIX / XX d.C.

Caracterização

Matéria prima: Ferro Tipologia: Indeterminada Função: Indeterminada

Comprimento máx.: 46 mm Largura máx.: 20 mm

Altura máx.: 65 mm

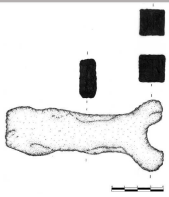
Peso (g): 22,3

Depósito: Museu D. Diogo de Sousa, Braga.

Identificação

Nº inventário: 2002.0724





Descrição: Objeto com formato retangular com secção retangular onde uma das extremidades está fraturada. A outra extremidade apresenta uma bifurcação com secção quadrangular.

Localização

Sondagem: complexo 58 U.E.: 500

Cronologia

séc. XIX / XX d.C.

Caracterização

Matéria prima: Ferro Tipologia: Indeterminada Função: Indeterminada

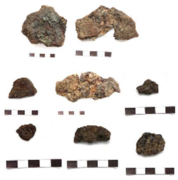
Comprimento máx.: 123 mm Altura máx.: 54 mm Espessura máx.: 26 mm

Peso (g): 397,9

Depósito: Museu D. Diogo de Sousa, Braga.

Identificação

Nº inventário: 2002.0726



Descrição: Conjunto de 8 fragmentos disformes.

Localização

Sondagem: complexo 46, N 22 X 194 Y 127 U.E.: 500

Cronologia

séc. XIX / XX d.C.

Caracterização

Matéria prima: Ferro Tipologia: Indeterminada Função: Indeterminada

Comprimento máx.: Largura máx.: Espessura máx.:

Altura máx.:

Peso (g):

Depósito: Museu D. Diogo de Sousa, Braga.

Anexo 2. Análise dos produtos de corrosão dos materiais estudados

A análise e interpretação dos produtos de corrosão que se apresenta neste anexo, esteve a cargo do Eng.º José Inácio Ferrão de Paiva Martins, FEUP.

A corrosão de metais e suas ligas (Martins, 2004) baseia-se no pressuposto da existência de duas áreas termodinamicamente diferentes entre as quais se desenvolve um fluxo de eletrões. Essa diferença termodinâmica pode ser de natureza química, ferro em contacto com cobre - *acoplamento galvânico*, estrutural, tensões internas no metal, áreas mais deformadas do que outras – *células de ação local*, ou de concentração, superfície do metal em contacto com diferente arejamento ou acidez – *células de concentração diferencial*. À área que cede eletrões, metal mais ativo (Fe) do acoplamento galvânico (Fe/Cu), zona de maiores tensões internas (cabeça e ponta de uma cavilha) da célula de ação local, ou zona com menor teor de oxigénio ou acidez da célula de concentração diferencial é o *ânodo*, e a restante área, Cu, corpo da cavilha ou zona de maior concentração de O_2 ou de H^+ que recebe os eletrões é o *cátodo*. Em resumo, os fenómenos corrosivos estão associados a *pilhas eletroquímicas* (constituídas por ânodo, cátodo e eletrólito) que se estabelecem no contacto dos metais com a água, solo e atmosfera.

O ferro é um metal com um potencial padrão de redução relativamente ao elétrodo normal de hidrogénio (NHE) de - 0,44 V, i.e., é um metal ativo que tende a adquirir estabilidade termodinâmica combinando-se com elementos químicos mais nobres presentes no meio onde se encontre inserido. O termo *corrosão* refere-se pois à oxidação eletroquímica de metais por reação com um oxidante, tal como o oxigénio. A ferrugem, formação de óxidos de ferro, é um desses exemplos bem conhecido, e habitualmente associada à formação de óxido de ferro (III) hidratados ($Fe_2O_3.3H_2O$, hematite), óxido-hidróxido de ferro (III) (γ-FeOOH, lepidrocrite, ou α-FeOOH, goetite), óxidos de ferro(III) e ferro (II) (Fe_3O_4, magnetite), e de hidróxido de ferro (III) ($Fe(OH)_3$), de acordo com as seguintes reações (Martins et al., 2009) :

Reação anódica associada ao metal:

$$2Fe \rightarrow 2Fe^{2+} + 4e^- \text{ , } E^o = -0{,}44 \text{ V} \qquad 12)$$

Reação catódica associada ao eletrólito água:

$$4H^+ + O_2 + 4e^- \rightarrow 2H_2O \text{ , } E^o = 1{,}23 \text{ V} \qquad 13)$$

ou

$$2H^{+} + 2e^{-} \longrightarrow H_2 \text{ , } E^{o} = 0 \text{ V} \quad 14)$$

Reações sequentes de interação do ião ferro (II) com o meio levando-o até à formação da ferrugem:

$$2Fe^{2+} + 4OH^{-} \longrightarrow 2Fe(OH)_2 \quad 15)$$

$$2Fe(OH)_2 + 1/2O_2 + H_2O \longrightarrow 2Fe(OH)_3 \quad 16)$$

$$2Fe(OH)_2 + O_2 \longrightarrow 2\gamma\text{-}FeOOH + 2H_2O \quad 17)$$

$$2Fe(OH)_3 \longrightarrow Fe_2O_3.3H_2O \quad 18)$$

Em determinadas condições poder-se-á ter a formação de magnetite, Fe_3O_4, uma mistura de óxidos de ferro (III) e ferro (II), pela seguinte reação:

$$3\gamma\text{-}FeOOH + H^{+} + e^{-} \longrightarrow Fe_3O_4 + 2H_2O \text{ , } E^{o} = 0{,}845 \text{ V} \quad 19)$$

A presença de determinados aniões em solução como o cloretião, sulfatião ou carbonatião, pode levar à formação da chamada ferrugem verde (Refait e Genin, 1994; Martins, 2006):

- GR1(Cl^{-}),{$[Fe_3^{(II)}Fe^{(III)}(OH)_8]^{+}[Cl.2H_2O]^{-}$}
- GR2(SO_4^{2-}), {$[Fe_4^{(II)}Fe_2^{(III)}(OH)_{12}]^{2+}[SO_4 \cdot 8H_2O]^{2-}$}
- GR1(CO_3^{2-}), {$[Fe_4^{(II)}Fe_2^{(III)}(OH)_{12}]^{2+}[CO_3 \cdot 2H_2O]^{2-}$},

e de acordo com as seguintes reações:

$$4Fe + Cl^{-} + 10H_2O \longrightarrow [Fe_3^{(II)}Fe^{(III)}(OH)_8][Cl \cdot 2H_2O] + 8H^{+} + 9e^{-} \quad 20)$$

$$6Fe + SO_4^{2-} + 20H_2O \longrightarrow [Fe_4^{(II)}Fe_2^{(III)}(OH)_{12}][SO_4 \cdot 8H_2O] + 12H^{+} + 14e \quad 21)$$

$$6Fe + CO_3^{2-} + 14H_2O \longrightarrow [Fe_4^{(II)}Fe_2^{(III)}(OH)_{12}][CO_3 \cdot 2H_2O] + 12H^{+} + 14e \quad 22)$$

Assim, uma ferramenta fundamental para interpretar estes fenómenos químicos são os chamados diagramas de equilíbrio termodinâmico (Pourbaix, 1966), também designados por diagramas de Pourbaix, de fases ou de pH-potencial, que mostram as regiões de estabilidade para fases específicas sob restrições particulares de temperatura e composição do meio.

Esses diagramas são apresentados colocando em abcissa o pH e em ordenada o potencial (Eh). O pH é o valor negativo do logaritmo da atividade, $(H^+) = [H^+] \times \gamma_{H^+}$ ($\gamma_{H^+} = 1$ para sistemas ideais), do ião de hidrogénio que expressa a acidez ou alcalinidade do meio. O Eh é uma medida do valor do potencial de redução do sistema: baixos Eh correspondem a condições redutoras e valores elevados Eh a condições oxidantes.

A Figura 70 mostra o diagrama de Pourbaix simplificado para o sistema Fe-H_2O. Nele podem ver-se linhas que consubstanciam as transformações prescritas para o sistema:

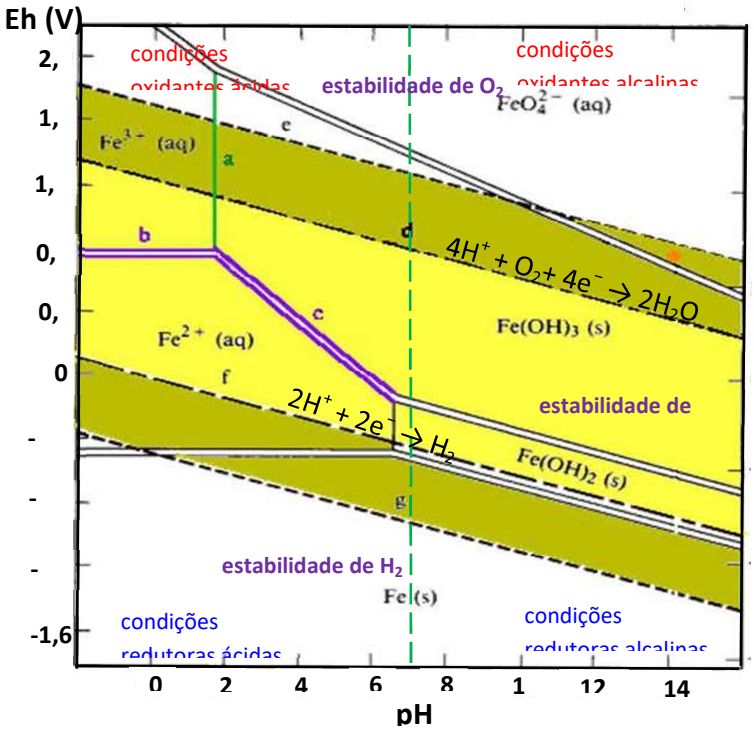


Figura 70: Diagrama de Pourbaix para o sistema Fe-H_2O a 25°C, para concentrações 1 M do ferro na forma catiónica ou aniónica (adaptado de Pourbaix, 1966).

- linhas continuas perpendiculares, tipo a, reação química de precipitação do ferro na forma catiónica, Fe^{2+} ou Fe^{3+}, à forma de hidróxido, $Fe(OH)_2$ ou $Fe(OH)_3$.

- linhas duplas continuas horizontais, tipo b, reações redox não envolvendo iões hidrogénio ou hidroxilo, i.e., envolvendo apenas o ferro na forma elementar ou catiónica.

- linhas duplas continuas diagonais, tipo c, reações redox envolvendo iões hidrogénio ou hidroxilo.

- linhas a traço ponto diagonais definem a região teórica de estabilidade da água para a oxidação (linha d), equação 13) no sentido inverso, ou redução (linha f), equação 14).

- linhas a tracejado diagonais definem a região prática de estabilidade da água para a oxidação (linha e), equação 13) no sentido inverso, ou redução (linha g), equação 14).

Teoricamente para pH = 0 e um potencial superior a 1,23 V a água deveria ser oxidada de acordo com a linha d, i.e., deveria haver libertação de oxigénio. Contudo, fenómenos de sobretensão exigem mais cerca de 0,5 V, i.e., tem de se atingir a linha e. Assim justificam-se as duas zonas apresentadas para a estabilidade da água.

A Figura 71 mostra os correspondentes diagramas de Pourbaix para situações em que haja a possibilidade de formação da ferrugem verde.

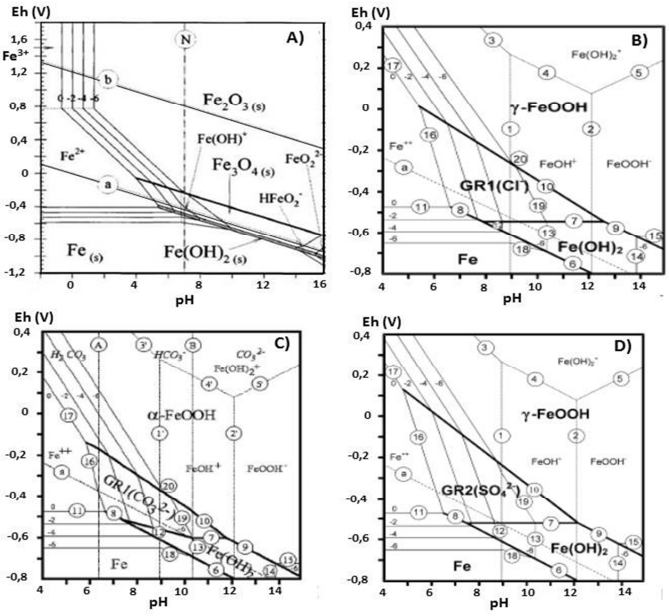


Figura 71: Diagrama de Pourbaix a 25°C, atividades das espécies iónicas variando entre 1 e 10^{-6}, para os sistemas: A) Fe-H_2O (Pourbaix, 1966); B) Fe-H_2O-Cl^-, GR1, (Cl^-) = 0,55 (Refait, Ph et al., 1998); C) Fe-H_2O-CO_3^{2-}, [CO_3^{2-}] = 0,1 mol L^{-1} (Drissi et al., 1995); D) Fe-H_2O- SO_4^{2-}, GR2, (SO_4^{2-}) = 0,072 (Genin, 1996).

Os metais expostos por longos períodos de tempo ao meio ambiente, particularmente os enterrados como é o caso dos artefactos arqueológicos milenares, apresentam com frequência uma degradação que não pode ser reproduzida em laboratório. Efetivamente, as condições do meio alteram-se por ação antropológica ou da própria natureza. Central a este raciocínio é a aplicabilidade dos diagramas Pourbaix para prever não apenas as regiões de imunidade e passividade, mas também a identidade das espécies produzidas pela corrosão. É ainda de referir que a presença de bactérias anaeróbicas sulfato redutoras (SBR), na presença de H_2 ou matéria orgânica, ao desenvolver biofilmes (Enning e Garrelfs, 2014) sobre a superfície metálica do ferro promove a aceleração da corrosão com a formação de sulfureto de ferro ("mackinawite") de acordo com o seguinte mecanismo de reação (Uhlig, 1963):

Ânodo: $4Fe \longrightarrow 4Fe^{2+} + 8e$ 23)

Cátodo: $8e^- + 8H_2O \longrightarrow 8H \text{ (adsorvido sobre Fe)} + 8OH$ 24)

$8H \text{ (adsorvido sobre Fe)} + Na_2SO_4 \xrightarrow{bactérias} 4H_2O + Na_2S$ 25)

$Na_2S + 2H_2CO_3 \longrightarrow 2NaHCO_3 + H_2S$ 26)

$3Fe^{2+} + 6OH^- \longrightarrow 3Fe(OH)_2$ 27)

$Fe^{2+} + H_2S \longrightarrow FeS + 2H^+$ 28)

Reação global: $4Fe + 2H_2O + Na_2SO_4 + 2H_2CO_3 \longrightarrow 3Fe(OH)_2 + FeS + 2NaHCO_3$ 29)

Aqui, a dissolução anódica do ferro resulta do consumo de eletrões por redução do sulfato, i.e., uma reação catódica que é cineticamente impossível à temperatura ambiente e na ausência de uma ação catalítica das SBR. Há pois uma relação de 1:3 de FeS para $Fe(OH)_2$ (ou $FeCO_3$ dependente do pH). A libertação do cheiro característico do gás sulfídrico por acidificação dos produtos corrosão indica a ação das SBR.

Os artefactos em apreço foram exumados de escavações, e portanto sujeitos a uma corrosão no solo. A corrosividade neste meio é influenciada pelos seguintes parâmetros (Uhlig, 1963; Martins, 1999):

- Porosidade: Um solo poroso pode reter humidade por maior tempo e favorece o arejamento (oxigénio);

- Sais dissolvidos: Solos com matéria orgânica (favorecem a ação das SBR), cloreto de sódio (impede a passivação) e sulfato de sódio (essencial para as SBR) são mais corrosivos;

- pH do meio: os meios ácidos são mais agressivos por impedirem a formação de películas passivas de óxidos e/ou hidróxidos, de acordo com o diagrama de Pourbaix;

- Condutividade do meio: Uma baixa resistividade permite desenvolver pares galvânicos a maiores distâncias.

A acidez nos solos deriva do dióxido de carbono proveniente da atmosfera e dos ácidos orgânicos resultantes da decomposição da matéria orgânica, e apresenta valores de pH compreendidos entre 5 e 6. A presença de sulfatos acidifica o meio para um pH = 4, valor que se toma como limite inferior de pH em ambientes naturais. O limite superior de pH está associado a rochas carbonatadas e silicatadas, respetivamente, pH = 10 e pH = 11. No entanto, como no ecossistema há sempre emissão de CO_2 para a atmosfera e, consequentemente, a possibilidade de acidificação das águas de infiltração, aceita-se como limite superior de pH nos solos o valor 9.

O potencial redox (Eh) dos solos é determinado pela concentração dos oxidantes (aceitador de eletrões) e redutores (dador de eletrões) presentes. Os oxidantes inorgânicos incluem o oxigénio (O_2), nitrato (NO_3^-), nitrito (NO_2^-), manganês (MnO_2), ferro (Fe^{3+}) e o dióxido de carbono (CO_2), enquanto os redutores incluem matéria orgânica diversa (CH_2O) e compostos ou iões na forma reduzida, como sejam o Fe^{2+}, Mn^{2+}, S^{2-}, CH_4 e H_2.

Os solos anaeróbicos (zonas húmidas) são deficitários em aceitadores de eletrões e têm capacidade de ceder eletrões, enquanto os solos aeróbicos são deficitários em dadores de eletrões e excedentários em recetores de eletrões (essencialmente O_2).

Considere-se genericamente a seguinte reação redox no solo:

$$Ox + mH^+ + ne \longrightarrow Red \qquad 30)$$

onde Ox e Red representam a espécie eletroquímica ativa, respetivamente, na forma oxidada, $Fe(OH)_3$ (aceitador de eletrões) e reduzida, Fe^{2+} (dador de eletrões), m o número de iões hidrogénio, e n o número de eletrões envolvidos na reação. Os eletrões necessários para esta reação podem ser fornecidos pela matéria orgânica de acordo com as seguintes reações:

Redução: $4Fe(OH)_3 + 12H^+ + 4e^- \longrightarrow 4Fe^{2+} + 12H_2O$ 31)

Oxidação: $CH_2O + H_2O \longrightarrow CO_2 + 4H^+ + 4e^-$ 32)

Reação global: $4Fe(OH)_3\ CH_2O + 8H^+ \longrightarrow 4Fe^{2+} + 11H_2O + CO_2$ 33)

O potencial de redução da reação 29) é determinado pela equação de Nernst como se segue:

$$Eh = E^o - \frac{RT}{nF}\ln\left(\frac{(Red)}{(Ox)}\right) + \frac{mRT}{nF}\ln(H^+) \quad 34)$$

onde Eh é o potencial de elétrodo, E^o o potencial padrão de elétrodo, F a constante de Faraday (96500 C), R a constante dos gases perfeitos (8,314 J mol^{-1} K^{-1}), (Red) a atividade da espécie electroquimicamente ativa na forma reduzida, (Ox) a atividade da espécie electroquimicamente ativa na forma oxidada, n o número de eletrões, e m o número de protões. Assumindo T = 298 K, como ln(x) = 2,303log(x), a equação 34) toma a seguinte forma:

$$Eh(mV) = E^o - \frac{59}{n}\log\left(\frac{(Red)}{(Ox)}\right) - \frac{59m}{n}\mathrm{pH} \quad 35)$$

Esta equação mostra que Eh aumenta com a atividade da espécie na forma oxidada (oxidante) e da atividade do H^+ (diminuição de pH).

A Figura 72 mostra a agressividade dos solos em função do Eh e do pH dos solos. Aplicando a equação 35) às reações 13) e 14) que traduzem, respetivamente, o limite superior e inferior de estabilidade da água, e considerando sistemas ideais (atividade igual à concentração) obtemos as seguintes expressões dos potenciais de elétrodo:

Limite superior: $Eh\ (V) = 1{,}23 + 0{,}03\ \log([O_2]^{1/2}[H^+]^2)$ 36)

Limite inferior: $Eh = -0{,}059pH - 0{,}03\ \log(pH_2)$ 37)

Como a pressão de hidrogénio máxima no ambiente não pode ser superior a 1atm, e considerando a solução saturada de O_2 (28 mL O_2/L), as expressões 36) e 37) tomam então a seguinte forma:

Limite superior: $Eh\ (mV) = 1186 - 59pH$ 38)

Limite inferior: $Eh\ (mV) = -59pH$ 39)

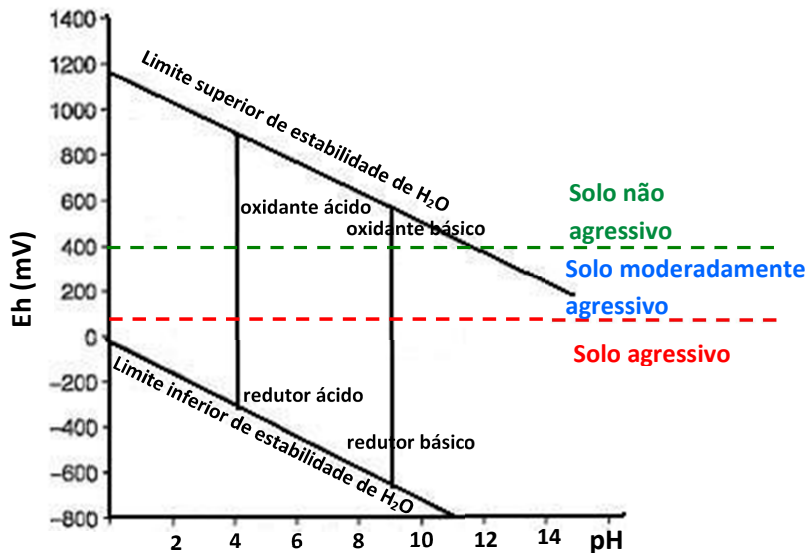


Figura 72: Correlação Eh-pH para os solos (adaptada de Krauskoft, 1967).

A quantificação das condições em que se encontra um solo, estado oxidado ou reduzido, pode ser portanto expressa em termos dos valores de Eh indicados na Tabela 13 (DeLaune e Reddy, 2005).

Tabela 13: Potenciais redox de solos em várias condições de arejamento.

Anaeróbico					Aeróbico	Tipo de estrato
Muito reduzido	Reduzido		Pouco reduzido		Oxidado	Condição redox
CO_2	SO_4^{2-}	Fe^{3+}	Mn^{4+}	NO_3^-	O_2	Aceitadores eletrões
anaeróbico	Indiferente				aeróbico	Metabolismo
-300	-200	-100	+100	+200 +300	+400	+700

As reações de elétrodo associadas aos oxidantes na Tabela 13, para além da do oxigénio, equação 13), e do hidróxido de ferro, equação 31), são as seguintes:

$$2NO_3^- + 12H^+ + 10e^- \longrightarrow N_2 + 6H_2O \quad 40)$$

$$MnO_2 + 4H^+ + 2e^- \longrightarrow Mn^{2+} + 2H_2O \quad 41)$$

$$SO_4^{2-} + 8H^+ + 8e^- \longrightarrow S^{2-} + 4H_2O \quad 42)$$

$CO_2 + 8H^+ + 8e^- \rightarrow CH_4 + 2H_2O$ 43)

Os potenciais críticos das espécies oxidantes, i.e., a partir dos quais se tornam instavam e tendem a ser reduzidos, são transcritos na Figura 73. O primeiro a tornar-se instável é o oxigénio e sequencialmente até ao dióxido de carbono.

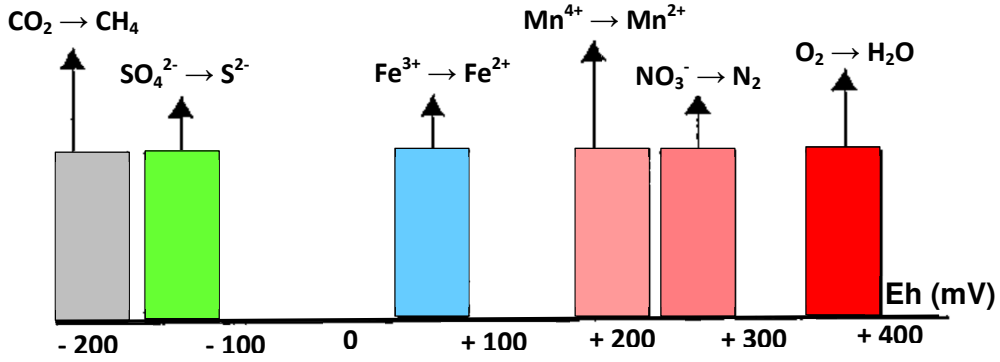


Figura 73 : Potenciais redox críticos para pares redox possíveis no solo (adaptada de DeLaune e Reddy, 2005).

O potencial redox do solo, determinado com um elétrodo de platina, será pois um diagnóstico da presença ou ausência de certos pares redox. Assim, por exemplo, um potencial de 0 mV indica que o oxigénio e o nitrato não são suscetíveis de estar presentes, os compostos de ferro e manganês encontram-se no estado reduzido, e o sulfato é estável não originando o sulfito. Um potencial de 400 mV já é indicador da presença de oxigénio.

A Figura 74 sintetiza as pilhas de corrosão que normalmente se podem estabelecer nos solos: 1) *acoplamento galvânico* – o metal mais ativo (menor potencial padrão de redução, é o ânodo; 2) *concentração diferencial de oxigénio* – a zona menos arejada do metal é ânodo, e a mais arejada é cátodo da reação de redução 13) ou 14); 3) *concentração diferencial de sais dissolvidos* - zona do metal em contacto coma a menor concentração de sais é ânodo, e na restante zona de metal tem lugar a reação 13) ou 14); *concentração diferencial de temperatura* – a área de metal a maior temperatura será ânodo, e na de menor temperatura ocorre a reação 13) ou 14).

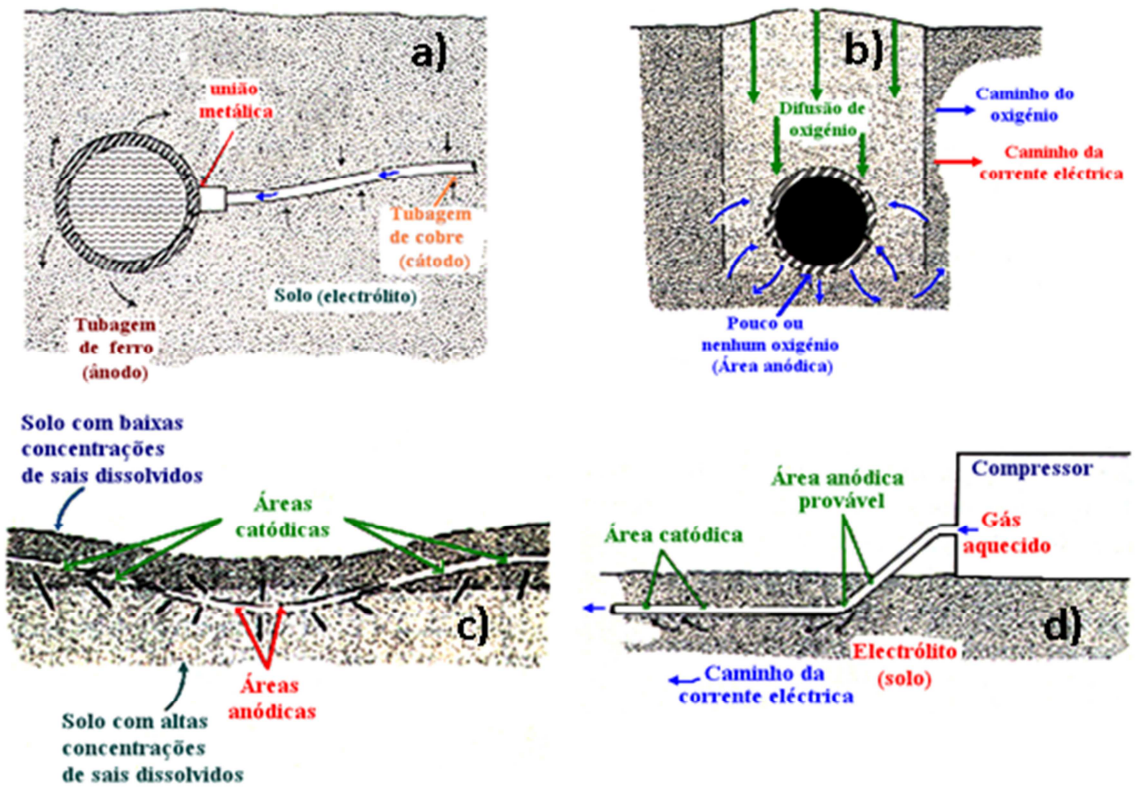
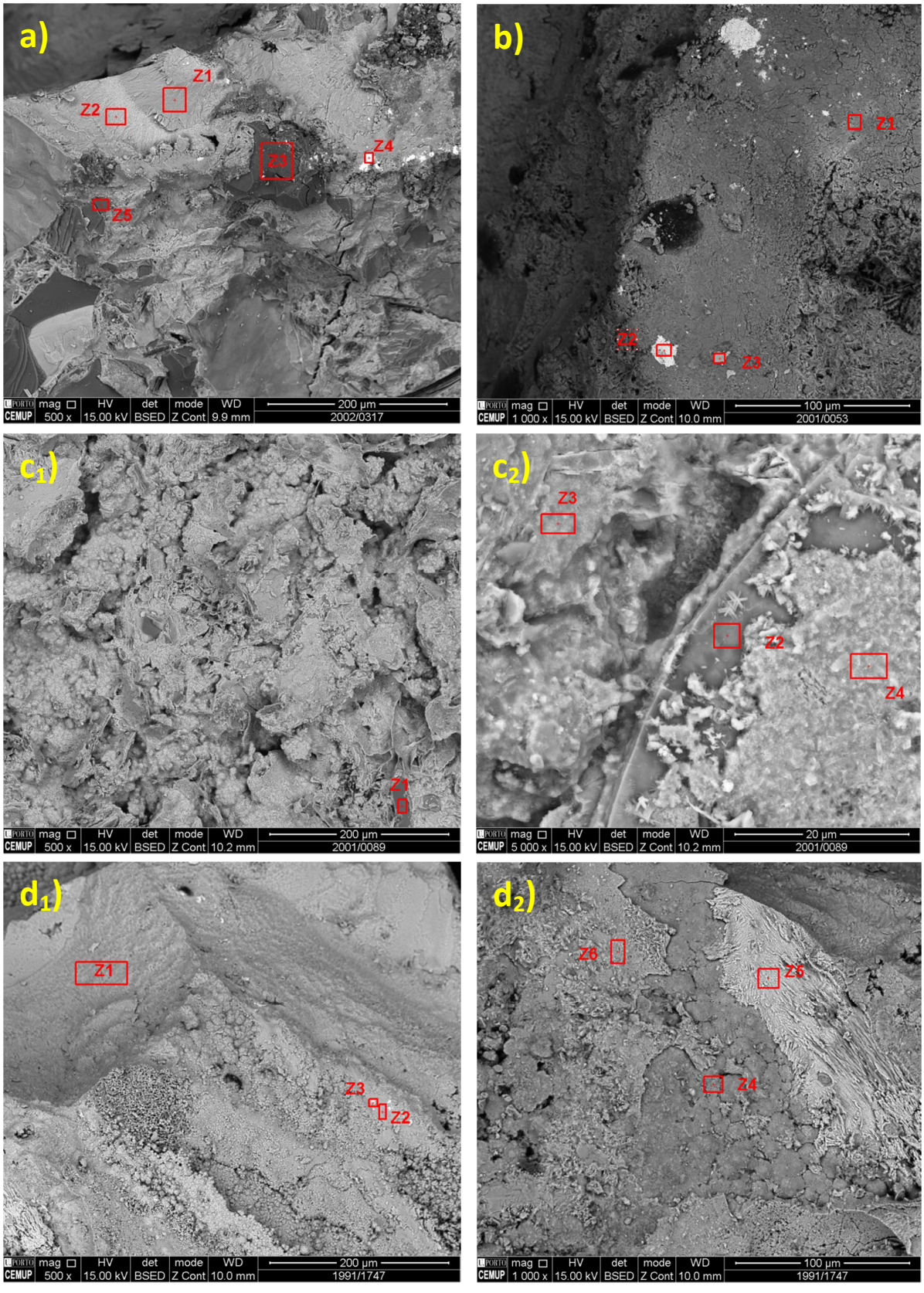


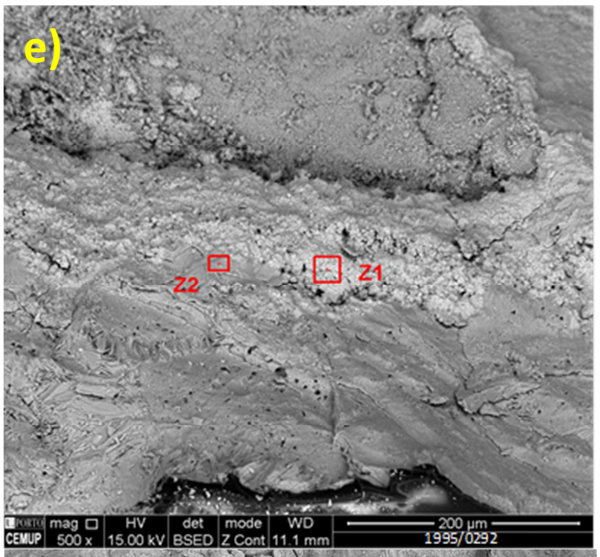
Figura 74: Pilhas de corrosão nos solos: a) galvânica; b) e c) concentração diferencial; d) temperatura diferencial (Martins, 1999).

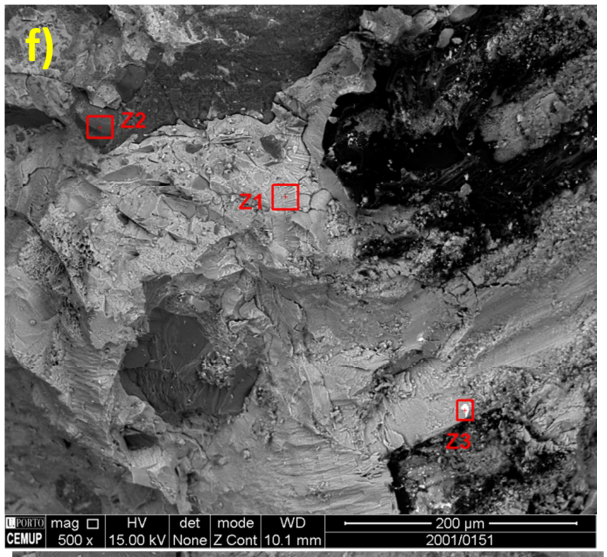
Anexo 3. Resultados das análises realizadas

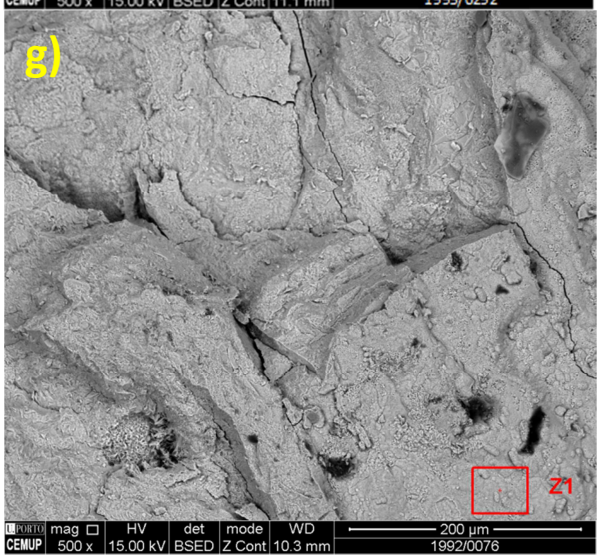
Anexo 3.1. Imagens das micrografias de MEV das amostras objeto de estudo

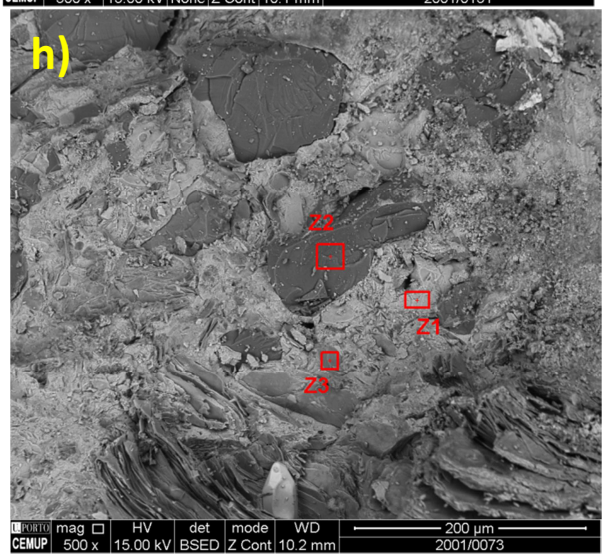
a) 2002.0317; b) 2001.0053; c) 2001.0089; d) 1991.1747; e) 1995.0292; f) 2001. 0151; g) 1992.0076; h) 2001.0073; i) 2003.0124; j) 1995.0281; k) 2002.0720; l) 2000.0309.

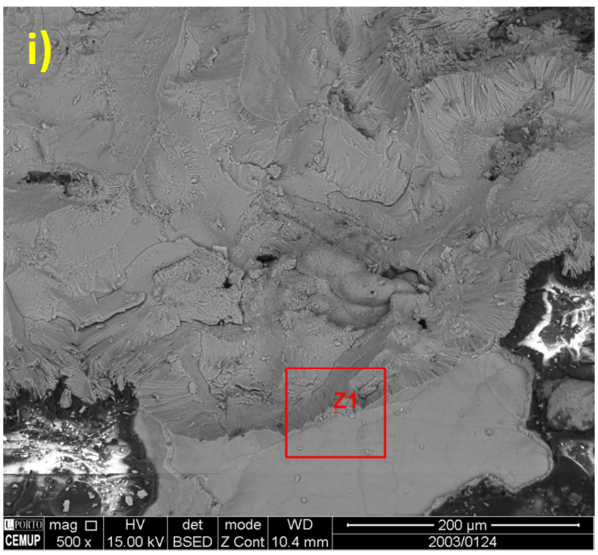


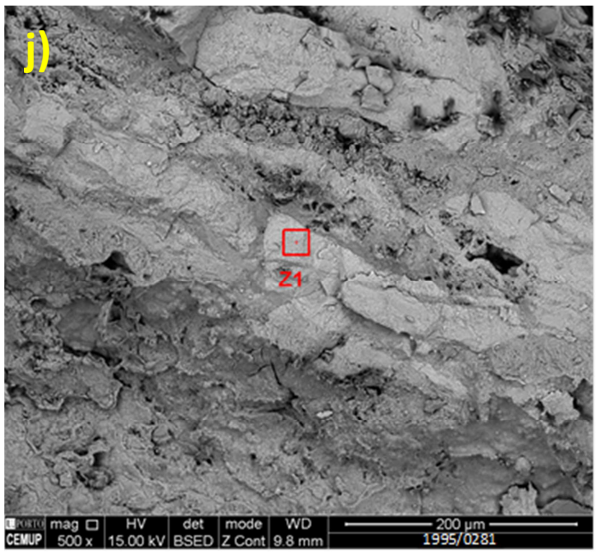

e)
Z2
Z1
mag 500 x
HV 15.00 kV
det BSED
mode Z Cont
WD 11.1 mm
200 µm
1995/0292

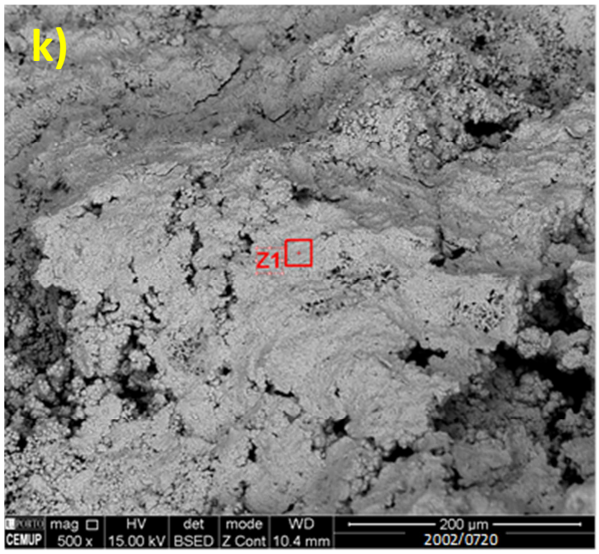

f)
Z2
Z1
Z3
mag 500 x
HV 15.00 kV
det None
mode Z Cont
WD 10.1 mm
200 µm
2001/0151

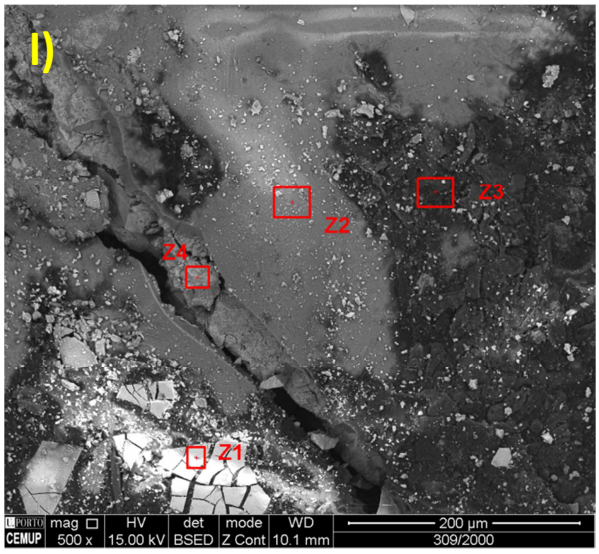

g)
Z1
mag 500 x
HV 15.00 kV
det BSED
mode Z Cont
WD 10.3 mm
200 µm
1992/0076


h)
Z2
Z1
Z3
mag 500 x
HV 15.00 kV
det BSED
mode Z Cont
WD 10.2 mm
200 µm
2001/0073


i)
Z1
mag 500 x
HV 15.00 kV
det BSED
mode Z Cont
WD 10.4 mm
200 µm
2003/0124

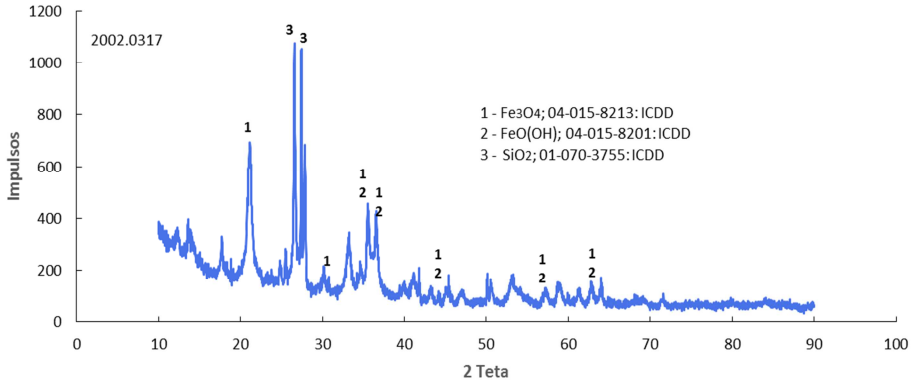

j)
Z1
mag 500 x
HV 15.00 kV
det BSED
mode Z Cont
WD 9.8 mm
200 µm
1995/0281

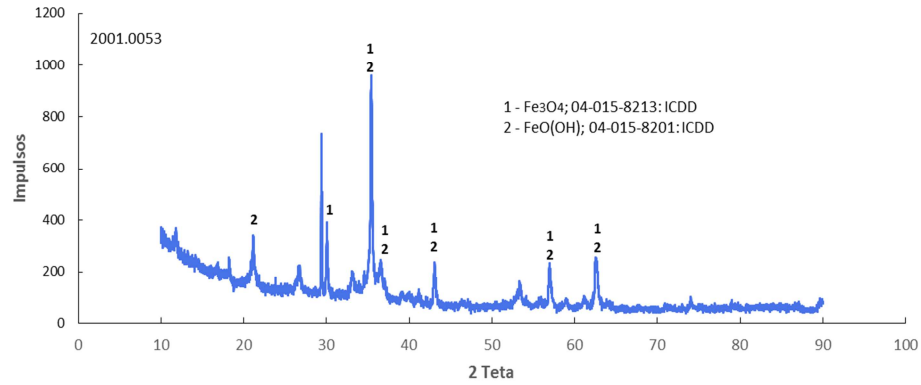


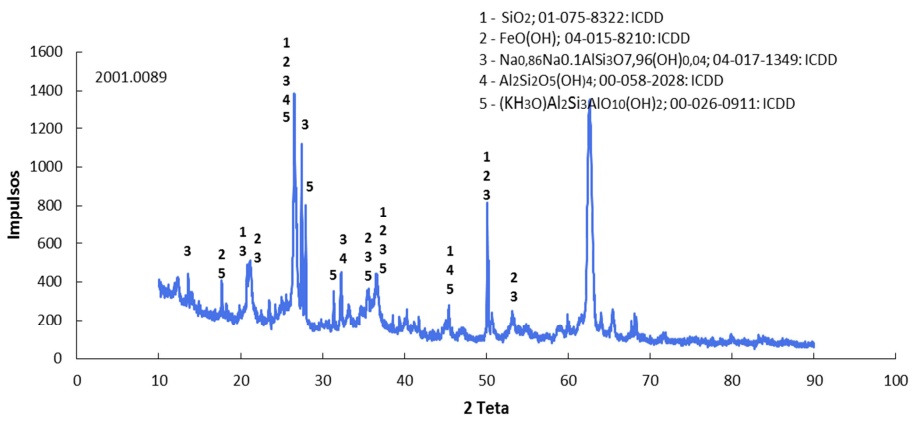


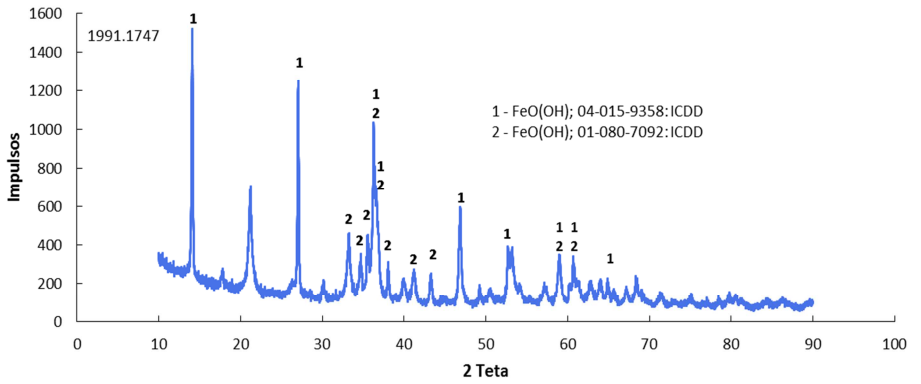
Os espectros de difração de raios-X (DRX) foram levados a cabo no equipamento PANalytical X'Pert Pro MPD equipado com um detetor X'Celerator e monocromador secundário (Cu Kα = 0,154 nm, 40 kV, 30 mA; dados gravados com tamanho de passo de 0,017, 100 s / passo), na UME/UTAD.

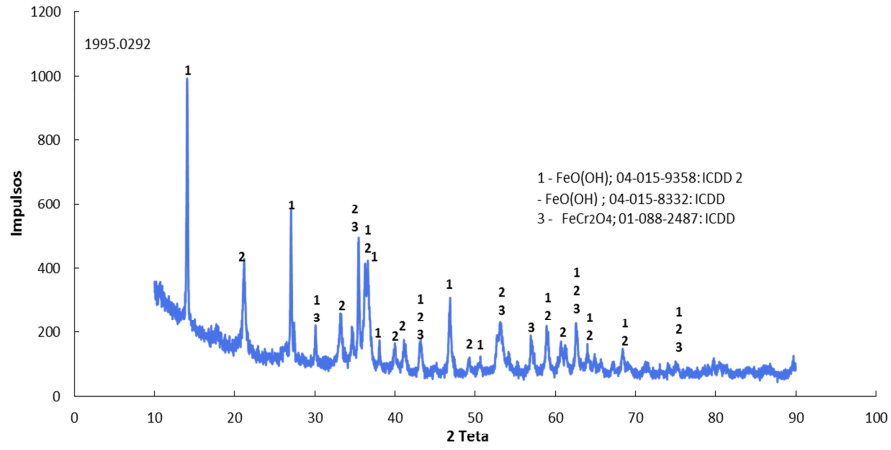
Anexo 3.2. *Espectros de difração de raios-X das amostras objeto de estudo* Identificação das espécies realizada através do Software HighScore Plus com o banco de dados ICDD.

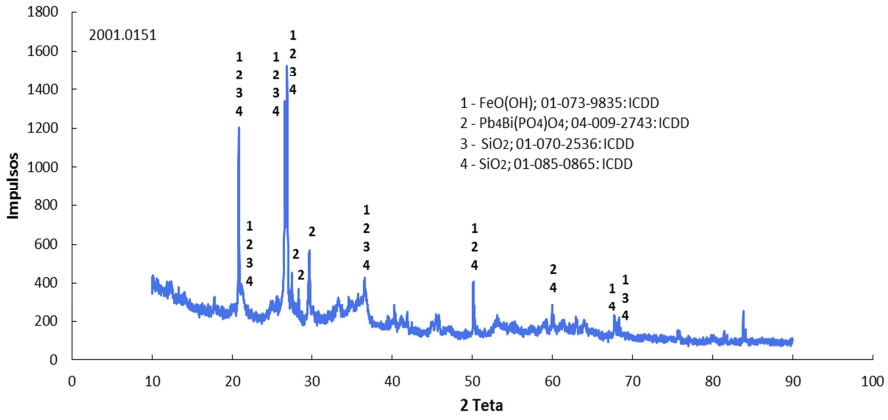


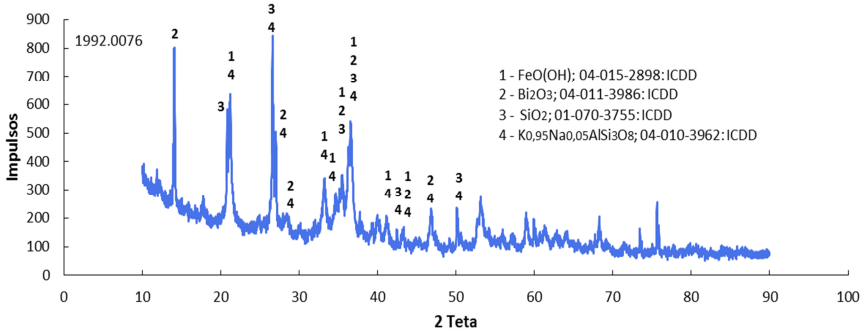


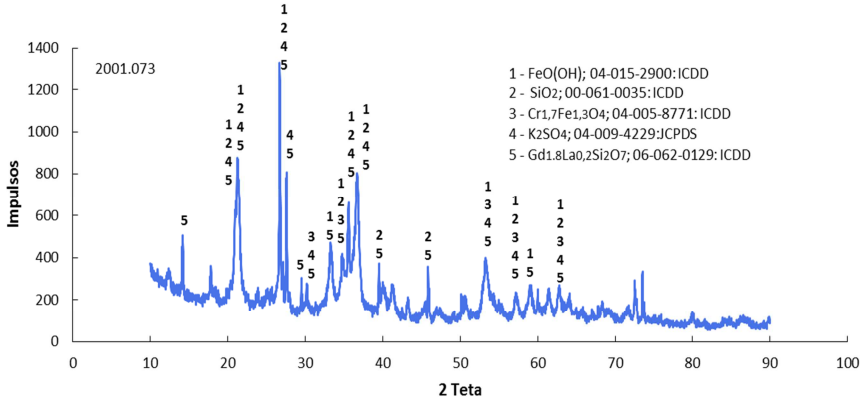


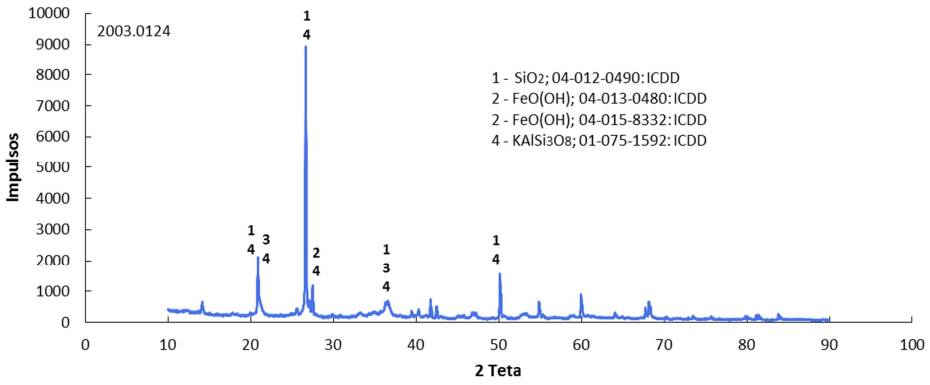


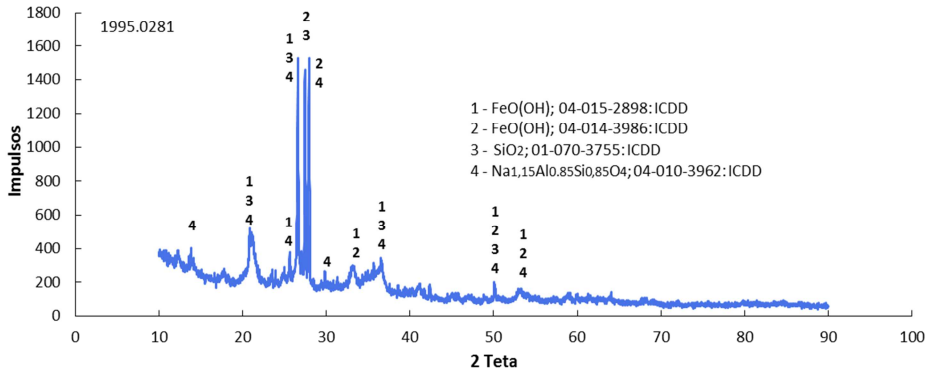

1995.0292
1 - FeO(OH); 04-015-9358: ICDD 2
- FeO(OH) ; 04-015-8332: ICDD
3 - FeCr2O4; 01-088-2487: ICDD
Impulsos
2 Teta

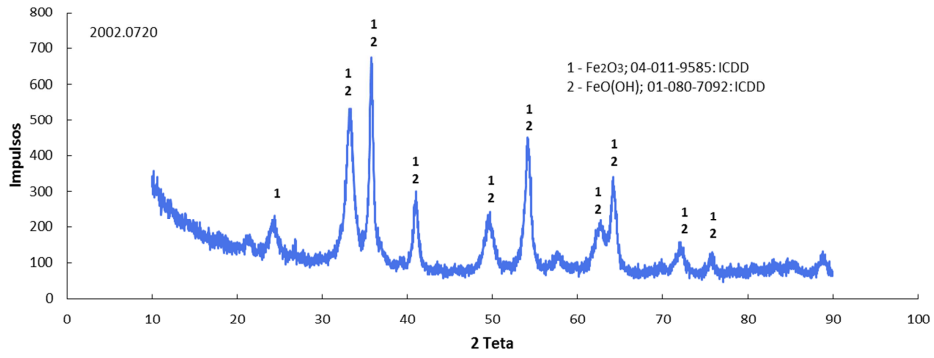

2001.0151
1 - FeO(OH); 01-073-9835: ICDD
2 - Pb4Bi(PO4)O4; 04-009-2743: ICDD
3 - SiO2; 01-070-2536: ICDD
4 - SiO2; 01-085-0865: ICDD
Impulsos
2 Teta

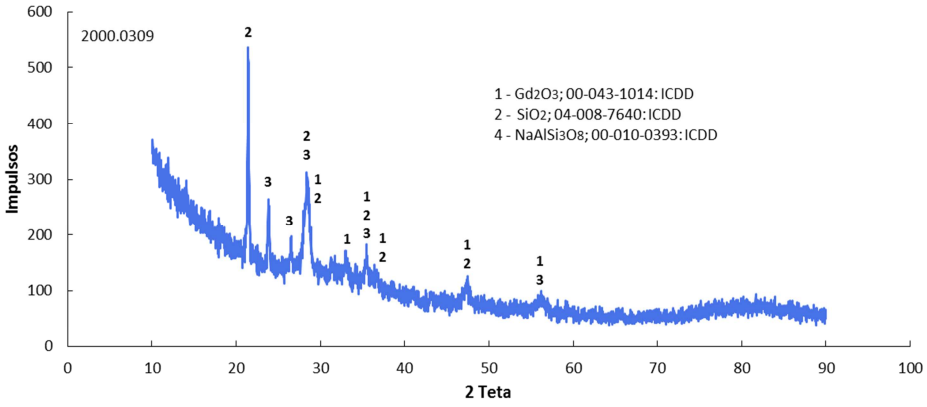

1992.0076
1 - FeO(OH); 04-015-2898: ICDD
2 - Bi2O3; 04-011-3986: ICDD
3 - SiO2; 01-070-3755: ICDD
4 - K0,95Na0,05AlSi3O8; 04-010-3962: ICDD
Impulsos
2 Teta


2001.073
1 - FeO(OH); 04-015-2900: ICDD
2 - SiO2; 00-061-0035: ICDD
3 - Cr1,7Fe1,3O4; 04-005-8771: ICDD
4 - K2SO4; 04-009-4229: JCPDS
5 - Gd1.8La0,2Si2O7; 06-062-0129: ICDD
Impulsos
2 Teta


2003.0124
1 - SiO2; 04-012-0490: ICDD
2 - FeO(OH); 04-013-0480: ICDD
2 - FeO(OH); 04-015-8332: ICDD
4 - KAlSi3O8; 01-075-1592: ICDD
Impulsos
2 Teta


1995.0281
1 - FeO(OH); 04-015-2898: ICDD
2 - FeO(OH); 04-014-3986: ICDD
3 - SiO2; 01-070-3755: ICDD
4 - Na1,15Al0.85Si0,85O4; 04-010-3962: ICDD
Impulsos
2 Teta


2002.0720
1 - Fe2O3; 04-011-9585: ICDD
2 - FeO(OH); 01-080-7092: ICDD
Impulsos
2 Teta


2000.0309
1 - Gd2O3; 00-043-1014: ICDD
2 - SiO2; 04-008-7640: ICDD
4 - NaAlSi3O8; 00-010-0393: ICDD
Impulsos
2 Teta