



**INSTITUTO SUPERIOR DE ENGENHARIA DE LISBOA**  
**Área Departamental de Engenharia Civil**



## **Sistema de Fundações para Postes de Catenária com Betão com Pré-Colocação de Agregados (PAC)**

**LUÍS PEDRO VENDA DA GRAÇA NERY**  
(Licenciado em Engenharia Civil)

Trabalho de Projeto de natureza científica para obtenção do grau de Mestre  
em Engenharia Civil

Orientadores:

Eng.º António José Carrasquinho de Freitas, Eq. Professor Adjunto do ISEL  
Eng.º Ivo Rosa, Teixeira Duarte – Engenharia e Construções, S.A.

Júri:

Presidente: Mestre Manuel Brazão de Castro Farinha, Prof. Adjunto do ISEL

Vogais:

Doutor Pedro Miguel Soares Raposeiro da Silva, Eq. Assistente do ISEL  
Eng.º António José Carrasquinho de Freitas, Eq. Professor Adjunto do ISEL  
Eng.º Ivo Rosa, Teixeira Duarte – Engenharia e Construções, S.A.

**Janeiro de 2014**







## RESUMO

No atual contexto de crise económica, as empresas de construção vêm-se confrontadas com a necessidade de definir novas estratégias que permitam diferenciar e afirmar a sua presença tanto a nível nacional como internacional. Neste âmbito, a procura de processos construtivos alternativos e inovadores assume particular relevo como fator diferenciador e de competitividade, possibilitando a otimização de recursos e, conseqüentemente, a redução de custos associados à execução de empreitadas.

O projeto que culminou com o desenvolvimento da presente dissertação tem por base o estudo de um processo construtivo alternativo para sistemas de fundações para postes de catenária com recurso à utilização de betão com pré-colocação de agregados. Este estudo tinha como objetivo avaliar a aplicabilidade prática desta tecnologia, efetuando uma abordagem integrada dos diversos aspetos associados ao processo construtivo.

Numa primeira fase procedeu-se à execução de ensaios laboratoriais de caracterização da tecnologia de betão com pré-colocação de agregados, com o objetivo de otimizar a dosagem dos constituintes em função dos maciços a serem executados. Este processo incidiu no estudo de 6 tipos de betões com pré-colocação de agregados, onde se procurou variar a relação cimento/cinzas e a granulometria dos agregados grossos. Os resultados obtidos evidenciam que, para algumas dosagens analisadas laboratorialmente, o betão com pré-colocação de agregados apresenta características compatíveis com os requisitos definidos para os maciços de fundação de postes de catenária, nomeadamente no que se refere à resistência à compressão.

Numa segunda fase do estudo procedeu-se ao dimensionamento dos maciços de fundação de forma a compatibilizar a sua geometria com os esforços atuantes e com as características do terreno. Com o objetivo de otimizar o processo construtivo associado à execução de fundações para postes de catenária, este dimensionamento teve por base uma geometria cilíndrica por oposição à geometria prismática tradicionalmente adotada em Portugal.

Para avaliar a viabilidade técnica e económica do processo construtivo, efetuou-se numa terceira fase uma análise orçamental em função do planeamento das atividades

associadas à execução de fundações para postes de catenária recorrendo a betão com pré-colocação de agregados. Esta análise teve por base a definição e estruturação do processo construtivo, realizando-se uma análise comparativa com o processo tradicionalmente utilizado para a execução deste tipo de estruturas. Em resultado da análise efetuada verificou-se que a metodologia adotada para a execução dos sistemas de fundações de postes de catenária com betão com pré-colocação de agregados permite um rendimento superior, comparativamente com a solução tradicionalmente utilizada.

Na quarta e última fase do projeto, realizou-se uma avaliação técnica e económica da viabilidade de incorporação de balastro em fim de vida como agregado grosso no processo produtivo de betão com pré-colocação de agregados. A incorporação de materiais em fim de vida vem ao encontro de diversas diretrizes legislativas a nível nacional e comunitário que incentivam e promovem a reutilização de materiais e resíduos no setor da construção. Os resultados obtidos evidenciam que, para as condições definidas, a reutilização de balastro em fim de vida como agregado grosso para o fabrico de betão com pré-colocação de agregados constitui uma alternativa técnica e economicamente viável, permitindo, não só a redução de custos associados à execução da empreitada, como também racionalizar o consumo de matérias primas.

**PALAVRAS-CHAVE:** Betão com pré-colocação de agregados, fundações, postes de catenária, reutilização de balastro, dimensionamento, via-férrea, maciços/pegões.

# ABSTRACT

In the current context of economic crisis, construction companies are challenged with the need to define new strategies to distinguish and affirm their presence both nationally and internationally. In this context, the search for alternative and innovative construction processes assumes particular importance as a differentiation factor and competitiveness, enabling the optimization of resources and, consequently, the reduction of costs associated with the execution of contracts.

The project that led to the development of the present dissertation is based on the study of an alternative constructive process for catenary poles foundations with the use of preplaced aggregate concrete. This study aimed to evaluate the practical applicability of this technology, making an integrated approach to the various aspects associated with the constructive process.

In a first stage it was developed laboratory tests for the characterization of the preplaced aggregate concrete technology, aiming to optimize the proportioning of the constituents. This process focused on the study of 6 types of preplaced aggregate concrete, by changing the relationship of cement/fly ash and the aggregate size. The results obtained show that, for some of the studied samples, preplaced aggregate concrete revealed compatible results with the requirements defined for the catenary poles foundations, particularly for the compressive strength.

In a second stage of this study, it was developed the design of the catenary poles foundations in order to reconcile their geometry with active loads and with the soil characteristics. In order to optimize constructive process associated with the execution of foundations for the catenary poles foundations, this design was based on a cylindrical geometry as opposed to prismatic geometry traditionally adopted in Portugal.

To evaluate the technical and economic feasibility of the constructive process, it was conducted in a third stage of this work, a budget analysis associated with the planning activities related with the execution of foundations for the catenary poles foundations using preplaced aggregate concrete. This study was based on the definition and structuring of the constructive process performing a comparative analysis with the

traditionally used process for the execution of this type of structures. As a result of the carried out analysis it was revealed that the methodology adopted for the execution of catenary poles foundations using preplaced aggregate concrete presents a better economic results compared with traditionally concrete.

In the fourth and last phase of the project, it was developed a technical and economic assessment of the feasibility of incorporating processed end-of-life ballast as coarse aggregate in the productive process of preplaced aggregate concrete. The incorporation of end-of-life materials meets various legislative guidelines that encourage and promote the reuse of materials and wastes in the construction sector. The results obtained showed that, for the conditions set, the reuse of processed ballast as coarse aggregate for the manufacture of preplaced aggregate concrete constitutes a technically and economically feasible alternative, allowing not only the reduction of costs associated with the execution of the contract, as well as rationalizing the consumption of materials.

**KEY WORDS:** Preplaced aggregate concrete, foundations, catenary poles, reuse of ballast, foundation blocks.

## AGRADECIMENTOS

A realização deste trabalho não teria sido possível sem a ajuda e colaboração de todas as pessoas, entidades e instituições a quem expresso, desta forma, o meu profundo agradecimento.

Ao Eng.º Ivo Rosa, da Teixeira Duarte – Engenharia e Construções S.A., e ao Eng.º Carrasquinho de Freitas, do Instituto Superior de Engenharia de Lisboa, pelos quais tive o privilégio e a honra de ser orientado com profunda sabedoria e rigor, e cujas disponibilidades, incentivo e apoio foram inexcusáveis. A ambos, o meu sincero agradecimento.

À Teixeira Duarte – Engenharia e Construções, S.A., por ter permitido e disponibilizado ao longo deste último ano o desenvolvimento deste trabalho nas suas instalações e a todos os seus colaboradores que, direta ou indiretamente, me apoiaram no desenvolvimento deste trabalho. A todos, um muito obrigado.

À equipa da SOMAFEL – Engenharia e Obras Ferroviárias, S.A. e da OFM – Obras Públicas, Ferroviárias e Marítimas, S.A. que colaboraram neste projeto, em especial a Eng.ª Sónia Filipe, o Eng.º João Vasco, o Eng.º Vitor Farrajota e o Eng.º Vitor Miranda, a quem agradeço a disponibilidade imensa e os variados ensinamentos relacionados com aspetos técnicos do sistema ferroviário. Sem eles este trabalho não seria possível.

Aos colaboradores do Laboratório de Materiais da Teixeira Duarte, Eng.ª Ana Chaves e o Sr. António Mendes, por todo o apoio e sabedoria transmitida durante os longos meses de ensaios laboratoriais e pela disponibilidade constante, sempre com alegria e uma boa disposição contagiante.

Um agradecimento especial à equipa da Direção Central de Projetos da Teixeira Duarte – Engenharia e Construções, S.A. liderada pelo Eng.º Baldomiro Xavier, em especial ao Eng.º Paulo Ramos, Eng.º André Almeida e Eng.º Gonçalo Carvalho, pelo apoio e disponibilidade permanente.

Ao Eng.º José Tomé, da REFER, e a toda a sua equipa pela receptividade e pela disponibilidade para a cedência de balastro em fim de vida para a realização dos ensaios laboratoriais.

A todos os colegas do Departamento de Engenharia Civil do Instituto Superior de Engenharia de Lisboa que sempre me incentivaram e com quem tive a oportunidade de trocar impressões, dúvidas e opiniões. Obrigado a todos.

A todos os Amigos que tiveram oportunidade de partilhar e de acompanhar estes momentos. O vosso apoio e constante motivação foram cruciais, principalmente em momentos decisivos. Um grande bem haja.

A toda a minha família pelo encorajamento, compreensão e incondicional apoio ao longo destes meses de trabalho.

# SIMBOLOGIA

## ABREVIATURAS:

<b>ACI</b>	American Concrete Institute
<b>AG</b>	Agregados Grossos
<b>ASTM</b>	American Society for Testing and Materials
<b>A/L</b>	Água-Ligante
<b>Betão PA</b>	Betão com pré-colocação de agregados
<b>CEM</b>	Cimento
<b>CEM 35%</b>	Calda com mistura de 35% de cimento e 65% de cinzas volantes
<b>CEM 50%</b>	Calda com mistura de 50% de cimento e 50% de cinzas volantes
<b>CEM 65%</b>	Calda com mistura de 65% de cimento e 35% de cinzas volantes
<b>IT-C</b>	Instrução técnica de catenária
<b>PAC</b> Concrete)	Betão com pré-colocação de agregados (Preplaced Aggregate
<b>RCD</b>	Resíduos de construção e demolição



# ÍNDICE

<b>CAPÍTULO 1 – CONSIDERAÇÕES INICIAIS .....</b>	<b>1</b>
<b>CAPÍTULO 2 – ESTADO DA ARTE DO BETÃO PA.....</b>	<b>5</b>
<b>2.1 INTRODUÇÃO .....</b>	<b>5</b>
<b>2.2 ENQUADRAMENTO HISTÓRICO .....</b>	<b>7</b>
<b>2.3 CAMPOS DE APLICAÇÃO .....</b>	<b>12</b>
<b>2.4 PROPRIEDADES DOS CONSTITUINTES DO BETÃO PA.....</b>	<b>16</b>
2.4.1 Agregados Grossos .....	16
2.4.2 Agregados Finos .....	18
2.4.3 Ligantes e Adições .....	18
2.4.4 Adjuvantes.....	20
<b>2.5 PROPRIEDADES DO BETÃO PA .....</b>	<b>23</b>
2.5.1 Propriedades Especiais.....	23
2.5.2 Resistência.....	24
2.5.3 Aderência .....	25
2.5.4 Durabilidade .....	25
<b>2.6 PROCEDIMENTO DE CONSTRUÇÃO .....</b>	<b>26</b>
2.6.1 Preparação de Superfícies .....	26
2.6.2 Tubagens de Injeção .....	27
2.6.3 Moldes.....	28
2.6.4 Colocação de Agregados Grossos .....	29
2.6.5 Preparação da Argamassa .....	30
2.6.6 Injeção da Argamassa.....	31
<b>CAPÍTULO 3 – CARATERIZAÇÃO DO BETÃO PA.....</b>	<b>35</b>
<b>3.1 INTRODUÇÃO .....</b>	<b>35</b>
<b>3.2 MATERIAIS E EQUIPAMENTOS .....</b>	<b>36</b>
3.2.1 Materiais.....	36
3.2.2 Equipamentos.....	37
<b>3.3 TRABALHO EXPERIMENTAL.....</b>	<b>38</b>
3.3.1 Planeamento .....	38
3.3.2 Estudo dos Agregados .....	40

3.3.3	Estudo da Calda/Argamassa de Injeção .....	42
3.3.4	Estudo do Betão PA .....	44
3.3.5	Preparação dos provetes.....	48
<b>3.4</b>	<b>RESULTADOS E DISCUSSÃO.....</b>	<b>48</b>
3.4.1	Estudo da Calda/Argamassa de Injeção .....	48
3.4.2	Estudo do Betão PA .....	53
<b>3.5</b>	<b>CONCLUSÕES DO CAPÍTULO 3 .....</b>	<b>59</b>
 <b>CAPÍTULO 4 – DIMENSIONAMENTO .....</b>		 <b>61</b>
4.1	INTRODUÇÃO .....	61
4.2	ELEMENTOS BASE .....	62
4.3	DESCRIÇÃO DO MÉTODO DE DIMENSIONAMENTO .....	64
4.4	VERIFICAÇÃO DAS TENSÕES PARA MACIÇOS DE BASE RETANGULAR .....	66
4.5	DIMENSIONAMENTO DOS MACIÇOS CILÍNDRICOS EQUIVALENTES .....	67
4.6	ANÁLISE COMPARATIVA.....	71
4.7	CONCLUSÕES DO CAPÍTULO 4 .....	72
 <b>CAPÍTULO 5 – PLANEAMENTO E ANÁLISE ORÇAMENTAL.....</b>		 <b>75</b>
5.1	INTRODUÇÃO .....	75
5.2	PLANEAMENTO E ANÁLISE ORÇAMENTAL .....	76
5.2.1	Solução Tradicional .....	76
5.2.2	Solução Alternativa.....	80
5.2.3	Análise Comparativa.....	97
5.3	CONCLUSÕES DO CAPÍTULO 5 .....	98
 <b>CAPÍTULO 6 – INCORPORAÇÃO DE BALASTRO EM FIM DE VIDA .....</b>		 <b>101</b>
6.1	INTRODUÇÃO .....	101
6.2	ENQUADRAMENTO LEGAL.....	104
6.3	CARATERIZAÇÃO DO BALASTRO .....	107
6.3.1	Critérios de Elegibilidade .....	107
6.3.2	Caraterização .....	108
6.3.3	Reatividade Álcalis-Sílica.....	113
6.4	ESTUDO ECONÓMICO PARA A UTILIZAÇÃO DE BALASTRO.....	116
6.5	CONCLUSÕES DO CAPÍTULO 6 .....	122

<b>CAPÍTULO 7 – CONSIDERAÇÕES FINAIS .....</b>	<b>125</b>
<b>7.1 APLICABILIDADE DA TECNOLOGIA .....</b>	<b>125</b>
<b>7.2 CONCLUSÕES FINAIS.....</b>	<b>126</b>
<b>7.3 DESENVOLVIMENTOS FUTUROS.....</b>	<b>129</b>

<b>CAPÍTULO 8 – REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b>	<b>133</b>
--	------------

**ANEXOS**



## Índice de Figuras

<b>Figura 1</b> – Processo de injeção de argamassa num molde com pré-colocação de agregados.....	6
<b>Figura 2</b> – Processo esquemático de execução de betão com pré-colocação de agregados.....	7
<b>Figuras 3 e 4</b> – Zona intervencionada no descarregador da Barragem de Hoover a 152 metros abaixo da crista.....	8
<b>Figura 5</b> – Barragem de Barker, Colorado durante o processo de reforço a montante utilizando betão com pré-colocação de agregados .....	9
<b>Figuras 6 e 7</b> – Execução de pilares da ponte de Mackinac, Michigan .....	9
<b>Figura 8</b> – Reparação de arcos de alvenaria junto à estação ferroviária de Santarém10	
<b>Figura 9</b> – Reparação de arcos de alvenaria junto à estação ferroviária de Santarém – Desenho de construção.....	11
<b>Figura 10</b> – Reparação de arcos de alvenaria junto à estação ferroviária de Santarém – Pormenor do emboquilhamento.....	11
<b>Figura 11</b> – Reparação de arcos de alvenaria junto à estação ferroviária de Santarém – Operação de injeção.....	12
<b>Figuras 12 e 13</b> – Execução e reparação de pilares e fundações da ponte de Santa Fé, Illinois, com betão com pré-colocação de agregados .....	13
<b>Figuras 14 e 15</b> – Execução de pilares da ponte de Mackinac, Michigan, com betão com pré-colocação de agregados em ambiente submerso .....	13
<b>Figuras 16 e 17</b> – Execução de estrutura de contenção nuclear com acesso condicionado e profusão de armaduras recorrendo a betão com pré-colocação de agregados.....	14
<b>Figura 18</b> – Colocação manual de agregados pesados (barite) para execução de estrutura de proteção biológica no <i>Material Testing Reactor</i> em Arco, Idaho.....	15
<b>Figuras 19</b> – Efeito dos superplastificantes sobre pastas de cimento .....	22

<b>Figura 20</b> – Contacto ponto-por-ponto entre os agregados grossos e distribuição de tensões quando sujeito a uma carga vertical .....	24
<b>Figuras 21 e 22</b> – Pilares e vigas na West 6th Street Viaduct, Erie, Pennsylvania antes da reparação (a) e 26 anos após reparação (b) com betão com pré-colocação de agregados.....	26
<b>Figura 23</b> – Superfície de betão previamente preparada para aplicação de betão com pré-colocação de agregados.....	27
<b>Figura 24</b> – Injeção vertical de argamassa num molde de vidro, com utilização de agregados com a mínima dimensão de 13 mm.....	32
<b>Figura 25</b> – Agregado Grosso 12-20 mm. ....	36
<b>Figura 26</b> – Agregado Grosso 20-32 mm. ....	36
<b>Figura 27</b> – Agregado fino 0-2 mm.....	37
<b>Figura 28</b> – Agregado fino 0-4 mm.....	37
<b>Figura 29</b> – Misturadora. ....	38
<b>Figura 30</b> – Moldes cilíndricos.....	38
<b>Figura 31</b> – Flow Cone.....	38
<b>Figura 32</b> – Sistema de injeção de argamassa (tripé e funil).....	38
<b>Figura 33</b> – Determinação da massa volúmica e absorção dos agregados finos. ....	40
<b>Figura 34</b> – Determinação da granulometria dos agregados finos.....	40
<b>Figura 35</b> – Determinação da baridade dos agregados finos. ....	40
<b>Figura 36</b> – Determinação da massa volúmica e absorção dos agregados grossos...	40
<b>Figura 37</b> – Granulometria dos agregados finos.....	41
<b>Figura 38</b> – Granulometria dos agregados grossos.....	42
<b>Figura 39</b> – Processo de amassadura da calda. ....	43
<b>Figura 40</b> – Determinação da consistência através do flow cone. ....	43

<b>Figura 41</b> – Execução de provetes da calda C1.1.....	44
<b>Figura 42</b> – Ensaios de exsudação e variação de volume.....	44
<b>Figura 43</b> – Determinação da massa volúmica.....	44
<b>Figura 44</b> – Determinação da resistência à flexão.....	44
<b>Figura 45</b> – Curvas granulométricas dos agregados grossos (Brita 6/12, Brita 12/20, Brita 20/32 e mistura de brita 12/20 e 20/32 na proporção 30%-70%) e dos fusos definidos no Guia ACI 304.1 R-92 para o “Grading 1”.....	45
<b>Figura 46</b> – Provede de betão com pré-colocação de agregados executado com recurso a 50% de agregados grossos de granulometria 6-12 mm e 50% de agregados grossos de granulometria 12-20 e dimensão máxima de areia 4 mm. ....	46
<b>Figura 47</b> – Processo de amassadura da argamassa. ....	47
<b>Figura 48</b> – Conjunto de provetes de betão PA.....	47
<b>Figura 49</b> – Sistema de injeção da calda nos provetes com agregados grossos.....	47
<b>Figura 50</b> – Pormenor do sistema de injeção nos provetes.....	47
<b>Figura 51</b> – Provetes preparados para os ensaios de porosidade.....	47
<b>Figura 52</b> – Determinação da resistência à compressão dos provetes cilíndricos. ....	47
<b>Figura 53</b> – Câmara de cura do Laboratório de Materiais da Teixeira Duarte.....	48
<b>Figura 54</b> – Resultados dos ensaios de resistência à compressão dos provetes 50x50x50.....	50
<b>Figura 55</b> – Resultados dos ensaios de resistência à flexão dos provetes 40x40x160 mm. ....	50
<b>Figura 56</b> – Resultados dos ensaios de resistência à compressão sobre as duas metades dos provetes 40x40x160 mm.....	51
<b>Figura 57</b> – Ensaio de exsudação e variação de volume para as caldas C1.1, C1.2 e C1.3.....	53
<b>Figura 58</b> – Resultados dos ensaios de resistência à compressão dos provetes de betão PA.....	55

<b>Figura 59</b> – Resultados dos ensaios de resistência à compressão dos provetes de betão PA.....	55
<b>Figura 60</b> – Variação da resistência à compressão dos provetes aos 28 dias de acordo com a percentagem de agregados grossos 20-32 mm. ....	56
<b>Figura 61</b> – Variação da resistência à compressão dos provetes aos 90 dias de acordo com a percentagem de agregados grossos 20-32 mm. ....	57
<b>Figura 62</b> – Variação da resistência à compressão dos provetes aos 28 dias de acordo com a percentagem de cimento.....	57
<b>Figura 63</b> – Variação da resistência à compressão dos provetes aos 90 dias de acordo com a percentagem de cimento existente na argamassa de injeção. ....	58
<b>Figura 64</b> – Características geométricas de maciços de postes independentes em terreno normal e respetivos momentos fletores no encastramento dos postes .....	63
<b>Figura 65</b> – Esquema de cálculo utilizado. ....	65
<b>Figura 66</b> – Análise de tensões e deslocamento em maciço cilíndrico e prismático, em resultado da aplicação de uma força horizontal de 1.000 kN. ....	68
<b>Figura 67</b> – Central de betão compacta instalada sobre vagões.....	78
<b>Figura 68</b> – Desenho esquemático do posicionamento do negativo no maciço de fundação.....	79
<b>Figura 69</b> – Equipamento rail-route com trado acoplado para escavação maciços. ....	84
<b>Figura 70</b> – Exemplo de colocação e travamento do negativo, com recurso a um cangalho.....	86
<b>Figura 71</b> – Desenho esquemático do posicionamento das tubagens de injeção.....	87
<b>Figura 72</b> – Faseamento do processo de execução dos maciços. ....	89
<b>Figura 73</b> – Faseamento do processo de execução dos maciços. ....	92
<b>Figura 74</b> – Colocação de poste de catenária em maciço de fundação com recurso a rail-route com grua.....	94
<b>Figura 75</b> – Fixação temporária de poste de catenária, recorrendo a cunhas de madeira.....	94

<b>Figura 76</b> – Desenho esquemático de dado para maciço de fundação. ....	96
<b>Figura 77</b> – Perfil transversal esquemático de uma via balastrada.....	101
<b>Figura 78</b> – Equipamento de desguarnecimento mecânico da via e respectivos vagões para armazenagem temporária de balastro. ....	103
<b>Figura 79</b> – Balastro proveniente de trabalhos de beneficiação de plena via, junto à Estação de Alfarelos.....	103
<b>Figura 80</b> – Detritos de balastro proveniente de trabalhos de beneficiação de plena via, junto à Estação de Alfarelos.....	103
<b>Figura 81</b> – Agregado grosso proveniente do processamento de balastro em fim de vida.....	109
<b>Figura 82</b> – Curvas granulométricas dos agregados grossos provenientes de balastro em fim de vida e dos fusos definidos no Guia ACI 304.1 R-92 para o “Grading 1”....	110
<b>Figura 83</b> – Metodologia para avaliação da suscetibilidade de uma composição de betão com agregados granitoides desenvolver reação álcalis-sílica .....	115
<b>Figura 84</b> – Sistema de lavagem de agregados.....	116
<b>Figura 85</b> – Desenho esquemático das atividades associadas à reutilização de balastro e à utilização de agregado novo.....	119
<b>Figura 86</b> – Custos unitários (CU) em função da distância ao fornecedor de agregado novo e à origem de balastro em fim de vida.....	119
<b>Figura 87</b> – Diagrama relativo à viabilidade de utilização de balastro em fim de vida, tendo em conta a distância do local de origem à obra em função da distância (d) ao local de fornecimento de agregado novo. ....	121



## Índice de Quadros

<b>Quadro 1</b> – Limites de granulometria para agregados grossos e finos para betão com pré-colocação de agregados.....	17
<b>Quadro 2</b> – Caraterização dos ensaios planeados ao nível da argamassa e do betão PA.....	19
<b>Quadro 3</b> – Caraterização dos ensaios planeados ao nível da argamassa e do betão PA.....	39
<b>Quadro 4</b> – Caraterização dos agregados finos e dos agregados grossos.....	41
<b>Quadro 5</b> – Caraterização das caldas experimentais relativamente à proporção de ligantes (cimento e cinzas volantes). ....	43
<b>Quadro 6</b> – Caraterização dos betões PA experimentais relativamente à proporção de agregados grossos e ligantes (cimento e cinzas volantes).....	45
<b>Quadro 7</b> – Resultados dos ensaios às caldas/argamassas de injeção (C1.1, C1.2 e C1.3).....	49
<b>Quadro 8</b> – Resultados dos ensaios aos betões com pré-colocação de agregados (B1.1.1, B1.1.2, B1.2.1, B1.2.2, B1.3.1, B1.3.2). ....	54
<b>Quadro 9</b> – Caraterização dos maciços em função da altura desenterrada (d). ....	64
<b>Quadro 10</b> – Cálculo das tensões no terreno para os maciços tipo Ne para $d=0,0$ m. ....	66
<b>Quadro 11</b> – Cálculo das tensões no terreno para os maciços tipo Nea para $d=0,3$ m. ....	66
<b>Quadro 12</b> – Cálculo das tensões no terreno para os maciços tipo Neb para $d=0,5$ m. ....	66
<b>Quadro 13</b> – Resumo do cálculo das tensões no terreno para maciços cilíndricos tipo Ne ( $d=0,0$ m) e diâmetro 800 mm. ....	69
<b>Quadro 14</b> – Resumo do cálculo das tensões no terreno para maciços cilíndricos tipo Ne ( $d=0,0$ m) e diâmetro ( $\varphi$ ) 1000 mm.....	69

<b>Quadro 15</b> – Resumo do cálculo das tensões no terreno para maciços cilíndricos tipo Ne (d=0,0 m) e diâmetro 1200 mm. ....	69
<b>Quadro 16</b> – Resumo do cálculo das tensões no terreno para maciços cilíndricos tipo Nea (d=0,3 m) e diâmetro ( $\varphi$ ) 800 mm.....	70
<b>Quadro 17</b> – Resumo do cálculo das tensões no terreno para maciços cilíndricos tipo Nea (d=0,3 m) e diâmetro ( $\varphi$ ) 1000 mm.....	70
<b>Quadro 18</b> – Resumo do cálculo das tensões no terreno para maciços cilíndricos tipo Nea (d=0,3 m) e diâmetro ( $\varphi$ ) 1200 mm.....	70
<b>Quadro 19</b> – Resumo do cálculo das tensões no terreno para maciços cilíndricos tipo Neb (d=0,5 m) e diâmetro ( $\varphi$ ) 800 mm.....	70
<b>Quadro 20</b> – Resumo do cálculo das tensões no terreno para maciços cilíndricos tipo Neb (d=0,5 m) e diâmetro ( $\varphi$ ) 1000 mm.....	71
<b>Quadro 21</b> – Resumo do cálculo das tensões no terreno para maciços cilíndricos tipo Neb (d=0,5 m) e diâmetro 1200 mm .....	71
<b>Quadro 22</b> – Análise comparativa entre a geometria dos maciços prismáticos e a geometria dos maciços cilíndricos. ....	72
<b>Quadro 23</b> – Caracterização das matérias primas necessárias para a produção de betão. ....	81
<b>Quadro 24</b> – Caracterização do estaleiro móvel sob vagões. ....	82
<b>Quadro 25</b> – Características da central de mistura e injeção de argamassa. ....	91
<b>Quadro 26</b> – Tipos de rochas e minerais potencialmente reativos aos álcalis. ....	114
<b>Quadro 27</b> – Custos unitários (CU) em função da distância ao fornecedor de agregado novo e à origem de balastro em fim de vida.....	120

# Índice de Anexos

## **CAPÍTULO 3**

**ANEXO I** Boletins de Ensaios de Agregados Grossos

Boletins de Ensaios de Agregados Finos

**ANEXO II** Boletins de Ensaios de Caldas

**ANEXO III** Boletins de Ensaios de Betões

## **CAPÍTULO 5**

**ANEXO IV** Solução Tradicional – Custos Unitários e Rendimentos

**ANEXO V** Análise Orçamental – Solução Tradicional

**ANEXO VI** Planeamento – Solução Tradicional

**ANEXO VII** Solução Alternativa – Custos Unitários e Rendimentos

**ANEXO VIII** Dimensionamento de Estaleiro Móvel

**ANEXO IX** Análise Orçamental – Solução Alternativa

**ANEXO X** Planeamento – Solução Alternativa

**ANEXO XI** Fichas Técnicas de Máquinas e Equipamentos

## **CAPÍTULO 6**

**ANEXO XII** Boletins de Ensaio de Balastro em Fim de Vida

**ANEXO XIII** Análise Comparativa de Custos Unitários – Agregado Novo e Balastro em Fim de Vida







# CAPÍTULO 1

## CONSIDERAÇÕES INICIAIS

O setor dos transportes desempenha um papel fundamental na economia dos países, assegurando o transporte de pessoas e mercadorias numa sociedade que se caracteriza por ser cada vez mais globalizada.

Siim Kallas, Vice-Presidente da Comissão Europeia para os Transportes referiu, num discurso proferido em 8 de Janeiro de 2012 (Kallas, 2012), que a procura pela mobilidade na Europa continuará a crescer no futuro próximo, prevendo-se um crescimento no transporte de passageiros e mercadorias de 50% e 80% respetivamente até 2050.

Dentro do sector dos transportes, o transporte ferroviário assume especial relevância, garantindo não só uma elevada capacidade de carga (ao nível de mercadorias e de passageiros), como também uma eficiência energética superior à maioria dos restantes meios de transportes terrestres.

Dada a crise energética a nível mundial, é expectável que a procura pelo transporte ferroviário cresça durante os próximos anos, sobretudo ao nível dos países em vias de desenvolvimento, onde se tem assistido nos últimos anos à construção de novas vias e, sobretudo, à modernização de vias já existentes.

Este processo de modernização tem-se focado maioritariamente na eletrificação de vias, o qual se traduz em diversas vantagens, das quais se destaca:

- Redução no custo de operação e manutenção do material circulante;
- Redução da poluição sonora;
- Aumento da potência e da velocidade/aceleração das locomotivas, permitindo a circulação de um maior número de veículos diários;
- Menor dependência das variações de preços dos combustíveis;

- Redução das emissões atmosféricas.

O processo de eletrificação de vias férreas existentes obriga à instalação de postes de catenária ao longo da via cujas fundações, regra geral, são constituídas por maciços ou pegões prismáticos de betão.

As vias férreas tanto podem atravessar zonas planas como podem ficar assentes na crista ou na base de taludes, situação que pode dificultar ainda mais a execução dos maciços, quer pela ausência de acessos rodoviários e de plataformas de trabalho quer pela eventual instabilização dos próprios taludes. Nestas situações, a instalação de postes de catenária através do processo tradicional recorrendo a betão pronto apresenta diversas condicionantes que podem dificultar a execução dos projetos.

Este estudo tem como objetivo desenvolver e implementar um sistema para a execução de fundações para postes de catenária através de pegões cilíndricos, com substituição do betão tradicionalmente utilizado por betão com prévia colocação de agregados com injeção de argamassa fluída a baixa pressão.

O projeto pretende desta forma, avaliar a aplicabilidade prática desta tecnologia na construção das fundações dos postes de catenária, de forma a otimizar a execução de maciços de fundação em locais onde a acessibilidade é limitada. Este processo é especialmente útil na eletrificação de vias existentes, onde a execução dos maciços é, por norma, realizada a partir da via férrea.

A implementação desta solução construtiva tem como objetivo aumentar o desempenho na execução dos maciços de fundação de postes de catenária, permitindo otimizar custos e minimizar prazos de execução, recorrendo a uma tecnologia alternativa. Neste sentido, este estudo pode enquadrar-se como um projeto de inovação do processo construtivo, permitindo melhorar o método de execução de maciços de fundação para postes de catenária recorrendo a uma tecnologia existente e previamente aplicada noutros processos construtivos.

Este aspeto assume especial relevância num período em que existe uma forte concorrência no sector da construção, sendo determinante a utilização de métodos inovadores e alternativos que permitam às empresas otimizar os seus processos construtivos e reforçar a sua competitividade.

A tecnologia do betão com pré-colocação de agregados apresenta diversas vantagens e desvantagens, estando condicionada a sua utilização a situações muito específicas.

As principais vantagens associadas a esta tecnologia são:

- Maior flexibilidade na colocação do betão em locais sem acesso rodoviário, evitando a instalação de centrais de betonagem em vagões;
- Maior facilidade na execução das furações/caboucos;
- Maior flexibilidade na execução das fundações junto a taludes de escavação ou de aterro;
- Vantagens ambientais com a utilização de agregados reciclados;
- Possibilidade de betonagem em ambiente submerso;
- Redução do prazo de execução e eventualmente dos custos associados.

O estudo foi estruturado em 4 fases, nas quais se procurou avaliar em diversos níveis a viabilidade da execução de sistemas de fundações para postes de catenária com betão com pré-colocação de agregados.

Numa primeira fase procedeu-se à caracterização do betão com pré-colocação de agregados, recorrendo a ensaios laboratoriais de forma a otimizar a dosagem dos constituintes em função dos maciços a serem executados. Neste processo desenvolveram-se conhecimentos sobre as características mecânicas do betão em função da dimensão dos agregados, da dosagem de cimento e eventuais adições (cinzas volantes), bem como dos adjuvantes. Para a realização dos ensaios foram executados diversos provetes, os quais foram posteriormente sujeitos a ensaios de compressão simples.

Numa segunda fase procedeu-se ao dimensionamento dos maciços de fundação, tendo por base uma geometria cilíndrica, as características do betão, os esforços atuantes e o processo de fabrico inerente à execução dos maciços. Apesar de existirem instruções técnicas que definem os limites e critérios a adotar em maciços de fundação para postes de catenária, estes documentos preveem uma geometria prismática para estes sistemas. Neste projeto, devido às condicionantes associadas ao processo de execução dos maciços, onde se recorre a um trado para realizar a escavação, efetuou-se o redimensionamento dos maciços de fundação considerando uma nova geometria cilíndrica.

## CAPÍTULO 1 – CONSIDERAÇÕES INICIAIS

A terceira fase do projeto consistiu no desenvolvimento do processo construtivo incluindo uma análise orçamental em função do planeamento das atividades a serem desenvolvidas durante a execução dos maciços de fundação. Nesta fase pretendeu-se definir e estruturar as atividades associadas ao processo de fabrico dos maciços de fundação, estudando diferentes modelos de planeamento e orçamentando os custos associados, tendo em conta diversos rendimentos.

Na quarta e última fase do projeto, realizou-se uma avaliação técnica e económica da viabilidade de incorporação de balastro em fim de vida como agregado grosso no processo produtivo de betão com pré-colocação de agregados. A incorporação de materiais em fim de vida vem ao encontro de diversas orientações legislativas a nível nacional e comunitário que incentivam e promovem a reutilização de materiais e resíduos no setor da construção.

# CAPÍTULO 2

## ESTADO DA ARTE DO BETÃO PA

### 2.1 INTRODUÇÃO

O betão caracteriza-se por ser um *material formado pela mistura de cimento, agregados grossos e finos e água, com ou sem a incorporação de adjuvantes e adições, que desenvolve as suas propriedades por hidratação do cimento* (NP EN 206-1, 2007).

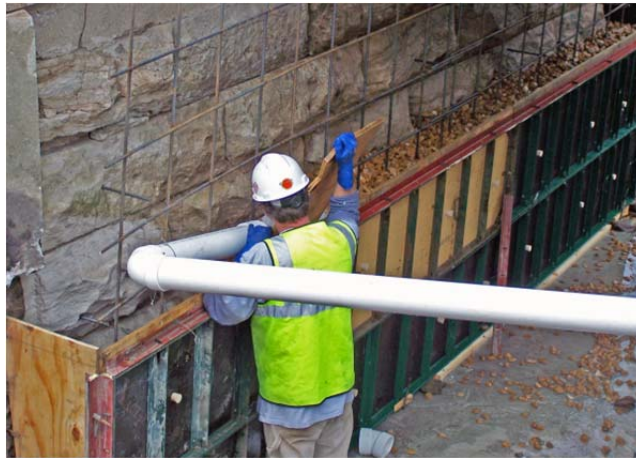
Esta definição tem por base a constituição do material, não diferenciando os diversos processos de fabrico inerentes, nomeadamente a forma e sequência de colocação dos diversos elementos que constituem o betão. Simultaneamente, esta definição não especifica quaisquer características do material como a granulometria dos agregados (finos e grossos), a consistência, a massa volúmica, a razão água/ligante, entre outros aspetos.

Neste sentido, o tipo de betão está invariavelmente ligado, não só às características dos materiais, como também ao processo de fabrico do mesmo. É neste âmbito que surge o betão com pré-colocação de agregados, que apresenta um processo de fabrico distinto do tradicional betão pronto, apesar de ser constituído pelos mesmos materiais.

De acordo com a norma ACI 116R (ACI 116R-00, 2000), o betão com pré-colocação de agregados pode ser definido como um betão produzido através da colocação de agregados grossos num molde e posterior injeção de uma argamassa de areia-cimento portland, normalmente com adjuvantes, para preencher os vazios.

Este tipo de betão, apesar de ter na sua constituição os mesmos elementos do betão pronto tradicional, apresenta características distintas, as quais se encontram naturalmente associadas ao processo construtivo.

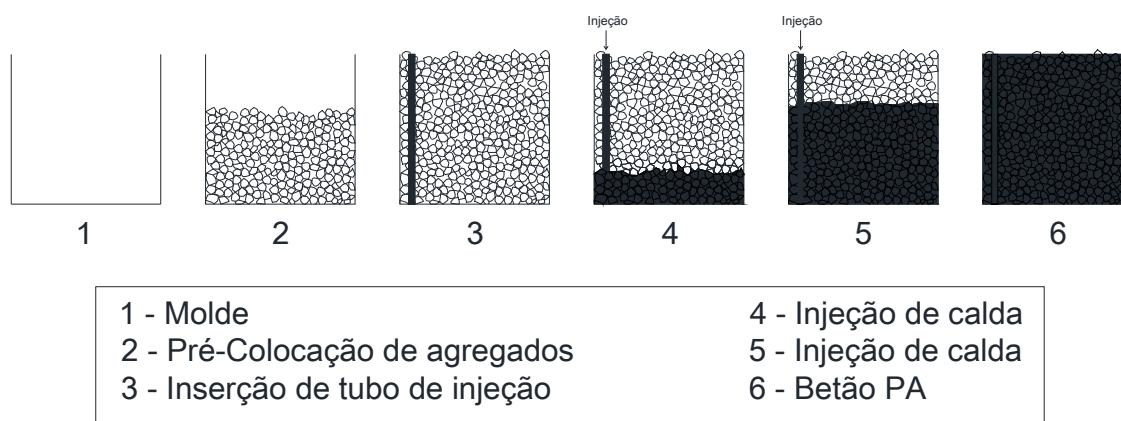
Sendo o processo de fabrico e as características dos materiais distintas do tradicional betão pronto, o betão com pré-colocação de agregados apresenta propriedades diferentes, sobretudo devido ao facto de ter na sua constituição uma percentagem de agregados grossos superior.



**Figura 1** – Processo de injeção de argamassa num molde com pré-colocação de agregados (Fonte: J. F. Brennan Company).

Para o fabrico do betão com pré-colocação de agregados, recorre-se à injeção de uma argamassa de elevada fluidez nos agregados grossos previamente colocados num molde, a qual vai preenchendo, progressivamente, os vazios existentes entre os agregados (Figura 2). A fluidez da argamassa é obtida recorrendo a adjuvantes, os quais apresentam um papel importante garantindo à argamassa uma baixa relação água/ligante. Esta fluidez permite garantir a injeção de argamassa e o preenchimento dos vazios existentes, não comprometendo a resistência final do betão.

SISTEMAS DE FUNDAÇÕES PARA  
POSTES DE CATENÁRIA COM BETÃO  
COM PRÉ-COLOCAÇÃO DE AGREGADOS



**Figura 2** – Processo esquemático de execução de betão com pré-colocação de agregados.

Desde o desenvolvimento desta tecnologia até aos dias de hoje, verificaram-se diversos avanços tecnológicos ao nível da indústria da construção, permitindo a obtenção de produtos finais com maior qualidade, maior rapidez e menor impacto ambiental. Não obstante, o betão com pré-colocação de agregados constitui ainda, hoje em dia, uma tecnologia que garante, em alguns casos específicos, diversas vantagens em termos competitivos, devido à facilidade associada ao seu processo de fabrico. Os conhecimentos e o *know how* adquiridos na área dos materiais de construção ao longo dos últimos anos veio possibilitar o desenvolvimento estudos que permitam aperfeiçoar esta tecnologia, de forma a garantir, simultaneamente, a otimização do processo construtivo e a qualidade do produto final.

## 2.2 ENQUADRAMENTO HISTÓRICO

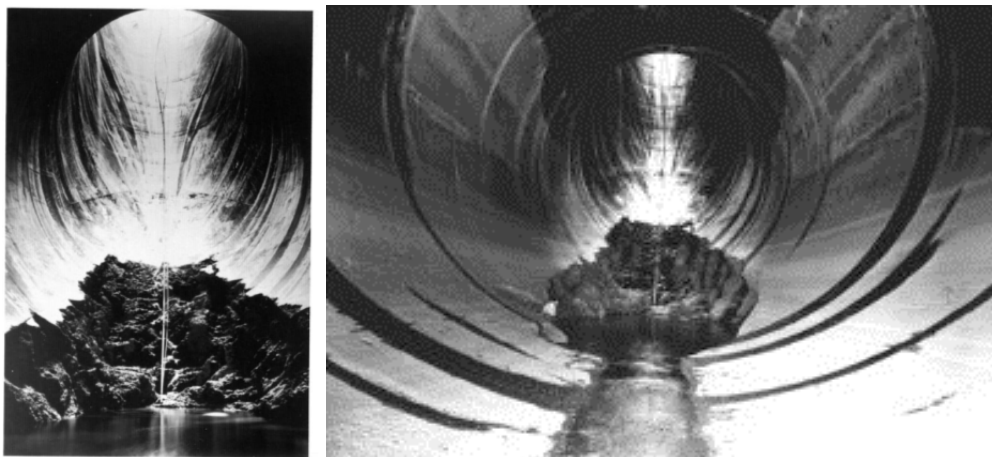
A tecnologia do betão com pré-colocação de agregados foi utilizada pela primeira vez em 1937 por Lee Turzillo e Louis S. Wertz durante a reabilitação do túnel ferroviário de Santa Fé, Califórnia (ACI 304.1 R-92, 1997). Os resultados desta aplicação foram de tal maneira promissores, que foram desenvolvidos diversos estudos pelo Professor Raymond E. Davis com o objetivo de definir misturas de argamassa e procedimentos que garantissem a viabilidade do método.

Com base nestes estudos foram registadas, durante a década de 40 do século XX, diversas patentes no método, com a designação comercial de Prepakt, e nos adjuvantes, sobretudo ao nível dos agentes fluidificantes. O registo da primeira patente

associada ao processo construtivo foi emitida em 1943, na sequência dos desenvolvimentos levados a cabo por Louis S. Wertz (Davis, 1994).

O registo destas patentes veio limitar a utilização alargada deste método durante diversos anos. Atualmente todas estas patentes já expiraram, com a possível exceção de alguns adjuvantes (ACI 304.1 R-92, 1997), permitindo a utilização desta tecnologia sem qualquer restrição.

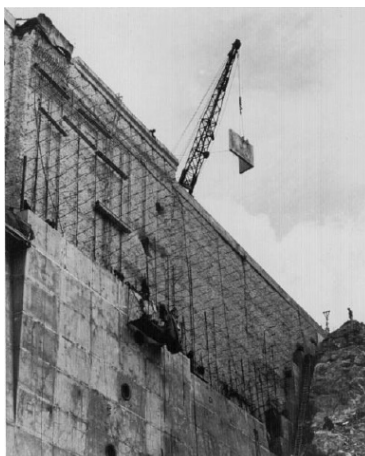
Numa fase inicial, devido à ausência de histórico de desempenho, a utilização de betão com pré-colocação de agregados foi limitada ao nível de reparação de estruturas como pontes e túneis. No entanto, após diversos estudos e ensaios laboratoriais, esta tecnologia foi progressivamente desenvolvida e aplicada noutros processos construtivos em maior escala, nomeadamente em trabalhos desenvolvidos em barragens nos Estados Unidos, onde se destaca, como exemplo, a reparação da superfície do descarregador da Barragem de Hoover (ACI 304.1 R-92, 1997). Esta reparação consistiu no preenchimento de uma extensa zona erodida no descarregador da barragem, com 34 metros de comprimento, 10 metros de largura e 11 metros de profundidade, conforme ilustrado nas Figuras 3 e 4.



**Figuras 3 e 4** – Zona intervencionada no descarregador da Barragem de Hoover a 152 metros abaixo da crista (Fonte: ACI 304.1 R-92, 1997).

Em 1946 a tecnologia do betão com pré-colocação de agregados foi utilizada para executar o reforço a montante da Barragem de Barker, Colorado (ACI 304.1 R-92, 1997). O reforço desta barragem de 52 m de altura foi executado recorrendo à ancoragem de lajes pré-fabricadas na face da barragem, preenchendo a zona interior

com agregados grossos com posterior injeção da argamassa durante 10 dias seguidos (Figura 5).



**Figura 5** – Barragem de Barker, Colorado durante o processo de reforço a montante utilizando betão com pré-colocação de agregados – Montagem de lajes pré-fabricadas (Fonte: ACI 304.1 R-92, 1997).

Em 1954 e 1955, recorreu-se à utilização de betão com pré-colocação de agregados na construção de 34 pilares da ponte de Mackinac, Michigan (Davis et. Al, 1956). Esta aplicação tem especial relevância, não só pela sua dimensão em termos de volume de betão, como também pelo facto de ter sido realizada em ambiente totalmente submerso (Figuras 6, 7, 14 e 15).



**Figuras 6 e 7** – Execução de pilares da ponte de Mackinac, Michigan (Fonte: ACI 304.1 R-92, 1997).

Durante a década de 50, 60 e 70, esta tecnologia foi alargada a outros países, através da aquisição, por parte de diversas empresas, dos direitos patenteados. Este

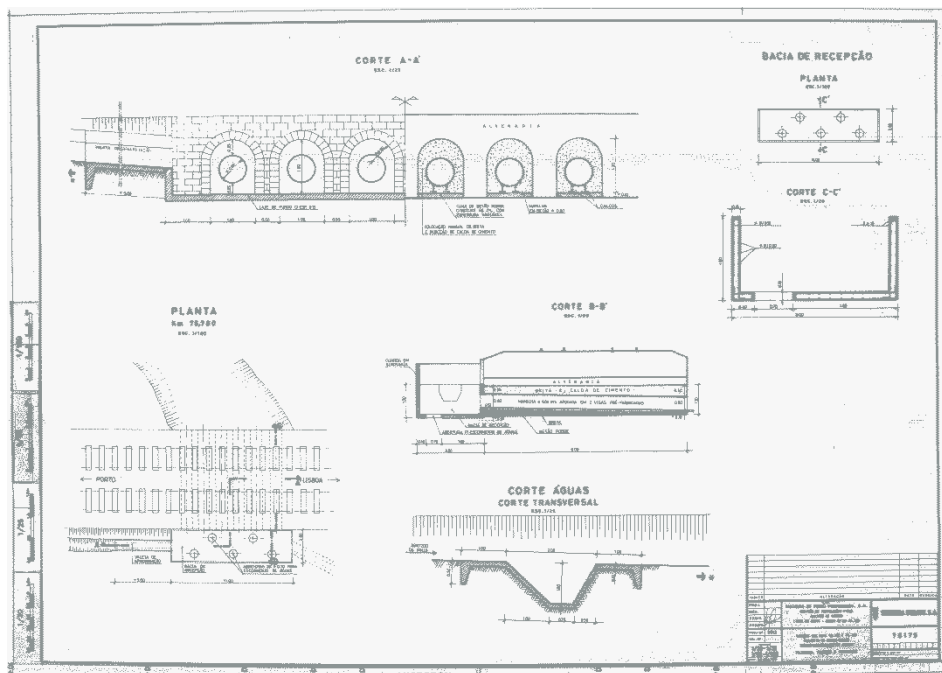
alargamento permitiu a diversificação dos processos construtivos onde a tecnologia era utilizada e, conseqüentemente, do âmbito de aplicação da mesma. Existem diversos registos de obras de construção recorrendo ao betão com pré-colocação de agregados, nomeadamente, ao nível de pilares em pontes no Japão e estruturas associadas a centrais hidroelétricas na Austrália, entre outros.

Em Portugal esta tecnologia foi utilizada na segunda metade do século XX em diversas obras de execução, reforço e reparação de estruturas. Um exemplo dessa aplicação foram os trabalhos de conceção-construção executados pela Teixeira Duarte para a REFER em 1992, junto à estação ferroviária de Santarém. A obra consistia na reparação de 6 arcos de alvenaria com cerca de 1 metro de vão e com um comprimento médio de 12 metros (Figura 8 e 9).



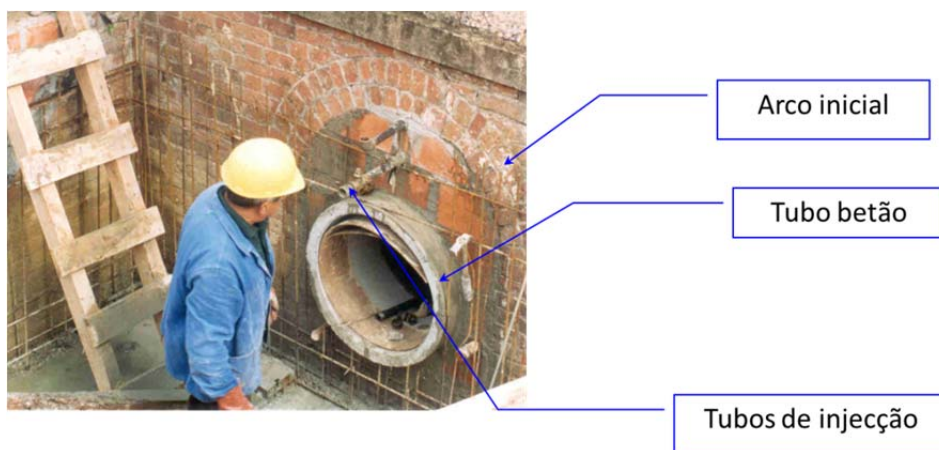
**Figura 8** – Reparação de arcos de alvenaria junto à estação ferroviária de Santarém (Fonte: Teixeira Duarte).

**SISTEMAS DE FUNDAÇÕES PARA  
POSTES DE CATENÁRIA COM BETÃO  
COM PRÉ-COLOCAÇÃO DE AGREGADOS**



**Figura 9** – Reparação de arcos de alvenaria junto à estação ferroviária de Santarém –  
Desenho de construção (Fonte: Teixeira Duarte).

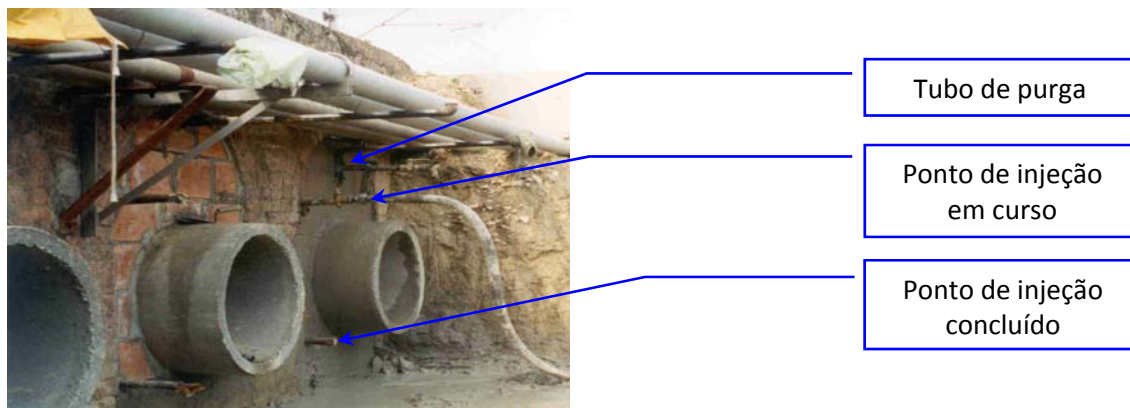
Para a execução da empreitada foram colocadas manilhas de betão ao longo dos aquedutos, preenchendo-se o espaço entre a manilha e o aqueduto com agregado grosso, efetuando a selagem em ambas as extremidades com alvenaria (Figura 10).



**Figura 10** – Reparação de arcos de alvenaria junto à estação ferroviária de Santarém –  
Pormenor do emboquilhamento (Fonte: Teixeira Duarte).

Posteriormente efetuou-se a injeção horizontal de calda, sucessivamente a partir da base, de forma a garantir o preenchimento da totalidade dos vazios existentes entre o

arco de alvenaria e a manilha de betão. Os tubos localizados na zona superior do arco de alvenaria tinham como função garantir a purga durante o processo de injeção (Figura 11).



**Figura 11** – Reparação de arcos de alvenaria junto à estação ferroviária de Santarém – Operação de injeção (Fonte: Teixeira Duarte).

### 2.3 CAMPOS DE APLICAÇÃO

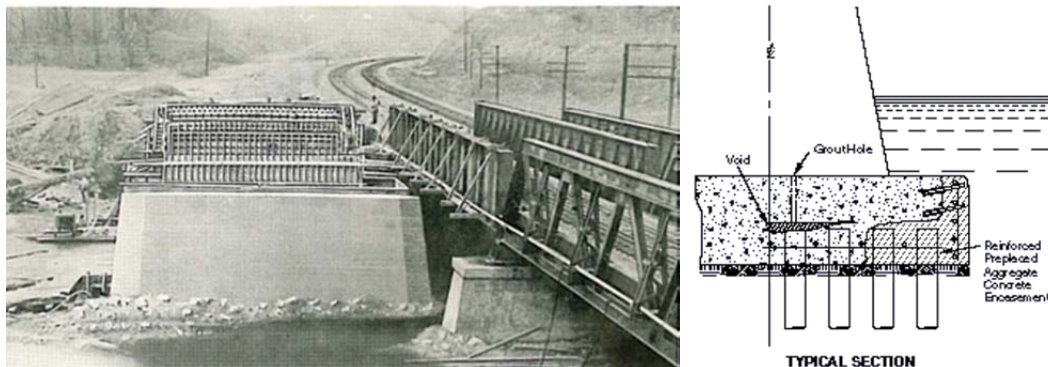
O betão com pré-colocação de agregados caracteriza-se por ser um processo construtivo extremamente abrangente, não existindo qualquer restrição relativamente ao âmbito de aplicação. Importa referir neste aspeto que, segundo estudos, esta tecnologia se apresenta como um método alternativo efetivo para a execução de betão, tanto em ambiente seco como em ambiente submerso (Metawie et. al., 2013).

Desta forma, trata-se de uma tecnologia particularmente útil na execução de diversos trabalhos quando comparado com o betão tradicional, podendo garantir, em condições específicas, uma vantagem competitiva.

O betão com pré-colocação de agregados revela-se especialmente útil na execução e reforço de estruturas (ex: pilares ou estacas) em ambiente parcialmente submerso (Figuras 12 e 13), sobretudo em pontes e pontes-cais. A principal dificuldade na execução destes trabalhos reside na logística associada, nomeadamente ao nível da colocação de plataformas de trabalho e equipamentos na frente de obra, recorrendo-se frequentemente a cais provisórios e batelões. Neste aspeto, o betão com pré-colocação de agregados tem associado uma logística substancialmente mais simples

*SISTEMAS DE FUNDAÇÕES PARA  
POSTES DE CATENÁRIA COM BETÃO  
COM PRÉ-COLOCAÇÃO DE AGREGADOS*

quando comparado com o betão pronto tradicional, nomeadamente ao nível dos equipamentos, permitindo executar os trabalhos com meios mais ligeiros e, conseqüentemente, de uma forma mais rápida e económica.



**Figuras 12 e 13** – Execução e reparação de pilares e fundações da ponte de Santa Fé, Illinois, com betão com pré-colocação de agregados (Fonte: The Prepakt Reporter, 1955).

Outra aplicação de especial relevância está associada à execução de estruturas de betão em grandes volumes em ambiente submerso, através da colocação prévia dos agregados e posterior injeção da argamassa (Figuras 6, 7, 14 e 15). Esta técnica constitui uma vantagem comparativamente com o betão pronto tradicional, uma vez que no betão com pré-colocação de agregados em ambiente submerso, a segregação dos agregados grossos e da argamassa não se verifica, ao contrário do tradicional betão pronto onde se verifica uma maior tendência para “lavar” o cimento para fora do agregado. Neste âmbito importa realçar os ensaios realizados na Universidade Americana do Cairo (Metawie et. al., 2013), onde o betão com pré-colocação de agregados evidenciou resistências à compressão superiores às do betão convencional em ambientes totalmente submersos, na ordem dos 37% aos 28 dias.



**Figuras 14 e 15** – Execução de pilares da ponte de Mackinac, Michigan, com betão com pré-colocação de agregados em ambiente submerso (Fonte: ACI 304.1 R-92, 1997).

Uma outra aplicação comum para este tipo de tecnologia é a execução de estruturas em locais onde a acessibilidade se encontra fortemente condicionada, nomeadamente:

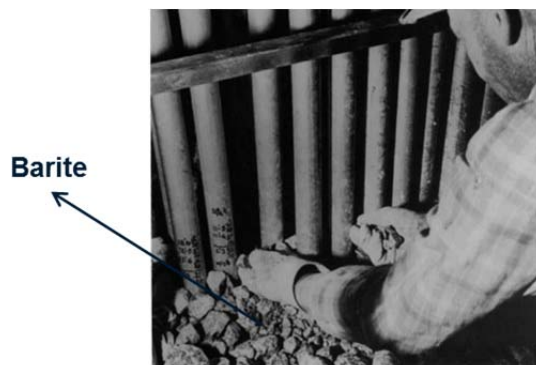
- Locais onde existe dificuldade em implantar equipamentos ou plataformas de trabalho que permitam realizar o tradicional processo de betonagem. Para estes casos pode ser significativamente mais simples e rápido executar o processo com recurso a betão com pré-colocação de agregados.
- Locais onde se verifica a existência de armaduras com um espaçamento reduzido entre varões, sendo a zona de intervenção suficientemente pequena para impedir ou dificultar a utilização de vibradores para a execução do processo de vibração de um betão tradicional. Neste tipo de situações, o agregado grosso, como elemento inerte, é colocado na envolvente das armaduras enquanto o acesso é possível. Posteriormente é injetada uma argamassa fluida que permita o preenchimento da totalidade dos vazios, criando uma estrutura monolítica de betão.



**Figuras 16 e 17** – Execução de estrutura de contenção nuclear com acesso condicionado e profusão de armaduras recorrendo a betão com pré-colocação de agregados (Fonte: ACI 304.1 R-92, 1997).

A execução de estruturas de proteção e contenção de radiações (ex: radiações ionizantes) e agentes biológicos constitui uma outra aplicação desta tecnologia. Este tipo de estruturas são particularmente relevantes quando existe limitações ao nível da largura das paredes, desempenhando os agregados grossos um papel fundamental na atenuação das radiações e permitindo a execução da estrutura com menores espessuras. Para garantir a espessura adequada, recorre-se à aplicação de agregados grossos pesados (ex: barite, magnetite, hematite), podendo utilizar-se, complementarmente, agregados finos pesados, de forma a obter um betão de alta densidade (Figura 18). A utilização de betão tradicional neste tipo de estruturas com

recurso a agregados grossos pesados revela-se especialmente difícil, verificando-se a acumulação de agregados grossos na base da estrutura durante o processo de execução, devido à elevada densidade deste material. O desenvolvimento de estudos nesta área dos betões de alta densidade com pré-colocação de agregados deve-se essencialmente ao trabalho conduzido por B. A. Lamberton e H. L. Davis (ACI 304.1 R-92, 1997).



**Figura 18** – Colocação manual de agregados pesados (barite) para execução de estrutura de proteção biológica no *Material Testing Reactor* em Arco, Idaho (Fonte: ACI 304.1 R-92, 1997).

O betão com pré-colocação de agregados constitui, desta forma, um processo alternativo sempre que existam limitações à utilização de betão pronto tradicional. Neste sentido, tal como foi referido anteriormente, o seu campo de aplicação é ilimitado, podendo ser utilizado em processos onde tradicionalmente se recorre a betão pronto sempre que se verifique uma condicionante que impeça a utilização deste.

No caso da execução dos sistemas de fundações de postes de catenária, a realização das atividades está suportada numa cuidada preparação e avaliação e implica também uma não menos cuidada logística para o fornecimento de materiais, nomeadamente do betão pronto. A ausência de acessos rodoviários e/ou de plataformas de trabalho pode dificultar a execução dos maciços de fundação, podendo alternativamente recorrer-se ao betão com pré-colocação de agregados como um meio mais ligeiro e flexível.

## 2.4 PROPRIEDADES DOS CONSTITUINTES DO BETÃO PA

No betão com pré-colocação de agregados, a argamassa que é injetada nos moldes contendo agregados grossos, é constituída por uma mistura de ligante (cimento ou cimento e cinzas volantes), areia, adjuvantes e água. Esta argamassa caracteriza-se por ter uma fluidez superior e uma relação água-ligante inferior às tradicionais argamassas utilizadas noutras aplicações (ex.: argamassas para aumento de resistência e redução de permeabilidade de solos). Para garantir essas características, os adjuvantes desempenham um papel crucial, mantendo simultaneamente uma boa trabalhabilidade da argamassa com uma relação água-ligante relativamente baixa.

### 2.4.1 Agregados Grossos

Em termos de normativos, os agregados grossos devem cumprir os requisitos definidos para o betão pronto convencional, que se encontram definidos na norma NP EN 12620: 2002, referente a Agregados para Betão, exceto no que se refere à granulometria.

Existem três aspetos importantes na seleção, preparação e colocação de agregados nos moldes e que podem condicionar a viabilidade do processo construtivo:

- Os agregados grossos devem ser isentos de agregados fragmentados e a sua superfície não deve conter poeiras ou finos que condicionem a ligação entre a argamassa e o agregado.
- O volume de água a utilizar na produção de argamassa deve ter em consideração a absorção inerente à utilização de agregados grossos no processo construtivo. Este fator, quando ignorado, pode conduzir à redução de fluidez da argamassa e, conseqüentemente, dificultar a injeção e o preenchimento dos vazios. Para minimizar a ocorrência deste fenómeno deve efetuar-se uma sobredosagem do volume de água na amassadura tendo em consideração a absorção prevista para os agregados ou, alternativamente, realizar uma pré-saturação dos agregados.
- Ao nível da granulometria, os agregados devem ter dimensões que permitam que a argamassa consiga fluir entre os vazios, sem que ocorra qualquer obstrução ou que fiquem vazios por preencher. Neste sentido, a granulometria

a adotar deve cumprir os requisitos definidos no Guia da American Concrete Institute (ACI 304.1 R-92, 1997) e que se encontram expressos no Quadro 1. Importa referir que não existe qualquer dimensão máxima para o agregado grosso associado ao processo construtivo, sendo o limite a capacidade de manuseamento dos equipamentos ou as próprias características (armaduras, largura da secção, recobrimentos, etc.) do local onde se vai aplicar o betão.

**Quadro 1** – Limites de granulometria para agregados grossos e finos para betão com pré-colocação de agregados (Fonte: ACI 304.1 R-92, 1997).

Abertura de peneiro	Percentagem de Material Passado		
	Grading 1	Grading 2	Grading 3
	<b>Agregado Grosso</b>		
37,5 mm	95-100	-	0,5
25,0 mm	40-80	*	-
19,0 mm	20-45	0-10	-
12,5 mm	0-10	0-2	-
9,5 mm	0-2	0-1	-
	<b>Agregado Fino</b>		
4,75 mm	-		100
2,36 mm	100		90-100
1,18 mm	95-100		80-90
600 microns	55-80		55-70
300 microns	30-55		25-50
150 microns	10-30		5-30
75 microns	0-10		0-10
Módulo de finura	1,3-2,10		1,60-2,45

\* Grau para o mínimo de conteúdo de vazios nas frações acima de 19 mm.

Para garantir o cumprimento destes requisitos, nomeadamente no que se refere à isenção de finos e de agregados fragmentados, deve ser efetuada, previamente, uma operação de triagem e lavagem dos agregados. A colocação dos agregados no molde deve ser realizada com os devidos cuidados e, se necessário, deve recorrer-se a equipamentos auxiliares que minimizem o impacto associado à queda dos mesmos.

A granulometria dos agregados grossos deve ser determinada de forma a garantir a capacidade de injeção da argamassa e a resistência pretendida para o betão. A

percentagem de vazios é variável, podendo ir de 35% para agregados bem graduados entre 19 mm e 150 a 200 mm, até 50% para agregados uniformemente graduados (ACI 304.1 R-92, 1997).

Por questões económicas, quanto menor for o volume total de vazios, menor será a argamassa a injetar, no entanto deverá ser suficiente de forma a permitir que a argamassa consiga fluir entre os agregados grossos, e garantir o preenchimento da totalidade dos vazios. Desta forma, o tamanho mínimo do agregado grosso e o tamanho máximo do agregado fino estão relacionados, conforme definido na Quadro 1.

### 2.4.2 Agregados Finos

Os agregados finos devem cumprir os requisitos definidos pela norma NP EN 12620: 2002, referente a Agregados para Betão, exceto no que se refere à granulometria, onde devem ser considerados os requisitos definidos no Guia da American Concrete Institute (ACI 304.1 R-92, 1997) que se encontram expressos na Quadro 1.

Para o fabrico de betão com pré-colocação de agregados pode ser utilizada areia natural ou artificial como agregado fino, devendo esta ser dura, densa, durável e sem qualquer revestimento. A utilização destes agregados é essencial para a execução da argamassa, desempenhando um papel crítico sobretudo no que se refere ao processo de injeção. A aplicação de agregados finos acima das granulometrias definidas pode provocar a obstrução dos vazios existentes na massa de agregados grossos, ou obstruir o sistema de injeção. Segundo Davies (Davies, 1994), o excesso de agregados finos vai aumentar a necessidade de água e, conseqüentemente, reduzir a resistência à compressão e aumentar a retração.

### 2.4.3 Ligantes e Adições

A preparação da argamassa pode ser executada com qualquer tipo de cimento considerado nas normas ASTM C 150 (Standard Specification for Portland Cement) ou ASTM C 595 (Standard Specification for Blended Hydraulic Cements), exceto cimentos com incorporação de ar. Segundo o Guia ACI 304R-00 (ACI 304R-00, 2000), a utilização deste tipo de cimentos com incorporação de ar, em combinação com alguns

agentes de fluidez, pode provocar a presença excessiva de ar na argamassa, que poderá resultar na redução de resistência do betão.

Complementarmente ao cimento, poderão ser utilizadas cinzas volantes de classe F ou N provenientes de centrais termoeléctricas de carvão, de acordo com a norma ASTM C 618 (ACI 304R-00, 2000).

**Quadro 2** – Classificação de cinzas volantes de acordo com as suas características químicas e físicas (Fonte: ASTM C 618, 2012).

Requisitos Químicos		Classe		
		N	F	C
SiO <sub>2</sub> + Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> + Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	min %	70	70	50
SO <sub>3</sub>	max %	4	5	5
Teor de Humidade	max %	3	3	3
Perda por ignição	max %	10	6	6
Requisitos Físicos		Classe		
		N	F	C
Finura (peneiro 45 µm)	max %	34	34	34
Índice resistência/CEM (7 e 28 dias)	min %	75	75	75
Requisitos de água	max %	115	105	105
Expansão em autoclave	max %	0,8	0,8	0,8
Requisitos de uniformidade				
Densidade	max %	5	5	5
Varição de Finura	max %	5	5	5

As cinzas volantes de classe F são frequentemente utilizadas uma vez que melhoram o processo de injeção e alargam o tempo de trabalhabilidade. Quanto às cinzas volantes de classe C, existem registos da sua aplicação em alguns casos, mas verificou-se a ausência de informação relativamente à sua influência na argamassa produzida. Segundo Davis (Davis, 1994), é comum realizar a substituição entre 5% e 35% do peso total do cimento por cinzas volantes, garantindo não só as tradicionais vantagens associadas às cinzas como redução do calor de hidratação, redução da permeabilidade e aumento de resistência a ataques químicos, como também, no caso específico do betão com pré-colocação de agregados, uma melhoria no processo de injeção e um efeito retardador no betão.

As cinzas volantes, normalmente, não são utilizadas quando se pretende executar estruturas de betão de alta densidade, como por exemplo estruturas de contenção e proteção de agentes biológicos, uma vez que a massa volúmica das cinzas é substancialmente inferior à do cimento, produzindo um betão com uma massa volúmica inferior. Segundo Davis (Davis, 1994), as cinzas volantes são também menos eficazes, comparativamente com o cimento, na fixação química de água, garantindo uma menor capacidade de reter fluxos elevados de neutrões, uma vez que estes são mais eficientemente atenuados por átomos de hidrogénio.

### 2.4.4 Adjuvantes

- Agentes Fluidificantes

Os agentes fluidificantes representam um elemento fundamental na execução de betão com pré-colocação de agregados, uma vez que visam promover a fluidez da argamassa que irá permitir o preenchimento dos vazios existentes entre os agregados grossos. Estes agentes devem cumprir os requisitos definidos na norma ASTM C 937, permitindo que a mistura mantenha uma elevada fluidez, uma reduzida relação água-cimento e retardando a presa, garantindo um incremento no tempo disponível para a injeção e penetração nos vazios no molde com agregados grossos.

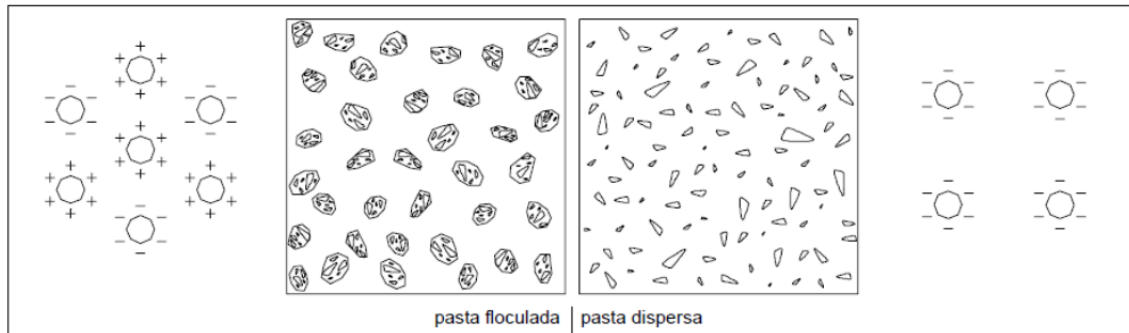
O ajuste inadequado da fluidez da argamassa no betão com pré-colocação de agregados conduz a elevadas perdas durante o processo de injeção (Metawie et. al. 2013). Neste sentido importa não só considerar a utilização destes adjuvantes, como também garantir uma dosagem adequada que permita reduzir os desperdícios associados ao processo construtivo.

Neste campo importa destacar a ação dos agentes superplastificantes, os quais provocam a dispersão das partículas finas da mistura, nomeadamente de cimento e de adições minerais, de forma a melhorar a fluidez da pasta. Segundo a norma NP EN 934-2 (NP EN 934-2, 2009), os superplastificantes são adjuvantes que, sem modificar a sua consistência, permitem reduzir fortemente a dosagem de água de um dado betão, ou que, sem modificar a dosagem de água, aumentam consideravelmente o abaixamento ou o espalhamento, ou que produzem os dois efeitos simultaneamente. Azevedo refere ainda que, no betão em estado fresco, os superplastificantes são em geral responsáveis por (Azevedo, 2002):

- aumento da massa volúmica do betão, consequência da redução da quantidade de água;
- acréscimo substancial da fluidez do betão;
- aumento da coesão da mistura, consequência da redução da quantidade de água;
- ligeiro aumento do teor em ar do betão, especialmente para dosagens elevadas de superplastificante;
- maior perda de abaixamento ao longo do tempo;
- aumento significativo da capacidade de bombagem, resultante da melhoria generalizada da trabalhabilidade e da coesão;
- diminuição da segregação.

A dispersão das partículas é conseguida através do aumento das forças de repulsão resultantes, principalmente, da adsorção de espécies poliméricas nas superfícies das partículas de cimento, e de adições minerais eventualmente introduzidas.

Ao adicionar um agente forte redutor de água, este é adsorvido pela superfície das partículas de cimento e de adições minerais eventualmente introduzidas. A adsorção faz-se pela parte hidrófoba da molécula do dispersante, ou seja, é a parte hidrófoba da molécula de superplastificante que fica rigidamente ligada à superfície do cimento, por outro lado a extremidade hidrófila fica bem mergulhada na água. A parte ionizada confere à partícula uma carga elétrica de certo sinal. Como consequência deste mecanismo, as partículas finas ficam ionizadas com carga do mesmo sinal, repelindo-se, devido à geração de forças repulsivas cuja origem pode ser electrostática e/ou através de repulsão estérica. Consequentemente, as partículas são homogeneamente distribuídas na solução aquosa, minimizando a quantidade de água necessária para que estas fiquem dispersas, o que conduz a uma maior fluidez/trabalhabilidade do betão. Tendo em conta que é reduzida a distância relativa entre partículas, pode ser dispensada a água em excesso, diminuindo, consequentemente, a razão água-ligante da mistura.



**Figuras 19** – Efeito dos superplastificantes sobre pastas de cimento (Fonte: Azevedo, 2002).

Os superplastificantes de nova geração apresentam longas cadeias laterais, perpendiculares à principal, que se estendem pela solução, apresentando um efeito estéreo mais pronunciado, garantindo uma maior estabilidade de dispersão e uma melhor manutenção da trabalhabilidade.

- Agentes Introdutores de Ar

Por norma, sempre que se verificarem condições ambientais que possibilitem a ocorrência de ações de gelo e degelo, são adicionados adjuvantes introdutores de ar os quais permitem garantir um aumento da resistência (ACI 304R-00, 2000). Este tipo de adjuvantes deve cumprir os requisitos definidos na norma ASTM C 260 (Standard Specification for Air-Entraining Admixtures for Concrete). No entanto, deve considerar-se que o ar total existente na argamassa será o somatório da contribuição deste adjuvante com o agente de fluidez, podendo incorrer num excessivo volume de ar e conseqüente redução da resistência da argamassa. Caso se verifique a necessidade de utilizar agentes introdutores de ar, deve ser efetuado um ajustamento às proporções de ambos os adjuvantes de forma a garantir a resistência e durabilidade pretendidas.

- Cloreto de Cálcio

O cloreto de cálcio é utilizado, ocasionalmente, com a função de desenvolver precocemente a resistência da argamassa, devendo cumprir os requisitos da norma ASTM D 98. No entanto quando utilizado em excesso (superior a 1%), pode ter um efeito negativo na ação expansiva do agente fluidificante. Em caso de utilização de armaduras, deve ser limitada a sua utilização de forma a prevenir a corrosão do aço, conforme referido no guia ACI 201.2R-08 e 318-11.

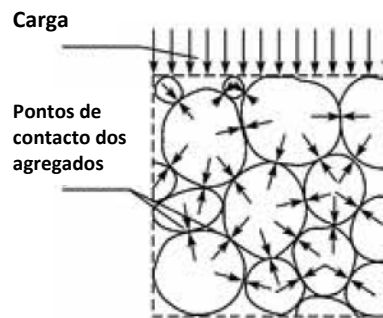
## 2.5 PROPRIEDADES DO BETÃO PA

### 2.5.1 Propriedades Especiais

O fabrico de betão com pré-colocação de agregados implica a utilização de um volume de agregados grossos idêntico ao volume da zona a ser betonada traduzindo-se, naturalmente, na presença de uma maior percentagem de agregados grossos quando comparado com o betão pronto tradicional. Os agregados grossos, colocados previamente no molde, ficam em contacto direto entre si, sendo vulgarmente utilizada a designação de contacto ponto-por-ponto.

A granulometria dos agregados grossos deve ser selecionada de forma a garantir que a totalidade dos vazios é preenchida pela argamassa. Neste sentido, por norma, não são utilizados agregados grossos que apresentem uma granulometria de pequena dimensão, permitindo que a argamassa preencha gradualmente a totalidade dos vazios durante o processo de execução do betão. Importa referir que a norma EN 1536 (EN 1536, 2010) refere que, para a execução de estacas recorrendo a betão PA, os agregados grossos devem apresentar uma dimensão superior a 25 mm. A existência de espaços vazios irá aumentar a porosidade do betão e poderá comprometer a resistência do mesmo.

Segundo estudos realizados por Abdelgader e Górski (Abdelgader et al., 2003), o módulo de elasticidade do betão com pré-colocação de agregados é ligeiramente superior ao do betão convencional. Esta diferença no módulo de elasticidade deve-se ao contacto direto entre os agregados grossos (contacto ponto-por-ponto), sendo o módulo de elasticidade maioritariamente afetado pelas propriedades mecânicas do agregado, nomeadamente a resistência à compressão cilíndrica, a textura da superfície e a granulometria. Isto pode ser explicado pela distribuição de tensões que ocorre através dos agregados grossos (Figura 20).



**Figura 20** – Contacto ponto-por-ponto entre os agregados grossos e distribuição de tensões quando sujeito a uma carga vertical (Fonte: O'Malley et al., 2010).

Ao nível da retração, Smoak (Smoak, 2002) refere que o betão com pré-colocação de agregados apresenta uma retração inferior ao betão convencional na ordem dos 50%. Associado a este aspeto, ensaios experimentais evidenciam a existência de fissuras de menor dimensão e largura comparativamente com o betão pronto tradicional (Metawie et. al., 2013).

Esta redução, segundo Davis (Davis, 1994), deve-se ao contacto ponto-por-ponto entre os agregados grossos que constituem o betão, que vai naturalmente restringir o volume de retração passível de ocorrer e, conseqüentemente, o aparecimento de fissuras. A existência de um menor número de fissuras traduz-se num melhor desempenho do betão a longo prazo, prolongando o tempo de vida das estruturas.

Esta característica vai ser de especial importância na reparação/reforço de estruturas, onde o betão com pré-colocação de agregados poderá garantir uma melhor ligação entre o betão existente e o betão de reforço.

### 2.5.2 Resistência

A resistência do betão com pré-colocação de agregados depende da qualidade, proporção e manuseamento dos materiais, nomeadamente da relação entre água e ligante. Segundo a American Concrete Institute (ACI 304.1 R-92, 1997), alguns estudos referem a possibilidade de atingir resistências à compressão na ordem dos 62 MPa aos 90 dias e 90 MPa em 1 ano. É expectável que as características e a granulometria dos agregados grossos utilizados na execução do betão com pré-colocação de agregados, tenha influência na resistência do próprio betão, assim como

a utilização de adjuvantes que garantam, simultaneamente, a fluidez da argamassa e uma baixa relação água/ligante.

Estudos levados a cabo na Universidade Americana do Cairo (Metawie et. al., 2013) evidenciaram resistências à compressão superiores aos 7 e 28 dias para o betão com pré-colocação de agregados comparativamente com um betão tradicional constituído pelo mesmo tipo de elementos. Estes resultados foram verificados em ensaios realizados tanto em ambiente seco como em ambiente submerso, demonstrando que o betão com pré-colocação de agregados pode traduzir-se como uma alternativa efetiva ao betão pronto tradicional.

### 2.5.3 Aderência

Ao nível do contacto entre o betão com pré-colocação de agregados adicionado a superfícies rugosas de betão existente, estudos revelam que a ligação entre ambos se efetua de uma forma excelente (Davis, 1960), devido essencialmente a dois fatores:

- A argamassa utilizada para consolidar o agregado grosso previamente colocado penetra nas irregularidades da superfície e poros, estabelecendo uma ligação inicial;
- A baixa retração associada ao betão com pré-colocação de agregados minimiza o stress que poderia estar associado à interface entre ambos os betões.

Desta forma é expectável que uma estrutura reparada com betão com pré-colocação de agregados apresente uma tensão de rutura elevada. Segundo a American Concrete Institute (ACI 304.1 R-92, 1997), estudos não publicados em vigas associados à utilização de betão com pré-colocação de agregados com betão convencional revelaram tensões de rutura superiores a 80% comparativamente com uma viga monolítica de betão tradicional.

### 2.5.4 Durabilidade

Ao nível da durabilidade, o betão com pré-colocação de agregados utilizado na reparação de estruturas normalmente expostas a condições atmosféricas severas, a American Concrete Institute (ACI 304.1 R-92, 1997) refere diversos casos que evidenciaram bons resultados após alguns anos da sua aplicação. É referido, como exemplo, as vigas e pilares da West 6th Street Viaduct, Erie, Pennsylvania, onde 26

anos após a reparação se verificou que a estrutura se mantinha boas condições (Figuras 21 e 22).



**Figuras 21 e 22** – Pilares e vigas na West 6th Street Viaduct, Erie, Pennsylvania antes da reparação (a) e 26 anos após reparação (b) com betão com pré-colocação de agregados (Fonte: ACI 304.1 R-92, 1997).

Outro exemplo é referido pelo Department of the Army – U.S. Army Corps of Engineers (EM 1110-2-2002, 1995), onde é descrito o caso de reparação em toda a altura das paredes de contenção de canal no rio Monongahela em Pittsburgh, Pennsylvania, que foi executado em 1950 através da utilização de betão com pré-colocação de agregados. Após 35 anos foi efetuada uma inspeção visual à zona de reparação e verificou-se que, apesar de existirem pequenas fissuras, a parede apresentava, na generalidade, boas condições após um longo período de exposição.

## 2.6 PROCEDIMENTO DE CONSTRUÇÃO

### 2.6.1 Preparação de Superfícies

A aplicação do betão com pré-colocação de agregados deve ser precedida de uma preparação da zona de trabalhos. Para tal deve ter-se em consideração as condições ambientais e as superfícies onde se vai aplicar o betão, com o objetivo de estabelecer uma boa ligação entre o betão e as superfícies existentes. Segundo o Guia da American Concrete Institute (ACI 304.1 R-92, 1997), a aplicação de betão com pré-colocação de agregados em superfícies de betão existentes deve ser precedida de

uma limpeza da superfície e remoção do betão deteriorado conforme ilustrado na Figura 23.



**Figura 23** – Superfície de betão previamente preparada para aplicação de betão com pré-colocação de agregados (Fonte: ACI 304.1 R-92, 1997).

De acordo com o referido guia (ACI 304.1 R-92, 1997), para a reparação em estruturas de betão armado deve ser garantido um espaçamento de pelo menos 4 vezes o diâmetro da máxima dimensão do agregado atrás de qualquer armadura existente, ou em zonas onde serão adicionadas armaduras. Este procedimento tem como objetivo garantir uma boa ligação entre o betão e as armaduras.

Não foram identificados quaisquer estudos relativamente a requisitos de preparação de outras superfícies para a aplicação de betão com pré-colocação de agregados, nomeadamente no que se refere a solos. Não obstante, considera-se razoável, antes da aplicação do betão, garantir que o solo se encontra devidamente estabilizado, o qual pode ser obtido através das próprias características do solo ou recorrendo, alternativamente, a fluidos estabilizantes (bentonites ou polímeros).

### 2.6.2 Tubagens de Injeção

Para a injeção da argamassa no molde recorre-se à utilização de tubos de injeção, os quais devem ser criteriosamente selecionados de forma a garantir caudais de injeção que permitam não só otimizar o processo construtivo, como também garantir o preenchimento da totalidade dos vazios existentes.

Segundo o Guia da American Concrete Institute (ACI 304.1 R-92, 1997), para a execução de betão com pré-colocação de agregados com funções estruturais, utiliza-se normalmente tubagens entre 20 mm e 30 mm de diâmetro da série 40. Já para aplicações em betão em grandes volumes, recorre-se normalmente à utilização de tubagens de 40 mm de diâmetro da série 40.

O Guia da American Concrete Institute (ACI 304.1 R-92, 1997) define que a tubagem deve ser posicionada verticalmente até 150 mm da parte superior do betão com pré-colocação de agregados ou, alternativamente, poderá ser colocado horizontalmente a diferentes elevações. É também referido que os tubos de injeção devem ser progressivamente retirados durante o processo de injeção, mantendo sempre a extremidade do mesmo a um mínimo de 30 cm abaixo da superfície da argamassa. O guia refere ainda que para injeções em grandes profundidades poderá ser necessário a utilização de tubagens complementares com diâmetros ajustados consoante a profundidade em que se pretende realizar a injeção.

O espaçamento entre tubagens deve ser definido entre 1,2 m e 3,7 m, sendo normalmente adotado um espaçamento entre 1,5 m e 1,8 m (ACI 304.1 R-92, 1997). Os tubos de injeção são normalmente posicionados de forma a permitir a sua extração durante e após o processo de injeção. A utilização de tubagens retas é preferível, uma vez que permite que a injeção se realize de uma forma mais rápida, sendo facilmente desobstruídas em caso de entupimento. Poderão ser utilizados tubos extra, com o objetivo de prevenir a ocorrência de obstrução em qualquer uma das tubagens, funcionando complementarmente como tubagens de purga.

Quando a argamassa é injetada através de tubagens verticais, utiliza-se normalmente tubos de sondagem de forma a verificar qual o nível a que se encontra a superfície da argamassa. Este tipo de elementos consiste, normalmente, em tubagens metálicas de 50 mm que são colocadas na proporção de 1:4 a 1:10 relativamente aos tubos de injeção (ACI 304.1 R-92, 1997).

### 2.6.3 Moldes

A pressão exercida pela argamassa nos moldes corresponde ao peso estático da argamassa, a qual apresenta valores na ordem dos 2080 kg/m<sup>3</sup> (ACI 304.1 R-92, 1997). A pressão associada ao processo de injeção não tem praticamente influência

nos moldes, verificando-se uma dissipação total da pressão junto às extremidades das tubagens. Esta dissipação da pressão deve-se à capacidade da argamassa de se movimentar facilmente entre os agregados grossos, facto pela qual a argamassa deverá necessariamente possuir uma fluidez adequada.

Para a execução do betão, deve considerar-se a utilização de trabalhadores qualificados que garantam a montagem dos moldes adequadamente, de forma a prevenir a ocorrência de fugas. Importa relembrar que, tratando-se de um processo que utiliza uma argamassa de elevada fluidez, é importante garantir a inexistência de descontinuidades nos moldes que comprometam a viabilidade do processo construtivo. As juntas entre painéis que não encaixem na totalidade são, usualmente, seladas através do seu interior recorrendo a fita auto-adesiva. Os pontos de fixação e conexão entre painéis devem ser firmemente instaladas e seladas, de forma a prevenir a ocorrência de fugas nesses pontos.

Ao nível dos materiais, para a aplicação de betão com pré-colocação de agregados recorre-se aos tradicionais materiais como madeira ou derivados de madeira (normalmente para pequenos trabalhos), cofragens mistas de aço e madeira ou prefabricados de betão. No caso de trabalhos submersos utiliza-se, por norma, estacas pranchas metálicas, devendo ter-se especial atenção às pressões estáticas exercidas, sobretudo quando se efetuam injeções de argamassa durante um longo período de tempo.

#### 2.6.4 Colocação de Agregados Grossos

Conforme foi referido anteriormente, os agregados grossos devem ser previamente lavados e triados, com o objetivo de remover todos os elementos que possam envolver os agregados e que possam comprometer a sua ligação com a argamassa a ser injetada. Esta lavagem não deve ser efetuada nos moldes finais, uma vez que os finos terão tendência a acumular na parte inferior dos mesmos.

A colocação dos agregados grossos pode ser efetuada através de diversos tipos de dispositivos como baldes, camiões basculantes, retroescavadoras ou outros equipamentos. Segundo o Guia da American Concrete Institute (ACI 304.1 R-92, 1997), sempre que a altura de queda seja superior a 1,5 m deverão ser utilizados dispositivos auxiliares de forma a minimizar a segregação e fragmentação dos

agregados. Como exemplo é referido por Davis, Johnson e Wendell (Davis et al., 1955) o caso da construção do túnel de Kamano Penstock, no Canadá, onde foi adotado um tubo metálico com um diâmetro superior a quatro vezes o tamanho máximo do agregado para colocar o agregado de uma altura de 300 m.

Nos casos em que o agregado grosso está a ser colocado em ambiente submerso através de navios, barcaças ou outros dispositivos (Figuras 6, 7, 14 e 15), este problema já não se verifica, uma vez que a impulsão da água vai influenciar a velocidade terminal dos agregados, evitando que ocorra a segregação e fracturação dos agregados.

A consolidação dos agregados grossos através de vibração ou qualquer outro mecanismo tem um efeito muito reduzido. No entanto quando se tem uma zona onde existe um grande volume de armaduras ou quando a acessibilidade é condicionada, poderá recorrer-se a estes sistemas de forma a garantir uma melhor distribuição dos agregados. Em alguns casos poderá mesmo ter de se colocar os agregados grossos manualmente, nomeadamente em zonas com reduzido espaçamento entre armaduras ou estruturas nucleares (Figura 18).

Para a execução de estruturas submersas deve ser efetuada uma análise prévia à qualidade da água de forma a avaliar a existência de contaminantes, nomeadamente a nível orgânico. Segundo o Guia da American Concrete Institute (ACI 304.1 R-92, 1997), a presença de contaminantes pode condicionar a qualidade final do betão, através do agregado grosso. Sempre que se verifique qualquer contaminação que não é passível de ser eliminada ou controlada, não é aconselhado que o prazo de injeção da argamassa ultrapasse os dois dias, devendo adotar-se um método alternativo ao betão com pré-colocação de agregados. Caso não se verifique indícios de qualquer contaminação, os agregados podem permanecer no local até um prazo de seis meses antes de iniciar o processo de injeção, sem que ocorram resultados adversos (Ciccolella et al., 1949).

### 2.6.5 Preparação da Argamassa

A preparação da argamassa deve ser executada de acordo com as especificações referidas na norma ASTM C 938. As dosagens para as situações típicas variam, normalmente, entre 2:1:3 e 4:1:5 por peso respetivamente de cimento, cinzas e areia.

Relativamente à relação água-ligante, por norma varia entre 0,43 e 0,47, sendo adicionado um agente fluidificante correspondente a 1% do material ligante (Davis, 1994). Para aplicações em massa, a relação entre ligante e areia pode ser reduzida a uma relação de 1:2, mas abaixo deste valor já se verificam algumas limitações ao nível da injeção.

Ao nível da consistência, a argamassa deve apresentar um tempo de  $22 \pm 2$  seg. quando efetuada a verificação através do método do flow cone, de acordo com o procedimento definido na norma ASTM C939.

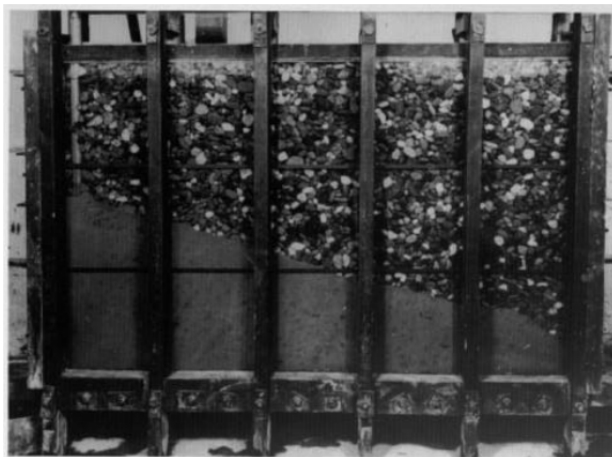
#### 2.6.6 Injeção da Argamassa

O processo de injeção deve ser precedido de uma preparação prévia, nomeadamente no que respeita à existência de fugas nos moldes (por exemplo através do enchimento prévio com água). As mangueiras de injeção também devem ser previamente desconectadas e lavadas com água, de forma a garantir que não ocorre qualquer absorção de água durante o processo de injeção. Após iniciar o processo de injeção, a taxa de bombeamento deve ser lenta durante alguns minutos, de forma a permitir a acumulação de argamassa no ponto de descarga.

Relativamente ao processo de injeção, existem dois procedimentos padrão (EM 1110-2-2002, 1995):

- Por camadas horizontais – O processo efetua-se horizontalmente através de vários pontos de injeção que se encontram posicionados a diferentes alturas. A injeção processa-se gradualmente da parte inferior para a parte superior, funcionando um ponto de injeção de cada vez. Desta forma o processo vai-se desenvolvendo gradualmente a partir da base, sendo os pontos de injeção selados à medida que a argamassa atinge o ponto seguinte. Este processo é repetido sucessivamente até todos os agregados se encontrarem envolvidos em argamassa (Figura 10 e 11).
- Por tubagens verticais – O processo de injeção é efetuado através da inserção de uma tubagem vertical, a qual vai debitando a argamassa sucessivamente até esta aparecer à superfície. Neste método a argamassa vai desenvolver uma inclinação a partir da zona de injeção (Figura 24), a qual está relacionada

com a sua fluidez, podendo ser mitigada através da utilização de diversos pontos de injeção.



**Figura 24** – Injeção vertical de argamassa num molde de vidro, com utilização de agregados com a mínima dimensão de 13 mm (Fonte: ACI 304.1 R-92, 1997).

O processo de injeção deve processar-se continuamente e deve ser controlado através da utilização de tubos de sondagem, de forma a garantir o preenchimento gradual e total de todos os vazios existentes. A taxa de elevação da argamassa no agregado deve ser controlada, com o objetivo de prevenir a ocorrência de pressões excessivas nos moldes, evitar o arrastamento de agregados grossos à superfície e a formação de inclinações excessivas da argamassa dentro do molde. Segundo o Guia da American Concrete Institute (ACI 304.1 R-92, 1997), normalmente taxas de elevação da argamassa de 0,6 m/min ou menos previnem a ocorrência dos problemas anteriormente citados. Ainda segundo este Guia, o caudal debitado através de um ponto de injeção deve variar entre 0,03 m<sup>3</sup>/min e 0,11 m<sup>3</sup>/min, dependendo naturalmente da configuração do molde, da fluidez da argamassa e da granulometria dos agregados grossos.

O Guia da American Concrete Institute (ACI 304.1 R-92, 1997) refere ainda que a vibração dos moldes a baixas frequências e grandes amplitudes durante o processo de injeção, permite que a argamassa cubra a ligação entre agregados e o molde, garantindo um excelente acabamento à superfície. Não obstante, vibração excessiva poderá provocar exsudação com possível arrastamento de partículas de cimento e areia para a superfície. Ao nível interno do molde, a vibração não produz qualquer efeito e deve ser evitada.

Na fase terminal do processo de injeção deve ter-se especial cuidado com o deslocamento dos agregados grossos que se encontram à superfície. Para evitar que isso aconteça, normalmente reduz-se o caudal de injeção. Relativamente ao processo de cura do betão com pré-colocação de agregados, este realiza-se da mesma forma que o betão convencional, podendo aumentar a impermeabilização e a resistência sempre que sejam utilizadas cinzas volantes, desde que o processo de cura seja prolongado.



# CAPÍTULO 3

## CARATERIZAÇÃO DO BETÃO PA

### 3.1 INTRODUÇÃO

As propriedades do betão com pré-colocação de agregados são largamente influenciadas pelas características e dosagens dos materiais que o constituem, sobretudo no que se refere à sua resistência.

Os elementos constituintes do betão devem ser cuidadosamente selecionados e doseados de acordo com as características da estrutura que se pretende executar e tendo em consideração os esforços a que se encontra sujeito durante o seu tempo de vida útil.

Importa referir que a seleção dos elementos constituintes deve ser compatível com as várias etapas associadas ao processo construtivo, nomeadamente no que respeita ao processo de injeção. A utilização de agregados grossos com uma granulometria reduzida ou de uma argamassa com uma consistência elevada pode comprometer, decisivamente, a capacidade de preenchimento dos vazios e, conseqüentemente, do processo construtivo.

Neste capítulo procede-se à caraterização do betão com pré-colocação de agregados, recorrendo a ensaios laboratoriais e experimentais com o objetivo de otimizar a dosagem dos elementos constituintes em função dos maciços a serem executados. Para o processo de caraterização desenvolveu-se conhecimentos sobre as características mecânicas do betão em função da dimensão dos agregados, da dosagem de cimento e eventuais adições (cinzas volantes), bem como dos adjuvantes. Os ensaios foram realizados, na totalidade, no Laboratório de Materiais da Teixeira Duarte – Engenharia e Construções, S.A..

## 3.2 MATERIAIS E EQUIPAMENTOS

### 3.2.1 Materiais

Cimento: Cimento Portland CEM I – 42,5R

Cinzas volantes: Provenientes da Central Termoelétrica do Pego.

Agregados finos: Areia de granulometria 0-2 mm com módulo de finura de 1,63.

Areia de granulometria 0-4 mm com módulo de finura de 3,27.

Agregados grossos: Brita calcária 12-20 mm com percentagem de finos de 0,6%.

Brita calcária 20-32 mm com percentagem de finos de 1,0%.

Adjuvante superplastificante: Glenium Sky 617, com base numa cadeia de éter policarboxílico modificado, com elevada manutenção da trabalhabilidade e durabilidade.

Adjuvante modulador de viscosidade: Rheomatrix 175, de nova geração que melhora a coesão, compacidade e estabilidade da mistura.

Água: A água utilizada em todos os processos é proveniente da rede pública.



**Figura 25** – Agregado Grosso 12-20 mm.



**Figura 26** – Agregado Grosso 20-32 mm.



**Figura 27** – Agregado fino 0-2 mm.



**Figura 28** – Agregado fino 0-4 mm.

### 3.2.2 Equipamentos

Flow Cone: Cone para ensaio de consistência da calda de acordo com a norma ASTM C939, com diâmetro de saída de 12,7 mm.

Moldes cilíndricos: Moldes para execução de provetes cilíndricos com 150x300 mm de acordo com a norma ASTM C943.

Moldes cúbicos: Moldes para provetes cúbicos para argamassa 50x50x50 mm, de acordo com a norma ASTM C942.

Moldes prismáticos: Moldes para provetes prismáticos para argamassa 40x40x160 mm, de acordo com a norma NP EN 196-1.

Misturadora: Misturadora de eixo vertical para execução da amassadura da calda com capacidade para 30 litros.

Funil: Funil com 3 litros de capacidade e seção de saída de 2,3 cm<sup>2</sup> para injeção de calda nos moldes.

Tripé: Tripé para suporte do funil.

Tubo PVC: Tubagem rígida de diâmetro interno de 1,7 cm para injeção de calda nos moldes.



**Figura 29** – Misturadora.



**Figura 30** – Moldes cilíndricos.



**Figura 31** – Flow Cone.



**Figura 32** – Sistema de injeção de argamassa (tripé e funil).

### **3.3 TRABALHO EXPERIMENTAL**

#### **3.3.1 Planeamento**

Este estudo desenvolveu-se em duas fases distintas onde se procurou, numa primeira fase, analisar a calda/argamassa de injeção, enquanto que numa segunda fase se procurou avaliar o betão com pré-colocação de agregados com utilização da argamassa obtida da primeira fase, conforme evidenciado no Quadro seguinte.

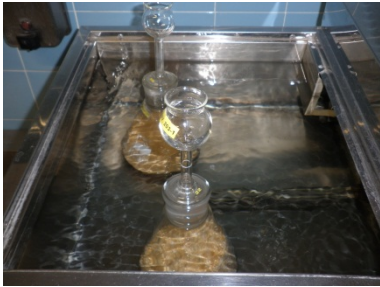
**Quadro 3** – Caracterização dos ensaios planeados ao nível da argamassa e do betão PA.

<b>1ª Fase – Calda/Argamassa de Injeção</b>	
<b>Estudo dos agregados finos</b>	
Análise granulométrica da areia 0/2 e 0/4 mm	NP EN 933-1
Massa volúmica	NP EN 1097-6
Baridade e volume de vazios	NP EN 1097-3
<b>Estudo das caldas</b>	
Amassaduras experimentais calda C1.1	
Amassaduras experimentais calda C1.2	
Amassaduras experimentais calda C1.3	
Consistência	ASTM C939
Exsudação e variação de volume	NP EN 445
Resistência mecânica (molde 40x40x160)	NP EN 196-1
Resistência à compressão (molde 50x50x50)	ASTM C942
<b>2ª Fase – Betão PA</b>	
<b>Estudo dos agregados grossos</b>	
Análise granulométrica dos agregados 12/20 e 20/32 mm	NP EN 933-1
Massa volúmica	NP EN 1097-6
Baridade e volume de vazios	NP EN 1097-3
<b>Estudo dos betões PA</b>	
Amassaduras experimentais betão B1.1 (para duas granulometrias de agregados grossos)	
Amassaduras experimentais betão B1.2 (para duas granulometrias de agregados grossos)	
Amassaduras experimentais betão B1.3 (para duas granulometrias de agregados grossos)	
Execução de provetes para ensaios (10 provetes 150x300 por betão "9 provetes para compressão a 3 idades (7, 28 e 90 dias) e 1 provete para porosidade") para cada tipo de betão PA	

### 3.3.2 Estudo dos Agregados

Previamente ao estudo da calda/argamassa de injeção e do betão com pré-colocação de agregados, realizou-se o estudo dos agregados grossos e finos, para os quais se realizaram os seguintes ensaios de caraterização:

- Análise granulométrica (NP EN 933-1)
- Massa volúmica (NP EN 1097-6)
- Baridade e volume de vazios (NP EN 1097-3)



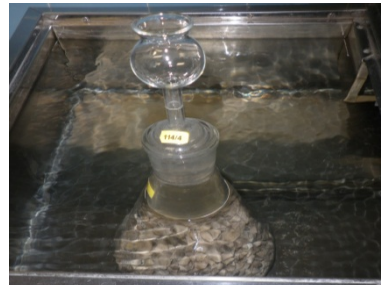
**Figura 33** – Determinação da massa volúmica e absorção dos agregados finos.



**Figura 34** – Determinação da granulometria dos agregados finos.



**Figura 35** – Determinação da baridade dos agregados finos.



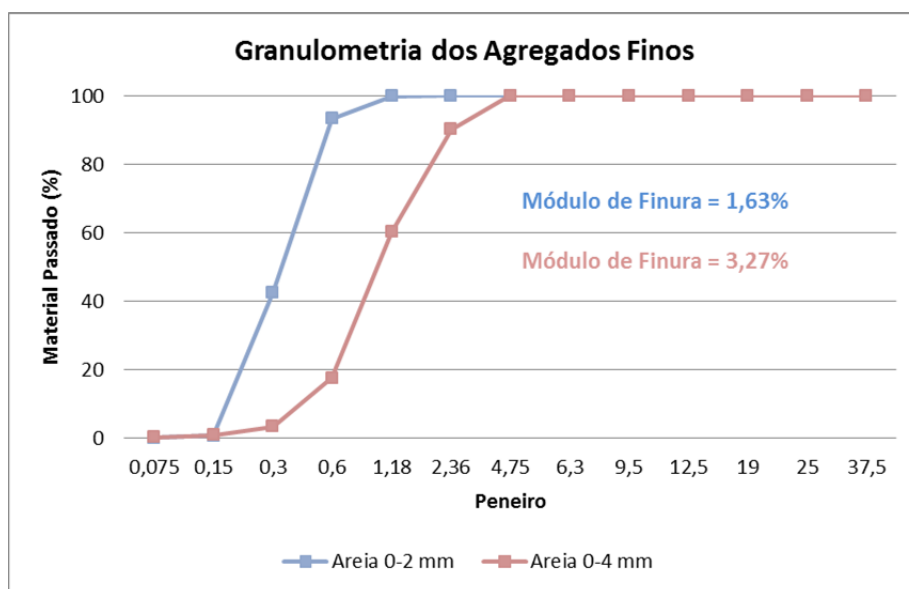
**Figura 36** – Determinação da massa volúmica e absorção dos agregados grossos.

Os resultados obtidos para os ensaios realizados aos agregados grossos e aos agregados finos encontram-se expressos no Quadro 4 e nas Figuras 37 e 38.

**Quadro 4** – Caracterização dos agregados finos e dos agregados grossos.

	Agregados Finos		Agregados Grossos	
	0-2 mm	0-4 mm	12-20 mm	20-32 mm
Massa volúmica saturada (t/m <sup>3</sup> )	2,61	2,60	2,68	2,68
Massa volúmica seca (t/m <sup>3</sup> )	2,60	2,58	2,66	2,66
Absorção de água	0,4%	0,5%	0,6%	0,6%
Baridade (t/m <sup>3</sup> )	1,49	1,55	-	-
Percentagem de vazios (%)	42,8	40	40*	

\* Valor estimado com base em ensaios laboratoriais expeditos não normalizados, recorrendo à determinação do volume de água necessário para preenchimento de vazios de provetes previamente preenchidos com agregados grossos saturados.



**Figura 37** – Granulometria dos agregados finos.

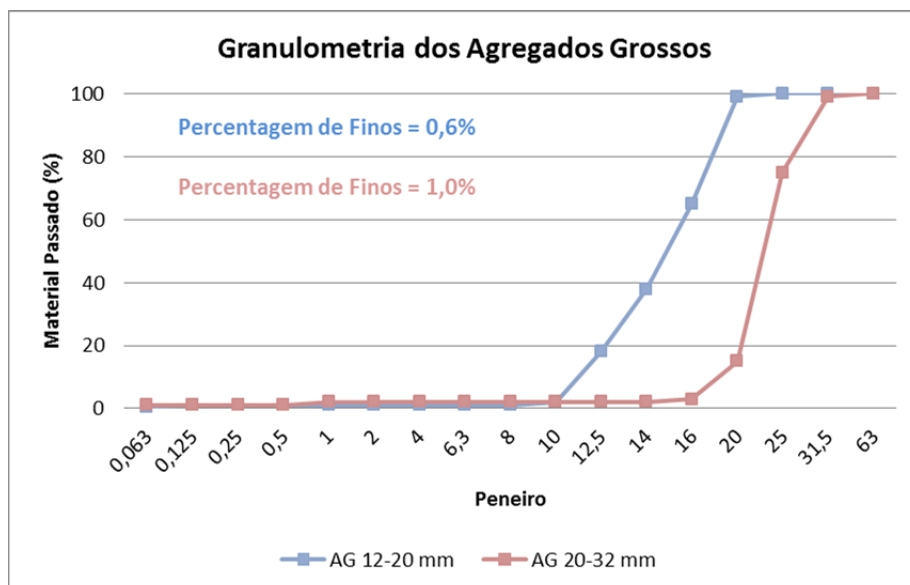


Figura 38 – Granulometria dos agregados grossos.

### 3.3.3 Estudo da Calda/Argamassa de Injeção

O estudo da argamassa de injeção, teve como referência uma calda base, designada de calda zero, com a seguinte composição por metro cúbico:

- Cimento CEM I 42,5R – 270kg
- Cinzas volantes – 500kg
- Água – 264 l
- Glenium Sky 617 – 7,27kg
- Rheomatrix 175 – 2,98kg
- Agregado fino 0-2 mm – 667kg

A partir desta composição base procurou otimizar-se a dosagem de constituintes, de forma a obter uma argamassa com a fluidez compatível com os requisitos definidos na norma ASTM C939 (Ensaio de Flow Cone de  $22 \pm 2$  seg.). Para otimização da calda variou-se a relação água/ligante, e a dosagem de adjuvantes.

A calda com a fluidez que mais se aproxima dos 22 segundos foi escolhida como Calda Base, ou seja, calda C1.1, procurando garantir uma relação água-ligante entre 0,43 e 0,47.

Posteriormente, tendo como referência a calda base, definiu-se outras duas caldas através da variação da dosagem de cimento e de cinza nas proporções indicadas no Quadro 5.

**Quadro 5** – Caracterização das caldas experimentais relativamente à proporção de ligantes (cimento e cinzas volantes).

Calda	Cimento	Cinzas
Calda C1.1 (CEM 35%)	35%	65%
Calda C1.2 (CEM 50%)	50%	50%
Calda C1.3 (CEM 65%)	65%	35%

\*Percentagens relativas à massa de material ligante.

Para o estudo das caldas C1.1, C1.2 e C1.3 realizaram-se os ensaios que se descrevem de seguida:

- Consistência (ASTM C939)
- Exsudação e variação de volume (NP EN 445)
- Massa volúmica (EN 1015-6)
- Resistência à compressão (50x50x50 mm) (ASTM C942)
- Resistência à flexão/compressão (40x40x160) (NP EN 196-1)



**Figura 39** – Processo de amassadura da calda.



**Figura 40** – Determinação da consistência através do flow cone.



**Figura 41** – Execução de provetes da calda C1.1.



**Figura 42** – Ensaio de exsudação e variação de volume.



**Figura 43** – Determinação da massa volúmica.



**Figura 44** – Determinação da resistência à flexão.

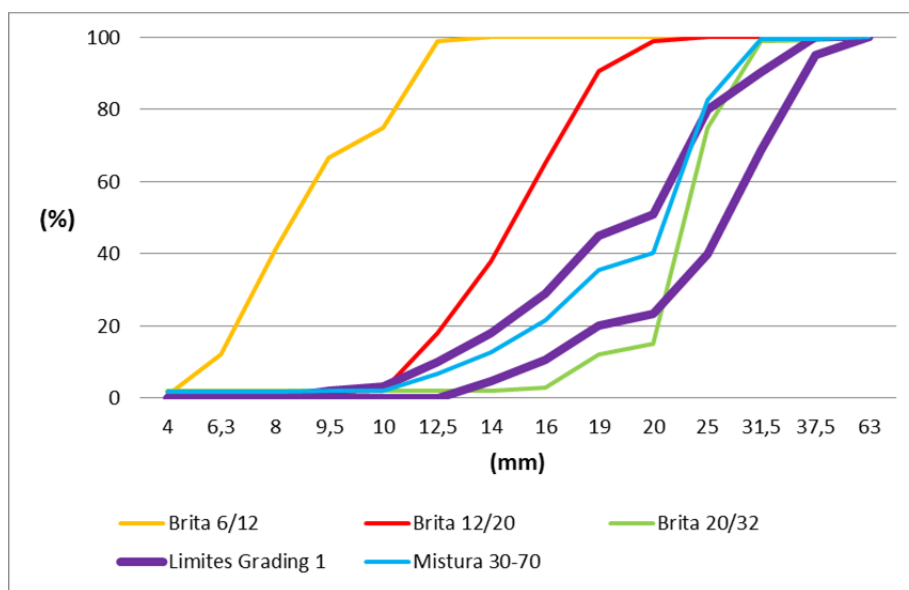
#### 3.3.4 Estudo do Betão PA

O estudo do betão PA foi realizado para cada uma das caldas anteriormente definidas (C1.1, C1.2 e C1.3), para as quais foram executados provetes em moldes cilíndricos de 150x300 mm, seguindo a norma ASTM C943.

Para a execução dos provetes, para cada uma das caldas definiu-se duas misturas de agregado grosso em conformidade com os fusos granulométricos definidos no Guia ACI 304.1 R-92 para o “Grading 1” (Quadro 1), e que se evidenciam no Quadro 6 e na Figura 45.

**Quadro 6** – Caracterização dos betões PA experimentais relativamente à proporção de agregados grossos e ligantes (cimento e cinzas volantes).

Calda	Betão PA	Agregados Grossos		Ligantes	
		12-20 mm	20-32 mm	Cimento	Cinzas
C1.1	B1.1.1	0%	100%	35%	65%
	B1.1.2	30%	70%	35%	65%
C1.2	B1.2.1	0%	100%	50%	50%
	B1.2.2	30%	70%	50%	50%
C1.3	B1.3.1	0%	100%	65%	35%
	B1.3.2	30%	70%	65%	35%



**Figura 45** – Curvas granulométricas dos agregados grossos (Brita 6/12, Brita 12/20, Brita 20/32 e mistura de brita 12/20 e 20/32 na proporção 30%-70%) e dos fusos definidos no Guia ACI 304.1 R-92 para o “Grading 1”.

Excluiu-se desta análise a utilização de agregados grossos de menor granulometria, uma vez que ensaios prévios revelaram dificuldades durante processo de injeção, devido à relação entre a dimensão dos vazios e a dimensão máxima da areia da calda (Figura 46). Este facto é facilmente explicado quando se procede à análise da curva

granulométrica destes agregados, a qual se apresenta largamente abaixo dos fusos definidos para o “grading 1” do Guia ACI 304.1 R-92 (Figura 45).



**Figura 46** – Provetes de betão com pré-colocação de agregados executado com recurso a 50% de agregados grossos de granulometria 6-12 mm e 50% de agregados grossos de granulometria 12-20 e dimensão máxima de areia 4 mm.

O processo de injeção realizou-se através da utilização de um sistema que consistia num funil suportado por um tripé e um tubo de injeção acoplado ao funil e com saída na base dos provetes previamente preenchidos com agregados grossos (Figuras 49 e 50). Esta metodologia, por motivos associados ao processo construtivo, constitui uma adaptação ao método definido pela norma ASTM C943-10, que prevê que a injeção dos provetes se realize a partir da base, encontrando-se o provete selado na parte superior com placas perfuradas.

Para cada tipo de betão, executaram-se ensaios de compressão simples (3 provetes para cada tipo de betão e idade) aos 7, 28 e 90 dias e ensaios de porosidade (1 provete aos 28 dias), perfazendo um total de 10 provetes por tipo de betão.

*SISTEMAS DE FUNDAÇÕES PARA  
POSTES DE CATENÁRIA COM BETÃO  
COM PRÉ-COLOCAÇÃO DE AGREGADOS*



**Figura 47** – Processo de amassadura da argamassa.



**Figura 48** – Conjunto de provetes de betão PA.



**Figura 49** – Sistema de injeção da calda nos provetes com agregados grossos.



**Figura 50** – Pormenor do sistema de injeção nos provetes.



**Figura 51** – Provetes preparados para os ensaios de porosidade.



**Figura 52** – Determinação da resistência à compressão dos provetes cilíndricos.

### 3.3.5 Preparação dos provetes

Os provetes foram desmoldados 48 horas após o seu fabrico e conservados em câmara saturada a uma temperatura de 20°C e com uma humidade relativa superior a 95%. Para a realização dos ensaios de compressão simples, os provetes cilíndricos foram retificados com uma pasta de cimento segundo a norma NP EN 12390-3.



**Figura 53** – Câmara de cura do Laboratório de Materiais da Teixeira Duarte.

O ensaio de porosidade foi realizado segundo a norma ASTM C 642:2006 em provetes cilíndricos serrados ao meio após terem sido eliminados cerca de 2 cm na face de enchimento.

## **3.4 RESULTADOS E DISCUSSÃO**

### 3.4.1 Estudo da Calda/Argamassa de Injeção

Os resultados referentes ao estudo efetuado às caldas C1.1, C1.2 e C1.3 encontram-se evidenciados no Quadro 7 e nas Figuras 54, 55 e 56. Importa referir que, apesar do resultado de fluidez obtido para a calda C1.3 se apresentar ligeiramente superior aos requisitos definidos na norma ASTM C939 (Ensaio de Flow Cone de  $22 \pm 2$  seg.), verificou-se através de ensaios laboratoriais que a consistência se apresentava compatível com o sistema de injeção adotado, não limitando o processo de execução de provetes.

SISTEMAS DE FUNDAÇÕES PARA  
POSTES DE CATENÁRIA COM BETÃO  
COM PRÉ-COLOCAÇÃO DE AGREGADOS

**Quadro 7** – Resultados dos ensaios das caldas/argamassas de injeção (C1.1, C1.2 e C1.3).

Materiais		Caldas		
		C1.1	C1.2	C1.3
<b>Composição</b>				
Cimento (kg/m <sup>3</sup> )		270	385	500
Cinzas (kg/m <sup>3</sup> )		500	385	270
Areia 0-2 mm (kg/m <sup>3</sup> )		667	667	697
Areia 0-4 mm (kg/m <sup>3</sup> )		278	278	308
Água livre (l/m <sup>3</sup> )		330	330	330
Glenium Sky 617 (kg/m <sup>3</sup> )		10,8	10,8	10,8
Rheomatrix (kg/m <sup>3</sup> )		2,9	2,9	2,9
<b>Resultados</b>				
Fluidez (seg.)		23	23	26
Massa Volúmica (kg/m <sup>3</sup> )		2059	2059	2119
Relação A/L		0,45	0,45	0,45
Variação de volume		-1%	0%	-1%
Exsudação		1%	1%	1%
Resistência à compressão (MPa) (50x50x50 mm)	7d	9,0	19,2	32,4
	28d	19,6	31,1	44,4
	90d	27,5	43,6	60,9
Resistência à flexão (MPa) (40x40x160 mm)	7d	2,8	4,4	6,6
	28d	4,3	5,7	8,0
	90d	5,4	7,0	9,0
Resistência à compressão (MPa) (40x40 mm)	7d	11,3	21,3	31,4
	28d	19,0	32,6	48,6
	90d	26,0	43,6	57,5

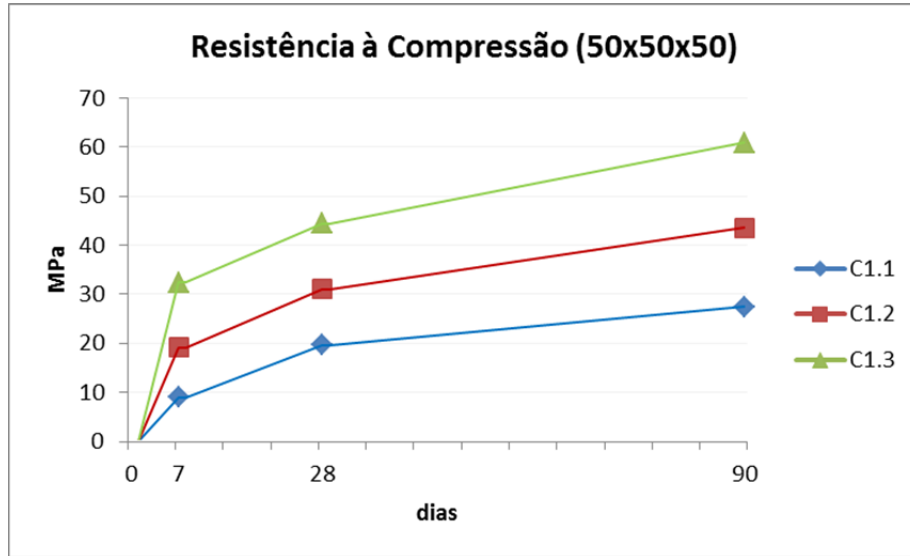


Figura 54 – Resultados dos ensaios de resistência à compressão dos provetes 50x50x50 mm.

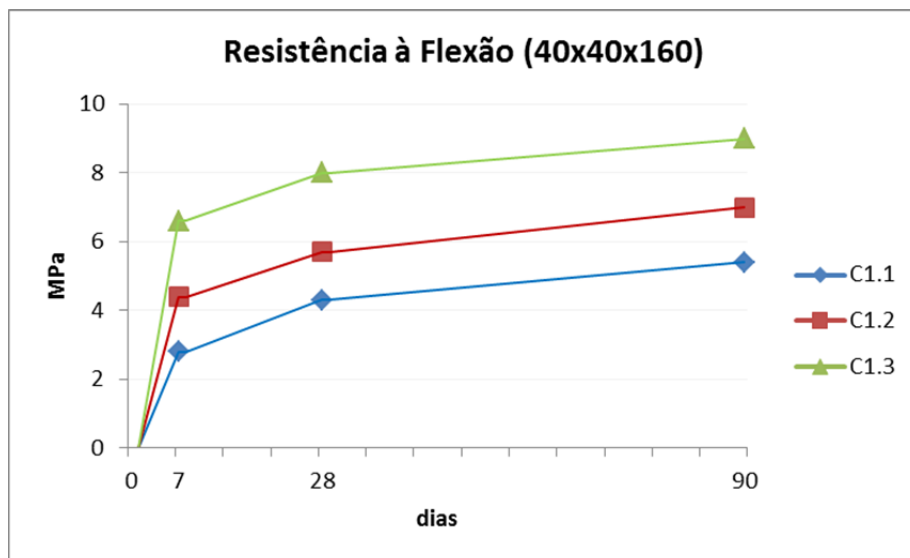
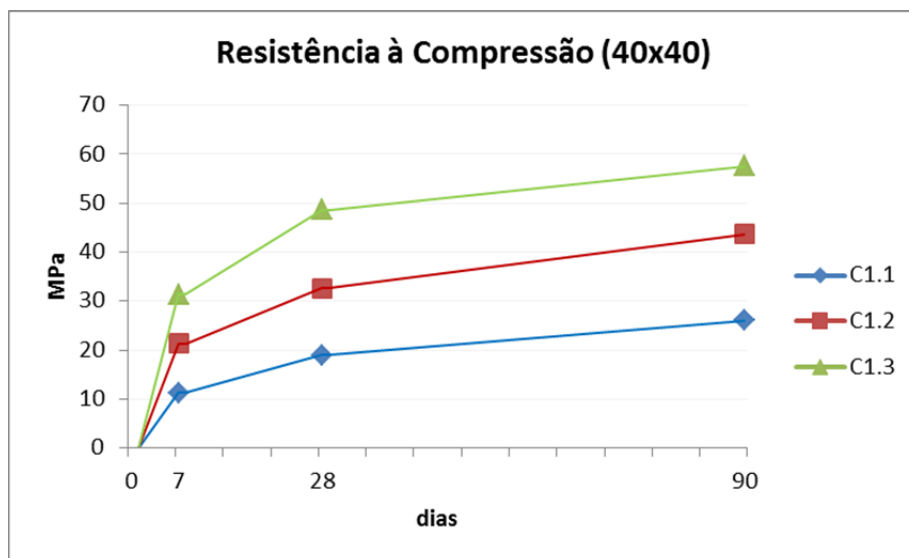


Figura 55 – Resultados dos ensaios de resistência à flexão dos provetes 40x40x160 mm.



**Figura 56** – Resultados dos ensaios de resistência à compressão sobre as duas metades dos provetes 40x40x160 mm.

A análise do Quadro 7 e das figuras 54, 55 e 56, referentes aos resultados dos ensaios de resistência efetuados às caldas C1.1, C1.2 e C1.3, evidencia que na totalidade dos provetes ensaiados a resistência, tanto à flexão como à compressão, é superior para as misturas que apresentam uma percentagem de cimento de 65% e de cinzas de 35% para os 7, 28 e 90 dias. De referir que alguns estudos (Coelho, 2007) evidenciam que betões contendo cinzas volantes desenvolvem a sua resistência mais tardiamente que betões sem qualquer teor em cinzas, apresentando, em alguns casos, resistências superiores aos 365 dias. No âmbito deste estudo, devido à limitação em termos temporais do projeto, não foi possível determinar resistências para períodos superiores a 90 dias. Desta forma sugere-se, em desenvolvimentos futuros, analisar a influência de diferentes teores de cinzas a médio/longo prazo nas características mecânicas do betão PA, nomeadamente ao nível da resistência à compressão.

Face à sua composição (maior percentagem de cimento/ligante) é expectável que o betão com pré-colocação de agregados executado com a calda C1.3 apresente valores de resistência à compressão para os 7, 28 e 90 dias superiores aos betões associados às restantes caldas.

Ao nível da fluidez, os resultados obtidos evidenciam que as caldas com maior percentagem de cinzas volantes (C1.1 e C1.2), apresentam uma maior fluidez, o que se vai traduzir numa melhoria da trabalhabilidade da calda e, conseqüentemente, do

processo de injeção. Este aspeto é inversamente proporcional à resistência à flexão/compressão nas idades mais jovens (28 e 90 dias), devendo dosear-se a calda em conformidade com os requisitos pretendidos em termos de resistência e trabalhabilidade.

Importa referir que o superplastificante utilizado (Glenium Sky 617) permite garantir uma elevada trabalhabilidade da argamassa com uma baixa relação A/L, atuando simultaneamente como um retardador de presa. Este aspeto vai permitir que a calda se mantenha com a fluidez necessária durante um período de tempo superior, garantindo uma maior capacidade de preenchimento dos vazios.

Realça-se o papel desempenhado pelos agregados finos de maior granulometria (areia grossa 0-4 mm), que foram incorporados posteriormente, em complemento com os agregados finos previstos na calda base (areia fina 0-2 mm), e que proporcionaram à calda uma melhor fluidez, otimizando o processo de injeção.

No que respeita à variação de volume e exsudação, a norma ASTM C940-10 descreve o procedimento de execução de ensaio para a determinação destes parâmetros em caldas para betão com pré-colocação de agregados, não definindo requisitos mínimos. O guia da American Concrete Institute relativo à utilização de betão com pré-colocação de agregados (ACI 304.1 R-92, 1997) estabelece que, para resultados ótimos, a exsudação deve ser inferior a 0,5%, não devendo exceder o valor da retração.

Neste sentido, devido à inexistência de valores de referência e devido a limitações ao nível das provetas disponíveis, adotou-se, alternativamente, a norma NP EN 445:2000 referente a caldas de injeção para armaduras de pré-esforço, cujos requisitos são, naturalmente, mais exigentes. Esta norma apresenta um procedimento de ensaio e de cálculo de ambos os parâmetros semelhante à norma ASTM C940-10, variando apenas o volume total das provetas e, conseqüentemente, da calda ensaiada. Os valores de referência associados a estes ensaios encontram-se definidos da norma NP EN 447:2000.



**Figura 57** – Ensaio de exsudação e variação de volume para as caldas C1.1, C1.2 e C1.3.

No caso da exsudação verifica-se que para as caldas ensaiadas os resultados são consistentemente inferiores a 2% para qualquer uma das caldas, em conformidade com os requisitos definidos na norma NP EN 447:2000. Relativamente à variação de volume, os resultados obtidos para as três caldas estudadas encontram-se também em conformidade com os requisitos definidos na norma NP EN 447:2000, que especifica que a variação de volume deve situar-se entre -1% e +5%.

### 3.4.2 Estudo do Betão PA

Os resultados referentes ao estudo efetuado aos betões B1.1.1, B1.1.2, B1.2.1, B1.2.2, B1.3.1, B1.3.2 encontram-se evidenciados no Quadro 8 e nas Figuras 58 e 59.

### CAPÍTULO 3 – CARATERIZAÇÃO DO BETÃO PA

**Quadro 8** – Resultados dos ensaios aos betões com pré-colocação de agregados (B1.1.1, B1.1.2, B1.2.1, B1.2.2, B1.3.1, B1.3.2).

Materiais		Betão PA					
		Calda C1.1		Calda C1.2		Calda C1.3	
		B1.1.1	B1.1.2	B1.2.1	B1.2.2	B1.3.1	B1.3.2
<b>Composição</b>							
Cimento (kg/m <sup>3</sup> betão PA)		108,0	108,0	154,0	154,0	200,0	200,0
Cinzas (kg/m <sup>3</sup> betão PA)		200,0	200,0	154,0	154,0	108,0	108,0
Areia 0-2 mm (kg/m <sup>3</sup> betão PA)		266,8	266,8	266,8	266,8	278,8	278,8
Areia 0-4 mm (kg/m <sup>3</sup> betão PA)		111,2	111,2	111,2	111,2	123,2	123,2
Água livre (l/m <sup>3</sup> betão PA)		133,6	133,6	133,6	133,6	133,7	133,7
Glenium Sky 617 (kg/m <sup>3</sup> betão PA)		4,3	4,3	4,3	4,3	4,3	4,3
Rheomatrix (kg/m <sup>3</sup> betão PA)		1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2
Agregados Grossos 12-20 mm (L/m <sup>3</sup> betão PA)		0	300	0	300	0	300
Agregados Grossos 20-32 mm (L/m <sup>3</sup> betão PA)		1000	700	1000	700	1000	700
<b>Resultados</b>							
Resistência à compressão (MPa) (150x300 mm) (Dias)	7	7,3	6,6	7,6	11,9	12,1	12,6
	28	10,9	10,3	14,6	18,3	16,6	20,2
	90	12,1	16,9	16,3	24,7	22,6	21,5
Porosidade (%) 28 dias	Sup	13,6	14,2	15,2	14,4	11,7	14,1
	Inf	12,2	12,6	13,9	12,8	13,3	11,9

Sup – Parte superior do provete

Inf – Parte inferior do provete

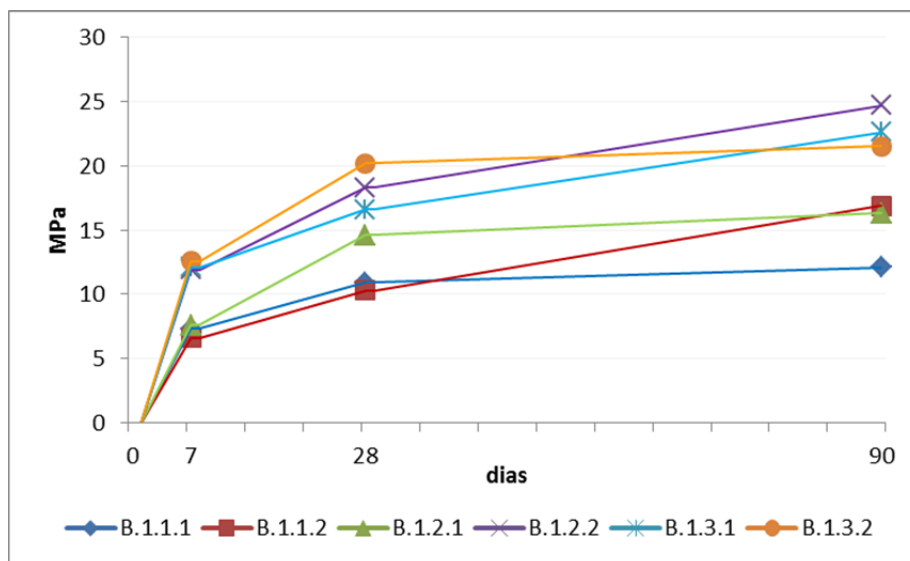


Figura 58 – Resultados dos ensaios de resistência à compressão dos provetes de betão PA.

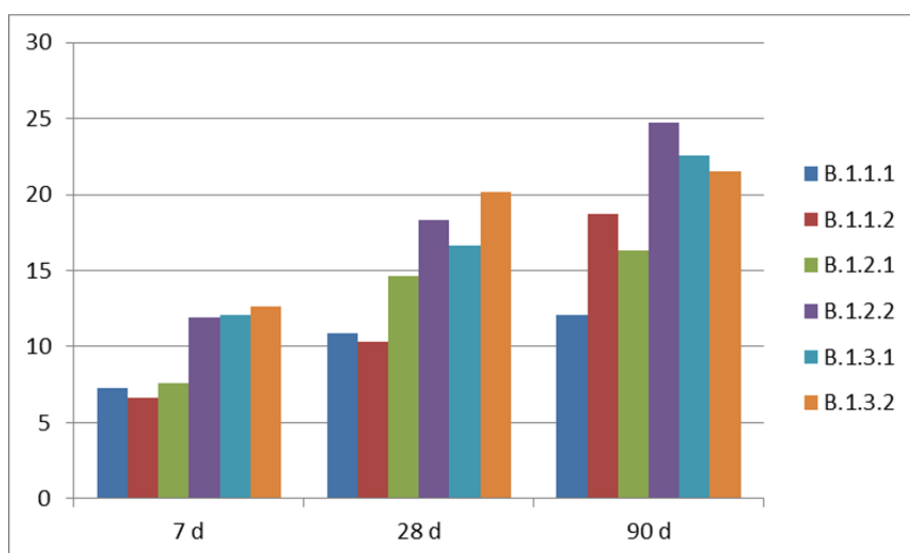


Figura 59 – Resultados dos ensaios de resistência à compressão dos provetes de betão PA.

Os betões objeto de estudo foram avaliados segundo duas variáveis:

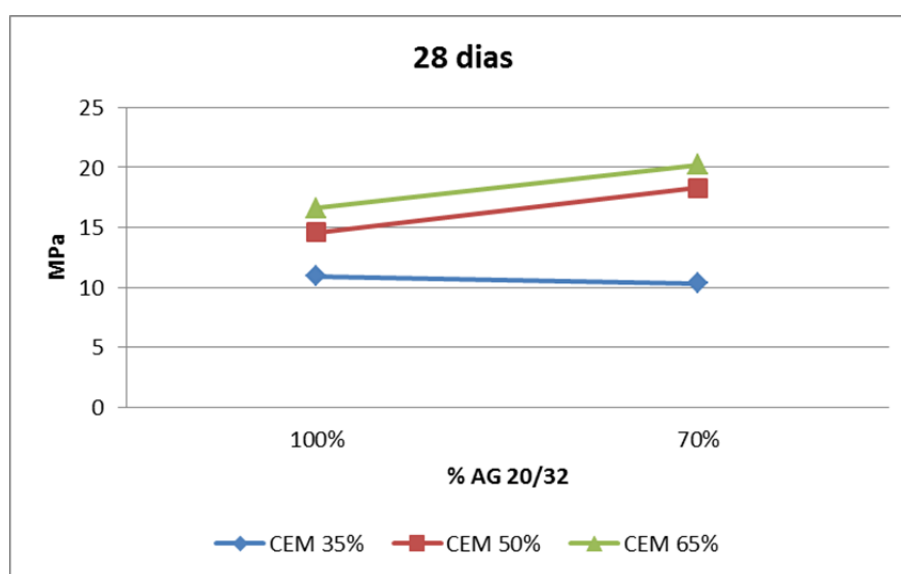
- Os agregados grossos adotados, que apresentam duas combinações distintas ao nível da granulometria.
- A calda utilizada durante o processo de injeção, em que foram adotadas diferentes percentagens de elementos ligantes (cimento e cinzas).

Ao nível dos agregados grossos, as Figuras 60 e 61 evidenciam que, para qualquer um dos betões estudados, a resistência à compressão dos provetes cilíndricos

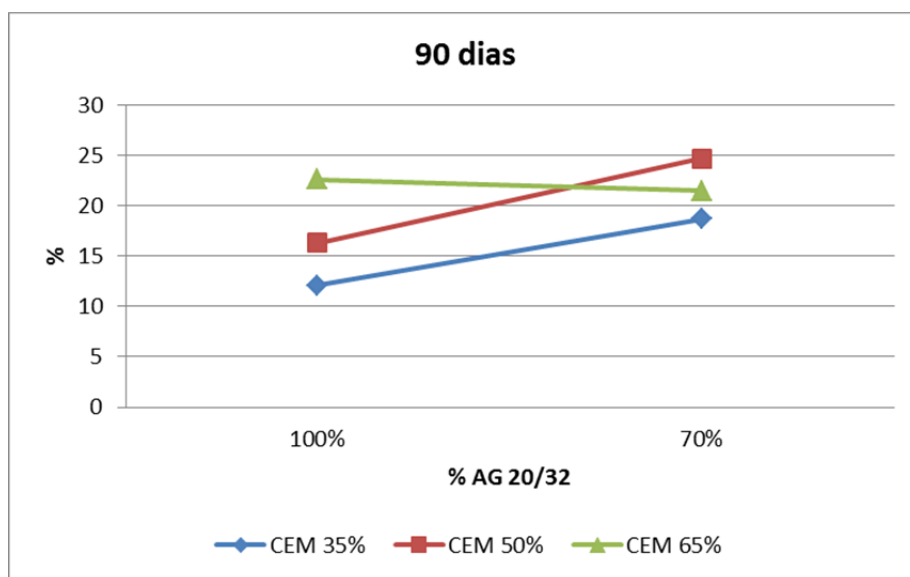
apresentam resultados superiores para a mistura de agregados com 30% de granulometria 12-20 mm e 70% de granulometria 20-32, tanto para os 28 dias como para os 90 dias. As únicas exceções verificam-se para o betão com calda C1.1 aos 28 dias e para o betão com calda C1.3 aos 90 dias. No primeiro caso, para os 28 dias, os valores de resistência à compressão foram praticamente idênticos, diferenciando-se posteriormente aos 90 dias. Relativamente à calda C1.3 aos 90 dias, os resultados obtidos evidenciam uma resistência à compressão ligeiramente inferior no betão com mistura de agregados, a qual se poderá dever a fatores inerentes ao processo de execução de provetes.

A diferença de resultados entre as duas combinações de agregados deve-se à forma como estes se dispõem no molde, onde a mistura com 30% de granulometria 12-20 mm e 70% de granulometria 20-32 apresenta, naturalmente, uma melhor distribuição, devido à obtenção de uma granulometria extensa dos agregados.

Pela análise das curvas granulométricas da Figura 45, verifica-se que a curva referente aos agregados com 30% de granulometria 12-20 mm e 70% de granulometria 20-32 se encaixa, quase na perfeição, nos fusos definidos para o “grading 1” do guia ACI 304.1 R-92. Relativamente aos agregados com 100% de granulometria 20-32, a curva granulométrica, apenas se encaixa parcialmente nos fusos definidos (8 a 12,5 mm e 20 a 25 mm), o que justifica os resultados obtidos para a resistência à compressão inferiores comparativamente com a mistura.

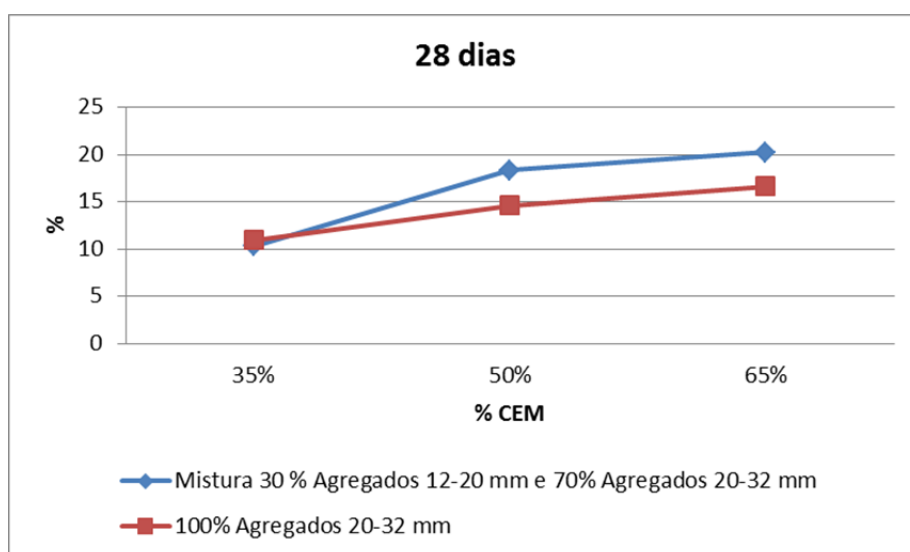


**Figura 60** – Variação da resistência à compressão dos provetes aos 28 dias de acordo com a percentagem de agregados grossos 20-32 mm.

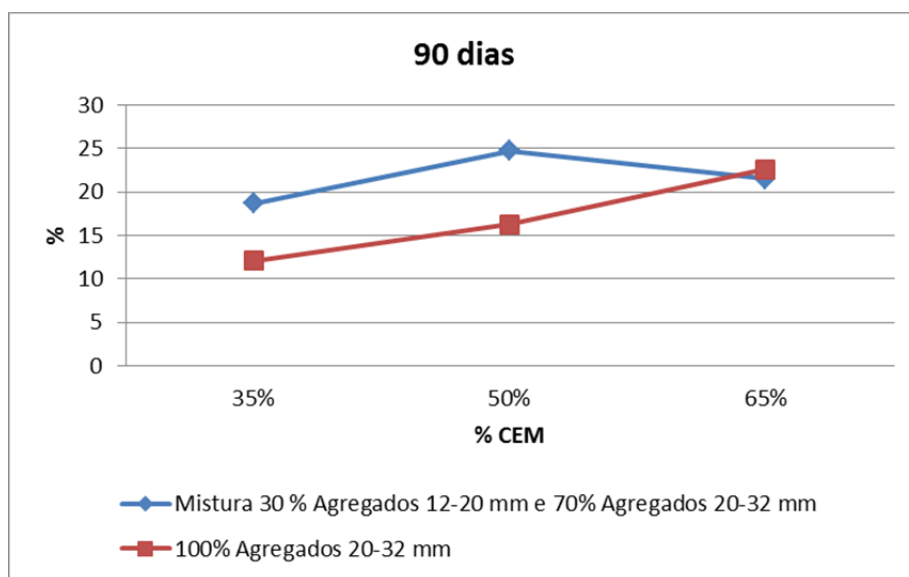


**Figura 61** – Variação da resistência à compressão dos provetes aos 90 dias de acordo com a percentagem de agregados grossos 20-32 mm.

Relativamente à calda adotada no processo de injeção para cada um dos provetes, à semelhança dos resultados obtidos no ponto anterior, verifica-se que os betões com maior percentagem de cimento (65% de cimento e 35% de cinzas) apresentam, ao nível da resistência à compressão, resultados superiores às restantes caldas nos ensaios realizados aos 28 e 90 dias (Figuras 62 e 63), exceto novamente para o betão B1.3.2 aos 90 dias.



**Figura 62** – Variação da resistência à compressão dos provetes aos 28 dias de acordo com a percentagem de cimento.



**Figura 63** – Variação da resistência à compressão dos provetes aos 90 dias de acordo com a percentagem de cimento existente na argamassa de injeção.

Ao nível da variação de volume, é expectável que este tipo de betão apresente valores inferiores ao de um betão convencional, devido ao contacto ponto-por-ponto existente entre os agregados grossos que constituem o betão, que vai naturalmente restringir o volume de retração passível de ocorrer e, conseqüentemente, o aparecimento de fissuras (Smoak, 2002; Davis, 1994).

Em termos de porosidade aberta, verificou-se que na maioria dos provetes ensaiados a parte superior dos provetes evidenciou uma maior percentagem de vazios, comparativamente com a parte inferior (exceto no provete B1.3.1). Esta diferença pode dever-se ao facto de o ponto de injeção se localizar na parte inferior dos provetes, sendo natural que os vazios existentes nessa zona sejam mais facilmente preenchidos, comparativamente com os vazios existentes na parte superior dos provetes. No entanto, os valores registados foram globalmente baixos, sobretudo considerando que se trata de um betão que não é sujeito a qualquer processo de vibração durante o seu fabrico.

### **3.5 CONCLUSÕES DO CAPÍTULO 3**

Com o desenvolvimento deste estudo foi possível retirar algumas conclusões ao nível das características dos materiais, das caldas e dos betões com pré-colocação de agregados, as quais se descrevem de seguida:

- O betão com pré-colocação de agregados constitui um método alternativo ao betão pronto, quando analisado o processo de fabrico e as resistências à compressão obtidas nos ensaios realizados.
- A calda a injetar no processo de fabrico de betão com pré-colocação de agregados deve ser doseada, de forma a garantir características de fluidez e resistência em conformidade com as exigências.
- A presença de uma maior percentagem de cimento nas caldas de injeção, em detrimento de cinzas volantes, garante maiores valores de resistência à compressão ao nível da calda e do betão a curto prazo. Estes resultados são convergentes com estudos anteriormente efetuados (Davis, 1994) e que indicam que as dosagens típicas de betão com pré-colocação de agregados devem apresentar uma relação entre cimento e cinzas entre 2:1 e 4:1 respetivamente.
- A presença de cinzas volantes garante uma maior fluidez da calda, permitindo facilitar o processo de injeção e garantindo uma maior trabalhabilidade. Não obstante, deverá ter-se em consideração que, a curto prazo, a resistência à compressão é inversamente proporcional, apresentando resultados superiores para os ensaios realizados com menores percentagens de cinzas. Sugere-se, em desenvolvimentos futuros, analisar a influência de diferentes teores de cinzas a médio/longo prazo nas características mecânicas do betão PA, nomeadamente ao nível da resistência à compressão.
- A seleção dos agregados grossos deve ser efetuada de forma a permitir o preenchimento dos vazios existentes e, simultaneamente, garantir resistências à compressão em conformidade com o pretendido. Para o estudo em causa verificou-se, na generalidade dos casos, um melhor comportamento, em termos de resistência, da mistura de agregados com 30% de granulometria 12-

20 mm e 70% de granulometria 20-32 mm, do que para uma mistura de 100% de agregados 20-32 mm.

- Em termos de porosidade, não foram identificados requisitos normativos que limitassem a existência de vazios quer para betões convencionais, quer para o betão com pré-colocação de agregados. Não obstante, este parâmetro vai influenciar diretamente a resistência à compressão do próprio betão, a qual apresenta valores inferiores para um maior volume de vazios. No caso do betão com pré-colocação de agregados é importante avaliar este parâmetro, uma vez que se encontra intimamente relacionado com o modo como se processa a injeção de calda e, conseqüentemente, com o preenchimento dos vazios. Os resultados obtidos nos ensaios revelaram valores aceitáveis, sobretudo considerando-se que este não foi sujeito a qualquer processo de vibração. A existência de menor índice de vazios na base dos provetes poderá indicar que junto à zona de injeção se verifica um melhor preenchimento dos vazios.
- É expectável que no caso do betão com pré-colocação de agregados, a variação de volume seja restringida pela disposição dos agregados grossos no molde, apresentando valores inferiores aos determinados no estudo das caldas. Estudos realizados por Smoak (Smoak, 2002) e Davis (Davis, 1994) referem que o contato ponto-por-ponto entre os agregados grossos restringem a retração do betão na ordem dos 50% quando comparados com um betão convencional, reduzindo, conseqüentemente, o aparecimento de fissuras.

# CAPÍTULO 4

## DIMENSIONAMENTO

### 4.1 INTRODUÇÃO

Os postes de catenária instalados nas vias férreas em Portugal são executados recorrendo, tradicionalmente, a sistemas de fundações constituídos por maciços/pegões em betão com uma geometria prismática. As características destes maciços/pegões, nomeadamente no que respeita a aspetos de dimensionamento, encontram-se definidas através de uma instrução técnica da REFER EP (IT-C-004 – Maciços para Postes de Catenária, 2000) para as diferentes situações de terreno e tipos de postes de catenária.

A execução destes maciços está dependente de diversas atividades, nomeadamente do processo de escavação e de betonagem, cuja complexidade é largamente ampliada quando estes se realizam em zonas com acessibilidade limitada.

A ausência ou limitação de acessos rodoviários às frentes de trabalho, obriga a que a execução dos maciços seja realizada, quase na sua totalidade, através da via férrea com recurso a equipamentos sob carris ou colocados em vagões, operando ao longo das bermas da via férrea. Um dos equipamentos utilizados neste processo de escavação é o rail-route, que se caracteriza por ser um equipamento móvel com um trado acoplado de diâmetro pré-definido (Figura 69). O recurso a este equipamento implica a realização de maciços em formato cilíndrico, em oposição aos tradicionais maciços em formato prismático que são, em regra, executados através de equipamentos de escavação (escavadoras de rastros) que operam fora da via férrea.

A execução de sistemas de fundação para postes de catenária em formato cilíndrico carece de um dimensionamento prévio, que considere os diversos fatores que

influenciam a estabilidade dos maciços, nomeadamente as tensões admissíveis na zona de implantação e os esforços a que se encontra sujeito.

Neste capítulo procede-se ao dimensionamento dos maciços de fundação, tendo por base os diversos fatores associados ao processo de execução, recorrendo a betão com pré-colocação de agregados, nomeadamente:

- uma nova geometria cilíndrica, em oposição ao tradicional formato prismático;
- as características do betão com pré-colocação de agregados;
- os esforços atuantes no maciço, nomeadamente os momentos no encastramento;
- o processo de fabrico inerente à execução dos maciços.

### **4.2 ELEMENTOS BASE**

Este estudo para dimensionamento de maciços/pegões em formato cilíndrico tem por base a Instrução Técnica IT-C-004 publicada em Dezembro de 2000 pela REFER EP, designada de Maciços para Postes de Catenária, que define os critérios, limites e geometria a adotar para a execução de maciços com geometria prismática, nomeadamente a informação apresentada na Figura 64.

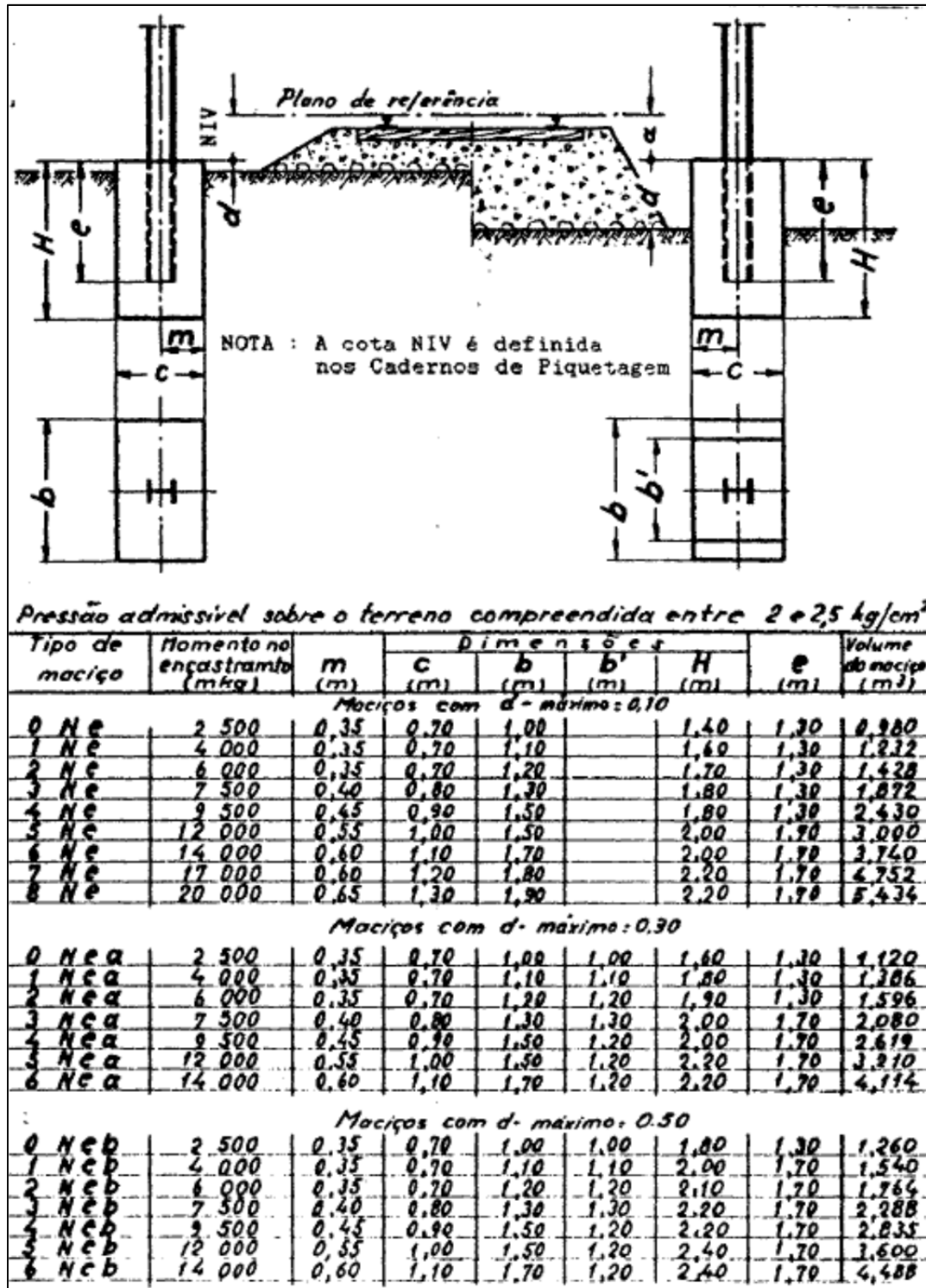


Figura 64 – Características geométricas de maciços de postes independentes em terreno normal e respetivos momentos fletores no encastramento dos postes (Fonte: IT-C-004, 2000).

Com o objetivo de validar o método de dimensionamento adotado, começou-se por calcular as tensões no terreno resultantes dos momentos no encastramento dos

postes, para cada tipo de maciço prismático e compará-las com as tensões admissíveis sobre o terreno.

Apesar de se verificar uma grande diversidade de sistemas de fundações para postes de catenária, este estudo incidiu unicamente nos maciços de postes independentes, uma vez que são os sistemas que são executados com maior frequência em plena via. Ao nível do terreno, considerou-se um solo em que as tensões admissíveis estão compreendidas entre 200 e 250 kPa, conforme definido na Instrução Técnica IT-C-004 da REFER EP. Desta forma, para efeitos de cálculo, considerou-se uma tensão máxima admissível de 250 kPa.

Dentro dos maciços anteriormente referidos, agrupou-se em três categorias, dependendo da altura desenterrada, conforme definido no quadro seguinte.

**Quadro 9** – Caracterização dos maciços em função da altura desenterrada (d).

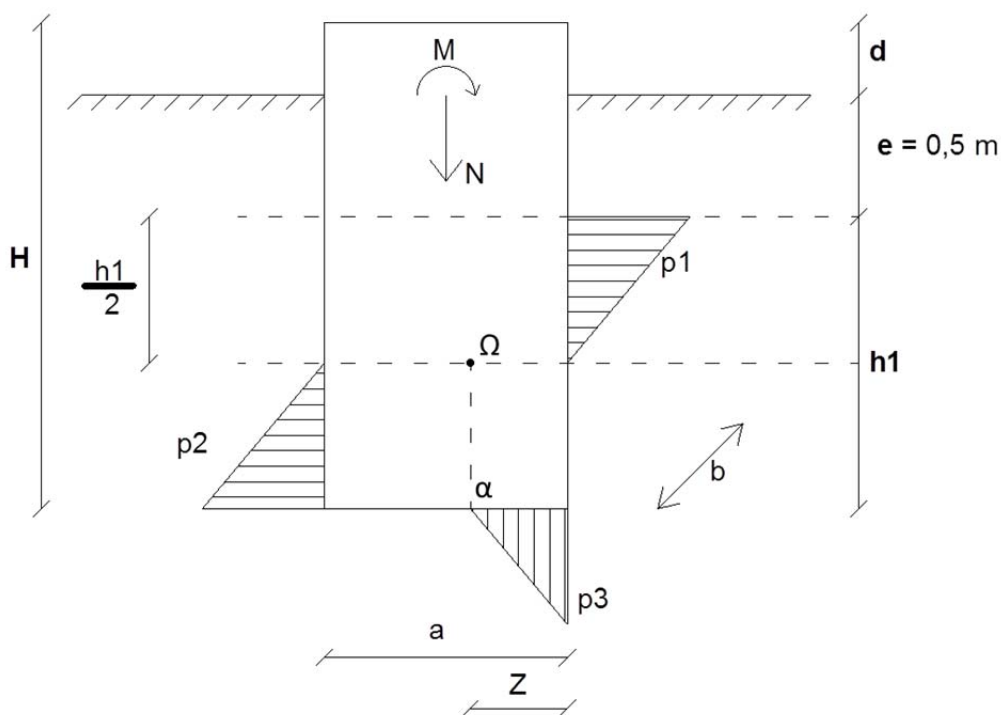
	Altura desenterrada (d)	N.º de Maciços
Categoria 1 (Ne)	d = 0,0 m	9
Categoria 2 (Nea)	d = 0,3 m	7
Categoria 3 (Neb)	d = 0,5 m	7

Para cada categoria, definiu-se um determinado número de maciços de acordo com o momento existente no encastramento. A primeira categoria tem 9 tipos de maciço identificados por 0-8 Ne. A segunda categoria tem 7 tipos de maciço identificados por 0-6 Nea. A terceira categoria tem também 7 maciços identificados por 0-6 Neb.

### 4.3 DESCRIÇÃO DO MÉTODO DE DIMENSIONAMENTO

O método utilizado para o dimensionamento dos maciços de base retangular sujeitos a esforços de flexão baseou-se no equilíbrio das tensões transmitidas ao terreno na base ( $p_3$ ) e nas faces laterais ( $p_1$  e  $p_2$ ), conforme esquematizado na Figura 65. Para o processo de dimensionamento, desprezou-se a contribuição das forças horizontais, dada a sua reduzida influência em comparação com o momento atuante.

Adicionalmente, desprezou-se a contribuição dos primeiros 0,5 m de terreno (e), assumindo que se trata de terreno solto, pouco coeso e com resistência reduzida. Tendo em conta estas simplificações,  $p_1=p_2=p$  e o centro de rotação ( $\Omega$ ) encontra-se a meia altura da parte enterrada que contribui para o equilíbrio de tensões ( $h_1/2$ ).



**Figura 65** – Esquema de cálculo utilizado.

Por equilíbrio de forças verticais tem-se  $p_3 = \frac{2N}{bZ}$  (considerou-se  $N$  igual ao peso dos maciços). Por compatibilidade (admite-se que o maciço é rígido) tem-se  $p_1 = p_2 = p_3 \times \frac{h_1}{2Z}$ . Fazendo o equilíbrio de momentos no ponto  $\alpha$ , obtém-se a seguinte expressão que permite o cálculo de  $Z$  por aproximações sucessivas:

$$Z = \sqrt{\frac{h_1^3}{2 \left[ Z + 3 \left( \frac{M}{N} - \frac{a}{2} \right) \right]}}$$

Uma vez calculado  $Z$ , é possível calcular  $p$  e  $p_3$  e comparar esses valores de tensão com as tensões admissíveis para o terreno.

#### 4.4 VERIFICAÇÃO DAS TENSÕES PARA MACIÇOS DE BASE RETANGULAR

Para avaliar a adequabilidade do modelo de cálculo efetuou-se uma verificação das tensões para os maciços de base retangular indicados na Figura 65, para os casos de  $d=0$  (maciços Ne),  $d=0,3$  m (maciços Nea) e  $d=0,5$  m (maciços Neb), comparando os resultados obtidos com os valores de tensão admissível.

Nos Quadros 10 a 12 apresenta-se o resumo dos cálculos para as situações anteriormente referidas.

**Quadro 10** – Cálculo das tensões no terreno para os maciços tipo Ne para  $d=0,0$  m.

Tipo de maciço	M (kNm)	a (m)	b (m)	H (m)	h1 (m)	V (m <sup>3</sup> )	z (m)	p <sub>3</sub> (kN/m <sup>2</sup> )	p (kN/m <sup>2</sup> )
0 Ne	25	0,7	1,0	1,4	0,9	0,98	0,710	125,76	145,24
1 Ne	40	0,7	1,1	1,6	1,1	1,23	0,754	124,62	152,52
2 Ne	60	0,7	1,2	1,7	1,2	1,43	0,722	134,78	183,19
3 Ne	75	0,8	1,3	1,8	1,3	1,87	0,812	139,50	175,69
4 Ne	95	0,9	1,5	1,8	1,3	2,43	0,836	152,11	185,67
5 Ne	120	1,0	1,5	2,0	1,5	3,00	0,968	153,06	175,70
6 Ne	140	1,1	1,7	2,0	1,5	3,74	1,018	159,17	172,73
7 Ne	170	1,2	1,8	2,2	1,7	4,75	1,201	154,13	152,98
8 Ne	200	1,3	1,9	2,2	1,7	5,43	1,204	166,40	164,58

**Quadro 11** – Cálculo das tensões no terreno para os maciços tipo Nea para  $d=0,3$  m.

Tipo de maciço	M (kNm)	a (m)	b (m)	H (m)	h1 (m)	V (m <sup>3</sup> )	z (m)	p <sub>3</sub> (kN/m <sup>2</sup> )	p (kN/m <sup>2</sup> )
0 Nea	25	0,7	1,0	1,6	0,8	1,12	0,359	156,00	173,83
1 Nea	40	0,7	1,1	1,8	1,0	1,39	0,420	149,95	178,44
2 Nea	60	0,7	1,2	1,9	1,1	1,60	0,414	160,46	212,95
3 Nea	75	0,8	1,3	2,0	1,2	2,08	0,489	163,64	200,82
4 Nea	95	0,9	1,5	2,0	1,2	2,62	0,497	175,68	212,12
5 Nea	120	1,0	1,5	2,2	1,4	3,21	0,617	173,38	196,65
6 Nea	140	1,1	1,7	2,2	1,4	4,11	0,665	181,83	191,26

**Quadro 12** – Cálculo das tensões no terreno para os maciços tipo Neb para  $d=0,5$  m.

Tipo de maciço	M (kNm)	a (m)	b (m)	H (m)	h1 (m)	V (m <sup>3</sup> )	z (m)	p <sub>3</sub> (kN/m <sup>2</sup> )	p (kN/m <sup>2</sup> )
0 Neb	25	0,7	1,0	1,8	0,8	1,26	0,386	163,12	168,94
1 Neb	40	0,7	1,1	2,0	1,0	1,54	0,446	156,90	175,85
2 Neb	60	0,7	1,2	2,1	1,1	1,76	0,438	167,80	210,70
3 Neb	75	0,8	1,3	2,2	1,2	2,29	0,516	170,63	198,51
4 Neb	95	0,9	1,5	2,2	1,2	2,84	0,520	181,60	209,38
5 Neb	120	1,0	1,5	2,4	1,4	3,60	0,659	182,06	193,36
6 Neb	140	1,1	1,7	2,4	1,4	4,49	0,701	188,34	188,11

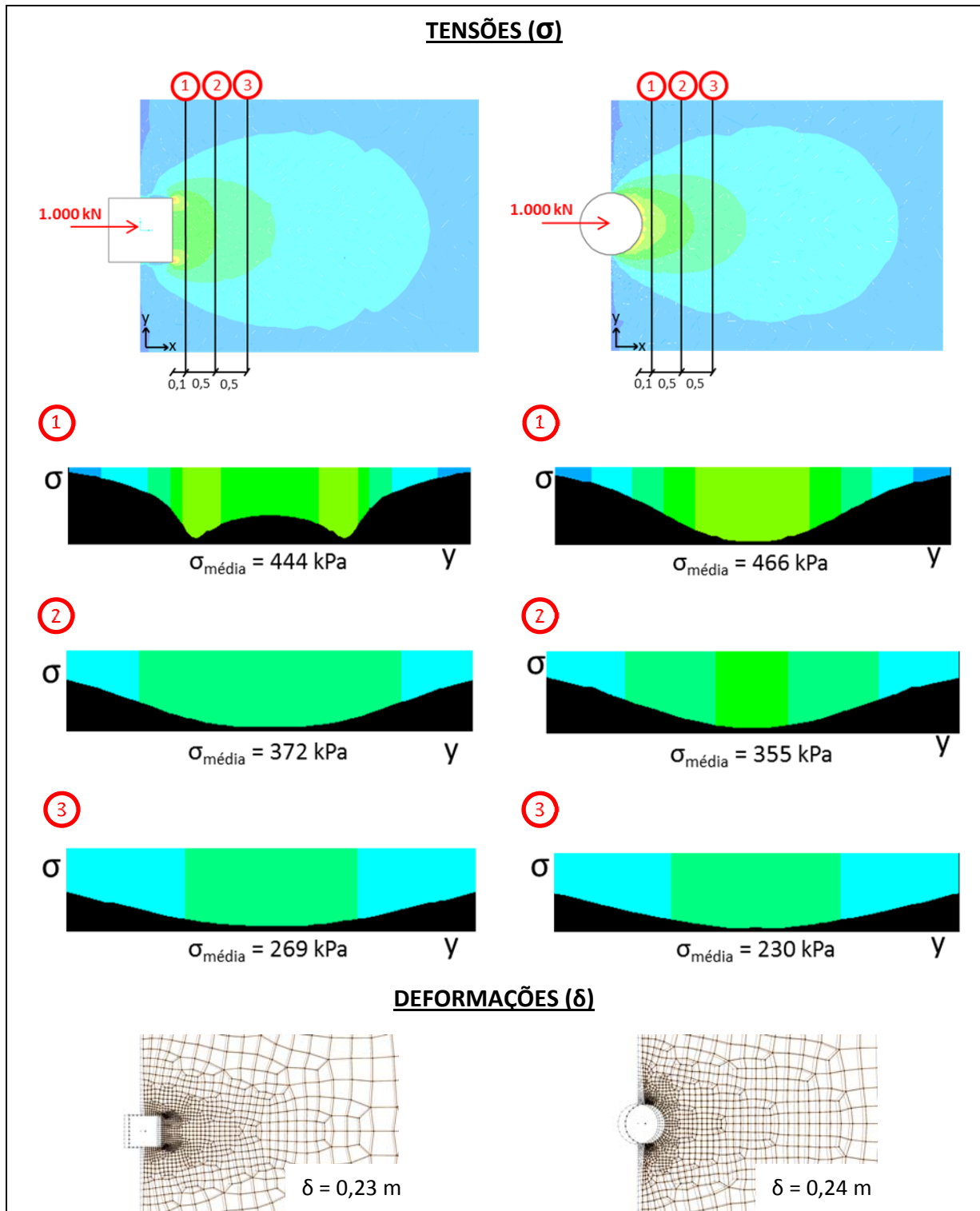
Os resultados obtidos permitem verificar que as tensões no terreno não excedem a tensão admissível máxima de 250 kPa, dando assim suporte à utilização do método descrito em 4.3 para o dimensionamento dos maciços com geometria cilíndrica.

#### 4.5 DIMENSIONAMENTO DOS MACIÇOS CILÍNDRICOS EQUIVALENTES

No caso dos maciços cilíndricos, pelo facto de a base ser circular e não retangular, o cálculo de  $p_3$  é mais complexo. Optou-se por simplificar o cálculo de  $p_3$  dividindo, para um dado  $Z$ , a parte comprimida da secção da base em  $n$  fatias retangulares de igual largura  $l_i$ , centro de gravidade em  $x_i$  (distância à linha neutra) e comprimento  $c_i$  igual ao da corda paralela ao eixo de aplicação dos momentos que passa pelo seu centro de gravidade. A área de cada fatia é  $A_i=l_i \times c_i$  e a força resultante da tensão em cada fatia (considerada constante) é  $F_i=p_3 \frac{x_i}{Z} \times A_i$ . O equilíbrio de forças verticais implica  $\sum_{i=1}^n F_i=N$ , pelo que  $p_3 = \frac{N \times Z}{\sum_{i=1}^n x_i A_i}$ .

Para o cálculo de  $p_1$  e  $p_2$ , por uma questão de simplificação, adotou-se a mesma metodologia de cálculo utilizada para os maciços de base retangular. Um estudo preliminar realizado com recurso a uma aplicação informática de cálculo estrutural (SAP2000), evidenciou tensões médias ligeiramente superiores (+5,0%) junto aos maciços cilíndricos (a 0,10 m do maciço), comparativamente com os maciços prismáticos. Esta diferença inverte-se com o aumento da distância ao maciço, apresentando uma tensão média superior para os maciços prismáticos para uma distância de 0,6 m e 1,1 m (Figura 66).

Face a esta análise, para o cálculo de  $p_1$  e  $p_2$  junto aos maciços cilíndricos, considerou-se um incremento de 5% nos valores calculados com base na metodologia de cálculo adotada para os maciços de base retangular.



**Figura 66** – Análise de tensões e deslocamento em maciço cilíndrico e prismático, em resultado da aplicação de uma força horizontal de 1.000 kN.

A posição da linha neutra ( $Z$ ) é feita variar até que o somatório de momentos no ponto  $\alpha$  seja nulo, ou seja, que os momentos provocados por  $p_1$ ,  $p_2$  e  $p_3$  em  $\alpha$  seja igual (a menos de um erro residual) a  $M$ . A contribuição de  $p_1$  e  $p_2$  para o momento em  $\alpha$  é

SISTEMAS DE FUNDAÇÕES PARA  
POSTES DE CATENÁRIA COM BETÃO  
COM PRÉ-COLOCAÇÃO DE AGREGADOS

calculada como para um maciço de base retangular, mas considerando o diâmetro em vez da dimensão perpendicular ao plano de rotação.

Apresenta-se, nos Quadros seguintes, o resumo do cálculo das tensões no terreno para os maciços cilíndricos. Tal como os maciços de base retangular, considerou-se  $d=0,0$  m para os maciços tipo Ne,  $d=0,3$  m para os maciços tipo Nea e  $d=0,5$  m para os maciços Neb. Para cada tipo de maciço, minimizou-se a altura respeitando o critério de tensão admissível de 250 kPa, para diâmetros ( $\varphi$ ) de 800, 1000 e 1200 mm.

**Quadro 13** – Resumo do cálculo das tensões no terreno para maciços cilíndricos tipo Ne ( $d=0,0$  m) e diâmetro ( $\varphi$ ) 800 mm.

Tipo de maciço	M (kNm)	V (m <sup>3</sup> )	N (kN)	$\varphi$ (m)	Z (m)	H (m)	Larg <sub>fatias</sub> (m)	$\Sigma x_i A_i$ (m <sup>3</sup> )	$p_3$ (kN/m <sup>2</sup> )	$p$ (kN/m <sup>2</sup> )	$h_1$ (m)
0 Ne	25	0,86	21,36	0,8	0,612223	<b>1,7</b>	0,020	0,114	120,69	118,28	1,2
1 Ne	40	0,99	24,63	0,8	0,671823	<b>2,0</b>	0,022	0,140	124,46	135,24	1,5
2 Ne	60	1,08	27,02	0,8	0,680623	<b>2,2</b>	0,023	0,144	134,47	162,99	1,7
3 Ne	75	1,16	28,90	0,8	0,710467	<b>2,3</b>	0,024	0,157	136,93	173,46	1,8
4 Ne	95	1,26	31,42	0,8	0,763223	<b>2,5</b>	0,025	0,183	137,54	180,22	2,0

**Quadro 14** – Resumo do cálculo das tensões no terreno para maciços cilíndricos tipo Ne ( $d=0,0$  m) e diâmetro ( $\varphi$ ) 1000 mm.

Tipo de maciço	M (kNm)	V (m <sup>3</sup> )	N (kN)	$\varphi$ (m)	Z (m)	H (m)	Larg <sub>fatias</sub> (m)	$\Sigma x_i A_i$ (m <sup>3</sup> )	$p_3$ (kN/m <sup>2</sup> )	$p$ (kN/m <sup>2</sup> )	$h_1$ (m)
0 Ne	25	1,26	31,42	1,0	0,715047	<b>1,6</b>	0,024	0,191	123,57	95,05	1,1
1 Ne	40	1,50	37,50	1,0	0,825457	<b>1,9</b>	0,028	0,263	123,77	105,71	1,4
2 Ne	60	1,66	41,43	1,0	0,839676	<b>2,1</b>	0,028	0,273	134,01	128,47	1,6
3 Ne	75	1,76	43,98	1,0	0,857622	<b>2,2</b>	0,029	0,285	138,80	140,80	1,7
4 Ne	95	1,81	45,16	1,0	0,811313	<b>2,3</b>	0,027	0,253	152,14	168,77	1,8
5 Ne	120	1,96	49,09	1,0	0,867228	<b>2,5</b>	0,029	0,292	152,93	176,34	2,0
6 Ne	140	2,12	53,01	1,0	0,950347	<b>2,7</b>	0,032	0,355	149,16	172,65	2,2

**Quadro 15** – Resumo do cálculo das tensões no terreno para maciços cilíndricos tipo Ne ( $d=0,0$  m) e diâmetro ( $\varphi$ ) 1200 mm.

Tipo de maciço	M (kNm)	V (m <sup>3</sup> )	N (kN)	$\varphi$ (m)	Z (m)	H (m)	Larg <sub>fatias</sub> (m)	$\Sigma x_i A_i$ (m <sup>3</sup> )	$p_3$ (kN/m <sup>2</sup> )	$p$ (kN/m <sup>2</sup> )	$h_1$ (m)
0 Ne	25	1,65	41,28	1,2	0,790169	<b>1,5</b>	0,026	0,274	125,21	76,06	1,0
1 Ne	40	2,05	51,18	1,2	0,942229	<b>1,8</b>	0,031	0,407	124,54	86,57	1,3
2 Ne	60	2,31	57,68	1,2	0,979839	<b>2,0</b>	0,033	0,443	133,91	105,24	1,5
3 Ne	75	2,47	61,64	1,2	1,006346	<b>2,2</b>	0,034	0,470	138,66	115,74	1,7
4 Ne	95	2,55	63,62	1,2	0,958245	<b>2,3</b>	0,032	0,422	151,69	138,51	1,8
5 Ne	120	2,78	69,55	1,2	1,029682	<b>2,5</b>	0,034	0,494	152,34	144,99	2,0
6 Ne	140	2,87	71,82	1,2	1,022214	<b>2,5</b>	0,034	0,486	158,63	158,28	2,0
7 Ne	170	3,20	80,02	1,2	1,167872	<b>2,8</b>	0,039	0,644	152,47	152,09	2,3
8 Ne	200	3,34	83,41	1,2	1,178951	<b>3,0</b>	0,039	0,656	157,39	163,53	2,5

**Quadro 16** – Resumo do cálculo das tensões no terreno para maciços cilíndricos tipo Nea  
(d=0,3 m) e diâmetro ( $\phi$ ) 800 mm.

Tipo de maciço	M (kNm)	V (m <sup>3</sup> )	N (kN)	$\phi$ (m)	Z (m)	H (m)	Larg <sub>fatias</sub> (m)	$\Sigma x_i A_i$ (m <sup>3</sup> )	p <sub>3</sub> (kN/m <sup>2</sup> )	p (kN/m <sup>2</sup> )	h <sub>1</sub> (m)
0 Nea	25	0,96	23,88	0,8	0,580455	<b>1,8</b>	0,019	0,101	144,08	136,52	1,1
1 Nea	40	1,07	26,77	0,8	0,620197	<b>2,1</b>	0,021	0,117	148,84	159,59	1,3
2 Nea	60	1,16	29,03	0,8	0,626859	<b>2,3</b>	0,021	0,120	159,34	191,91	1,5
3 Nea	75	1,26	31,42	0,8	0,684468	<b>2,5</b>	0,023	0,145	155,34	192,90	1,7
4 Nea	95	1,33	33,18	0,8	0,698611	<b>2,6</b>	0,023	0,152	160,21	210,98	1,8

**Quadro 17** – Resumo do cálculo das tensões no terreno para maciços cilíndricos tipo Nea  
(d=0,3 m) e diâmetro ( $\phi$ ) 1000 mm.

Tipo de maciço	M (kNm)	V (m <sup>3</sup> )	N (kN)	$\phi$ (m)	Z (m)	H (m)	Larg <sub>fatias</sub> (m)	$\Sigma x_i A_i$ (m <sup>3</sup> )	p <sub>3</sub> (kN/m <sup>2</sup> )	p (kN/m <sup>2</sup> )	h <sub>1</sub> (m)
0 Nea	25	1,41	35,34	1,0	0,684634	<b>1,8</b>	0,023	0,173	146,87	107,26	1,0
1 Nea	40	1,65	41,23	1,0	0,784641	<b>2,1</b>	0,026	0,235	144,61	119,80	1,3
2 Nea	60	1,78	44,37	1,0	0,768551	<b>2,3</b>	0,026	0,224	159,61	151,60	1,5
3 Nea	75	1,89	47,12	1,0	0,796692	<b>2,4</b>	0,027	0,243	162,25	162,93	1,6
4 Nea	95	1,96	49,09	1,0	0,784300	<b>2,5</b>	0,026	0,235	172,25	186,68	1,7
5 Nea	120	2,12	53,01	1,0	0,840716	<b>2,7</b>	0,028	0,273	171,23	193,49	1,9
6 Nea	140	2,28	56,94	1,0	0,923129	<b>2,9</b>	0,031	0,334	165,34	188,07	2,1

**Quadro 18** – Resumo do cálculo das tensões no terreno para maciços cilíndricos tipo Nea  
(d=0,3 m) e diâmetro ( $\phi$ ) 1200 mm.

Tipo de maciço	M (kNm)	V (m <sup>3</sup> )	N (kN)	$\phi$ (m)	Z (m)	H (m)	Larg <sub>fatias</sub> (m)	$\Sigma x_i A_i$ (m <sup>3</sup> )	p <sub>3</sub> (kN/m <sup>2</sup> )	p (kN/m <sup>2</sup> )	h <sub>1</sub> (m)
0 Nea	25	1,82	45,52	1,2	0,719553	<b>1,6</b>	0,024	0,221	155,95	87,78	0,8
1 Nea	40	2,26	56,55	1,2	0,904257	<b>2,0</b>	0,030	0,371	144,71	96,02	1,2
2 Nea	60	2,49	62,20	1,2	0,912002	<b>2,2</b>	0,030	0,378	157,52	120,90	1,4
3 Nea	75	2,64	65,88	1,2	0,930467	<b>2,3</b>	0,031	0,395	162,78	133,83	1,5
4 Nea	95	2,74	68,42	1,2	0,903966	<b>2,4</b>	0,030	0,371	175,16	156,96	1,6
5 Nea	120	2,99	74,64	1,2	0,983932	<b>2,6</b>	0,033	0,447	172,44	161,24	1,8
6 Nea	140	3,05	76,34	1,2	0,961897	<b>2,7</b>	0,032	0,426	181,20	178,96	1,9

**Quadro 19** – Resumo do cálculo das tensões no terreno para maciços cilíndricos tipo Neb  
(d=0,5 m) e diâmetro ( $\phi$ ) 800 mm.

Tipo de maciço	M (kNm)	V (m <sup>3</sup> )	N (kN)	$\phi$ (m)	Z (m)	H (m)	Larg <sub>fatias</sub> (m)	$\Sigma x_i A_i$ (m <sup>3</sup> )	p <sub>3</sub> (kN/m <sup>2</sup> )	p (kN/m <sup>2</sup> )	h <sub>1</sub> (m)
0 Neb	25	1,03	25,64	0,8	0,561630	<b>2,0</b>	0,019	0,094	161,24	149,29	1,0
1 Neb	40	1,17	29,15	0,8	0,639518	<b>2,3</b>	0,021	0,125	156,21	161,21	1,3
2 Neb	60	1,26	31,42	0,8	0,644802	<b>2,5</b>	0,021	0,128	166,67	193,87	1,5
3 Neb	75	1,36	33,93	0,8	0,709759	<b>2,7</b>	0,024	0,157	160,92	192,72	1,7
4 Neb	95	1,46	36,44	0,8	0,763441	<b>2,9</b>	0,025	0,183	159,50	198,48	1,9

**Quadro 20** – Resumo do cálculo das tensões no terreno para maciços cilíndricos tipo Neb  
(d=0,5 m) e diâmetro ( $\phi$ ) 1000 mm.

Tipo de maciço	M (kNm)	V (m <sup>3</sup> )	N (kN)	$\phi$ (m)	Z (m)	H (m)	Larg <sub>fatias</sub> (m)	$\Sigma x_i A_i$ (m <sup>3</sup> )	p <sub>3</sub> (kN/m <sup>2</sup> )	p (kN/m <sup>2</sup> )	h <sub>1</sub> (m)
0 Neb	25	1,57	39,27	1,0	0,723675	<b>2,0</b>	0,024	0,196	152,16	105,13	1,0
1 Neb	40	1,81	45,16	1,0	0,820222	<b>2,3</b>	0,027	0,259	150,17	119,01	1,3
2 Neb	60	1,92	48,11	1,0	0,792109	<b>2,5</b>	0,026	0,240	166,79	152,66	1,5
3 Neb	75	2,04	51,05	1,0	0,827490	<b>2,6</b>	0,028	0,264	168,00	162,41	1,6
4 Neb	95	2,11	52,62	1,0	0,798278	<b>2,7</b>	0,027	0,244	180,75	190,20	1,7
5 Neb	120	2,28	56,94	1,0	0,869538	<b>2,9</b>	0,029	0,294	176,86	193,22	1,9
6 Neb	140	2,44	60,87	1,0	0,953321	<b>3,1</b>	0,032	0,357	170,69	188,00	2,1

**Quadro 21** – Resumo do cálculo das tensões no terreno para maciços cilíndricos tipo Neb  
(d=0,5 m) e diâmetro ( $\phi$ ) 1200 mm.

Tipo de maciço	M (kNm)	V (m <sup>3</sup> )	N (kN)	$\phi$ (m)	Z (m)	H (m)	Larg <sub>fatias</sub> (m)	$\Sigma x_i A_i$ (m <sup>3</sup> )	p <sub>3</sub> (kN/m <sup>2</sup> )	p (kN/m <sup>2</sup> )	h <sub>1</sub> (m)
0 Neb	25	2,04	50,89	1,2	0,766725	<b>1,8</b>	0,026	0,255	160,49	83,73	0,8
1 Neb	40	2,43	60,79	1,2	0,899408	<b>2,2</b>	0,030	0,367	156,59	100,11	1,2
2 Neb	60	2,71	67,86	1,2	0,952473	<b>2,4</b>	0,032	0,416	162,99	119,78	1,4
3 Neb	75	2,85	71,25	1,2	0,959526	<b>2,5</b>	0,032	0,423	169,62	134,35	1,5
4 Neb	95	2,96	74,08	1,2	0,939363	<b>2,6</b>	0,031	0,404	180,94	156,02	1,6
5 Neb	120	3,18	79,45	1,2	0,993292	<b>2,8</b>	0,033	0,457	181,50	165,37	1,8
6 Neb	140	3,28	82,00	1,2	0,995120	<b>2,9</b>	0,033	0,458	186,91	178,43	1,9

## 4.6 ANÁLISE COMPARATIVA

Um dos aspetos que vai influenciar diretamente o rendimento do processo construtivo alternativo (maciços cilíndricos) está relacionado com volume de matérias-primas utilizadas para a execução da estrutura. No caso dos maciços de fundação para postes de catenária, o volume betão representa um papel importante em termos de custos, podendo condicionar a adoção de geometrias alternativas aos maciços prismáticos.

Neste sentido, para as diversas soluções de maciços cilíndricos apresentadas no ponto anterior, importa definir uma solução padrão para cada momento atuante, que permita otimizar o processo construtivo, no que respeita ao volume de betão utilizado.

Da análise dos resultados obtidos, apresenta-se no quadro seguinte a geometria dos maciços cilíndricos otimizados, comparativamente com os maciços prismáticos que serviram de base à execução deste estudo, para cada um dos momentos atuantes analisados.

**Quadro 22** – Análise comparativa entre a geometria dos maciços prismáticos e a geometria dos maciços cilíndricos.

Para d = 0,0 m										
Tipo de maciço	M (kNm)	Maciço Prismático					Maciço Cilíndrico			
		a (m)	b (m)	H (m)	h1 (m)	V (m <sup>3</sup> )	φ (m)	H (m)	h <sub>1</sub> (m)	V (m <sup>3</sup> )
0 Ne	25	0,7	1,0	1,4	0,9	<b>0,98</b>	0,8	1,7	1,2	<b>0,86</b>
1 Ne	40	0,7	1,1	1,6	1,1	<b>1,23</b>	0,8	2,0	1,5	<b>0,99</b>
2 Ne	60	0,7	1,2	1,7	1,2	<b>1,43</b>	0,8	2,2	1,7	<b>1,08</b>
3 Ne	75	0,8	1,3	1,8	1,3	<b>1,87</b>	0,8	2,3	1,8	<b>1,16</b>
4 Ne	95	0,9	1,5	1,8	1,3	<b>2,43</b>	0,8	2,5	2,0	<b>1,26</b>
5 Ne	120	1,0	1,5	2,0	1,5	<b>3,00</b>	1,0	2,5	2,0	<b>1,96</b>
6 Ne	140	1,1	1,7	2,0	1,5	<b>3,74</b>	1,0	2,7	2,2	<b>2,12</b>
7 Ne	170	1,2	1,8	2,2	1,7	<b>4,75</b>	1,2	2,8	2,3	<b>3,20</b>
8 Ne	200	1,3	1,9	2,2	1,7	<b>5,43</b>	1,2	3,0	2,5	<b>3,34</b>

Para d = 0,3 m										
Tipo de maciço	M (kNm)	Maciço Prismático					Maciço Cilíndrico			
		a (m)	b (m)	H (m)	h1 (m)	V (m <sup>3</sup> )	φ (m)	H (m)	h <sub>1</sub> (m)	V (m <sup>3</sup> )
0 Nea	25	0,7	1,0	1,6	0,8	<b>1,12</b>	0,8	1,8	1,1	<b>0,96</b>
1 Nea	40	0,7	1,1	1,8	1,0	<b>1,39</b>	0,8	2,1	1,3	<b>1,07</b>
2 Nea	60	0,7	1,2	1,9	1,1	<b>1,60</b>	0,8	2,3	1,5	<b>1,16</b>
3 Nea	75	0,8	1,3	2,0	1,2	<b>2,08</b>	0,8	2,5	1,7	<b>1,26</b>
4 Nea	95	0,9	1,5	2,0	1,2	<b>2,62</b>	0,8	2,6	1,8	<b>1,33</b>
5 Nea	120	1,0	1,5	2,2	1,4	<b>3,21</b>	1,0	2,7	1,9	<b>2,12</b>
6 Nea	140	1,1	1,7	2,2	1,4	<b>4,11</b>	1,0	2,9	1,2	<b>2,28</b>

Para d = 0,5 m										
Tipo de maciço	M (kNm)	Maciço Prismático					Maciço Cilíndrico			
		a (m)	b (m)	H (m)	h1 (m)	V (m <sup>3</sup> )	φ (m)	H (m)	h <sub>1</sub> (m)	V (m <sup>3</sup> )
0 Neb	25	0,7	1,0	1,8	0,8	<b>1,26</b>	0,8	2,0	1,0	<b>1,03</b>
1 Neb	40	0,7	1,1	2,0	1,0	<b>1,54</b>	0,8	2,3	1,3	<b>1,17</b>
2 Neb	60	0,7	1,2	2,1	1,1	<b>1,76</b>	0,8	2,5	1,5	<b>1,26</b>
3 Neb	75	0,8	1,3	2,2	1,2	<b>2,29</b>	0,8	2,7	1,7	<b>1,36</b>
4 Neb	95	0,9	1,5	2,2	1,2	<b>2,84</b>	0,8	2,9	1,9	<b>1,46</b>
5 Neb	120	1,0	1,5	2,4	1,4	<b>3,60</b>	1,0	2,9	1,9	<b>2,28</b>
6 Neb	140	1,1	1,7	2,4	1,4	<b>4,49</b>	1,0	3,1	2,1	<b>2,44</b>

Da análise do quadro anterior, verifica-se que para qualquer um dos momentos atuantes analisados, o volume do maciço cilíndrico é sistematicamente inferior ao do maciço prismático.

#### 4.7 CONCLUSÕES DO CAPÍTULO 4

A geometria obtida para os maciços em formato cilíndrico apresenta, para os diâmetros de 800, 1000 e 1200 mm, alturas variáveis que atingem, no máximo, os 3,1 m, garantindo o cumprimento das tensões preconizadas.

Importa verificar que, para as alturas consideradas para os maciços cilíndricos, as tensões produzidas no terreno (p1, p2 e p3) são sistematicamente inferiores às

tensões associadas aos maciços prismáticos correspondentes. Desta forma pode concluir-se que, para a metodologia adotada, os maciços cilíndricos dimensionados neste estudo constituem alternativas viáveis aos maciços prismáticos.

Importa realçar que, para as soluções otimizadas apresentadas no ponto 4.6, o volume de betão é sistematicamente inferior nos maciços cilíndricos, comparativamente com os maciços prismáticos (entre 12% e 46%). Este aspeto vai influenciar diretamente os custos associados à execução dos maciços através da solução alternativa, recorrendo a maciços cilíndricos, permitindo uma otimização do aspeto construtivo no que respeita ao consumo de matérias-primas.

Para o dimensionamento de maciços de fundação com geometria cilíndrica em solos com tensões máximas inferiores ao definido, deve realizar-se um novo cálculo que considere o valor das novas tensões admissíveis. Nestes casos é expectável que, mantendo-se o diâmetro do maciço, se obtenham alturas superiores comparativamente com terrenos com tensões admissíveis mais elevadas. Para evitar que os maciços tenham alturas excessivas, poderá recorrer-se ao aumento do diâmetro do maciço.

Sugere-se em desenvolvimentos futuros, a execução de um estudo complementar associado ao dimensionamento dos maciços cilíndricos recorrendo ao cálculo automático com base num método de elementos finitos, com o objetivo de analisar, com maior detalhe, a distribuição das tensões no terreno.



# CAPÍTULO 5

## PLANEAMENTO E ANÁLISE ORÇAMENTAL

### 5.1 INTRODUÇÃO

O processo de fabrico de betão com pré-colocação de agregados para execução de fundações de postes de catenária está suportado numa cuidada preparação e avaliação e implica uma não menos cuidada logística para o fornecimento e aplicação de materiais.

Nos capítulos anteriores efetuou-se a avaliação da aplicabilidade prática desta tecnologia através do desenvolvimento de conhecimentos sobre as características mecânicas do betão PA em função da dimensão do agregado, da dosagem do cimento e das eventuais adições, bem como o dimensionamento dos maciços com geometria cilíndrica. Os resultados obtidos nos ensaios experimentais permitiram desenvolver composições base que garantem, simultaneamente, resistências em conformidade com as necessidades dos maciços e a viabilidade do processo fabrico, nomeadamente no que respeita à injetabilidade da argamassa.

Neste capítulo procede-se a uma avaliação do processo construtivo, procurando não só definir as diversas atividades construtivas associadas à execução dos maciços, como também otimizar o processo através da coordenação entre as diversas etapas. Em paralelo realiza-se uma análise comparativa de custos entre a solução tradicional e uma solução alternativa recorrendo a betão com pré-colocação de agregados, com o objetivo de avaliar a competitividade técnico-económica desta nova metodologia.

## **5.2 PLANEAMENTO E ANÁLISE ORÇAMENTAL**

A metodologia associada à execução do sistema de fundações de postes de catenária, recorrendo ao betão com pré-colocação de agregados exige um cuidado planeamento e coordenação das atividades que permita garantir a otimização do processo, face à metodologia tradicionalmente utilizada.

As atividades associadas ao processo construtivo devem ser antecipadamente estudadas e planeadas, de forma a garantir não só os meios e equipamentos necessários, como também a coordenação entre elas.

A exequibilidade da metodologia, encontra-se dependente da viabilidade económica do processo, comparativamente à solução tradicionalmente utilizada. Neste sentido é importante realizar uma análise comparativa de custos entre ambas as alternativas, tendo em consideração os rendimentos e custos associados a cada atividade.

Para este estudo considerou-se que as atividades que carecem de utilização da via férrea e que se encontram dependentes de interdição da via, se processam durante o período noturno para um intervalo de cinco horas diárias, para as quais se assumiu 30 minutos prévios para preparação dos trabalhos (mobilização de equipamentos na via, deslocação para as frentes de trabalho, entre outros) e 30 minutos para a conclusão dos trabalhos (desmobilização de equipamentos e reposição das condições de referência). Desta forma, o tempo efetivo de trabalho para operações a realizar na via férrea é de quatro horas diárias. Para as operações que não carecem de interdição da via, considerou-se que as mesmas se realizam durante o período diurno, para um intervalo de tempo de oito horas diárias.

### **5.2.1 Solução Tradicional**

A solução tradicional consiste na execução de maciços prismáticos para postes de catenária, com recurso à utilização de betão convencional.

O estudo apresentado tem por base a experiência vivida na empreitada de “Lote 2.3.2 – Linha do Sul – Troço Ermidas / Funcheira – Modernização das Infraestruturas Ferroviárias”, realizada para a REFER – Rede Ferroviária Nacional, EPE.

Trata-se de uma obra com 34.870 m de extensão onde, entre outros trabalhos, foram executadas infraestruturas para a eletrificação de uma via férrea existente, tendo sido materializados 1.425 maciços de catenária e consumidos 2.430 m<sup>3</sup> de betão, recorrendo-se a uma central de betão montada sobre vagões devido às dificuldades de acessibilidade às frentes de trabalho. Esta análise considera os rendimentos médios associados à execução deste tipo de obra e que se apresentam conjuntamente com os custos unitários no Anexo IV.

Para a execução da obra recorreu-se à instalação de um estaleiro fixo, com o objetivo de armazenar as matérias primas necessárias à produção de betão. O estaleiro fixo era constituído pelas seguintes unidades:

- baias separadoras para depósito de inertes,
- 2 silos de 80 ton para armazenamento de cimento e cinzas, e

uma pá carregadora para o abastecimento do estaleiro móvel.

A montagem e desmontagem do estaleiro foi realizada, respetivamente, em 6 e 4 dias úteis, encontrando-se inerentes à sua utilização os custos de manutenção (silos e pá carregadora).

Dadas as características do traçado ferroviário, em zonas de trincheira e de aterro e praticamente sem acessos rodoviários, houve necessidade de construir um estaleiro móvel sobre vagões, constituído por:

- 1 central de betão, com compressor, depósito de água e tolvas para inertes e ligantes,
- 1 gerador de 100kVA, e
- 2 vagões,

A movimentação do estaleiro móvel na via foi efetuada com recurso a um veículo de tração (locomotiva 1400).

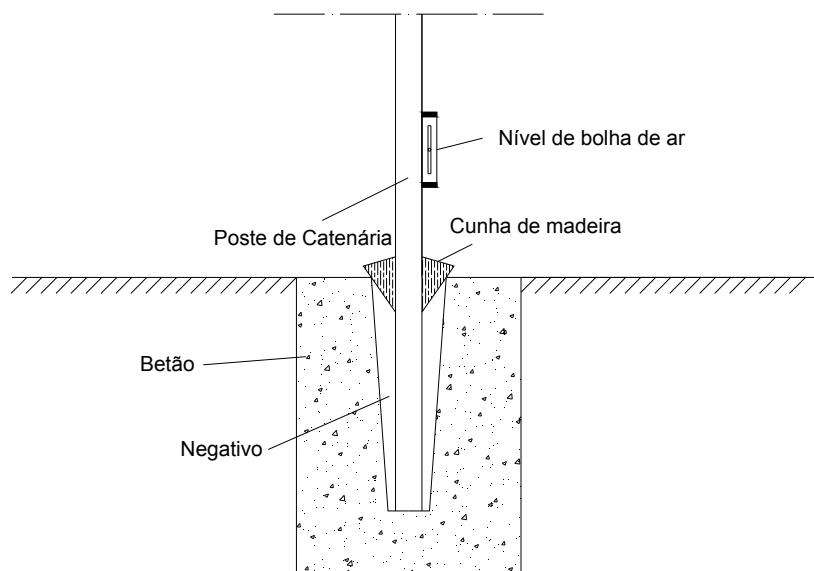


**Figura 67** – Central de betão compacta instalada sobre vagões.

Este conjunto foi utilizado para executar as atividades de betonagem de maciços com betão C16/20 e de selagem dos postes de catenária com betão C20/25, sendo acompanhado pelo operador da central e por 4 oficiais de construção civil. As atividades associadas à utilização do estaleiro móvel foram executadas durante o período noturno, com interdição de via férrea.

Para a execução dos trabalhos de escavação e de posicionamento de negativos, recorreu-se à utilização de duas mini-giratórias e a uma equipa de 6 oficiais de construção civil, os quais operavam durante o período diurno para um intervalo de oito horas diárias, não carecendo de interdição da via. Optou-se pela utilização de dois equipamentos de escavação, de forma a garantir a compatibilidade, ao nível de rendimentos, com a utilização do estaleiro móvel para a betonagem dos maciços.

Após concluído o processo de escavação, posicionou-se um negativo de poliestireno expandido, o qual tinha como função servir de base para a implantação do poste de catenária, servindo como cofragem e delimitando o maciço da zona de selagem do poste. O negativo, após ser colocado, é travado na posição e altura corretas, com recurso a um cangalho.



**Figura 68** – Desenho esquemático do posicionamento do negativo no maciço de fundação.

Na solução tradicional, a execução dos maciços de fundação para postes de catenária é realizada recorrendo à central de betão anteriormente referenciada. Em termos médios, a utilização da central apresentou rendimentos de 30 minutos por cada maciço de fundação.

As atividades de colocação e nivelamento dos postes de catenária processaram-se na via férrea com recurso a um veículo de tração com grua e vagão acoplado com os postes de catenária. Este processo desenvolveu-se com interdição da via, realizando-se durante o período noturno.

A selagem dos postes de catenária foi realizada com um betão C20/25, recorrendo à utilização da central de betão. Dada a necessidade de proceder à selagem dos postes no mais curto espaço de tempo após a sua colocação, este processo foi realizado em alternância com a execução dos maciços com um intervalo de 5 dias úteis.

As atividades de execução de dados com betão C20/25 e a respetiva pintura com 3 demãos de Isolkote, foram executadas por 2 oficiais de construção civil com recurso a uma betoneira manual.

- **Análise Orçamental**

Como se pode verificar na análise orçamental apresentada no Anexo V e do planeamento apresentado no Anexo VI, foram gastos 229 dias úteis na execução da obra, sendo que, destes, 10 corresponderam à montagem e desmontagem do estaleiro e os restantes 219 dias às operações atrás descritas.

Daqui resultaram custos unitários de:

- 1.068,10 € / m<sup>3</sup> de betão pronto, e
- 1.821,40 € / maciço.

O rendimento médio verificado para a execução dos maciços de fundação foi de 6,5 unidades / dia útil.

### 5.2.2 Solução Alternativa

A solução alternativa consiste na execução de maciços cilíndricos para postes de catenária, com recurso à utilização de betão com pré-colocação de agregados, tendo por base a mesma empreitada. Para esta análise realizou-se o estudo e cálculo das diversas atividades envolvidas, determinando-se os rendimentos e custos unitários associados e que se evidenciam no Anexo VII.

Tratando-se de uma via com 34.870 m de extensão que apresenta diversos tipos de maciços com geometrias distintas ao longo do traçado e analisando as características dos maciços cilíndricos dimensionados no capítulo 4, considerou-se que, para a análise da solução alternativa, o volume de maciço é idêntico ao volume do maciço prismático. Esta simplificação constitui uma abordagem conservadora da solução construtiva, uma vez que no ponto 4.6 se verificou que, para qualquer um dos momentos atuantes analisados, o volume do maciço cilíndrico é sistematicamente inferior ao do maciço prismático.

- **Estaleiro Fixo**

À semelhança da solução tradicional, para a execução da obra recorre-se à instalação de um estaleiro fixo, com o objetivo de armazenar as matérias primas necessárias à produção de betão. O estaleiro fixo é constituído pelas seguintes unidades:

- baias separadoras para depósito de inertes,
- 2 silos de 80 ton para armazenamento de cimento e cinzas, e

uma pá carregadora para o abastecimento do estaleiro móvel.

A montagem e desmontagem do estaleiro é realizada, respetivamente, em 6 e 4 dias úteis, encontrando-se inerentes à sua utilização os custos de manutenção. Para o carregamento das matérias primas nos vagões considerou-se a utilização de uma pá carregadora no estaleiro operada por um manobrador.

Apresenta-se no quadro seguinte a totalidade de matérias primas, em termos qualitativos e quantitativos, a utilizar para a produção de betão na execução das fundações dos postes de catenária.

**Quadro 23** – Caracterização das matérias primas necessárias para a produção de betão.

<b>Matéria Prima</b>	<b>Quantidade por Maciço (kg)</b>	<b>Quantidade Total (kg)</b>
<b>Betão PA</b> (Maciços de Fundação)		
Areia 0-2 mm	368,2	524.662
Areia 0-4 mm	153,5	218.675
Cimento CEM I 42,5R	212,5	302.841
Cinzas volantes	212,5	302.841
Brita 12-20 mm	745,2	1.062
Brita 20-32 mm	1738,8	2.478
Adjuvante Glenium Sky 617	6,0	8.495
Adjuvante Rheomatrix	1,6	2.281
<b>Betão C20/25</b> (Selagem de Poste e Execução de Dados)		
Areia 0-1 mm	144,0	205.200
Areia 0-8 mm	128,0	182.400
Cimento CEM II 42,5R	70,4	100.320
Cinzas volantes	19,2	27.360
Brita 6-14 mm	179,2	255.360
Brita 14-20 mm	166,4	237.120
Adjuvante Sikament 200	0,74	1.049

O cimento utilizado para a selagem de postes de catenária e na execução de dados (CEM II 42,5R), devido às reduzidas quantidades utilizadas em cada maciço de fundação, é armazenado em estaleiro em sacos de 50kg.

- **Estaleiro Móvel**

Para a execução dos maciços recorre-se à montagem e utilização de um estaleiro móvel sobre vagões, dimensionado para um rendimento de 12 maciços/dia (Anexo VIII) e com as seguintes características:

**Quadro 24 – Caracterização do estaleiro móvel sob vagões.**

<b>Designação</b>	Central de argamassa montada sobre vagões plataforma	
<b>Modelo dos vagões</b>	Tipo plataforma, modelo MM2 – Fiat type MM2 model	
<b>Dimensões de vagão (por cada vagão)</b>	Comprimento	19.900 mm
	Largura	3.000 mm
<b>Sistema de frenagem</b>	Em composição	Pneumático
	Estacionamento	Mecânico, acionado por volante
<b>Tripulação</b>	1 Operador	
<b>Principal aplicação</b>	Produção / injeção de argamassa em maciços de fundação para betão PA	
<b>Central de Injeção</b>	Marca/Modelo	Atlas Copco / Unigrout E 22 H
	Bomba Grout pump PUMPAC	Caudal de 0-200 L/min
	Agitador CEMAG 402H	Volume 400 L
	Misturadora CEMIX 203H	Capacidade 0-3 m <sup>3</sup> /h Volume útil 200 L
<b>Gerador</b>	Marca/Modelo	Atlas Copco / QAS 30 Kd
	Potência	27 kVA
<b>Depósito de Água</b>	Hidropressor + Contador + Reservatório de Água de 3.000 L	
<b>Tremonhas</b>	Para agregados finos (areia)	1 x 6 m <sup>3</sup>
	Para ligantes (cinzas e cimento)	1 x 6 m <sup>3</sup>
	Para agregados grossos	3 x 6 m <sup>3</sup>
<b>Outras características</b>	Equipada com sem fins e tapetes transportadores e pesadores	

Os vagões são movimentados com auxílio de uma locomotiva 1200, apresentando a seguinte disposição:

- Vagão 1
  - 1 central de injeção (Atlas Copco Unigrout E 22 H),
  - 1 tolva para agregados finos (mistura de 70% areia 0-2 mm e 30% areia 0-4 mm);
  - 1 tolva para ligantes (mistura de 50% CEM I e 50% cinzas);
  - 1 depósito de água de 3.000 lts,
  - 1 gerador de 27 kVA (Atlas Copco QAS 30 Kd),
- Vagão 2
  - 3 tolvas para agregados Grossos (mistura 30% 12/20 mm e 70% 20/32mm),

O estaleiro móvel é acompanhado pelo operador da central, por 4 oficiais de construção civil e labora unicamente em período noturno com interdição de via férrea. Esta unidade é utilizada na execução das atividades de colocação de agregados e injeção de argamassa dos maciços.

- **Marcação do Terreno / Piquetagem**

As operações associadas à execução de maciços envolvem a necessidade de recorrer ao desenvolvimento de atividades prévias de preparação e marcação dos locais onde se irá proceder à intervenção.

A piquetagem de maciços é realizada por uma equipa constituída por um chefe de equipa e dois auxiliares, efetuando a marcação das zonas a intervir numa fase inicial da obra. Esta marcação é materializada no carril com auxílio de fita métrica e apresenta um rendimento médio de 10 maciços/hora.

- **Escavação e Posicionamento do Negativo**

Em situações em que a acessibilidade ao local de execução dos maciços se encontra fortemente condicionada, a utilização de escavadoras de rastos apresenta limitações, sobretudo em zonas de talude ou de aterro, podendo comprometer a viabilidade de execução do processo construtivo. Neste sentido, de forma a otimizar o processo construtivo, para a execução de maciços de fundação considerou-se a utilização de equipamentos que possibilitem efetuar a escavação através da via férrea, mais especificamente uma rail-route com trado acoplado, conforme ilustrado na figura seguinte.



**Figura 69** – Equipamento rail-route com trado acoplado para escavação dos maciços.

Este processo implica a execução de maciços em formato cilíndrico, por oposição ao tradicional formato prismático, prevendo-se que a utilização deste equipamento permita otimizar o processo de escavação comparativamente com a utilização de escavadoras de rastos. Não obstante, a execução dos maciços com uma geometria distinta do que se encontra padronizado carece de um pré-dimensionamento, de forma a garantir a estabilidade da estrutura em resultado dos esforços a que se encontra sujeita. Importa referir que a utilização deste tipo de equipamento se encontra limitado a solos com alguma coesão, estando impossibilitada a sua utilização em maciços rochosos.

A escavação é realizada através do posicionamento do trado na zona anteriormente marcada, efetuando a escavação através da ativação do sistema de rotação do trado. O diâmetro e características do trado a adotar devem ter em consideração o diâmetro do maciço a ser executado e as propriedades do solo.

Esta atividade é precedida da movimentação do equipamento para o local através da via, realizando sequencialmente o processo de escavação dos diversos maciços. Importa referir que a utilização deste equipamento para a execução de trabalhos de escavação carece de circulação na via, estando limitada a sua utilização ao período de interdição.

A execução dos caboucos deve garantir, simultaneamente, as seguintes condições:

- A segurança não só dos trabalhadores, como também de todas as pessoas ou equipamentos que circulem junto ao local de escavação.

Para tal deve evitar-se manter os caboucos abertos durante largos períodos de tempo;

- A estabilidade das paredes, o qual depende sobretudo do tipo de solo e do nível freático. Caso se verifique condicionantes a estes níveis, deve evitar manter-se os caboucos abertos durante largos períodos de tempo.

As condicionantes anteriormente referidas são relevantes no desenvolvimento do planeamento, podendo limitar o processo de escavação a uma extensão pré-definida, de forma a manter as condições de segurança. Para a obra em estudo dimensionou-se os recursos de forma a garantir que os caboucos não permanecem abertos por períodos superiores a 24h.

Os solos excedentes associados ao processo de escavação são armazenados no próprio local, com o objetivo de reconstituir a plataforma. No final do processo de escavação, se necessário, deve ser realizada a limpeza e regularização do fundo do cabouco, de forma a garantir os requisitos definidos em projeto.

Concluído o processo de escavação, deve ser colocado um negativo, de acordo com as especificações de projeto e conforme esquematizado nas Figuras 70 e 71. Este negativo tem como função servir de base para a implantação do poste de catenária, servindo como cofragem e delimitando o maciço da zona de selagem do poste.

O negativo pode ser metálico, de madeira ou de poliestireno expandido, sendo que no último se considera como cofragem perdida. No caso dos negativos metálicos ou de madeira deve ser aplicado óleo descofrante, de forma a permitir a sua remoção e reutilização nos restantes maciços. Na obra em estudo considerou-se a utilização de negativo de poliestireno expandido, à semelhança da solução tradicional.

O negativo, após ser colocado, é travado na posição e altura corretas, com recurso a um cangalho, conforme ilustrado na figura seguinte.



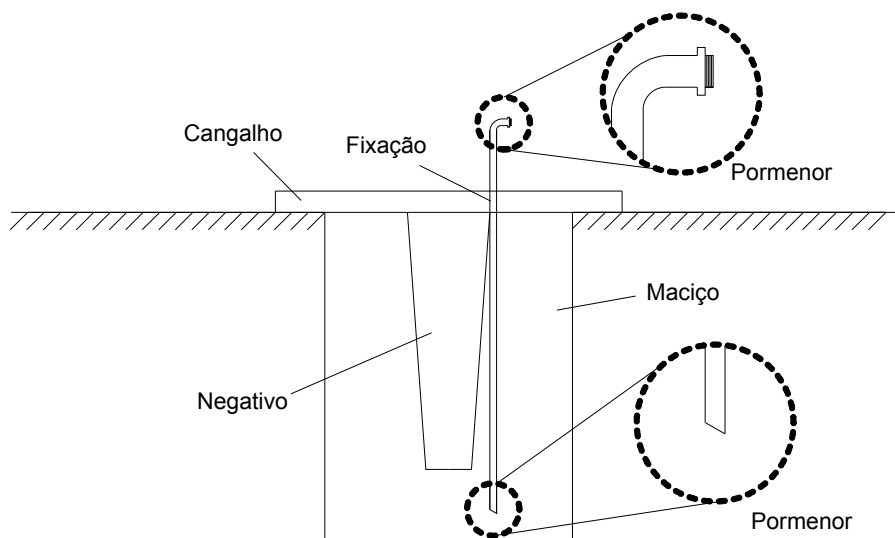
**Figura 70** – Exemplo de colocação e travamento do negativo, com recurso a um cangalho.

Para a execução de maciços de fundação recorrendo a betão com pré-colocação de agregados é importante garantir a estabilidade e fixação do negativo, de forma a que a colocação de agregados grossos no maciço não comprometa a sua verticalidade.

A execução de maciços de fundação recorrendo a betão com pré-colocação de agregados prevê a injeção de argamassa a baixa pressão no maciço preenchido com agregados grossos. Neste sentido deve ser instalado, previamente, um sistema de injeção que permita garantir o preenchimento com argamassa da totalidade dos vazios existentes.

Para a preparação do sistema de injeção de argamassa deve ser instalado um tubo metálico de 40 mm de diâmetro em toda a altura do maciço, que permita realizar o processo de injeção a partir da base. Este tubo deve ser suportado pelo cangalho, sendo a verticalidade garantida através deste, conforme ilustrado na Figura 71.

Os tubos a utilizar devem ter a extremidade inferior posicionada a cerca de 20 cm do fundo do maciço, apresentando uma geometria biselada, com o objetivo de facilitar o processo de injeção e prevenir eventuais entupimentos devido ao solo ou aos agregados grossos. Na parte superior do tubo, a saída deve ser precedida de uma curva a 90° que permita aos trabalhadores acoplar facilmente as mangueiras ligadas à central de injeção.



**Figura 71** – Desenho esquemático do posicionamento das tubagens de injeção.

A montagem e travamento do sistema de injeção deve garantir a estabilidade do mesmo, de forma a evitar o seu deslocamento excessivo quando se proceder à colocação dos agregados grossos no maciço. Nesta obra, a escavação e o posicionamento dos negativos é executado em período noturno e com interdição de via férrea, com o recurso a uma rail-route com trado e a uma equipa de 3 oficiais de construção civil, estimando-se um rendimento médio de 12 maciços por dia. A definição deste rendimento tem por base a experiência acumulada de empresas de construção ferroviária na execução deste tipo de estruturas.

- **Execução de Maciços de Catenária**

Para a execução dos maciços de catenária recorre-se à utilização do estaleiro móvel, efetuando inicialmente a colocação de agregados grossos através de descarga direta do vagão e posteriormente injeção de maciços. Para a obra em estudo, tendo em consideração que a distância média entre maciços consecutivos é de 49 m, dimensionou-se os meios para a injeção simultânea de dois maciços. Esta operação efetua-se através do posicionamento da central numa distância intermédia entre os maciços, injetando numa primeira fase um maciço e numa segunda fase o segundo maciço. Estas operações são precedidas da descarga de agregados grossos nos maciços, de acordo com a sequência esquematizada na Figura 72.



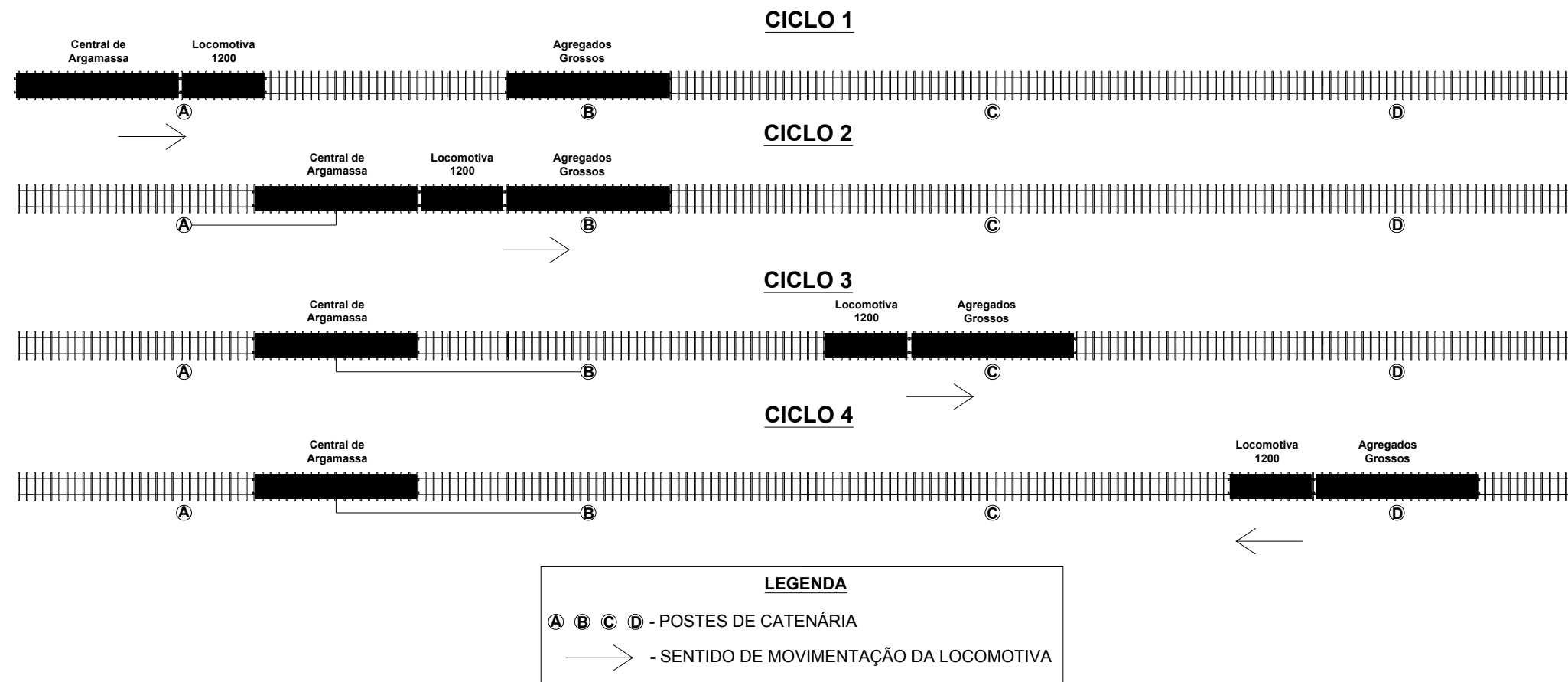


Figura 72 – Faseamento do processo de execução dos maciços.

A mobilização da central de argamassa e do vagão de agregados grossos é realizada com recurso a uma única locomotiva, a qual posiciona alternadamente os vagões nos pontos onde se realizam as operações de injeção e de colocação de agregados. Desta forma, enquanto se processa a colocação de agregados num maciço, a locomotiva transporta a central de argamassa para um ponto intermédio entre ambos os maciços, efetuando-se posteriormente a injeção de dois maciços a uma distância de cerca de 25 m.

Este processo, subdividido em diversos ciclos, é repetido sucessivamente, permitindo executar um maior número de maciços num intervalo de tempo pré-definido e possibilitando uma otimização dos recursos.

A execução deste processo carece da utilização de vagões com sistema de frenagem de mecânico de estacionamento, que permita a imobilização total de ambos os vagões associados ao estaleiro móvel. Este aspeto permite que o veículo de tração (locomotiva) efetue, alternadamente, o transporte da central de argamassa e dos agregados grossos, evitando a necessidade de se recorrer a um outro veículo de tração.

Para ter em conta as paragens e pequenas reparações inerentes ao processo, adotou-se um rendimento de 75% para a misturadora da central e um rendimento 50% para a bomba de injeção, o que representa uma capacidade média de 11 misturas de 200 L por hora trabalhada. Em termos globais, os rendimentos adotados permitem a execução de dois maciços num intervalo de tempo de 40 minutos, o que representa um rendimento diário médio de doze unidades, conforme ilustrado na Figura 73.

**Quadro 25** – Características da central de mistura e injeção de argamassa.

	<b>Especificações do Equipamento</b>	<b>Características Adotadas</b>
<b>Caudal</b>	0-200 L/min	100 L/min
<b>Capacidade de Mistura</b>	0-3 m <sup>3</sup> /h	2,25 m <sup>3</sup> /h
<b>Volume da Misturadora</b>	200 L	200 L
<b>Volume do Agitador</b>	400 L	400 L
<b>Rendimento Médio</b>	15 misturas 200 L/h 4 min/mistura	11 misturas 200 L/h 5,5 min/mistura
<b>Volume do Maciço</b>	1,38 m <sup>3</sup>	1,38 m <sup>3</sup>
<b>% de Vazios</b>	40%	40%
<b>Volume de Vazios</b>	0,6 m <sup>3</sup>	0,6 m <sup>3</sup>
<b>Tempo Injeção (200L)</b>	1 min	2 min
<b>Tempo Total de Injeção por Maciço (600 L)</b>	3 min	6 min

		INJEÇÃO MACIÇO A														INJEÇÃO MACIÇO B																																												
		TEMPO (MINUTOS)																																																										
		0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39																			
Ciclo 1	Vagão da Central de Injeção	Movimentação da Central de Injeção para maciços A e B																																																										
	Vagão de Agregados Grossos	Mistura Argamassa (200L)					Agitador (200 L)																																																					
Ciclo 2	Vagão da Central de Injeção	Colocação Agregados Maciço B																																																										
	Vagão de Agregados Grossos	Mistura Argamassa (200L)					Mistura Argamassa (200L)					Ligação manguelras inj.										Injeção 400 L										Injeção 200L																												
Ciclo 3	Vagão da Central de Injeção											Movimentação para Maciço C																																																
	Vagão de Agregados Grossos																					Mistura Argamassa (200L)										Mistura Argamassa (200L)										Injeção 200L																		
Ciclo 4	Vagão da Central de Injeção																					Colocação Agregados Maciço C										Movimentação para Maciço D										Mistura Argamassa (200L)																		
	Vagão de Agregados Grossos																																									Injeção 200L																		
	Locomotiva																																									Colocação Agregados Maciço D										Movimentação para maciço A/B								

Figura 73 – Faseamento do processo de execução dos maciços.

Conforme foi referido anteriormente, este processo é acompanhado por um operador da central e por 4 oficiais de construção civil, realizando a sua atividade durante o período noturno e com interdição de via férrea.

Durante o processo de descarga dos agregados grossos no maciço, deve garantir-se a estabilidade dos tubos de injeção anteriormente colocados.

Os agregados a utilizar neste processo deve ser uma combinação com 30% de granulometria 12-20 mm e 70% de granulometria 20-32, de acordo com os ensaios realizados laboratorialmente, e que garantem não só uma resistência mais elevada, como também permitem realizar o processo de injeção sem qualquer obstrução. Ao nível da calda de injeção, por uma questão de otimização de custos, optou-se pela utilização de uma dosagem com 50% de cimento e 50% de cinzas.

As mangueiras de injeção devem ter um sistema que permita que sejam enroladas e desenroladas rapidamente, de forma a não limitar a progressão da central de mistura e injeção.

- **Colocação e Nivelamento dos Postes de Catenária**

O processo de colocação dos postes de catenária é executado com recurso a um veículo de tração com grua e um vagão para transporte dos postes, à semelhança da solução tradicional. Antes do carregamento dos postes, deve ser conferido a identificação de cada poste comparativamente com o projeto. Os postes devem ser colocados no vagão na ordem inversa ao da colocação, de forma a facilitar o processo de instalação dos postes nos maciços de fundação.

Previamente à colocação do poste, deve ser verificado que a identificação do poste corresponde à indicação do projeto para o maciço a ser executado. A instalação do poste deve ser efetuada com recurso à grua através dos seguintes passos:

- Amarrar a 1/3 do topo do poste uma cinta sintética ou estropo de aço e içar o mesmo com a grua;
- Ao colocar o poste no maciço, certificar-se visualmente da correta posição e paralelismo com a via, das faces (abas) do poste dos lados da via e do campo;

- Afixar a uma das abas do poste o nível duplo de bolha de ar e posicionar o parafuso de ajuste para o valor da contra-flecha de projecto;
- Ajustar a posição do poste por movimentação lenta da grua e/ou chave de virar postes, até que as bolhas de ar de ambos os níveis estejam centradas;
- Travar o poste nesta posição com recurso a cunhas de madeira, de forma a garantir a sua verticalidade e estabilidade.



**Figura 74** – Colocação de poste de catenária em maciço de fundação com recurso a rail-route com grua.



**Figura 75** – Fixação temporária de poste de catenária, recorrendo a cunhas de madeira.

De forma a otimizar o processo construtivo considerou-se a constituição de duas equipas estruturadas cada uma delas por:

- 1 veículo de tração com grua e vagão com manobrador;
- 1 chefe de equipa;
- 2 Oficiais de construção civil;
- 2 auxiliares;
- 1 vagão para selagem dos maciços.

- **Selagem de Postes de Catenária**

A selagem dos postes de catenária processa-se através da betonagem da base dos postes. A execução desta atividade, é realizada recorrendo à utilização de betão C20/25 com recurso a uma betoneira manual.

A utilização de betão tradicional na selagem dos postes de catenária em detrimento do betão PA deve-se essencialmente a dois fatores:

- Reduzido volume de betão comparativamente com o volume do maciço de fundação;
- Dificuldades na colocação de agregados e injeção devido à reduzida área superficial, a qual é ainda mais limitada devido à presença das cunhas de madeira utilizadas no processo de travamento do poste.

A utilização de um sistema de produção e colocação de betão tradicional com recurso a betoneira manual permite que esta atividade não se encontre dependente da central de injeção, a qual pode focar-se, exclusivamente, na execução dos maciços de fundação.

A realização desta atividade deve ser executada pouco tempo após a colocação dos postes de catenária nos negativos, de forma a evitar a acumulação de detritos nos negativos e, sobretudo, de forma a garantir as condições de segurança da via em exploração. Neste sentido, com o objetivo de minimizar este tempo, incluiu-se um vagão no equipamento de colocação e nivelamento de postes, com a função de executar a selagem dos postes após a colocação destes. Neste vagão considerou-se uma equipa constituída pelos seguintes meios:

- 2 betoneiras manuais Torgar H-250;

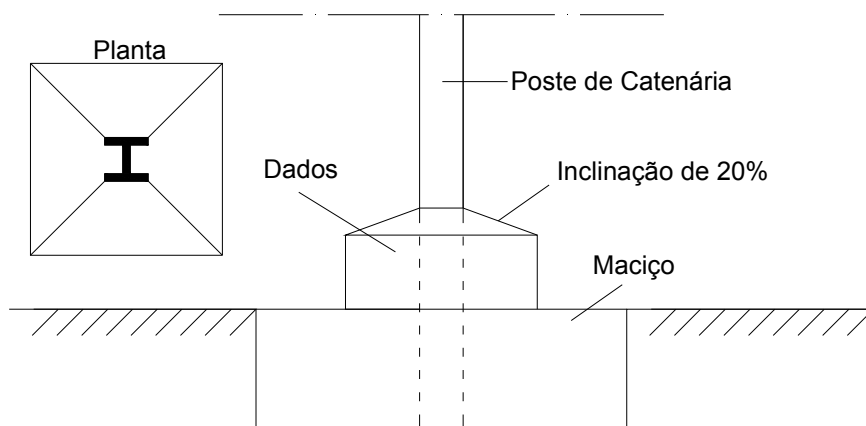
- Mão de obra utilizada na colocação e nivelamento de postes de catenária (1 chefe de equipa, 2 oficiais de construção civil e 2 auxiliares).

As matérias primas necessárias (cimento, cinzas, brita, areia, água e adjuvantes), dada a reduzida quantidade, são armazenados no vagão junto às betoneiras. A amassadura é efetuada em simultâneo com a colocação e nivelamento dos postes, realizando-se posteriormente a betonagem direta no negativo. Encontrando-se esta atividade dependente da colocação e nivelamento dos postes de catenária e considerando que a amassadura se processa em simultâneo com um tempo de execução inferior, considerou-se um rendimento global associado a ambas as atividades de 4 unidades diárias.

Durante este processo deve ser verificado e, se necessário, retificado a posição do poste (contra-flexa e verticalidade) recorrendo novamente ao nível duplo de bolha de ar. Após a presa do betão de selagem (aproximadamente 24h), retira-se as cunhas de madeira e verifica-se novamente a posição do poste.

- **Execução e Pintura de Dados**

A atividade de execução de dados para os maciços de fundação é realizada após a selagem dos postes de catenária, através da utilização de cofragens e posterior execução da betonagem recorrendo a uma betoneira manual, dado o reduzido volume a aplicar em cada poste.



**Figura 76** – Desenho esquemático de dado para maciço de fundação.

A execução destes elementos é seguida da aplicação de uma emissão betuminosa em toda a superfície em três demãos, com a função de impermeabilizar a zona de encastramento do poste de catenária.

Em termos de dimensionamento, estes elementos devem cumprir as especificações definidas na Instrução Técnica IT-C-004 publicada em Dezembro de 2000 pela REFER EP, designada de Maciços para Postes de Catenária, que define os critérios, limites e geometria a adotar para a execução de dados para maciços.

Para a realização desta atividade considerou-se uma equipa constituída pelos seguintes meios:

- 2 oficiais de construção civil;
- 1 betoneira manual

- **Análise Orçamental**

Como se pode verificar na análise orçamental apresentada no Anexo IX e do planeamento correspondente apresentado no Anexo X, estima-se que serão gastos 196 dias úteis na execução da obra, sendo que, destes, 10 corresponderão à montagem e desmontagem do estaleiro e os restantes 186 dias às operações atrás descritas.

Com esta metodologia, prevêem-se custos unitários de:

- 953,12 € / m<sup>3</sup> de betão PA, e
- 1.625,31 € / maciço.

O rendimento médio verificado ao nível de execução dos maciços foi de 7,7 unidades / dia útil.

### 5.2.3 Análise Comparativa

Apresenta-se, de seguida, uma análise comparativa das soluções estudadas.

Assim, da análise dos Anexos V, VI, IX e X, verifica-se que:

- O prazo global da empreitada é menor para a solução alternativa (196 du) do que para a solução tradicional (229 du), em consequência da metodologia

adotada para a selagem dos postes de catenária. O facto de a selagem dos postes ser executada com meios independentes do estaleiro móvel, permite que este se focalize exclusivamente na execução dos maciços, garantindo uma otimização dos recursos e, conseqüentemente, uma redução do tempo de execução.

- O preço unitário da escavação e de posicionamento dos negativos, é mais elevado quando se trata da execução de maciços recorrendo ao processo tradicional. Este aumento dos encargos está associado ao menor rendimento associado ao processo de escavação, apesar de as mini-giratórias apresentarem menores custos unitários comparativamente com a rail-route.
- O tempo de execução dos maciços na solução alternativa (119 du) é menor do que na solução tradicional (179 du), o que representa uma redução nos encargos (utilização e manutenção) associados à utilização do estaleiro móvel. Esta diferença nos encargos é potenciada também pelos custos unitários associados ao aluguer e manutenção do estaleiro móvel na solução tradicional, que são naturalmente mais elevados comparativamente com a solução alternativa.
- A nível global, verifica-se uma redução de cerca de 10,8% no valor global da empreitada e de 34,4% no conjunto das atividades de escavação e execução de maciços. Esta redução representa uma mais valia de 279.419,62 € no valor global da empreitada.
- As operações de marcação do terreno, colocação e nivelamento dos postes e execução e pintura de dados, apresentam custos idênticos, uma vez que a metodologia de execução adotada foi idêntica em ambas as alternativas.

### **5.3 CONCLUSÕES DO CAPÍTULO 5**

A coordenação das atividades associadas à execução de maciços de fundação para postes de catenária recorrendo a betão com pré-colocação de agregados deve ser planeada de forma a otimizar o processo construtivo e, conseqüentemente, aumentar o rendimento.

A otimização do rendimento permite, não só executar um maior número de maciços num determinado intervalo de tempo, como também reduzir os custos associados à utilização de equipamentos, mão de obra e manutenção de estruturas.

Ao nível da análise orçamental, do exposto, e fazendo uma análise global, conclui-se que a solução alternativa é mais vantajosa, apresentando um rendimento médio de 7,7 unidades / dia útil. Em termos comparativos, verificou-se uma redução de custos de 279.419,62 € para a totalidade da empreitada, o que representa uma melhoria de 10,8% face ao processo tradicional.

Ao nível do planeamento, a execução das atividades de uma forma individualizada e, sempre que possível, em simultâneo em diversos maciços, permite obter melhorias significativas ao nível rendimento, sobretudo quando se processa à injeção de dois maciços em simultâneo. Se possível, a execução do processo de injeção em três maciços em simultâneo permite melhorar o rendimento, no entanto implicaria a utilização de tubagens flexíveis de maior comprimento e um sistema de bombagem da argamassa que garantisse compensar as perdas de carga associadas.

Em resultado da análise efetuada, tanto a nível orçamental como de planeamento, verificou-se que a utilização da tecnologia de betão com pré-colocação de agregados apresenta diversos benefícios comparativamente com a solução tradicionalmente utilizada recorrendo a betão convencional, permitindo uma otimização potencial do processo produtivo.

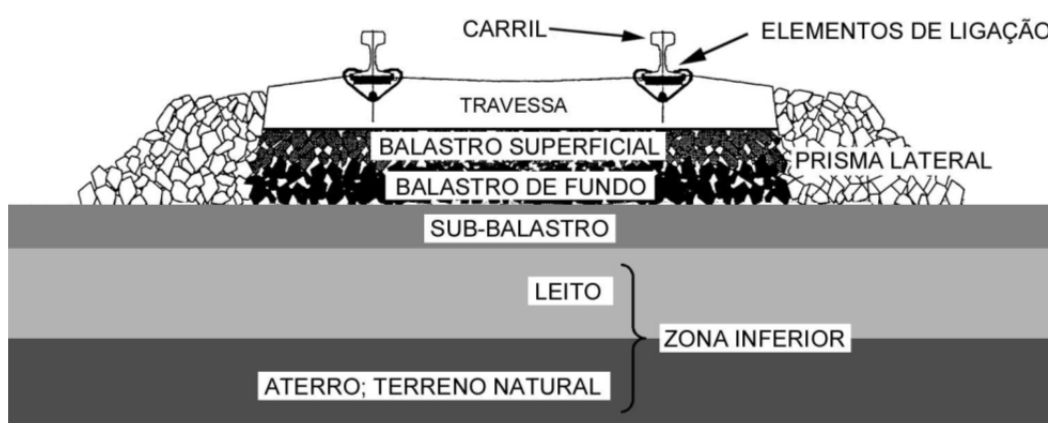


# CAPÍTULO 6

## INCORPORAÇÃO DE BALASTRO EM FIM DE VIDA

### 6.1 INTRODUÇÃO

A camada de balastro é um material constituinte da via férrea, que desempenha um papel fundamental no comportamento da via no que respeita à estabilidade vertical e horizontal. De acordo com a norma NP EN 13450 (NP EN 13450, 2005), o balastro caracteriza-se por ser “agregado utilizado na construção de vias férreas no qual 100% da superfície das suas partículas é britada”. Segundo Fortunato (Fortunato, 2005), o balastro resiste às forças com componente vertical pela resistência direta das partículas de balastro, enquanto que as forças laterais e longitudinais são equilibradas pelo atrito que se gera entre as partículas de balastro.



**Figura 77** – Perfil transversal esquemático de uma via balastrada (Fortunato, 2005).

A camada de balastro desempenha diversas funções, das quais se destaca (Fortunato, 2005):

- Servir de apoio às travessas;

- Resistir às ações verticais, laterais e longitudinais aplicadas às travessas, com o objetivo de manter a via no alinhamento correto;
- Promover a absorção de vibrações;
- Permitir o escoamento de material poluente proveniente do material circulante;
- Facilitar as operações de conservação relacionadas com o nivelamento e o alinhamento da via, devido à possibilidade de arranjo das partículas de balastro;
- Permitir o escoamento das águas da chuva que caem na via;
- Evitar o aparecimento de vegetação;
- Minimizar os efeitos das ações climáticas (chuva e gelo) sobre as camadas subjacentes;
- Reduzir a tensão transmitida pelas travessas às camadas subjacentes e fazer essa transferência da forma mais uniforme possível.

Estima-se que o tempo de vida útil da camada de balastro está compreendida num intervalo de 10 a 52 anos, dependendo das ações de manutenção (Milford et al., 2010). Durante este período, o balastro vai perdendo progressivamente as suas características, sobretudo ao nível da resistência mecânica, devendo ser substituído assim que as suas propriedades deixam de cumprir os requisitos inerentes às suas funções. Esta redução da resistência deve-se, essencialmente, às cargas a que o balastro foi sujeito durante o seu tempo de vida útil, as quais vão gerando uma progressiva fragmentação e degeneração do material, apresentando granulometrias variadas que podem ir desde pequenos diâmetros (detritos de balastro) até cerca de 63 mm (Figuras 79 e 80). Como consequência da redução das propriedades mecânicas do balastro, verifica-se uma perda progressiva no que respeita ao alinhamento vertical e horizontal da via.



**Figura 78** – Equipamento de desguarnecimento mecânico da via e respetivos vagões para armazenagem temporária de balastro.



**Figura 79** – Balastro proveniente de trabalhos de beneficiação de plena via, junto à Estação de Alfarelos.



**Figura 80** – Detritos de balastro proveniente de trabalhos de beneficiação de plena via, junto à Estação de Alfarelos.

Esta variabilidade ao nível da granulometria do balastro deve-se a diversos fatores, dos quais se destaca:

- Disposição transversal na via – Os esforços a que se encontra submetido o balastro são resultantes, essencialmente, de dois fatores – a carga permanente associada à própria via e a carga pontual associada ao material circulante. A localização do balastro na via, em termos verticais, apresenta esforços distintos, estando o balastro à superfície sujeito unicamente a cargas pontuais do material circulante, enquanto que o balastro localizado na zona inferior da

plataforma está, adicionalmente, sujeito a cargas permanentes resultantes do balastro que o sobrepõem.

- Nível de utilização da via – O tipo de material circulante que opera na via, bem como as respectivas velocidades de operação e o tráfego influenciam as cargas a que o balastro se encontra sujeito, provocando diferentes tensões no balastro e níveis de deterioração distintos.
- Disposição longitudinal na via – A presença de balastro em zonas de paragem do material circulante (como por exemplo estações), pode provocar uma diminuição das propriedades do balastro, não só devido às cargas exercidas como também devido à presença de contaminantes provenientes dos sistemas hidráulicos e combustível.
- Grau de utilização – O tempo de exposição do balastro às cargas atuantes, o qual vai aumentar o grau de fragmentação do balastro.

A exposição a contaminantes presentes na via pode potenciar o processo de degradação do balastro, no entanto não são conhecidos estudos que evidenciem uma correlação entre a contaminação ambiental e o desempenho mecânico da camada de balastro.

Apesar das limitações associadas ao balastro em fim de vida no que respeita à sua utilização em linha férrea, o resíduo resultante pode constituir um material que pode ser reutilizado para o fabrico de novos produtos.

Neste capítulo procede-se à avaliação técnica e económica da viabilidade de incorporação de balastro em fim de vida como agregado grosso no processo produtivo de betão com pré-colocação de agregados para execução de sistemas de fundações de postes de catenária. A incorporação no processo produtivo de materiais em fim de vida vem ao encontro de diversas orientações legislativas a nível nacional e comunitário que incentivam e promovem a reutilização de materiais e resíduos no setor da construção.

### **6.2 ENQUADRAMENTO LEGAL**

A produção de resíduos caracteriza-se por ser, hoje em dia, um aspeto de especial relevância, sobretudo, devido ao elevado volume gerado e à grande variabilidade em

termos qualitativos. Nas últimas duas décadas têm sido publicados diversos diplomas legais que preveem e incentivam a valorização e a reutilização de resíduos, com o objetivo de garantir um desenvolvimento sustentável das atividades humanas, sobretudo no sector da construção.

Neste âmbito, importa destacar o Decreto-Lei n.º 178/2006, de 5 de Setembro, alterado pelo Decreto-Lei n.º 73/2011, de 17 de Junho, que estabelece o regime geral de gestão de resíduos. Este diploma define, no seu artigo 7.º, os princípios da hierarquia dos resíduos, privilegiando as operações de reutilização e reciclagem de materiais em detrimento das operações de eliminação, como a deposição em aterros sanitários.

Importa referir que a alteração resultante da publicação do Decreto-Lei n.º 73/2011, de 17 de Junho, vem estabelecer, no âmbito da contratação de empreitadas de construção e de manutenção de infra-estruturas ao abrigo do Código dos Contratos Públicos, a obrigatoriedade de utilização de pelo menos 5% de materiais reciclados relativamente à quantidade total de matérias-primas usadas.

Importa ainda realçar o Decreto-Lei n.º 46/2008, de 12 de Março, que estabelece o regime das operações de gestão de resíduos resultantes de obras ou demolições de edifícios ou de derrocadas, definindo critérios e regras para a utilização de resíduos de construção e demolição. Segundo o artigo 7.º deste diploma, “A utilização de RCD em obra é feita em observância das normas técnicas nacionais e comunitárias aplicáveis. (...) Na ausência de normas técnicas aplicáveis, são observadas as especificações técnicas definidas pelo Laboratório Nacional de Engenharia Civil e homologadas pelos membros do Governo responsáveis pelas áreas do ambiente e das obras públicas (...)”.

A nível comunitário, a União Europeia estabeleceu, com a publicação da Diretiva 2008/98/CE, de 19 de Novembro, para 2020 a meta de 70% de preparação para a reutilização, reciclagem e valorização de outros materiais, incluindo operações de enchimento utilizando resíduos como substituto de outros materiais, de resíduos de construção e demolição não perigosos, com exclusão de solos e rochas.

Neste sentido, tem-se verificado uma crescente preocupação da sociedade em geral relativamente à temática dos resíduos que se tem refletido gradualmente na

publicação de um vasto número de diplomas legais que promovem e estabelecem regras para a prevenção e a reutilização de resíduos.

No caso dos caminhos de ferro, um dos resíduos resultantes da manutenção e beneficiação das vias férreas é o balastro, o qual implica a remoção e substituição periódica deste material ao longo da via. Esta substituição implica a produção de volumes elevados de resíduos, os quais podem apresentar características de perigosidade diversas, de acordo com o grau de contaminação existente.

A necessidade de substituição deste material está dependente do seu período de vida, o qual está relacionado com as características mecânicas e as solicitações a que se encontram sujeitos. As operações de manutenção ao nível do balastro podem implicar a limpeza e/ou remoção parcial ou total, a qual é realizada normalmente através de uma depuradora de balastro.

A problemática associada ao balastro em fim de vida, nomeadamente o balastro que apresenta um grau de contaminação significativo, tem servido de base ao desenvolvimento de diversos estudos e metodologias de tratamento com vista à sua reutilização em novas aplicações. O risco de contaminação do balastro é naturalmente superior em locais onde o material circulante se encontra parado ou circula a velocidades reduzidas, como estações, locais de paragem, túneis e lubrificadores de via (Afonso, 2011).

Neste sentido, tendo em conta que o desenvolvimento das linhas férreas se processa maioritariamente em plena via, onde existe um baixo risco de contaminação ambiental do balastro (Afonso, 2011), este estudo focou-se na reutilização de material não contaminado para a produção de betão com pré-colocação de agregados para execução de sistemas de fundações para postes de catenária.

## 6.3 CARATERIZAÇÃO DO BALASTRO

### 6.3.1 Crítérios de Elegibilidade

A incorporação de balastro nas vias férreas carece do cumprimento de uma série de critérios e especificações que permitam garantir as funções inerentes à sua utilização.

As propriedades e características do balastro encontram-se especificadas na norma NP EN 13450 (NP EN 13450, 2005), referente a agregados para balastro de via férrea. Complementarmente, é frequente a utilização de critérios e especificações definidas por parte de Donos de Obra, no qual se destaca a instrução técnica IT.GEO.001 desenvolvida pela REFER EP e que define as características técnicas dos produtos de balastro e gravilha. Este documento refere os limites de aceitação e as restrições para incorporação de balastro numa via férrea de acordo com ensaios efetuados laboratorialmente.

No caso dos agregados associados ao processo de fabrico de betão, mais especificamente para betão com pré-colocação de agregados, as características e propriedades necessárias para os agregados grossos são naturalmente distintas daquelas que são exigidas ao nível do balastro a incorporar numa via ferroviária. Esta diferença está relacionada com a função que este tipo de agregado vai desempenhar, que é distinta daquela que é exigida para o balastro de uma via ferroviária.

Também o balastro em fim de vida, conforme foi referido anteriormente, apresenta características distintas do balastro originalmente colocado na via, sobretudo devido às cargas e à exposição a que foi sujeito durante o seu ciclo de vida.

A incorporação de balastro no processo produtivo de betão com pré-colocação de agregados, à falta de regulamentação específica neste âmbito, deve cumprir as características definidas na norma NP EN 12620: 2002 referente a agregados para betão, exceto no que diz respeito à granulometria onde deve cumprir os requisitos definidos no Quadro 1.

Em complemento com a norma NP EN 12620: 2002, devem ser consideradas outras normas e especificações que definam critérios específicos para a utilização de

agregados no processo de fabrico de betão tradicional ou betão com pré-colocação de agregados, nomeadamente:

- ACI 304.1R-92 – Guide for the use of preplaced aggregate concrete;
- ACI 304R-00 – Guide for Measuring, Mixing, Transporting and Placing Concrete;
- ASTM C 637 – Standard Specification for Aggregates for Radiation-Shielding Concrete;
- Especificação LNEC E 467 – 2006 – Guia para a Utilização de Agregados em Betões de Ligantes Hidráulicos.

### 6.3.2 Caraterização

A utilização de balastro em fim de vida como agregado grosso para produção de betão com pré-colocação de agregados, deve ser complementada através de uma caraterização prévia do material. Esta caraterização tem como objetivo avaliar a conformidade dos agregados obtidos após submetidos a processamento (britagem e lavagem), nomeadamente no que se refere às suas características físicas, químicas e mecânicas.

No âmbito deste estudo procedeu-se à análise de uma amostra de balastro proveniente da plataforma ferroviária da Linha da Beira Alta, a qual foi submetida a ensaios de caraterização. A amostra foi obtida na sequência de uma empreitada de beneficiação realizada junto à estação ferroviária de Celorico da Beira, tendo sido sujeita a um processamento prévio de britagem, com o objetivo de obter granulometrias compatíveis com os requisitos definidos para o Grading 1 do Quadro 1 (Figura 81).

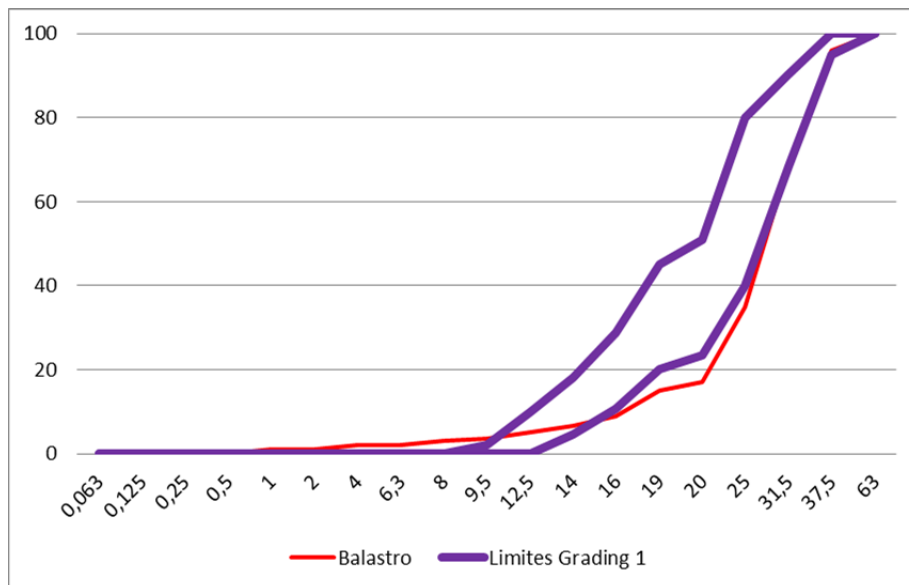


**Figura 81** – Agregado grosso proveniente do processamento de balastro em fim de vida.

As propriedades ensaiadas no âmbito deste estudo foram definidas previamente e incidiram essencialmente nos requisitos geométricos, nomeadamente granulometria e forma do agregado, e a nível mecânico na resistência ao esmagamento. A execução destes ensaios tem como objetivo realizar uma análise prévia das características geométricas e mecânicas do agregado e avaliar a viabilidade técnica da sua utilização comparativamente com agregado grosso novo, devendo ser complementadas com ensaios mais extensos. Importa referir que a representatividade dos resultados é referente à amostra em estudo, podendo variar consoante as características do balastro e o tipo de processamento efetuado.

- **Granulometria**

A análise granulométrica da amostra foi realizada de acordo com a norma EN 933-1: 2012 referente a “Tests for geometrical properties of aggregates – Part 1: Determination of particle size distribution – Sieving method”. Os resultados referentes a este ensaio encontram-se expressos no Anexo XII, ilustrando-se na Figura 82 a curva granulométrica correspondente com os fusos definidos para o Grading 1 do Quadro 1.



**Figura 82** – Curvas granulométricas dos agregados grossos provenientes de balastro em fim de vida e dos fusos definidos no Guia ACI 304.1 R-92 para o “Grading 1”.

Os resultados obtidos evidenciam uma granulometria entre os 16 e 31,5 mm ligeiramente superior aos fusos definidos, verificando-se simultaneamente a presença elevada de partículas de granulometria inferior a 9,5 mm.

Importa realçar que a presença destas partículas de menor dimensão (superior a 2% na amostra ensaiada), pode limitar a progressão da argamassa no preenchimento dos vazios existentes, condicionando o processo de injeção. A existência destes elementos de menor dimensão poderá ser consequência do processo de britagem que, para a amostra ensaiada, apenas limitou a dimensão máxima do agregado, não excluindo as partículas de menor dimensão, que facilmente se acumulam durante o processo.

Estes resultados encontram-se, naturalmente, dependentes da parametrização do equipamento de britagem, o qual poderá ser ajustado de forma a obter as granulometrias pretendidas. Para limitar a presença de partículas de menor dimensão e garantir a granulometria adequada para a produção de betão PA, deve considerar-se na central de britagem instalada em obra, crivos que limitem a dimensão máxima e mínima do agregado grosso, permitindo obter granulometrias em conformidade com os fusos granulométricos definidos.

- Teor de finos

Para a execução de estruturas recorrendo a betão com pré-colocação de agregados, conforme foi referido anteriormente, os agregados grossos deverão estar isentos de finos ou poeiras, de forma a não comprometer a ligação entre o agregado e a argamassa.

No caso do balastro, nas vias férreas tradicionalmente são utilizados materiais geossintéticos que têm como função, separar as camadas da estrutura de suporte da via com diferentes granulometrias e propriedades. Desta forma, a utilização destes materiais vai permitir reduzir a passagem dos finos da fundação para o interior das camadas granulares de balastro, evitando a redução de resistência e de capacidade de drenagem destas camadas. Os geossintéticos vão também atuar como um filtro, sempre que exista movimentação de água da fundação para as camadas granulares, retraindo os finos que são transportados.

Apesar da presença dos materiais geossintéticos permitir minimizar a contaminação do balastro com finos durante a fase de operação da via férrea, o processo de remoção do balastro com recurso a equipamentos pesados (desguarnecedora) vai provocar a mistura do balastro removido com alguns solos de fundação. Paralelamente, o próprio processo de britagem do balastro em fim de vida para utilização na produção de betão PA vai potenciar a presença de uma maior percentagem de finos. Neste sentido, nas amostras analisadas, a nível visual, verifica-se a presença de algumas partículas finas (Figuras 79, 80 e 81).

A análise granulométrica realizada à amostra em estudo de acordo com a norma EN 933-1: 2012, evidencia uma percentagem de finos de 0,3% (Anexo XII). A presença destes elementos com granulometria inferior a 0,063 mm, apesar de se enquadrar na categoria mais baixa dos requisitos definidos pela norma NP EN 12620: 2002 para o teor de finos (categoria  $f_{1,5}$ ), deve ser minimizada de forma a garantir a ligação entre a argamassa e os agregados grossos durante o processo de execução do betão PA. Neste sentido, sugere-se a instalação em obra de um sistema de lavagem dos agregados após o processo de britagem, à semelhança do que se encontra ilustrado na Figura 84.

- Forma do Agregado Grosso

A forma do agregado grosso é materializada, segundo a norma NP EN 12620: 2002, através do índice de achatamento, de acordo com a metodologia definida na norma EN 933-3. Este índice constitui o ensaio de referência para a determinação da forma do agregado grosso, podendo ser complementado com o índice de forma recorrendo à metodologia definida na norma EN 933-4.

A execução deste ensaio permite avaliar a geometria dos agregados, através da utilização de peneiros de barras e aplica-se a agregados de origem natural e artificial, incluindo agregados leves.

No caso do betão com pré-colocação de agregados, os agregados grossos devem apresentar, preferencialmente, uma geometria circular e deve ser evitado o uso de agregados lamelares, os quais podem produzir problemas a três níveis:

- A sua geometria pode constituir planos privilegiados de rutura, uma vez que as partículas lamelares tendem a orientar-se em planos horizontais;
- A presença de partículas lamelares pode potenciar a existência de vazios no betão, devido à retenção de bolhas de ar na parte inferior dos agregados durante o processo de injeção;
- A utilização de agregados mais achatados pode implicar a redução do volume de vazios e, conseqüentemente, afetar o processo de preenchimento dos mesmos pela argamassa, podendo provocar o bloqueio do sistema de injeção.

A necessidade de recorrer à britagem do balastro em fim de vida para obtenção das granulometrias desejadas, implica a alteração da forma dos agregados. Este processo pode acentuar as características geométricas do agregado, no que respeita ao seu índice de achatamento, devendo realizar-se ensaios prévios que permitam verificar a possibilidade de utilização deste material no processo de fabrico de betão com pré-colocação de agregados.

Os ensaios realizados ao balastro em fim de vida britado evidenciaram um índice de achatamento de 14% (Anexo XII), enquadrando-se na categoria  $FI_{15}$  segundo a norma NP EN 12620: 2002. Esta categoria, sendo a mais baixa das categorias apresentadas na referida norma, considera-se ser a mais exigente, o que evidencia que os agregados apresentam formas mais arredondadas que achatadas. Neste sentido, face

aos resultados obtidos, verifica-se que relativamente à forma do agregado, o balastro em fim de vida constitui uma alternativa ao agregado grosso novo.

- Resistência ao Esmagamento

O ensaio de resistência ao esmagamento permite determinar uma propriedade importante para a análise de agregados grossos, sobretudo quando estes são sujeitos a processamento prévio que possa afetar a sua resistência (ex: britagem). Esta propriedade dos agregados assume especial relevância na execução de maciços de fundação para postes de catenária recorrendo a betão PA, tendo em conta que o agregado é colocado por gravidade em caboucos, estando sujeito a ações de compressão permanentes resultantes do peso do próprio agregado. O esmagamento dos agregados devido às ações de compressão provoca a formação de pequenas partículas e finos que podem dificultar o preenchimento dos vazios durante o processo de injeção de argamassa e condicionar a ligação que se vai estabelecer entre agregados grossos e a argamassa.

O ensaio de resistência ao esmagamento foi executado de acordo com a norma NP 1039 (Anexo XII), evidenciando para a amostra ensaiada uma resistência média de 32,4%. Segundo a especificação LNEC E 467 – 2006, a resistência ao esmagamento de agregados grossos deve ser inferior a 45%, de forma a garantir a conformidade do agregado, facto que se verifica para a amostra ensaiada.

### 6.3.3 Reatividade Álcalis-Sílica

Em Portugal, a via-férrea balastrada é constituída, praticamente em toda a extensão, por material de origem granítica. De acordo especificação LNEC E461-2007, este tipo de rocha apresenta-se como potencialmente reativa, nomeadamente ao nível das reações álcalis-sílica (Quadro 26).

**Quadro 26** – Tipos de rochas e minerais potencialmente reativos aos álcalis.

Minerais	Rochas	Principais minerais reativos nas rochas
Opala Calcedónia Cherte Quartzo tectonizado Tridimite Cristobalite Obsidiana	Jaspes, Liditos, Ftanitos, Diatomitos, Xistos siliciosos, Filitos	Opara, calcedónia, cherte, quartzo tectonizado
	Grauvacóides Corneanas Quartzitos Granitóides	Quartzo tectonizado, cherte
	Vulcanitos (riólito, dacito, andesito, basalto)	Sílica vítrea
	Calcários Dolomitos	Inclusões siliciosas (cherte)

**Fonte:** Especificação LNEC E 461 – 2007

Neste tipo de reações, os agregados interagem com os hidróxidos alcalinos presentes nos fluidos intersticiais do betão e, em condições desfavoráveis e na presença de humidade, podem provocar uma reação expansiva seguida de uma fissuração ou desagregação do betão.

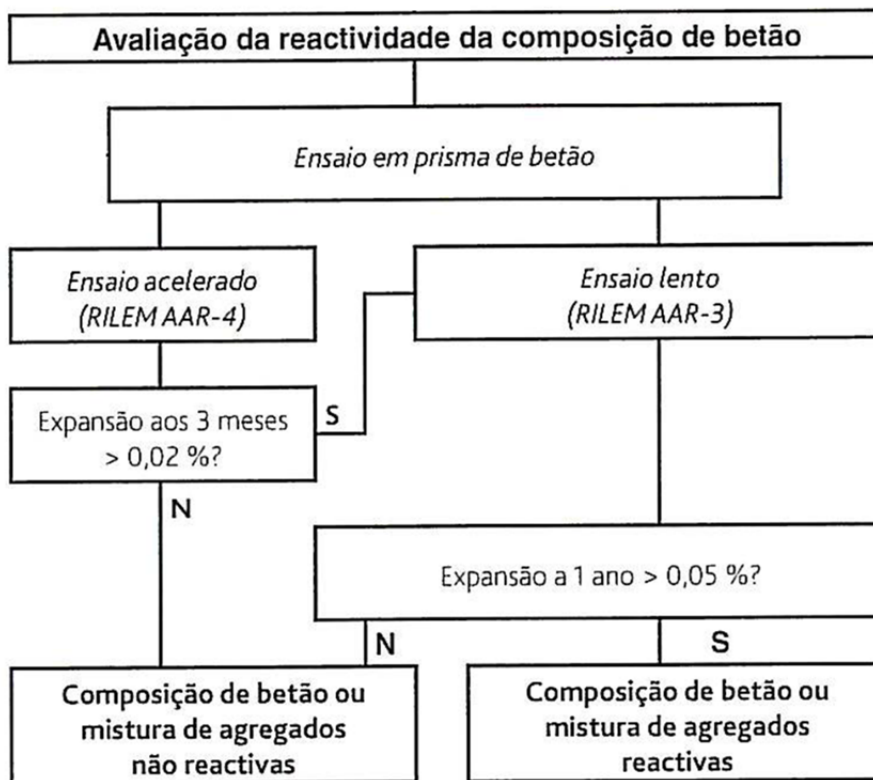
Na ausência de informação/experiência relativamente à reatividade de uma determinada mistura de cimento e agregados, a norma NP EN 12620: 2002 define que devem ser adotadas as seguintes precauções:

- Limitar o teor de álcalis na composição do betão;
- Utilizar um cimento com baixo teor de alcális;
- Utilizar uma mistura de agregados não reativos;
- Limitar o grau de saturação de água no betão.

Esta norma define que na utilização de agregados reciclados no geral não provenientes de betão, é conveniente considera-los como sendo potencialmente reativos, a não ser que tenha sido evidenciado o contrário.

No caso dos granitoides, a reação de expansibilidade devido à álcalis-sílica processa-se de uma forma mais retardada, implicando a realização de ensaios durante um período de tempo mais alargado. Segundo a especificação LNEC E 461 – 2007, a

avaliação da reatividade da composição de betão com recurso à utilização de granitoides deve processar-se através de um ensaio em prisma de betão, de acordo com o fluxograma que se apresenta na Figura 83.



**Figura 83** – Metodologia para avaliação da suscetibilidade de uma composição de betão com agregados granitoides desenvolver reação álcalis-silica (Especificação LNEC E 461 – 2007).

O ensaio em prisma de betão pode ser realizado através de uma metodologia acelerada (3 meses) ou lenta (1 ano), sendo considerado não reativo sempre que se verifiquem expansões inferiores a 0,02% e 0,05% respetivamente. Importa referir que no caso do ensaio acelerado, o facto de se verificar uma expansão superior ao valor definido, não significa que o agregado seja reativo, devendo recorrer-se, complementarmente, ao ensaio lento.

Devido à limitação em termos temporais do projeto e à representatividade dos resultados que seriam obtidos nestes ensaios, que seriam válidos apenas para a amostra em estudo, optou-se pela não realização dos ensaios referentes à reatividade à álcalis-silica da amostra de balastro analisada. Não obstante, a utilização de balastro em fim de vida como agregado grosso para a produção de betão com pré-colocação

de agregados deve ser previamente analisada com o objetivo de verificar a reatividade do agregado.

### 6.4 ESTUDO ECONÓMICO PARA A UTILIZAÇÃO DE BALASTRO

A utilização de balastro em fim de vida como agregado grosso para a produção de betão com pré-colocação de agregados depende da viabilidade económica comparativamente ao fornecimento de agregados grossos tradicionalmente utilizados. Independentemente do resultado da avaliação da viabilidade económica para reutilização de balastro, este material deve ser analisado previamente para avaliar a sua conformidade, nomeadamente no que respeita às características físicas e químicas, conforme referido anteriormente.

Para a aplicação de balastro em fim de vida proveniente de vias férreas como agregado grosso na produção de betão com pré-colocação de agregados, deve efetuar-se um processamento prévio que permita obter as granulometrias pretendidas. Desta forma, a sua utilização como material implica a instalação e operação de uma central que garanta a britagem do balastro em conformidade com as granulometrias definidas, bem como a lavagem dos agregados resultantes da britagem, de forma a remover detritos e poeiras resultantes do processo.



**Figura 84** – Sistema de lavagem de agregados.

Este estudo de viabilidade económica considera a instalação de uma central de britagem em obra, a qual procede à britagem e posterior lavagem de todo o material. Desta forma, considera-se que o material é transportado a partir de uma linha férrea

que foi sujeita a um processo de desguarnecimento, sendo processado e armazenado em obra.

A utilização do balastro em fim de vida como matéria prima para a produção de betão PA permite ainda reduzir os custos associados ao encaminhamento deste material como resíduo para operações de eliminação como aterros sanitários. Face à tendência da legislação atual em matéria de resíduos, é expectável que este custo aumente progressivamente ao longo dos próximos anos, maximizando a relação custo-benefício associado à valorização de resíduos.

Para proceder à análise de viabilidade económica para incorporação de balastro em fim de vida como agregado grosso, adotou-se alguns pressupostos, os quais se passam a descrever:

- O processo de avaliação considera, como referência de comparação, a utilização de agregado granítico novo proveniente de pedreira, com uma composição granulométrica de 12-20 mm e 20-32 mm de 30% e 70% respetivamente;
- A análise tem por base a comparação dos preços unitários compostos em €/m<sup>3</sup> para diversas distâncias do local de fornecimento de agregados novos e de balastro;
- O processo de reutilização do balastro em fim de vida prevê a utilização de uma central de britagem em obra, em que o custo de aluguer já inclui o operador da central e o combustível;
- A central de britagem encontra-se parametrizada para fornecer granulometrias idênticas às do agregado grosso novo (30% de granulometria 12/20 mm e 70% de granulometria 20/32 mm), apresentando um rendimento médio equivalente a 140 ton/h e um custo de aluguer de 125 €/h;
- A lavagem de agregado processa-se após a britagem do material, através de uma rampa em rede metálica onde o material é sujeito à lavagem com água sob pressão, (Figura 84), sendo a água reutilizada em circuito fechado, após um processo de decantação. Esta lavagem implica um consumo de 10 m<sup>3</sup> de água por hora de produção, com 40% de perdas após recirculação e para um ritmo de 150 m<sup>3</sup> de material;
- O tarifário para o abastecimento de água referente a consumos não domésticos apresenta valores distintos, dependendo da zona do país. Para o

estudo adotou-se um valor unitário de 1,5 €/m<sup>3</sup>, que representa um valor médio dos valores praticados no mercado para abastecimento de água;

- O custo unitário considerado para o transporte, tanto de balastro como de agregados novos, é de 0,12 €/m<sup>3</sup>.km;
- O custo unitário considerado para o fornecimento de agregado grosso granítico é de 10,50 €/m<sup>3</sup>, para ambas as granulometrias consideradas;
- O transporte associado à central de britagem para a obra é realiza-se através de um transporte especial, apresentando um custo de 1.250 € por transporte;
- Utilizou-se como padrão, para determinação dos custos unitários, a obra anteriormente referenciada, com um volume total de betão, e consequentemente de agregados grossos, de 2430 m<sup>3</sup>;
- A movimentação do balastro e do material processado no estaleiro é efetuado com recurso a uma pá carregadora, estando os custos associados à utilização deste equipamento já previstos na execução da empreitada, independentemente da origem do agregado grosso a aplicar na execução dos maciços de fundação.

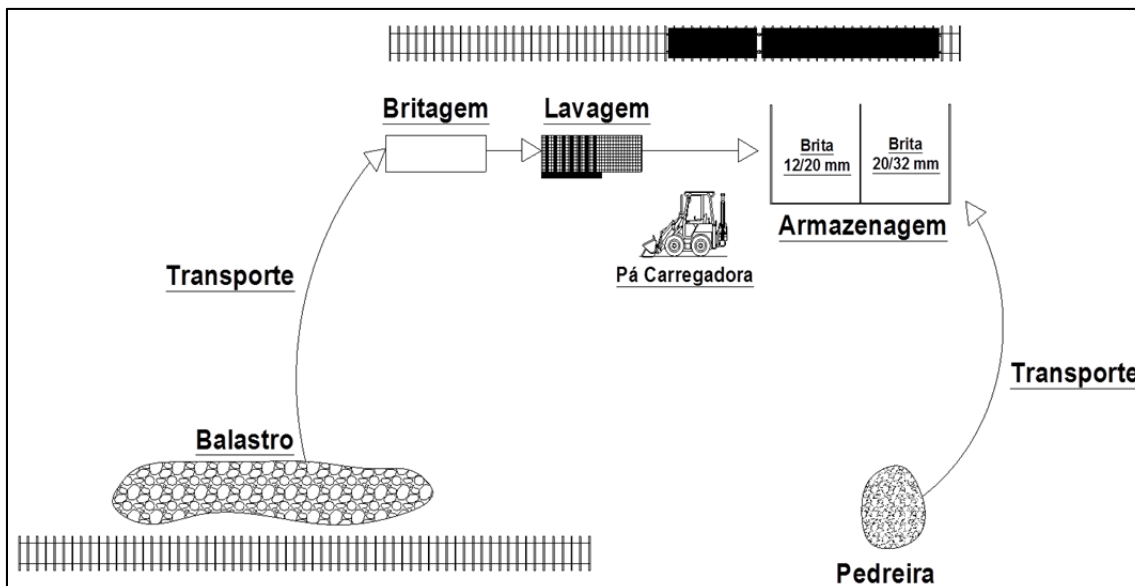
Os custos unitários adotados neste estudo são valores médios de referência fornecidos por diversas empresas das especialidades no âmbito da sua atividade. Decorrente dos pressupostos anteriormente enunciados, efetuou-se uma análise comparativa de custos unitários entre o fornecimento de agregados novos e balastro em fim de vida, a qual se encontra referenciada no Anexo XIII.

Para esta análise procedeu-se ao cálculo do custo unitário (CU) de cada uma das opções, tendo em conta os diversos custos unitários parcelares:

$$\mathbf{CU_{Agregado Novo}} = (\mathbf{CU_{Agregado 12-20mm}} \times 0,3) + (\mathbf{CU_{Agregado 20-32mm}} \times 0,7) + \mathbf{CU_{Transporte}}$$

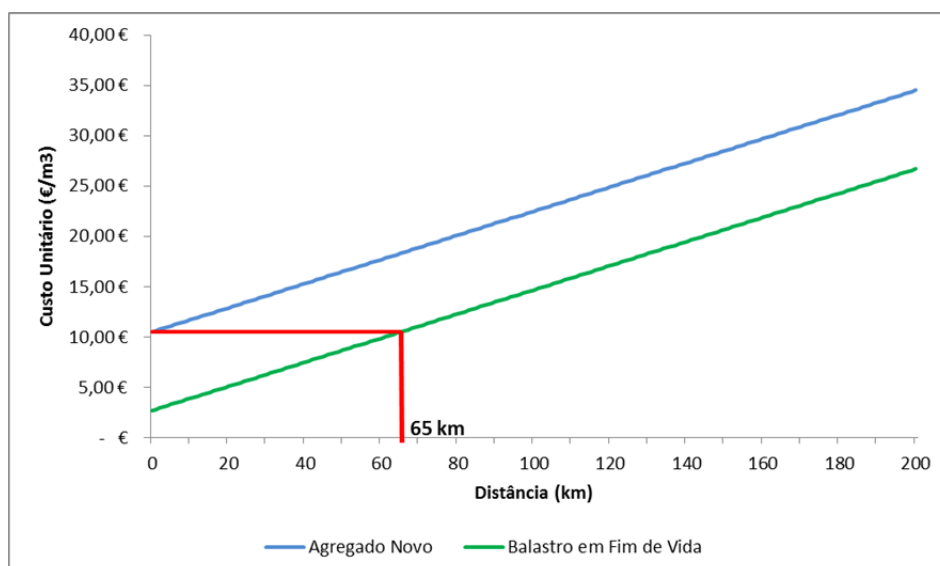
$$\mathbf{CU_{Balastro}} = \mathbf{CU_{Transporte Balastro}} + \mathbf{CU_{Transporte Britadeira}} + \mathbf{CU_{Aluguer Britadeira}} + \mathbf{CU_{Consumo Água}}$$

SISTEMAS DE FUNDAÇÕES PARA  
POSTES DE CATENÁRIA COM BETÃO  
COM PRÉ-COLOCAÇÃO DE AGREGADOS



**Figura 85** – Desenho esquemático das atividades associadas à reutilização de balastro e à utilização de agregado novo.

Naturalmente que esta análise se encontra depende de diversos fatores, como por exemplo, a distância dos fornecedores à obra, tanto para os agregados grossos como para o balastro em fim de vida. Desta forma, este estudo processou-se através da definição de diversas distâncias para os fornecedores de agregados, conforme ilustrado na Figura 86 e no Quadro 27.



**Figura 86** – Custos unitários (CU) em função da distância ao fornecedor de agregado novo e à origem de balastro em fim de vida.

**Quadro 27** – Custos unitários (C.U.) em função da distância ao fornecedor de agregado novo e à origem de balastro em fim de vida.

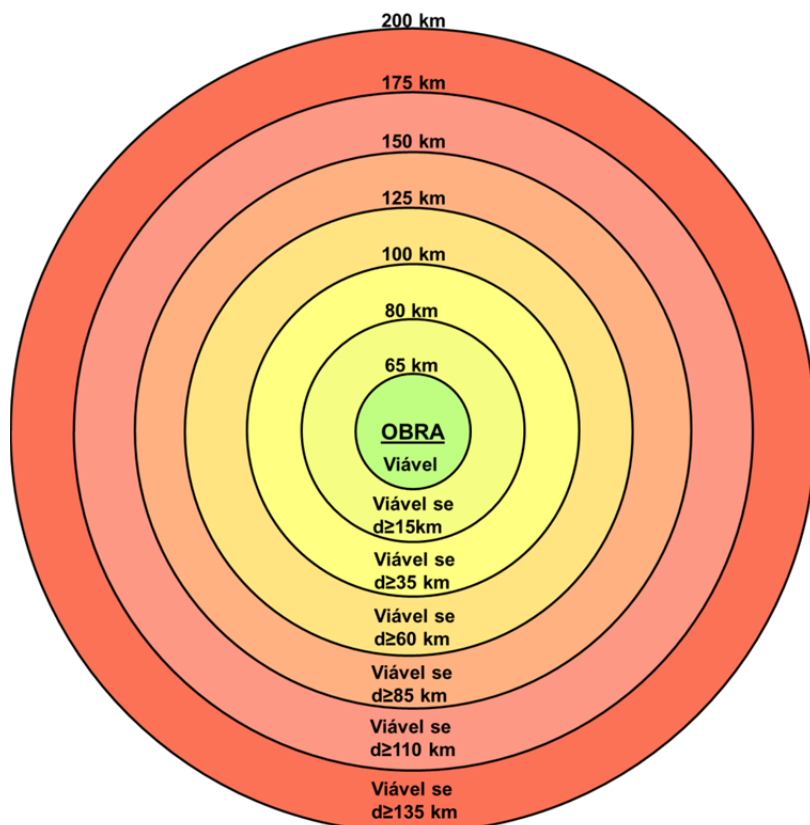
		<b>Balastro em Fim de Vida</b>									
Distância (km)		10	20	25	50	75	100	125	150	175	200
C.U. (€/m <sup>3</sup> )		3,88	5,08	5,68	8,68	11,68	14,68	17,58	20,68	23,68	26,68
		<b>Agregado Novo</b>									
Distância (km)		10	20	25	50	75	100	125	150	175	200
C.U. (€/m <sup>3</sup> )		11,70	12,90	13,50	16,50	19,50	22,50	25,50	28,50	31,50	34,50

Da análise efetuada verifica-se que, para distâncias ao local de origem do balastro inferiores a 65 km, é viável a utilização deste material como agregado grosso, independentemente da distância do fornecedor de agregados novos, apresentando custos unitários sistematicamente inferiores ao fornecimento de agregado grosso novo. Importa destacar que o custo associado ao agregado novo, só por si, representa uma importante parcela do valor global, comprometendo a sua viabilidade quando comparado com o balastro em fim de vida para a distância referida. Para distâncias superiores a 65 km, a viabilidade de utilização de balastro em fim de vida está dependente, sobretudo, da distância do fornecedor de agregados grossos novos à obra, sendo os custos unitários iguais para ambos sempre que se verifique uma diferença de 65 km.

Dos resultados obtidos, desenvolveu-se um diagrama circular (Figura 87) que sintetiza a informação obtida e evidencia a viabilidade económica de utilização de balastro em fim de vida como agregado grosso no processo produtivo, comparativamente com o fornecimento de agregados grossos novos, em função de intervalos padronizados.

Este diagrama representa, através de intervalos circulares, a distância entre o local de origem do balastro e a obra. Para cada intervalo considerado, é avaliada a viabilidade de incorporação de balastro em fim de vida, em função da distância (d) de um potencial fornecedor de agregados novos.

Desta forma, como exemplo, a utilização de balastro em fim de vida localizado entre 100 km e 125 km é viável economicamente, caso não exista qualquer fornecedor de agregados grossos novos a uma distância inferior a 60 km.



**Figura 87** – Diagrama relativo à viabilidade de utilização de balastro em fim de vida, tendo em conta a distância do local de origem à obra em função da distância (d) ao local de fornecimento de agregado novo.

Conforme se pode verificar na figura, para as distâncias consideradas e para o volume de agregados considerados, a viabilidade de utilização de balastro em fim de vida pode constituir uma alternativa efetiva ao agregado grosso novo, em função da distância existente entre os locais de produção e a obra.

A viabilidade económica de incorporação deste resíduo no processo produtivo de betão com pré-colocação de agregados pode ser ampliada para um maior volume de agregados, uma vez que o volume de material vai influenciar os custos unitários associados ao transporte da britadeira para a obra. Simultaneamente neste estudo não se considerou os custos inerentes à deposição dos resíduos de balastro em aterro sanitário, caso não fossem reutilizados, facto que iria aumentar, naturalmente, a viabilidade do processo. Importa ainda referir que, o facto de a percentagem mínima

de resíduos ou materiais reciclados de incorporação obrigatória em obra ter tendência a aumentar nos próximos anos (meta de 70% até ao ano de 2020, segundo a Diretiva 2008/98/CE, de 19 de Novembro), poderá resultar num incremento das penalidades ou sanções aplicadas às empresas, o que potencia a viabilidade de incorporação de balastro em fim de vida para distâncias superiores aquelas que foram determinadas.

### **6.5 CONCLUSÕES DO CAPÍTULO 6**

A possibilidade de utilização de balastro em fim de vida na execução de sistema de fundações de postes de catenária recorrendo a betão PA permite, não só a redução de custos associados à execução da empreitada, como também racionalizar o consumo de matérias primas e consequentemente ir ao encontro das exigências legais.

Naturalmente que a viabilidade económica encontra-se depende de diversos fatores, nomeadamente da distância dos locais de produção das matérias primas, quer seja agregado novo quer seja balastro, bem como das quantidades a serem aplicadas em obra. Deste modo, para utilizações futuras de agregado proveniente de balastro em fim de vida deve efetuar-se, previamente, um estudo de viabilidade económica que permita aferir o real benefício económico que pode advir desta utilização, além dos naturais benefícios ambientais. Para o estudo realizado verificou-se que, nas condições definidas, é viável economicamente a sua incorporação no processo produtivo, dependendo da distância existente de um fornecedor de agregados grossos novos. Este aspeto foi particularmente evidente para as situações em que se verifica a existência de uma fonte de balastro em fim de vida a distâncias inferiores a 65 km da obra.

Importa referir que, o facto de ser viável economicamente, não implica que tecnicamente o agregado cumpra as disposições em termos qualitativos, devendo efetuar-se uma análise prévia às características do balastro, quer em termos físicos, quer em termos químicos, que permita avaliar a conformidade do mesmo com as disposições legais e normativas. Neste campo deve ser dado especial ênfase à possibilidade de ocorrência de reações expansivas, nomeadamente devido à alcali-silica, e que podem comprometer a qualidade final do produto.

Os ensaios de caracterização realizados à amostra de balastro em fim de vida em estudo evidenciam, na generalidade, características em conformidade com os requisitos definidos para o fabrico de betão, nomeadamente no que respeita ao teor de finos, índice de forma e resistência ao esmagamento. No que respeita à granulometria, importa destacar a presença elevada de partículas de granulometria inferior a 9,5 mm, comparativamente com os requisitos definidos para o betão com pré-colocação de agregados, aspeto que pode limitar a progressão da argamassa no preenchimento dos vazios existentes, condicionando o processo de injeção. Neste aspeto, importa garantir que o processo de britagem do balastro em fim de vida é efetuado através de um equipamento de britagem parametrizado, que permita obter granulometrias de acordo com os fusos definidos para o fabrico de betão com pré-colocação de agregados. Complementarmente a estes ensaios, para cada tipo de balastro deverá efetuar-se, previamente, um ensaio de reatividade à álcalis-silica que permita avaliar a ausência de reações expansivas que possam comprometer a qualidade final do betão.



# CAPÍTULO 7

## CONSIDERAÇÕES FINAIS

### 7.1 APLICABILIDADE DA TECNOLOGIA

A tecnologia de betão com pré-colocação de agregados há muito que se encontra desenvolvida, tendo sido experimentada e testada em diversas obras de referência na área da Engenharia.

De facto, a utilização desta tecnologia na execução e/ou reparação de estruturas constitui, em casos particulares, um fator diferenciador que permite garantir rendimentos superiores ao betão tradicional. Esta melhoria traduz-se, naturalmente, numa otimização do processo construtivo através da redução do tempo de execução das estruturas e do custo associado.

A instalação de sistemas de fundações de postes de catenária em vias férreas já existentes revela que, em zonas com acesso rodoviário condicionado ou inexistente, existe dificuldade no que respeita ao processo de betonagem, recorrendo-se frequentemente à utilização de centrais de betão instaladas em vagões. Estas unidades móveis, devido às dificuldades inerentes ao fabrico e injeção do betão nos maciços de fundação, constituem um meio moroso e difícil que têm associada uma logística e uma preparação complexa. Esta dificuldade traduz-se em rendimentos muito inferiores comparativamente com sistemas de fundações onde o processo de betonagem é realizado através de meios rodoviários.

Por sua vez, a utilização da tecnologia do betão com pré-colocação de agregados na execução dos sistemas de fundações de postes de catenária apresenta meios e logística mais simples e com menor complexidade, permitindo uma maior eficiência na execução do processo construtivo. Importa realçar que a viabilidade da aplicação desta tecnologia em sistemas de fundações de postes de catenária está dependente

das condicionantes existentes, devendo efetuar-se uma avaliação prévia caso a caso que identifique o custo-benefício da aplicação desta tecnologia.

Esta avaliação deverá ter em conta não só a acessibilidade às frentes de trabalho, como também outros fatores que podem influenciar todo o planeamento associado ao processo construtivo como as características dos solos, o nível freático, a especialização da mão de obra, os tempos de ocupação de via, entre outros.

### **7.2 CONCLUSÕES FINAIS**

Este estudo tinha como objetivo avaliar a aplicabilidade prática da tecnologia do betão com pré-colocação de agregados na construção das fundações de postes de catenária. Para tal realizou-se uma abordagem integrada a diferentes níveis, procurando avaliar a viabilidade técnica e económica do processo construtivo.

Numa primeira fase procurou-se caracterizar o betão recorrendo a ensaios experimentais de forma a otimizar as dosagens dos seus constituintes, em função dos maciços a serem desenvolvidos. Este processo permitiu desenvolver conhecimentos sobre as características mecânicas do betão em função da dimensão dos agregados, da dosagem de cimento e eventuais adições (cinzas volantes), bem como dos adjuvantes.

Ao nível das estruturas a serem executadas recorrendo à tecnologia do betão com pré-colocação de agregados realizou-se, numa segunda fase, o dimensionamento dos maciços tendo em conta a nova geometria e os esforços a que se encontram sujeitos.

Numa terceira fase, em função dos resultados obtidos nos dois capítulos anteriores, realizou-se uma análise ao nível do planeamento e dos custos associados à utilização desta tecnologia, com o objetivo de não só avaliar a viabilidade da tecnologia, como também quantificar melhorias comparativamente com o processo tradicional.

Numa quarta fase foi efetuado uma avaliação da viabilidade de incorporação de balastro em fim de vida como agregado grosso no processo de fabrico de betão com pré-colocação de agregados. Esta análise é resultado da crescente preocupação em

termos ambientais que se tem refletido na legislação comunitária e nacional e que prevê a necessidade de incorporar materiais em fim de vida nos processos produtivos.

Com o desenvolvimento deste estudo foi possível retirar algumas conclusões no que respeita à aplicabilidade prática da tecnologia do betão com pré-colocação de agregados na construção das fundações de postes de catenária. Procedeu-se, ao longo do trabalho, a uma análise sistemática dos resultados obtidos, referindo em cada capítulo as principais conclusões específicas, com o objetivo de enquadrar essas mesmas conclusões no âmbito do estudo.

Na sequência dos resultados obtidos, realizou-se uma análise integrada das conclusões específicas anteriormente citadas, passando a descrever-se as conclusões gerais associadas à realização deste estudo:

- As características mecânicas do betão com pré-colocação de agregados evidenciam, para algumas dosagens analisadas laboratorialmente, valores de resistência à compressão semelhantes às do betão tradicionalmente utilizado na execução de maciços de fundação para postes de catenária (C16/20). A utilização de misturas de agregados grossos com granulometria 12-20 mm e 20-32 mm numa proporção respetivamente de 30% e 70% evidenciaram, na maioria dos provetes, resistências à compressão mais elevadas, assim como a utilização de cimento e cinzas numa proporção de 2:1.
- A presença de cinzas volantes garante uma maior fluidez da calda, permitindo facilitar o processo de injeção e garantindo uma maior trabalhabilidade. Não obstante, deverá ter-se em consideração que, a curto prazo, a resistência à compressão é inversamente proporcional, apresentando resultados superiores para os ensaios realizados com menores percentagens de cinzas. Sugere-se, em desenvolvimentos futuros, analisar a influência de diferentes teores de cinzas a médio/longo prazo nas características mecânicas do betão PA, nomeadamente ao nível da resistência à compressão.
- A execução do processo de escavação recorrendo a um trado permite a obtenção de maciços com geometria cilíndrica, os quais constituem uma alternativa aos maciços tradicionalmente executados através de escavadoras mecânicas e que apresentam uma geometria prismática. O dimensionamento

efetuado tendo em conta esta nova geometria, evidenciou a viabilidade do processo de escavação alternativo em terrenos com tensões admissíveis máximas de 250 kPa, utilizando trados com um diâmetro de 800 mm, 1000 mm e 1200 mm.

- A viabilidade técnica e económica associada à utilização desta tecnologia na execução de maciços de fundação de postes de catenária, encontra-se dependente dos rendimentos e do planeamento associado às diversas atividades que constituem o processo construtivo. A possibilidade de coordenar as atividades associadas à execução dos maciços de fundação e recorrer à injeção simultânea de calda em dois maciços evidenciou, para a obra utilizada como referência, a possibilidade de executar 7,7 unidades diárias, representando uma redução de 10,8% nos custos face ao processo tradicionalmente adotado. Este aspeto é particularmente evidente quando se analisa individualizadamente as atividades de escavação e execução de maciços, para as quais se verificou uma redução de 34,4%.
- A otimização do rendimento permite não só executar um maior número de maciços num determinado intervalo de tempo, como também permite reduzir os custos associados à utilização de equipamentos, mão de obra e manutenção de estruturas. Importa realçar que, para a obra analisada, o prazo global da empreitada é menor para a solução alternativa (196 du) comparativamente com a solução tradicional (229 du), em consequência da metodologia adotada para a selagem dos postes de catenária.
- A utilização de balastro em fim de vida como agregado grosso na execução de maciços de fundação para postes de catenária, recorrendo à tecnologia do betão com pré-colocação de agregados, pode apresentar vantagens, não só em termos ambientais, como também ao nível dos custos associados à execução da empreitada. Para as condições definidas neste estudo, verificou-se que a utilização de balastro em fim de vida proveniente de vias férreas localizadas a distâncias inferiores a 65 km se apresenta como uma alternativa efetiva, em termos económicos, à aquisição de agregado grosso novo. A incorporação deste material, além das vantagens económicas associadas, permite dar cumprimento aos requisitos legais vigentes no que respeita à necessidade de incorporação de materiais reciclados em obra.

- A amostra de balastro em fim de vida analisada laboratorialmente para efeitos deste estudo, evidenciou características ao nível do índice de forma, teor de finos e da resistência ao esmagamento compatíveis com os requisitos definidos para agregado novo para a produção de betão. No entanto, ao nível da granulometria verificou-se a presença excessiva de partículas com granulometria inferior a 9,5 mm, comparativamente com os requisitos definidos para o betão com pré-colocação de agregados, aspeto que pode limitar a progressão da argamassa no preenchimento dos vazios existentes, condicionando o processo de injeção. A presença destas partículas de menor dimensão é consequência do processo de britagem a que a amostra foi sujeita, o qual não apresentava nenhum crivo para segregar as partículas de menor dimensão. Desta forma, a instalação de uma central de britagem em obra para processamento de balastro em fim de vida para utilização como agregado grosso na produção de betão com pré-colocação de agregados, deve prever a instalação a jusante de crivos e de um sistema de lavagem que permitam eliminar as partículas de menor granulometria.

As conclusões obtidas com a realização deste estudo permitiram avaliar a aplicabilidade do processo construtivo de sistemas de fundações de postes de catenária, recorrendo à utilização da tecnologia de betão com pré-colocação de agregados. De facto trata-se de uma tecnologia com potencial de aplicação na execução de maciços de postes de catenária, tendo evidenciado resultados promissores que podem garantir uma otimização do processo construtivo.

Este aspeto é especialmente relevante no panorama atual de recessão, onde se tem verificado um decréscimo acentuado no investimento ao nível das obras públicas e privadas. Neste âmbito, este estudo assume especial relevância, uma vez que estabelece as bases para a utilização de um processo construtivo alternativo que garante uma maior competitividade na execução deste tipo de obras.

### **7.3 DESENVOLVIMENTOS FUTUROS**

A realização deste estudo permitiu retirar algumas conclusões relativamente à aplicabilidade da tecnologia de betão do betão com pré-colocação de agregados em

sistemas de fundações para postes de catenária. Tratando-se de um processo construtivo novo, existem diversos fatores que devem ser estudados e aprofundados, com o objetivo de obter mais informações que permitam aumentar a fiabilidade e abrangência da tecnologia. Importa realçar que para este estudo foram considerados diversos pressupostos, os quais evidenciam a existência de uma grande variabilidade de fatores que podem influenciar o processo produtivo.

O desenvolvimento deste estudo sugere a execução de ensaios à escala real associados às atividades inerentes ao processo produtivo, sobretudo ao nível da injeção dos maciços de fundação. A realização destes ensaios é de especial relevância uma vez que permite determinar rendimentos e aspetos condicionantes associados, além de permitir a recolha de amostras *in situ* para avaliação das reais características do betão produzido. Os resultados resultantes dos ensaios permitirão realizar uma análise crítica sobre o processo construtivo, nomeadamente no que respeita ao comportamento dos equipamentos e do processo de injeção dos maciços. Este aspeto é especialmente relevante no que respeita à seleção de equipamentos que permitam operacionalizar a tecnologia e no que respeita à interação entre solo e estrutura.

Outro aspeto que carece de uma abordagem pormenorizada está relacionado com a estabilidade dos caboucos durante o processo de execução dos maciços. Na realização deste estudo considerou-se a execução dos maciços para postes de catenária em terrenos estáveis, com tensão máxima admissível de  $2,5 \text{ kg/cm}^2$ . A utilização desta tecnologia em solos com limitações ao nível da estabilidade poderá obrigar à utilização de fluidos estabilizantes como bentonites ou polímeros. A utilização destes fluidos poderá influenciar a viabilidade da aplicação do betão com pré-colocação de agregados, não só ao nível do processo construtivo, como também ao nível das características mecânicas do betão produzido. Em desenvolvimentos futuros sugere-se a realização de ensaios laboratoriais complementares, com o objetivo de inferir e analisar os resultados da aplicação desta tecnologia em meios onde é necessário recorrer à utilização de elementos estabilizantes ou em solos que apresentem condicionantes no que respeita ao nível freático.

No que respeita ao dimensionamento dos maciços, conforme foi referido anteriormente, sugere-se em desenvolvimentos futuros, a execução de um estudo complementar associado ao dimensionamento dos maciços cilíndricos recorrendo ao

cálculo automático com base num método de elementos finitos, com o objetivo de analisar a distribuição das tensões no terreno. A execução de um estudo complementar que permita analisar em detalhe o comportamento do terreno face às solicitações a que se encontra sujeito poderá permitir otimizar o dimensionamento dos maciços cilíndricos e, conseqüentemente, minimizar o volume de betão necessário.

Relativamente à incorporação de materiais reciclados, neste estudo considerou-se a possibilidade de incorporar balastro em fim de vida no processo construtivo como agregado grosso. Em desenvolvimentos futuros sugere-se a realização de estudos e ensaios laboratoriais que avaliem a influência ao nível das características mecânicas do betão executado com balastro em fim de vida. Simultaneamente poderá também ser equacionado a possibilidade de incorporar no processo produtivo outros materiais ou resíduos que permitam a redução do consumo de matérias primas, nomeadamente agregados reciclados de betão.

A aplicabilidade da tecnologia do betão com pré-colocação de agregados não se esgota por aqui, existindo um enorme potencial de aplicação noutros processos construtivos que evidenciam condicionantes ao nível da aplicação de betão tradicional. Em desenvolvimentos futuros poderão ser abordados outros processos construtivos, nomeadamente a nível submerso onde se verifique dificuldade na utilização de betão convencional. A implementação desta tecnologia em atividades específicas poderá resultar numa otimização dos processos, garantindo às empresas uma maior competitividade e constituindo um fator diferenciador.



# CAPÍTULO 8

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. ABDELGADER, Hakim; GÓRSKI, Jaroslaw – Strain relations and modulus of elasticity of two-stage concrete. Jornal of Materials in Civil Engineering. Reston: American Society of Civil Engineers. ISSN 0899-1561. 15:4 (2003) 329-334.
2. ACI 116 R-00. 2000, Betão – Cement and Concrete Terminology. American Concrete Institute.
3. ACI 201.2R-08. 2008, Betão – Guide to Durable Concrete. American Concrete Institute.
4. ACI 304.1 R-92. 1997, Betão – Guide for the use of preplaced aggregate concrete for structural and mass concrete applications. American Concrete Institute.
5. ACI 304R-00. 2000, Betão – Guide for Measuring, Mixing, Transporting, and Placing Concrete. American Concrete Institute.
6. ACI 318-11. 2011, Betão – Building Code Requirements for Structural Concrete and Commentary. American Concrete Institute.
7. AFONSO, Miguel Antunes Ferreira – Balastro Contaminado das Ferrovias – Suas Repercussões, Soluções de Reabilitação e Destino Final. Lisboa: Instituto Superior Técnico. 2011. Dissertação para obtenção do Grau de Mestre em Engenharia Civil.
8. ASTM C 150. 2012, Cimento – Standard Specification for Portland Cement. American Society for Testing and Materials.
9. ASTM C 260. 2010, Betão – Standard Specification for Air-Entraining Admixtures for Concrete. American Society for Testing and Materials.

10. ASTM C 595. 2013, Cimento – Standard Specification for Blended Hydraulic Cements. American Society for Testing and Materials.
11. ASTM C 618. 2012, Betão – Standard Specification for Coal Fly Ash and Raw or Calcined Natural Pozzolan for Use in Concrete. American Society for Testing and Materials.
12. ASTM C 637. 2009, Agregados – Standard Specification for Aggregates for Radiation-Shielding Concrete. American Society for Testing and Materials.
13. ASTM C 642. 2006, Betão – Standard Test Method for Density, Absorption, and Voids in Hardened Concrete. American Society for Testing and Materials.
14. ASTM C 937. 2010, Betão – Standard Specification for Grout Fluidifier for Preplaced-Aggregate Concrete. American Society for Testing and Materials.
15. ASTM C 938. 2010, Betão – Standard Practice for Proportioning Grout Mixtures for Preplaced-Aggregate Concrete. American Society for Testing and Materials.
16. ASTM C 939. 2010, Betão – Standard Test Method for Flow of Grout for Preplaced-Aggregate Concrete (Flow Cone Method). American Society for Testing and Materials.
17. ASTM C 940. 2010, Betão – Standard Test Method for Expansion and Bleeding of Freshly Mixed Grouts for Preplaced-Aggregate Concrete in the Laboratory. American Society for Testing and Materials.
18. ASTM C 941. 2010, Betão – Standard Test Method for Water Retentivity of Grout Mixtures for Preplaced-Aggregate Concrete in the Laboratory. American Society for Testing and Materials.
19. ASTM C 942. 2010, Betão – Standard Test Method for Compressive Strength of Grout for Preplaced-Aggregate Concrete in the Laboratory. American Society for Testing and Materials.
20. ASTM C 943. 2010, Betão – Standard Practice for Making Test Cylinders and Prisms for Determining Strength and Density of Preplaced-Aggregate Concrete in the Laboratory. American Society for Testing and Materials.

21. ASTM D 98. 2005, Betão – Standard Specification for Calcium Chloride. American Society for Testing and Materials.
22. AZEVEDO, Aires Fernando Fernandes Leite Camões de – Betões de Elevado Desempenho com Incorporação de Cinzas Volantes. Braga: Universidade do Minho – Escola de Engenharia. 2002. Dissertação para obtenção do Grau de Doutor em Engenharia Civil.
23. CICCOLELLA, J. A.; GAULT, Ralph D. – Sweets Point Light Established. The Coast Guard Engineer's Journal. Washington: U.S. Coast Guard. 54:1 (1949) 25-28.
24. COELHO, André Daniel Vital da Silva – Betão com Incorporação de Elevadas Percentagens de Cinza Volante. Lisboa: Instituto Superior Técnico. 2007. Dissertação para obtenção do Grau de Doutor em Engenharia Civil.
25. DAVIS, Harold S. – High-Density Concrete for Shielding Atomic Energy Plants. ACI JOURNAL. Farmington Hills: American Concrete Institute. 54:11 (1958) 965-977.
26. DAVIS, Raymond E. Jr. – Preplaced Aggregate Concrete. In KLIEGER, Paul; LAMOND F. Joseph – Significance of Tests and Properties of Concrete and Concrete-Making Materials – Report No. ASTM STP 169C. Philadelphia: American Society for Testing and Materials, 1994. ISBN 978-0-8031-5520-6. p. 562-566.
27. DAVIS, Raymond. E. – Prepackt Method of Concrete Repair. ACI JOURNAL. Farmington Hills: American Concrete Institute. 57:8 (1960) 155-172.
28. DAVIS, Raymond. E. Jr.; HALTENHOFF, Charles Edwin. – Mackinac Bridge Pier Construction. ACI JOURNAL. Farmington Hills: American Concrete Institute. 53:6 (1956) 581-596.
29. DAVIS, Raymond. E. Jr.; JOHNSON, G. D.; WENDELL, G. E. – Kemano Penstock Tunnel Liner Backfilled With Prepacked Concrete. ACI JOURNAL. Farmington Hills: American Concrete Institute. 52:11 (1955) 287-308.

30. DECRETO-LEI n.º 178/2006. D.R. I Série. 171 (2006-09-05) 6526-6545.
31. DECRETO-LEI n.º 46/2008. D.R. I Série. 51 (2008-03-12) 1567-1574.
32. DECRETO-LEI n.º 73/2011. D.R. I Série. 116 (2011-06-17) 3251-3300.
33. DIRECTIVA 2008/98/CE. J.O. L. 312de (2008-11-22) 3-30.
34. EM 1110-2-2002. 1995, Betão – Evaluation and Repair of Concrete Structures. Department of the Army – U.S. Army Corps of Engineers.
35. EM 1110-2-2000. 1994, Betão – Standard Practice for Concrete for Civil Works Structures. Department of the Army – U.S. Army Corps of Engineers.
36. EN 933-1. 2012, Agregados – Tests for geometrical proprieties of aggregates – Part 1: Determination of particle size distribution – Sieving method. European Committee for Standardization.
37. EN 933-3. 2012, Agregados – Tests for geometrical proprieties of aggregates – Part 3: Determination of particle shape. Flakiness index. European Committee for Standardization.
38. EN 933-4. 2008, Agregados – Tests for geometrical proprieties of aggregates – Part 4: Determination of particle shape. Shape index. European Committee for Standardization.
39. EN 1015. 1998, Argamassa – Methods of test for mortar for masonry – Part 6: Determination of the bulk density of fresh mortar. European Committee for Standardization.
40. EN 1536. 2010, Geotécnia – Execution of special geotechnical work – Bored piles. European Committee for Standardization.
41. EUROSTAT (2012). Waste Statistics 2010. Bruxelas: European Commission, 2012 [Consult. 24, Mai. 2013]. Table 1: Waste Generation, 2010. Disponível em WWW: <URL:[http://epp.eurostat.ec.europa.eu/statistics\\_explained/index.php/Waste\\_statistics](http://epp.eurostat.ec.europa.eu/statistics_explained/index.php/Waste_statistics)>.

42. FORTUNATO, Eduardo – Renovação de Plataformas Ferroviárias: Estudos Relativos à Capacidade de Carga: Porto: Faculdade de Engenharia – Universidade do Porto. 2005. Tese de Doutoramento.
43. IT-C-001. 2002, Vias Férreas – Cálculo de Postes de Catenária. Rede Ferroviária Nacional – Direcção Geral de Engenharia.
44. IT-C-004. 2000, Vias Férreas – Maciços para Postes de Catenária. Rede Ferroviária Nacional – Direcção Geral de Engenharia..
45. IT.GEO.001. 2008, Vias Férreas – Fornecimento de Balastro e Gravelha. Rede Ferroviária Nacional – REFER, EP.
46. KALLAS, Siim – Europe's railways: on track to the future [Speech/12/75]. Brussels: European Railway Awards, 8 February 2012. Disponível na WWW: <URL:[http://europa.eu/rapid/press-release\\_SPEECH-12-75\\_en.htm](http://europa.eu/rapid/press-release_SPEECH-12-75_en.htm)>.
47. LNEC E 461. 2007, Betão – Metodologias para Prevenir Reacções Expansivas Internas. Laboratório Nacional de Engenharia Civil.
48. LNEC E 467. 2006, Betão – Guia para a Utilização de Agregados em Betões de Ligantes Hidráulicos. Laboratório Nacional de Engenharia Civil.
49. METAWIE, Ibrahim [et al.] – Properties of Preplaced Aggregate Concrete Cast in Air and Underwater. Washington D.C.: 92<sup>nd</sup> Annual Meeting of The Transportation Research Board, 2013.
50. MILFORD, Rachel L.; ALWOOD, Julian M. – Assessing the CO2 impact of current and future rail track in the UK. Transportation Research Part D: Transport and Environment. Ithaca. 15:2 (2010) 61-72.
51. NP 1039. 1974, Betão – Inertes para Argamassas e Betões – Determinação da resistência ao esmagamento. Instituto Português da Qualidade.
52. NP EN 196-1. 2006, Cimento – Métodos de ensaio de cimentos – Parte 1: Determinação das resistências mecânicas. Instituto Português da Qualidade.

53. NP EN 206-1. 2007, Betão – Betão – Parte 1: Especificação, desempenho, produção e conformidade. Instituto Português da Qualidade.
54. NP EN 445. 2000, Calda – Caldas de injeção para armaduras de pré-esforço. Métodos de ensaios. Instituto Português da Qualidade.
55. NP EN 447. 2000, Calda – Caldas de injeção para armaduras de pré-esforço. Especificações para caldas correntes. Instituto Português da Qualidade.
56. NP EN 933-1. 2000, Agregados – Ensaio das propriedades geométricas dos agregados – Parte 1: Análise granulométrica. Método da Peneiração. Instituto Português da Qualidade.
57. NP EN 934-2. 2009, Betão – Adjuvantes para betão. Definições, requisitos, conformidade, marcação e rotulagem. Instituto Português da Qualidade.
58. NP EN 1097-3. 2002, Agregados – Ensaio das propriedades mecânicas e físicas dos agregados – Parte 3: Determinação da baridade e do volume de vazios. Instituto Português da Qualidade.
59. NP EN 1097-6. 2003/A1 2010, Agregados – Ensaio das propriedades mecânicas e físicas dos agregados – Parte 6: Determinação da massa volúmica e da absorção de água. Instituto Português da Qualidade.
60. NP EN 12390-3. 2009, Betão – Ensaio do betão endurecido – Parte 3: Resistência à compressão dos provetes. Instituto Português da Qualidade.
61. NP EN 12620. 2002, Agregados – Agregados para betão. Instituto Português da Qualidade.
62. NP EN 13450. 2005, Agregados – Agregados para balastro de via férrea. Instituto Português da Qualidade.
63. O'MALLEY, John; ABDELGADER, Hakim S. – Investigation into viability of using two-stage (pre-placed aggregate) concrete in Irish setting. Frontiers of Architecture and Civil Engineering in China. ISSN 1673-7407. 4:1 (2010) 127-132.

64. SMOAK W. Glen – Guide to Concrete Repair. 1ª Edição: New York: United States Department of the Interior – Bureau of Reclamation, 2002. ISBN 0-89499-170-1.
65. STEER DAVIES GLEAVE – Ex Post Evaluation of Cohesion Policy Programmes 2000-2006. Work Package 5a: Transport. London: European Commission, 2009. First Intermediate Report.
66. Technical Memorandum No. 6-330 – Investigation of the Suitability of Prepakt for Mass and Reinforced Concrete Structures. U.S. Army Engineer Waterways Experiment Station, 1954.
67. INTRUSION PREPAKT INC. – Prepakt Cast in Place Piles – Unique Approach to Foundation Problems Proved by Ten Years of Successful Use. The Prepakt Reporter. November 1954 – May 1955.
68. TYNES, William O.; McDONALD, James E. – Investigation of Resistance of Preplaced-Aggregate Concrete to Freezing and Thawing. 1ª Edição: U.S. Army Waterways Experiment Station, 1968.
69. VIEIRA, Júlia Paula – Interacção Cimento-Superplastificante – Avaliação da estabilidade do comportamento: Lisboa: Instituto Superior Técnico. 2010. Dissertação para obtenção do Grau de Mestre em Engenharia Civil.



# **ANEXOS**

# **ANEXO I**

BOLETINS DE ENSAIOS DE AGREGADOS GROSSOS

BOLETINS DE ENSAIOS DE AGREGADOS FINOS

**ANÁLISE GRANULOMÉTRICA**  
Documento Normativo: NP EN 933-1 de 2000

Boletim nº: 282 / 12  
Pedido nº: 8622

Obra: IDI - Investigação

Requerente: IR

Tel: 219 948 000

Fax: \*\*\*

E-mail: ir@teixeiraduarte.pt

Empresa: Teixeira Duarte - EC

Morada: POTD - Montijo

Reprodução parcial condicionada à autorização expressa do Laboratório. Os resultados dos ensaios só são válidos para os itens ensaiados. Todas as indicações relativas à identificação e caracterização das amostras, salvo indicação em contrário, constituem transcrições do pedido de ensaio feito pelo requerente, ou são informações enviadas ao Laboratório por outra via documental, sendo portanto da inteira responsabilidade do Requerente. Salvo indicação em contrário, a responsabilidade pela coleta, conservação e transporte das amostras também é do requerente.

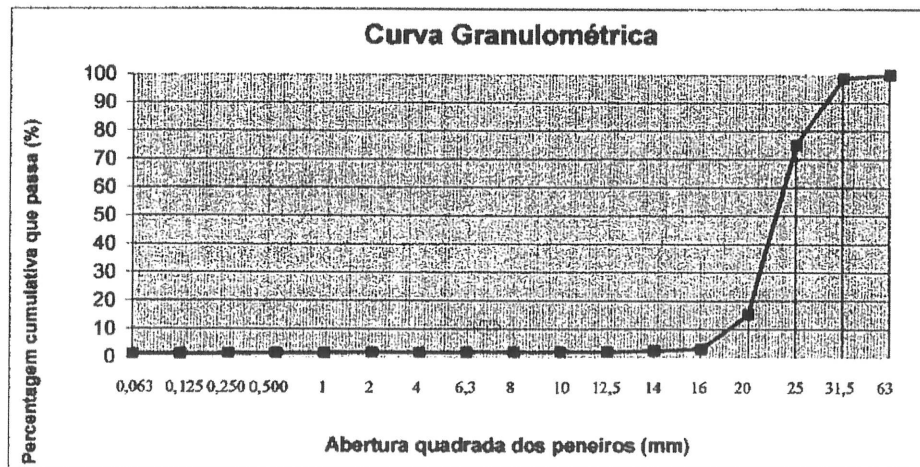
Amostra: 7714 / 12  
Agregado: Brita 20 / 32  
Proveniência: Ribeiro Cavaló  
Fornecedor: José M. G. Galo

Data de entrada: 27-11-2012  
Data de ensaio: 28-11-2012

Massa seca total: M1(kg) = 10,214  
Massa seca após lavagem (> 63 µm): M2(kg) = 10,115  
Massa restante no fundo: P(kg) = 0,0007

PENEIRO MALHA (mm)	Massa Retida (kg)	Material Retido (%)	Material Passado (%)
63,0	0,0000	0,0	100
31,5	0,1270	1,2	99
25,0	2,4140	23,6	75
20,0	6,1070	59,8	15
16,00	1,2520	12,3	3
14,00	0,0607	0,6	2
12,50	0,0499	0,5	2
10,00	0,0140	0,1	2
8,00	0,0021	0,0	2
6,30	0,0041	0,0	2
4,00	0,0072	0,1	2
2,00	0,0074	0,1	2
1,00	0,0113	0,1	2
0,500	0,0133	0,1	1
0,250	0,0137	0,1	1
0,125	0,0120	0,1	1
0,063	0,0077	0,1	1,1
Restante no fundo	0,0007	0,0	

Percentagem de finos **1,0%**



Observações: \*\*\*

Ensaiou:

Bruno Silva  
Bruno Silva (Auxiliar)  
Data: 3-12-2012

O Responsável:

Décio Júnior  
Décio Júnior (Eng. Civil)  
Data: 2012.12.03

**ANÁLISE GRANULOMÉTRICA**  
Documento Normativo: NP EN 933-1 de 2000

Boletim nº: 281 / 12  
Pedido nº: 8621

Obra: IDI - Investigação

Requerente: IR

Tel: 219 948 000

Fax: \*\*\*

E-mail: ir@teixeiraduarte.pt

Empresa: Teixeira Duarte - EC

Morada: POTD - Montijo

Amostra: 7713 / 12  
Agregado: Brita 6 / 12  
Proveniência: Ribeiro Cavaló  
Fornecedor: José M. G. Galo

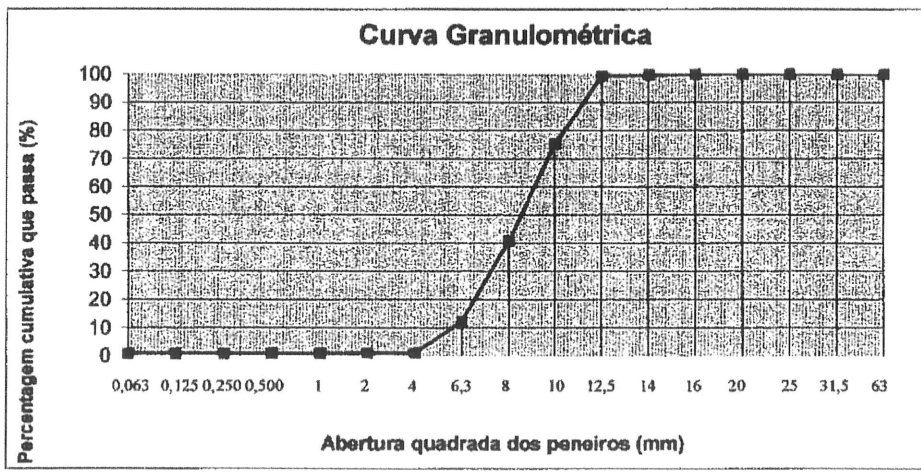
Data de entrada: 27-11-2012  
Data de ensaio: 29-11-2012

Massa seca total: M1(kg) = 2,675  
Massa seca após lavagem (> 63 µm): M2 (kg) = 2,656  
Massa restante no fundo: P (kg) = 0,0002

PENEIRO MALHA (mm)	Massa Retida (kg)	Material Retido (%)	Material Passado (%)
63,0	0,0000	0,0	100
31,5	0,0000	0,0	100
25,0	0,0000	0,0	100
20,0	0,0000	0,0	100
16,00	0,0000	0,0	100
14,00	0,0069	0,3	100
12,50	0,0082	0,3	99
10,00	0,6483	24,2	75
8,00	0,9225	34,5	41
6,30	0,7622	28,5	12
4,00	0,2991	11,2	1
2,00	0,0026	0,1	1
1,00	0,0013	0,0	1
0,500	0,0011	0,0	1
0,250	0,0010	0,0	1
0,125	0,0009	0,0	1
0,063	0,0008	0,0	0,8
Restante no fundo	0,0002	0,0	

Percentagem de finos **0,7%**

Reprodução parcial condicionada à autorização expressa do Laboratório. Os resultados dos ensaios só são válidos para os itens ensaiados. Todas as indicações relativas à identificação e caracterização das amostras, salvo indicação em contrário, constituem transcrições do pedido de ensaio feito pelo requerente, ou são informações enviadas ao Laboratório por outra via documental, sendo portanto da inteira responsabilidade do Requerente. Salvo indicação em contrário, a responsabilidade pela coleta, conservação e transporte das amostras também é do requerente.



Observações: \*\*\*

Ensaiou:  
Bruno Silva  
Bruno Silva (Auxiliar)  
Data: 3-12-2012

O Responsável:  
Décio Júnior  
Décio Júnior (Eng. Civil)  
Data: 2012.12.03

**ANÁLISE GRANULOMÉTRICA**  
Documento Normativo: NP EN 933-1 de 2000

Boletim nº: 280 / 12  
Pedido nº: 8615

Obra: IDI - Investigação

Requerente: IR

Tel: 219 948 000

Fax: \*\*\*

E-mail: ir@teixeiraduarte.pt

Empresa: Teixeira Duarte - EC

Morada: POTD - Montijo

Amostra: 7707 / 12  
Agregado: Brita 12 / 20  
Proveniência: Ribeiro Cavaló  
Fornecedor: José M. G. Galo

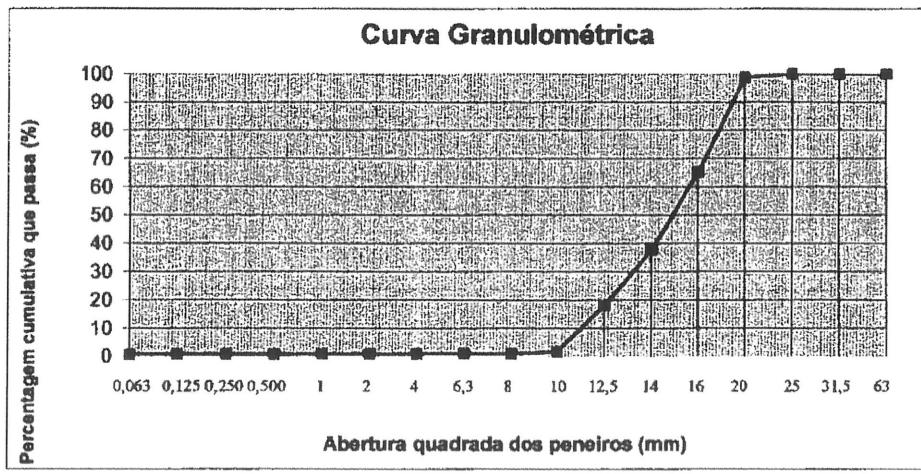
Data de entrada: 26-11-2012  
Data de ensaio: 27-11-2012

Massa seca total: M1(kg) = 2,689  
Massa seca após lavagem (> 63 µm): M2(kg) = 2,67316  
Massa restante no fundo: P(kg) = 0,0002

PENEIRO MALHA (mm)	Massa Retida (kg)	Material Retido (%)	Material Passado (%)
63,0	0,0000	0,0	100
31,5	0,0000	0,0	100
25,0	0,0000	0,0	100
20,0	0,0334	1,2	99
16,00	0,9000	33,5	65
14,00	0,7430	27,6	38
12,50	0,5310	19,7	18
10,00	0,4371	16,3	2
8,00	0,0197	0,7	1
6,30	0,0010	0,0	1
4,00	0,0007	0,0	1
2,00	0,0009	0,0	1
1,00	0,0013	0,0	1
0,500	0,0016	0,1	1
0,250	0,0012	0,0	1
0,125	0,0008	0,0	1
0,063	0,0007	0,0	0,6
Restante no fundo	0,0002	0,0	

Percentagem de finos **0,6%**

Reprodução parcial condicionada à autorização expressa do Laboratório. Os resultados dos ensaios só são válidos para os itens ensaiados. Todas as indicações relativas à identificação e caracterização das amostras, salvo indicação em contrário, constituem transcrições do pedido de ensaio feito pelo requerente, ou são informações enviadas ao Laboratório por outra via documental, sendo portanto da inteira responsabilidade do Requerente. Salvo indicação em contrário, a responsabilidade pela colheita, conservação e transporte das amostras também é do requerente.



Observações: \*\*\*

Ensaiou: Bruno Silva  
Bruno Silva (Auxiliar)  
Data: 3-12-2012

O Responsável: Décio Júnior  
Décio Júnior (Eng. Civil)  
Data: 2012.12.03

Obra: IDI Requerente: IR  
Tel: 219 948 000 Fax: \*\*\* E-mail: ir@teixeiraduarte.pt  
Empresa: Teixeira Duarte - EC Morada: POTD - Montijo

Amostra:	7714 / 12	Data da entrada:	27-11-2012
Agregado:	Brita 20 / 32	Data de ensaio:	28-11-2012
Proveniência:	Ribeiro Cavallo	Fornecedor:	José M.G. Galo, S.A.
Observações:	***		

**Fracção**  
**Granulométrica** 20 / 32 **Método utilizado:** Método do Picnómetro

Massa do provete: 5065 (g) Início de imersão: Data: 27-11-2012  
Hora: 14:55  
Fim de imersão: Temperatura da água:  
Data: 12-11-29  $t_{M2}$  24,8 °C  
Hora: 10:40  $t_{M3}$  25 °C

Secagem em estufa a 110°C.

Data do início: 29-11-2012 Hora do início: 10:50  
Data do término: 30-11-2012 Hora do término: 10:55

Massa do provete saturado com superfície seca ao ar.	$M_1 =$ <u>5003</u> g
Massa do picnómetro contendo o provete de agregado saturado e água	$M_2 =$ <u>9886</u> g
Massa do picnómetro apenas cheio de água	$M_3 =$ <u>6746</u> g
Massa do provete seco em estufa	$M_4 =$ <u>4974</u> g
Massa volúmica da água à temperatura do ensaio	$\rho_w =$ <u>0,9973</u> Mg / m <sup>3</sup>

1) $\rho_{sat} = \frac{M_1}{[M_1 - (M_2 - M_3)] / \rho_w}$	2) $\rho_{rd} = \frac{M_4}{[M_1 - (M_2 - M_3)] / \rho_w}$	3) $\rho_a = \frac{M_4}{[M_4 - (M_2 - M_3)] / \rho_w}$	4) $WA_{24} = \frac{100 \times (M_1 - M_4)}{M_4}$
<u>2,68</u> Mg / m <sup>3</sup>	<u>2,66</u> Mg / m <sup>3</sup>	<u>2,70</u> Mg / m <sup>3</sup>	<u>0,6</u> %

- 1) Massa volúmica das partículas saturadas com a superfície seca
- 2) Massa volúmica das partículas secas em estufa
- 3) Massa volúmica do material impermeável das partículas
- 4) Absorção de água após imersão durante 24 h (%)

Ensaiou:  
Bruno Silva  
Bruno Silva (Auxiliar)  
Data: 3-12-2012

O Responsável:  
Decio Junior  
Decio Júnior (Eng. Civil)  
Data: 2012.12.03

Reprodução parcial condicionada à autorização expressa do Laboratório. Os resultados dos ensaios só são válidos para os itens ensaiados. Todas as indicações relativas à identificação e caracterização das amostras, salvo indicação em contrário, constituem transcrições do pedido de ensaio feito pelo requerente, ou são informações enviadas ao Laboratório por outra via documental, sendo portanto da inteira responsabilidade do Requerente. Salvo indicação em contrário, a responsabilidade pela seleção, conservação e transporte das amostras também é do requerente.

Boletim nº: 278 / 12  
Pedido nº: 8615

Obra: IDI Requerente: IR  
Tel.: 219 948 000 Fax: \*\*\* E-mail: ir@teixeiraduarte.pt  
Empresa: Teixeira Duarte - EC Morada: POTD - Montijo

Amostra:	7707 / 12	Data da entrada:	26-11-2012
Agregado:	Brita 12 / 20	Data de ensaio:	27-11-2012
Proveniência:	Ribeiro Cavaló	Fornecedor:	José M.G. Galo, S.A.
Observações:	***		

**Fracção**  
**Granulométrica** 12 / 20 **Método utilizado:** Método do Picnómetro

Massa do provete: 2101 (g) Início de imersão: Data: 27-11-2012  
Hora: 14:55  
Fim de imersão: Temperatura da água:  
Data: 12-11-28  $t_{M2}$  21,9 °C  
Hora: 14:45  $t_{M3}$  21 °C

Secagem em estufa a 110°C.

Data do início: 28-11-2012 Hora do início: 15:15  
Data do término: 29-11-2012 Hora do término: 15:00

Massa do provete saturado com superfície seca ao ar.	$M_1 =$	<u>2095</u>	g
Massa do picnómetro contendo o provete de agregado saturado e água	$M_2 =$	<u>4331</u>	g
Massa do picnómetro apenas cheio de água	$M_3 =$	<u>3017</u>	g
Massa do provete seco em estufa	$M_4 =$	<u>2083</u>	g
Massa volúmica da água à temperatura do ensaio	$\rho_w =$	<u>0,9980</u>	Mg / m <sup>3</sup>
1) $\rho_{sd} = \frac{M_1}{[M_1 - (M_2 - M_3)] / \rho_w}$	2) $\rho_{rd} = \frac{M_4}{[M_1 - (M_2 - M_3)] / \rho_w}$	3) $\rho_a = \frac{M_4}{[M_4 - (M_2 - M_3)] / \rho_w}$	4) $WA_{24} = \frac{100 \times (M_1 - M_4)}{M_4}$
<u>2,68</u> Mg / m <sup>3</sup>	<u>2,66</u> Mg / m <sup>3</sup>	<u>2,70</u> Mg / m <sup>3</sup>	<u>0,6</u> %
1) Massa volúmica das partículas saturadas com a superfície seca			
2) Massa volúmica das partículas secas em estufa			
3) Massa volúmica do material impermeável das partículas			
4) Absorção de água após imersão durante 24 h (%)			

Ensaiou:  
Bruno Silva  
Bruno Silva (Auxiliar)  
Data: 3-12-2012

Responsável:  
Décio Júnior  
Décio Júnior (Eng. Civil)  
Data: 2012.12.03

Reprodução parcial condicionada à autorização expressa do Laboratório. Os resultados dos ensaios só são válidos para os itens ensaiados. Todas as indicações relativas à identificação e caracterização das amostras, salvo indicação em contrário, constituem transcrições do pedido de ensaio feito pelo requerente, ou são informações enviadas ao Laboratório por outra via documental, sendo portanto da inteira responsabilidade do Requerente. Salvo indicação em contrário, a responsabilidade pela coleta, conservação e transporte das amostras também é do requerente.

Boletim nº: 277 / 12  
Pedido nº: 8621

Obra: IDI Requerente: IR  
Tel.: 219 948 000 Fax: \*\*\* E-mail: ir@teixeiraduarte.pt  
Empresa: Teixeira Duarte - EC Morada: POTD - Montijo

Amostra:	7713 / 12	Data da entrada:	27-11-2012
Agregado:	Brita 6 / 12	Data de ensaio:	28-11-2012
Proveniência:	Ribeiro Cavallo	Fornecedor:	José M.G. Galo, S.A.
Observações:	***		

**Fracção**  
**Granulométrica** 6 / 12 **Método utilizado:** Método do Picnómetro

Massa do provete: 2193 (g) Início de imersão: Data: 28-11-2012  
Hora: 10:00  
Fim de imersão: Temperatura da água:  
Data: 12-11-29  $t_{M2}$  20,7 °C  
Hora: 10:00  $t_{M3}$  20,7 °C

Secagem em estufa a 110°C.

Data do início: 29-11-2012 Hora do início: 10:20  
Data do término: 30-11-2012 Hora do término: 10:10

Massa do provete saturado com superfície seca ao ar.	$M_1 =$	<u>2185</u>	g
Massa do picnómetro contendo o provete de agregado saturado e água	$M_2 =$	<u>4510</u>	g
Massa do picnómetro apenas cheio de água	$M_3 =$	<u>3139</u>	g
Massa do provete seco em estufa	$M_4 =$	<u>2173</u>	g
Massa volúmica da água à temperatura do ensaio	$\rho_w =$	<u>0,9982</u>	Mg / m <sup>3</sup>
1) $\rho_{ssd} = \frac{M_1}{[M_1 - (M_2 - M_3)] / \rho_w}$	2) $\rho_{sd} = \frac{M_4}{[M_1 - (M_2 - M_3)] / \rho_w}$	3) $\rho_a = \frac{M_4}{[M_1 - (M_2 - M_3)] / \rho_w}$	4) $WA_{24} = \frac{100 \times (M_1 - M_4)}{M_4}$
<u>2,68</u> Mg / m <sup>3</sup>	<u>2,66</u> Mg / m <sup>3</sup>	<u>2,70</u> Mg / m <sup>3</sup>	<u>0,6</u> %
1) Massa volúmica das partículas saturadas com a superfície seca			
2) Massa volúmica das partículas secas em estufa			
3) Massa volúmica do material impermeável das partículas			
4) Absorção de água após imersão durante 24 h (%)			

Ensaiou:  
Bruno Silva  
Bruno Silva (Auxiliar)  
Data: 3-12-2012

Responsável:  
Décio Júnior  
Décio Júnior (Eng. Civil)  
Data: 2012.12.03

Reprodução parcial condicionada à autorização expressa do Laboratório. Os resultados dos ensaios só são válidos para os itens ensaiados. Todas as indicações relativas à identificação e caracterização das amostras, salvo indicação em contrário, constituem transcrições do pedido de ensaio feito pelo requerente, ou são informações enviadas ao Laboratório por outra via documental, sendo portanto da inteira responsabilidade do Requerente. Salvo indicação em contrário, a responsabilidade pela coleta, conservação e transporte das amostras também é do requerente.

Boletim nº: 276 /12  
Pedido nº: 8620

Obra: IDI - Investigação Requerente: IR  
Tel.: 219 948 000 Fax: \*\*\* E-mail: ir@teixeiraduarte.pt  
Empresa: Teixeira Duarte - EC Morada: POTD - Montijo

Amostra: 7712 / 12 Data da entrada: 27-11-2012  
Agregado: Areia 0/4 PCC4 Data de ensaio: 21-11-2012  
Proveniência: Fornecedor Fornecedor: Soaryamil  
Observações: Areia proveniente de Vale Figueira

**Fracção**  
**Granulométrica** 0 - 4 mm **Método utilizado:** Método do Picnómetro

Massa do provete: 1091,61 (g) Início de imersão: Data: 21-11-2012  
Hora: 18:08

Fim de imersão: Temperatura da água:  
Data: 22-11-2012  $t_{M2}$  20,4 °C  
Hora: 14:45  $t_{M3}$  20,4 °C

Secagem em estufa a 110°C.

Data do início: 23-11-2012 Hora do início: 15:30  
Data do término: 26-11-2012 Hora do término: 13:00

Massa do provete saturado com superfície seca ao ar.	$M_1 =$	<u>1092</u>	g
Massa do picnómetro contendo o provete de agregado saturado e água	$M_2 =$	<u>2235</u>	g
Massa do picnómetro apenas cheio de água	$M_3 =$	<u>1563</u>	g
Massa do provete seco em estufa	$M_4 =$	<u>1086</u>	g
Massa volúmica da água à temperatura do ensaio	$\rho_w =$	<u>0,9982</u>	Mg / m <sup>3</sup>
1) $\rho_{sat} = \frac{M_1}{[M_1 - (M_2 - M_3)] / \rho_w}$	2) $\rho_{sd} = \frac{M_4}{[M_4 - (M_2 - M_3)] / \rho_w}$	3) $\rho_a = \frac{M_4}{[M_4 - (M_2 - M_3)] / \rho_w}$	4) $WA_{24} = \frac{100 \times (M_1 - M_4)}{M_4}$
<u>2,60</u> Mg / m <sup>3</sup>	<u>2,58</u> Mg / m <sup>3</sup>	<u>2,62</u> Mg / m <sup>3</sup>	<u>0,5</u> %
1) <i>Massa volúmica das partículas saturadas com a superfície seca</i>			
2) <i>Massa volúmica das partículas secas em estufa</i>			
3) <i>Massa volúmica do material impermeável das partículas</i>			
4) <i>Absorção de água após imersão durante 24 h (%)</i>			

Ensaio: Bruno Silva  
Bruno Silva (Auxiliar)

Data: 3-12-2012

<sup>P</sup> O Responsável: Decio Junior  
Décio Júnior (Eng. Civil)

Data: 2012.12.03

Reprodução parcial condicionada à autorização expressa do Laboratório. Os resultados dos ensaios só são válidos para os itens ensaiados. Todas as indicações relativas à identificação e caracterização das amostras, salvo indicação em contrário, constituem transcrições do pedido de ensaio feito pelo requerente, ou são informações enviadas ao Laboratório por outra via documental, sendo portanto da inteira responsabilidade do Requerente. Salvo indicação em contrário, a responsabilidade pela coleta, conservação e transporte das amostras também é do requerente.

Obra: IDI - Investigação

Requerente: IR

Tel.: 219 948 000

Fax:

E-mail: ir@teixeiraduarte.pt

Empresa: Teixeira Duarte - EC

Morada: POTD - Montijo

Amostra: 7711 / 12 Data da entrada: 27-11-2012  
Agregado: Areia fina 0-2 mm Data de ensaio: 21-11-2012  
Proveniência: Sesimbra Fornecedor: Sulinertes  
Observações: Areia proveniente de Vale Figueira

Fracção 0 - 2 mm Método utilizado: Método do Picnómetro

Massa do provete: 1099,81 (g) Início de imersão: Data: 21-11-2012  
Hora: 18:00

Fim de imersão: Data: 22-11-2012 Temperatura da água:  
Hora: 18:00  $t_{M2}$  20,4 °C  
 $t_{M3}$  20,4 °C

Secagem em estufa a 110°C.

Data do início: 23-11-2012 Hora do início: 15:00  
Data do término: 26-11-2012 Hora do término: 12:00

Massa do provete saturado com superfície seca ao ar.	$M_1 =$	<u>1098</u>	g
Massa do picnómetro contendo o provete de agregado saturado e água	$M_2 =$	<u>2217</u>	g
Massa do picnómetro apenas cheio de água	$M_3 =$	<u>1538</u>	g
Massa do provete seco em estufa	$M_4 =$	<u>1094</u>	g
Massa volúmica da água à temperatura do ensaio	$\rho_w =$	<u>0,9982</u>	Mg / m <sup>3</sup>
1) $\rho_{sat} = \frac{M_1}{[M_1 - (M_2 - M_3)] / \rho_w}$	2) $\rho_{sd} = \frac{M_4}{[M_1 - (M_2 - M_3)] / \rho_w}$	3) $\rho_a = \frac{M_4}{[M_1 - (M_2 - M_3)] / \rho_w}$	4) $WA_{24} = \frac{100 \times (M_1 - M_4)}{M_4}$
<u>2,61</u> Mg / m <sup>3</sup>	<u>2,60</u> Mg / m <sup>3</sup>	<u>2,63</u> Mg / m <sup>3</sup>	<u>0,4</u> %
1) Massa volúmica das partículas saturadas com a superfície seca			
2) Massa volúmica das partículas secas em estufa			
3) Massa volúmica do material impermeável das partículas			
4) Absorção de água após imersão durante 24 h (%)			

Ensaiou:  
Bruno Silva  
Bruno Silva (Auxiliar)

Data: 3-12-2012

Responsável:  
Décio Júnior  
Décio Júnior (Eng. Civil)

Data: 2012.12.03

Reprodução parcial condicionada à autorização expressa do Laboratório. Os resultados dos ensaios só são válidos para os itens ensaiados. Todas as indicações relativas à identificação e caracterização das amostras, salvo indicação em contrário, constituem transações do pedido de ensaio feito pelo requerente, ou são informações enviadas ao Laboratório por outra via documental, sendo portanto da inteira responsabilidade do requerente. Salvo indicação em contrário, a responsabilidade pela coleta, conservação e transporte das amostras também é do requerente.



**TEIXEIRA DUARTE, S.A.**

**LABORATÓRIO DE MATERIAIS**

Vale de Figueira - São João da Talha

Tel.: 219 948 000 Fax: 219 554 536

**ANÁLISE GRANULOMÉTRICA**  
(Documento Normativo: NP - 1379 - 1976)

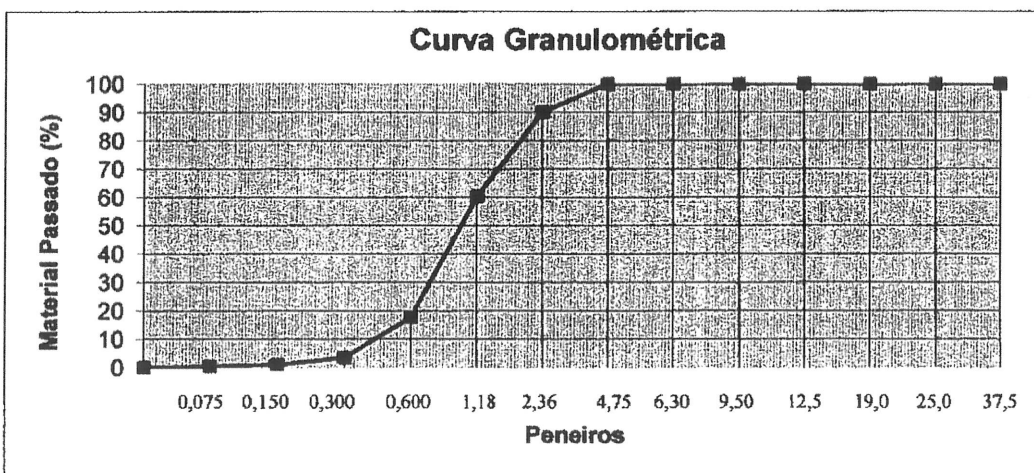
Requerente / Obra: IDI - Investigação  
Morada para envio dos resultados: POTD - Montijo  
Tel.: 219 948 000 Fax.: \*\*\*  
Solicitado por IR  
Ensaio pago por: Requerente

Amostra: 7712 / 12 Data de entrada: 27-11-2012 Boletim nº: 283 / 12  
Inerte: Areia 0/4 PCC4 Data de ensaio: 21-11-2012  
Proveniência: Sesimbra  
Fornecedor: Soarvamil

Massa da amostra seca:  $m_1 = 240,86$  g

PENEIRO MALHA (mm)	Massa Retida (g)	Material Retido (%)	Material Passado (%)
37,5			100,0
25,0			100,0
19,0			100,0
12,5			100,0
9,50			100,0
6,30			100,0
4,75			100,0
2,36	23,70	9,8	90,2
1,18	71,87	29,8	60,3
0,600	102,54	42,6	17,7
0,300	34,38	14,3	3,5
0,150	6,03	2,5	1,0
0,075	1,34	0,6	0,4
Refugo	0,58	0,2	

Módulo de finura: **3,27**



Observações: **Este ensaio não está incluído no âmbito da acreditação.**  
Agregado proveniente de Vale Figueira

Ensaio: *Bruno Silva*  
Bruno Silva (Auxiliar)  
Data: *3-12-2012*

Responsável: *Acthaves*  
Eng.º Décio Júnior (Eng. Civil)  
Data: *2012.12.03*

Reprodução parcial condicionada à autorização expressa do Laboratório. Os resultados dos ensaios só são válidos para os itens ensaiados. Todas as indicações relativas à identificação e caracterização das amostras, salvo indicação em contrário, constituem transcrições do pedido de ensaio feito pelo requerente, ou são informações enviadas ao Laboratório por outra via documental, sendo portanto da inteira responsabilidade do Requerente. Salvo indicação em contrário, a responsabilidade pela colheita, conservação e transporte das amostras também é do requerente.



**TEIXEIRA DUARTE, S.A.**

**LABORATÓRIO DE MATERIAIS**

Vale de Figueira - São João da Talha  
Tel.: 219 948 000 Fax: 219 554 536

**ANÁLISE GRANULOMÉTRICA**  
(Documento Normativo: NP - 1379 - 1976)

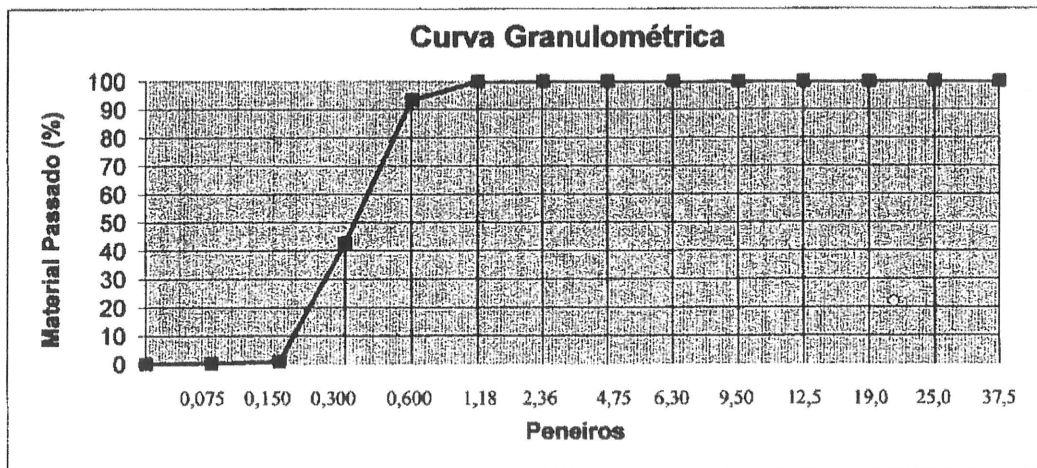
Requerente / Obra: IDI - Investigação  
Morada para envio dos resultados: POTD - Montijo  
Tel.: 219 948 000 Fax.: \*\*\*  
Solicitado por IR  
Ensaio pago por : Requerente

Amostra: 7711 / 12 Data de entrada: 27-11-2012 Boletim n.º: 284 / 12  
Inerte: Areia fina 0-2 mm Data de ensaio: 21-11-2012  
Proveniência: Sesimbra  
Fornecedor: Sulinertes

Massa da amostra seca: **m1 = 240,59 g**

PENEIRO MALHA (mm)	Massa Retida (g)	Material Retido (%)	Material Passado (%)
37,5			100,0
25,0			100,0
19,0			100,0
12,5			100,0
9,50			100,0
6,30			100,0
4,75			100,0
2,36			100,0
1,18	0,24	0,1	99,9
0,600	15,72	6,5	93,4
0,300	122,02	50,7	42,6
0,150	100,68	41,8	0,8
0,075	1,54	0,6	0,2
Refugo	0,12	0,0	

Módulo de finura: **1,63**



Observações: *Este ensaio não está incluído no âmbito da acreditação.*  
Agregado proveniente de Vale Figueira

Ensaiou: *Bruno Silva*  
Bruno Silva (Auxiliar)  
Data: *3-12-2012*

O Responsável: *Adelino*  
Eng.º Décio Júnior (Eng. Civil)  
Data: *2012.12.03*

Mod. 06 / 18  
Página 01 de 01.

Reprodução parcial condicionada à autorização expressa do Laboratório. Os resultados dos ensaios só são válidos para os itens ensaiados. Todas as indicações relativas à identificação e caracterização das amostras, salvo indicação em contrário, constituem transcrições do pedido de ensaio feito pelo requerente, ou são informações enviadas ao Laboratório por outra via documental, sendo portanto da inteira responsabilidade do Requerente. Salvo indicação em contrário, a responsabilidade pela colheita, conservação e transporte das amostras também é do requerente.

# **ANEXO II**

BOLETINS DE ENSAIOS DE CALDAS

**Amassadura e ensaios de argamassas**

NP EN 196 -1 de 2005 - Amassadura e ensaios de compressão e de flexão de argamassa  
BS 1881 - Part 105 de 1984 - Ensaio de espalhamento através da "Flow table"  
ASTM C 939 - Ensaio de Consistência  
ASTM C 928 - Mistura da calda

Boletim nº:  
Pedido nº:

Obra: **e.c. (9.1)** Requerente:  
Tel.: \_\_\_\_\_ Fax: \_\_\_\_\_ E-mail: \_\_\_\_\_  
Empresa: **C.1.1.** Morada: \_\_\_\_\_  
Estudo: \_\_\_\_\_ Arcias utilizadas: \_\_\_\_\_ Data da solicitação: \_\_\_\_\_

Hora: **15:00**

Data: **2012. 11. 23**

Ligante	Fornecedor: CIMPOR - Alhandra	Adjuvantes		Dosagem (peso)	Massa volúmica	Dosagem (vol.)
Tipo e Classe	Cinza da Maceira	Amostra nº 5536/10	Gle. Sky 617	1,4	1050	1470,0
CEM I 42,5 R	Amostra nº 2672 / 07	Amostra nº 5533/10	Pozzolith 540		1200	1,00%
Cinza volante	Amostra nº 5514 / 10	Amostra nº 7698/12	Rheomatriz 175		1000	0,38%

Caracterização dos inertes:

	Arcia fina	Arcia grossa		
Amostra nº				
Humidade				
Absorção	0,40%	0,90%		

Dosagem teórica ( kg/m3 ) :

Adjuvante ( ml )	Cimento (kg)	Arcia fina ( kg )	Arcia grossa		
11319	270	667	278		
	Cinzas (kg)				
2926	500				

	Água (l)
Humidade	
Água absorção	5,17
Água total	335
Água livre	330

a / c = 0,447

335,2 l/m3

Amassadura experimental Volume: 2 (l)

Dosagem corrigida

Adjuvante (ml)	Cimento (kg)	Arcia fina (kg)	Arcia grossa		
23	0,54	1,334	0,556		
	Cinzas (kg)	Correcções (g)	Correcções (g)	Correcções (g)	Correcções (g)
6	1,00	-5,336	-5,004		
	Total (kg)	1,328664	0,550996		

	Água (l)
Humidade	
Água absorção	0,01
Água total	0,67
Água livre	0,66

Temperatura ambiente (°C): \_\_\_\_\_

0,670 l/m3

**EXSUDAÇÃO : V1 = 90 uel**  
**V2 =**

**Exp-**

Consistência (s)



**325**



**23**

"Flow table" ( mm )



	15 min.	30 min.	45 min.	60 min.
2 horas				
3 horas				
4 horas				
5 horas				
6 horas				
***	***	***	***	***

Massa volúmica teórica: 2059 kg/m3  
Massa volúmica efectiva: 2009 kg/m3

Teor de ar: \_\_\_\_\_ %

Reprodução parcial condicionada à autorização expressa do Laboratório. Os resultados dos ensaios só são válidos para os itens ensaiados. Todas as indicações relativas à identificação e caracterização das amostras, salvo indicação em contrário, constituem transcrições do pedido de ensaio feito pelo requerente, ou são informações enviadas ao Laboratório por outra via documental, sendo portanto da inteira responsabilidade do requerente. Salvo indicação em contrário, a responsabilidade pela colheita, conservação e transporte das amostras também é do requerente.

**Amassadura e ensaios de argamassas**

NP EN 196 -1 de 2005 - Amassadura e ensaios de compressão e de flexão de argamassa  
BS 1881 - Part 105 de 1984 - Ensaio de espalhamento através da "Flow table"  
ASTM C 939 - Ensaio de Consistência  
ASTM C 928 - Mistura da calda

C1.2

Boletim nº:  
Pedido nº:

Obra: \_\_\_\_\_ Requerente: \_\_\_\_\_  
Tel.: \_\_\_\_\_ Fax: \_\_\_\_\_ E-mail: \_\_\_\_\_  
Empresa: \_\_\_\_\_ Morada: \_\_\_\_\_  
Estudo: \_\_\_\_\_ Arcias utilizadas: \_\_\_\_\_ Data da solicitação: \_\_\_\_\_

Hora: 15:25 Data: 23.11.2012

Ligante	Fornecedor: CIMPOR - Alhandra	Adjuvantes		Dosagem (peso)	Massa volúmica	Dosagem (vol.)
Tipo e Classe	Cinza da Maceira	Amostra nº 5536/10	Gle. Sky 617	1,4	1050	1470,0
CEM I 42,5 R	Amostra nº 2672 / 07	Amostra nº 5533/10	Pozzolith 540		1200	1,00%
Cinza volante	Amostra nº 5514 / 10	Amostra nº 7698/12	Rheomatriz 175		1000	0,38%

Caracterização dos inertes:

	Arcia fina	Arcia grossa		
Amostra nº				
Humidade				
Absorção	0,40%	0,90%		

Dosagem teórica ( kg/m3 ) :

Adjuvante ( ml )	Cimento (kg)	Arcia fina ( kg )	Arcia grossa		
11319	385	667	278		
	Cinzas (kg)				
2926	385				

	Água (l)
Humidade	
Água absorção	5,17
Água total	335
Água livre	330

a / c = 0,447

335,2 l/m3

Amassadura experimental Volume: 2 (1)

Dosagem corrigida

Adjuvante (ml)	Cimento (kg)	Arcia fina (kg)	Arcia grossa		
23	0,77	1,334	0,556		
	Cinzas (kg)	Correcções (g)	Correcções (g)	Correcções (g)	Correcções (g)
6	0,77	-5,336	-5,004		
	Total (kg)	1,328664	0,550996		

	Água (l)
Humidade	
Água absorção	0,01
Água total	0,67
Água livre	0,66

Temperatura ambiente (°C): \_\_\_\_\_

ESUDAÇÃO: V<sub>a</sub> = 91 ml

0,670 l/m3

Exp.

Consistência (s)

"Flow table" ( mm )

<input checked="" type="checkbox"/>	290 mm				
<input checked="" type="checkbox"/>	230	15 min.	30 min.	45 min.	60 min.
<input type="checkbox"/>					
	2 horas	3 horas	4 horas	5 horas	6 horas
	***	***	***	***	***

Massa volúmica teórica: 2059 kg/m3  
Massa volúmica efectiva: 2074 kg/m3

Teor de ar: \_\_\_\_\_ %

Reprodução parcial condicionada à autorização expressa do Laboratório. Os resultados dos ensaios só são válidos para os itens ensaiados. Todas as indicações relativas à identificação e caracterização das amostras, salvo indicação em contrário, constituem transcrições do pedido de ensaio feito pelo requerente, ou são informações enviadas ao Laboratório por outra via documental, sendo portanto da inteira responsabilidade do Requerente. Salvo indicação em contrário, a responsabilidade pela colheita, conservação e transporte das amostras também é do requerente.

**Amassadura e ensaios de argamassas**

NP EN 196 -1 de 2005 - Amassadura e ensaios de compressão e de flexão de argamassa  
BS 1881 - Part 105 de 1984 - Ensaio de espalhamento através da "Flow table"  
ASTM C 939 - Ensaio de Consistência  
ASTM C 928 - Mistura da calda

**C.1.3**

Boletim nº:  
Pedido nº:

Obra: \_\_\_\_\_ Requerente: \_\_\_\_\_  
Tel.: \_\_\_\_\_ Fax: \_\_\_\_\_ E-mail: \_\_\_\_\_  
Empresa: \_\_\_\_\_ Morada: \_\_\_\_\_  
Estudo: \_\_\_\_\_ Arcias utilizadas: \_\_\_\_\_ Data da solicitação: \_\_\_\_\_

Hora: **15:45** Data: **2012.11.23**

Ligante	Fornecedor: CIMPOR - Alhandra	Adjuvantes		Dosagem (peso)	Massa volúmica	Dosagem (vol.)
Tipo e Classe	Cinza da Maceira	Amostra nº 5536/10	Gle. Sky 617	1,4	1050	1470,0
CEM 1 42,5 R	Amostra nº 2672 / 07	Amostra nº 5533/10	Pozzolith 540		1200	1,00%
Cinza volante	Amostra nº 5514 / 10	Amostra nº 7698/12	Rheomatriz 175		1000	0,38%

Caracterização dos inertes:

	Arcia fina	Arcia grossa		
Amostra nº				
Humidade				
Absorção	0,40%	0,90%		

Dosagem teórica ( kg/m3 ) :

Adjuvante ( ml )	Cimento (kg)	Arcia fina ( kg )	Arcia grossa		
11319	500	697	308		
	Cinzas (kg)				
2926	270				

	Água (l)
Humidade	
Água absorção	5,56
Água total	336
Água livre	330

a / c = 0,447

335,6 l/m3

Amassadura experimental Volume: 2 (1)

Dosagem corrigida

Adjuvante (ml)	Cimento (kg)	Arcia fina (kg)	Arcia grossa		
23	1,00	1,394	0,616		
	Cinzas (kg)	Correcções (g)	Correcções (g)	Correcções (g)	Correcções (g)
6	0,54	-5,576	-5,544		
	Total (kg)	1,388424	0,610456		

	Água (l)
Humidade	
Água absorção	0,01
Água total	0,67
Água livre	0,66

Temperatura ambiente (°C): \_\_\_\_\_

EXSUDAÇÃO:  $V_1 = 90 \text{ ml}$   
 $V_2 =$

0,671 l/m3

Esparhamento  265

Consistência (s)	<input checked="" type="checkbox"/>	0	15 min.	30 min.	45 min.	60 min.
"Flow table" ( mm )	<input type="checkbox"/>	25,6				
		2 horas	3 horas	4 horas	5 horas	6 horas
		***	***	***	***	***

Massa volúmica teórica: 2119 kg/m3  
Massa volúmica efectiva: 2114 kg/m3

Teor de ar: \_\_\_\_\_ %

Reprodução parcial condicionada à autorização expressa do Laboratório. Os resultados dos ensaios são válidos para os itens ensaiados. Todas as indicações relativas à identificação e caracterização das amostras, salvo indicação em contrário, constituem transcrições do pedido de ensaio feito pelo requerente, ou são informações enviadas ao Laboratório por outra via documental, sendo portanto da inteira responsabilidade do Requerente. Salvo indicação em contrário, a responsabilidade pela colheita, conservação e transporte das amostras também é do requerente.

# **ANEXO III**

BOLETINS DE ENSAIOS DE BETÕES

**Amassadura e ensaios de argamassas**

NP EN 196 -1 de 2005 - Amassadura e ensaios de compressão e de flexão de argamassa  
BS 1881 - Part 105 de 1984 - Ensaio de espalhamento através da "Flow table"  
ASTM C 939 - Ensaio de Consistência  
ASTM C 928 - Mistura da calda

B.1.1.1 - 100% Agregado Grosso + Calda 9.1

Boletim nº:

*Ld repetição*

Pedido nº:

Obra:

Requerente:

Tel.:

Fax:

E-mail:

Empresa:

Morada:

Estudo:

Areias utilizadas :

Data da solicitação:

Hora: 10h00 Data: 18-01-2013

Ligante	Fornecedor: CIMPOR - Alhandra	Adjuvantes		Dosagem (peso)	Massa volúmica	Dosagem (vol.)
Tipo e Classe	Cinza da Maceira	Amostra nº 5536/10	Gle. Sky 617	1,4	1050	1470,0
CEM I 42,5 R	Amostra nº 2672 / 07	Amostra nº 5533/10	Pozzolith 540		1200	1,00%
Cinza volante	Amostra nº 5514 / 10	Amostra nº 7698/12	Rheomatriz 175		1000	0,38%

Caracterização dos inertes:

	Areia fina	Areia grossa		
Amostra nº				
Humidade				
Absorção	0,40%	0,50%		

Dosagem teórica ( kg/m3 ) :

Adjuvante ( ml )	Cimento (kg)	Areia fina ( kg )	Areia grossa		
11319	270	667	278		
	Cinzas (kg)				
2926	500				

	Água (l)
Humidade	
Água absorção	4,06
Água total	334
Água livre	330

a / c = 0,447

334,1 l/m3

*T<sub>inicial</sub> = 17,7°C*

Amassadura experimental Volume: 30 (1)

Dosagem corrigida

Adjuvante (ml)	Cimento (kg)	Areia fina (kg)	Areia grossa		
340	8,10	20,01	8,34		
	Cinzas (kg)	Correcções (g)	Correcções (g)	Correcções (g)	Correcções (g)
88	15,00	-80,04	-41,7		
	Total (kg)	19,92996	8,2983		

	Água (l)
Humidade	
Água absorção	0,12
Água total	10,02
Água livre	9,90

Temperatura ambiente (°C): \_\_\_\_\_

10,022

l/m3

*25 seg*

*(360; 330) → BS*

Consistência (s)

"Flow table" ( mm )

0	15 min.	30 min.	45 min.	60 min.
2 horas	3 horas	4 horas	5 horas	6 horas
***	***	***	***	***

Massa volúmica teórica: 2059 kg/m3

Teor de ar: \_\_\_\_\_ %

Massa volúmica efectiva: \_\_\_\_\_ kg/m3

Reprodução parcial condicionada a autorização expressa do Laboratório. Os resultados dos ensaios só são válidos para os itens ensaiados. Todas as indicações relativas à identificação e caracterização das amostras, salvo indicação em contrário, constituem transcrições do pedido de ensaio e do requerente, ou são informações enviadas ao Laboratório por outra via documental, se o requerente. Salvo indicação em contrário, a responsabilidade pela colheita, conservação e transporte das amostras também é do requerente.

**Amassadura e ensaios de argamassas**

NP EN 196 -1 de 2005 - Amassadura e ensaios de compressão e de flexão de argamassa  
 BS 1881 - Part 105 de 1984 - Ensaio de espalhamento através da "Flow table"  
 ASTM C 939 - Ensaio de Consistência  
 ASTM C 928 - Mistura da calda

1210 20132  
 B A.12 - 701/301 + calda 9.1  
 10 p. 1010 >

Boletim nº:  
 Pedido nº:

Obra: \_\_\_\_\_ Requerente: \_\_\_\_\_  
 Tel.: \_\_\_\_\_ Fax: \_\_\_\_\_ E-mail: \_\_\_\_\_  
 Empresa: \_\_\_\_\_ Morada: \_\_\_\_\_  
 Estudo: \_\_\_\_\_ Arcias utilizadas: \_\_\_\_\_ Data da solicitação: \_\_\_\_\_

Hora: \_\_\_\_\_ Data: 10/12/2012

Ligante	Fornecedor: CIMPOR - Alhandra	Adjuvantes		Dosagem (peso)	Massa volúmica	Dosagem (vol.)
Tipo e Classe	Cinza da Maceira	Amostra nº 5536/10	Gle. Sky 617	1,4	1050	1470,0
CEM I 42,5 R	Amostra nº 2672 / 07	Amostra nº 5533/10	Pozzolith 540		1200	1,00%
Cinza volante	Amostra nº 5514 / 10	Amostra nº 7698/12	Rheomatriz 175		1000	0,38%

Caracterização dos inertes:

	Arcia fina	Arcia grossa		
Amostra nº				
Humidade				
Absorção	0,40%	0,50%		

Dosagem teórica ( kg/m3 ) :

Adjuvante ( ml )	Cimento (kg)	Arcia fina ( kg )	Arcia grossa		
11319	270	667	278		
	Cinzas (kg)				
2926	500				

	Água (l)
Humidade	
Água absorção	4,06
Água total	334
Água livre	330

a / c = 0,447

334,1 l/m3

Amassadura experimental Volume: 30 (l)

Dosagem corrigida

Adjuvante (ml)	Cimento (kg)	Arcia fina (kg)	Arcia grossa		
340	8,10	20,01	8,34		
	Cinzas (kg)	Correcções (g)	Correcções (g)	Correcções (g)	Correcções (g)
88	15,00	-80,04	-41,7		
	Total (kg)	19,92996	8,2983		

	Água (l)
Humidade	
Água absorção	0,12
Água total	10,02
Água livre	9,90

Temperatura ambiente (°C): \_\_\_\_\_

10,022 l/m3

315  
 (300; 307) -> 303,5

Consistência (s)

"Flow table" ( mm )

0	15 min.	30 min.	45 min.	60 min.
2 horas	3 horas	4 horas	5 horas	6 horas
***	***	***	***	***

Massa volúmica teórica: 2059 kg/m3  
 Massa volúmica efectiva: \_\_\_\_\_ kg/m3

Teor de ar: \_\_\_\_\_ %

Reprodução parcial condicionada à autorização expressa do Laboratório. Os resultados dos ensaios só são válidos para os itens ensaiados. Todas as indicações relativas à identificação e caracterização das amostras, salvo indicação em contrário, constituem transcrições do pedido de ensaio feito pelo requerente, ou são informações enviadas ao Laboratório por outra via documental, sendo portanto da inteira responsabilidade do Requerente. Salvo indicação em contrário, a responsabilidade pela coleta, conservação e transporte das amostras também é do requerente.

**Amassadura e ensaios de argamassas**

NP EN 196 -1 de 2005 - Amassadura e ensaios de compressão e de flexão de argamassa  
 BS 1881 - Part 105 de 1984 - Ensaio de espalhamento através da "Flow table"  
 ASTM C 939 - Ensaio de Consistência  
 ASTM C 928 - Mistura da calda

B.1.2.1 - Calda 10 + Brita 20/32 (100%)

10 Projets

Bolçtim nº:

Pedido nº:

Obra:

Requerente:

Tel.:

Fax:

E-mail:

Empresa:

Morada:

Estudo:

Áreas utilizadas :

Data da solicitação:

Hora:

Data: 11-12-2012

Ligante	Fornecedor: CIMPOR - Alhandra	Adjuvantes		Dosagem (peso)	Massa volúmica	Dosagem (vol.)
Tipo e Classe	Cinza da Maccira	Amostra nº 5536/10	Gle. Sky 617	1,4	1050	1470,0
CEM I 42,5 R	Amostra nº 2672 / 07	Amostra nº 5533/10	Pozzolith 540		1200	1,00%
Cinza volante	Amostra nº 5514 / 10	Amostra nº 7698/12	Rheomatriz 175		1000	0,38%

Caracterização dos inertes:

	Árcia fina	Árcia grossa		
Amostra nº				
Humidade				
Absorção	0,40%	0,50%		

Dosagem teórica ( kg/m3 ) :

Adjuvante ( ml )	Cimento (kg)	Árcia fina ( kg )	Árcia grossa		
11319	385	667	278		
	Cinzas (kg)				
2926	385				

	Água (l)
Humidade	
Água absorção	4,06
Água total	334
Água livre	330

a / c = 0,447

334,1 l/m3

Amassadura experimental Volume: 30 (1)

Dosagem corrigida

Adjuvante (ml)	Cimento (kg)	Árcia fina (kg)	Árcia grossa		
340	11,55	20,01	8,34		
	Cinzas (kg)	Correcções (g)	Correcções (g)	Correcções (g)	Correcções (g)
88	11,55	-80,04	-41,7		
	Total (kg)	19,92996	8,2983		

	Água (l)
Humidade	
Água absorção	0,12
Água total	10,02
Água livre	9,90

Temperatura ambiente (°C):

25 seg.

$$\frac{295 + 300}{2} = 297,5$$

Consistência (s)

0	15 min.	30 min.	45 min.	60 min.
2 horas	3 horas	4 horas	5 horas	6 horas
***	***	***	***	***

"Flow table" ( mm )

Massa volúmica teórica: 2059 kg/m3

Teor de ar: %

Massa volúmica efectiva: kg/m3

Reprodução parcial condicionada à autorização expressa do Laboratório. Os resultados dos ensaios só são válidos para os itens ensaiados. Todas as indicações relativas à identificação e caracterização das amostras, salvo indicação em contrário, constituem transcrições do pedido de ensaio feito pelo requerente, ou são informações enviadas ao Laboratório por outra via documental, sendo portanto da inteira responsabilidade do Requerente. Salvo indicação em contrário, a responsabilidade pela calibração, conservação e transporte das amostras também é do requerente.

### Amassadura e ensaios de argamassas

NP EN 196 -1 de 2005 - Amassadura e ensaios de compressão e de flexão de argamassa  
 BS 1881 - Part 105 de 1984 - Ensaio de espalhamento através da "Flow table"  
 ASTM C 939 - Ensaio de Consistência  
 ASTM C 928 - Mistura da calda

B.1.2.2 - Calda 10 + Brita 20/32 (70%) e Brita 12/20 (30%)

Boletim nº:

Pedido nº:

Obra: \_\_\_\_\_ Requerente: \_\_\_\_\_

Tel.: \_\_\_\_\_ Fax: \_\_\_\_\_ E-mail: \_\_\_\_\_

Empresa: \_\_\_\_\_ Morada: \_\_\_\_\_

Estudo: \_\_\_\_\_ Areias utilizadas: \_\_\_\_\_ Data da solicitação: \_\_\_\_\_

Hora: \_\_\_\_\_ Data: 12-12-2012

Ligante	Fornecedor: CIMFOR - Alhandra	Adjuvantes		Dosagem (peso)	Massa volumica	Dosagem (vol.)
Tipo e Classe	Cinza da Maceira	Amostra nº 5536/10	Gle. Sky 617	1,4	1050	1470,0
CEM I 42,5 R	Amostra nº 2672 / 07	Amostra nº 5533/10	Pozzolith 540		1200	1,00%
Cinza volante	Amostra nº 5514 / 10	Amostra nº 7698/12	Rheomatriz 175		1000	0,38%

Caracterização dos inertes:

	Areia fina	Areia grossa		
Amostra nº				
Humidade				
Absorção	0,40%	0,50%		

Dosagem teórica ( kg/m3 ) :

Adjuvante ( ml )	Cimento (kg)	Areia fina ( kg )	Areia grossa		
11319	385	667	278		
	Cinzas (kg)				
2926	385				

	Agua (l)
Humidade	
Agua absorção	4,06
Agua total	334
Agua livre	330

a / c = 0,447

334,1 l m3

Amassadura experimental Volume: 30 (l)

Dosagem corrigida

Adjuvante (ml)	Cimento (kg)	Areia fina (kg)	Areia grossa		
340	11,55	20,01	8,34		
	Cinzas (kg)	Correcções (g)	Correcções (g)	Correcções (g)	Correcções (g)
88	11,55	-80,04	-41,7		
	Total (kg)	19,92996	8,2983		

	Agua (l)
Humidade	
Agua absorção	0,12
Agua total	10,02
Agua livre	9,90

Temperatura ambiente (°C): \_\_\_\_\_

*Handwritten notes:*  
 28,5 @ 28,7 = 28,5

10,022 1 m3

Consistência (s)

"Flow table" ( mm )

	0	15 min.	30 min.	45 min.	60 min.
	2 horas	3 horas	4 horas	5 horas	6 horas

Massa volumica teorica: 2059 kg/m3 Teor de ar: \_\_\_\_\_ %  
 Massa volumica efectiva: \_\_\_\_\_ kg/m3

Repetir o processo de amassadura e ensaio expresso no Laboratório de ensaios de materiais para os itens em estudo. Todas as indicações relativas a identificação e caracterização das amostras, sobre a medição em campo, com o intuito de garantir a qualidade do produto, devem ser transmitidas ao Laboratório por escrito via documental, sendo portadora da inteira responsabilidade do Requerente. Salvo indicação em contrário, a responsabilidade pela coleta, conservação e transporte das amostras, também é do requerente.

Amassadura e ensaios de argamassas

NP EN 196 -1 de 2005 - Amassadura e ensaios de compressão e de flexão de argamassa

BS 1881 - Part 105 de 1984 - Ensaio de espalhamento através da "Flow table"

ASTM C 939 - Ensaio de Consistência

ASTM C 928 - Mistura da calda

B 1.3.1 - calda C 1.3 +100% Agregado 20/32

Boletim nº:

Pedido nº:

Obra: Requerente:

Tel.: Fax: E-mail:

Empresa: Morada:

Estudo: Areias utilizadas: Data da solicitação:

Hora: Data: 13/12/2012

Ligante	Fornecedor: CIMPOR - Alhandra	Adjuvantes		Dosagem (peso)	Massa volumica	Dosagem (vol.)
Tipo e Classe	Cinza da Maceira	Amostra nº 5536/10	Gle. Sky 617	1,4	1050	1470,0
CEM I 42,5 R	Amostra nº 2672 / 07	Amostra nº 5533/10	Pozzolith 540		1200	1,00%
Cinza volante	Amostra nº 5514 / 10	Amostra nº 7698/12	Rheomatriz 175		1000	0,38%

Caracterização dos inertes:

	Areia fina	Areia grossa		
Amostra nº				
Humidade				
Absorção	0,40%	0,50%		

Dosagem teórica ( kg/m3 ) :

Adjuvante ( ml )	Cimento (kg)	Areia fina ( kg )	Areia grossa		
11319	500	697	308		
	Cinzas (kg)				
2926	270				

	Água (l)
Humidade	
Água absorção	4,33
Água total	334
Água livre	330

a/c = 0,447

inicial  
T<sub>ambiente</sub> = 19,2 °C

T<sub>calda</sub> = 18,3 °C

Final  
T<sub>ambiente</sub> = 17,4 °C

18,3

Amassadura experimental Volume: 30 (l)

Dosagem corrigida

Adjuvante (ml)	Cimento (kg)	Areia fina (kg)	Areia grossa		
340	15,00	20,91	9,24		
	Cinzas (kg)	Correcções (g)	Correcções (g)	Correcções (g)	Correcções (g)
88	8,10	-83,64	-46,2		
	Total (kg)	20,82636	9,1938		

	Água (l)
Humidade	
Água absorção	0,13
Água total	10,03
Água livre	9,90

Temperatura ambiente (°C): 18,3

F = 3,2

Consist. = 22 seg

Espalh = (330; 345) = 337,5

Consistência (s)

"Flow table" ( mm )

	0	15 min.	30 min.	45 min.	60 min.
	2 horas	3 horas	4 horas	5 horas	6 horas
	***	***	***	***	***

Massa volumica teorica: 2119 kg/m3

Massa volumica efectiva: kg/m3

Teor de ar: %

Reprodução parcial ou total da autorização expressa do Laboratório. Os resultados dos ensaios só são válidos para os itens ensaiados e caracterização das amostras, salvo indicação em contrário. Condições transcritas do pedido de ensaio feito pelo requerente, ou suas informações enviadas ao Laboratório por outra via documental, sendo portanto de inteira responsabilidade do Requerente. Salvo indicação em contrário, a responsabilidade pela coleta, conservação e transporte das amostras também é do requerente.

**Amassadura e ensaios de argamassas**

NP EN 196 -1 de 2005 - Amassadura e ensaios de compressão e de flexão de argamassa  
BS 1881 - Part 105 de 1984 - Ensaio de espalhamento através da "Flow table"  
ASTM C 939 - Ensaio de Consistência  
ASTM C 928 - Mistura da calda

B.1.3.2 - Calda 70% cimento 30% cinzas + 70% Agr. 20/32 e 30% Agr. 12/20

Bolcetim nº:

Pedido nº:

Obra:

Requerente:

Tel.:

Fax:

E-mail:

Empresa:

Morada:

Estudo:

Areias utilizadas :

Data da solicitação:

Hora:

Data: 14/12/2012

Ligante	Fornecedor: CIMPOR - Alhandra	Adjuvantes		Dosagem (peso)	Massa volúmica	Dosagem (vol.)
Tipo e Classe	Cinza da Maceira	Amostra nº 5536/10	Gle. Sky 617	1,4	1050	1470,0
CEM I 42,5 R	Amostra nº 2672 / 07	Amostra nº 5533/10	Pozzolith 540		1200	1,00%
Cinza volante	Amostra nº 5514 / 10	Amostra nº 7698/12	Rheomatriz 175		1000	0,38%

Caracterização dos inertes:

	Areia fina	Areia grossa		
Amostra nº				
Humidade				
Absorção	0,40%	0,50%		

Dosagem teórica ( kg/m3 ) :

Adjuvante ( ml )	Cimento (kg)	Areia fina ( kg )	Areia grossa		
11319	500	697	308		
	Cinzas (kg)				
2926	270				

	Água (l)
Humidade	
Água absorção	4,33
Água total	334
Água livre	330

a / c = 0,447

334,3 l/m3

Amassadura experimental Volume: 30 (1)

Dosagem corrigida

Adjuvante (ml)	Cimento (kg)	Areia fina (kg)	Areia grossa		
340	15,00	20,91	9,24		
	Cinzas (kg)	Correcções (g)	Correcções (g)	Correcções (g)	Correcções (g)
88	8,10	-83,64	-46,2		
	Total (kg)	20,82636	9,1938		

	Água (l)
Humidade	
Água absorção	0,13
Água total	10,03
Água livre	9,90

Temperatura ambiente (°C):

*T<sub>AMB</sub> inicio = 18,4°C*

*T<sub>calda</sub> = 19,1°C  
T<sub>AMB</sub> final = 19,0*

*Cons. = 245*

*l/m3 E<sub>sp</sub> = (350; 345) = 347,5*

Consistência (s)

"Flow table" ( mm )

0	15 min.	30 min.	45 min.	60 min.
2 horas	3 horas	4 horas	5 horas	6 horas
***	***	***	***	***

Massa volúmica teórica: 2119 kg/m3

Massa volúmica efectiva: kg/m3

Teor de ar: %

Reprodução parcial condicionada à autorização expressa do Laboratório. Os resultados dos ensaios só são válidos para os itens ensaiados. Todas as indicações relativas à identificação e caracterização das amostras, salvo indicação em contrário, constituem transcrições do pedido de ensaio feito pelo requerente, ou são informações enviadas ao Laboratório por outra via documental, sendo portanto da inteira responsabilidade do requerente. Salvo indicação em contrário, a responsabilidade pela coleta, conservação e transporte das amostras também é do requerente.

## DETERMINAÇÃO DA DENSIDADE, ABSORÇÃO DE ÁGUA E VOLUME DE VAZIOS NO BETÃO ENDURECIDO

Documento normativo: ASTM C 642:2006

Boletim nº: 27/13

Pedido nº: 8632

Obra: IDI - Investigação

Tel: 219 948 000

Empresa: Teixeira Duarte - EC

Requerente: IR

E-mail: [ir@teixeiraduarte.pt](mailto:ir@teixeiraduarte.pt)

Morada: POTD - Montijo

### INFORMAÇÕES:

Designação do betão: B.1.1.1 Data do início do ensaio: 15-02-2013

Forma e dimensão de provete: Cilindro 150 x 300 mm Data do fim do ensaio: 06-03-2013

Idade do betão: 28 dias

Provete moldado:

Provete obtido por corte:

### RESULTADOS DOS ENSAIOS

		Referência do provete	
		B.1.1.1.10-A	B.1.1.1.10-B
Absorção após imersão	(%)	5,7	5,0
Absorção após imersão e ebulição	(%)	6,0	5,3
Densidade seca	Mg/m <sup>3</sup>	2,27	2,31
Densidade após imersão	Mg/m <sup>3</sup>	2,40	2,42
Densidade após imersão e ebulição	Mg/m <sup>3</sup>	2,40	2,43
Densidade aparente	Mg/m <sup>3</sup>	2,63	2,63
Volume de vazios	(%)	13,6	12,2

Observações: Este ensaio não está incluído no âmbito da acreditação.

Os resultados dos ensaios referem-se exclusivamente aos itens ensaiados.

Calda 9,1 (30/70-cim+cin) + 100% agregado grosso 20/32. Ensaio 13

Ensaiou:

Bruno Silva

Bruno Silva

Data: 13-05-2013

O Responsável:

Ana Chaves

Ana Chaves (Eng. Civil)

Data: 2013.05.13

Reprodução parcial condicionada à autorização expressa do Laboratório. Os resultados dos ensaios só são válidos para os itens ensaiados. Todas as indicações relativas à identificação e caracterização das amostras, salvo indicação em contrário, constituem transcrições do pedido de ensaio feito pelo requerente, ou são informações enviadas ao Laboratório por outra via documental, sendo portanto da inteira responsabilidade do Requerente. Salvo indicação em contrário, a responsabilidade pela colheita, conservação e transporte das amostras também é do requerente.

## DETERMINAÇÃO DA DENSIDADE, ABSORÇÃO DE ÁGUA E VOLUME DE VAZIOS NO BETÃO ENDURECIDO

Documento normativo: ASTM C 642:2006

Boletim nº: 14 / 13

Pedido nº: 8633

Obra: IDI - Investigação

Requerente: IR

Tel: 219 948 000

E-mail: ir@teixeiraduarte.pt

Empresa: Teixeira Duarte - EC

Morada: POTD - Montijo

### INFORMAÇÕES:

Designação do betão:	B.1.1.2	Data do início do ensaio:	04-01-2013
Forma e dimensão de provete:	Cilindro 150 x 300 mm	Data do fim do ensaio:	29-01-2013
Idade do betão:	28 dias		
Provete moldado:	<input checked="" type="checkbox"/>		
Provete obtido por corte:	<input checked="" type="checkbox"/>		

### RESULTADOS DOS ENSAIOS

		Referência do provete	
		B.1.1.2-A	B.1.1.2-B
Absorção após imersão	(%)	6,2	5,6
Absorção após imersão e ebulição	(%)	6,3	5,6
Densidade seca	Mg/m <sup>3</sup>	2,24	2,25
Densidade após imersão	Mg/m <sup>3</sup>	2,38	2,38
Densidade após imersão e ebulição	Mg/m <sup>3</sup>	2,38	2,38
Densidade aparente	Mg/m <sup>3</sup>	2,61	2,58
Volume de vazios	(%)	14,2	12,6

Observações: *Este ensaio não está incluído no âmbito da acreditação.*

*Os resultados dos ensaios referem-se exclusivamente aos itens ensaiados.*

*Calda 9,1 (30/70-cim+cin) + (70% agregado grosso 20/32 + 30% de agregado 12/20).*

Ensaiou:

*António Mendes*  
António Mendes

Data: 01.02.2013

*Décio Júnior*  
O Responsável:

*Décio Júnior*

Décio Júnior (Eng. Civil)

Data: 04.02.2013

Reprodução parcial condicionada à autorização expressa do Laboratório. Os resultados dos ensaios só são válidos para os itens ensaiados. Todas as indicações relativas à identificação e caracterização das amostras, salvo indicação em contrário, constituem transcrições do pedido de ensaio feito pelo requerente, ou são informações enviadas ao Laboratório por outra via documental, sendo portanto da inteira responsabilidade do Requerente. Salvo indicação em contrário, a responsabilidade pela coleta, conservação e transporte das amostras também é do requerente.

## DETERMINAÇÃO DA DENSIDADE, ABSORÇÃO DE ÁGUA E VOLUME DE VAZIOS NO BETÃO ENDURECIDO

Documento normativo: ASTM C 642:2006

Boletim nº: 15 / 13

Pedido nº: 8634

Obra: IDI - Investigação

Requerente: IR

Tel: 219 948 000

E-mail: [ir@teixeiraduarte.pt](mailto:ir@teixeiraduarte.pt)

Empresa: Teixeira Duarte - EC

Morada: POTD - Montijo

### INFORMAÇÕES:

Designação do betão:	<u>B.1.2.1</u>	Data do início do ensaio:	<u>04-01-2013</u>
Forma e dimensão de provete:	<u>Cilindro 150 x 300 mm</u>	Data do fim do ensaio:	<u>29-01-2013</u>
Idade do betão:	<u>28 dias</u>		
Provete moldado:	<input checked="" type="checkbox"/>		
Provete obtido por corte:	<input checked="" type="checkbox"/>		

### RESULTADOS DOS ENSAIOS

		Referência do provete	
		B.1.2.1 - A	B.1.2.1 - B
Absorção após imersão	(%)	6,4	5,8
Absorção após imersão e ebulição	(%)	6,8	6,1
Densidade seca	Mg/m <sup>3</sup>	2,23	2,26
Densidade após imersão	Mg/m <sup>3</sup>	2,38	2,39
Densidade após imersão e ebulição	Mg/m <sup>3</sup>	2,39	2,40
Densidade aparente	Mg/m <sup>3</sup>	2,64	2,62
Volume de vazios	(%)	15,2	13,9

Observações: Este ensaio não está incluído no âmbito da acreditação.

Os resultados dos ensaios referem-se exclusivamente aos itens ensaiados.

Calda 10 (50/50-cim+cin) + 100% agregado grosso 20/32.

Ensaiou:

António Mendes

Data: 01.02.2013

7<sup>o</sup> O Responsável:

Decio Junior

Decio Júnior (Eng. Civil)

Data: 04.02.2013

Reprodução parcial condicionada à autorização expressa do Laboratório. Os resultados dos ensaios só são válidos para os itens ensaiados. Todas as indicações relativas à identificação e caracterização das amostras, salvo indicação em contrário, constituem transcrições do pedido de ensaio feito pelo requerente, ou são informações enviadas ao Laboratório por outra via documental, sendo portanto da inteira responsabilidade do Requerente. Salvo indicação em contrário, a responsabilidade pela colheita, conservação e transporte das amostras também é do requerente.

## DETERMINAÇÃO DA DENSIDADE, ABSORÇÃO DE ÁGUA E VOLUME DE VAZIOS NO BETÃO ENDURECIDO

Documento normativo: ASTM C 642:2006

Boletim nº: 16 / 13

Pedido nº: 8635

Obra: IDI - Investigação

Requerente: IR

Tel: 219 948 000

E-mail: ir@teixeiraduarte.pt

Empresa: Teixeira Duarte - EC

Morada: POTD - Montijo

### INFORMAÇÕES:

Designação do betão:	B.1.2.2	Data do início do ensaio:	04-01-2013
Forma e dimensão de provete:	Cilindro 150 x 300 mm	Data do fim do ensaio:	29-01-2013
Idade do betão:	28 dias		
Provete moldado:	<input checked="" type="checkbox"/>		
Provete obtido por corte:	<input checked="" type="checkbox"/>		

### RESULTADOS DOS ENSAIOS

		Referência do provete	
		B.1.2.2 - A	B.1.2.2 - B
Absorção após imersão	(%)	6,0	5,2
Absorção após imersão e ebulição	(%)	6,3	5,5
Densidade seca	Mg/m <sup>3</sup>	2,26	2,30
Densidade após imersão	Mg/m <sup>3</sup>	2,39	2,42
Densidade após imersão e ebulição	Mg/m <sup>3</sup>	2,40	2,43
Densidade aparente	Mg/m <sup>3</sup>	2,64	2,63
Volume de vazios	(%)	14,4	12,8

Observações: *Este ensaio não está incluído no âmbito da acreditação.*

*Os resultados dos ensaios referem-se exclusivamente aos itens ensaiados.*

*Calda 10 (50/50-cim+cin) + (70% agregado grosso 20/32 + 30% de agregado 12/20).*

Ensaiou:

*António Mendes*

António Mendes

Data: 01.02.2013

O Responsável:

*Décio Júnior*

Décio Júnior (Eng. Civil)

Data: 2013.02.04

Reprodução parcial condicionada à autorização expressa do Laboratório. Os resultados dos ensaios só são válidos para os itens ensaiados. Todas as indicações relativas à identificação e caracterização das amostras, salvo indicação em contrário, constituem transcrições do pedido de ensaio feito pelo requerente, ou são informações enviadas ao Laboratório por outra via documental, sendo portanto da inteira responsabilidade do Requerente. Salvo indicação em contrário, a responsabilidade pela coleta, conservação e transporte das amostras também é do requerente.

## DETERMINAÇÃO DA DENSIDADE, ABSORÇÃO DE ÁGUA E VOLUME DE VAZIOS NO BETÃO ENDURECIDO

Documento normativo: ASTM C 642:2006

Boletim nº: 36/13

Pedido nº: 8799

Obra: IDI - Investigação

Tel: 219 948 000

Empresa: Teixeira Duarte - EC

Requerente: IR

E-mail: [ir@teixeiraduarte.pt](mailto:ir@teixeiraduarte.pt)

Morada: POTD - Montijo

### INFORMAÇÕES:

Designação do betão: B.1.3.3 Data do início do ensaio: 09-05-2013  
Forma e dimensão de provete: Cilindro 150 x 300 mm Data do fim do ensaio: 17-05-2013  
Idade do betão: 28 dias  
Provete moldado:   
Provete obtido por corte:

### RESULTADOS DOS ENSAIOS

		Referência do provete	
		B.1.3.3-10 A	B.1.3.3-10 B
Absorção após imersão	(%)	5,1	5,8
Absorção após imersão e ebulição	(%)	5,1	5,8
Densidade seca	Mg/m <sup>3</sup>	2,31	2,28
Densidade após imersão	Mg/m <sup>3</sup>	2,43	2,42
Densidade após imersão e ebulição	Mg/m <sup>3</sup>	2,43	2,42
Densidade aparente	Mg/m <sup>3</sup>	2,62	2,64
Volume de vazios	(%)	11,7	13,3

Observações: Este ensaio não está incluído no âmbito da acreditação.

Os resultados dos ensaios referem-se exclusivamente aos itens ensaiados.

Calda 11 (70/30-CEM+CZ) + 100% agregado 20/32.

A- Parte superior do provete; B- Parte inferior do provete.

Ensaiou:

Bruno Silva  
Bruno Silva (Auxiliar)

Data: 17-05-2013

O Responsável:

Ana Chaves  
Ana Chaves (Eng. Civil)

Data: 2013.05.17

Reprodução parcial condicionada à autorização expressa do Laboratório. Os resultados dos ensaios só são válidos para os itens ensaiados. Todas as indicações relativas à identificação e caracterização das amostras, salvo indicação em contrário, constituem transcrições do pedido de ensaio feito pelo requerente, ou são informações enviadas ao Laboratório por outra via documental, sendo portanto da inteira responsabilidade do Requerente. Salvo indicação em contrário, a responsabilidade pela colheita, conservação e transporte das amostras também é do requerente.

## DETERMINAÇÃO DA DENSIDADE, ABSORÇÃO DE ÁGUA E VOLUME DE VAZIOS NO BETÃO ENDURECIDO

Documento normativo: ASTM C 642:2006

Boletim nº: 37/13

Pedido nº: 8800

Obra: IDI - Investigação

Requerente: IR

Tel: 219 948 000

E-mail: [ir@teixeiraduarte.pt](mailto:ir@teixeiraduarte.pt)

Empresa: Teixeira Duarte - EC

Morada: POTD- Montijo

### INFORMAÇÕES:

Designação do betão: B.1.3.4 Data do início do ensaio: 09-05-2013  
Forma e dimensão de provete: Cilindro 150 x 300 mm Data do fim do ensaio: 17-05-2013  
Idade do betão: 28 dias  
Provete moldado:   
Provete obtido por corte:

### RESULTADOS DOS ENSAIOS

		Referência do provete	
		B.1.3.4 - 10 A	B.1.3.4 - 10 B
Absorção após imersão	(%)	6,2	5,1
Absorção após imersão e ebulição	(%)	6,2	5,1
Densidade seca	Mg/m <sup>3</sup>	2,26	2,31
Densidade após imersão	Mg/m <sup>3</sup>	2,40	2,43
Densidade após imersão e ebulição	Mg/m <sup>3</sup>	2,40	2,43
Densidade aparente	Mg/m <sup>3</sup>	2,63	2,62
Volume de vazios	(%)	14,1	11,9

Observações: Este ensaio não está incluído no âmbito da acreditação.

Os resultados dos ensaios referem-se exclusivamente aos itens ensaiados.

Calda 11 (70/30-CEM+CZ) + 70% agregado 20/32 e 30% de agregado 6/12.

A- Parte superior do provete; B- Parte inferior do provete.

Ensaiou:

Bruno Silva

Bruno Silva (Auxiliar)

Data: 17-05-2013

Responsável:

Ana Chaves

Ana Chaves (Eng. Civil)

Data: 2013.05.17

Reprodução parcial condicionada à autorização expressa do Laboratório. Os resultados dos ensaios só são válidos para os itens ensaiados. Todas as indicações relativas à identificação e caracterização das amostras, salvo indicação em contrário, constituem transcrições do pedido de ensaio feito pelo requerente, ou são informações enviadas ao Laboratório por outra via documental, sendo portanto da inteira responsabilidade do Requerente. Salvo indicação em contrário, a responsabilidade pela colheita, conservação e transporte das amostras também é do requerente.

# **ANEXO IV**

SOLUÇÃO TRADICIONAL

CUSTOS UNITÁRIOS E RENDIMENTOS

<b>ESTALEIRO FIXO (MONTAGEM, MANUTENÇÃO E DESMONTAGEM)</b>					
<b>CUSTOS UNITÁRIOS</b>		<b>Observações</b>	<b>Quantidade</b>	<b>Custo Unitário</b>	<b>Unidade</b>
<b>Equipamentos</b>					
- Giratória (Komatsu PC 240 NLC-8)	Incluindo manobrador e combustível	1	40,00 €	h	
- Grua automóvel de 33 toneladas (Grove GMK 2035)	Incluindo manobrador e combustível	1	55,00 €	h	
- Pá carregadora (JCB 1CX)	Incluindo manobrador e combustível	1	55,00 €	h	
<b>Mão de Obra</b>					
- Oficial de Construção Civil (diurno)	Laboração em período diurno	3	10,30 €	h	
<b>Materiais</b>					
- Vigas de madeira	Dimensões 3,0x0,22x0,08 m	126	200,00 €	m3	
- Perfis metálicos HEB 180	Com 3,5 m de comprimento	10	2,00 €	kg	
<b>RENDIMENTOS</b>		<b>Rendimento</b>	<b>Unidade</b>		
- Montagem de baias separadoras para inertes		4	d		
- Montagem de silos de 80 ton para armazenamento de cimento e cinzas		2	d		
- Desmontagem de baias separadoras para inertes		2	d		
- Desmontagem de silos de 80 ton para armazenamento de cimento e cinzas		2	d		
<b>TEMPO EFETIVO DE TRABALHO</b>			8	h	
<b>TEMPO TOTAL</b>			10	d	

<b>PIQUETAGEM DE MACIÇOS</b>					
<b>CUSTOS UNITÁRIOS</b>		<b>Observações</b>	<b>Quantidade</b>	<b>Custo Unitário</b>	<b>Unidade</b>
<b>Mão de Obra</b>					
- 1 Chefe de equipa + 2 Auxiliar (noturno)	Laboração em período noturno	1	42,50 €	h	
<b>RENDIMENTOS</b>		<b>Rendimento</b>	<b>Unidade</b>		
<b>TEMPO DE EXECUÇÃO (MACIÇO)</b>			6	min	
<b>TEMPO EFETIVO DE TRABALHO</b>			4	h	
<b>RENDIMENTO HORÁRIO</b>			10	un/h	
<b>RENDIMENTO DIÁRIO</b>			40	un/dia	
<b>TEMPO TOTAL (1425 maciços)</b>			36	dias	

<b>ESCAVAÇÃO E POSICIONAMENTO DE CAROTE</b>					
<b>CUSTOS UNITÁRIOS</b>		<b>Observações</b>	<b>Quantidade</b>	<b>Custo Unitário</b>	<b>Unidade</b>
<b>Equipamentos</b>					
- Mini-Giratória de rastros	Incluindo manobrador e combustível	1	30,00 €	h	
<b>Mão de Obra</b>					
- Oficial de Construção Civil (diurno)	Laboração em período diurno	3	10,30 €	h	
<b>Materiais</b>					
- Carote Esferovite	Dimensões 1,3x0,5x0,5 m	1.425	25,00 €	m3	
<b>RENDIMENTOS</b>		<b>Rendimento</b>	<b>Unidade</b>		
<b>TEMPO DE EXECUÇÃO (MACIÇO)</b>			120	min	
<b>TEMPO EFETIVO DE TRABALHO</b>			8	h	
<b>RENDIMENTO HORÁRIO</b>			0,5	un/h	
<b>RENDIMENTO DIÁRIO</b>			4	un/dia	
<b>TEMPO TOTAL (1425 maciços)</b>			357	dias	

<b>EXECUÇÃO DE MACIÇOS DE CATENÁRIA</b>					
<b>CUSTOS UNITÁRIOS</b>		<b>Observações</b>	<b>Quantidade</b>	<b>Custo Unitário</b>	<b>Unidade</b>
<b>Equipamentos - Estaleiro Móvel</b>					
- Central de Betão	Com compressor e operador	1	173,50 €	d	
- Gerador de 100 Kva	Incluindo combustível	1	74,00 €	d	
- Vagões plataforma		2	28,00 €	d	
- Locomotiva 1400	Incluindo manobrador e combustível	1	937,50 €	d	
<b>Mão de Obra</b>					
- Oficial de Construção Civil	Laboração em período noturno	4	13,39 €	h	
<b>Materiais</b>					
- Betão	C16/20	1.968,30	31,06 €	m3	
<b>RENDIMENTOS</b>		<b>Rendimento</b>	<b>Unidade</b>		
<b>TEMPO DE EXECUÇÃO (MACIÇO)</b>			30	min	
<b>TEMPO EFETIVO DE TRABALHO</b>			4	h	
<b>RENDIMENTO HORÁRIO</b>			2	un/h	
<b>RENDIMENTO DIÁRIO</b>			8	un/dia	
<b>TEMPO TOTAL (1425 maciços)</b>			179	dias	

<b>COLOCAÇÃO E NIVELAMENTO DO POSTE</b>					
<b>CUSTOS UNITÁRIOS</b>		<b>Observações</b>	<b>Quantidade</b>	<b>Custo Unitário</b>	<b>Unidade</b>
<b>Equipamentos - Estaleiro Móvel</b>					
- Veículo de Tração com Grua e Vagão	Incluindo manobrador e combustível	1	442,50 €	d	
<b>Mão de Obra</b>					
- 1 Chefe de Equipa + 2 Oficial C.Civil + 2 Auxiliar (noturno)	Laboração em período noturno	2	72,50 €	h	
<b>Materiais</b>					
- Poste de Catenária		1.425,00	1.000,00 €	un	
- Cunhas de madeira (x6)	Conjunto de 6 cunhas de madeira	60,00	30,00 €	un	
<b>RENDIMENTOS</b>		<b>Rendimento</b>	<b>Unidade</b>		
<b>TEMPO DE EXECUÇÃO (MACIÇO)</b>			60	min	
<b>TEMPO EFETIVO DE TRABALHO</b>			4	h	
<b>RENDIMENTO HORÁRIO</b>			1	un/h	
<b>RENDIMENTO DIÁRIO</b>			4	un/dia	
<b>TEMPO TOTAL (1425 maciços)</b>			357	dias	

<b>SELAGEM DE POSTES DE CATENÁRIA</b>					
<b>CUSTOS UNITÁRIOS</b>		<b>Observações</b>	<b>Quantidade</b>	<b>Custo Unitário</b>	<b>Unidade</b>
<b>Equipamentos - Estaleiro Móvel</b>					
- Central de Betão		Com compressor e operador	1	173,50 €	d
- Gerador de 100 Kva		Incluindo combustível	1	74,00 €	d
- Vagões plataforma			2	28,00 €	d
- Locomotiva 1400		Incluindo manobrador e combustível	1	937,50 €	d
<b>Mão de Obra</b>					
- Oficial de Construção Civil		Laboração em período noturno	4	13,39 €	h
<b>Materiais</b>					
- Betão		C20/25	370,50	34,48 €	m3
<b>RENDIMENTOS</b>		<b>Rendimento</b>	<b>Unidade</b>		
	TEMPO DE EXECUÇÃO (MACIÇO)		6		min
	TEMPO EFETIVO DE TRABALHO		4		h
	RENDIMENTO HORÁRIO		10		un/h
	RENDIMENTO DIÁRIO		40		un/dia
	TEMPO TOTAL (1425 maciços)		36		dias

<b>EXECUÇÃO E PINTURA DE DADOS</b>					
<b>CUSTOS UNITÁRIOS</b>		<b>Observações</b>	<b>Quantidade</b>	<b>Custo Unitário</b>	<b>Unidade</b>
<b>Equipamentos - Estaleiro Móvel</b>					
- Betoneira		Torgar H-250 (capacidade útil 250 L)	1	0,20 €	h
<b>Mão de Obra</b>					
- Oficial de Construção Civil		Laboração em período noturno	2	10,30 €	h
<b>Materiais</b>					
- Betão C20/25			91,20	34,48 €	m3
- Cofragem			6,84	200,00 €	m3
- Isokote			1.425,00	1,20 €	L
<b>RENDIMENTOS</b>		<b>Rendimento</b>	<b>Unidade</b>		
	TEMPO DE EXECUÇÃO (MACIÇO)		30		min
	TEMPO EFETIVO DE TRABALHO		4		h
	RENDIMENTO HORÁRIO		2		un/h
	RENDIMENTO DIÁRIO		8		un/dia
	TEMPO TOTAL (1425 maciços)		179		dias

# ANEXO V

ANÁLISE ORÇAMENTAL

SOLUÇÃO TRADICIONAL

Artigo	Designação	Quantidade	Rendimento	Unidade	Dias Úteis	Horas	Comp	Altura	Largura	Massa	Unidade	Preço Unitário	Sub-Total	Total / m3	Total / Maciço
	<b>Fundações para Postes de Catenária com Betão PPA</b>														
	Solução Alternativa - Maciços Cilíndricos (2.430 m3 / 1.425 maciços / 4h trabalho efetivo)	2.430,00		m3											
	Volume Betão por Unidade	1,71		m3/un	229,00										
	Volume Maciço	1,38		m3/un											
	Volume Carote	0,26		m3/un											
	Volume Dado	0,06		m3/un											
	<b>1. Estaleiro</b>												392.378,22 €		
	<b>1.1. Estaleiro fixo</b>												115.563,22 €		
	1.1.1. Montagem												9.357,53 €		
	1.1.1.1. Montagem de baias separadoras para inertes												7.183,13 €	2,96 €	5,04 €
	a. Giratória, incluindo manobrador e combustível	1,00			4,00	8,00					h	40,00 €	1.280,00 €		
	b. Oficial de c. civil	3,00			4,00	8,00					h	10,30 €	988,57 €		
	c. Vigas de madeira	126,00					3,00	0,22	0,08		m3	200,00 €	1.330,56 €		
	d. Perfis metálicos HEB 180	10,00					3,50			51,20	kg	2,00 €	3.584,00 €		
	1.1.1.2. Montagem de silos de 80 ton para armazenamento de cimento e cinzas (2 un)												2.174,40 €	0,89 €	1,53 €
	a. Mobilização (fretes)	2,00									un	400,00 €	800,00 €		
	b. Grua automóvel de 33 ton, incluindo manobrador e combustível	1,00			2,00	8,00					h	55,00 €	880,00 €		
	c. Oficial de c. civil	3,00			2,00	8,00					h	10,30 €	494,40 €		
	1.1.2. Desmontagem												3.308,69 €		
	1.1.2.1. Desmontagem de baias separadoras para inertes												1.134,40 €	0,47 €	0,80 €
	a. Giratória, incluindo manobrador e combustível	1,00			2,00	8,00					h	40,00 €	640,00 €		
	b. Oficial de c. civil	3,00			2,00	8,00					h	10,30 €	494,40 €		
	1.1.2.2. Desmontagem de silos de 80 ton para armazenamento de cimento e cinzas (2 un)												2.174,29 €	0,89 €	1,53 €
	a. Desmobilização (fretes)	2,00									un	400,00 €	800,00 €		
	b. Grua automóvel de 33 ton, incluindo manobrador e combustível	1,00			2,00	8,00					h	55,00 €	880,00 €		
	c. Oficial de c. civil	3,00			2,00	8,00					h	10,30 €	494,29 €		
	1.1.3. Manutenção do estaleiro fixo												102.897,00 €	42,34 €	72,21 €
	a. Silos de 80 ton para armazenamento de cimento e cinzas	2,00			222,00						d	11,75 €	5.217,00 €		
	b. Pá carregadora, incluindo manobrador e combustível, na movimentação de inertes	1,00			222,00	8,00					h	55,00 €	97.680,00 €		
	<b>1.2. Estaleiro móvel</b>												276.815,00 €		
	1.2.1. Montagem												5.000,00 €	2,06 €	3,51 €
	a. Mobilização (central de betão + gerador + vagões + locomotiva)	1,00									un	5.000,00 €	5.000,00 €		
	1.2.2. Desmontagem												5.000,00 €	2,06 €	3,51 €
	a. Desmobilização (central de betão + gerador + vagões + locomotiva)	1,00									un	5.000,00 €	5.000,00 €		
	1.2.3. Manutenção												266.815,00 €	109,80 €	187,24 €
	a. Central de betão móvel com compressor incorporado, incluindo operador (noturno)	1,00			215,00						d	173,50 €	37.302,50 €		
	b. Gerador de 100 Kva, incluindo combustível (15 l/h)	1,00			215,00						d	74,00 €	15.910,00 €		
	c. Vagões plataforma	2,00			215,00						d	28,00 €	12.040,00 €		
	d. Locomotiva 1400, incluindo manobrador (noturno) e combustível (200 l/h)	1,00			215,00						d	937,50 €	201.562,50 €		
	<b>2. Piquetagem de Maciços</b>	1.425,00	10,00	un/h									12.240,00 €		
	2.1 Mão de obra												12.240,00 €	5,04 €	8,59 €
	a. 1 Chefe de equipa + 2 Auxiliar (diurno)	1,00			36,00	8,00					h	42,50 €	12.240,00 €		
	<b>3. Escavação e posicionamento do carote (diurno)</b>	1.425,00	0,50	un/h									185.995,73 €		
	3.1 Mini-giratória, incluindo manobrador e combustível	2,00			179,00	8,00					h	30,00 €	85.920,00 €	35,36 €	60,29 €
	3.2 Oficial de c. civil	6,00			179,00	8,00					h	10,30 €	88.497,60 €	36,42 €	62,10 €
	3.3 Carote (esferovite)	1.425,00					0,50	1,30	0,50		m3	25,00 €	11.578,13 €	4,76 €	8,13 €
	<b>4 Execução de maciços de catenária</b>	1.425,00	2,00	un/h									137.816,57 €		
	4.1. Oficial de c. civil (noturno)	4,00			179,00	8,00					h	13,39 €	76.680,19 €	31,56 €	53,81 €
	4.2. Betão C16/20	1.968,30									m3	31,06 €	61.136,38 €	25,16 €	42,90 €
	a. Cimento tipo II - 42,5R (185 kg/m3)	185,00									kg	0,0923 €	17,08 €		
	b. Cinzas (55 kg/m3)	55,00									kg	0,0314 €	1,73 €		
	c. Brita 1 - 6/14 (565 kg/m3)	565,00									kg	0,0059 €	3,33 €		
	d. Brita 2 - 14/20 (540 kg/m3)	540,00									kg	0,0059 €	3,19 €		
	e. Areia fina - 0/1 (450 kg/m3)	450,00									kg	0,0055 €	2,48 €		
	f. Areia grossa - 0/8 (390 kg/m3)	390,00									kg	0,0058 €	2,26 €		
	g. Água (161 l/m3)	161,00									l	0,0015 €	0,24 €		
	h. Adjuvante - Sikament 200 (2 kg/m3)	2,00									l	0,3800 €	0,76 €		
	<b>5 Colocação e nivelamento do poste</b>	1.425,00	1,00	un/h									1.802.855,00 €		
	5.1 Mão de obra												207.640,00 €	85,45 €	145,71 €
	a. 1 Chefe de Equipa + 2 Oficial C.Civil + 2 Auxiliar (noturno)	2,00			179,00	8,00					h	72,50 €	207.640,00 €		
	5.2 Materiais												1.426.800,00 €	587,16 €	1.001,26 €
	a. Poste de Catenária	1.425,00									un	1.000,00 €	1.425.000,00 €		
	b. Cunhas de madeira (x6)	60,00									un	30,00 €	1.800,00 €		
	5.3 Equipamentos												168.415,00 €	69,31 €	118,19 €
	a. Veículo de tração com grua e vagão, incluindo manobrador (noturno) e combustível	2,00			179,00	8,00					d	442,50 €	158.415,00 €		
	b. Mobilização equipamento	2,00									un	5.000,00 €	10.000,00 €		
	<b>6 Selagem de postes de catenária</b>	1.425,00	10,00	un/h									28.199,01 €		
	6.1. Oficial de c. civil (noturno)	4,00			36,00	8,00					h	13,39 €	15.425,28 €	6,35 €	10,82 €
	6.2. Betão C20/25	370,50									m3	34,48 €	12.773,73 €	5,26 €	8,96 €
	a. Cimento tipo II - 42,5R (220 kg/m3)	220,00									kg	0,0923 €	20,31 €		
	b. Cinzas (60 kg/m3)	60,00									kg	0,0314 €	1,88 €		
	c. Brita 1 - 6/14 (560 kg/m3)	560,00									kg	0,0059 €	3,30 €		
	d. Brita 2 - 14/20 (520 kg/m3)	520,00									kg	0,0059 €	3,07 €		
	e. Areia fina - 0/1 (450 kg/m3)	450,00									kg	0,0055 €	2,48 €		
	f. Areia grossa - 0/8 (400 kg/m3)	400,00									kg	0,0058 €	2,32 €		
	g. Água (164 l/m3)	164,00									l	0,0015 €	0,25 €		
	h. Adjuvante - Sikament 200 (2,3 kg/m3)	2,30									kg	0,3800 €	0,87 €		
	<b>7 Execução e pintura de dados em postes de catenária</b>												36.007,90 €		
	5.1. Oficial de c. civil	2,00			179,00	8,00					h	10,30 €	29.499,20 €	12,14 €	20,70 €
	5.2. Betão C20/25	91,20									m3	34,48 €	3.144,30 €	1,29 €	2,21 €
	5.3. Isokote (3 demãos)	1.425,00									l	1,20 €	1.710,00 €	0,70 €	1,20 €
	5.4. Betoneira	1,00			179,00	8,00					h	0,20 €	286,40 €	0,12 €	0,20 €
	5.5. Cofragem	6,84									m3	200,00 €	1.368,00 €	0,56 €	0,96 €
	<b>TOTAL</b>												2.595.492,43 €	1.068,10 €	1.821,40 €

# ANEXO VI

PLANEAMENTO

SOLUÇÃO TRADICIONAL



# **ANEXO VII**

SOLUÇÃO ALTERNATIVA

CUSTOS UNITÁRIOS E RENDIMENTOS

<b>ESTALEIRO FIXO (MONTAGEM, MANUTENÇÃO E DESMONTAGEM)</b>				
<b>CUSTOS UNITÁRIOS</b>	<b>Observações</b>	<b>Quantidade</b>	<b>Custo Unitário</b>	<b>Unidade</b>
<b>Equipamentos</b>				
- Giratória (Komatsu PC 240 NLC-8)	Incluindo manobrador e combustível	1	40,00 €	h
- Grua automóvel de 33 toneladas (Grove GMK 2035)	Incluindo manobrador e combustível	1	55,00 €	h
- Pá carregadora (JCB 1CX)	Incluindo manobrador e combustível	1	55,00 €	h
<b>Mão de Obra</b>				
- Oficial de Construção Civil (diurno)	Laboração em período diurno	3	10,30 €	h
<b>Materiais</b>				
- Vigas de madeira	Dimensões 3,0x0,22x0,08 m	126	200,00 €	m3
- Perfis metálicos HEB 180	Com 3,5 m de comprimento	10	2,00 €	kg
<b>RENDIMENTOS</b>				
- Montagem de baias separadoras para inertes	4	d		
- Montagem de silos de 80 ton para armazenamento de cimento e cinzas	2	d		
- Desmontagem de baias separadoras para inertes	2	d		
- Desmontagem de silos de 80 ton para armazenamento de cimento e cinzas	2	d		
<b>TEMPO EFETIVO DE TRABALHO</b>		<b>8</b>		<b>h</b>
<b>TEMPO TOTAL</b>		<b>10</b>		<b>d</b>

<b>PIQUETAGEM DE MACIÇOS</b>				
<b>CUSTOS UNITÁRIOS</b>	<b>Observações</b>	<b>Quantidade</b>	<b>Custo Unitário</b>	<b>Unidade</b>
<b>Mão de Obra</b>				
- 1 Chefe de equipa + 2 Auxiliar (noturno)	Laboração em período noturno	1	42,50 €	h
<b>RENDIMENTOS</b>				
<b>TEMPO DE EXECUÇÃO (MACIÇO)</b>		<b>6</b>		<b>min</b>
<b>TEMPO EFETIVO DE TRABALHO</b>		<b>4</b>		<b>h</b>
<b>RENDIMENTO HORÁRIO</b>		<b>10</b>		<b>un/h</b>
<b>RENDIMENTO DIÁRIO</b>		<b>40</b>		<b>un/dia</b>
<b>TEMPO TOTAL (1425 maciços)</b>		<b>36</b>		<b>dias</b>

<b>ESCAVAÇÃO E POSICIONAMENTO DE CAROTE</b>				
<b>CUSTOS UNITÁRIOS</b>	<b>Observações</b>	<b>Quantidade</b>	<b>Custo Unitário</b>	<b>Unidade</b>
<b>Equipamentos</b>				
- Rail-Route com trado acoplado	Incluindo manobrador e combustível	1	39,89 €	h
<b>Mão de Obra</b>				
- Oficial de Construção Civil (noturno)	Laboração em período noturno	3	13,39 €	h
<b>Materiais</b>				
- Carote Esferovite	Dimensões 1,3x0,5x0,5 m	1.425	25,00 €	m3
<b>RENDIMENTOS</b>				
- Posicionamento da Rail Route (Vel.Max = 30 km/h)	10	min		
- Escavação e limpeza (solo medianamente compacto)	5	min		
- Posicionamento do carote com tubagem de injeção	5	min		
<b>TEMPO DE EXECUÇÃO (MACIÇO)</b>		<b>20</b>		<b>min</b>
<b>TEMPO EFETIVO DE TRABALHO</b>		<b>4</b>		<b>h</b>
<b>RENDIMENTO HORÁRIO</b>		<b>3</b>		<b>un/h</b>
<b>RENDIMENTO DIÁRIO</b>		<b>12</b>		<b>un/dia</b>
<b>TEMPO TOTAL (1425 maciços)</b>		<b>119</b>		<b>dias</b>

<b>EXECUÇÃO DE MACIÇOS DE CATENÁRIA</b>				
<b>CUSTOS UNITÁRIOS</b>	<b>Observações</b>	<b>Quantidade</b>	<b>Custo Unitário</b>	<b>Unidade</b>
<b>Equipamentos - Estaleiro Móvel</b>				
- Central de Mistura e Injeção (Atlas Copco Unigrout E 22 H)	Incluindo operador (noturno)	1	147,50 €	d
- Gerador de 27 Kva (Atlas Copco QAS 30 Kd)	Incluindo combustível	1	55,00 €	d
- Vagões plataforma (Fiat Type MM2 model)	Central + Agregados Grossos	2	28,00 €	d
- Locomotiva 1200	Incluindo manobrador e combustível	1	831,10 €	d
- Depósito de Água	Capacidade de 3.000 L	1	0,50 €	d
<b>Mão de Obra</b>				
- Oficial de Construção Civil	Laboração em período noturno	4	13,39 €	h
<b>Materiais</b>				
- Betão	Com pré-colocação de agregados	1.968,30	37,43 €	m3
<b>RENDIMENTOS</b>				
<b>TEMPO DE EXECUÇÃO (2 MACIÇOS)</b>		<b>40</b>		<b>min</b>
<b>TEMPO EFETIVO DE TRABALHO</b>		<b>4</b>		<b>h</b>
<b>RENDIMENTO HORÁRIO</b>		<b>3</b>		<b>un/h</b>
<b>RENDIMENTO DIÁRIO</b>		<b>12</b>		<b>un/dia</b>
<b>TEMPO TOTAL (1425 maciços)</b>		<b>119</b>		<b>dias</b>

<b>COLOCAÇÃO E NIVELAMENTO DO POSTE</b>				
<b>CUSTOS UNITÁRIOS</b>	<b>Observações</b>	<b>Quantidade</b>	<b>Custo Unitário</b>	<b>Unidade</b>
<b>Equipamentos - Estaleiro Móvel</b>				
- Veículo de Tração com Grua e Vagão	Incluindo manobrador e combustível	1	442,50 €	d
<b>Mão de Obra</b>				
- 1 Chefe de Equipa + 2 Oficial C.Civil + 2 Auxiliar (noturno)	Laboração em período noturno	2	72,50 €	h
<b>Materiais</b>				
- Poste de Catenária		1.425,00	1.000,00 €	un
- Cunhas de madeira (x6)	Conjunto de 6 cunhas de madeira	60,00	30,00 €	un

RENDIMENTOS	Rendimento	Unidade
TEMPO DE EXECUÇÃO (MACIÇO)	60	min
TEMPO EFETIVO DE TRABALHO	4	h
RENDIMENTO HORÁRIO	1	un/h
RENDIMENTO DIÁRIO	4	un/dia
TEMPO TOTAL (1425 maciços)	357	dias

**SELAGEM DE POSTES DE CATENÁRIA**

CUSTOS UNITÁRIOS	Observações	Quantidade	Custo Unitário	Unidade
<b>Equipamentos - Estaleiro Móvel</b>				
- Betoneira	Torgar H-250 (capacidade útil 250 L)	1	0,20 €	h
<b>Mão de Obra</b>				
- Oficial de Construção Civil	Trabalhadores utilizados na colocação e nivelamento de postes	4	13,39 €	h
<b>Materiais</b>				
- Betão	C20/25	370,50	34,48 €	m3

RENDIMENTOS	Rendimento	Unidade
- Movimentação do vagão (Vel.Max = 30 km/h)	10	min
- Produção de betão (2 betoneiras sob vagão)	5	min/250 L
- Betonagem (0,3 m3)	5	min
TEMPO DE EXECUÇÃO (MACIÇO)	60	min
TEMPO EFETIVO DE TRABALHO	4	h
RENDIMENTO HORÁRIO	1	un/h
RENDIMENTO DIÁRIO	4	un/dia
TEMPO TOTAL (1425 maciços)	357	dias

**EXECUÇÃO E PINTURA DE DADOS**

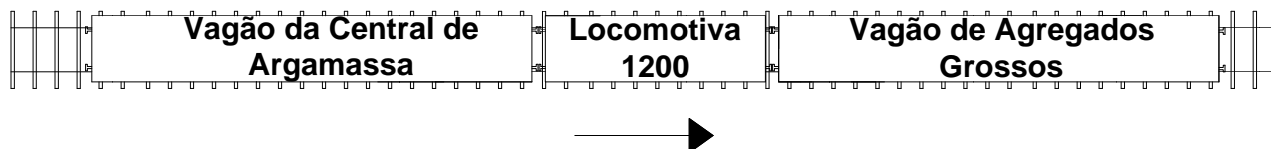
RENDIMENTOS	Observações	Quantidade	Custo Unitário	Unidade
<b>Equipamentos - Estaleiro Móvel</b>				
- Betoneira	Torgar H-250 (capacidade útil 250 L)	1	0,20 €	h
<b>Mão de Obra</b>				
- Oficial de Construção Civil	Laboração em período noturno	2	10,30 €	h
<b>Materiais</b>				
- Betão C20/25		91,20	34,48 €	m3
- Cofragem		6,84	200,00 €	m3
- Isolkote		1.425,00	1,20 €	L

RENDIMENTOS	Rendimento	Unidade
TEMPO DE EXECUÇÃO (MACIÇO)	30	min
TEMPO EFETIVO DE TRABALHO	4	h
RENDIMENTO HORÁRIO	2	un/h
RENDIMENTO DIÁRIO	8	un/dia
TEMPO TOTAL (1425 maciços)	179	dias

# **ANEXO VIII**

DIMENSIONAMENTO DE ESTALEIRO MÓVEL

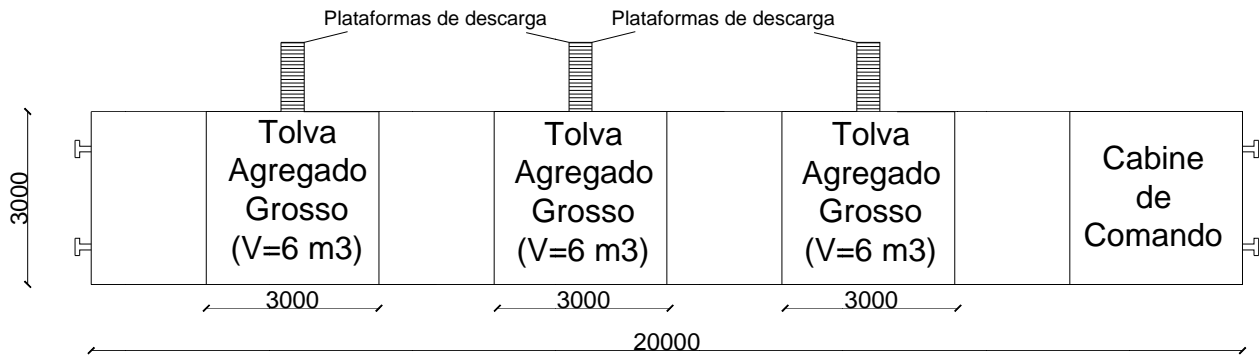
**ESTALEIRO MÓVEL**  
**DISPOSIÇÃO DE VAGÕES**



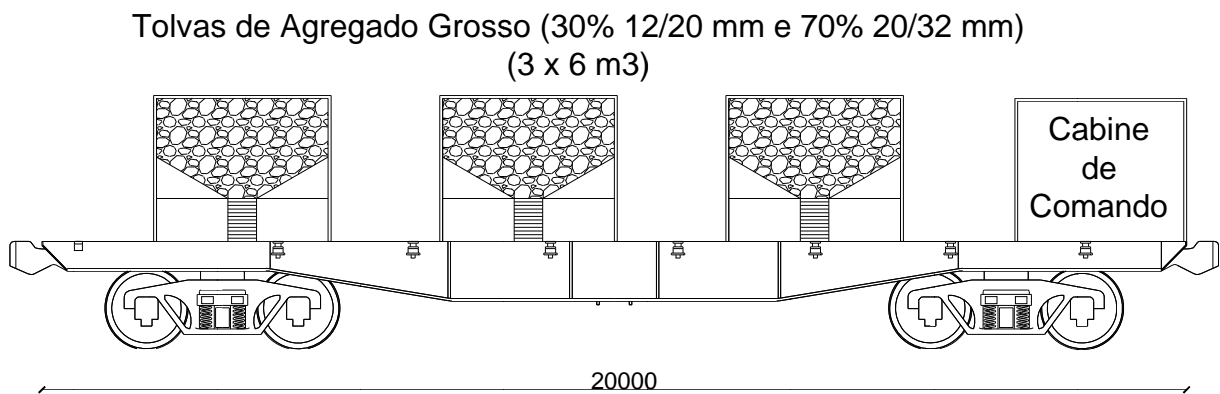
## ESTALEIRO MÓVEL

### VAGÃO DE AGREGADOS

Planta do Vagão de Agregados



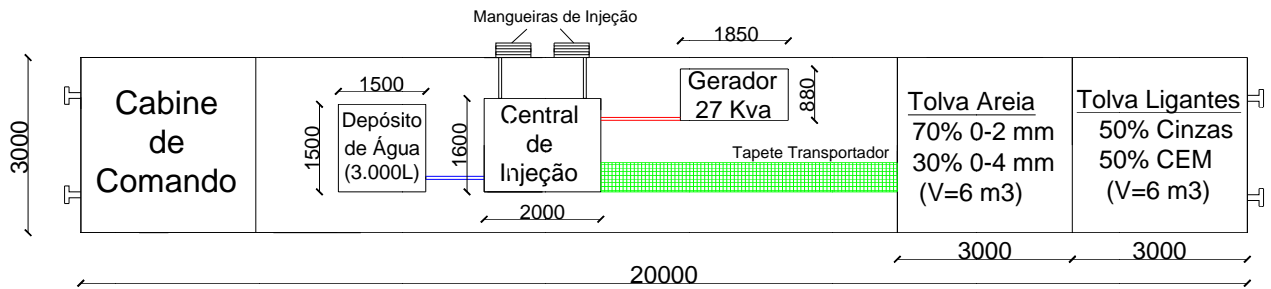
Corte Longitudinal do Vagão de Agregados



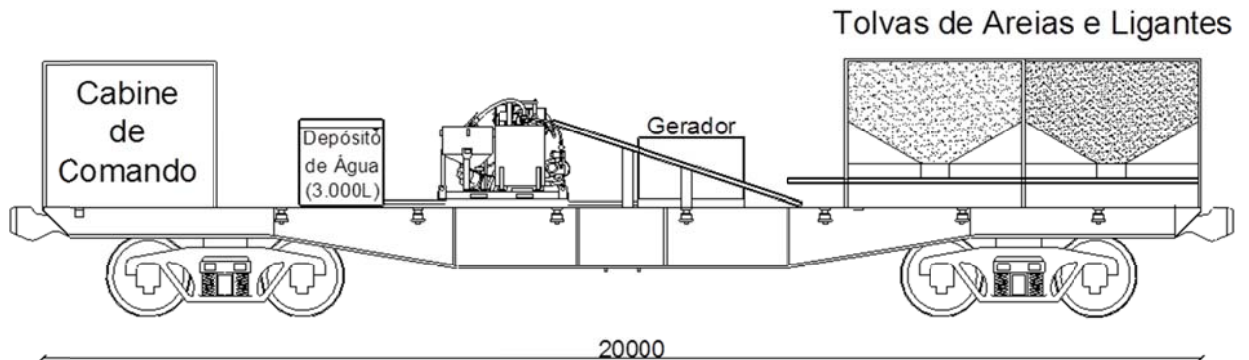
## ESTALEIRO MÓVEL

### VAGÃO DE CENTRAL DE ARGAMASSA

#### Planta do Vagão da Central de Argamassa



#### Corte Longitudinal do Vagão da Central de Argamassa



# ANEXO IX

ANÁLISE ORÇAMENTAL

SOLUÇÃO ALTERNATIVA

Artigo	Designação	Quantidade	Rendimento	Unidade	Dias Úteis	Horas	Comp	Altura	Largura	Massa	Unidade	Preço Unitário	Sub-Total	Total / m3	Total / Maciço
	<b>Fundações para Postes de Catenária com Betão PPA</b>														
	<b>Solução Alternativa - Maciços Cilíndricos (2.430 m3 / 1.425 maciços / 4h trabalho efetivo)</b>	<b>2.430,00</b>		<b>m3</b>											
	<b>Volume Betão por Unidade</b>	<b>1,71</b>		<b>m3/un</b>	<b>196,00</b>										
	<b>Volume Maciço</b>	<b>1,38</b>		<b>m3/un</b>											
	<b>Volume Carote</b>	<b>0,26</b>		<b>m3/un</b>											
	<b>Volume Dado</b>	<b>0,06</b>		<b>m3/un</b>											
	<b>1. Estaleiro</b>												<b>238.599,12 €</b>		
	<b>1.1. Estaleiro fixo</b>												<b>98.877,22 €</b>		
	1.1.1. Montagem												9.357,53 €		
	1.1.1.1. Montagem de baias separadoras para inertes												7.183,13 €	2,96 €	5,04 €
	a. Giratória, incluindo manobrador e combustível	1,00			4,00	8,00					h	40,00 €	1.280,00 €		
	b. Oficial de c. civil	3,00			4,00	8,00					h	10,30 €	988,57 €		
	c. Vigas de madeira	126,00					3,00	0,22	0,08		m3	200,00 €	1.330,56 €		
	d. Perfis metálicos HEB 180	10,00					3,50			51,20	kg	2,00 €	3.584,00 €		
	1.1.1.2. Montagem de silos de 80 ton para armazenamento de cimento e cinzas (2 un)												2.174,40 €	0,89 €	1,53 €
	a. Mobilização (fretes)	2,00									un	400,00 €	800,00 €		
	b. Grua automóvel de 33 ton, incluindo manobrador e combustível	1,00			2,00	8,00					h	55,00 €	880,00 €		
	c. Oficial de c. civil	3,00			2,00	8,00					h	10,30 €	494,40 €		
	1.1.2. Desmontagem												3.308,69 €		
	1.1.2.1. Desmontagem de baias separadoras para inertes												1.134,40 €	0,47 €	0,80 €
	a. Giratória, incluindo manobrador e combustível	1,00			2,00	8,00					h	40,00 €	640,00 €		
	b. Oficial de c. civil	3,00			2,00	8,00					h	10,30 €	494,40 €		
	1.1.2.2. Desmontagem de silos de 80 ton para armazenamento de cimento e cinzas (2 un)												2.174,29 €	0,89 €	1,53 €
	a. Desmobilização (fretes)	2,00									un	400,00 €	800,00 €		
	b. Grua automóvel de 33 ton, incluindo manobrador e combustível	1,00			2,00	8,00					h	55,00 €	880,00 €		
	c. Oficial de c. civil	3,00			2,00	8,00					h	10,30 €	494,29 €		
	1.1.3. Manutenção do estaleiro fixo												86.211,00 €	35,48 €	60,50 €
	a. Silos de 80 ton para armazenamento de cimento e cinzas	2,00			186,00						d	11,75 €	4.371,00 €		
	b. Pá carregadora, incluindo manobrador e combustível, na movimentação de inertes	1,00			186,00	8,00					h	55,00 €	81.840,00 €		
	<b>1.2. Estaleiro móvel</b>												<b>139.721,90 €</b>		
	1.2.1. Montagem												5.000,00 €	2,06 €	3,51 €
	a. Mobilização (central de mistura e injeção + depósito de água + vagões + locomotiva)	1,00									un	5.000,00 €	5.000,00 €		
	1.2.2. Desmontagem												5.000,00 €	2,06 €	3,51 €
	a. Desmobilização (central de injeção + depósito de água + vagões + locomotiva)	1,00									un	5.000,00 €	5.000,00 €		
	1.2.3. Manutenção												129.721,90 €	53,38 €	91,03 €
	a. Central de mistura e injeção, incluindo operador (noturno)	1,00			119,00						d	147,50 €	17.552,50 €		
	b. Gerador de 27 Kva, incluindo combustível (10 l/h)	1,00			119,00						d	55,00 €	6.545,00 €		
	c. Vagões plataforma	2,00			119,00						d	28,00 €	6.664,00 €		
	d. Locomotiva 1200, incluindo manobrador (noturno) e combustível (180 l/h)	1,00			119,00						d	831,10 €	98.900,90 €		
	e. Depósito de água de 3.000 lts	1,00			119,00						d	0,50 €	59,50 €		
	<b>2. Piquetagem de Maciços</b>	<b>1.425,00</b>	<b>10,00</b>	<b>un/h</b>									<b>12.240,00 €</b>		
	2.1 Mão de obra												12.240,00 €	5,04 €	8,59 €
	a. 1 Chefe de equipa + 2 Auxiliar (diurno)	1,00			36,00	8,00					h	42,50 €	12.240,00 €		
	<b>3. Escavação e posicionamento do carote</b>	<b>1.425,00</b>	<b>3,00</b>	<b>un/h</b>									<b>87.795,25 €</b>		
	3.1 Rail-route com acessório (trado), incluindo manobrador (noturno) e combustível (12 l/h)	1,00			119,00	8,00					h	39,89 €	37.975,28 €	15,63 €	26,65 €
	3.2 Oficial de c. civil (noturno)	3,00			119,00	8,00					h	13,39 €	38.241,84 €	15,74 €	26,84 €
	3.3 Carote (esferovite)	1.425,00					0,50	1,30	0,50		m3	25,00 €	11.578,13 €	4,76 €	8,13 €
	<b>4 Execução de maciços de catenária</b>	<b>1.425,00</b>	<b>3,00</b>	<b>un/h</b>									<b>124.656,21 €</b>		
	4.1 Oficial de c. civil (noturno)	4,00			119,00	8,00					h	13,39 €	50.989,12 €	20,98 €	35,78 €
	4.2 Betão PPA	1.968,30									m3	37,43 €	73.667,09 €	30,32 €	51,70 €
	a. Brita (1 m3 de brita (1,8t/m3) / m3 de betão PA)														
	a.1. Brita 2 - 12/20 (0,30 * 1,8 t/m3)	540,00									kg	0,0059 €	3,19 €		
	a.2. Brita 3 - 20/32 (0,70 * 1,8 t/m3)	1.260,00									kg	0,0059 €	7,43 €		
	b. Calda de cimento (400 l de calda / m3 de betão PA)														
	b.1. Cimento tipo I - 42,5R (0,4 * 385 = 154 kg/m3)	154,00									kg	0,0988 €	15,22 €		
	b.2. Cinzas (0,4 * 385 = 154 kg/m3)	154,00									kg	0,0314 €	4,84 €		
	b.3. Areia 0/2 (0,4 * 667 = 266,80 kg/m3)	266,80									kg	0,0055 €	1,47 €		
	b.4. Areia 0/4 (0,4 * 278 = 111,20 kg/m3)	111,20									kg	0,0058 €	0,64 €		
	b.5. Água (0,4 * 330 = 132 l/m3)	132,00									l	0,0015 €	0,20 €		
	b.6. Adjuvante - Glenium sky 617 (0,4 * 10,8 = 4,32 kg/m3)	4,32									kg	0,6800 €	2,94 €		
	b.7. Adjuvante - Rheomatrix (0,4 * 2,9 = 1,16 kg/m3)	1,16									kg	1,3000 €	1,51 €		
	<b>5 Colocação e nivelamento do poste</b>	<b>1.425,00</b>	<b>1,00</b>	<b>un/h</b>									<b>1.802.855,00 €</b>		
	5.1 Mão de obra												207.640,00 €	85,45 €	145,71 €
	a. 1 Chefe de Equipa + 2 Oficial C. Civil + 2 Auxiliar (noturno)	2,00			179,00	8,00					h	72,50 €	207.640,00 €		
	5.2 Materiais												1.426.800,00 €	587,16 €	1.001,26 €
	a. Poste de Catenária	1.425,00									un	1.000,00 €	1.425.000,00 €		
	b. Cunhas de madeira (x6)	60,00									un	30,00 €	1.800,00 €		
	5.3 Equipamentos												168.415,00 €	69,31 €	118,19 €
	a. Veículo de tração com grua e vagão, incluindo manobrador (noturno) e combustível	2,00			179,00	8,00					d	442,50 €	158.415,00 €		
	b. Mobilização equipamento	2,00									un	5.000,00 €	10.000,00 €		
	<b>6 Selagem de postes de catenária</b>	<b>1.425,00</b>	<b>1,00</b>	<b>un/h</b>									<b>13.919,33 €</b>		
	6.1. Betão C20/25	370,50									m3	34,48 €	12.773,73 €	5,26 €	8,96 €
	a. Cimento tipo II - 42,5R (220 kg/m3)	220,00									kg	0,0923 €	20,31 €		
	b. Cinzas (60 kg/m3)	60,00									kg	0,0314 €	1,88 €		
	c. Brita 1 - 6/14 (560 kg/m3)	560,00									kg	0,0059 €	3,30 €		
	d. Brita 2 - 14/20 (520 kg/m3)	520,00									kg	0,0059 €	3,07 €		
	e. Areia fina - 0/1 (450 kg/m3)	450,00									kg	0,0055 €	2,48 €		
	f. Areia grossa - 0/8 (400 kg/m3)	400,00									kg	0,0058 €	2,32 €		
	g. Água (164 l/m3)	164,00									l	0,0015 €	0,25 €		
	h. Adjuvante - Sikament 200 (2,3 kg/m3)	2,30									kg	0,3800 €	0,87 €		
	6.2. Betoneira	4,00			179,00	8,00					h	0,20 €	1.145,60 €	0,47 €	0,80 €
	<b>7 Execução e pintura de dados em postes de catenária</b>												<b>36.007,90 €</b>		
	5.1. Oficial de c. civil	2,00			179,00	8,00					h	10,30 €	29.499,20 €	12,14 €	20,70 €
	5.2. Betão C20/25	91,20									m3	34,48 €	3.144,30 €	1,29 €	2,21 €
	5.3. Isokote (3 demãos)	1.425,00									l	1,20 €	1.710,00 €	0,70 €	1,20 €
	5.4. Betoneira	1,00			179,00	8,00					h	0,20 €	286,40 €	0,12 €	0,20 €
	5.5. Cofragem	6,84									m3	200,00 €	1.368,00 €	0,56 €	0,96 €
	<b>TOTAL</b>												<b>2.316.072,80 €</b>	<b>953,12 €</b>	<b>1.625,31 €</b>

# **ANEXO X**

PLANEAMENTO

SOLUÇÃO ALTERNATIVA



# **ANEXO XI**

FICHAS TÉCNICAS DE MÁQUINAS E EQUIPAMENTOS



OBRAS PÚBLICAS FERROVIÁRIAS E MARÍTIMAS, S.A.  
Lagoas Park, Edifício 1, Piso 2, Apartado 24  
Apartado 24 Telephone: 217991630  
2780-994 Porto Salvo Fax: 217969050

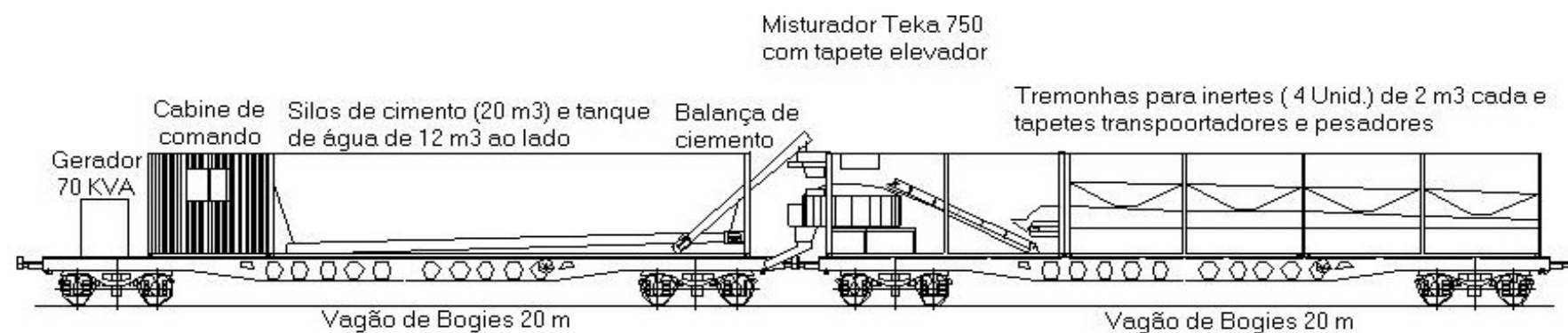
### Equipamento de Fabrico de Betão:

#### Central de Betão TD Compacta 750





### Arranjo Geral : Central de Betão TD Compacta 750



Sistema de betonagem com central modular (20m<sup>3</sup>/h - 0.5 m<sup>3</sup>/ciclo)

**Especificações:**

Central de betão compacta modular (montada em 3 contentores de 40' e 2 de 20'), automatizada, com capacidade de produção de betão de 20m<sup>3</sup>/h. Constituída por misturadora TEKA 750, 2 silos horizontais, tremonhas para 4 inertes, depósito de água, cabine de comando, bomba de água e respectiva instalação, compressor e instalação pneumática, sem-fins e tapetes transportadores e pesadores. Necessita de Pá carregadora ou conjunto industrial para abastecimento das tremonhas de inertes e de tapete transportador para descarga em auto-betoneira.

<b>Marca :</b> Central Compacta (TD)	<b>Modelo:</b> 750
<b>Cod. Int. :</b> O010002	
<b>Ano de Fabrico:</b>	
<b>EQUIPAMENTO OU CARACTERÍSTICAS ESPECÍFICAS</b>	Misturadora TEKA 750 *
	2 silos horizontais (66 m <sup>3</sup> e 22 m <sup>3</sup> )
	Tremonhas para 4 inertes (12 m <sup>3</sup> )
	Depósito de água (13 m <sup>3</sup> )
	Cabine de comando
	Compressor e Instalação pneumática
	Semfins transportadores
	Tapetes transportadores e pesadores
	Balança de cimento (400 Kg máx.)
	Bomba de água: Guinard GMI 1106
	Balão: 200 L
<b>PRODUÇÃO</b>	Máxima: 20 m <sup>3</sup> /h
	De betão por ciclo: 0,5 m <sup>3</sup>

\* - Tamanho máximo dos inertes 32 mm

## CENTRAL de BETÃO montada sobre VAGÕES PLATAFORMA

*Mobile concrete plant on flat Wagons*

<b>Designação</b> <i>Designation</i>		Central de Betão montada sobre Vagões Plataforma <i>Mobile concrete plant on flat Wagons</i>
<b>Fabricante - Constructor</b>		T. Duarte
<b>Modelo - Model</b>		TD Compacta 750
<b>Ano de fabrico - Year of Construction</b>		2000
<b>Tipo de vagão</b> <i>Wagon type</i>		Tipo plataforma, modelo MM2 <i>Flat type MM2 model</i>
<b>Dimensões gerais</b> <i>General Dimensions</i>	Comprimento - <i>Length</i>	19.900 mm / cada vagão - <i>each wagon</i>
	Largura - <i>Width</i>	3.000 mm
	Altura - <i>Height</i>	4.500 mm
<b>Peso total - Weight</b>	Em Tara - <i>Net Weight</i>	44 t + 44 t
	Carga Máxima - <i>Max. Load</i>	80 t + 80 t
<b>Velocidade máxima de circulação</b> <i>Max. Speed</i>	Vazio - <i>Empty</i>	100 Km/h
	Carregado - <i>Loaded</i>	100 Km/h
<b>Tipo de Bogies - Bogies type</b>		ORE (de 2 rodados)
<b>Sistema de frenagem</b> <i>Braking System</i>	Em composição - <i>In train</i>	Pneumatico (UIC) - <i>Pneumatic (UIC)</i>
	Estacionamento <i>Parking Brake</i>	Mecânico, accionado por volante <i>Mechanical, activated by hand wheel</i>
<b>Tripulação - Crew</b>		2 Operadores - <i>Operators</i>
<b>Principais aplicações</b> <i>Main Uses</i>		Betonagem de maciços para a Catenária <i>Concreting Catenary anchoring blocks</i>
<b>Capacidade de produção</b> <i>Production capacity</i>		20 m <sup>3</sup> / hora
<b>Rendimento médio - Average output</b>		0,5 m <sup>3</sup> / ciclo
<b>Equipamento ou Características Específicas</b> <i>Equipment or Specific Features</i>	4 Tremonhas para inertes: 12 m <sup>3</sup> / cada <i>4 Hoppers for inerterts: 12m<sup>3</sup>/ each</i>	
	Silos de cimento com capacidade de 20 m <sup>3</sup> <i>Concrete silos with 20 m<sup>3</sup> capacity</i>	
	Hidropressor + Contador + Reservatório de água de 12 m <sup>3</sup> <i>Pump + water meter + 12 m<sup>3</sup> capacity tank</i>	
	Equipada com Cabine de comando (processamento automatizado) <i>Equipped with control cabin (automatic)</i>	
	Equipada com sem-fins e tapetes transportadores e pesadores <i>Equipped with screws and conveyors for transport and weighing</i>	
	Equipada com células electrónicas de pesagem - Philips <i>Equipped with electronic weighing cells</i>	
	Misturador TEKA 750 com tapete elevador <i>Mixer with lifting conveyor</i>	
	Balança de cimento com capacidade máxima de pesagem: 400 kg <i>Scale for concrete, max. weighing capacity: 400kg</i>	
	Granulometria máxima dos inertes: 32 mm <i>Max. granulometry of inerterts: 32mm</i>	
	Equipado com Grupo Electrogéneo de 100 KVA de potência <i>Fitted with a 100 KVA Generator Set</i>	
<b>Código interno / Nº UIC</b> <i>Somafel's Internal Code / UIC N.º</i>		<b>1581</b> / 83 94 9811020 - 5
		<b>1582</b> / 83 94 9811021 - 3
<b>Existências - Stock</b>		<b>1 unid. - 1 unit</b>

Equipamento pertencente à Somafel e à OFM. Participação Somafel 50%, OFM 50%.

**CENTRAL de BETÃO montada sobre VAGÕES PLATAFORMA**  
*Mobile concrete plant on flat Wagons*

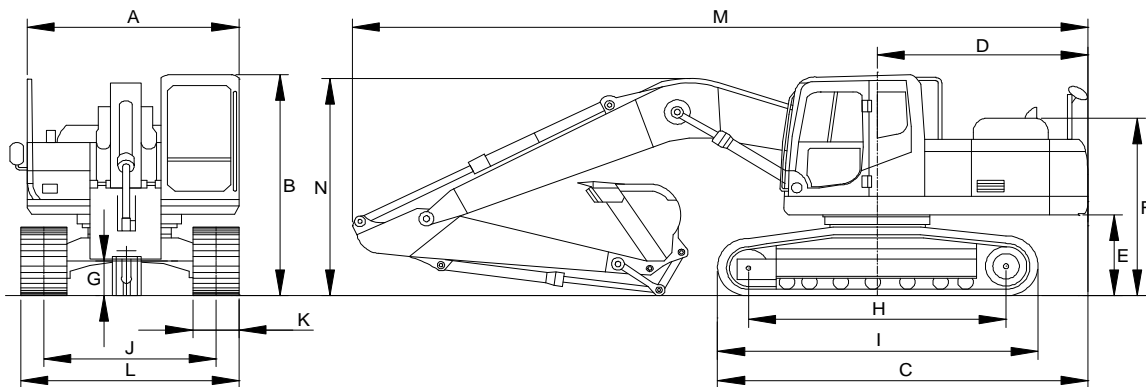
---



## Escavadora hidráulica (giratória)

Motor diesel, sobre lagartas, com equipamento retro

### KOMATSU PC 240NLC-8

**DAA**

A - Largura da estrutura superior	2.710 mm	H - Comprimento do rasto no solo	3.655 mm
B - Altura total da cabina	3.055 mm	I - Comprimento do rasto	4.450 mm
C - Comprimento total da máquina base	5.130 mm	J - Bitola	2.380 mm
D - Comprimento da traseira	2.905 mm	K - Largura da sapata do rasto	600 mm
Raio de rotação da traseira	2.940 mm	L - Largura total do rasto com sapata de 600 mm	2.980 mm
E - Espaço livre por baixo do contrapeso	1.100 mm	M - Comprimento de transporte	9.960 mm
F - Altura da traseira da máquina	2.405 mm	N - Altura ao topo da lança	3.295 mm
G - Espaço livre até ao solo	440 mm		

**KOMATSU PC 240NLC - 8** Escavadora hidráulica giratória sobre rastos, de 168 Cv de potência e 25.290 Kg de peso, equipada com braço de 2,5 m, com capacidade para trabalhar com baldes de engate rápido de 600 mm a 2.000 mm de largura, ou com martelo hidráulico. Aquirida com dois baldes de engate rápido ( 600 mm e 1.500 mm e dente ripper)

**CARACTERÍSTICAS DO EQUIPAMENTO**

(braço de 2,5 m)

Largura dos rastos	600 mm
Lança monobloco	5.850 mm
Braço	2.500 mm
Peso em operação	23.840 kg
Potência motor	134 kW / 182,2 Cv
Vel. máx. de deslocação	5,5 Km/h
Depósito de combustível	400 l

**CRITÉRIOS ACÚSTICOS AMBIENTAIS**

LWA (nível da potência sonora)	103 dB(A)
LpA (pressão sonora na cabine)	70 dB(A)

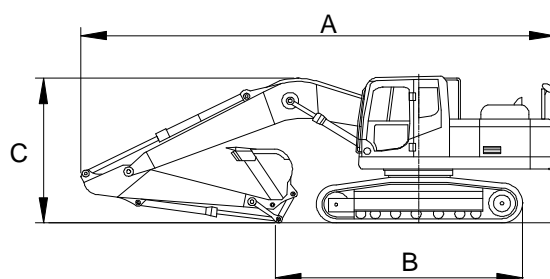
**ACESSÓRIOS ADQUIRIDOS**

Balde de engate rápido de 600 mm  
 Balde de engate rápido de 1.500 mm  
 Dente ripper

**CAPACIDADES DO EQUIPAMENTO**

(braço de 2,5 m)

Altura máx. de escavação	9.790 mm
Profundidade máx. de escavação	6.320 mm
Alcance máx. de escavação	9.480 mm
Raio mínimo de rotação	3.320 mm
Largura dos baldes acopláveis	600 a 2.000 mm
Caudal de óleo hidráulico disponível	2 x 219 L/min
Pressão no circuito de óleo hidráulico	295/380 bar
Força máxima de escavação no balde	20.100 kg
Força máxima no braço	15.100 kg
Força de tracção máxima	20.570 kg

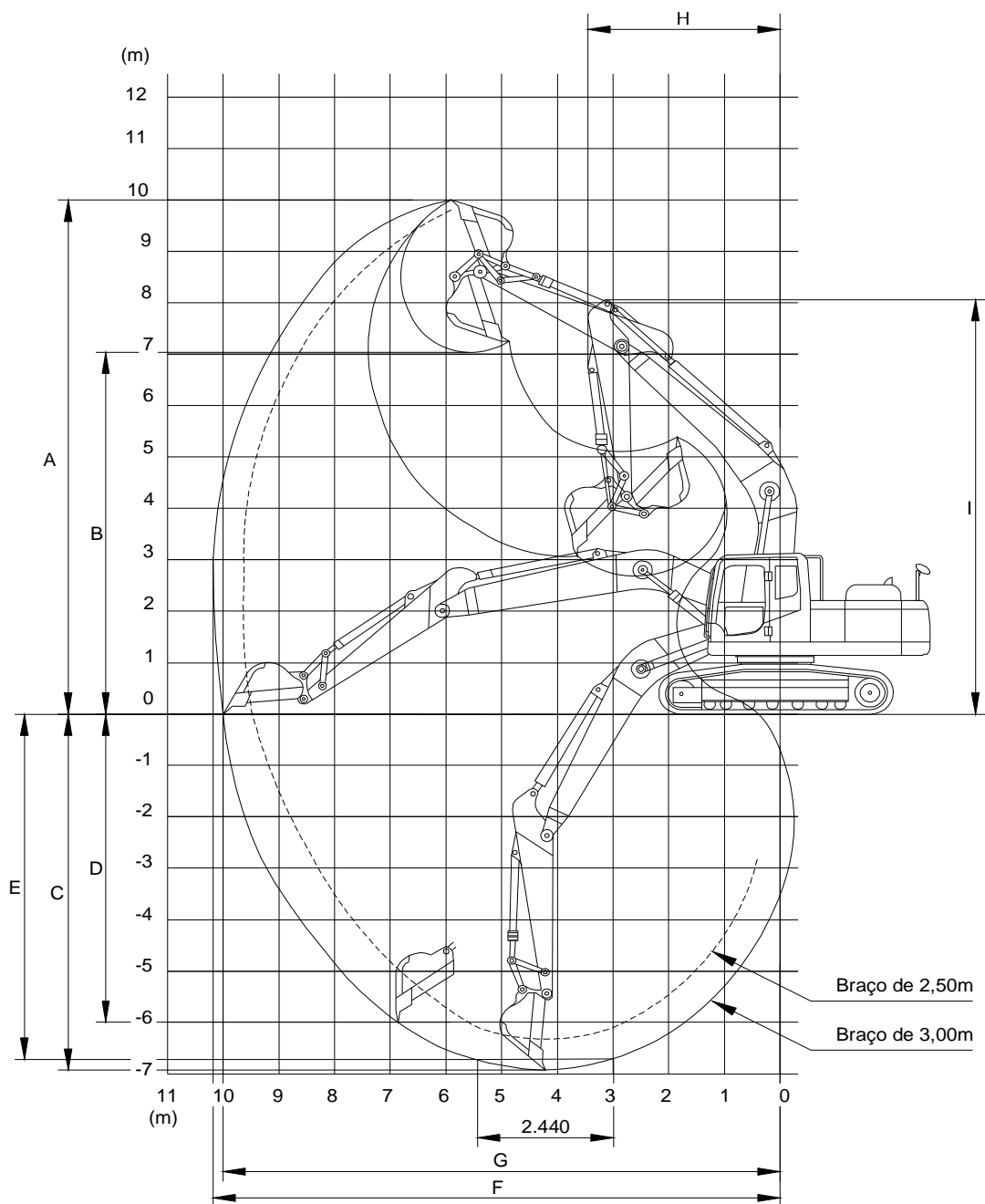
**ELEMENTOS PARA TRANSPORTE**

A	9.960 mm
B	6.020 mm
C	3.295 mm

Largura	2.980 mm
Peso	22.290 kg

**Escavadora hidráulica (giratória)**

Motor diesel, sobre lagartas, com equipamento retro

**KOMATSU PC 240NLC-8**
**DAA**


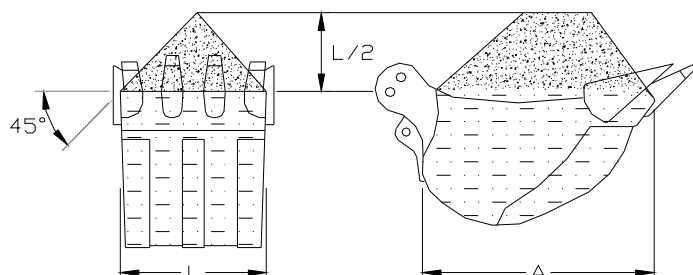
Comprimento do braço	2.500 mm *	3.000 mm **
A Altura máxima de escavação	9.790 mm	10.000 mm
B Altura máxima de descarga	6.860 mm	7.035 mm
C Profundidade máxima de escavação	6.320 mm	6.920 mm
D Profundidade máx. de escavação de parede vertical	5.130 mm	6.010 mm
E Profundidade máx. de escavação de patamar de 2,44 m	6.100 mm	6.700 mm
F Alcance máximo de escavação	9.480 mm	10.180 mm
G Alcance máximo de escavação a nível do solo	9.670 mm	10.020 mm
H Raio mínimo de rotação	3.320 mm	3.450 mm
I Altura máxima com o raio mínimo de rotação	8.160 mm	8.110 mm

\* - adquirido

\*\* - não adquirido

**COMBINAÇÕES DE BALDE E BRAÇO**

Capacidade SAE



Balde			Braço de 2,5 m
Largura mm	Capacidade SAE (m3)	Peso Kg	
600	0,47	670	○
800	0,70	750	○
1.000	0,93	840	○
1.200	1,17	960	○
1.400	1,41	1.050	○
1.500	1,53	1.120	□
1.600	1,65	1.170	X
1.800	1,79	1.250	-
2.000	1,89	1.300	-

○ Densidade do material até 1,8 t/m3

□ Densidade do material até 1,5 t/m3

X Densidade do material até 1,2 t/m3

- Não utilizável

**FORÇAS DO BALDE E DO BRAÇO**

Braço de 2,5 m	
Força escavação balde	18.800 kg
Força escavação balde (potência máxima)	20.100 kg
Força do braço	14.100 kg
Força do braço (potência máxima)	15.100 kg

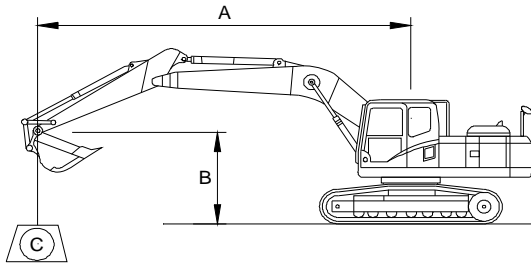
## Escavadora hidráulica (giratória)

Motor diesel, sobre lagartas, com equipamento retro

### KOMATSU PC 240NLC-8

### DAA


## CAPACIDADES DE ELEVAÇÃO




A - Alcance a partir do eixo de rotação










































































































































































































































































































B - Altura do gancho do balde

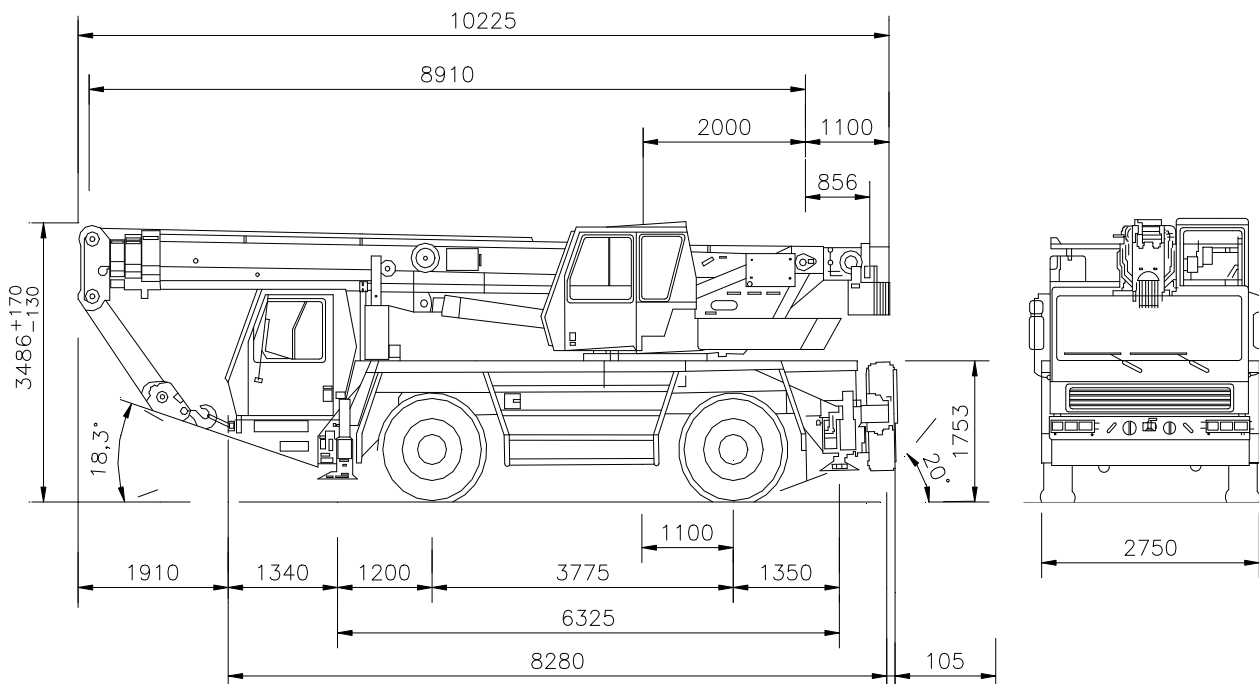
C - Capacidade de levantamento, incluindo balde (730 kg), articulações (200 kg) e macaco do balde (140 kg)

 - Capacidade frontal

 - Capacidade lateral

 - Capacidade no alcance máximo

		0,7 m <sup>3</sup> (SAE) 730 Kg		2,5 m									
				7,5 m		6,0 m		4,5 m		3,0 m		1,5 m	
													
													
													
													
													
													
													
													
													
													
													
													
													
													
													
													
													
													
													
													
													
													
													
													
													
													
													
													
													
													
													
													
													
													
													
													
													
													
													
													
													
													
													
													
													
													
													
													
													
													



**GRUA GROVE GMK 2035** Grua automóvel, 4 x 4 com 4 rodas direccionais, lança de 4 elementos telescópica de 8,9 a 29,00 m e com capacidade de carga máxima de 33t (centrada sobre a traseira), com contrapeso de 3 ton. Equipada com extensão de 8,50 m, inclinável em relação à lança entre 5° a 40°

**CAPACIDADES DE CARGA****C/ ESTABILIZADORES TOTALMENTE ESTENDIDOS**

Lança:

Carga máxima sobre 360°/raio	31,00 t / 3,0 m
Carga sobre 360°/ raio máximo	0,7 t / 26 m

Lança c/ extensão telescópica de 8,5 m

Carga máxima sobre 360°/raio	4,5 t / 5,0 m
Carga sobre 360°/ raio máximo	0,6 t / 28 m

**SOBRE PNEUS (16.00 R25)**

Grua estática, carga sobre 360°

Carga máxima/raio	6,4 t / 3,0 m
Carga / raio máximo	1,1 t / 8 m

Grua estática, lança centrada s/ a traseira

Carga máxima/raio	9,8 t / 3,0 m
Carga / raio máximo	1,3 t / 13 m

**Em movimento (vel. máx 1,5km/h,)**

(lança centrada s/ a traseira, carga amarrada)

Carga máxima/raio	9,8 t / 3,0 m
Carga / raio máximo	2,1 t / 10 m

**GUINCHO**

Cabo (antigiratório)	diâm.13 mm comp. 135 m
Tracção máxima	3400 Kg
Vel. máx. enrolamento	130 m/min

**MOTOR**

Potência	205 Cv
Vel. máx.	74 Km/h
Inclinação máxima superável	63%

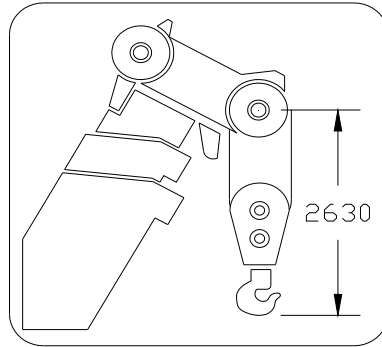
**PESOS (c/ contrapeso de 3 t. e extensão)**

Peso sobre o eixo dianteiro	12 t
Peso sobre o eixo traseiro	12 t
Peso total	24 t

**DIMENSÕES**

Comprimento	10225 mm
Largura	2.750 mm
Altura	3.556 mm

**DIAGRAMA DE ALCANCES**



(m)

50

40

30

20

10

30

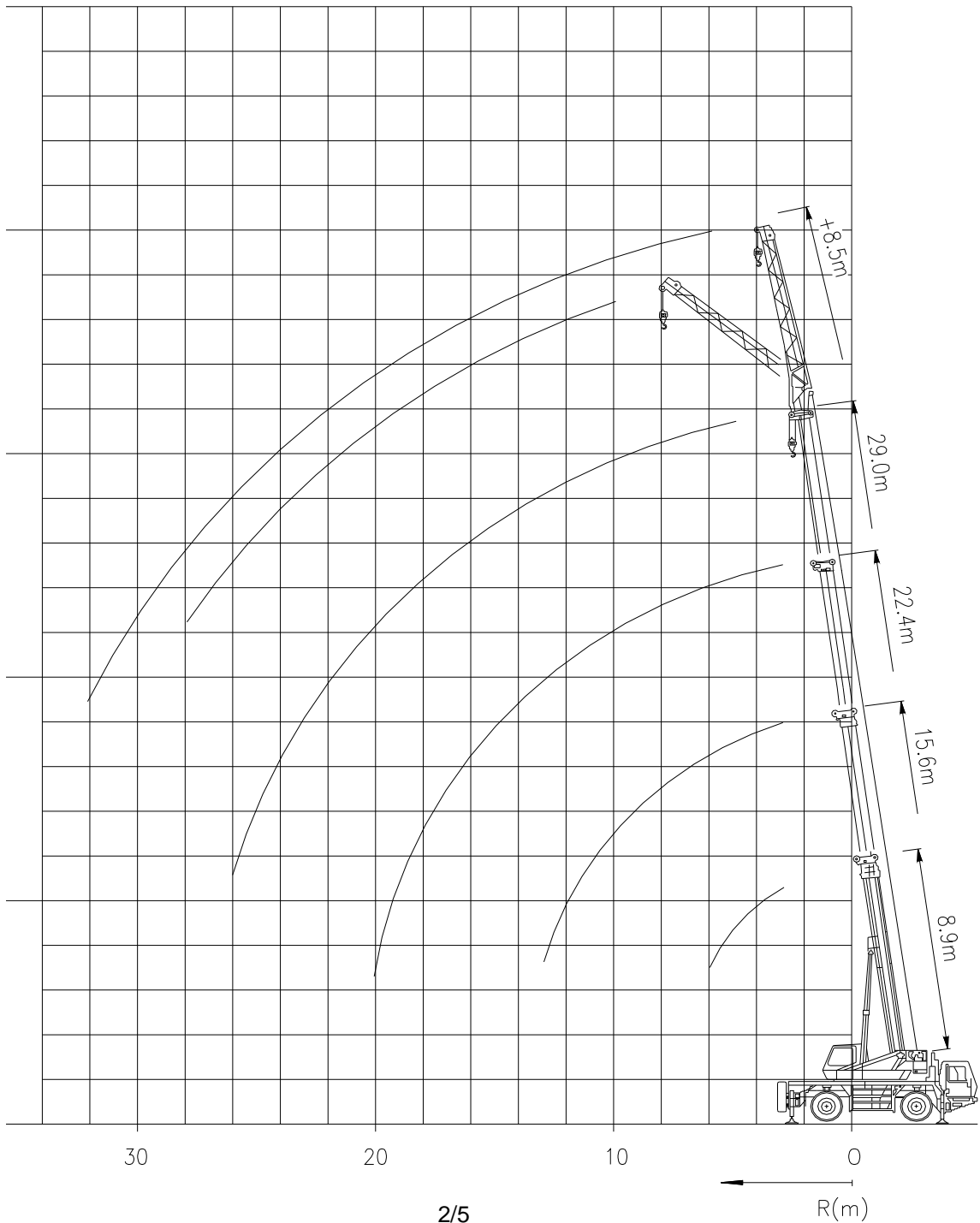
20

10

0

2/5

R(m)



**CARGA SOBRE ESTABILIZADORES**  
**Carga c/ estabilizadores totalmente estendidos, sobre 360°, norma ISO**  
**Lança telescópica de 8,9 m a 29,0 m**  
**Contrapeso de 3 ton.**

	Lança						
	8,3 m	12,3 m	15,6 m	19,0 m	22,4 m	25,7 m	29,0 m
<b>RAIO</b>							
3,0	33,0*/31,0	25,0	20,0	15,0	13,0		
4,0	24,5	23,5	20,0	15,0	13,0	10,5	
5,0	19,1	18,8	17,5	15,0	13,0	10,5	8,0
6,0	15,3	15,0	13,3	12,9	12,4	10,5	8,0
7,0		12,0	10,5	10,4	10,1	9,8	7,8
8,0		9,4	8,5	9,4	8,4	8,2	7,6
9,0		7,7	7,6	8,1	7,3	6,9	6,8
10,0		6,4	6,6	6,8	6,7	6,0	5,9
11,0			5,6	5,8	5,9	5,2	5,1
12,0			4,8	5,0	5,1	4,5	4,5
13,0			4,2	4,3	4,4	4,0	4,0
14,0				3,8	3,9	3,7	3,5
15,0				3,4	3,5	3,2	3,1
16,0				3,0	3,1	2,9	2,7
18,0					2,5	2,2	2,1
20,0					2,0	1,8	1,6
22,0						1,4	1,2
24,0							0,9
26,0							0,7

\* - carga centrada sobre a traseira, lança para a rectaguarda

**Carga c/ estabilizadores totalmente estendidos, sobre 360°, norma ISO**  
**Lança telescópica de 25,6 m a 29,0 m com extensão de 8,5 m**  
**Contrapeso de 3 ton.**

	Lança					
	25,6 m			29,0 m		
	Inclinação da lança					
	5°	20°	40°	5°	20°	40°
<b>RAIO</b>						
5,0	4,5					
6,0	4,5			3,5		
7,0	4,5			3,5		
8,0	4,5	4,4		3,5		
9,0	4,5	4,3	3,3	3,5	3,5	
10,0	4,5	4,1	3,2	3,5	3,5	3,1
11,0	4,5	4,0	3,1	3,5	3,5	3,1
12,0	4,5	3,8	3,0	3,5	3,5	3,0
13,0	4,0	3,7	2,9	3,5	3,5	2,9
14,0	3,6	3,6	2,9	3,5	3,5	2,9
15,0	3,2	3,4	2,8	3,1	3,3	2,9
16,0	2,8	3,0	2,8	2,8	3,0	2,8
18,0	2,2	2,4	2,5	2,2	2,4	2,5
20,0	1,7	1,9	1,9	1,7	1,9	2,0
22,0	1,3	1,4	1,5	1,4	1,5	1,6
24,0	1,0	1,1	1,1	1,0	1,1	1,2
26,0	0,8	0,8	0,8	0,8	0,9	0,9
28,0			0,5		0,6	0,6

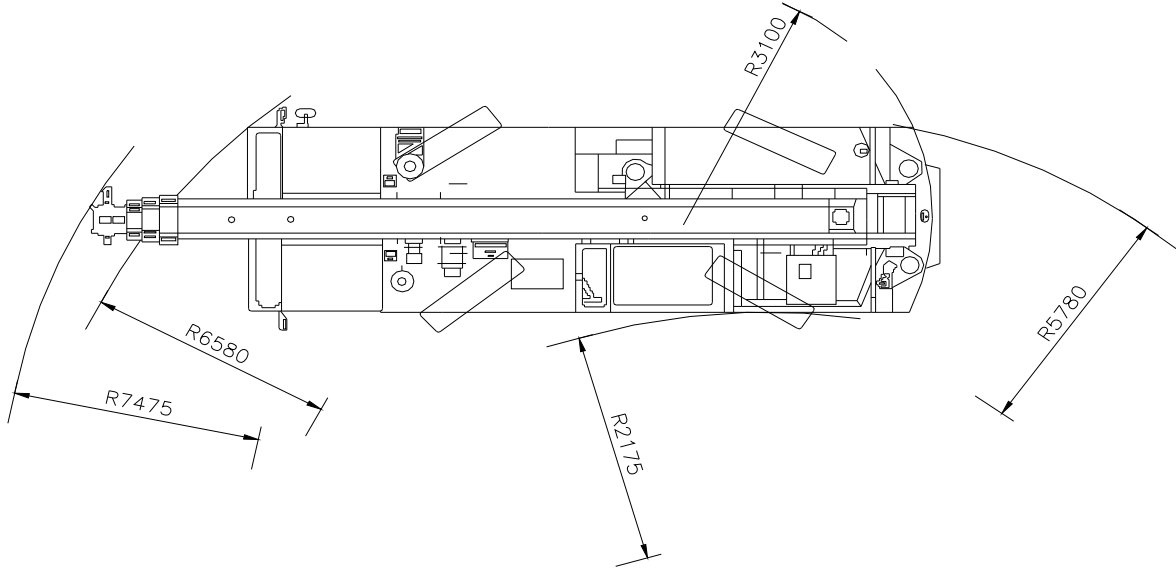
**CARGA SOBRE ESTABILIZADORES****Carga c/ estabilizadores totalmente estendidos, sobre 360°, norma ISO****Lança telescópica de 25,6 m a 29,0 m com extensão de 8,5 m****Contrapeso de 3 ton.**

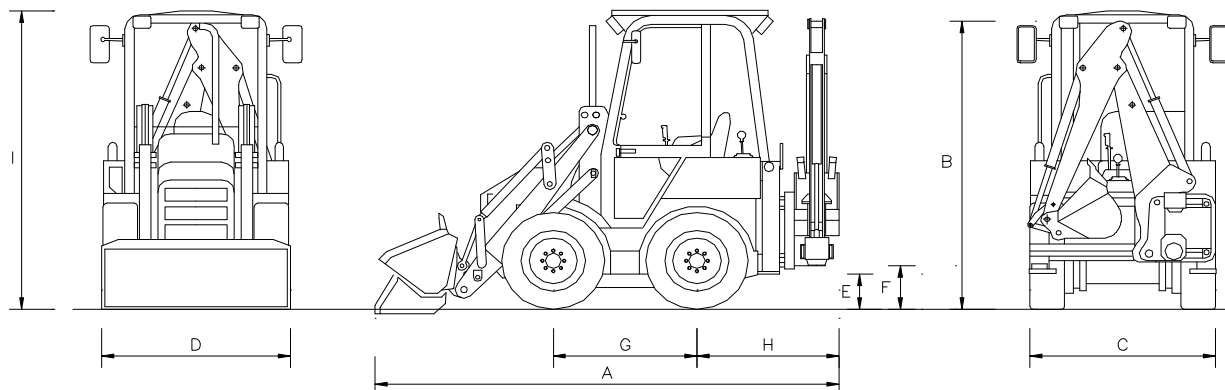
	Lança			
	25,6 m		29,0 m	
	Inclinação da lança			
	5° a 20°	20° a 40°	5° a 20°	20° a 40°
RAIO				
8,0	2,5			
9,0	2,4	2,0	2,5	
10,0	2,3	2,0	2,4	2,0
11,0	2,2	1,9	2,3	2,0
12,0	2,2	1,9	2,2	1,9
13,0	2,1	1,8	2,2	1,9
14,0	2,0	1,8	2,1	1,8
15,0	1,9	1,8	2,0	1,8
16,0	1,9	1,7	2,0	1,8
18,0	1,8	1,7	1,8	1,7
20,0	1,7	1,6	1,7	1,7
22,0	1,3	1,4	1,4	1,5
24,0	1,0	1,1	1,0	1,1
26,0	0,8	0,8	0,8	0,9
28,0				0,6

**CARGA SOBRE RODAS****Carga s/rodas, a 360° ou centrada s/ a traseira, norma ISO****Lança telescópica de 8,9 m a 15,6 m****Contrapeso de 3 ton.**

	Lança			
	8,9 m a 12,3 m		12,3 a 15,6,0 m	
	Carga centrada s/ a traseira	Carga a 360°	Carga centrada s/ a traseira	Carga a 360°
RAIO				
3,0	9,8	6,4	10,1	6,8
4,0	8,0	4,6	8,2	5,0
5,0	6,6	3,4	6,9	3,7
6,0	5,5	2,5	5,8	2,9
7,0	4,5	1,7	4,7	2,2
8,0	3,6	1,1	3,9	1,5
9,0	2,8		3,2	1,0
10,0	2,1		2,6	
11,0			2,1	
12,0			1,7	
13,0			1,3	

**ÂNGULOS DE VIRAGEM**





A - Comprimento total (com balde standard)	3.400 mm
B - Altura até ao tecto da cabine	2.252 mm
C - Largura entre pneus	1.556 mm
D - Largura do balde	1.580 mm
E - Distância ao solo com estabilizadores	258 mm

F - Distância ao solo no centro	323 mm
G - Base das rodas	1.070 mm
H - Saliência traseira	977 mm
I - Altura ao topo da rectro	2.209 mm

**JCB 1CX** Carregadora escavadora hidráulica equipada com circuito para martelo hidráulico, pá carregadora frontal, escavadora de deslocamento lateral ou garfos de empilhamento

#### CAPACIDADES DE CARGA :

##### ESCAVADORA

Prof. máx. escavação	2,55 m
Altura máxima de carga	2,34 m
Altura máxima de trabalho	3,4 m

##### PÁ CARREGADORA

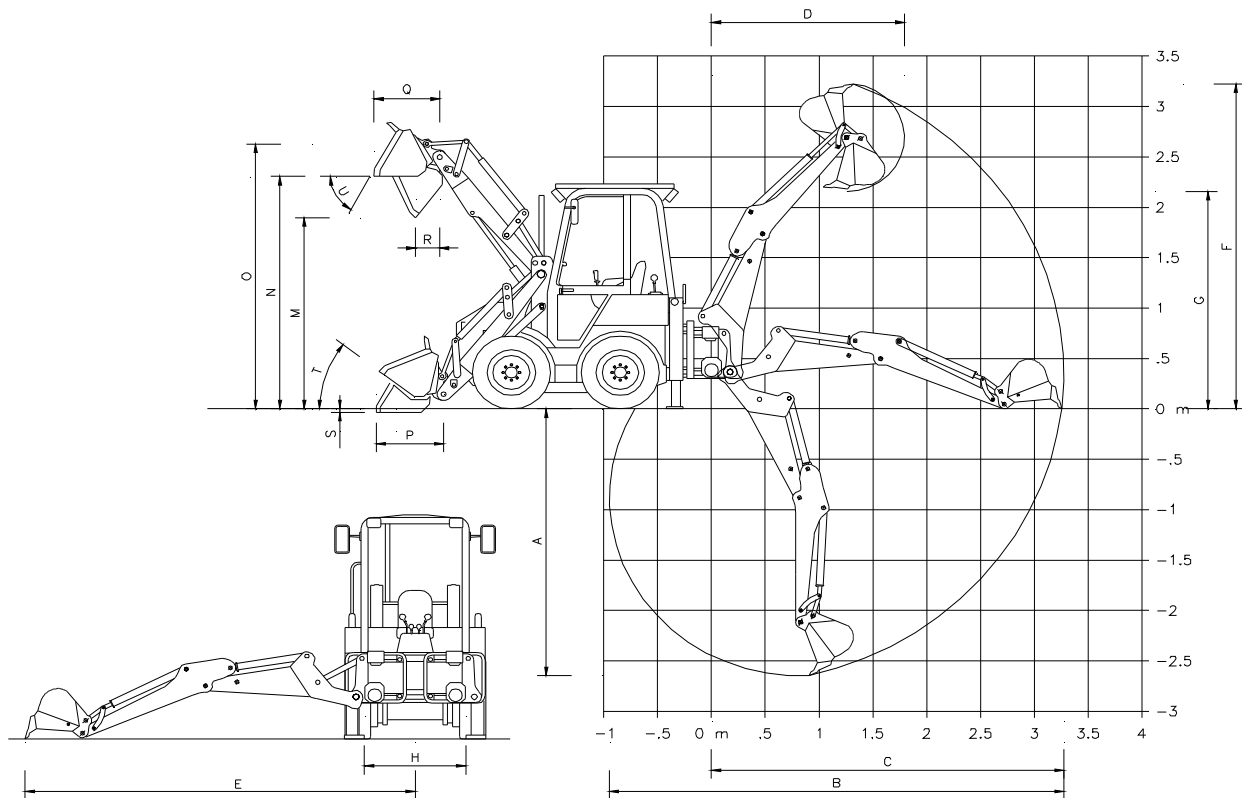
Altura máxima de descarga	2,09 m
Altura máxima de carga	2,51 m

##### MOTOR :

Potência	43 Cv
----------	-------

##### DIMENSÕES P/ TRANSPORTE :

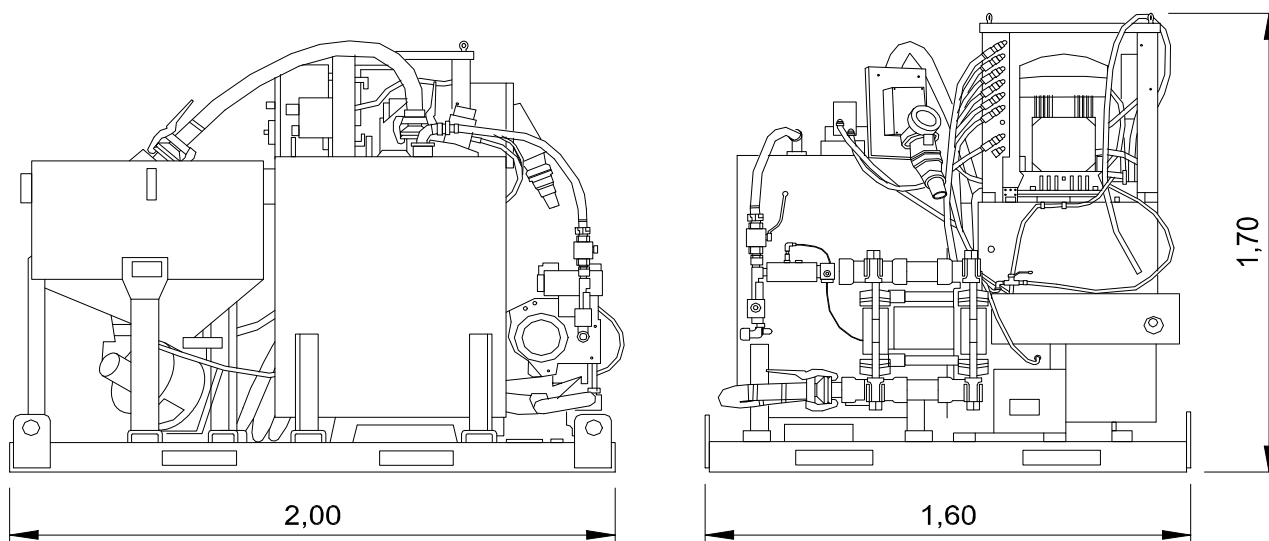
Comprimento	3,31 m
Largura	1,58 m
Altura	2,25 m
Peso	2790 Kg


**DIMENSÕES E CAPACIDADES DA RETRO**

A	Profundidade máxima de escavação	2.551 mm
B	Alcance ao nível do solo desde o eixo traseiro	4.224 mm
C	Alcance ao nível do solo desde o centro da giratória	3.383 mm
D	Alcance à máxima altura desde o centro da giratória	1.792 mm
E	Alcance lateral desde o centro da máquina	3.828 mm
F	Altura máxima de trabalho	3.442 mm
G	Altura máxima de carga	2.348 mm
H	Deslocação lateral do braço da retro	990 mm
J	Rotação do balde	202°
	Força de rompimento do balde	2.201 Kg
	Força de rompimento da lança	1.488Kg

**DIMENSÕES E CAPACIDADES DA CARREGADORA**

M	Altura de descarga	2.097 mm
N	Altura de carga	2.510 mm
O	Altura à cavilha	2.700 mm
P	Alcance ao nível do solo (lâmina na horizontal)	839 mm
Q	Alcance máximo à máxima altura	628 mm
R	Alcance à máxima altura - posição de descarga total	300 mm
S	Profundidade de escavação (placa inferior horizontal)	50 mm
T	Enrolamento ao nível do solo	40°
U	Angulo de descarga	45°
	Força de rompimento da carregadora - balde	2.350 Kg
	Capacidade máxima de elevação hidráulica	2.400 Kg
	Capacidade de elevação ao alcance máximo	1.650 Kg
	Capacidade do balde	0,32 m <sup>3</sup>



**A.COPCO E 22 H** Unidade compacta de mistura e injeção hidráulica accionada por grupo energético PUG 22 com motor eléctrico de 22 kW e arranque electrónico, montada em plataforma de suporte em aço de 2,0 m por 1,7 m, equipada com misturador de 200 l, agitador de 400 l, prensa de injeção (com possibilidade de trabalhar com embolos de 110 mm ou 150 mm de diâmetro) com caudal máximo de 200 l/min e pressão máxima de 100 bar, contador de água digital de 190 l/min de caudal máximo, equipado com válvulas eléctricas para a paragem da dosagem automaticamente, dois modos de funcionamento (manual ou automático), e sete programas para diferentes dosagens em modo automático.

**Misturador hidráulico de alta velocidade CEMIX 203H**

Volume	200 l
Relação água / cimento	>0,35
Capacidade de mistura	0 - 3 m <sup>3</sup> /h

**Agitador hidráulico CEMAG 402 H**

Volume	400 l
Velocidade de rotação do eixo	60 - 70 r.p.m.

**Contador de água digital programável**

Capacidade máxima	190 l/min
Nº máximo de programas de dosagens diferentes	7

**GRUPO ENERGÉTICO ELÉCTRICO PUG 22**

Motor	22 kW
Consumo máximo	43 Amp

**Prensa hidráulica PUMPAC****Equipada com embolos de 110 mm de diâmetro**

Caudal	0 - 120 l/min
Baixa pressão	2 - 10 bar
Alta pressão	8 - 100 bar

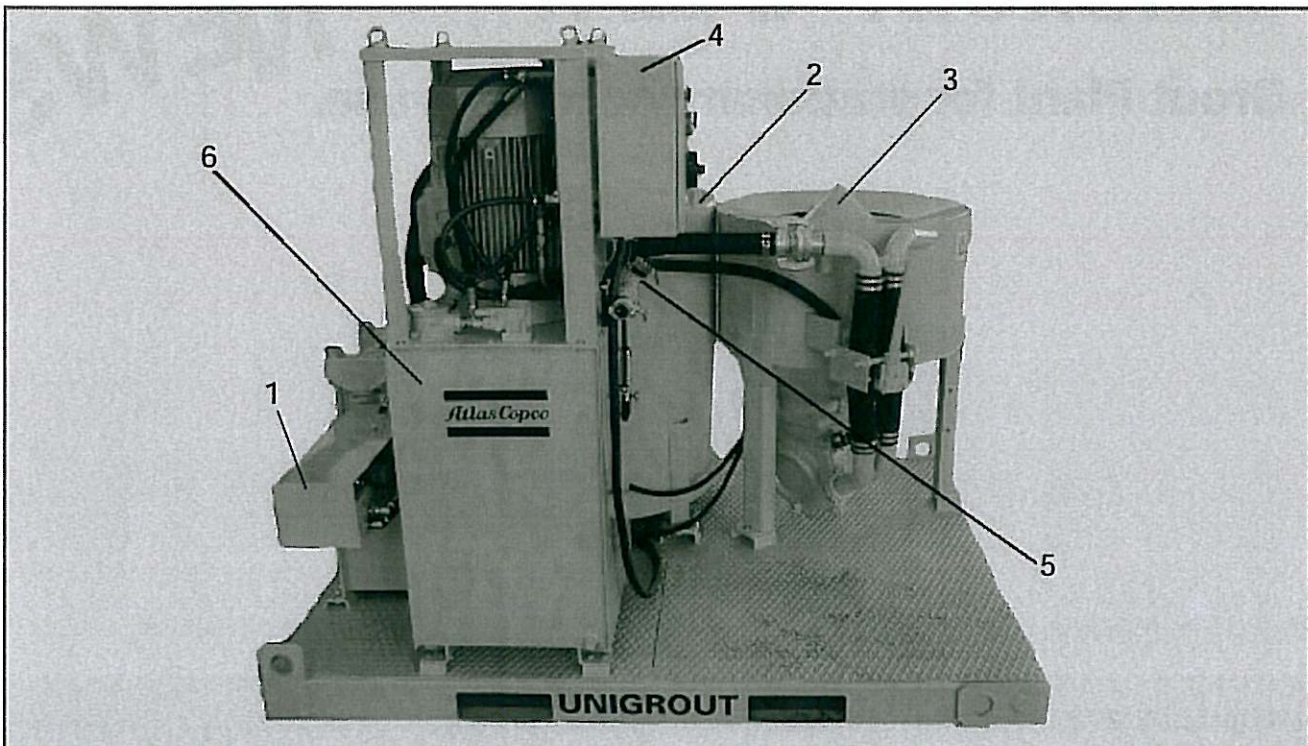
**Equipada com embolos de 150 mm de diâmetro**

Caudal	0 - 200 l/min
Baixa pressão	2 - 10 bar
Alta pressão	8 - 55 bar

Tamanho máximo dos grãos	5 mm
--------------------------	------

**ELEMENTOS PARA TRANSPORTE**

Comprimento	2,00 m
Largura	1,60 m
Altura	1,70 m
Peso	1250 kg



## Specification

Unigrout is a complete grouting plant ready for immediate use. A Unigrout always consists of: Mixer, agitator, pump, power unit, control panel and all necessary hoses.

### Dimensions and general data

#### 1. Grout pump PUMPAC™

Grout cylinder ø 110 mm  
 Grout flow ..... 0 - 120 l / min  
 Two grout pressure setting levels  
 Low pressure ..... 2 - 10 bar  
 High pressure ..... 8 - 100 bar

Grout cylinder ø 150 mm  
 Grout flow ..... 0 - 200 l / min  
 Two grout pressure setting levels  
 Low pressure ..... 2 - 10 bar  
 High pressure ..... 8 - 55 bar

Max. granular size ..... 5 mm

Pressure and flow can be adjusted separately during grouting operation.

Hydraulic pump  
 - flow ..... 0-63 l/min.  
 - pressure ..... 0-215 bar

#### 2. Grout agitator CEMAG® 402H

Volume ..... 400 l  
 Rotation speed of agitator shaft ..... 60 - 70 rpm

#### 3. Grout mixer CEMIX® 203H

Volume ..... 200 l  
 Mixing capacity ..... 0-3 m<sup>3</sup>/h

#### 4. Electrical cabinet

#### 5. Water meter

Capacity ..... max 190 l/min.

#### 6. Power Unit (PUG 22)

Electric motor ..... 22 kW, 400 V, 50 Hz

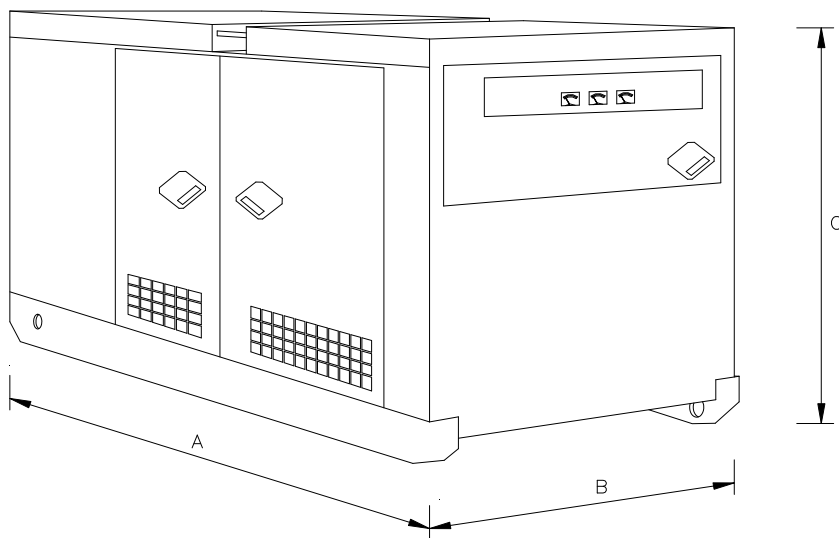
#### Dimensions

Length ..... 2000 mm  
 Height ..... 1700 mm  
 Width ..... 1600 mm  
 Weight ..... 1250 kg

Atlas Copco reserves the right to make modifications without prior notice.

**Atlas Copco**

6991 11/15 01



A - 1850

B - 880

C - 1200

**A. COPCO QAS 30 Kd** Gerador trifásico para uma potência 27 KVA / 1800 Rpm, accionado por um motor diesel.

**ESPECIFICAÇÕES :**

**Alternador:**

Marca	A. Copco
Modelo	DB-360K
Tensão/Intensidade	220/380V/40A
Factor potência	0,8
Frequência	50 Hz
Classe isolamento	F

**Motor:**

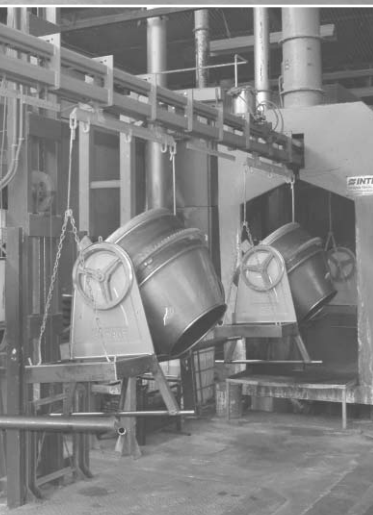
Marca	Komatsu
Modelo	4D95LW
Potência	26/31kw/1800rpm
Cap. Depósito Gasóleo	100 Lts
Consumo	5.9 l/h

**SISTEMA ELÉCTRICO :**

Baterias	(1) 12V/120A.h
----------	----------------

**DIMENSÕES PARA TRANSPORTE :**

Comprimento	1850 mm
Largura	880 mm
Altura	1200 mm
Peso	990 Kg



**Hormigoneras  
con Corona**  
Serie  
**H**  
Series  
**Ring-gear  
Concrete Mixers**

Serie  
Hormigoneras  
con Corona  
Series  
Ring-gear  
Concrete  
Mixers



# Hormigoneras con Corona

Serie  
**H**  
Series

# Ring-gear Concrete Mixers

DATOS TÉCNICOS TECHNICAL DATA	MODELOS MODELS						
	H-100	H-120	H-140	H-160	H-200	H-250	H-300
Volumen de la cuba (litros) <i>Drum volume (litres)</i>	180	197	226	234	265	382	420
Capacidad útil de amasado (litros) <i>Mixing output (litres)</i>	100	120	140	160	200	250	300
Potencia motor eléctrico (CV) <i>Power, electric motor (HP)</i>	0,33	0,5	0,75	1,5	2	2	3
Potencia motor gasolina (CV) <i>Power, gasoline engine (HP)</i>	-	2	2	2	2	3	3
Potencia motor diesel (CV) <i>Power, diesel engine (HP)</i>	-	-	-	3/6	3/6	3/6	3/6
Dimensiones (m) <i>Dimensions (m)</i>	1,3x0,7x1,3	1,4x0,7x1,4	1,4x0,7x1,4	1,6x1x1,5	1,6x1x1,6	1,8x1x1,6	1,8x1x1,7
Peso sin motor / con motor (Kg) <i>Weight with motor / without motor (Kg)</i>	110/120	119/130	121/132	218/237	237/260	291/321	333/363
Espesor de la cuba: fondo / cilindro (mm) <i>Drum thickness: bottom / cylinder (mm)</i>	2/2	2/2	2/2	5/4	5/4	5/4	5/4
Anchura de la corona (mm) <i>Ring-gear width (mm)</i>	37	37	37	48	48	48	48



Virolo de una pieza en fundición  
*Die-cast bearing support*



## PRINCIPALES CARACTERÍSTICAS

Hormigoneras extremadamente robustas, diseñadas para uso profesional: gran rendimiento de amasado y larga vida útil sin mantenimiento.

Cuba extra resistente, con borde reforzado y palas de amasado de alto rendimiento.

Virolo de una pieza en fundición. Con doble rodamiento estanco y engrase permanente.

Sistema de vuelco ergonómico y seguro, con volante de gran tamaño y pedal de anclaje.

Chasis rígido de gran estabilidad y muy fácil de limpiar.

Fabricadas según la Directiva Europea de Máquinas 98-37-CEE.

## MAIN FEATURES

*Extremely strong mixers, specially designed for professional use: high mixing performance and long life without maintenance.*

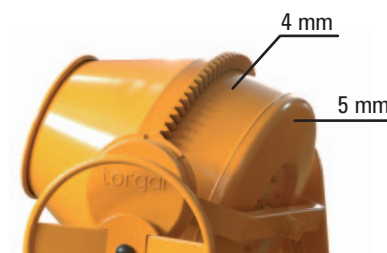
*Hard-wearing mixing drum, with reinforced rim and high efficiency welded-in paddles.*

*Die-cast bearing support. With double watertight bearing, lifetime lubricated.*

*Ergonomic and safe tipping system, with large hand-wheel and foot peddle locking system.*

*Strong and very stable chassis, easy to clean.*

*Manufactured according to 98-37-CEE European Regulations.*



Detalle del espesor de la cuba  
*Drum thickness detail*

desde **100** hasta **300L**  
*from to*

Las características del producto pueden variar respecto a las especificadas en este catálogo.

*Product characteristic may vary from this brochure specifications.*

[www.saltec.es](http://www.saltec.es)

Isidoro de Antillón, 13  
50014 Zaragoza - Spain  
Tel.: (+34) 976 57 17 37  
Fax: (+34) 976 57 19 54  
torgar@saltec.es

**SALTEC**  
Equipos para la Construcción, S.A.

**torgar**

# **ANEXO XII**

BOLETINS DE ENSAIO DE BALASTRO EM FIM DE VIDA

**ANÁLISE GRANULOMÉTRICA**  
Documento Normativo: EN 933-1: 2012

Boletim nº: 45/13  
Pedido nº: 9020

Obra: IDI - Investigação

Requerente: IR

Tel: 219948000

Fax:

E-mail: [ir@teixeiraduarte.pt](mailto:ir@teixeiraduarte.pt)

Empresa: Teixeira Duarte - EC

Morada: Lagoas Park, Ed.2, Porto Salvo

Reprodução parcial condicionada à autorização expressa do Laboratório. Os resultados dos ensaios só são válidos para os itens ensaiados. Todas as indicações relativas à identificação e caracterização das amostras, salvo indicação em contrário, constituem transcrições do pedido de ensaio feito pelo requerente, ou são informações enviadas ao Laboratório por outra via documental, sendo portanto da inteira responsabilidade do Requerente. Salvo indicação em contrário, a responsabilidade pela coleta, conservação e transporte das amostras também é do requerente.

Amostra: 8047/13  
Agregado: Balastro 20/32  
Proveniência: Linha da Beira - Celorico  
Fornecedor: Somafel

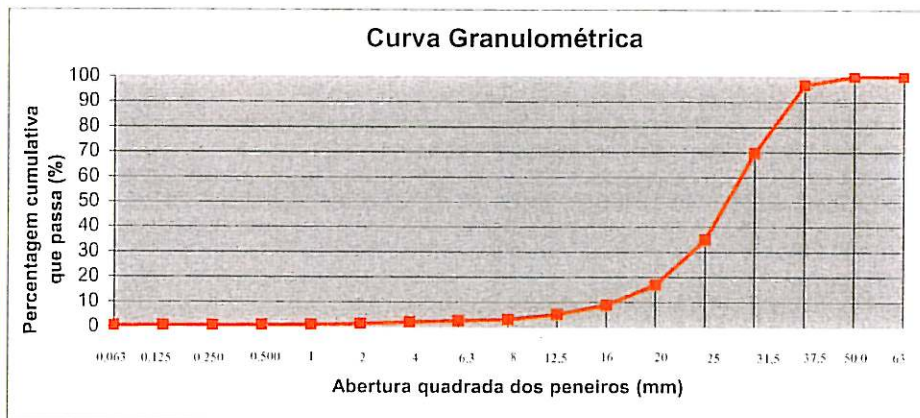
Data de entrada: 31-07-2013  
Data de ensaio: 05-08-2013

Procedimento usado: Lavagem e peneiração

Massa seca total: M1 (kg) = 20,625  
Massa seca após lavagem (> 63 µm): M2 (kg) = 20,566  
Massa restante no fundo: P (kg) = 0,0015

PENEIRO MALHA (mm)	Massa Retida (kg)	Material Retido (%)	Material Passado (%)
63,0			100
50,0			100
37,5	0,7220	3,5	96
31,5	5,5970	27,1	69
25,0	7,1600	34,7	35
20,0	3,7110	18,0	17
16,00	1,6750	8,1	9
12,50	0,7560	3,7	5
8,00	0,4293	2,1	3
6,30	0,0952	0,5	2
4,00	0,1425	0,7	2
2,00	0,1332	0,6	1
1,00	0,0666	0,3	1
0,500	0,0345	0,2	0
0,250	0,0196	0,1	0
0,125	0,0155	0,1	0
0,063	0,0123	0,1	0,3
Restante no fundo	0,0015	0,0	

Percentagem de finos **0,3%**



Observações:

Ensaiou:

*Bruno Silva*  
Bruno Silva (Auxiliar)

Data: 2-8-2013

O Responsável:

*Ana Chaves*  
Ana Chaves (Eng. Civil)

Data: 12/08/2013

**DETERMINAÇÃO DA FORMA DAS PARTÍCULAS - Índice de Achatamento**  
Documento normativo: EN 933-3 de 2012

Boletim nº: 46/13  
Pedido nº: 9020

Obra: IDI - Investigação

Requerente: IR

Tel: 219 948 000

Fax: \*\*\*\*

E-mail: [ir@teixeiraduarte.pt](mailto:ir@teixeiraduarte.pt)

Empresa: Teixeira Duarte - EC

Morada: Lagoas Park, Ed. 2, Porto Salvo

Amostra: 8047/13  
Agregado: Balastro da Via  
Proveniência: Linha da Beira - Celorico  
Fornecedor: Somafel

Data de entrada: 31-08-2013  
Data de ensaio: 07-08-2013

Massa do provete Mo (g) =	18264	Massa retida no peneiro de 100 mm (g) =		Massa que passa no peneiro de 4 mm (g) =	667
				Soma de massas rejeitadas (g) =	667
Peneiração em peneiros de ensaio		Peneiração em peneiros de barras			
Fração granulométrica d <sub>i</sub> /D <sub>i</sub>	Massa (R <sub>i</sub> ) da fração granulométrica d <sub>i</sub> /D <sub>i</sub>	Largura nominal da ranhura no peneiro de barras	Massa que passa pelo peneiro de barras (m <sub>i</sub> )	FI <sub>i</sub>	
mm	g	mm	g	= (m <sub>i</sub> /R <sub>i</sub> ) x 100	
80/100		50			
63/80		40			
50/63		31,5			
40/50		25			
31,5/40	4784	20	717	15%	
25/31,5	6334	16	1055	17%	
20/25	2912	12,5	375	13%	
16/20	1845	10	175	9%	
12,5/16	881	8	120	14%	
10/12,5	365	6,3	47	13%	
8/10	173	5	29	17%	
6,3/8	100	4	11	11%	
5/6,3	99	3,15	12	12%	
4/5	106	2,5	7	7%	
M <sub>1</sub> = Σ Ri =	17599	M <sub>2</sub> = Σ mi =	2548	FI = (M <sub>2</sub> /M <sub>1</sub> ) x 100 = 14%	
Massa da fração não testada					
100 x $\frac{M_0 - \{\sum Ri + \sum (m_{rejeitadas}) + \sum (m_{nãotestadas})\}}{M_0}$			0,0%		< 1%

Observações: Realização do ensaio até à fração granulométrica 63/80 mm.

Ensaiou

*Bruno Silva*

Bruno Silva (Auxiliar)

Data: 7-8-2013

O Responsável

*Ana Chaves*

Ana Chaves (Eng. Civil)

Data: 12.08.2013

Reprodução parcial condicionada a autorização expressa do Laboratório. Os resultados dos ensaios só são válidos para os tipos ensaiados. Todas as indicações relativas à identificação e caracterização das amostras, salvo indicação em contrário, constituem transcrições do pedido de ensaio feito pelo requerente, ou são informações enviadas ao Laboratório por outra via documental, sendo portanto da inteira responsabilidade do Requerente. Salvo indicação em contrário, a responsabilidade pela coleta, conservação e transporte das amostras também é do requerente.

**DETERMINAÇÃO DA RESISTÊNCIA AO ESMAGAMENTO**  
Documento Normativo: NP 1039 - 1974

Obra: IDI - Investigação

Requerente: IR

Tel.: 219948000

Fax.: \*\*\*

E-mail: ir@teixiraduarte.pt

Empresa: Teixeira Duarte - EC

Morada: Lagoas Park, Ed.2, Porto Salvo

Amostra: 8047/13  
Agregado: 20/32  
Proveniência: Linha da Beira - Celorico  
Fornecedor: Somafel

Boletim nº: 47/13  
Pedido nº: 9020  
Data de entrada: 31-07-2013  
Data do ensaio: 08-08-2013

**AGREGADO**

Massa do recipiente -  $m_1$  (g):  
Massa do recipiente cheio com o provete -  $m_2$  (g):  
Massa do material que passou no peneiro -  $m_3$  (g):

Provete 1	Provete 2
1435	1435
4088	4115
858	872

Fracção granulométrica (mm)	Massa do provete [ $m_2 - m_1$ ]	3º peneiro (mm)	Material após peneiração final [ $m_3$ ]	Resistência ao esmagamento (%)
25,0 - 19,0	2653	4,75	858	32,3
25,0 - 19,0	2680	4,75	872	32,5

Resistência ao Esmagamento (%) :

32,4

**Observações:**

Ensaiou:

*Bruno Silva*

Bruno Silva (Auxiliar)

Data: *8-08-2013*

Responsável:

*Ana Chaves*

Ana Chaves (Eng. Civil)

Data: *12.08.2013*

Reprodução parcial condicionada à autorização expressa do Laboratório. Os resultados dos ensaios só são válidos para os itens ensaiados. Todas as indicações relativas à identificação e caracterização das amostras, salvo indicação em contrário, constituem transcrições do pedido de ensaio feito pelo requerente, ou são informações enviadas ao Laboratório por outra via documental, sendo portanto da inteira responsabilidade do Requerente. Salvo indicação em contrário, a responsabilidade pela colheita, conservação e transporte das amostras também é do requerente.

# ANEXO XIII

ANÁLISE COMPARATIVA DE CUSTOS UNITÁRIOS

AGREGADO NOVO

BALASTRO EM FIM DE VIDA

Designação	Fonte	Quant	Un.	Preço Unitário	Sub-Total	Total/m3
<b>1. Utilização de Agregados Novos</b>						
<b>1.1 Agregado Granítico</b>		2430	m3			
1.1.1 Agregado Granítico 12/20 (30%)	Fornecedor	729	m3	10,50 €	7.654,50 €	3,15 €
1.1.2 Agregado Granítico 20/32 (70%)	Agregados	1701	m3	10,50 €	17.860,50 €	7,35 €
<b>1.2 Transporte</b>						
1.2.1 Transporte para obra						
Distância de 10 km entre obra e pedra	Fornecedor Agregados	10	km	0,12 €/m3	2.916,00 €	1,20 €
Distância de 20 km entre obra e pedra		20	km	0,12 €/m3	5.832,00 €	2,40 €
Distância de 25 km entre obra e pedra		25	km	0,12 €/m3	7.290,00 €	3,00 €
Distância de 50 km entre obra e pedra		50	km	0,12 €/m3	14.580,00 €	6,00 €
Distância de 75 km entre obra e pedra		75	km	0,12 €/m3	21.870,00 €	9,00 €
Distância de 100 km entre obra e pedra		100	km	0,12 €/m3	29.160,00 €	12,00 €
Distância de 125 km entre obra e pedra		125	km	0,12 €/m3	36.450,00 €	15,00 €
Distância de 150 km entre obra e pedra		150	km	0,12 €/m3	43.740,00 €	18,00 €
Distância de 175 km entre obra e pedra		175	km	0,12 €/m3	51.030,00 €	21,00 €
Distância de 200 km entre obra e pedra		200	km	0,12 €/m3	58.320,00 €	24,00 €
<b>1.3 Custo Total</b>						
Distância de 10 km entre obra e pedra					<b>28.431,00 €</b>	<b>11,70 €</b>
Distância de 20 km entre obra e pedra					<b>31.347,00 €</b>	<b>12,90 €</b>
Distância de 25 km entre obra e pedra					<b>32.805,00 €</b>	<b>13,50 €</b>
Distância de 50 km entre obra e pedra					<b>40.095,00 €</b>	<b>16,50 €</b>
Distância de 75 km entre obra e pedra					<b>47.385,00 €</b>	<b>19,50 €</b>
Distância de 100 km entre obra e pedra					<b>54.675,00 €</b>	<b>22,50 €</b>
Distância de 125 km entre obra e pedra					<b>61.965,00 €</b>	<b>25,50 €</b>
Distância de 150 km entre obra e pedra					<b>69.255,00 €</b>	<b>28,50 €</b>
Distância de 175 km entre obra e pedra					<b>76.545,00 €</b>	<b>31,50 €</b>
Distância de 200 km entre obra e pedra					<b>83.835,00 €</b>	<b>34,50 €</b>
<b>2. Utilização de Balastro em Fim de Vida</b>						
<b>2.1 Balastro em Fim de Vida</b>						
2.1.1 Balastro Granítico		2430	m3	- €	- €	- €
<b>2.2 Aluguer de Britadeira</b>						
2.2.1 Transporte da britadeira (ida e volta)	Operador de Resíduos	2	un	1.250,00 €	2.500,00 €	1,03 €
2.2.2 Aluguer da Britadeira (rend.=140 ton/h)		2430	m3	0,89 €/ton	3.905,36 €	1,61 €
2.2.3 Operador da britadeira (incluido no aluguer britadeira)		1	un	- €	- €	- €
2.2.4 Consumo de água (lavagem brita - 4m3/150 m3 brita)	Teixeira Duarte	74,8	m3	1,5 €/m3	112,20 €	0,05 €
<b>2.3 Transporte de Balastro</b>						
1.2.1 Transporte para obra						
Distância de 10 km entre obra e via férrea	Fornecedor Agregados	10	km	0,12 €/m3	2.916,00 €	1,20 €
Distância de 20 km entre obra e via férrea		20	km	0,12 €/m3	5.832,00 €	2,40 €
Distância de 25 km entre obra e via férrea		25	km	0,12 €/m3	7.290,00 €	3,00 €
Distância de 50 km entre obra e via férrea		50	km	0,12 €/m3	14.580,00 €	6,00 €
Distância de 75 km entre obra e via férrea		75	km	0,12 €/m3	21.870,00 €	9,00 €
Distância de 100 km entre obra e via férrea		100	km	0,12 €/m3	29.160,00 €	12,00 €
Distância de 125 km entre obra e via férrea		125	km	0,12 €/m3	36.450,00 €	15,00 €
Distância de 150 km entre obra e via férrea		150	km	0,12 €/m3	43.740,00 €	18,00 €
Distância de 175 km entre obra e via férrea		175	km	0,12 €/m3	51.030,00 €	21,00 €
Distância de 200 km entre obra e via férrea		200	km	0,12 €/m3	58.320,00 €	24,00 €
<b>2.4 Carregamento de balastro</b>						
2.4.1 Pá carregadora incluindo manobrador e combustível	Teixeira Duarte	1	un	55 €/h	-	-
<b>2.5 Custo Total</b>						
Distância de 10 km entre obra e origem balastro					<b>9.433,56 €</b>	<b>3,88 €</b>
Distância de 20 km entre obra e origem balastro					<b>12.349,56 €</b>	<b>5,08 €</b>
Distância de 25 km entre obra e origem balastro					<b>13.807,56 €</b>	<b>5,68 €</b>
Distância de 50 km entre obra e origem balastro					<b>21.097,56 €</b>	<b>8,68 €</b>
Distância de 75 km entre obra e origem balastro					<b>28.387,56 €</b>	<b>11,68 €</b>
Distância de 100 km entre obra e origem balastro					<b>35.677,56 €</b>	<b>14,68 €</b>
Distância de 125 km entre obra e origem balastro					<b>42.967,56 €</b>	<b>17,68 €</b>
Distância de 150 km entre obra e origem balastro					<b>50.257,56 €</b>	<b>20,68 €</b>
Distância de 175 km entre obra e origem balastro					<b>57.547,56 €</b>	<b>23,68 €</b>
Distância de 200 km entre obra e origem balastro					<b>64.837,56 €</b>	<b>26,68 €</b>