



FCTUC DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL
FACULDADE DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIA
UNIVERSIDADE DE COIMBRA

Camadas Estruturais de Pavimentos Rodoviários Tratadas com Cimento

Dissertação apresentada para a obtenção do grau de Mestre em Engenharia Civil
na Especialidade de Urbanismo, Transportes e Vias de Comunicação

Autor

João Pedro Carvalho Cabral

Orientador

Professor Doutor Adelino Jorge Lopes Ferreira

Esta dissertação é da exclusiva responsabilidade do seu autor, não tendo sofrido correções após a defesa em provas públicas. O Departamento de Engenharia Civil da FCTUC declina qualquer responsabilidade pelo uso da informação apresentada

Cooperação Institucional



Coimbra, Julho de 2014

AGRADECIMENTOS

Este trabalho foi realizado no âmbito do projeto MODAT - Sistema de Apoio à Decisão Multiobjectivo para Gestão de Infraestruturas Rodoviárias (PTDC/ECM/112775/2009) e do projeto EMSURE - Energia e Mobilidade para Regiões Sustentáveis (CENTRO-07-0224-FEDER-002004).

Dedico este projeto à minha mulher Maria João, aos meus filhos Carlota e Gonçalo, a razão de todos os meus esforços e objetivos de vida.

Ao Professor Adelino Ferreira o meu agradecimento pelo acompanhamento e tolerância para com este aluno há muito arredado da vida académica agora retomada com esta etapa.

Finalmente o meu obrigado aos colegas João Sequeira e ao Nuno Fernandes que contribuíram na recolha de alguma documentação de algumas obras que dirigi.

RESUMO

A irregular consideração em projecto da solução de camadas estruturais tratadas com cimento não tem produzido a discussão do tema e o aprofundamento da aplicação desta solução como pratica corrente.

A presente tese tem como objetivo a abordagem a uma técnica construtiva pouco utilizada em Portugal, principalmente em obras rodoviárias de grande dimensão como autoestradas e itinerários principais.

O documento pretende abordar o conceito desde o estudo da sua aplicabilidade, passando pelas metodologias de fabrico, execução em obra, controlo de qualidade e análise global da solução.

A simples discussão do tema, a análise das suas especificidades e a sua pratica permitirão no futuro um melhor domínio deste técnica e possivelmente a compilação da experiencia de todas as entidades envolvidas nesta solução, podendo transformar o conhecimento aprofundado do tema numa técnica corrente no setor rodoviário e ferroviário em Portugal.

ABSTRACT

The irregular design consideration in the solution of structural layers treated with cement has not produced the discussion of the topic and the deepening of application of this solution as current practice.

This thesis aims to approach a construction technique rarely used in Portugal, mainly in road works of large dimension as motorways and main roads.

The document aims to address the concept from a study of its applicability, through the methods of production, execution in the field, quality control and analysis of the global solution.

The simple discussion of the topic, the analysis of their characteristics and their practice in the future will allow a better grasp of this technique and possibly compiling the experience of all those involved in this solution, being able to transform the in-depth knowledge of the subject in a current technique in the road and rail sector in Portugal

ÍNDICE

1. INTRODUÇÃO.....	1
1.1. Objetivos.....	1
1.2. Estrutura da Dissertação	1
2. O ESTADO DA ARTE	3
3. O ESTUDO DE CASOS	7
3.1. O Caderno de Encargos	7
3.2. Casos Práticos.....	14
3.2.1. O Estudo dos Componentes e da Mistura.....	14
3.2.1.1. Agregados britados.....	14
3.2.1.2. Solos e tratamento de solos	20
3.2.2. Trecho Experimental.....	28
3.2.3. Fabrico da Mistura	33
3.2.3.1. A central e o controlo do fabrico.....	33
3.2.3.2. <i>In-situ</i> – método construtivo	39
3.2.4. Equipas de Trabalho	43
3.2.4.1. Agregado britado com cimento fabricado em central	43
3.2.4.2. Solo-cimento <i>in-situ</i>	46
3.3. Controlo de Qualidade.....	51
3.4. Analise Económica	52
3.5. Impactes Ambientais	56
4. CONSIDERAÇÕES FINAIS	58
5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	59
ANEXO A	60
ANEXO B	65
ANEXO C	66

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 2.1 – Recicladora de solos.....	5
Figura 2.2 – Central de produção contínua.....	6
Figura 3.1 – Compactação do solo	21
Figura 3.2 – Ensaio de baridade com garrafa de areia.....	22
Figura 3.3 – Trecho experimental em solo-cimento.....	32
Figura 3.4 - Central contínua de ABGEC	34
Figura 3.5 – Esquema de componentes de central de fabrico contínuo	35
Figura 3.6 – Preparação da PSA.....	39
Figura 3.7 – Espalhamento dos solos	40
Figura 3.8 – Regularização e compactação da mistura	42
Figura 3.9 – Rega de cura.....	42
Figura 3.10 – Espalhamento com recurso a espalhadora.....	45
Figura 3.11 – Silos móveis de cimento.....	46
Figura 3.12 – Dosificador de cimento por via seca	48
Figura 3.13 – Mistura solo-cimento com grade de discos.....	49

ÍNDICE DE QUADROS

Quadro 3.1 – Classe de solos para tratamento.....	9
Quadro 3.2 – Agregados para tratamento.....	11
Quadro 3.3 – Tolerâncias para granulometrias.....	13
Quadro 3.4 – Requisitos dos agregados a utilizar na mistura agregado-cimento.....	15
Quadro 3.5 - Análise granulométrica (peneiros ISO) da amostra de tout-venant 0/31,5 (NP EN 933-1).....	16
Quadro 3.6 - Resultados do ensaio de perda por desgaste – Los Angeles (granulometria A) da amostra de tout-venant 0/31,5 (LNEC E 237).....	16
Quadro 3.7 - Resultados do ensaio de determinação dos limites de consistência da amostra de tout-venant 0/31,5 (NP 143).....	17
Quadro 3.8 - Resultados do ensaio de equivalente de areia da amostra de tout-venant 0/31,5 (LNEC E 199).....	17
Quadro 3.9 - Resultados do ensaio de determinação do índice de lamelação e de alongamento da amostra de tout-venant 0/31,5 (BS 812).....	17
Quadro 3.10 - Resultados do ensaio de determinação do valor de azul de metileno da amostra de tout-venant 0/31,5 (NF P 18-592).....	17
Quadro 3.11 - Resultados dos ensaios externos de teor em sulfatos e teor em húmus (matéria orgânica), de amostra de tout-venant (NP EN 1744-1).....	18
Quadro 3.12 - Resultados do ensaio de compactação Proctor Corrigido, da amostra de tout-venant 0/31,5 (LNEC E 197).....	18
Quadro 3.13 - Resultados dos ensaios de compactação da mistura agregado-cimento (BS 1924-Test 5).....	19
Quadro 3.14 - Resultados dos ensaios de compressão diametral e simples de provetes da mistura agregado-cimento (NLT 304/89, NLT 305/90).....	19
Quadro 3.15 – Coeficiente de uniformidade e conformidade.....	24
Quadro 3.16 – Identificação das amostras.....	25
Quadro 3.17 – Granulometria.....	26
Quadro 3.18 – Resultados.....	27
Quadro 3.19 – Teores de ligante.....	28
Quadro 3.20 - Caracterização do solo a utilizar na mistura solo-cimento.....	30
Quadro 3.21 - Resultados do ensaio de compactação Proctor sobre as misturas solo-cimento com diferentes percentagens de ligante, utilizando os solos da escavação em plena via entre os PK 3+400 e 3+700.....	31
Quadro 3.22 - Resultados dos ensaios de resistência à compressão das misturas solo-cimento com diferentes percentagens de ligante, utilizando os solos da escavação em plena via entre os PK 3+400 e 3+700.....	31
Quadro 3.23 – Ensaio de carga com placa.....	32
Quadro 3.24 – Tabela de cálculo para central – exemplo.....	38

SIMBOLOGIA E ABREVIATURAS

LCPC - Laboratoire Central Des Ponts et Chaussées

SETRA - Service D'Etudes Techniques des Routes et Autoroutes

IECA – Instituto Español Del Cemento y Sus Aplicaciones

ANCADE – Asociación Nacional de Fabricantes de Cales y Derivados de España

ANTER – Asociación Nacional Técnica de Estabilizados de Suelos y Reciclados de Firmes

NLA – National Lime Association

PCA – Portland Cement Association

DNER – Departamento Nacional de Estradas de Rodagem

EP – Estradas de Portugal

CE – Caderno de Encargos

EN – Norma Europeia

NP – Norma Portuguesa

NF – Norm Française

BS – British Standard

ABGEC – Agregado Britado de Granulometria extensa

CBR – Californian Bearing Ratio

D - Diâmetro

EA – equivalente de areia

ASTM – American Society for Testing and Materials

LNEC - Laboratório Nacional de Engenharia Civil.

NLT - Normas del Laboratorio del Transporte y Mecánica del Suelo

ISO – International Organization for Standardization

AICEP – Agencia para o Investimento e Comercio Externo de Portugal

ASTM – American Society for testing and materials

MPa – Mega Pascal

JAE – Junta Autónoma de Estradas

PSA – Parte Superior do Aterro

AFNOR – Association Française de Normalisation

ZILS – Zona Industrial e Logística de Sines

GPS – Global Positioning System

1. INTRODUÇÃO

1.1. Objetivos

A consideração de camadas estruturais de pavimentos rodoviários em materiais tratados com cimento nos projetos de dimensionamento ainda não é prática corrente em Portugal, apesar de o ser em muitos países da Europa e na maioria dos países da América do sul desde há muitos anos, onde esta metodologia está rotinada e com experiência prática muito desenvolvida.

Esta tese pretende abordar a metodologia de execução destas camadas estruturais considerando experiências práticas de obra executadas em Portugal, contribuindo assim para a melhor compreensão e aceitação destes métodos em projetos futuros.

Construída que está grande parte da rede rodoviária principal em Portugal e com o agravamento da situação financeira do país verificado nos últimos anos, constata-se que grande parte do tráfego, principalmente pesado, que circulava nesses eixos principais de autoestradas sem custos para o utilizador, deixou de o fazer com o agravamento das portagens, passando a circular nas vias da rede rodoviária secundária.

A sobrecarga de tráfego pesado dos principais eixos rodoviários da rede secundária (Itinerários complementares e Estradas Nacionais) acelerou o seu estado de degradação que nalguns casos é já muito acentuado. Para tal contribui não só o citado aumento de tráfego mas também o facto de muitas dessas vias não terem sido dimensionadas para as situações de utilização de serviço que agora sustentam.

Será assim inevitável a curto e médio prazo a reabilitação desses eixos rodoviários com predominante atuação nos reforços estruturais do pavimento.

Desta forma, faz sentido ter em conta as diversas soluções que ao nível da estrutura dos pavimentos podem ser adotadas, analisar as mais adequadas em função das vias a intervir, reduzir o impacto das obras fundamentalmente em vias com manutenção de serviço, entre outros aspetos a considerar.

É nesse sentido que a abordagem apresentada neste documento pretende contribuir como uma mais-valia na discussão deste tipo de soluções, não pretendendo impor-se a qualquer outra de utilização mais corrente, mas expondo a sua aplicabilidade, vantagens e desvantagens no contexto rodoviário atual.

1.2. Estrutura da Dissertação

O documento está dividido em cinco capítulos.

No Capítulo 1 faz-se uma introdução ao tema em análise considerando o enquadramento e, de forma sucinta, a abordagem que se pretende fazer ao assunto.

No Capítulo 2 pretende-se, através do exemplo de outros países de referência na utilização de cimento no tratamento de camadas estruturais de pavimentos, enriquecer a abrangência do

tema com uma breve descrição do histórico da atividade nessas regiões e sua realidade atual em termos de regulamentação.

O Capítulo 3 faz, num primeiro ponto, um resumo dos pressupostos do caderno de encargos da empresa EP sem pretender transcrevê-los ou detalhá-los, apenas com o intuito de perceber a abordagem feita em Portugal que se transporta para os projetos e, conseqüentemente, para as obras a executar no nosso País, com enfoque direcionado para os casos práticos apresentados no ponto seguinte.

No ponto seguinte faz-se a abordagem dos casos de estudo desta tese, constituindo exemplos práticos de obras já executadas tendo presentes os pressupostos do Caderno de Encargos aplicável, o da empresa EP na maioria dos casos, ou, no caso de outras entidades, de transcrições do primeiro.

Neste documento pretende-se, através desse suporte prático de situações reais, expor as metodologias adotadas, desde os estudos laboratoriais à produção das misturas em central e in-situ com solos e com agregados britados de granulometria extensa, passando pelas condicionantes particulares de cada obra, seja em plena via ou em alargamentos de perfis transversais.

Serão também abordadas as constituições das equipas adequadas a cada situação, dependentes quer dos fatores produtivos, quer mais uma vez dos condicionalismos locais e das próprias características das misturas em tratamento para aplicação em obra.

Abordar-se-á também o processo de controlo laboratorial associado à atividade, desde a produção das misturas até à sua aplicação em obra, sendo também tida em conta a metodologia de controlo topográfico associado à construção destas camadas e suas implicações.

Por fim, far-se-á uma breve referência conclusiva dos benefícios e inconvenientes deste tipo de camadas estruturais, tendo em conta as características intrínsecas à execução desta atividade, as implicações financeiras e os impactes ambientais a ter em consideração.

No Capítulo 4 tecem-se as considerações finais com um breve resumo da análise do tema do documento, apontando o seu contributo para o estado da arte.

O capítulo 5 corresponde à listagem das referências bibliográficas consideradas nesta dissertação.

2. O ESTADO DA ARTE

Tomemos como primeiro exemplo aquele que é desde há muito uma das referências Europeias no setor rodoviário, a França.

Desde o fim dos anos sessenta que a França utiliza a técnica de tratamento de solos com especial incidência no tratamento de solos húmidos e sensíveis à água.

Estes tratamentos, naquela época, permitiram obter grandes vantagens económicas ao permitir a utilização de solos inadequados em movimentos de terras de grandes volumes na construção de eixos rodoviários de grande relevo e, inclusivamente, na construção do maior aeroporto de França, o *Roissy-Charles de Gaulle*.

Na realização dessas experiências recolhe-se informação necessária para se iniciar a intenção de produção de um documento compilador e orientador de uma nova atividade passível de grandes benefícios na construção de vias de comunicação, fundamentalmente de grandes eixos rodoviários.

Com o decorrer dos anos, a aplicação de diversos produtos de tratamento de solos, a diversidade dos próprios solos a tratar e os métodos de tratamento foram-se diversificando até ao surgimento do primeiro documento orientador da atividade em 1992, designado por *Guide technique pour la réalisation des remblais et des couchés de forme* (LCPC, 1992) que tipifica, para utilização generalizada, a forma de atuação perante várias classes de materiais a tratar por forma a serem passíveis de utilização em leitos de pavimento.

Mais tarde e após a emissão de mais regulamentação no decorrer da década de 90, os grupos de trabalho normalmente constituídos por empresas de construção, produtores de produtos de tratamento de solos e laboratórios Estatais, produziram um documento em Janeiro de 2000 que tem por base as linhas de orientação anteriores da década de 90 com o objetivo de servir de guia a uma homogeneização das práticas e técnicas de construção desta atividade. Esse documento em vigor ainda hoje designa-se por *Traitement des sols à la chaux et/ou liants hydrauliques - guide technique*, (LCPC, 2000) e o *Service D'Etudes Techniques des Routes et Autoroutes (SETRA)*, com nova edição em 2007.

Em Janeiro de 2011 o LCPC funde-se numa instituição estatal agora designada por *Institut Français des Sciences et Technologies des Transports, de L'Aménagement et des Reseaux*.

Torna-se desta breve descrição clarividente a experiência de mais de 40 anos da França no estudo e tratamento de solos com ligantes.

Tomemos agora como exemplo o caso da Espanha, que desde a década de 50 começa a estabilizar solos de caminhos rurais, mas apenas desde a década final do século passado começa de forma massiva a estabilizar solos em autoestradas e aeroportos, aproveitando as evoluções das técnicas estabilizadoras e dos equipamentos associados à construção desta atividade em larga escala.

O forte crescimento do sector da construção, nomeadamente do sector rodoviário nos anos 90 quer em Portugal quer em Espanha, incrementado pelos financiamentos Europeus,

impulsionou o desenvolvimento da atividade da estabilização de solos com ligantes hidráulicos que em Espanha teve papel fulcral na construção rodoviária da última década do século passado até ao início deste século.

Já na década de 70, a Espanha emitia documentação relativa à construção de caminhos solo-cimento.

Em 1985 surge o IECA, como instituto privado com o objetivo de promover o estudo da investigação e difusão dos conhecimentos e tecnologias relativas ao cimento.

Já na década de 90, com o já citado desenvolvimento exponencial do sector, surgem com mais frequência publicações ligadas ao tema.

Surgem também associações ligadas ao sector como a ANCADE em 1995.

Ambas as associações supracitadas emitiram documentação técnica com regularidade entre manuais e normas desde os finais da década de 90 até praticamente a atualidade.

Surgem então em 2005 a ANTER com o objetivo de promover o desenvolvimento da indústria e engenharia da estabilização de solos e reciclados de pavimentos.

Esta associação congrega desde essa data todos os intervenientes de relevo presentes nesta atividade que ganha um peso significativo no setor rodoviário em Espanha. Estão presentes desde os fabricantes de produtos estabilizadores que já possuíam organizações próprias, consultores de engenharia e construtores rodoviários.

A *ANCADE*, *ANTER* e *IECA*, em parceria com Universidades Públicas, Construtores e Laboratórios emitem em 2008 aquele que será talvez um dos melhores Manuais da especialidade para o mercado Espanhol – *Manual de estabilización de suelos com cemento o cal* (IECA, 2008), subvencionado pelo Ministério de Fomento de Espanha.

A Espanha constituía assim várias organizações de carácter técnico de apoio e desenvolvimento dessa atividade da estabilização de solos com ligantes que permitiu aos construtores equiparem-se com os mais modernos meios de construção de camadas tratadas para responder às solicitações dos projetos rodoviários que abrangiam toda a Espanha.

Atualmente, com a crise que também afeta a Espanha e com o conseqüente abrandamento da construção rodoviária naquele país, verificou-se a quase total desmobilização das empresas destas atividade para países da europa comunitária de leste, agora abrangidos pelos mesmos fundos comunitários que a Península Ibérica nos anos 90 e para a América do Sul em países tradicionalmente relacionados com o mercado construtor Espanhol onde já estavam fortemente implantados.

Na década de 60 surge na Alemanha a *WIRTGEN*, hoje marca de referência em toda a Europa na produção de equipamentos pesados rodoviários, que demonstra que também em alguns países da Europa como a Alemanha, Reino Unido, Itália entre outros já anteriormente citados, há a necessidade de adaptar os equipamentos de construção à nova realidade do tratamento de solos rodoviários.

Mudando de continente, também nos Estados Unidos existe uma forte tradição quer na construção de pavimentos em betão, quer na estabilização de solos com cimento.

A NLA publica desde o final dos anos 90 vários documentos relacionados com o tratamento de solos com cal.

Por outro lado a PCA emitiu um manual de tratamento de solos com cimento em 1979 e revisto em 1995, ainda hoje em vigor, que orienta a construção destas camadas.

É neste País que está sediada uma das maiores empresas mundiais de equipamentos rodoviários e não só, criada na década de 30 ainda sob outra marca (*EUCLIDE*), a *TEREX*, agregadora de outras grandes marcas de equipamentos Norte Americanas, cuja base de construção de equipamento rodoviário e equipamento pesado está sediada em *Oklahoma City* sob a designação de *TEREX ROADBUILDING*.

É ali que se fabricam entre outros equipamentos, as recicladoras de solos mais modernas como a da Figura 2.1, construídas para garantir grandes rendimentos a baixos custos, fator preponderante na construção de grandes extensões de eixos rodoviários de auto estradas que sempre existiram na América e recentemente também existem nos países emergentes de África.

A antiguidade da especialização dos equipamentos deste grupo é demonstradora da sua utilidade na construção rodoviária Norte Americana desde essa época.



Figura 2.1 – Recicladora de solos

Paralelamente, a *TEREX* possui no Brasil a base de construção de centrais betuminosas e centrais misturadoras de solos para camadas tratadas, como a ilustrada na Figura 2.2, representando o centro de distribuição para a América e África.



Figura 2.2 – Central de produção contínua

Em boa parte dos países da América Latina, como o Paraguai, Colômbia, Peru e Brasil, a construção de camadas tratadas em eixos rodoviários também é muito expressiva, já que a construção de estradas e autoestradas nestes países são muitas vezes grandes trechos, por vezes com centenas de quilômetros de extensão, obrigando a grandes rendimentos de execução de trabalhos e naturalmente grandes movimentos de solos que têm que ser minimizados por questões ambientais e económicas.

O Brasil também produz há algum tempo normativas orientadoras do tratamento de solos e camadas estruturais de pavimentação, como por exemplo no Estado de São Paulo para sub-bases e bases tratadas com cimento e incremento de britas, com documentação emitida desde 1997 e Manual de Normas de 2006, atualmente em vigor (Departamento de Transportes e Estradas de Rodagem, 2006).

Outros estados adotam variantes para trabalhos idênticos como o estado do Paraná, mas com abordagens semelhantes nos princípios adotados.

O DNER emite também, desde a década de 70, normativas de trabalho sobre a atividade do tratamento de solos, com atualizações periódicas.

O Brasil tem também um leque abrangente de associações relacionadas com os ligantes de integração em tratamento de solos e bases, tais como cimento e cal.

Fica patente que o tema não é novo e que desde cedo se tentou regulamentar e direcionar as metodologias de execução num sentido convergente e balizador, que se tem aprofundado com a experiência acumulada e muitas vezes em associativismo, como aliás se tentou aqui demonstrar.

3. O ESTUDO DE CASOS

3.1. O Caderno de Encargos

Em Portugal, a entidade de referência da construção rodoviária é sem dúvida a empresa Estradas de Portugal S.A.

O Caderno de Encargos da EP é sem dúvida o mais completo e abrangente no que diz respeito à regulamentação do setor. Durante muitos anos foi utilizada uma versão do documento produzido em 1998 pela Junta Autónoma de Estradas que vigorou até há poucos anos atrás.

Atualmente têm sido produzidas versões faseadas dos diversos capítulos correspondentes aos volumes constituintes do documento, com atualizações à medida que vão sendo aperfeiçoadas versões anteriores.

No que toca ao tema em causa, muitas das obras realizadas em Portugal no âmbito da análise desta tese a desenvolver no ponto 3.2 foram-no ao abrigo da versão de 1998, que em particular neste campo sofreu as atualizações relativas a Normas Europeias (EN) transcritas para as Normas Portuguesas (NP).

A versão atual da CE já contempla algumas dessas normas, umas já com transcrição para NP, outras referenciadas, mas ainda sem transcrição.

A maioria destas Normas diz respeito ao tratamento e análise laboratorial dos constituintes das misturas, desde solos a agregados, métodos e regras de ensaios.

Toda a série EN / NP EN 13286 refere-se a misturas de agregados não ligadas e tratadas com ligantes hidráulicos, enquanto as NP EN 14227-10 e 11 são especificações para o solo-cimento e solo-cal, havendo ainda a considerar por exemplo a EN 14227-1, não traduzida para NP. Já a NP EN 13242 regulamenta os agregados britados a considerar nas misturas.

A CE da EP está subdividido por volumes desde o 0 até ao IX, e dentro de cada volume temos três capítulos:

- Capítulo 14 – Características dos materiais;
- Capítulo 15 – Métodos construtivos;
- Capítulo 16 – Dicionário de rubricas e critérios de medição.

A nossa análise vai centrar-se nos volumes I e III, relativos a Terraplenagem e Pavimentação, respetivamente, e nos capítulos 14 e 15.

No capítulo 14 (Características dos materiais) são considerados os materiais a adotar no tratamento das misturas, desde as classes de solos ou agregados a considerar, passando pelas granulometrias permitidas, ligante e normas aplicáveis, algumas já referidas no parágrafo anterior.

As tolerâncias e os resultados a obter em obra são neste capítulo normalmente balizados em função dos resultados obtidos em laboratório e servirão de base à elaboração dos estudos das misturas, tema que se abordará mais à frente.

É no capítulo 15 que temos a descrição da atividade, abrangendo as regras desde a elaboração do estudo laboratorial, onde fica definida a composição da mistura perante os parâmetros impostos, passando pela definição do trecho experimental, até ao fabrico da mistura e sua aplicação.

Vemos desde logo que o tema do tratamento das camadas estruturais com ligantes hidráulicos está separado em função do tipo de camada, sendo as camadas de leito de pavimento consideradas no capítulo das terraplenagens, por serem normalmente executadas em solos tratados, e as sub-bases e bases consideradas no capítulo da pavimentação, por serem executadas com agregados britados de granulometria extensa (ABGE).

Temos ainda que o fabrico das misturas *In-situ*, desde o fabrico até à sua aplicação, é tratado no volume I das terraplenagens, enquanto o fabrico em central está considerado no volume III relativo à pavimentação.

Tal separação entende-se pelo facto de a mistura de ABGE com cimento (ABGEC) ter que ser forçosamente executada em central por imposição do CE e a execução de leito de pavimento em solo-cimento ser normalmente executada *In-situ*.

Como vimos no capítulo anterior relativo ao estado da arte, em muitos países utilizadores destas técnicas, a constituição de um documento único da atividade, compilador de todo o processo construtivo, desde os estudos, ao fabrico, métodos construtivos, equipas de trabalho resultados de controlo laboratorial e topográfico, são compilados em manuais, resultantes da experiencia obtida por todos os intervenientes, que servem de guia a toda a atividade, seja ela de solos ou agregados tratados.

Tal facto enriquece o conhecimento, agiliza e simplifica a construção, permitindo a projetistas, construtores e fiscalizações, um acompanhamento metódico da execução desta especialidade tão relevante.

Voltando ao CE da EP, verifica-se que as regras e limites estão muitas vezes balizados de forma genérica e por vezes pouco abrangente com breves descrições dos métodos de execução bem como dos resultados a obter, que passamos a sintetizar:

❖ Solocimento

Prescrições relativas aos materiais (Capítulo 14):

- Solo

A utilização de solos coerentes tratados com cal e/ou com ligantes hidráulicos na construção de aterros pressupõe a satisfação das seguintes características dos solos naturais (iniciais) e das misturas (finais) descritas no Quadro 3.1, com o objetivo de proporcionar adequadas condições de traficabilidade e de colocação em obra da mistura obtida (EP, 2009).

Quadro 3.1 – Classe de solos para tratamento

Classe de solo	CBR (Inicial)	CBRim (final)
S0	<3	5
S1	3 a 5	5 a 15
S2	5 a 8	7 a 20

CBRimediato - 95% Proctor Normal e para o W_{natural}

Os solos a utilizar no tratamento com cimento deverão satisfazer as seguintes características:

Quando misturado em central:

- D_{máx}.....50 mm
- Percentagem de material passada no peneiro nº 200 ASTM, máxima.....35%
- Índice de plasticidade, máximo.....12%

Quando misturado *in situ*:

- D_{máx}.....100 mm
- Índice de plasticidade, máximo.....12%

O Caderno de encargos permite a utilização de solos que não cumpram as características definidas anteriormente desde que se comprove a adequação de meios para fazer a correta mistura, deixando para o estudo da mistura e para o trecho experimental a adequabilidade da solução, ficando esta, de certa forma, por conta e risco do projetista e do construtor.

▪ Cimento

O cimento a utilizar no tratamento de solos será o tipo II classe 32,5, satisfazendo às Definições, Classes de Resistência e Características da NP 2064 e às prescrições do Caderno de Encargos para o Fornecimento e Receção dos Cimentos (NP 2065) ou às prescrições em vigor (EP, 2009).

A utilização deste tipo de cimento prende-se com o facto de que com uma classe de resistência mais baixa e, conseqüentemente, com menor calor de hidratação, minimiza-se a probabilidade de propagação de fissuras durante o processo de cura devido à retração.

Outra vantagem é o maior tempo com que se dá o início de presa, cerca de 2 horas favorável à execução das atividades subseqüentes à mistura, como sejam o transporte, espalhamento compactação e regularização final.

▪ Resultados

Os valores definidos e exigidos em CE para os provetes são os seguintes:

Características de longo prazo (aos 28 ou 90 dias respetivamente para os cimentos do tipo I ou II):

Resistência à compressão diâmetral, mínima.....	0,25 MPa
Resistência à compressão simples, mínima.....	2,00 MPa

Disposições relativas aos métodos construtivos (Capítulo 15):

- Estudo das misturas

O CE de 2009 exige, com já se referiu, um estudo da mistura a aplicar em obra tendo presentes os pressupostos balizadores descritos nos parágrafos anteriores, nomeadamente no que diz respeito aos resultados a obter.

O estudo deverá prever uma gama de teores em cimento de 0% a 5%, inclusive, e teores de água abaixo e acima do ótimo de forma a garantir uma abrangência de possibilidades de ocorrências em obra que podem ir desde as condições naturais dos solos na altura da mistura, até as condições meteorológicas, de aplicação e transporte das misturas.

Para garantir possíveis flutuações de fiabilidade no fabrico, é obrigatória a aplicação de mais 1% de dosagem de cimento para além do verificado no estudo laboratorial, no caso de fabrico *in-situ*.

No caso do fabrico em central, a tolerância da percentagem de cimento é de $\pm 0,3\%$, isto apesar de não ser definida qualquer metodologia de controlo e aferição de centrais, restringindo apenas as tolerâncias admissíveis do produto fabricado, facto que serve os interesses do dono de obra, delegando todo o ónus da obtenção desses resultados no *Know how* do construtor.

- Fabrico e aplicação

Na execução do trecho experimental é exigida uma extensão mínima de 100 metros, que manifestamente pode ser insuficiente, pois, pelas amplitudes de percentagens de cimento e teores em água considerados no estudo, será prudente considerar extensões maiores para enquadramento destas variáveis.

No caso da aplicação *in-situ*, onde a definição das equipas de trabalho são fundamentais para a garantia do sucesso da operação, logo do resultado do produto final, são definidas de forma abstrata os equipamentos a usar, sem especificar metodologias de trabalho, por exemplo, via seca ou via húmida no processo de mistura. Por outro lado, é balizada uma potência de 300 Cv para referência mínima do misturador, manifestamente insuficiente na maioria dos casos, sendo na prática variável consoante a espessura a tratar.

Apesar de referenciados métodos de trabalho, nomeadamente no que toca à humedificação, espalhamento do ligante, mistura e compactação, na fase de execução do trecho experimental deverão ser aferidos todos os fatores relativos a cada uma destas fases, tais como teores em água a acrescentar perante perdas por evaporação no processo, homogeneização da mistura, controle de empolamento, compactação e regularização final.

Mais uma vez as recomendações do CE poderão ser reajustados em função da realidade de cada obra e particularidade de cada solo e base de fundação.

O processo desde o fabrico da mistura *in-situ* até ao final da compactação à cota de projeto não deverá demorar mais do que 4,0 horas com temperaturas ambientais até 30°C, sendo reduzido para 3,0 horas quando superiores.

Já no caso de fabrico em central, o processo não poderá ultrapassar as 3,0 horas até 30°C de temperatura ambiente, sendo reduzido para metade no caso de temperaturas superiores.

Para garantir o controlo da cura da camada, é exigida uma rega de cura com emulsão catiónica rápida com uma taxa de 0,5 Kg/m² para camadas não traficadas com trânsito de obra, que ainda assim será interdito por 7 dias, ou quando a resistência à compressão simples dos provetes seja superior a 1 MPa. No caso de ser necessário tráfego de obra e após estes balizamentos, será executado um revestimento superficial de proteção com gravilha.

❖ ABGEC

Prescrições relativas aos materiais (Capítulo 14):

- Agregados

Os agregados britados de granulometria extensa (ABGE) a tratar com ligantes hidráulicos devem respeitar o fuso granulométrico indicado no Quadro 3.2.

Quadro 3.2 – Agregados para tratamento

ABGE 0/31,5 (d/D) – Fuso Granulométrico Categoria GA 80 (NP EN 13242)			
Requisitos	Peneiro	Abertura (mm)	% passados em massa
NP EN 13242	2D	63	100
	1,4D	40	100
	D	31,5	80-99
Requisitos Adicionais	-	16	63-77
	-	8	43-60
	-	4	30-52
	-	2	23-40
	-	1	14-35
	-	0,5	10-30
	-	0,0063	2-7

São ainda definidos os parâmetros para utilização de solos tratados com ligantes hidráulicos em camadas de sub-base, menos considerados em projecto, que normalmente considera ABGE em camadas de sub-base e de base.

O CE considera ainda um relevante número de quadros de requisitos e prosperidades dos materiais tendo em conta as normas NP EN e algumas normas do LNEC.

Os quadros estão separados em função do tipo de camada e do tipo de material a considerar, sejam sub-bases, bases, ou bermas, com solo e ABGE, tratados com cimento ou cal.

É ainda considerado um curto subcapítulo relativo a tratamento de misturas recicladas que sendo uma prática a ter em conta pelo seu potencial futuro, sai do âmbito do tratamento deste documento.

- Cimento

Os critérios relativos ao ligante são em tudo similares aos anotados acima para as misturas de solo-cimento em camadas de leito de pavimento.

Disposições relativas aos métodos construtivos (Capítulo 15):

- Estudo das misturas

O estudo da mistura a fabricar, seja em solo seja em ABGEC, não difere muito na metodologia, tendo naturalmente cada uma as particularidades relativas a cada material e ao resultado a obter em cada mistura.

Mesmo para fabrico de ABGEC, tal como em solo-cimento, seja em central seja *in-situ*, devem ser estudadas varias gamas de percentagens de cimento e teores em água por forma a poder testar no trecho experimental a fórmula mais equilibrada da mistura.

A execução dos trechos experimentais deve ser realizada o mais cedo possível com um mínimo de 30 dias relativamente à data pretendida de aplicação, já que são necessários pelo menos 28 dias para se conhecer os resultados dos provetes, não sobrando tempo algum para realização de novos trechos experimentais no caso da mistura se vier a provar incumpridora dos parâmetros do projecto no que diz respeito às resistências preconizadas.

Mais uma vez a extensão do trecho experimental exigida, cerca de 150 metros é pouca tendo em conta os sub-trechos correspondentes aos primeiros e últimos metros, a desprezar em termos de resultados por ser serem zonas de arranque e paragem dos meios de regularização e compactação, bem como a gama de fórmulas de mistura que se quer abrangente.

- Fabrico e aplicação

Neste capítulo que considera os fabricos em central, é exigido um plano de instalação da central com a descrição do tipo de equipamento a utilizar.

São definidas tolerâncias na fórmula de fabrico, mas é omissa o plano de calibração e controle de fabrico, fator preponderante para o sucesso da operação como se exemplificará mais à frente.

No Quadro 3.3 podem ver-se as tolerâncias admitidas para o fabrico em central.

Quadro 3.3 – Tolerâncias para granulometrias

Quadro 3 - Tolerâncias para a granulometria dos lotes individuais para a mistura 0/31,5			
Peneiros		Unidade	Amostras individuais
			Tolerância sobre a fórmula da mistura
40	1,4D	%	-2
31,5	D	%	+3
16	A	%	+8
8	B	%	+8
4	C	%	+8
2	E	%	+7
1	F	%	+5
0,5	G	%	+5
0,063	-	%	+1
Percentagem em cimento % ± 0,3		%	+0,3
D - Abertura do peneiro superior que pode reter material, em milímetros			
A, B, C, E, F G - Peneiros para a granulometria, de acordo com EN 13285, secção 4.4.1			

No transporte refere-se um fator preponderante ao sucesso da operação – a distância de transporte, já que se a central estiver demasiado longe do local de aplicação, ou se a obra for muito extensa, o tempo perdido no ciclo de transportes diminui o tempo de espalhamento e compactação, podendo ser insuficiente para que a operação ocorra nos limites impostos no CE que é de 3,0 horas.

No caso específico do ABGEC, o CE proíbe o uso de motoniveladoras no espalhamento da camada, obrigando à utilização de pavimentadoras.

Quanto aos meios de compactação, refere pelo menos um cilindro de rolos e um de pneus que deverão ser calibrados em função do tipo de mistura e altura da camada, apesar de referenciadas cargas estáticas indicativas.

São definidos também critérios de tratamento de juntas de trabalho que são de extrema importância para a evolução do comportamento futuro da estrutura do pavimento.

À semelhança do já descrito para as camadas de solo-cimento, também nas camadas de ABGEC deve ser garantido um tratamento de proteção à cura da mistura em tudo similar ao já descrito.

Também nesta mistura se deve ter como resultados de resistência à compressão simples de 1,0 MPa aos 28 dias, entre outros critérios de aceitação da camada definidos no CE.

A metodologia dos métodos construtivos de misturas recicladas também é abordada no novo CE mas sai do âmbito desta tese.

3.2. Casos Práticos

3.2.1. O Estudo dos Componentes e da Mistura

3.2.1.1. Agregados britados

Conforme referido no ponto anterior, o CE da EP de 2009 obriga à elaboração de um estudo da mistura de agregado com o cimento e a água, tendo presente a especificidade e comportamento que cada componente da mistura terá em cada obra.

A elaboração do estudo da mistura pressupõe o conhecimento detalhado dos inertes que têm que ser previamente caracterizados.

No âmbito da **Empreitada de construção de passagens desniveladas e respectivos restabelecimentos entre o PK 115+654 e o PK 117+699 na Estação de Évora** é proposta, para execução dos blocos técnicos confinantes com as obras de arte, uma mistura agregado-cimento fabricada na central de betão da Tecnovia sita na pedreira de Monte das Flores (Évora). Esta mistura utiliza o material designado por Tout-venant 0/31,5 produzido na instalação principal da pedreira da Tecnovia em Monte das Flores (Évora) e o Cimento Portland de Calcário CEM II / B-L 32,5N, produzido pela Cimpor.

Dando cumprimento às condições técnicas da obra, procedeu-se ao estudo laboratorial da mistura no Laboratório Central da Tecnovia para caracterização do Tout-venant, determinação do teor em água óptimo e à sua validação, com realização de amassaduras para determinação das características resistentes em provetes.

❖ REQUISITOS RELATIVOS AOS CONSTITUINTES

➤ Cimento

Relativamente ao cimento a utilizar na mistura agregado-cimento, de acordo com as condições técnicas, este deverá ser um cimento da classe de resistência 32,5N, segundo a Norma Portuguesa NP EN 197.

➤ Água

Relativamente à água a utilizar na mistura agregado-cimento, de acordo com as condições técnicas, deve ser doce, limpa e isenta de quaisquer substâncias orgânicas, cloretos, sulfatos ou outros sais, em percentagens prejudiciais, bem como óleos, ácidos, ou outros produtos nocivos, obedecendo obrigatoriamente ao que está previsto na legislação em vigor. A percentagem total de sulfatos existentes deve ser inferior a 0,2% em SO₃. Os valores máximos admissíveis para as impurezas em suspensão e dissolução deverão ser, respectivamente, 15 g/l e 30 g/l.

▪ Agregados

De acordo com as condições técnicas, os agregados a utilizar na mistura agregado-cimento devem obedecer aos requisitos indicados no Quadro 3.4.

Quadro 3.4 – Requisitos dos agregados a utilizar na mistura agregado-cimento

<i>Característica</i>	<i>Norma Aplicável</i>	<i>Requisito</i>		
		# ISO (mm)	% acumulada de material passado	
Análise granulométrica	NP EN 933-1	40,0	100	
		31,5	75 – 100	
		20,0	56 – 86	
		14,0	48 – 78	
		10,0	41 – 71	
		6,30	32 – 58	
		5,00	28 – 54	
		4,00	26 – 51	
		2,00	22 – 45	
		0,42	12 – 30	
		0,125	5 – 15	
		0,063	1 – 8	
		% retida no # 20mm		≤ 30%
		Perda por desgaste (Los Angeles – Gran. A)	LNEC E 237	≤ 50% (*)
Limites de consistência	NP 143	Limite de liquidez	≤ 25%	
		Índice de plasticidade	≤ 6%	
Equivalente de areia	LNEC E 199	≥ 40%		
Azul de metileno (<75µm)	NF P 18-592	≤ 2,0		
Índices de lamelação e alongamento	BS 812	≤ 35%		
Teor em sulfatos	NP EN 1744-1	≤ 0,5%		
Percentagem de matéria orgânica		≤ 0,5%		

(*) Obs: o material da pedra de Monte das Flores é granítico.

❖ CARACTERÍSTICAS DOS MATERIAIS

Neste ponto procede-se à caracterização dos materiais propostos (agregado, cimento e água).

- Caracterização do agregado Tout-venant 0/31,5 de Monte das Flores

O agregado proposto foi caracterizado em laboratório relativamente a cada um dos pontos apresentados no Quadro 3.4 e ao ensaio de compactação Proctor corrigido com base em amostra representativa (amostra 2525) colhida no stock do Tout-venant 0/31,5 de Monte das Flores.

- Análise Granulométrica (NP EN 933-1)

Foi realizada a análise granulométrica do material utilizando a série de peneiros ISO, de acordo com a especificação NP EN 933-1. O relatório de ensaio respectivo é apresentado no anexo 5, tendo sido obtidos os valores apresentados no Quadro 3.5. Os valores obtidos são comparados com os requisitos de agregados para a mistura agregado-cimento, cumprindo integralmente o fuso granulométrico prescrito.

Quadro 3.5 - Análise granulométrica (peneiros ISO) da amostra de tout-venant 0/31,5 (NP EN 933-1)

# ISO (mm)	% acumulada de material passado	
	Amostra 2525	Fuso granulométrico
40,0	100,0	100
31,5	98,6	75 – 100
20,0	73,0	56 – 86
14,0	56,6	48 – 78
10,0	45,2	41 – 71
6,30	36,0	32 – 58
5,00	33,2	28 – 54
4,00	30,2	26 – 51
2,00	24,9	22 – 45
0,125	7,0	5 – 15
0,063	3,9	1 – 8

Observa-se que são obtidos: (i) uma percentagem de material retido no peneiro 20 mm de 27%, cumprindo assim o limite máximo estabelecido de 30%; (ii) uma curva granulométrica com forma regular.

- Perda por desgaste – ensaio Los Angeles (LNEC E 237)

Foi realizado o ensaio Los Angeles (granulometria A), de acordo com a especificação LNEC E 237, para determinação da perda por desgaste, tendo sido obtidos os valores apresentados na Quadro 3.6. Os valores obtidos são comparados com o requisito de agregados para a mistura agregado-cimento, cumprindo a prescrição.

Quadro 3.6 - Resultados do ensaio de perda por desgaste – Los Angeles (granulometria A) da amostra de tout-venant 0/31,5 (LNEC E 237)

Amostra 2525	Requisito
39%	≤ 50%

- Limites de consistência (NP 143)

Foi realizado o ensaio de determinação dos limites de consistência, de acordo com a norma portuguesa NP 143, para aferição do limite de liquidez e do índice de plasticidade do material, tendo sido obtidos os valores apresentados no Quadro 3.7.

Os valores obtidos são comparados com os requisitos de agregados para a mistura agregado-cimento, cumprindo a prescrição.

Quadro 3.7 - Resultados do ensaio de determinação dos limites de consistência da amostra de tout-venant 0/31,5 (NP 143)

<i>Requisito</i>	<i>Amostra 2525</i>	<i>Requisitos</i>
Limite liquidez	NP	$\leq 25\%$
Índice plasticidade		$\leq 6\%$

- Equivalente de areia (LNEC E 199)

Foi realizado o ensaio de equivalente de areia, de acordo com a especificação LNEC E 199, tendo sido obtidos os valores apresentados no Quadro 3.8. Os valores obtidos são comparados com o requisito de agregados para a mistura agregado-cimento, cumprindo a prescrição.

Quadro 3.8 - Resultados do ensaio de equivalente de areia da amostra de tout-venant 0/31,5 (LNEC E 199)

<i>Amostra 2525</i>	<i>Requisito</i>
57%	$\geq 40\%$

- Índices de lamelação e alongamento (BS 812)

Foi realizado o ensaio de determinação dos índices de lamelação e alongamento, de acordo com a especificação BS 812, tendo sido obtidos os valores apresentados no Quadro 3.9. Os valores obtidos são comparados com o requisito de agregados para a mistura agregado-cimento, cumprindo a prescrição.

Quadro 3.9 - Resultados do ensaio de determinação do índice de lamelação e de alongamento da amostra de tout-venant 0/31,5 (BS 812)

<i>Requisito</i>	<i>Amostra 2525</i>	<i>Requisito</i>
Índice lamelação	24%	$\leq 35\%$
Índice alongamento	27%	

- Azul de metileno (NF P 18-592)

Foi realizado o ensaio de determinação do valor de azul de metileno, de acordo com a norma NF P 18-592, tendo sido obtidos os valores apresentados no Quadro 3.10. Os valores obtidos são comparados com os requisitos de agregados para a mistura agregado-cimento, cumprindo a prescrição.

Quadro 3.10 - Resultados do ensaio de determinação do valor de azul de metileno da amostra de tout-venant 0/31,5 (NF P 18-592)

<i>Amostra 2525</i>	<i>Requisito</i>
0,17	$\leq 2,0$

- Percentagem de matéria orgânica e teor em sulfatos (NP EN 1744-1)

Relativamente a estes ensaios foram obtidos os valores que constam do Quadro 3.11. Os valores são comparados com os requisitos de agregados para a mistura agregado-cimento, cumprindo as prescrições.

Quadro 3.11 - Resultados dos ensaios externos de teor em sulfatos e teor em húmus (matéria orgânica), de amostra de tout-venant (NP EN 1744-1)

<i>Característica</i>	<i>Amostra 2525</i>	<i>Requisitos</i>
Teor em sulfatos	0,03%	≤ 0,5%
Teor em húmus	Isento	

- Compactação Proctor Corrigido (LNEC E 197)

Foi realizado o ensaio de compactação Proctor Corrigido, de acordo com a norma LNEC E 197, de modo a obter os valores (corrigidos) da baridade seca máxima e do teor de água óptimo em laboratório, tendo sido obtidos os valores apresentados no Quadro 3.12.

Quadro 3.12 - Resultados do ensaio de compactação Proctor Corrigido, da amostra de tout-venant 0/31,5 (LNEC E 197)

	<i>Amostra 2525</i>
Baridade máxima seca (corrigida)	2,28 g/cm ³
Teor óptimo em água (corrigido)	4,2 %

- Caracterização do cimento

O cimento proposto, Cimento Portland de Calcário CEM II / A-L 32,5N, apresenta a classe de resistência requerida nas condições técnicas (classe de resistência 32,5N), segundo a norma NP EN 197-1.

- Caracterização da água

A água a utilizar na mistura foi analisada em laboratório externo (Controlab), observando-se que cumpre todos os requisitos expressos nas condições técnicas.

❖ ESTUDO DA COMPOSIÇÃO DA MISTURA “AGREGADO-CIMENTO

Utilizando os materiais definidos anteriormente, procedeu-se ao estudo da composição da mistura agregado-cimento, tendo em consideração os seguintes aspectos:

- Adopção de percentagens de cimento a incorporar na mistura de 3.0% e 4.0%;
- Não são considerados aditivos na composição da mistura.

Para determinação do teor em água óptimo e da correspondente baridade seca de referência, foi realizado o ensaio de compactação do agregado-cimento segundo o preconizado pela

especificação BS 1924 – Test 5, com amassaduras de 3% e 4% de ligante, e moldagem dos respectivos provetes recorrendo a pilão vibrador (martelo *Kango*). Os valores óptimos obtidos são os apresentados no Quadro 3.13.

Quadro 3.13 - Resultados dos ensaios de compactação da mistura agregado-cimento (BS 1924-Test 5)

<i>% ligante</i>	3%	4%
Baridade máxima seca (Mg/m ³)	2,23	2,23
Teor óptimo em água (%)	6,1	6,8

❖ VALIDAÇÃO DA COMPOSIÇÃO

Procedeu-se à validação da composição determinada em laboratório, tendo sido realizadas amassaduras considerando percentagens de 3,0% a 4,0% de ligante – tomando os valores do teor óptimo em água atrás determinados – a partir das quais foi moldado um conjunto de provetes, compactado com recurso a pilão vibrador (martelo *Kango*), com as características definidas na especificação BS 1924 – Test 5.

Com o objectivo de se avaliar a resistência à compressão diametral aos 7, 14 e 28 dias e a resistência à compressão simples aos 7, 14 e 28 dias, procedeu-se à cura e ao rebenamento dos provetes às idades acima mencionadas de acordo com as normas NLT 304/89 (compressão diametral) e NLT 305/90 (compressão simples). Os valores obtidos são os apresentados no Quadro 3.14.

Quadro 3.14 - Resultados dos ensaios de compressão diametral e simples de provetes da mistura agregado-cimento (NLT 304/89, NLT 305/90)

<i>% ligante</i>	<i>Idade</i>	<i>Método</i>	<i>Tensão [MPa]</i>
3,0%	7 dias	Diametral	0,26
		Simple	2,92
	14 dias ⁽¹⁾	Diametral	0,29
4,0%	7 dias	Diametral	0,46
		Simple	4,77
	14 dias	Diametral	0,52
		Simple	5,64

(1) Não foi possível realizar o ensaio à compressão simples aos 14 dias.

Observa-se que os resultados obtidos aos 7 e 14 dias, tanto com 3,0% como com 4,0% de ligante, garantem o cumprimento dos requisitos preconizados nas condições técnicas, nomeadamente:

- Características de curto prazo:
 - RCs > 1,0 MPa (resistência à compressão simples)
- Características de longo prazo:
 - RCd ≥ 0,25 MPa (resistência à compressão diametral)
 - RCs ≥ 2,0 MPa (resistência à compressão simples)

❖ RESULTADO

Com base no exposto, conclui-se que a mistura agregado-cimento aqui tratada, a produzir na central de betão da Tecnovia na pedreira de Monte das Flores (Évora), cumpre todos os requisitos exigidos nas condições técnicas relativamente à execução de blocos técnicos para a Empreitada de construção de passagens desniveladas e respectivos restabelecimentos entre o PK 115+654 e o PK 117+699 na Estação de Évora.

3.2.1.2. Solos e tratamento de solos

No caso da mistura de solos com cimento, a complexidade pode ser agravada face à mistura produzida com agregados britados de produção industrial controlada.

Se por um lado cada obra diferente tem à partida solos diferentes, por outro lado haverá solos cujo tratamento se pode tornar difícil pelas suas especificidades e, por vezes, pela heterogeneidade que na mesma obra podem apresentar os solos a tratar.

Abordemos em primeiro lugar o caso de um solo homogéneo cujas dificuldades de estabilização e compactação se tornaram tão relevantes que obrigou a um estudo detalhado e minuciosos do seu comportamento, ainda antes da sua consideração para estabilização com cimento na camada seguinte.

No âmbito da **Empreitada de Execução das Infraestruturas do Loteamento da Zona 2 da ZILS – Zona Industrial e Logística de Sines**, havia que executar uma camada de leito de pavimento com um solo proveniente de empréstimo, sobre a qual posteriormente assentaria a camada de base em solo-cimento, cujo solo a tratar tinha origem na mesma mancha de empréstimo.

Estes solos instáveis como se ilustra na Figura 3.1, correspondentes à camada de leito de pavimento obrigaram à execução de um trecho experimental.

Este estudo foi conduzido de acordo com as prescrições estabelecidas no Caderno de Encargos da empreitada, tendo sido acompanhado pelo Dono de Obra e pela Fiscalização.

❖ FUNDAMENTAÇÃO TÉCNICA CONSTRUTIVA

○ Metodologia

Antes de se ter procedido à execução do trecho experimental, a Tecnovia deparou-se com alguns problemas de aplicabilidade do material proveniente da mancha de empréstimo, designada por areeiro da Aicep, no que respeita essencialmente à eficácia do processo de compactação e do controlo do teor em água do solo.

O solo selecionado é um solo arenoso, com a classificação para fins rodoviários do grupo A-1-b, com o índice de grupo 0.



Figura 3.1 – Compactação do solo

No entanto, este solo apresenta uma curva granulométrica mal graduada e apesar de ter uma percentagem de material granular que passa no peneiro ASTM n.º 200, com a abertura de 0,074 mm, relativamente baixa, apresenta um resultado no ensaio do equivalente de areia relativamente baixo e um resultado no ensaio de azul de metileno significativamente elevado. Trata-se de uma areia siltosa mal graduada. Como se sabe, estes materiais apresentam habitualmente dificuldades no processo de compactação.

Deste modo, desenvolveram-se todos os esforços em promover uma metodologia de execução de aterro experimental minuciosa, tendo sido acompanhado todo o processo de compactação com a realização de ensaios de controlo da compactação relativa e do teor em água *in situ*, de forma a analisar as respetivas evoluções após cada passagem completa do cilindro compactador, com recurso a um gama-densímetro, e no final com a realização de ensaios com a garrafa de areia e com o equipamento *Speedy*, como se ilustra na Figura 3.2.



Figura 3.2 – Ensaio de baridade com garrafa de areia

○ Plano de ensaios em obra

Conforme já se referiu, antes do início dos trabalhos de execução do aterro, e visando a obtenção de um teor em água entre wopt-2 e wopt+2, foi efetuada a correção do teor em água na plataforma em estudo, procedendo-se à sua escarificação, e posterior arejamento.

Antes do início de cada trecho, repetiu-se a determinação do teor em água e da compactação natural (0 passagens) em cada uma das secções. Posteriormente, durante a realização do trecho experimental, após cada passagem completa com o cilindro compactador, que circulou a uma velocidade de 3 a 4 km/h, de forma estática ou dinâmica (com baixa ou alta amplitude E com uma frequência de 30 Hz), conforme as situações, procedeu-se à realização de ensaios de determinação da compactação relativa “in situ”, com o nucleodensímetro (Troxler) e à realização de garrafas de areia, em cada secção dos trechos estabelecidos. Após a compactação de cada trecho, determinou-se, ainda, a compactação relativa à profundidade de 0,15m, nas camadas de 0,30m de espessura, com recurso ao Troxler.

O controlo do teor em água dos materiais colocados em aterro foi efetuado pelo método do speedy, tendo este equipamento sido devidamente aferido e depois confirmado pelo método da estufa.

❖ EQUIPAMENTO

O equipamento utilizado na execução da camada de leito do pavimento foi composto por:

- Camião Mercedes Actos, com uma caixa com a capacidade de 15 m³;
- Bulldozer CATERPILLER, tipo D4;
- Cilindro misto CATERPILLER modelo CS-683E, com a classificação VX2 (amplitude baixa) e VX5 (amplitude alta);
- Depósito de água Joper;
- Tractor com escarificadora acoplada;
- Recto-escavadora Volvo BL61;
- Escavadora Hithachi DX17W.

❖ CONTROLO DA QUALIDADE

➤ Requisitos do Caderno de Encargos

Em conformidade com o disposto nas cláusulas técnicas especiais do CE, a camada de leito do pavimento, em solos selecionados, deverá garantir as seguintes características mínimas:

- Dimensão máxima – 75mm;
- Percentagem máxima de material passado no peneiro ASTM # 200 (0,075mm) – 20%;
- Limite de liquidez máximo – 20%;
- Índice de plasticidade máximo – 6%;
- Equivalente de areia mínimo – 30%;
- Valor de azul-de-metileno, máximo – 2,0;
- Se o equivalente de areia for inferior a 30%, o valor de azul de metileno corrigido (VAc), deverá ser inferior a 35, sendo calculado pela seguinte expressão:
$$VAc = VA \times (\%P\#200/\%P\#10) \times 100$$
, em que VA é o valor de azul de metileno obtido pelo método da mancha no material de dimensão inferior a 75 μ m (NF P 18-592).
- CBR a 95% de compactação relativa e teor óptimo em água (proctor modificado), mínimo – 10%;
- Expansibilidade (ensaio CBR), máxima – 1,5%;
- Percentagem de matéria orgânica – 0%;
- Grau de compactação mínimo – 95%.

➤ Resultados obtidos em laboratório

Os solos provenientes da mancha de empréstimo (areeiro da Aicep) foram previamente caracterizados mediante a realização dos seguintes ensaios:

- Granulometria;
- Limites de consistência;
- Equivalente de areia;
- Azul-de-metileno;
- Proctor modificado;
- CBR.

Este solo, classificado como areia mal graduada ($C_u < 6$) com silte, apresenta uma percentagem de finos (ASTM # 200) da ordem dos 8%, sem plasticidade e um valor de azul-de-metileno de 2,5 e um equivalente de areia de 25%. O valor de azul de metileno corrigido determinado por cálculo deu 20 e por isso é inferior a 35.

No Quadro 3.15 apresentam-se os parâmetros caracterizadores das granulometrias obtidas (coeficiente de uniformidade e de curvatura):

Quadro 3.15 – Coeficiente de uniformidade e conformidade

N.º Amostra	D10	D30	D60	Cu [D60/D10]	Cc [D30 ² /(D60xD10)]	% finos (< 0,075 mm)
8435	0,2	0,5	0,8	4	1,56	7,2
7436	0,2	0,5	0,8	4	1,56	8,6
Média	0,2	0,5	0,8	4	1,56	7,9

D10 – Diâmetro efectivo – É o diâmetro correspondente a 10% em peso total de todas as partículas menores que ele.

D30 e D60: diâmetros correspondentes a 30% e 60% em peso total das partículas menores que eles.

Para solos SW, se $Cu > 6$ e Cc entre 1 e 3 então estamos na presença de um solo bem graduado. Foram obtidos valores de baridade máxima seca de 1,90 e 1,94 g/cm³, para um teor em água ótimos de 11,8% e 10,3%, respetivamente, para as duas amostras de solos colhidas. O valo de CBR, para 95% de compactação relativa e teor em água ótimo referente ao proctor modificado, oscilaram entre 22% e 27%, não apresentando expansão.

Durante a execução do troço experimental realizaram-se os seguintes ensaios:

- Determinação do grau de compactação *in situ*, à superfície e a 0,15 m de profundidade (nas camadas com 0,30 m de espessura), através do aparelho nuclear de marca Troxler;
- Determinação do peso específico aparente seco através do método da garrafa de areia de 8”;
- Determinação do teor em água, em estufa.

Dos ensaios executados com o nucleodensímetro, 78% foram realizados à superfície e 22% em profundidade (6”). Realizaram-se, ainda, 30 ensaios para determinação da compactação relativa final em cada secção, recorrendo à garrafa de areia, no local de leitura do nucleodensímetro.

➤ Resultado conclusivo:

Da análise dos resultados dos ensaios e da restante informação tratada, tiramos as seguintes conclusões:

1. Antes de se iniciar o processo de compactação é de primordial importância garantir que os solos da camada do leito do pavimento apresentem um teor em água uniforme e adequado. O seu valor deve estar compreendido entre os limites impostos no CE, se possível do lado húmido.
2. Deste estudo resultou a adoção da metodologia de espalhamento e compactação mais adequada de um solo de comportamento instável, permitindo a execução com continuidade da camada de leito de pavimento sobre a qual assentaria a camada de base em solo-cimento.

- Estudo laboratorial do solo-cimento tendo em consideração a amostra e os ensaios que constam do Quadro 3.16.

Quadro 3.16 – Identificação das amostras

Identificação das amostras a analisar	
Refª Interna	Refª Externa
8252	Solo natural
	Cimento tipo II, classe 32,5

Identificação dos ensaios	
Norma *	Título
LNEC E-27	Limites de consistência de solos
LNEC E-197	Ensaio de compactação
LNEC E-199	Ensaio de equivalente de areia
LNEC E-233	Análise granulométrica
NLT 304/89	Resistência à compressão diametral de materiais tratados com ligantes hidráulicos
NLT 305/90	Resistência à compressão simples de materiais tratados com ligantes hidráulicos

* LNEC - Laboratório Nacional de Engenharia Civil.

NLT - Normas del Laboratorio del Transporte y Mecánica del Suelo

- Introdução

Os ensaios foram realizados com o objetivo de se determinarem as características do material, com vista à sua utilização na referida obra.

Nas rubricas seguintes são apresentados os resultados do estudo laboratorial do solo-cimento a aplicar em obra.

- Caracterização dos materiais

- Solo

Proveniência: o solo foi colhido no empréstimo AICEP.

Tipo litológico: é um solo arenoso avermelhado.

Equivalente de areia: 26,3%.

Limite de liquidez: NP.

Limite de plasticidade: NP.

Índice de plasticidade: NP.

Granulometria: de acordo com o Quadro 3.17.

Quadro 3.17 – Granulometria

Abertura das malhas dos peneiros (ASTM)	Porcentagem acumulada do material que passa
37,5 mm (1 ½")	100
25 mm (1")	100
19,0 mm (¾")	100
12,5 mm (½")	100
9,5 mm (3/8")	100
4,75 mm (nº4)	99,9
2,00 mm (nº10)	96,6
0,425 mm (nº40)	18,6
0,180 mm (nº80)	6,8
0,075 mm (nº200)	5,8

Classificação AASHTO: A-1-b (0) – Solo arenoso.

Classificação Unificada: SW-SM.

Ensaio de compactação: baridade seca máxima corrigida (g/cm^3)=1,98;
teor de umidade ótimo corrigido (%)=12,2.

Ligante: cimento Portland do tipo II, Classe 32,5.

- Determinação do teor em cimento

O teor de cimento a incorporar na mistura foi determinado com base nos ensaios de resistência à compressão simples e de resistência à tração em compressão diametral.

À data atual dispõe-se de resultados com base nos rebentamentos aos 7 e 28 dias, contados a partir da data de fabrico, tal como consta no Quadro 3.18.

Quadro 3.18 – Resultados

Teor em água	Teor em Cimento	Idade	Compact. Relativa	Resistência à compressão simples		Compact. Relativa	Resistência à tracção em comp. Diametral	
				(MPa)	Média		(MPa)	Média
(%)	(%)	(dias)	(%)	(MPa)	Média	(%)	(MPa)	Média
			96,6	0,42		98,6	0,14	
		7	97,8	0,55	0,51	99,1	0,11	0,12
			97,7	0,56		99,0	0,12	
12,2	3							
			96,8	1,78		97,1	0,20	
		28	97,7	1,77	1,74	98,4	0,19	0,20
			98,2	1,68		99,2	0,21	
			98,1	0,78		99,1	0,21	
		7	99,3	0,82	0,77	97,7	0,21	0,20
			99,5	0,70		98,2	0,19	
12,1	4							
			97,2	2,16		97,4	0,30	
		28	96,9	2,13	2,24	97,5	0,31	0,30
			95,9	2,34		98,3	0,30	
			99,1	1,14		97,7	0,22	
		7	97,5	1,16	1,13	99,2	0,24	0,23
			98,2	1,09		98,6	0,24	
12,1	5							
			96,8	2,27		98,2	0,30	
		28	97,3	2,35	2,34	98,3	0,32	0,31
			98,4	2,40		99,1	0,32	
			99,4	1,31		98,4	0,26	
		7	97,7	1,34	1,32	99,3	0,26	0,26
			98,2	1,3		98,4	0,27	
12,2	6							
			97,8	3,23		97,7	0,38	
		28	98,2	3,17	3,25	98,2	0,40	0,40
			99,1	3,34		98,7	0,41	

- Teor de humidade / baridade seca máxima

No ensaio Proctor Normal, para o solo descrito anteriormente e com teores de ligante de 3,4, 5,0 e 6,0%, os resultados obtidos são os registados no Quadro 3.19.

Quadro 3.19 – Teores de ligante

Teor de ligante (%)	3,0	4,0	5,0	6,0
Baridade máxima (g/cm ³)	2,00	2,00	2,01	2,00
Teor de humidade ótimo (%)	12,2	12,1	12,1	12,2

- Fórmula de trabalho

Face aos resultados obtidos, os valores preconizados para a fórmula de trabalho são:

Solo100%
 Ligante hidráulico (cimento) / Agregados..... 4%
 Água /agregados.....12,1%

- Resultado conclusivo

Pela análise de resultados apresentados anteriormente, verifica-se que 4% de ligante corresponde ao exigido pelo CE tendo presentes os resultados do rebentamento dos provetes aos 28 dias.

3.2.2. Trecho Experimental

A execução do trecho experimental é de fulcral importância na execução desta atividade, seja a mistura executada em central, seja executada *in-situ*, pelos seguintes fatores principais:

- I. Conhecer o comportamento dos materiais e das misturas no local de aplicação;
- II. Conhecer e adaptar o funcionamento dos equipamentos;
- III. Organizar os meios humanos da equipa de trabalho;
- IV. Registrar os resultados de trabalho.

No ponto I pretende-se avaliar o comportamento da mistura tendo presentes as condicionantes locais e de aplicação, tais como o solo de fundação, o grau de compactação e recalque da mistura, o acabamento em termos de macrotextura, entre outros parâmetros menos relevantes mas a ter em conta.

No ponto II haverá que definir os equipamentos adequados à aplicação das misturas, tendo presente o comportamento da mistura, o dos próprios equipamentos, que muitas vezes mostram comportamentos inesperados na presença de alguns materiais, como já foi amplamente demonstrado nos exemplos apresentados nos pontos anteriores.

O ponto III não é menos importante pois caberá, durante a execução do trecho experimental, definir o adequado número e categoria profissional dos meios humanos a afetar à atividade,

que aqui farão teste de desempenho, seja no processo de fabrico (caso de fabrico em central ou de mistura no caso *in-situ*), seja no acompanhamento do processo de espalhamento e compactação até à correta utilização dos equipamentos no processo.

Por fim, o ponto IV deverá corresponder ao registo de todas as informações relevantes ocorridas durante o trecho experimental, servindo de ensinamento para que a produção em série da atividade ocorra com o mínimo de interrupções dados os elevados custos de diversa ordem que tal facto acarreta.

Estes pontos serão mais à frente explorados no âmbito do fabrico das misturas e da definição das equipas de trabalho.

Não será assim de estranhar que por vezes se tenham de repetir trechos experimentais pela quantidade de variantes a considerar, bastando por exemplo que numa obra extensa haja uma variação significativa de um dos solos a tratar, como por exemplo um troço de autoestrada.

No âmbito da obra **Sub-concessão do Baixo Alentejo, Lanço E: Évora (A6/IP7) – São Manços** é proposta, para execução de leito de pavimento, uma solução em solo-cimento misturada em central com recurso a solos provenientes da plena via, e a Cimento Portland de Calcário CEM II / B-L 32,5N, produzido pela Cimpor.

Dando cumprimento aos requisitos do CE da JAE de 1998, aplicável ao contrato em causa, procedeu-se ao estudo laboratorial do solo e da mistura solo-cimento no Laboratório da Tecnovia, visando a determinação do teor em água óptimo e as características resistentes.

Resulta deste estudo a presente nota técnica, na qual é ainda proposta a realização do respectivo trecho experimental.

➤ Requisitos aplicáveis

Enunciam-se de seguida os diversos requisitos aplicáveis aos constituintes e à mistura de solo-cimento.

- Solo

De acordo com o CE da JAE de 1998 (cap. 14 – 14.01.2 – 4.5), o solo deve satisfazer as seguintes características, quando misturado em central:

- $D_{max} = 50$ mm;
- Percentagem de material passado no peneiro nº200 ASTM, máximo 35%;
- Índice de plasticidade, máximo 12%.

- Cimento

De acordo com o CE da JAE de 1998 (cap. 14 – 14.01.2 – 4.2), o cimento a utilizar no tratamento deve ser do tipo I ou II, classe 32,5.

- Mistura solo-cimento

De acordo com o CE da JAE de 1998 (cap. 14 – 14.01.2 – 4.6), a mistura solo-cimento resultante deve respeitar os seguintes requisitos de resistência:

- Resistência mínima à compressão simples de 1,0 MPa aos 7 dias e de 2,0 MPa aos 28 dias;
- Resistência mínima à compressão diametral de 0,25 MPa aos 28 dias.

➤ Caracterização dos materiais

O solo a utilizar na mistura solo-cimento é proveniente da escavação em plena via, aproximadamente entre os PK 3+400 e 3+700, sendo caracterizado pela amostra 2976.

No Quadro 3.20 são dispostas as principais características deste solo, podendo verificar-se que se trata de saibro com características de solo seleccionado.

O ligante a utilizar na mistura é o cimento Portland de Calcário CEM II / B-L 32,5N, produzido pela Cimpor.

Quadro 3.20 - Caracterização do solo a utilizar na mistura solo-cimento

Característica		Am. 2976
Análise granulométrica (% acumulada passada em cada malha)	1''	100,0
	3/4''	100,0
	3/8''	100,0
	Nº4	98,8
	Nº10	77,9
	Nº 20	48,8
	Nº 40	33,3
	Nº 200	11,5
Equivalente de Areia (%)		31
Limites de consistência	LL	NP
	IP	NP
Azul de metileno		1,33
Ensaio de compactação Proctor	Baridade máxima seca	2,04
	Teor de humidade óptimo	8,0
CBR para 95% + 1% teor humidade		13
Classificação unificada		SW-SM
Classificação AASHO		A-1-b
Classificação CE JAE 1998		S3

➤ Caracterização da mistura

Com vista à caracterização da mistura solo-cimento procedeu-se, para duas percentagens de mistura solo-cimento (3.0% e 4.0% de ligante):

- à moldagem de provetes para realização de ensaios de compactação Proctor, com vista à determinação da baridade máxima seca e do teor de humidade óptimo;
- à moldagem de provetes para realização de ensaios de resistência à tracção por compressão diametral aos 28 dias;

- à moldagem de provetes para realização de ensaios de resistência à compressão simples aos 7 e aos 28 dias.

A descrição de cada um destes conjuntos de ensaios e a apresentação dos seus resultados é realizada separadamente nos pontos seguintes.

- Ensaios de compactação Proctor

Procedeu-se à moldagem de provetes com as diferentes percentagens de ligante para realização de ensaios de compactação Proctor segundo a especificação LNEC E 262, cujos resultados são apresentados no Quadro 3.21.

Quadro 3.21 - Resultados do ensaio de compactação Proctor sobre as misturas solo-cimento com diferentes percentagens de ligante, utilizando os solos da escavação em plena via entre os PK 3+400 e 3+700

	<i>3.0% ligante</i>	<i>4.0% ligante</i>
<i>Baridade máxima seca (g/cm³)</i>	2,10	2,11
<i>Teor de humidade óptimo (%)</i>	10,4	10,8

- Ensaios de resistência à compressão

Procedeu-se à moldagem de provetes com diversas percentagens de ligante para realização de ensaios de determinação da resistência à compressão simples (aos 7 e 28 dias) e diametral (aos 28 dias), sendo utilizados na moldagem os teores de humidade óptimos determinados no ponto anterior.

A moldagem foi realizada por vibrocompressão, segundo a norma NLT-310/90, enquanto os ensaios de determinação da resistência à compressão simples foram realizados de acordo com a norma NLT-305/90 e os ensaios de determinação da resistência à compressão diametral foram realizados de acordo com a norma NLT-304/89.

Os resultados obtidos são apresentados no Quadro 3.22

Quadro 3.22 - Resultados dos ensaios de resistência à compressão das misturas solo-cimento com diferentes percentagens de ligante, utilizando os solos da escavação em plena via entre os PK 3+400 e 3+700.

<i>% ligante</i>	<i>Idade</i>	<i>Resist. Média à compressão simples</i>	<i>Resist. Média à compressão diametral</i>
3,0%	7 dias	1,44 MPa	---
3,0%	28 dias	3,31 MPa	0,27 MPa
4,0%	7 dias	1,49 MPa	---
4,0%	28 dias	4,00 MPa	0,30 MPa

- O trecho experimental

Com vista a comprovar em campo os diversos métodos construtivos e de controlo de execução, é proposta a realização de um trecho experimental da camada de leito de pavimento em solo-cimento, numa espessura de 25 cm.

Este trecho experimental teve lugar na plena via, em extensões da faixa direita entre os PK 3+750 e 4+375. Trata-se de uma zona de perfil em aterro, com altura máxima de 4/5 metros, onde já foram realizados ensaios de compactação que comprovaram a compactação da parte superior do aterro (PSA) a 95% do valor de baridade máxima obtida em ensaio de compactação Proctor Modificado e ensaios de carga em placa cujos resultados se apresentam no Quadro 3.23.

Quadro 3.23 – Ensaio de carga com placa

PK	Ev1(MPa)	Ev2 (MPa)	K
3+877,0	80,9	183,6	2,3
4+050,0	92,2	166,7	1,8
4+137,5	65,0	134,3	2,1
4+300,0	58,0	101,1	1,7

Nota – Resultados dos ensaios de placa realizados sobre a PSA com recurso a placa de diâmetro igual a 600 mm pela metodologia AFNOR

O trecho experimental consistiu em 2 tramos de 200 metros de extensão, com uma largura que contemplou o perfil transversal da faixa de rodagem entre guias. Foram realizados tramos com 3% e 4% de ligante na mistura de solo-cimento.

Neste trecho experimental (Figura 3.3) foram tidos em conta aspectos como a avaliação da eficiência dos meios utilizados para a mistura, transporte, espalhamento, regularização, compactação e cura do solo-cimento, em fase de execução, assim como aspectos ligados ao desempenho da camada de leito de pavimento construído.



Figura 3.3 – Trecho experimental em solo-cimento

Para além do conjunto de ensaios prescritos pelo CE da JAE de 1998 para camadas em solo-cimento – a serem aplicados, nas devidas frequências, no trecho experimental proposto – é também prevista a realização de uma campanha mais apertada de ensaios de carga em placa de modo a avaliar o módulo de deformabilidade obtido em cada tramo do trecho experimental.

➤ Análise conclusiva

O objectivo da realização do trecho experimental do leito de pavimento foi a validação de uma composição de mistura solo-cimento utilizando o solo da escavação na plena via entre os PK 3+400 e 3+700, tendo em conta os resultados de ensaios de resistência à compressão simples e compressão diametral e CBR imediato.

Foi, ainda, realizada a determinação dos módulos de deformabilidade por ensaios de carga em placa, visando constatar os valores obtidos para as diferentes percentagens de cimento, de modo a avaliar o cumprimento dos valores estabelecidos pelo dono de obra para esta camada.

Mais tarde veio a ser equacionada a execução paralela *in-situ* da mistura de solo-cimento originada pelo estudo apresentado anteriormente, dado o cumprimento do CE por parte da mistura estudada, também para esta metodologia.

No entanto, e pelo já exposto, viria a ser necessária a realização de novo trecho experimental, não tanto pela análise da mistura solo-cimento (a mesma), mas pelo método e equipamentos utilizados, substancialmente distintos na metodologia adotada.

No âmbito da discussão dos fabricos da mistura *in-situ* apresentados mais à frente, abordar-se-á este tema descrevendo métodos e equipas de trabalho que abrangeram na mesma obra a execução de troços considerados experimentais para a mesma mistura estudada.

3.2.3. Fabrico da Mistura

3.2.3.1. A central e o controlo do fabrico

O fabrico em central das misturas de agregado britado de granulometria extensa com cimento (ABGEC) são obrigatórias de acordo com o CE da EP e são prática pouco comum em Portugal, ao contrário do que acontece noutros países, conforme já foi referido.

As grandes vantagens do fabrico em central são o controlo mais eficiente do produto final, dado termos um controlo muito mais rigoroso com este método nos doseamentos dos constituintes da mistura.

O principal inconveniente são os níveis de produção, mais baixos do que a produção *in-situ*, logo os custos de operação em central são normalmente maiores, apesar dos meios de espalhamento deste método serem ligeiramente menores, pois os recursos usados naquela fase também são distintos como veremos mais adiante.

➤ Tipos de centrais de produção

- Central de dosagem por pesagem

Apesar de terem sido utilizadas com sucesso, a sua utilização caiu em desuso.

- Central de fluxo contínuo por volumetria

Este tipo de central (Figura 3.4) é o mais utilizado na produção contínua de solo-cimento ou agregado britado misturado com cimento.



Figura 3.4 - Central contínua de ABGEC

Normalmente, as centrais de fabrico de ABGEC (ou solo-cimento) contínuas têm capacidade de produção na ordem das 150 a 600 toneladas/hora, consoante os equipamentos, muito aquém do rendimento de produção *in-situ*.

No anexo A apresenta-se uma ficha técnica de um destes equipamentos.

Descreve-se de seguida o equipamento de produção de solo-cimento utilizado no âmbito da empreitada das *Obras de Urbanização da Zona 2 da Zils*, a aferição, a calibração, a descrição da produção e o âmbito da aplicação.

- Âmbito

Este tipo de equipamento é normalmente utilizado em projetos que envolvem materiais de empréstimo, o que foi o caso nesta obra.

Deve ser evitada a utilização destes equipamentos quando estão em causa solos predominantemente argilosos devido à dificuldade de efetuar a mistura homogénea do solo com a água e o cimento, provocando, inclusive, descontinuidades no funcionamento do equipamento.

Na obra em causa e estando na presença de um solo caracterizado como uma Areia Mal Graduada com Silte, classificação AASHO de A-1-b, considera-se adequada a utilização deste tipo de equipamento.

Uma central de produção contínua de solo-cimento ou ABGEC é fundamentalmente constituída pelos seguintes equipamentos (Figura 3.5):

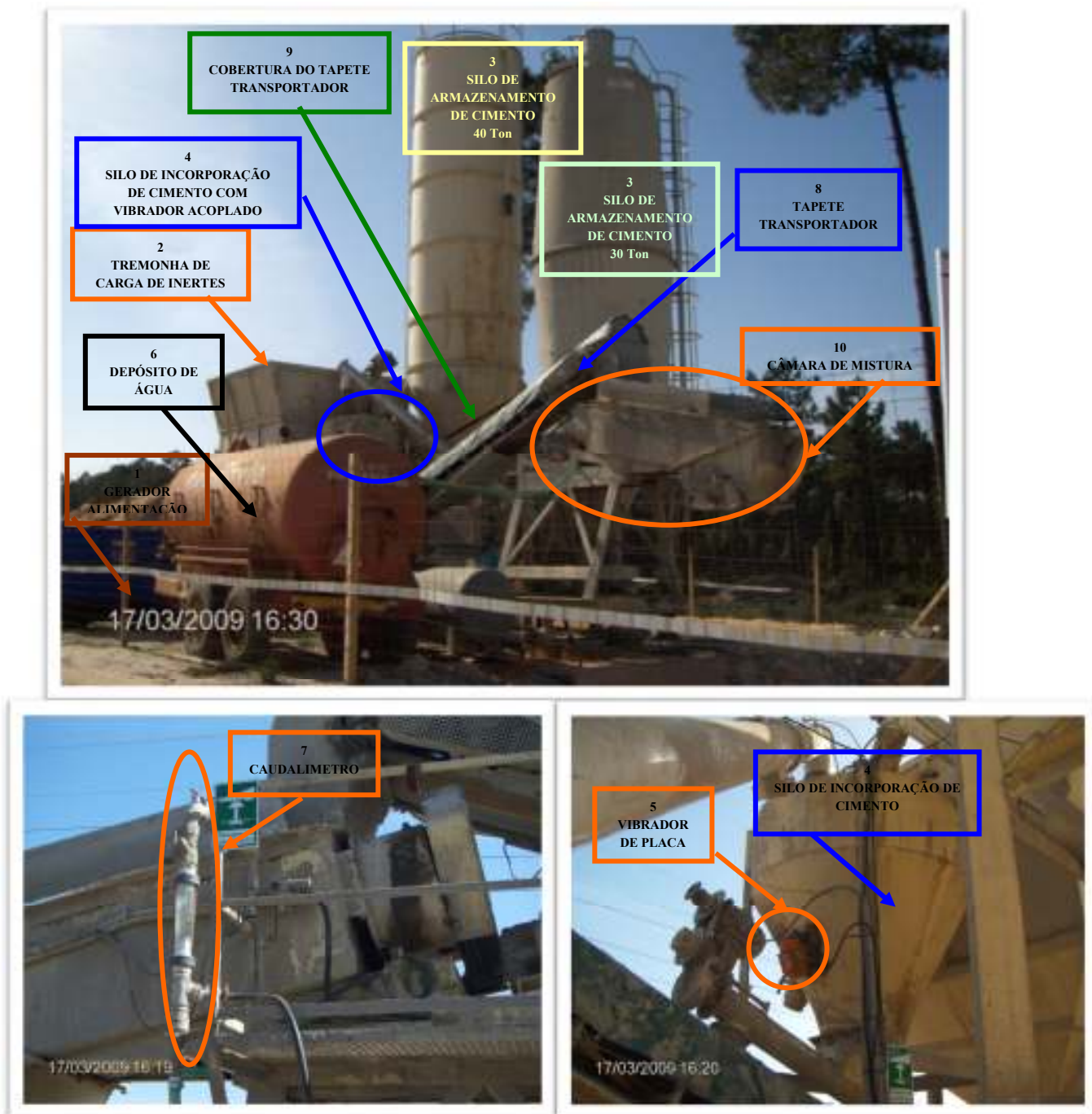


Figura 3.5 – Esquema de componentes de central de fabrico contínuo

1. Gerador de alimentação (100 KV_a): tem por objetivo o fornecimento de energia elétrica a toda a instalação.
2. Tremonha de carga dos inertes: recebe o solo e faz a descarga no tapete transportador.
3. Silos de cimento: armazenam o cimento (2 silos com capacidades de 30 e 40 toneladas) a incorporar na mistura, sendo a sua extração feita por sem-fim até ao silo de incorporação (4).
4. Silo de incorporação de cimento: recebe o cimento dos silos de armazenamento e por meio de sem-fim faz a descarga do cimento no tapete transportador. Este silo, com vibrador acoplado, tem por objetivo garantir um caudal de cimento constante a descarregar no tapete transportador.
5. Vibrador de placa: tem como função evitar o efeito de cone no escoamento do cimento garantindo o caudal constante.
6. Depósito de água (12.000 litros): encontra-se ligado à câmara de mistura (10), através de um caudalímetro (7), e tem por objetivo armazenar a água necessária para a correção do teor em água da mistura.
7. Caudalímetro: tem por objetivo a regulação de caudal da água a introduzir na mistura.
8. Tapete transportador: recebe e transporta o solo e o cimento até à câmara de mistura (10). É neste equipamento que se faz o controlo dos caudais componentes da mistura através da regulação da sua velocidade.
9. Cobertura do tapete transportador: tem por objetivo minimizar ao máximo as perdas de cimento adicionadas ao tapete, por ação do vento ou de outros fatores externos ao funcionamento da central.
10. Câmara de mistura: recebe o solo e o cimento do tapete transportador (8) e faz a mistura de ambos com a adição de água necessária. A mistura é feita por ação de pás rotativas antes da descarga sobre o camião.

▪ **Funcionamento da central de fluxo contínuo**

O solo é descarregado no início do tapete transportador que circula com uma determinada velocidade, ou seja, transportando uma determinada quantidade de solo por minuto.

A regulação da velocidade do tapete vai determinar a quantidade de solo transportado, ou seja, a uma maior velocidade corresponde uma maior quantidade de solo transportado e vice-versa.

A incorporação do cimento é feita sensivelmente no primeiro terço do tapete transportador, através do sem-fim do silo de incorporação. Este silo garante a introdução de um caudal constante diretamente sobre o tapete, ao qual está acoplado um pequeno vibrador que evita a criação de *efeito de cone*, evitando assim a alteração do caudal de cimento introduzido.

A correta dosagem de cimento e de solo colocados no tapete é fundamental para garantir as adequadas proporções da mistura.

Outro aspeto importante é a introdução de uma cobertura no tapete transportador evitando assim que fatores externos à central, como a ação do vento ou outros fatores, possam alterar as dosagens.

Chegado o cimento e o solo à câmara de mistura é corrigido o teor em água com a adição controlada (com caudalímetro) de água.

A mistura é efetivada por ação das pás rotativas da câmara de mistura homogeneizando a mistura. A descarga é então feita sobre o camião e transportada para a frente de obra.

▪ **Calibração da central**

A correta proporção de solo, cimento e água que entram na câmara de mistura deve ser determinada por calibração da central antes do início das operações.

O método de calibração da central é efetuado da seguinte forma:

1º Cálculo da quantidade de solo:

Com o tapete em funcionamento são realizadas 3 pesagens independentes, sobre camião, do solo transportado por 3 períodos de tempo (1, 2 e 3 minutos). O objetivo é determinar a uniformidade de fluxo e a quantidade de solo que circula no tapete (toneladas/h).

A quantidade de solo húmido (teor em água natural) por hora dividido por 1 mais o teor em água natural expresso em unidade decimal dá-nos a quantidade de solo seco por hora, ou seja:

$$\frac{SH/h}{1 + \frac{\%H}{100}} = SS/h \quad (3.1)$$

- *SH* – Solo húmido
- *%H* – Teor em água
- *SS* – Solo seco

2º Cálculo da quantidade de cimento:

O cimento é calibrado de forma similar, ou seja, é feita uma pesagem sobre o camião por 3 períodos de extração (15, 30 e 45 segundos), ficando-se assim a saber a quantidade média por minuto de cimento descarregado no tapete.

3º Cálculo da quantidade de água:

São considerados como dados conhecidos os seguintes:

- Teor em água natural (TA_n)
- Acréscimo a considerar para compensar a evaporação (T_v)
- Teor em água ótimo da mistura (TA_{op})

A calibração da água é feita por dosagem de descarga por minuto, considerando o teor em água natural do solo, um eventual acréscimo a considerar por efeitos de evaporação, por forma a obter o teor em água ótimo da mistura.

No Quadro 3.24 ilustra-se um exemplo de cálculo.

Quadro 3.24 – Tabela de cálculo para central – exemplo

EXEMPLO:	
1ª	<p><u>CÁLCULO DA QUANTIDADE DE SOLO:</u> Dados:</p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ Quantidade de Solo Húmido por hora a correr no tapete (SH/h) = 500 ton/h (resultado das pesagens) ▪ Teor em água = 5,5% $\text{Solo Seco (SS)} = \frac{500 \text{ ton}}{1 + \frac{5,5}{100}} = 474 \text{ ton/h} \quad (3.2)$
2ª	<p><u>CÁLCULO DA QUANTIDADE DE CIMENTO:</u> Dados:</p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ Teor de Cimento pretendido (T_c) = 6% <p>Para a quantidade de solo seco determinada, determina-se de seguida a cadência de cimento necessária para o teor pretendido:</p> $474 \text{ ton/h} \times 0,06 = 28,4 \text{ ton/h} \quad \Leftrightarrow \quad \frac{28,4 \text{ ton/h}}{60 \text{ min}} \times 1000 \text{ Kg/ton} = 473 \text{ Kg/min} \quad (3.3)$
3ª	<p><u>CÁLCULO DA QUANTIDADE DE ÁGUA:</u> Dados:</p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ Teor em água pretendido (TA_{op}) = 11,5% ▪ Acréscimo a considerar por vaporização (T_v) = 2% ▪ Teor em água natural (TA_n) = 5,5% <p>Determina-se, agora, com base nos dados conhecidos a incorporação de água necessária a efetuar na mistura:</p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ Água no Solo: SS x TA_n ⇔ 474 ton/h x 5,5% = 26,07 ton/h (3.4) ▪ Solo + Cimento: SS x T_c ⇔ 474 ton/h + 28,4 ton/h = 502,4 ton/h (3.5) ▪ Água necessária: (Solo + Cimento) x (TA_{op} + T_v) = 502,4 ton/h x 0,135* = 67,8 ton/h (3.6) ▪ Água a adicionar: (Água necessária - Água no Solo) = (3.7) = 67,8 ton/h - 26,07 ton/h = 41,7 ton/h => 695L/min <p>* Percentagem de água necessária igual ao teor em água ótimo (11,5%) mais 2% para compensar a evaporação</p>

Uma vez calibrada a central de solo-cimento, durante o processo de produção será suficiente uma verificação diária. A quantidade de cimento utilizada na produção de solo-cimento deverá ser ocasionalmente conferida com a quantidade de cimento adquirida e colocada nos silos.

▪ **Manutenção da central**

A central é limpa e verificada diariamente conforme a lista de verificação diária – central de solo-cimento (obra 1778) que se encontra no anexo B.

Apresenta-se também no anexo C o relatório de calibração da central aplicado a este equipamento e aplicável, de modo geral, a qualquer outro nos seus princípios base.

3.2.3.2. *In-situ* – método construtivo

Este ponto tem por objetivo descrever sucintamente o processo de execução *in situ* de uma camada de solos tratados com cimento, por via seca.

➤ **Âmbito**

Este procedimento aplicou-se aos trabalhos de execução da camada de leito de pavimento em solo-cimento realizado no âmbito da empreitada 1861 - **Sub-Concessão Baixo Alentejo – Lanço E Évora (A6/IP7) / S. Manços**.

➤ **Resumo do processo de execução**

Os trabalhos associados à execução de tratamento *in situ* de solos com cimento pela via seca realizam-se na seguinte sequência:

- Preparação da plataforma de trabalho: a parte superior do aterro (PSA) deve estar desempenada longitudinalmente e transversalmente com o grau de compactação exigido no CE para permitir a receção de uma camada uniforme da camada subsequente de solos a tratar, conforme apresentado na Figura 3.6.



Figura 3.6 – Preparação da PSA

- Transporte e espalhamento de solos a tratar: remoção de materiais prejudiciais (blocos, torrões de argila, matéria orgânica) e esmagamento dos elementos de maiores dimensões; o espalhamento deve fazer-se tendo em conta o empolamento do material para a espessura pretendida, normalmente aferido na fase de trecho experimental (Figura 3.7).



Figura 3.7 – Espalhamento dos solos

- Preparação da camada de solos a tratar: ao solo já espalhado é acrescentada uma rega para corrigir o teor em água, colocando-o aproximadamente 2% acima do ótimo, havendo no entanto que ter em conta as temperaturas ambientes e a natureza do solo a tratar para a definição desse acréscimo a considerar.

O teor em água natural do solo deverá que ser igual ou inferior ao teor ótimo acrescido de 2%, tendo em conta os pressupostos já descritos anteriormente. No caso de ser superior aos valores pretendidos, os solos serão espalhados para arejamento sem que sejam compactados até que se atinjam os valores pretendidos para tratamento.

- Espalhamento e compactação: o solo é compactado já com o teor em água próximo do ótimo por forma a ficar à cota de projecto em todo o perfil transversal e com uma compactação de cerca de 95% relativa ao proctor normal.

Desta forma fica garantido que durante o processo de acréscimo de cimento e por ação dos equipamentos da obra não serão movimentados solos, nem alteradas as cotas de projecto, ficando já assegurada a correta distribuição de solos por metro quadrado a tratar.

A compactação de solos não confinados, à partida finos, pode ser problemática pois a ação dos cilindros vibradores provocará o escorregamento para fora do perfil transversal de solo, alterando a cota altimétrica de trabalho.

O problema pode ser controlado se se adotarem os seguintes procedimentos:

- I. Espalhar uma sobrelargura no perfil transversal nunca inferior a 0,50 m de solo, a aferir em trecho experimental e em função do solo.
 - II. Espalhar uma altura de solo superior ao empolamento aferido na zona sem confinamento periférica, correspondente à largura do rolo do cilindro e concordante com o restante perfil transversal.
 - III. Sobrepor no mínimo um terço da largura do cilindro entre faixas de compactação.
 - IV. Iniciar a compactação desde o ponto mais baixo até ao ponto mais alto do perfil.
- Espalhamento do cimento na camada: de modo uniforme e com a dosagem pré-estabelecida, recorrendo a meios mecânicos com doseadores volumétricos controlados pela velocidade de espalhamento e de dispositivos adequados ao controlo e à redução da emissão de poeiras. O espalhamento tem em atenção as condições climáticas (existência de vento ou de chuva) e a superfície a tratar no dia de trabalho.
 - Mistura do cimento com o solo a tratar: realizada logo após o espalhamento (máximo 1,0 hora), de modo a se obter uma mistura homogénea sem formação de grunhos de cimento. Decorrente desta mistura, 90% das partículas devem apresentar uma dimensão inferior a 50 mm.

A mistura é realizada com recurso a misturador rotativo de eixo horizontal com potência adequada à espessura a tratar, sendo adicionada água ao rotor da misturadora com um caudalímetro (procurando obter-se a humedificação ótima do material).

A mistura é realizada em faixas adjacentes, de largura aproximada de 2.5 m, com uma sobreposição mínima de 5 a 10 cm;
 - Regularização da camada de solo tratado: a realizar logo após a sua mistura, com recurso a motoniveladora equipada com GPS ou sistema 3D.

Nesta fase o objetivo é fazer a regularização final sem que ocorram grandes movimentações de solo ao longo do perfil, o que terá ficado garantido na operação de espalhamento e compactação do solo antes do tratamento.

Esta operação deverá ocorrer no mais curto espaço de tempo pois pode surgir o risco de início do processo de cura antes da compactação, por um lado, e ser diminuída a percentagem de água na mistura por arejamento, por outro.
 - Compactação final da camada de solo tratado: realizada com recurso a cilindros mistos vibradores e/ou de pneus, a definir durante o trecho experimental em função do comportamento da mistura.

Deve iniciar-se no máximo meia hora após a mistura de solo-cimento, no sentido longitudinal e com uma sobreposição entre faixas de pelo menos 0,5 metros.

A compactação final deve atingir um grau de compactação de 98% relativamente ao Proctor Normal, e deve estar terminada nas 4,0 horas seguintes à mistura (3,0 horas se as temperaturas do ar superarem os 30°C);

A camada acabada deve apresentar-se desempenada, regularizada e corretamente compactada cumprindo o CE, como se exemplifica na Figura 3.8.



Figura 3.8 – Regularização e compactação da mistura

- Colocação de rega de cura e proteção: a colocação deve ocorrer logo após a compactação, num prazo não superior a 4,0 horas, conforme ilustrado na Figura 3.9. A circulação sobre a camada é vedada até que se verifique $R_c > 1,0$ MPa, ou durante 7 dias.



Figura 3.9 – Rega de cura

3.2.4. Equipas de Trabalho

3.2.4.1. Agregado britado com cimento fabricado em central

Tendo já sido abordado anteriormente o processo de fabrico em central da mistura de solo-cimento ou ABGEC, debrucemo-nos agora sobre as equipas de trabalhos a implementar no transporte, espalhamento e compactação da mistura que, em Portugal, quando executada em central, normalmente é constituída por agregado britado de granulometria extensa com cimento.

O transporte da mistura é normalmente feito em camiões basculantes traseiros de cerca de 20 m³ de capacidade que deverão ser tapados com lona assim que concluída a carga. Tal operação pretende evitar a perda de água por evaporação e alterações de temperatura na mistura que possam baixar drasticamente a percentagem de água na mistura, por um lado, e alterar a homogeneidade do processo de cura, por outro. O número de camiões deve ser adaptado à capacidade de produção da central (toneladas/hora) tendo em conta os tempos de carga, a distância de transporte e o tempo de descarga na plataforma.

Normalmente a capacidade de produção da central e as distâncias de transporte são as componentes condicionadoras da produção, pois a capacidade de espalhamento da espalhadora é muito grande devido à altura da camada.

Conforme já foi referido, em Portugal a aplicação de ABGEC, para camadas de sub-base e de base é obrigatoriamente feita com recurso a espalhadoras de betuminoso conforme se ilustra na Figura 3.10. Este equipamento tem muitas vezes que ser adaptado para conseguir fazer este trabalho devido à espessura da camada a construir, que normalmente está acima dos 0,20 m e por vezes atinge os 0,30 m.

Sempre que a espessura final da camada está entre os 0,20 m e os 0,25 m, a mesa de espalhamento tem que ser elevada para poder desenvolver uma camada na ordem dos 40% a mais face à espessura regularizada e compactada. De facto, o recalque desta mistura é muito elevado pelo facto de o cimento funcionar como lubrificante da mistura, o que obriga por vezes à colocação de acrescentos altimétricos nas espalhadoras que não estão preparadas para este nível de espessuras no espalhamento tradicional de betuminosos para o qual foram concebidas.

Quando a espessura ultrapassa os 0,25 m, torna-se inviável a construção de uma única camada tendo que ser desmultiplicada a espessura total da mistura em duas camadas, com repercussões significativas na duração da atividade, pois será necessário obter resultados de cura aos 7 dias e cumprir as resistências dos provetes estipuladas no CE, antes de se poder iniciar a camada seguinte, devendo tal facto ser repercutido no prazo global da obra.

Haverá que ter em conta para trabalhos de longa duração que o espalhamento deste tipo de misturas provoca também desgaste acelerado nas “forras” da espalhadora, dada a elevada abrasividade provocada pelos inertes.

Para além da espalhadora e da correta aferição dos recalques da mistura a aferir em trecho experimental, haverá que ter em conta que a camada deverá ser compactada imediatamente a seguir ao espalhamento, assim que haja frente suficiente para a entrada dos cilindros, normalmente estáticos nas primeiras passagens com cilindros de pneus ou mistos de rolo de aço, e dinâmicos nas passagens seguintes com cilindros mistos de rolos de aço.

Os cilindros devem deixar a superfície regular e sem marcas e a camada deve estar à cota final depois de compactada ou com cota ligeiramente superior, permitindo uma rápida raspagem com motoniveladora para retirar o excesso de material sempre que tal aconteça e antes da finalização da compactação.

Para que este controle seja efetivado e para além dos operadores dos equipamentos envolvidos, haverá que ter um encarregado em permanência e pelo menos dois serventes a acompanhar o desenvolvimento da camada. O encarregado controla todo o processo desde o fabrico até ao espalhamento e compactação que pode mudar ao longo do dia, obrigando a adaptações na equipa em geral.

Por exemplo, a um maior afastamento da frente de espalhamento da central terá que estar associado um reforço de meios de transporte.

Por outro lado, o surgimento de ramos e nós de ligação pode obrigar a uma diminuição da capacidade de fabrico e, conseqüentemente, de meios de transporte.

Tal controlo é fundamental pois basta que parte de uma frota de camiões carregados com a mistura estejam demasiado tempo à espera de descarregar na espalhadora para que o processo de cura se inicie antes que a compactação esteja concluída definitivamente, podendo levar à não aprovação da camada.

Terá sempre que se ter em conta os limites impostos no CE, entre o fabrico e a conclusão efetiva da camada pois as variáveis são muitas inconstantes ao longo de um único dia de trabalho.

Os serventes de apoio deverão estar permanentemente atrás da espalhadora e dos cilindros para averiguar:

- Se a camada está a sair de forma regular atrás da espalhadora;
- Se as cotas antes e depois da compactação estão conforme o previsto;
- Para gerir as entradas e saídas de camiões nas frentes de trabalho;
- Para apoiar o encarregado no reporte de avarias.



Figura 3.10 – Espalhamento com recurso a espalhadora

Haverá, ainda, que ter em cota a rega de cura aplicada com recurso a uma cisterna de emulsão aplicada com cana.

Por fim, a equipa de laboratório e de topografia também deverão marcar presença, sendo este alvo de abordagem mais direta mais à frente.

Em suma temos:

- Camiões de transporte com lonas de cobertura;
- Espalhadoras de betuminosos;
- Cilindros de pneus e mistos de rolos (Mínimo de 17 toneladas);
- Motoniveladora (de prevenção);
- Cisterna de emulsão;
- Encarregado de frente;
- Serventes de apoio;
- Equipa de laboratório;
- Equipa de topografia.

3.2.4.2. Solo-cimento *in-situ*

A execução de solo-cimento *in-situ* pressupõe uma logística substancialmente diferente do método de fabrico em central, subdividindo-se em várias fazes preparatórias com afetação de diferentes recursos.

➤ Armazenamento do cimento

O cimento a introduzir na mistura pode ter dois tipos de armazenamentos possíveis a ter em conta em função das produções diárias de espalhamento.

A consideração de silos de armazenamento fixos verticais de 30 a 100 toneladas em número a depender das produções diárias conforme já foi dito e da distância ao centro de distribuição de cimento. É normalmente a forma mais segura de garantir que não há falhas ou atrasos nos fornecimentos, que podem comprometer toda a equipa.

Podem também ser adotados silos horizontais móveis rebocáveis, de menor capacidade, normalmente com 25 toneladas de capacidade, com a vantagem de terem grande mobilidade, garantindo a proximidade à frente de trabalho, conforme se regista na Figura 3.11. O inconveniente é a baixa capacidade de armazenamento com os riscos associados já descritos.

É possível também considerar-se uma solução mista de silos fixos e móveis sempre que possível, garantindo assim quer a capacidade de armazenamento quer a mobilidade nas frentes de trabalho.



Figura 3.11 – Silos móveis de cimento

➤ Preparação do solo

Os solos a tratar terão que cumprir o estipulado em CE, em particular no que diz respeito às granulometrias dado que à partida devemos estar na presença de solos naturais finos, caso contrário terão que ser previamente tratados com conseqüente agravamento dos custos da atividade global. Podem, ainda, ser tidas em conta adições de solos de empréstimos para fazer correções granulométricas do solo a tratar não invalidando o cumprimento das dimensões máximas admissíveis dos inertes. Sempre que a percentagem de pedras que excedem o tamanho admissível for inferior a 5% do solo, pode considerar-se que a retirada manual seja eficiente e justificável. Quando essa percentagem se situar entre os 5% e os 10% deve recorrer-se à escarificação do solo com recurso a tratores agrícolas com “revolvedores” de solos do tipo charrua, acoplados para efetuar a desagregação. Estando na presença de pedras “duras” e em percentagens acima dos 10% de solo, deve recorrer-se à utilização de crivos mecânicos móveis ou fixos, havendo que considerar um agravamento significativo dos custos com esta preparação.

Pode, ainda, ter que ser considerada a utilização de britadeiras móveis no caso de altas percentagens de material retido nos processos de crivagem, havendo que pesar a efetiva viabilidade financeira do tratamento de solos com estas características.

➤ Dosificação do cimento por via seca

Preparada a camada de solos a tratar nos moldes descritos em 3.2.3.2, o passo seguinte corresponde à adição do cimento que normalmente é feita com recurso a um trator ou a um camião com depósito móvel rebocável com controlo de dosificação volumétrica proporcional à velocidade do veículo de reboque. Este equipamento deve ser calibrado em função da dosagem de cimento por metro quadrado a atribuir, correspondente à percentagem de cimento definida.

A calibração é normalmente feita na “tolva de regulação” a jusante do depósito, regulando as aberturas de saída para onde o cimento é conduzido por um sem-fim, estando esta componente ligada ao eixo de rotação do veículo fazendo depender a distribuição da velocidade deste.

A verificação da correta dosagem de cimento aplicada pode ser facilmente verificada com a colocação de uma superfície de recolha (cartão chapa metálica ou outro) com um metro quadrado de área sobre o solo onde vai passar o distribuidor de cimento. Feita a pesagem do cimento recolhido, afere-se se a distribuição superficial à qual correspondente a percentagem volumétrica foi ou não conseguida. A saída de cimento pela “régua de distribuição” deve estar protegida com mangas de borracha até muito perto do solo para prevenir a dispersão de cimento sob a ação do vento, podendo ficar afetada a distribuição da percentagem pretendida. A Figura 3.12 mostra um dosificador deste tipo.



Figura 3.12 – Dosificador de cimento por via seca

➤ Dosificação do cimento por via húmida

Sempre que a percentagem de água a adicionar na mistura é baixa, pode ser adotada a solução de adição do ligante misturado com água constituindo uma “leitada” que vai ser introduzida diretamente no tambor misturador da recicladora, designando-se este método por via húmida. Normalmente acoplado à recicladora segue um depósito de cerca de 25 toneladas de capacidade que, por bombagem, injeta a mistura no tambor ao qual deverá estar associado um caudalímetro para efeitos de controlo de dosagem e um regulador de dosagem associado à velocidade de avanço do equipamento misturador ao qual está acoplado.

Este método tem como desvantagens:

- A baixa capacidade dos depósitos de ligante/água, que obrigam a paragens mais frequentes para abastecimento, razão pela qual apenas deverão ser utilizados para baixos teores de correção de água;
- Há também uma maior suscetibilidade a avarias;
- Maior custo devido aos equipamentos envolvidos;
- Impossibilidade de utilização quando a percentagem de água no solo se encontra próxima da percentagem ótima de trabalho.

Trazem no entanto também vantagens significativas no que diz respeito ao controle efetuado, já que:

- Há maior precisão na dosagem água/ligante;
- Há uma maior facilidade no envolvimento água/ligante/solo por se tratar de uma injeção líquida no solo já com cimento, garantindo maior uniformidade na distribuição;

- Pode ser ajustada a distribuição horizontal da injeção no tambor misturador, diminuindo assim as perdas por empalme necessárias na distribuição via seca;
- Ausência de perdas por ação do vento.

➤ Mistura *in-situ*

Os equipamentos utilizados nos primeiros anos para misturar os solos com o ligante e a água eram fundamentalmente agrícolas, recorrendo-se a grades de discos para misturas a baixa profundidade, obrigando a que previamente o solo fosse tornado mais solto através de aragem.

Na Figura 3.13 ilustra-se uma experiência realizada em obra com este tipo de equipamentos.



Figura 3.13 – Mistura solo-cimento com grade de discos

Diminuindo o número de discos, aumentando-lhe o diâmetro e diminuindo as velocidades de avanço, podiam ser tratadas espessuras maiores com tratores mais potentes. A qualidade da mistura não era a melhor e os tratamentos raramente eram efetivos a mais de 15 cm de profundidade e em solos brandos.

Os modernos equipamentos de mistura são constituídos por um rotor central situado entre os dois eixos da máquina. O posicionamento central confere maior estabilidade à máquina e maior controlo da profundidade de tratamento. O motor pode situar-se sobre o rotor ou sobre o eixo dianteiro da máquina. O misturador é constituído por um rotor e uma câmara de mistura, podendo alguns equipamentos possuir na câmara de mistura barras de impacto na zona dianteira para evitar a entrada de pedras de grandes dimensões.

Na zona traseira normalmente está aplicada uma régua regularizadora que previne a saída do solo solto da câmara de mistura e regulariza de forma ligeira a camada à saída da câmara. A sua abertura também depende da profundidade de solos a tratar, estando uma maior abertura associada a uma maior profundidade de tratamento.

Dentro da câmara de mistura está uma barra difusora com os injetores distribuidores de água ou água/ligante consoante o tipo de mistura, conforme já foi descrito. A câmara de mistura tem normalmente 2,40 m de largura podendo a profundidade de tratamento atingir os 50 cm consoante os equipamentos e a potência associada a cada um.

Os equipamentos mais modernos possuem meios de leitura da espessura de tratamento bem como da inclinação transversal do rotor, sendo no entanto prudente uma aferição de profundidade externa por meio de um “apalpador” manual.

A utilização deste método deve ter em conta a especificidade destes meios onde há que considerar:

- Os custos e dimensões dos transportes;
- As áreas de trabalho em causa;
- A manobrabilidade em espaços reduzidos;
- As larguras de faixas de tratamento;
- As características do motor (potência) em função das espessuras a tratar;
- As características de tração (2x4 ou 4x4) e tipo de pneus em função do tipo de solos a tratar.

Por fim, temos os meios de regularização, compactação e tratamento de cura da camada, em tudo similares ao descrito em 3.2.3.2

Em suma, temos as seguintes equipas:

- Trator com grade desagregadora de solos (função dos solos);
- Crivos ou britadeiras móveis (função dos solos);
- Trator e cisterna de distribuição de ligante (via seca);
- Depósito de água/ligante de acoplamento (via húmida);
- Misturador de solos;
- Camiões de transporte (no caso de solos de empréstimo);
- Cilindros de pneus e mistos de rolos (Mínimo de 17 toneladas);
- Motoniveladora (para nivelamento final);
- Cisterna de emulsão;
- Encarregado de frente;
- Serventes de apoio;

- Equipa de laboratório;
- Equipa de topografia.

3.3. Controlo de Qualidade

O controlo de qualidade implementado pela grande maioria das empresas construtoras está apoiado na certificação da própria empresa regulamentada por normas como a ISO 9001. A qualidade da obra está intimamente ligada à correta definição dos requisitos a cumprir e ao cumprimento destes dentro dos parâmetros definidos na fase de construção.

Para o cumprimento do produto final com a qualidade necessária são naturalmente fundamentais critérios rigorosos na escolha dos materiais a empregar na construção da mistura, dos equipamentos utilizados em todo o processo e das equipas técnicas de pessoas afetas a todas as fases do trabalho. Durante todo o processo, desde o fabrico da mistura até à conclusão da camada tratada, é necessária a intervenção controlada e evidenciada em registos dos diversos intervenientes que vão desde o controlo topográfico ao controlo laboratorial.

De uma forma simplificada, a gestão da qualidade terá que estabelecer especificações de controlo, dentro dos parâmetros definidos no projecto e no caderno de encargos para:

- Materiais;
- Estudos e ensaios prévios;
- Processos de fabrico e equipas de trabalho;
- Execução;
- Obra terminada.

➤ Materiais

As especificações, como a caracterização dos materiais, natureza e frequência de ensaios, etc., devem estar definidas no plano de qualidade dentro dos parâmetros exigidos. Nesta atividade temos como principais intervenientes os solos, o ligante (cimento e/ou cal), a água e eventualmente aditivos, sendo que o produto final da mistura é em si também um material alvo do mesmo controlo.

➤ Estudos e ensaios prévios

Conforme já foi amplamente abordado anteriormente, os estudos das misturas, a elaboração dos trechos experimentais, a definição criteriosa dos processos de fabrico e de aplicação, são componentes fundamentais no registo de evidências e controlo de todo o processo.

➤ Processo de fabrico e equipas de trabalho

Caberá também neste item o estabelecimento de regras de controlo e aferição das misturas e dos meios de produção das mesmas. No fabrico haverá que aprovar e regulamentar as centrais de fabrico da mistura, no caso de fabrico em central, aprovar os equipamentos tendo presentes as necessidades técnicas da obra, como seja a correta adequação e fiabilidade de meios ao trabalho em causa, e definir e formar os recursos humanos afetos às diversas fases da atividade.

➤ Execução

Durante a execução e em acréscimo ao citado nos pontos anteriores, para além da presença do controlo laboratorial definido em todo o processo, terá especial relevância o controlo topográfico que tem um papel relevante no cumprimento do plano de qualidade.

O controlo topográfico desta atividade atravessa várias fases:

- Verificação topográfica da plataforma de fundação da camada, normalmente com recurso a GPS ou estação total;
- Aplicação da camada:
 - Fabricada em central - marcação e verificação da camada com recurso a GPS ou estação total; na aplicação com espalhadora o controlo primário é feito na mesa da espalhadora através de leitura por ultrassons aplicados ao pavimento;
 - Fabricada in-situ – normalmente com sistema GPS ou 3D acoplados às motoniveladoras.

➤ Obra terminada

Obtenção de verificações topográficas finais, enquadramento dentro dos parâmetros admissíveis ao nível da topografia. Estabelecimento de padrões de ensaios e amostragens do produto final, aferição de fatores como a regularidade e o acabamento e, finalmente, a análise e compilação de resultados e registo de eventuais não conformidades.

3.4. Análise Económica

Já estão amplamente descritas as vantagens da utilização desta técnica construtiva, quer em termos estruturais como camada de pavimento, quer em termos de benefícios na gestão de solos de uma obra.

Importa agora considerar a análise económica e as repercussões da adoção deste tipo de solução. Os elementos que influenciam a adoção de uma solução de solo-cimento ou ABGEC são fundamentalmente os seguintes:

- ABGEC
 - O custo dos inertes como produto industrial fabricado;
 - O custo do cimento;
 - O custo do fabrico em central;
 - O custo do equipamento, em especial do espalhamento com espalhadora de betuminosos.

- Solo-cimento
 - O custo da exploração e movimentação de solos quando de empréstimo;
 - O custo do cimento;
 - O custo da equipa;
 - O custo associado ao rendimento.

Vamos debruçar-nos em especial nesta última variante do solo-cimento, por ter maior representatividade na atividade do tratamento com ligantes hidráulicos, por um lado, e por constituir maior especificidade e relação de custos elevados, por outro.

O custo associado à exploração e movimentação de solos sempre que estes não se encontrem na linha da estrada em construção ou os empréstimos estejam demasiado distante desta, pode ter uma representatividade dissuasora da solução, dado estarem envolvidos os meios tradicionais de terraplenagem com a utilização de escavadoras na exploração e transporte de grandes volumes cujo custo pode atingir os 0,15 € por tonelada por Km transportado, função ainda assim das condições de circulação do circuito e da distância total.

Por outro lado, sempre que os solos já existam “na linha” da obra e pertençam ao movimento de solos da empreitada global, estamos na presença de uma otimização da gestão de solos a ser tida em conta também em função de distâncias de transporte e respetivo custo associado, bem como haverá que ter em conta o facto de a obra ser excedentária ou deficitária de solos.

Em suma a primeira análise a ser feita deverá ter em conta:

- ✓ Onde há solos apropriados?
- ✓ Que influência têm no movimento geral de solos da obra?
- ✓ Quanto custam colocados na linha para tratamento?

Passada esta análise tomemos agora o tratamento propriamente dito.

Caracterizado o solo e elaborado o estudo laboratorial nos moldes já descrito em 3.2.1, há que definir qual a percentagem de cimento que a mistura exige para o cumprimento dos parâmetros do projeto e do CE.

A variação de 1% na dosagem de cimento pode ter um peso muito grande no custo por metro quadrado na mistura, naturalmente também função da espessura a tratar. Por exemplo, uma camada com 0,25 m de espessura e com uma baridade de 2.200 kg/m^3 implica que cada metro quadrado terá 550 Kg de mistura. O custo aproximado do cimento a granel ronda os 0,10 €/Kg. Numa mistura de 550 Kg/m^2 , um incremento de apenas 1% de cimento representa um acréscimo no preço unitário de $0,55 \text{ €/m}^2$.

Considerando, por exemplo, a obra de autoestrada anteriormente citada com um troço de aproximadamente 23,0 Km de tratamento em perfil de autoestrada com quatro nós de acesso, temos cerca de $730.000,00 \text{ m}^2$ de área a tratar, onde esse acréscimo de 1% representa 401.500,00 €, ou seja, quase meio milhão e euros.

Daqui se vê a importância do correto estudo dos solos, das misturas, dos trechos experimentais e de todo o processo laboratorial da mistura.

Há ainda que ter em conta a gestão das entregas de cimento a partir da fábrica, que deve ser diária e ter um interlocutor exclusivo para que os fornecimentos nunca ponham em risco a atividade. Se, por um lado, uma cisterna de cimento chega cedo de mais, pode não ter local de descarga por falta de consumo nos silos de reserva. Por outro lado, um atraso excessivo pode levar à paragem da atividade por falta de cimento.

Passemos agora ao custo da equipa de tratamento *in-situ* propriamente dita. Uma máquina recicladora de solos pode custar entre 350.000,00 € e 650.000,00 €, variando o preço em função da potência (com variações entre os 400 cv e os 650 cv). No caso do tratamento via húmida, o dosificador água/cimento pode custar cerca de 400.000,00 €. No caso do tratamento via seca, um dosificador de cimento custa cerca de 180.000,00 €. Há ainda que ter em conta os equipamentos tradicionais de apoio já citados no ponto 3.2.4.2.

Haverá que considerar portanto custos de amortização (entre 6 e 10 anos), o financiamento, a manutenção e as reparações, os combustíveis, a percentagem de operacionalidade anual e os operadores.

O custo diário de apenas de 3 dos equipamentos supracitados de tratamento pode rondar facilmente os 5.000,00 €/dia.

Outro custo a ter em conta será o material de desgaste, com especial relevância para os “bicos” do rotor da recicladora cuja durabilidade depende fortemente de três fatores:

- ✓ Granulometria do solo – a um solo mais grosseiro está associado maior desgaste;
- ✓ Compactação do solo – mais solto menos abrasivo;
- ✓ Natureza geológica do solo – areias e saibros – muito abrasivos; argilas pouco abrasivas.

O custo representativo do desgaste associado aos equipamentos de tratamento começa nos 0,10 €/m² tratado e pode atingir os 0,80 €/m².

O custo do transporte dos equipamentos, na maioria transportes especiais, pode ter um peso muito importante em obras de pequena dimensão, inviabilizando por si só a solução. O custo de transporte dos principais equipamentos de tratamento pode rondar facilmente os 5.000,00 €.

Por outro lado, também há que saber que os rendimentos destas equipas são também muito elevados em condições normais, podendo atingir os 8.000,00 m² tratados por dia de trabalho, contribuindo de forma decisiva para a viabilização da maioria das soluções.

Já vimos que os custos de exploração são muito elevados e que os custos de paragem em consequência também. Se por um lado a equipa de tratamento tem os custos já citados, recorde-se que essa é apenas uma das componentes da “linha de fabrico”, pois temos a montante a exploração e transporte e solos, espalhamento, rega e compactação primária e a jusante a regularização final, compactação e rega de cura. Num dia de trabalho é muito fácil o custo de toda a equipa atingir os 10.000,00 €/dia pelo que uma simples avaria de um equipamento no processo para todas as equipas a montante e a jusante da avaria. Será, assim, prudente considerar reservas de prevenção em obra para os equipamentos menos onerosos de modo a prevenir males maiores, dados os valores em causa a cada dia.

Por fim, e tendo presente o já exposto neste ponto, haverá que garantir as melhores condições de gestão da obra para que as falhas sejam minimizadas e, conseqüentemente, também os sobrecustos imprevistos.

Os principais aspetos a ter em atenção para a otimização da produção são:

- a. Definição clara e preparação das zonas a tratar por período de trabalho;
- b. Correta preparação do solo (compactação a 95% e regularidade);
- c. Preparação de acessos antecipadamente para todos os equipamentos;
- d. Coordenação adequada entre: a fábrica de cimento; a equipa de topografia; a equipa de laboratório; a equipa de transportes; a equipa de espalhamento e compactação prévia dos solos; a equipa de tratamento; e a equipa de compactação e proteção da camada.

A análise custo/benefício desta atividade é dependente de muitos fatores e pode tornar-se complexa, sendo certo que a uma maior área a tratar estará associado um menor custo e um maior benefício, resultado dos encargos indiretos, diretos e dos rendimentos associados.

Por estas razões tornam-se pouco viáveis estas soluções para redes viárias secundárias de pequenas dimensões, mas podem ser muito relevantes do ponto de vista económico para redes viárias secundárias de dimensão significativa e para redes viárias principais ou até ferroviárias.

3.5. Impactes Ambientais

A solução de tratamento de solos com cimento tem, como qualquer outra atividade da obra geral, impactes ambientais a ter em conta.

Vamos fazer uma breve análise das implicações que este trabalho pode ter, quais os benefícios e os inconvenientes a ponderar na adoção desta solução, sendo certo não haver verdades absolutas neste tema mas sim uma ponderação equilibrada de relação custo/benefício que sempre será diferente de obra para obra.

A construção de uma camada estrutural de solo-cimento tem desde logo duas vertentes de análise relativa aos solos e à terraplenagem, a saber:

- i. Se a obra é excedentária de solos no equilíbrio global – uma obra excedentária de solos permite, com uma gestão adequada das terraplenagens em função da sua tipologia, a utilização de parte ou todo o excedente na construção de leitos de pavimento tratados com cimento, minimizando o impacto da condução a vazadouro dos solos excedentes aproveitados na própria obra.

O impacto ambiental provocado pela criação de vazadouros pode ser significativo nalgumas regiões do País, especialmente as protegidas, apesar do enquadramento paisagístico e proteção a linhas de água que muitas vezes é necessários fazer.

- ii. Se a obra é deficitária de solos no equilíbrio global – à partida, se tal se verificar, a exploração de um empréstimo para a construção da camada de solos tratados terá um impacto negativo pelas mesmas razões que implicam um vazadouro.

Mas nem sempre é assim pois, por exemplo, numa obra de grande extensão, como uma autoestrada, onde os volumes de solos a movimentar em terraplenagem são muito grandes, pode compensar utilizar solos da linha de boas características em camadas de solos tratados e aumentar a exploração de empréstimo para compensar o acréscimo de deficit global. Tal é possível, por exemplo, se as distâncias de transporte forem minimizadas com esta solução, traduzindo-se assim num benefício ambiental a menor emissão de CO² para a atmosfera com a diminuição da frota de transportes.

No que diz respeito às camadas estruturais, incluindo a camada de solos tratada, haverá ainda que considerar:

- i. A diminuição das espessuras das camadas estruturais – à partida, com o incremento dos módulos de deformabilidade garantidos com a construção de uma camada de solo-cimento, teremos uma estrutura de pavimentos mais delgada nas camadas mais nobres subsequentes, como sejam as bases e as camadas betuminosas.

Se a diminuição do consumo de inertes de pedra na construção das bases beneficia o ambiente com uma menor exploração industrial das pedreiras, a camadas betuminosas mais delgadas corresponderá um menor consumo de derivados do petróleo, menor consumo também de inertes e menor número de emissões durante o fabrico pela diminuição de quantidades.

- ii. O consumo de cimento - a este fator implica o aspeto negativo do consumo de cimento e o respetivo transporte ao local da obra com incremento da exploração das cimenteiras e da emissão de CO² correspondente aos transportes até à obra.

Contudo, dadas as percentagens relativamente baixas de cimento normalmente utilizadas na construção destas camadas, pode considerar-se que não será o principal fator condicionador na análise ambiental.

- iii. As distâncias de transporte – a todas as componentes da atividade estão associadas distâncias de transporte, sejam elas dos solos, dos inertes ou do cimento, cuja representatividade estará ligada diretamente aos volumes a transportar, pelo que este fator pode ser também muito importante na contabilização de emissões de CO², nas implicações criadas na circulação de estradas de acesso e nas populações servidas por esses circuitos.

Considerando a construção de camadas de base em ABGEC, haverá que ter em conta os mesmos princípios gerais e variáveis descritas relativamente ao solo-cimento, nos pontos que lhe são comuns.

Como se pode constatar, há que ponderar várias variáveis que serão diferentes de obra para obra e que terão também que ser pesadas para além das questões puramente técnicas e estruturais.

4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Nesta dissertação procurou-se compilar a abrangência, o conhecimento, as particularidades e as condicionantes do tratamento de solos e inertes com ligantes hidráulicos, em especial o cimento.

Prática corrente em muitos Países pelo mundo fora, regulamentada e estudada em muitos deles com maior experiência, considera-se importante que em Portugal comece a surgir mais debate e maior utilização deste tipo de práticas. Basta pensar que em Países da América é comum as empresas de construção rodoviária terem várias equipas de trabalho desta especialidade, ou que aqui ao lado em Espanha e antes da crise do sector da construção existiam sete empresas, quando em Portugal, na mesma altura, apenas duas construtoras detinham uma equipa desta especialidade.

Fez-se uma análise de casos práticos, analisaram-se as formas de atuação e o estudo de componentes e de misturas, descreveram-se os métodos, detalharam-se modos de construção e condicionantes próprias da atividade tendo por base a experiência vivida em alguns troços e a construção com diferentes metodologias e equipamentos.

Procurou-se ter em conta uma análise económica nos pressupostos não só da atividade em si, mas também dentro de um enquadramento com a generalidade da obra da qual esta atividade faz parte. Tal análise permite lançar os parâmetros para um estudo financeiro aprofundado que deve ser feito em fase de estudo de cada obra pelos elevados valores financeiros que estão normalmente em causa neste tipo de construção.






Nos dias de hoje não se deve deixar de ter em consideração a componente ambiental, não só pelo respeito que é exigido ao ambiente que nos rodeia, mas também pelo forte impacto que uma construção rodoviária ou ferroviária pode ter no meio ambiente. Tal análise não pode ser dissociada do estudo técnico estrutural do projecto ou de variantes que ocorram, nem do próprio estudo económico ao qual também está fortemente ligada como se demonstrou.

5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS






- PCA (1995). Soil Cement Construction Handbook. Portland Cement Association.
- LCPC (1992). Guide Technique por la réalisation des remblais et des couchés de forme. Laboratoire Central Des Ponts et Chaussées.
- LCPC/SETRA (2000). Traitement des sols à la chaux et/ou liants hydrauliques. Laboratoire Central Des Ponts et Chaussées.
- IECA (2008). Manual de Estabilización de Suelos com cemento o cal. Instituto Español Del Cemento y Sus Aplicaciones
- DNER (1997). Pavimentação -Base de Solo-Cimento. Departamento Nacional de Estradas de Rodagem, Brasil
- DNER (1997). Base de Solo Melhorado com Cimento. Departamento Nacional de Estradas de Rodagem.
- DER (2005).Brasil Base, Sub-base, Brita Graduada com Cimento. Departamento Nacional de Estradas de Rodagem – Paraná – Brasil
- DER (2006).Sub-Base ou Base de Solo-Brita-Cimento. Departamento Nacional de Estradas de Rodagem – São Paulo – Brasil
- E.P. (1998). Caderno de Encargos Tipo Obra, Estradas de Portugal
- E.P.(2009). Caderno de Encargos Tipo Obra, Estradas de Portugal
- E.P. (2012). Caderno de Encargos Tipo Obra, Estradas de Portugal
- REFER (2009). Empreitada de Modernização da Estação de Évora. Projecto de execução. Restabelecimentos. Condições Técnicas. Direção Geral de Engenharia e Construção.

ANEXO A

	Address : Gazeteciler Sitesi, Dergiler Sok. No:13 P.K. 34354 Esentepe -Istanbul (TURKEY) Phone : +90 212 288 96 33 Fax: +90 212 274 63 10 Web : www.elkon.com e-mail: medet@elkon.com								
<h2 style="margin: 0;">PROFORMA INVOICE</h2> <p style="margin: 0;">ISTANBUL: 04.10.2011 NUMBER: EL/TM/11-7324</p>									
Tecnovia-Sociedade de Empreitadas Portugal	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 30%;">Contact Person</td> <td>Paulo Azinhais</td> </tr> <tr> <td>Phone/Fax</td> <td>Tel: +351-21 422 5400 Fax: +351-21 422 5499</td> </tr> <tr> <td>E-mail/Web</td> <td>paulo.azinhais@tecnovia.pt</td> </tr> <tr> <td>Subject</td> <td>Stabilization Plant</td> </tr> </table>	Contact Person	Paulo Azinhais	Phone/Fax	Tel: +351-21 422 5400 Fax: +351-21 422 5499	E-mail/Web	paulo.azinhais@tecnovia.pt	Subject	Stabilization Plant
Contact Person	Paulo Azinhais								
Phone/Fax	Tel: +351-21 422 5400 Fax: +351-21 422 5499								
E-mail/Web	paulo.azinhais@tecnovia.pt								
Subject	Stabilization Plant								
<p>SCOPE OF WORK</p> <h3 style="margin: 0;">ELKON STABILIZATION PLANT</h3>									
									
<p>Page 1 of 6</p>									
	ELKON ELEVATOR KONVEYOR VE MAKINA SANAYI VE TICARET A.S.								

Nr.	Type	Q-ty	Unit Price EURO	Total Price EURO
1	ELKON STABILIZATION PLANT • Capacity: 300 ton/hour			
Units				
1.1	Aggregate Inline Silo (2x20m ²)	1 unit		
1.2	Belt Feeder with electrical variator	2 units		
1.3	Aggregate Transfer Conveyor (between aggregate inline silo and continuous mixer)	1 unit		
1.4	Continuous Mixer (Elkon C200 Continuous Mixer)	1 unit		
1.5	Cement Feeding Bunker	1 unit		
1.6	Cement Feeding Screw (Ø273) Between Cement Feeding Bunker and continuous mixer	1 unit		
1.7	Main Transfer Belt Conveyor (between continuous mixer and storage silo)	1 unit	180.000	180.000
1.8	Storage Bunker (30 m ³)	1 unit		
1.9	Supporting Construction (Supporting legs and props, ladders, platforms and safety guards)	1 set		
1.10	Operator's Cabin, Control Board and power panel (Operator cabin is equipped with air conditioner and heater. Automatic control is performed by means of SIEMENS PLC and SIEMENS operator panel. Buttons and switches are TELEMEQUANIQUE brand.)	1 set		
1.11	Cement Screw (Ø 220 mm) Brand : ELKON	1 unit	3.500	3.500
1.12	Cement Silo Equipment (max-min. level indicator, fluidizing system, pressure safety valve, max-min. level indicator panel with alarm system)	1 set	1.000	1.000
1.13	Cement Silo Filter Brand : WAM	1 unit	2.200	2.200
1.14	Cemen Silo (75tons) Brand : ELKON Bolted type	1 unit	9.500	9.500
Total Price				196.200-EURO
SPECIAL DISCOUNT FOR YOUR COMPANY				-20.000-EURO
<i>Total Special Discounted Price For Your Company</i> <i>O/ OneHundredSeventySixThousandTwoHundred EURO</i>				176.200-EURO
• Delivery type EXW, Cherkezoy-TURKEY (INCOTERMS 2000)				
Page 2 of 6				
		ELKON ELEVATOR KONVEYOR VE MAKINA SANAYI VE TICARET A.S.		   

 <p>ELKON KONVEYOR MAKİNALARI SANAYİ VE TİCARET A.Ş.</p>	<p>Address : Gazeteciler Sitesi, Değirler Sok. No:13 P.K. 34394 Esentepe -İstanbul /TURKEY Phone : +90 212 288 96 33 Fax: +90 212 274 63 10 Web : www.elkon.com e-mail: market@elkon.com</p>	
		
		
<p>ELKON Cement Screws</p>	<p>HERTZ Compressor</p>	
<p>Page 3 of 6</p>		
	<p>ELKON ELEVATOR KONVEYOR VE MAKİNA SANAYİ VE TİCARET A.Ş.</p>	

		Address : Gazetecler Sitesi, Dergiler Sok. No:13 P.K. 34394 Esentepe -Istanbul /TURKEY Phone : +90 212 288 96 33 Fax: +90 212 274 63 10 Web : www.elkon.com e-mail: marketina@elkon.com	
			
Concrete production software		Control board of the mobile concrete batching plant, SIEMENS operator panel and SIEMENS PLC controller	
<h2>2. TIME AND TYPE OF DELIVERY</h2> <p>The production of Elkon Stabilization Plant will begin after receiving the receipt of order and advance payment and will be over after 6-7 weeks.</p> <p>Delivery place is EXW, Cherkezoy - TURKEY (INCOTERMS 2000). Transport and transport insurance belong to your company.</p>			
<h2>3. RESPONSIBILITIES</h2> <p>Mounting and putting into operation is included in prices under given conditions described below;</p> <p>Customer's Responsibilities:</p> <ul style="list-style-type: none"> • To prepare foundations and cable trays according to our foundation plans which will be given by Elkon. • To make static calculations of foundations. • To provide required electric power up to power board in the mixer block and to make grounding. • To provide water supply at required flow and pressure to the water connection of the plant. • To arrange required lifting and welding machineries and oxygen cutting machines and other required hand tools. • To provide calibration weights for calibration of weight batchers. • To provide one operator during start up operation and test production. • To provide 4-5 regular workers for our installation and start up team. • To provide all materials (aggregate, cement, additive and water) during test production. • To cover our technician's go-return air tickets, visas costs, accommodation, local transportation, meal costs, to pay 100 (onehundred) EURO/day pocket money for each person. • To provide Elkon's technicians' life guarantee during the start-up and installation process. • If there will be any delay more than 3 days during installation process because of the lack of Customer responsibilities, Customer will pay 100 EURO/day/person penalty additional to pocket money. • Transport and transport insurance. <p>ELKON's Responsibilities:</p> <ul style="list-style-type: none"> • To provide foundation plan. • To provide Operation & Maintenance Manual and Spare Parts Catalogue in English. 			
Page 4 of 5			
		ELKON ELEVATOR KONVEYOR VE MAKINA SANAYI VE TICARET A.S.	
			

	Address : Gazeteciler Sitesi, Dergiler Sok. No:13 P.K. 34394 Esentepe -Istanbul (TURKEY) Phone : +90 212 288 96 33 Fax: +90 212 274 63 10 Web : www.elkon.com e-mail: market@elkon.com
<p>• In case of customer's fulfillment of the above mentioned responsibilities, to do mechanical assembly and start up operation, and to give training to the operator of the customer.</p>	
<p>4. PAYMENT CONDITIONS</p>	
<p>50 % of the total amount will be paid during the order (advance payment) 50 % of the total amount will be paid when the production of plant will be over (before transportation from our factory)</p>	
<p>5. GUARANTEE</p>	
<p>Guarantee of the plant is 12 months from the date of delivery. Customer must obey to given operation and maintenance instructions, otherwise all kinds of responsibility belongs to customer. Wearing parts are out of the guarantee.</p>	
<p>6. OPTION</p>	
<p>The validity is subject to the last confirmation.</p>	
<p>Best Regards, ELKON BETON MAKINALARI SAN. VE TIC. LTD. STI.</p>	
<p>Page 6 of 6</p>	
	<p>ELKON ELEVATOR KONVEYOR VE MAKINA SANAYI VE TICARET A.Ş.</p>
	

ANEXO B


**LISTA VERIFICAÇÃO DIÁRIA
CENTRAL SOLO-CIMENTO
- FLUXO CONTÍNUO -**

LVD 1778

Ed. 1

ORGÃO	ACÇÃO
Gerador de Alimentação	1 Verificar transmissão / bombas do circuito de alimentação, depósito de gasóleo.
Tremonha de Carga de Inertes	1 Verificar limpeza da "boca" de saída da tremonha para o tapete transportador. 2 Verificar se existem solos agregados às paredes da tremonha.
Silos de Armazenamento de Cimento	1 Verificar a quantidade de cimento armazenada de 2 em 2 dias. 2 Verificar funcionamento dos senfim
Silos de Incorporação de Cimento	1 Verificar o funcionamento do vibrador acoplado. 2 Verificar o funcionamento senfim
Depósito de Água	1 Verificar a quantidade de água armazenada.
Caudalímetro	1 Verificar o funcionamento do nível doseador.
Tapete Transportador	1 Verificar tela, desgaste e alinhamento. 2 Inspeccionar tambores e roletes. 3 Verificar existência de fugas de óleo. 4 Verificar existência de fugas de material. 5 Efectuar limpeza (varimento manual) de todo o circuito no fim do período de trabalho diário.
Cobertura do Tapete Transportador	1 Verificar se a cobertura do tapete se encontra totalmente fixa e limpa. 2 Verificar estado da cobertura.
Câmara Misturadora	1 Efectuar lavagem diária no fim de cada período de trabalho. 2 Verificar desgaste das pás rotativas. 3 Verificar existência de fugas de óleo.

 (Responsável Central)

 (Data)

ANEXO C



RELATÓRIO DE VERIFICAÇÃO / CALIBRAÇÃO DE EQUIPAMENTO

EQUIPAMENTO CENTRAL DE FABRICO DE SOLO-CIMENTO (FLUXO CONTINUO) **Código** _____

LOCAL OBRA 1778 – Empreitada de Execução das Infra-Estruturas do Loteamento da Zona 2 da Zils - Zona Industrial e Logística de Sines **DATA** _____

EQUIPAMENTOS UTILIZADOS NA VERIFICAÇÃO / CALIBRAÇÃO

- CRONOMETRO - CAMIÃO - BALANÇA

DOCUMENTOS DE REFERÊNCIA

- Soil - Cement Construction Handbook, Engineering Bulletin, PCA - PORTLAND CEMENT ASSOCIATION, revisão 1995

REGISTO DAS OPERAÇÕES REALIZADAS

1ª CÁLCULO DA QUANTIDADE DE SOLO:

1ª Pesagem (1 minuto)	$\frac{\text{sol} \times 60 \text{min/h}}{1 \text{min}}$ = _____ ton/h
2ª Pesagem (2 minutos)	$\frac{\text{sol} \times 60 \text{min/h}}{2 \text{min}}$ = _____ ton/h
3ª Pesagem (3 minutos)	$\frac{\text{sol} \times 60 \text{min/h}}{3 \text{min}}$ = _____ ton/h
TOTAL de Solo Húmido (SH)	Meda = $\frac{(1)+(2)+(3)}{3}$ = _____ ton/h

• Teor em água (T_H) = _____ %

• Solo Seco (SS) = $\frac{SH \cdot h}{1 + \frac{T_H}{100}}$ = _____ ton/h

2ª CÁLCULO DA QUANTIDADE DE CIMENTO:

• Teor de Cimento (T_C) = _____ %

1ª Pesagem (15 segundos)	$\frac{\text{sol} \times 60 \text{min/h}}{15 \text{seg}}$ = _____ ton/min
2ª Pesagem (30 segundos)	$\frac{\text{sol} \times 60 \text{min/h}}{30 \text{seg}}$ = _____ ton/min
3ª Pesagem (45 segundos)	$\frac{\text{sol} \times 60 \text{min/h}}{45 \text{seg}}$ = _____ ton/min
TOTAL de Cimento	Meda = $\frac{(1)+(2)+(3)}{3}$ = _____ ton/min

SS x T_C = _____ ton/h x $\frac{1000 \text{Kg/ton}}{60 \text{min/h}}$ = _____ kg/min

3ª CÁLCULO DA QUANTIDADE DE ÁGUA:

- Teor em água ótimo (TA_{op}) = _____ %
- Acrecimento a considerar por vaporização (T_v) = _____ %
- Teor em água natural (TA_n) = _____ %

(1) Água no Solo (SS x TA_n)	_____ ton/h
(2) Solo + Cimento (SS + T_C)	_____ ton/h
(3) Água necessária ((2) x (TA_{op}-T_v))	_____ ton/h
(4) Água a adicionar (SS - (1))	_____ ton/h ⇔ _____ L/min

ANEXOS _____

CONCLUSÕES

Elaborado por: _____ Verificado por: _____
 Data: ____ / ____ / ____ Data: ____ / ____ / ____