

O SOLO-CIMENTO NA CONSTRUÇÃO DE AERÓDROMOS

SOIL-CEMENT IN AERODROME CONSTRUCTION

LUIS FILIPE RIBEIRO FERREIRA BARBOSA *

SUMÁRIO

Apresenta-se a experiência da Direcção de Infraestruturas da Força Aérea Portuguesa na construção de solo-cimento em pavimentos de aeródromos, indicando as principais trabalhos executados e em curso.

Faz-se uma breve análise dos materiais utilizáveis neste tipo de trabalho, e apresenta-se a prática seguida no estudo da composição das misturas. São referidos os métodos construtivos tradicionalmente utilizados de execução da mistura no local e o novo método de execução da mistura em central.

É focado o aspecto essencial do controle da execução do trabalho e da sua garantia de qualidade.

Termina-se com uma discussão das utilizações possíveis deste tipo de material, chamando-se a atenção para os problemas derivados da sua fissuração.

ABSTRACT

This paper presents the experience of the Directorate of Infrastructures of the Portuguese Air Force on soil-cement construction for aeronautical pavements, referring the main works that were performed.

The used materials and mixture design practice are shown, as well as construction techniques, both the traditional in place mix and the new plant mix.

The essential quality control is emphasized.

A discussion on the possible uses of this material and on problems with cracking closes this paper.

* Major Engenheiro de Aeródromos; Professor da Academia Militar.

1. INTRODUÇÃO

Devido, provavelmente, ao facto de ter sido possível em Portugal, ao longo dos anos, a obtenção relativamente fácil e económica de solos com características adequadas para sub-bases de pavimentos e de bons materiais britados para as camadas de base, não têm sido utilizadas com frequência entre nós na construção rodoviária, as sub-bases e bases tratadas com cimento. No que se refere à construção de aeródromos a situação é diferente, a nível dos aeródromos da Força Aérea, onde se tem recorrido extensivamente à utilização do solo-cimento não só em camadas estruturais dos pavimentos, mas também na estabilização das bermas dos mesmos. Deve-se este facto às três circunstâncias seguintes:

- Algumas das Bases Aéreas estão situadas em zonas de solos de natureza arenosa, com características tais, que permitiam uma estabilização económica e fácil com cimento.
- Em África houve que construir vários aeródromos em zonas onde não havia pedra com abundância, pelo que a única solução consistia na estabilização dos solos locais.
- As bermas das pistas e dos caminhos de circulação, embora não se destinem a ser utilizadas pelos aviões, devem ser protegidas, a fim de evitar a presença de pedras soltas, que quando sugadas pelas turbinas dos aviões as podem arruinar totalmente.

As utilizações mais significativas de solo-cimento em aeródromos da Força Aérea foram, resumidamente as indicadas a seguir:

<u>PORTUGAL</u>		<u>ANGOLA</u>		<u>MOÇAMBIQUE</u>	
Montijo	660.000 m ²	Negage	135.000 m ²	Nacala	220.000 m ²
Ovar	40.500 m ²	Serpa Pinto	170.000 m ²	Nova Freixo	160.000 m ²
S.Jacinto	84.000 m ²			Tete	172.000 m ²
Alverca	20.000 m ²			Beira	64.000 m ²
Monte Real	80.000 m ²				
Beja	900.000 m ²				

O total das áreas já tratadas ascende pois a mais de 3.000.000 m², tendo sido em geral, os resultados obtidos de tal forma satisfatórios, que ainda muito recentemente, nas obras de expansão do aeródromo de Monte Real, se optou pela construção de mais, 50.000 m² de solo-cimento em camada de suporte de pavimentos rígidos, indo-se, em seguida, proceder à estabilização das respectivas bermas.

2. MATERIAIS UTILIZÁVEIS

Apresentam-se em seguida as diferentes especificações relativas a solos utilizáveis em solo-cimento, em que se pode observar que os limites impostos em diferentes países, tanto no que se refere a granulometria, como no que se refere a características de plasticidade são muito largos.

Granulometria

Peneiros ASTM	Percentagens passadas		
	<u>PORTUGAL</u>	<u>INGLATERRA</u>	<u>E.U.A.</u>
3"	100	-	100
2"	≥ 80	100	-
1 1/2"	-	≥ 95	-

Peneiros	Percentagens passadas			
	ASTM	PORTUGAL	INGLATERRA	E.U.A.
3/4"	-	-	> 45	-
nº4	≥ 45	-	≥ 30	≥ 50
nº8	-	-	≥ 25	-
nº30	-	-	≥ 12	-
nº40	-	-	-	≥ 15
nº50	-	-	≥ 5	-
nº200	-	-	-	≤ 50

$$C_u = \frac{D_{60}}{D_{10}} > 10$$

Limites de consistência	PORTUGAL	INGLATERRA	E.U.A.
	LL ≤ 45%	LL ≤ 45%	LL ≤ 40%
		IP ≤ 20%	IP ≤ 22%

É desaconselhável a utilização de solos com mais de 2% de matéria orgânica, dado os problemas que pode originar no referente à presa do cimento.

No que se refere à água, deve ser limpa e isenta de quantidades nocivas de alcalis, ácidos ou matéria orgânica, não sendo até de excluir o recurso a água do mar, se necessário.

No que se refere ao cimento é utilizado o cimento "Portland" normal, não devendo ter mais de 120 dias após fabrico, ou mais de 90 dias em armazém em obra.

Conclui-se, pois, não ser, em geral, a questão dos materiais disponíveis impeditiva da construção de solo-cimento.

3. ESTUDO DA COMPOSIÇÃO DA MISTURA

No estudo da composição da mistura é necessário determinar as seguintes 3 grandezas:

- Teor de cimento a utilizar.
- Teor óptimo de humidade na fase da execução.
- Baridade seca máxima atingível.

As duas últimas grandezas são universalmente determinadas por meio de ensaios de compactação normais.

No que se refere à primeira, as práticas seguidas nos diferentes países variam.

Nos E.U.A. o teor de cimento é determinado por meio de dois ensaios complexos e morosos, os ensaios de secagem-molhagem e de gelo-degelo, podendo os resultados destes 2 testes ser ulteriormente confirmados por meio de ensaios de resistência à compressão simples. Em Inglaterra a determinação é feita apenas por intermédio de ensaios de resistência à compressão simples, usando-se moldes de diferentes dimensões para o fabrico de provetes de solos com diferentes granulometrias. Neste país a resistência mínima inicialmente prescrita era de 18Kgf/cm², aos 7 dias (3 dias de cura e 4 de imersão), recomendando-se mais tarde, para projectos importantes e cargas pesadas, um valor mais elevado de 28Kgf/cm². Nas obras da Força Aérea Portuguesa as circunstâncias obrigaram à adopção de ensaios o mais simples possível, com os poucos equipamentos de labora-

tório disponíveis, pelo que se optou pelo ensaie de compressão simples, com provetes moldados no molde Proctor, para todos os tipos de solos, exigindo-se uma resistência à compressão simples de 20Kgf/cm², aos 7 dias (7 dias de cura e 4 horas de imersão antes do ensaio). A energia de compactação usada na moldagem dos provetes é a do ensaio Proctor normal. O ensaio dos provetes é efectuado numa prensa normal do ensaio CBR.

O estudo da mistura, de acordo com a prática seguida na Força Aérea Portuguesa, pode-se então resumir aos seguintes passos:

- 1º Ensaies de identificação dos solos (granulometria por peneiração e limites de consistência).
- 2º Classificação do solo de acordo com a classificação AASHO.
- 3º Estimativa, a partir da classificação do solo, do teor de cimento a usar na mistura.
- 4º Ensaie de compactação da mistura, executada com o teor de cimento estimado, para determinação da baridade seca máxima e do teor óptimo de humidade.
- 5º Para 3 diferentes teores de cimento da mistura (teor estimado \pm 2%) moldagem de 2 provetes com o teor óptimo de humidade.
- 6º Cura dos provetes, durante 7 dias, em atmosfera saturada.
- 7º Imersão dos provetes, durante 4 horas, seguida do seu ensaio à compressão simples.
- 8º Traçado da recta resistência à compressão-teor de cimento, com determinação do teor necessário para a obtenção da resistência de 20 Kgf/cm².

Os resultados obtidos com os teores de cimento assim determinados têm sido, em geral, plenamente satisfatórios.

4. MÉTODOS CONSTRUTIVOS

Os métodos construtivos usados têm sido, em regra, extremamente simples e expeditos.

Inicia-se, normalmente, a construção com o espalhamento do solo da camada a tratar, directamente com o moto-scraper, que o traz da câmara de empréstimo. Dado a camada assim espalhada apresentar por vezes uma espessura muito irregular, faz-se a sua uniformização com a ajuda de uma motoniveladora, devendo-se ter em conta a espessura final de camada pretendida e o normal assentamento no decurso da compactação.

Antes de se iniciar o espalhamento superficial de cimento, determina-se o teor de humidade do solo, para verificar se coincide com o teor óptimo determinado no estudo. Havendo falta de água procede-se a uma rega, mais ou menos rápida, com o camião tanque. Havendo excesso de água tem de se aguardar a secagem do solo, que pode ser acelerada arejando-o com a passagem de um "pulvimixer".

Tendo-se determinado no estudo o teor de cimento a usar e conhecendo-se a baridade seca a atingir, bem como a espessura após recalque da camada a tratar, sabe-se qual a dosagem de cimento por metro quadrado a usar em obra.

O espalhamento do cimento, na dosagem pretendida, é feito manualmente, quando se usam sacos, colocando-os a distâncias pré-estudadas em função da mesma dosagem.

O espalhamento mecânico é feito por meio de caixas espalhadoras, de abertura regulável munidas inferiormente de um parafuso sem fim, que garante um espalhamento uniforme na largura da faixa a tratar.

A mistura é feita, em geral, com uma ou duas passagens do "pulvi-mixer", consoante a natureza do solo.

A compactação começa em geral com cilindros de pneus, com a pressão de enchimento dos mesmos inicialmente reduzida, sendo progressivamente aumentada, à medida que o solo vai ficando compactado. O cilindramento final é normalmente executado com cilindros de rolos metálicos lisos, sem vibração, para uniformização da superfície.

Eventualmente pode a construção ser acabada com a passagem da motoniveladora, para remoção de material em pontos que tenham ficado acima da cota do projecto e para acerto das juntas entre faixas de construção. Esta passagem da motoniveladora deve porém fazer-se só passadas algumas horas sobre a compactação, quando o cimento já tenha adquirido certa presa. De outra forma a passagem da motoniveladora pode prejudicar o acabamento anteriormente dado pelo cilindro.

Por vezes, a seguir à máquina espalhadora, que é munida normalmente de um "pulvi-mixer", faz-se passar um segundo "pulvi-mixer", munido à retaguarda de um conjunto de martelos mecânicos, que procedem a uma primeira compactação do solo.

Na obra mais recente efectuada pela Força Aérea Portuguesa, em Monte Real, usou-se, pela primeira vez, o fabrico de solo-cimento em central, o que garante um controle mais apertado dos teores de humidade e de cimento e uma óptima homogeneidade da mistura. O solo-cimento é então transportado para o local de aplicação por meio de camiões basculantes, onde é espalhado por meio de uma máquina espalhadora, do tipo das espalhadoras de betão betuminoso, munida à retaguarda de uma régua vibradora que deixa o solo-cimento uniformemente distribuído e já sujeito a uma primeira compactação. Com estes equipamentos os rendimentos obtidos foram, obviamente, muito superiores aos habituais.

5. CONTROLE DA CONSTRUÇÃO

O controle de construção faz-se incidir normalmente sobre os 10 pontos seguintes:

- 1º Regularidade e compacidade do fundo de caixa, sobre o qual se vai construir a camada estrutural de solo-cimento.
- 2º Pulverização do solo.
- 3º Teor de cimento.
- 4º Homogeneidade da mistura.
- 5º Teor de humidade antes da compactação.
- 6º Grau de compactação.
- 7º Acabamento da superfície.
- 8º Espessura efectiva da camada.
- 9º Cura
- 10º Resistência à compressão.

A pulverização é objecto de um simples exame visual. Caso não seja satisfatória uma passagem do "pulvi-mixer" resolve em geral a questão.

O teor de cimento é controlado, ou pela distância entre sacos, no caso do espalhamento manual, ou colocando uma chapa de contraplacado ou uma lona, de área pré-determinada, sob a máquina espalhadora, para recolha do cimento, e sua posterior pesagem.

A eficiência e homogeneidade da mistura é verificada visualmente no momento, sendo mais tarde comprovada em laboratório, comparando os valores da resistência aos 7 dias de provetes moldados com a mistura local, com a resistência obtida no estudo da mistura, para igual teor de cimento.

O teor de humidade é verificado, com uma frequência muito elevada com "speedy moisture tester".

O grau de compactação é verificado ou pelos clássicos métodos da garrafa de areia e do balão de borracha, ou preferencialmente com o núcleodensímetro que permite uma elevadíssima cadência de ensaios, permitindo um acompanhamento permanente do cilindramento.

O acabamento da superfície é verificado com a clássica régua de 5m, admitindo-se irregularidades máximas de 1cm nesta distância.

A verificação da espessura é feita através da escavação de pequenos buracos, usando-se, em geral, os efectuados para a verificação da compactação, caso a mesma não seja feita com o núcleodensímetro.

A cura é sempre objecto de especial atenção, procurando-se com sucessivas regas, manter a superfície permanentemente húmida.

A resistência à compressão, já mencionada para controle da homogeneidade da mistura, é verificada, para um ritmo normal de trabalho, sobre duas séries de 3 provetes moldados diariamente. Se possível, podem ainda estes resultados ser comprovados com ensaios efectuados sobre carotes extraídas da camada aos 7 dias e imediatamente ensaiados.

O controle descrito é exequível com meios muito limitados de laboratório e é suficiente para garantia de uma boa qualidade da obra.

Numa obra de grande dimensão assim controlada, chegou-se no final aos seguintes resultados:

- Teor de cimento médio exactamente igual ao determinado no estudo.
- Teor de humidade em geral 10% superior ao teor óptimo. Este desvio foi intencionalmente praticado, como forma de superar as dificuldades de compactação da mistura, postas pelas características do solo (A-2-4(0), areia limpa).
- Eficiência da mistura de 92%, correspondente a uma resistência média dos provetes à compressão de 18,5Kgf/cm², aos 7 dias.
- Grau de compactação médio 100,5%.
- Espessura efectiva média da camada 14,4cm. A espessura teórica da camada era de 15 cm. As tolerâncias admitidas eram de $\pm 1,2$ cm para média diária dos ensaios e 2cm num simples ensaio. Efectuaram-se 1200 verificações.
- A resistência à compressão apresentou resultados com uma certa dispersão na análise global dos ensaios de mais de 300 provetes, tendo apresentado o valor médio já referido de 18,5 Kgf/cm².

6. UTILIZAÇÕES DO SOLO-CIMENTO

A utilização do solo-cimento em camadas estruturais é feita maioritariamente em sub-bases. A utilização em camadas de base é por vezes contraindicada, de vido ao perigo da propagação, até à superfície das camadas de desgaste betuminosas, da fissuração por retracção própria do solo-cimento.

Este efeito é particularmente grave em zonas de acentuadas amplitudes térmicas. Neste aspecto ocorreu um desaire particularmente grave no aeródromo de Serpa Pinto, em que a fissuração se transmitiu na íntegra, em menos de um ano, através de uma camada superficial de betão betuminoso de 10cm de espessura. Em Serpa Pinto, porém, as amplitudes térmicas diárias sobre o pavimento, em dada época do ano, eram próximas dos 50°C. Pelo contrário em Luanda, onde as amplitudes eram muito baixas, obtiveram-se bons resultados com bases de solo-cimento recobertas com uma camada de rocha asfáltica de muito menor espessura.

A maior ou menor densidade da fissuração não é no entanto apenas função do clima, dependendo também da natureza do solo e do teor de cimento.

É possível, que a intercalação de uma camada de separação em geotextil, entre a camada de base de solo-cimento e a camada superficial betuminosa, possa combater eficazmente a propagação da fissuração, não tendo sido ainda esta técnica ensaiada em obras da Força Aérea Portuguesa, pelo que sobre a mesma não podemos emitir qualquer juízo prático.

No aspecto da resistência não consideramos haver contra-indicação à aplicação do solo-cimento em camadas de base.

Finalmente, considera-se ainda de interesse referir a utilização extensiva que se fez de solo-cimento plástico na construção de valetas, com resultados também satisfatórios.

7. CONCLUSÕES

Como resultado da experiência adquirida considera-se que é em geral viável, fácil e económica a estabilização de solos com cimento. Uma larga gama de solos pode ser estabilizada com cimento, ressaltando-se a contraindicação que impende sobre os solos de elevada plasticidade, cuja estabilização exige teores de cimento tais, que a tornam economicamente desaconselhável.

Um estudo correcto do solo-cimento e uma construção cuidada e devidamente controlada, permitem obter um material de construção barato e de elevada resistência tanto à acção dos elementos como das cargas repetidas impostas pelo tráfego.