

# Reconstrução do aeroporto da cidade de Pouso Alegre/MG, por procedimentos de reciclagem a frio *in situ*

## UMA MEDIDA ECONÔMICA E ECOLÓGICA

José David de Paula Filho

### 1. INTRODUÇÃO

Sintetiza-se, neste trabalho, a recuperação da pista de pouso única do Aeroporto da cidade de Pouso Alegre, no Sul do Estado de Minas Gerais, cujos serviços foram executados com a reutilização dos materiais do pavimento existente por procedimentos de reciclagem a frio no local. Nota-se uma economia considerável no custo final das obras de recuperação do pavimento, devido simplesmente a uma mudança na concepção do projeto inicial e a um ganho em termos ambientais, com a reutilização dos materiais da estrutura existente.

### 2. PROPOSTA INICIAL

Devido às características geométricas da pista de pouso (1.280m x 30m) e da inviabilidade econômica e ambiental de ampliá-lo, o referido aeródromo limita-se a pousos e decolagens de aeronaves do tipo EMB-120 (Brasília com 11.340 kgf).

O pavimento existente por ocasião da elaboração da proposta inicial era composto de um revestimento do tipo tratamento superficial triplo (TST) e de uma camada de base de solo granular assentada diretamente sobre um subleito argiloso, posteriormente selado com uma camada de lama asfáltica (Figura 1).

Durante a avaliação superficial



Foto 1 – Vista aérea do Aeroporto da cidade de Pouso Alegre/MG

Figura.1 – Pavimento existente



da pista de pousos e decolagens, verificou-se que ela se apresentava em estado razoável de rolamento e sem indícios de deformações plásticas, com alguns pontos de depressões localizados onde existiam pequenos remendos executados com PMF. De um modo geral, a superfície mostrava-se desgastada e com sinais de envelhecimento causados pela oxidação do ligante betuminoso. O estudo do

material da base existente (saibro com quartzo argiloso) apresentou, em média, as seguintes características geotécnicas: 25% passando na peneira nº 200, limite de liquidez maior que 34%, índice de plasticidade maior que 10% e Índice de Suporte Califórnia 45% em média.

A concepção e a determinação das espessuras das camadas do novo pavimento atenderam ao Método de Avaliação e Dimensionamento de Pavimentos de Aeroportos AC 150/5320-6C da FAA – Federal Aviation Administration (FAA, 1978). Esse pavimento foi adotado com base nos resultados das amostras coletadas no subleito, sendo o valor de 8% para o CBR – Califórnia Bearing Ratio, indicando uma camada de reforço estrutural com 15cm de espessura

Figura 2 – Proposta Inicial – Pavimento existente e proposta inicial



Figura 3 - Nova proposta



de brita graduada (BGS) sobre o tratamento superficial triplo existente (TST) e uma capa de rolamento de 5 cm de concreto betuminoso usinado a quente CBUQ (Figura 2).

### 3. NOVA PROPOSTA

A experiência mostra que a geometria de um pavimento afeta consideravelmente as suas condições de drenagem. Nas rodovias, a velocidade de escoamento da água no sistema de drenagem superficial e sub-superficial, tende a ser bem mais rápida do que nos aeródromos, em vista da largura da pista ser bem menor. Esta é a razão pela qual a FAA

- Federal Aviation Administration, não permite que se utilize o chamado sandwich pavement, que consiste em construir-se sobre o pavimento deteriorado uma camada granular (com espessura de 10 a 15 cm), seguida de um revestimento em CBUQ, a menos que se garantam boas condições de drenagem dessa camada granular (RODRIGUES, 1998).

Tendo em vista os fatos mencionados e a dificuldade de executar-se um sistema de drenagem eficiente, solicitou-se à Diretoria de Engenharia do DER/MG, uma reavaliação do projeto inicial que levasse em conta procedimentos de reciclagem a frio. A nova proposta indicava um revestimento de 5 cm de CBUQ, a ser executado sobre uma camada de base reciclada a frio com adição de 4% de cimento *in situ* (Figura 3), projetando um pavimento mais econômico, estabelecendo uma solução técnica adequada e compatível com as necessidades de utilização

do aeródromo, além de ser menos agressiva ao meio ambiente.

A adoção da nova concepção proporcionaria uma economia de R\$459.738,62, a preços de novembro de 1997, resumida no Quadro 1.

### 4. PROPOSTA FINAL

A necessidade de aumentar os serviços de terraplenagem em função do balizamento noturno, parcialmente executado, bem como da acessibilidade aos agregados minerais disponíveis na região, levou a optar-se por uma nova configuração do pavimento. Analisando-se os resultados dos ensaios de plasticidade, granulometria, compactação e CBR da mistura produzida pela fresagem do revestimento e da base granular existente, optou-se pela adição de agregados minerais ao material obtido para corrigir e melhorar as suas características geotécnicas (Figura 4).

Figura 4 - Configuração final do pavimento reciclado



Misturas com a adição de material pétreo ao produto fresado foram preparadas e analisadas, obtendo-se resultados satisfatórios para a percentagem de 20% de agregados, que apresentaram em média limite de plasticidade menor do que 26% e NP. Confeccionados com o uso da energia do próctor modificado, os corpos de provas apresentaram, após seus rompimentos, capacidades de suporte (CBR) com valores superiores a 80%.

Quadro 1 – Custos resumidos do projeto inicial e da nova proposta

SERVIÇOS	PROJETO INICIAL (R\$)	NOVA PROPOSTA (R\$)	DIFERENÇA (R\$)
Terraplenagem	93,235.96	23,308.91	-46,617.83
Obra de Arte Corrente	1,068.67	1,068.67	0
Drenagem	33,164.21	33,164.21	0
Pavimentação	957,730.48	544,609.69	-413,120.79
Obras Complementares	34,395.18	34,395.18	0
Proteção ao Meio Ambiente	49,245.00	49,245.00	0
Total	1,168,839.50	709,100.88	-459,738.62

**Quadro 2 – Custos resumidos do projeto inicial e da proposta final**

SERVIÇOS	PROJETO INICIAL	PROPOSTA FINAL	RESULTANDO
Terraplenagem	93,235.96	193,760.69	-100,524.73
Obra de Arte Corrente	1,068.67	1,742.89	-674.22
Drenagem	33,164.21	91,506.23	-58,342.02
Pavimentação	957,730.48	375,994.75	581,735.73
Obras Complementares	34,395.18	16,887.84	17,507.34
Proteção ao Meio Ambiente	49,245.00	169,222.56	-119,977.56
Total	1,168,839.50	849,114.96	-319,724.54

Fonte: Planilha de Reajustamento, DER/MG, Medição Final, Agosto 2002 – Contrato 22.086/98

Com as considerações acima, foi solicitada a SETOP/MG - Secretária de Transportes e Obras Públicas do Estado de Minas Gerais, autorização para se executar a nova proposta. O mesmo procedimento foi sugerido para os demais contratos de Restauração de Aeroportos, firmados entre aquela Secretaria e o Ministério da Aeronáutica.

A reconstrução da pavimentação do Aeroporto de Pouso Alegre por procedimentos de reciclagem a frio *in situ*, com a nova camada de base estabilizada granulometricamente pela adição de agregados minerais ao material fresado, proporcionou uma economia de R\$319.724,54 (preços de novembro de 1997), resumida no Quadro 2.

Observa-se que esta nova proposta possibilitou um aumento considerável nos serviços de terraplenagem e de proteção ao meio ambiente, imprescindíveis para a execução da obra, representando os serviços de pavimentação uma economia de 39% do valor inicialmente previsto.

## 5. A OBRA

A obra iniciou-se pela distribuição de uma camada de 4 cm de pedrisco, a ser incorporado ao material do pavimento existente (Foto 2). Posteriormente, o pavimento recoberto com agregados (pedrisco) foi fresado

até a profundidade de 21 cm (Foto 3).

Devido ao excesso de umidade detectado no subleito, possivelmente ocasionado pela ineficiência do sistema de drenagem superficial e profunda, decidiu-se escarificar, umedecer, homogeneizar, regularizar e compactar os seus 20 cm iniciais (Foto 4). Por essa razão, o material fresado e reciclado com a adição de pedrisco foi removido, transportado e depositado às margens da obra, para ser reaproveitado na camada da nova base estabilizada granulometricamente (Foto 5).

Após a regularização do subleito, o material reciclado foi transportado, espalhado, umedecido e compactado, obtendo-se uma nova base estabilizada



Foto 2 – Distribuição do pedrisco

granulometricamente. Sobre essa camada, executou-se o revestimento de concreto betuminoso usinado a quente (CBUQ) com 5 cm de espessura (Fotos 6 e 7).

## 6. CONTROLES E EQUIPAMENTOS

### 6.1 Controle deflectométrico

A homogeneidade da execução

da camada de base reciclada do novo revestimento betuminoso e do reforço do subleito foram verificadas através das deflexões reversíveis medidas com a Viga Benkelman, aplicando-se os procedimentos DNER-ME 024/94 e DNER-PRO 175/94.



Foto 3 – Fresagem com incorporação do agregado mineral

### 6.2 Controle geotécnico

As massas específicas aparentes secas foram determinadas pelo método do DNER ME-092/94 do subleito e da camada da nova base, em locais escolhidos de acordo com os resultados das medidas das deflexões reversíveis. Calcularam-se, posteriormente, os respectivos graus de compactação pela metodologia de ensaio do frasco de



Foto 4 – Material do subleito sendo escarificado



Foto 5 – Material reciclado depositado ao lado da obra



Fotos 6 – Nova base reciclada, compactada e imprimada

areia. A execução da camada do novo revestimento foi controlada através da especificação de serviços DNER-ES 313/97.

### 6.3 Controle geométrico

O acompanhamento geométrico dos serviços de restauração do Aeroporto de Pouso Alegre/MG deu-se através da verificação das seguintes medidas das áreas reconstruídas:

- larguras e espessuras, com tolerância de +1,0 cm para a camada da nova base
- abaulamento, admitindo-se até 5% em excesso para a flecha, não se tolerando a falta em relação à inclinação projetada de 1,5%.

### 6.4 Equipamentos

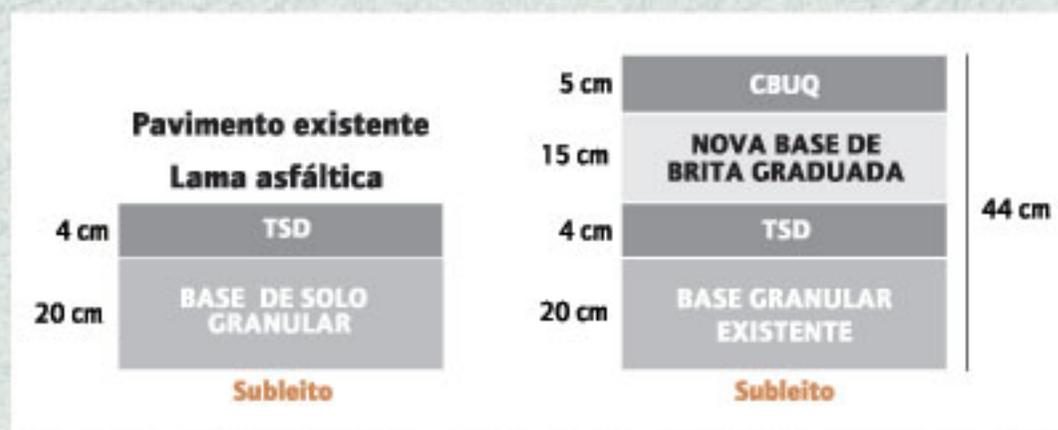
Para a execução dos serviços de reciclagem da pista existente do Aeroporto de Pouso Alegre/MG, foram utilizados os seguintes equipamentos:

- unidade recicladora WIRTGEN WR-2500
- caminhões basculantes, Carregadeira de pneus, Motoniveladora e Caminhão pipa



Foto 7 – Medidas das deflexões recuperáveis com a Viga Benkelman

Figura 5 – Proposta Inicial – Espessuras do pavimento existente e da proposta inicial



- rolo compactador, pé de carneiro (CA-25), liso vibratório (CA-25) e de pneus (CP-27).

## 7. ASPECTOS FINAIS

Com a conclusão das obras, constatou-se um ganho em termos ambientais com a reutilização dos materiais existentes, ao evitar a detonação, britagem e transporte de aproximadamente 8.400 m<sup>3</sup> de agregados minerais, além de uma economia de 27% em relação ao valor orçado para o projeto inicial.

A economia obtida com a reconstrução do pavimento do Aeroporto da cidade de Pouso Alegre por reciclagem a frio *in situ* em relação ao valor orçado para a proposta inicial, foi analisada levando-se em conta os seguintes procedimentos:

- Aplicando a metodologia da FAA – Federal Aviation Administration, com o uso do ábaco de dimensionamento próprio para aeronaves de pequeno porte, verifica-se para as condições de suporte do subleito (CBR = 8%) do pavimento existente e de peso bruto de decolagem (PBD = 9.072 kg), a necessidade de projetar-se 30 cm de espessura total para a nova estrutura, mostrando ser a configuração da proposta inicial superdimensionada (Figura 5).

- Estimando por meio da correlação  $MR = (70 \text{ a } 130) \times CBR$ , o valor de 800 kgf/cm<sup>2</sup> para o módulo de elasticidade do subleito, adotando 15.000 kgf/cm<sup>2</sup> para o tratamento superficial e os coeficientes de Poisson mostrados na Figura 6, determinou-se, por retroanálise, o valor de 1.400 kgf/cm<sup>2</sup> para a camada de base existente.

O módulo de elasticidade da camada de base granular existente foi determinado, com o uso do programa computacional FLAPS – Finite Layer Analysis Pavement Structure, levando-se em conta a média das deflexões reversíveis ( $D_0 = 80 \times 10^{-2}$  mm) medidas com a Viga Benkelman no pavimento existente.

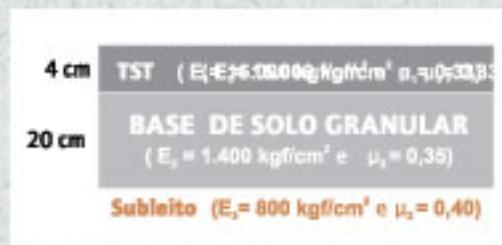
- Com o módulo de elasticidade da base existente definido e atribuindo os valores de 30.000 kgf/cm<sup>2</sup> e 1.700 kgf/cm<sup>2</sup> para as camadas de concreto betuminoso a quente (CBUQ) e de brita graduada (BG), respectivamente (Figura 7), determinou-se pelo FLAPS a deflexão característica ( $D_0 = 58,9 \times 10^{-2}$  mm) da configuração do pavimento proposto inicialmente.
- Na seção do novo pavimento estabilizado granulometricamente com a adição de agregado miúdo ao material fresado da estrutura existente, definiu-se, empregando

**Quadro 3 – Módulo de elasticidade e deflexões reversíveis do pavimento existente**

MÓDULO DE ELASTICIDADE $E_2$ (kgf/cm <sup>2</sup> )	DEFLEXÃO REVERSÍVEL $D_0 \times X$ (10 <sup>2</sup> mm)
1.000	92,86
2.000	71,13
1.500	78,191

os mesmos critérios descritos anteriormente, o valor de 7.000 kgf/cm<sup>2</sup> para módulo de elasticidade da nova camada de base granular reconstruída por reciclagem a frio *in situ*, usando a média das deflexões reversíveis ( $D_0 = 45 \times 10^{-2}$  mm) medidas com a Viga Benkelman sobre o revestimento betuminoso acabado, conforme apresentado na Figura 8 e no Quadro 4.

**Figura 6 – Espessuras e parâmetros mecânicos do pavimento existente**

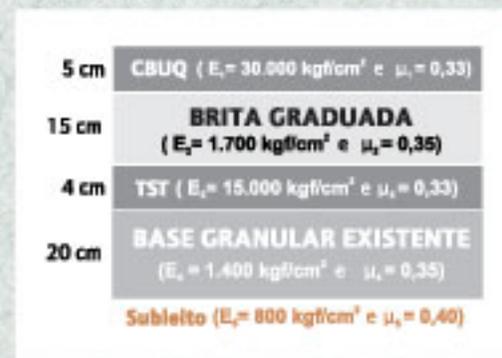


- Empregando os procedimentos de avaliação estrutural da metodologia para pavimentos flexíveis PRO-11/79 (1979), foram obtidos os valores de  $1,22 \times 10^7$  e  $5,66 \times 10^7$  de repetições de cargas admissíveis ( $N_p$ ) para a seção do projeto original e para a configuração do pavimento reconstruído por reciclagem a frio *in situ*, respectivamente, mostrando que, além de ser mais econômica, há uma maior expectativa de vida de serviços do novo pavimento para a solução executada.
- Observa-se que o módulo ( $E_2 = 7.000$  kgf/cm<sup>2</sup>) definido por retroanálise para a camada de

**Quadro 4 – Módulo de Elasticidade e deflexões reversíveis do pavimento reciclado**

MÓDULO DE ELASTICIDADE $E_2$ (kgf/cm <sup>2</sup> )	DEFLEXÃO REVERSÍVEL $D_0 \times X$ (10 <sup>2</sup> mm)
1.400	77,00
5.000	50,5
6.000	47,8
7.000	45,8

**Figura 7 – Espessuras e parâmetros mecânicos da configuração inicial**

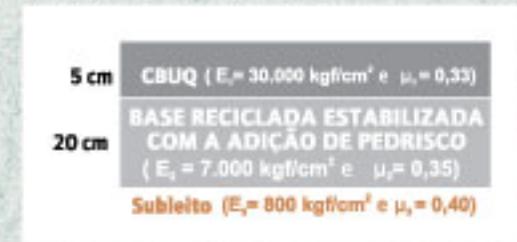


base reciclada, pode ser menor, pois o subleito foi trabalhado e recompactado durante os serviços de reconstrução, melhorando consideravelmente as suas características geotécnicas e mecânicas.

- A melhoria adquirida do material do subleito também pode explicar o superior desempenho previsto para o pavimento reciclado em relação à estrutura projetada inicialmente, embora a espessura total executada de 25 cm seja menor do que a necessária de 29 cm, determinada pelo método da FAA.

Após o término dos serviços, em agosto de 2.000, foi proposto um acompanhamento anual do desempenho do novo pavimento, através de uma avaliação funcional e estrutural do aeródromo recuperado. Entretanto, em função da baixa utilização do aeródromo, a primeira vistoria do pavimento só ocorreu no final do ano de 2.002 devido

**Figura 8 – Espessuras e parâmetros mecânicos do pavimento reciclado**



a esta monografia, avaliando-se superficialmente o pavimento reciclado.

Nota-se que o pavimento está em ótimas condições operacionais e estruturais, apresentando um discreto desgaste superficial ocasionado pela oxidação natural do ligante betuminoso.

## BIBLIOGRAFIA

- FAA AC No 150/5320-6c Airport Pavement Design and Evaluation. Federal Aviation Administration, USA, 1978.
- RODRIGUES, R.M., Projeto de Pavimentos. Apostila do curso de Mecânica e Desempenho de Pavimentos, Instituto de Aeronáutica, ITA, São José dos Campos, 1998.
- DNER PRO 11/79 – Avaliação Estrutural dos Pavimentos Flexíveis, Procedimento B. DNER, Rio de Janeiro, 1979.

O autor é engenheiro da 19ª Coordenadoria Regional do DER/MG