

ORGANIZACIÓN DE AVIACIÓN CIVIL INTERNACIONAL - OACI

OFICINA REGIONAL SUDAMERICANA

**Seminario sobre Mantenimiento de Pavimentos de Aeropuertos y un
Curso Rápido sobre la Interacción Aeronave / Pavimento.**

Del 22 al 27 de Julio de 2002, en Santa Cruz de la Sierra, Bolivia.

Tema:

Diseño, Construcción y Desempeño de Camadas Porosas de Fricción.

Autor:

Eng° Mario Jorge Moreira – INFRAERO – BRASIL

AEROPORTO SANTOS DUMONT RIO DE JANEIRO



AEROPORTO INTERNACIONAL TANCREDO
NEVES – CONFINS
MINAS GERAIS



CAMADA POROSA DE ATRITO - CPA

- HISTÓRICO

A British Airport Authority (BAA), com sede no Aeroporto de Gatwick, Londres, desenvolveu e vem há anos, aplicando em seus aeroportos da Inglaterra e Escócia a Camada Porosa de Atrito (C.P.A.), que é uma camada de espessura constante, de macrotextura aberta e características drenantes que proporciona superfície antiderrapante e evita a ocorrência de aquaplanagem, permitindo que o coeficiente de atrito da superfície do pavimento permaneça dentro de faixas aceitáveis, em quaisquer condições meteorológicas.

Não possui função estrutural. Deve ser aplicada sobre pavimento de concreto asfáltico de alta estabilidade Marshall construídos ou restaurados especialmente para receber a camada, com boa declividade transversal, superfície sã e isenta de contaminações, tais como: borracha, tinta, óleo, etc.

No Brasil, em 1983, foi executado o primeiro revestimento do tipo, Camada Porosa de Atrito, no Aeroporto Internacional Tancredo Neves em Minas Gerais.

Em maio de 1987, foi executada a primeira C.P.A. na pista principal do Aeroporto Santos Dumont na cidade do Rio de Janeiro.

O trabalho consiste na descrição das construções e manutenções efetuadas para o acompanhamento no nível de atrito ao longo destes anos assim como as intervenções efetuadas na C.P.A. para elevação dos valores dos coeficientes de atrito das pistas do Aeroporto Santos Dumont no Rio de Janeiro e do Aeroporto Internacional Tancredo Neves em Confins – Minas Gerais.

- INTRODUÇÃO

Como é de conhecimento dos técnicos aeroportuários, os problemas da falta de atrito nas pistas dos aeroportos, vem cada vez mais chamando atenção tanto dos operadores dos aeroportos como dos pilotos das aeronaves, pois o transporte aéreo vem aumentando consideravelmente no Brasil e no mundo. Com isto, os pavimentos das pistas de pouso e decolagem dos aeroportos estão sofrendo desgastes mais acelerados e os custos de novos investimentos em construção de pistas são elevados. Portando a política atual de manutenção de pavimentos aeroportuários vem a cada momento obrigando o desenvolvimento de novas técnicas para a melhoria e a segurança nas operações das aeronaves nas pistas de nossos aeroportos.

O controle do nível de atrito da pista principal do Aeroporto Santos Dumont torna-se ainda mais rigoroso em virtude das operações das aeronaves do porte do Boeing 737, em uma pista de 1.320,00 metros de comprimento, com as cabeceiras adjacentes ao mar.

No ano de 1995, foram realizadas 56 operações diárias destas aeronaves e um total mensal de 7.500 movimentos de aeronaves de diversos tipos.

A INFRAERO em conjunto com a DIRENG, vem realizando o monitoramento do coeficiente de atrito da pista principal do Aeroporto Santos Dumont através do medidor de atrito Mu-Meter. Inicialmente foi utilizado o aparelho MK-3 e posteriormente o MK-4, além das verificações normais pelo método do P.C.I.

A INFRAERO mantém uma programação regular de remoção de borracha nas zonas de toque das pistas dos Aeroportos Santos Dumont e Internacional Tancredo Neves, com a finalidade de manter em níveis aceitáveis o coeficiente de atrito nestes pavimentos.

No ano de 1991 a INFRAERO efetuou a primeira intervenção na Camada Porosa, devido a substituição das aeronaves Electra II pelos atuais “Boeings” que na época operavam apenas na ponte aérea Rio x São Paulo.

A manutenção consistiu na substituição dos primeiros 100 metros da C.P.A. em cada extremidade da pista.

Esta intervenção foi necessária, devido ao desgaste superficial da C.P.A. e a borracha que estava colmatando os vazios no trecho de toque das aeronaves.

Após a execução destes serviços, a INFRAERO e a DIRENG (Diretoria de Engenharia da Aeronáutica), continuaram com maior frequência o monitoramento do coeficiente de atrito da pista, pois as operações dos “Boeings” exigem um coeficiente de atrito mínimo de 0,61 medido no Mu-Meter.

No ano de 1995 a INFRAERO efetuou a segunda intervenção na pista do Aeroporto Santos Dumont, pois as análises dos gráficos dos resultados do coeficiente de atrito medidos ao longo daquele período, mostravam que na faixa central ao longo de toda a extensão da pista (7 m de largura) estava havendo um comprometimento do coeficiente de atrito devido ao polimento dos agregados da mistura asfáltica da Camada Porosa de Atrito.

Esse serviço desenvolveu-se em 4 dias úteis de trabalho quando foram substituídos 12,00 m de largura ao longo da faixa central da pista para uma maior segurança e mais alguns pequenos trechos que se faziam necessários, totalizando uma área de 13.500 m².

Posteriormente, no ano de 1998, a INFRAERO através da sua Gerência de Engenharia da Superintendência Regional do Rio de Janeiro, resolveu dotar a Pista Auxiliar do Aeroporto Santos Dumont com as mesmas características técnicas da Pista Principal, para facilitar a operacionalidade do Aeroporto nas ocasiões em que fosse necessário efetuar intervenções na mesma.

Assim teve início a elaboração do projeto de reforma da Pista Auxiliar, contemplando a regularização do Perfil Transversal e Longitudinal de sua superfície para viabilizar o escoamento d’água absorvido pela Camada Porosa de Atrito – CPA. Foi então, iniciada a Obra para a implantação do novo perfil projetado da pista e em seguida foi lançada a Camada Porosa de Atrito.

Após a conclusão das obras da Pista Auxiliar, a INFRAERO iniciou o processo de contratação da maior obra de recuperação da Camada Porosa de Atrito da Pista Principal desde a sua implantação em 1987. Essa obra contemplou a remoção de toda a Camada Porosa existente, reparos localizados no revestimento asfáltico imediatamente inferior e a recomposição dos revestimentos retirados. A substituição completa da Camada Porosa da Pista Principal foi necessária em função do desgaste natural da mistura asfáltica que estava apresentando início de desagregações e colmatação dos seus vazios, diminuindo a absorção da água. O fator principal foi à diminuição do coeficiente de Atrito na faixa central da zona de pouso da pista.

Para ambos os casos, a equipe de Engenharia da INFRAERO, procuraram aperfeiçoar o projeto da Camada Porosa utilizando novas metodologias de projeto da mistura asfáltica em laboratório, e o emprego de materiais mais nobres, acompanhando o desenvolvimento Tecnológico existente naquela época.

Após a construção da primeira C.P.A. na Pista Principal em 1987, tivemos que intervir três vezes na recuperação desse revestimento em função da manutenção do nível de atrito exigido para as operações das aeronaves do tipo “Boeing 737”, resultando em uma intervenção média a cada quatro anos.

Após o último serviço executado em 1999, houve um aumento considerável no movimento de aeronaves no Aeroporto Santos Dumont e até o momento a Camada Porosa de Atrito vem se comportando de maneira satisfatória, mantendo o nível de atrito aceitável em comparação as normas estabelecidas para a sua funcionalidade. Isso comprova que a tecnologia utilizada na última intervenção vem apresentando bons resultados.

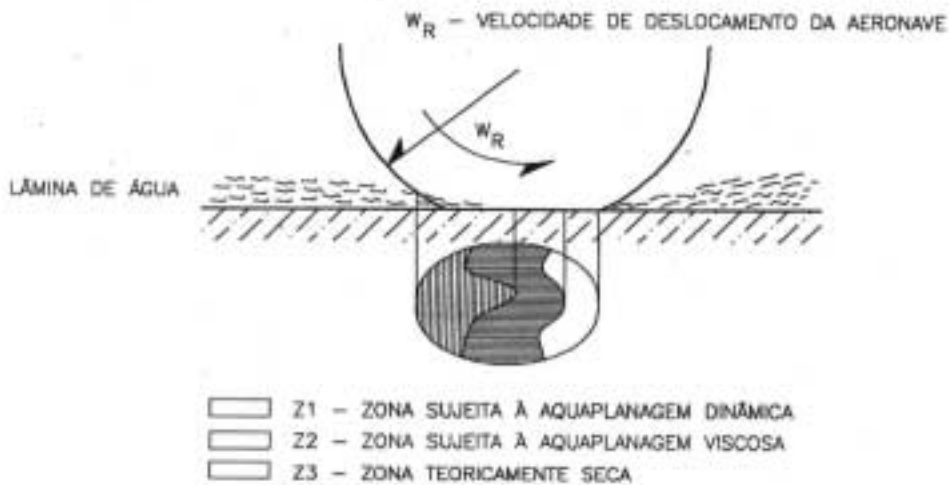
A Camada Porosa da Pista de Pouso e Decolagem do Aeroporto Internacional Tancredo Neves, em Confins, nunca sofreu nenhuma recuperação, notando-se apenas que, após 18 anos de existência, apresenta alguns sinais de oxidação do material asfáltico nos terços laterais da Pista.





AQUAPLANAGEM

EFEITO BÁSICO DO CONTATO PNEU/PAVIMENTO EM PISTA MOLHADA



MODELO DAS 3 ZONAS

FONTE : STATUS OF RUNWAY SLIPPERINESS RESEARCH - NASA
LANGLEY RESEARCH CENTER - 1976

TEXTURAS TÍPICAS DE PAVIMENTOS FLEXÍVEIS

1 - MACROTEXTURA ABERTA E
MICROTEXTURA ÁSPERA



2 - MACROTEXTURA FECHADA E
MICROTEXTURA ÁSPERA



3 - MACROTEXTURA ABERTA E
MICROTEXTURA LISA



4 - MACROTEXTURA FECHADA E
MICROTEXTURA LISA



A CAMADA POROSA DE ATRITO, CARACTERIZA-SE COM O "TIPO 1" DE TEXTURA SUPERFICIAL DO PAVIMENTO, ACRESCIDA DA CAPACIDADE DRENANTE DAS ÁGUAS SUPERFICIAIS.

CAPÍTULO I

PRIMEIRA CAMADA POROSA DE ATRITO APLICADA NO AEROPORTO SANTOS DUMONT

1 – PRÉ-REQUISITOS BÁSICOS

A Camada Porosa de Atrito exige alguns pré-requisitos para sua aplicação.

A superfície que receber este tipo de revestimento deverá ser dotada de declividade transversa ideal de 1,5%.

Não deverá haver nesta superfície nenhum tipo de irregularidade ou depressão que possa obstruir ou reter o escoamento das águas. Além disso, a própria mistura tem características próprias que passamos a detalhar no decorrer do trabalho.

A idéia da aplicação da C.P.A., na Pista Principal do Aeroporto Santos Dumont, foi favorecida pelo fato da INFRAERO, ter executado um pavimento superposto naquela pista objetivando o aumento de suporte do pavimento, visando Aeronaves tipo BOEING 737-300.

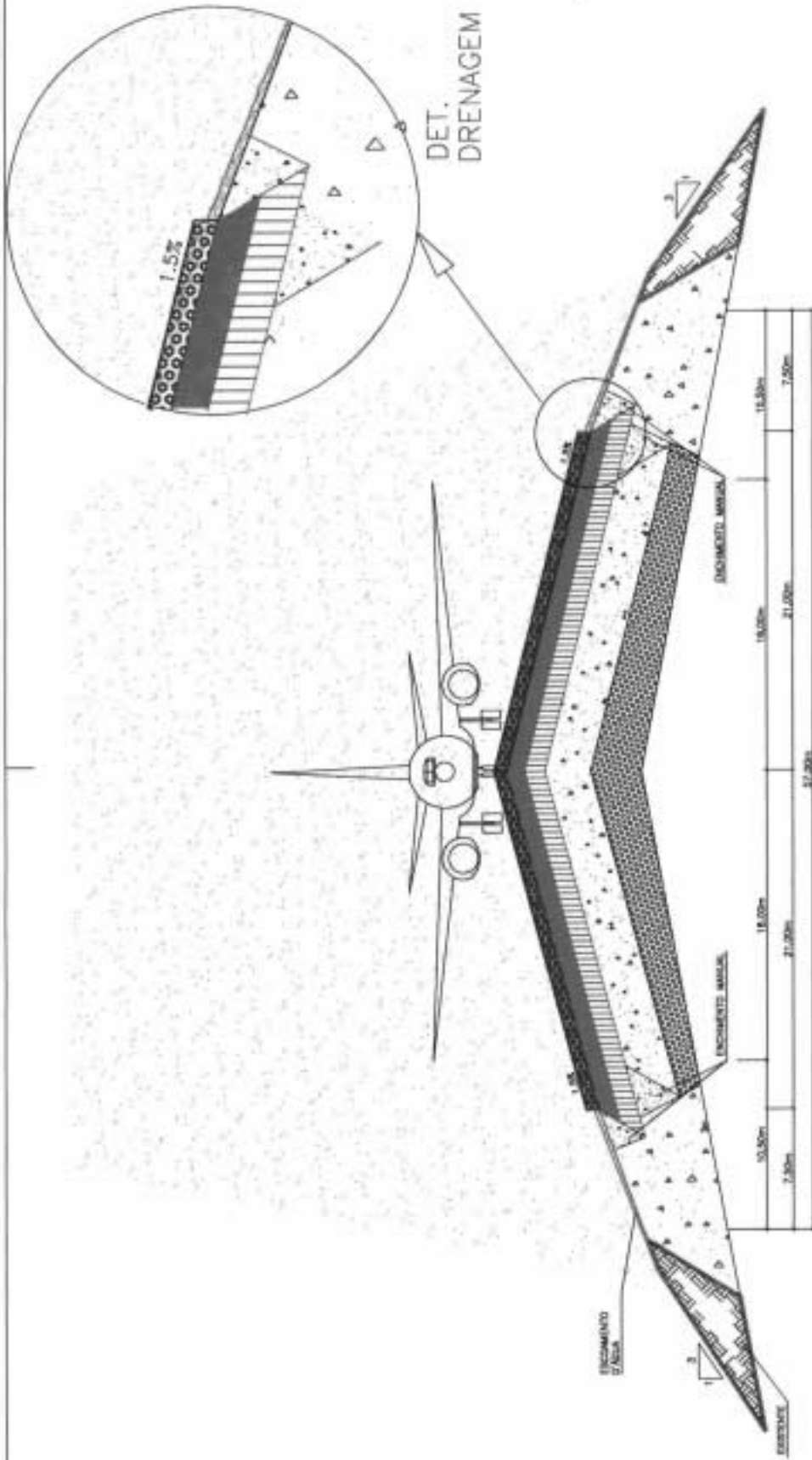
Na fase final de execução da obra, na qual tínhamos uma superfície nova e perfeitamente regularizada, resolvemos executar a C.P.A., sempre com a filosofia de máxima segurança possível no que diz respeito à operação de Aeronaves.

A obra foi iniciada em maio de 1987 e teve a duração de quatro meses.

Portanto, demonstraremos os serviços e materiais empregados na execução da primeira CPA e o seu comportamento após dois anos de execução.



PERFIL DO PAVIMENTO DA PISTA PRINCIPAL DO AEROPORTO SANTOS DUMONT



EST. 53 A EST. 66 + 2.83

CONVENÇÕES

- | | | | |
|--|--|--|--|
| | CIMENTO PORTLAND - ESPESURA 0.20m | | FNE - METUNDO A QUENTE - ESPESURA VARIÁVEL |
| | CONCRETO BETUMINOSO - CBN - ESPESURA 0.50m | | BETA BRANCA - ESPESURA VARIÁVEL |
| | CONCRETO BETUMINOSO - BBN - ESPESURA 0.10m | | MATERIAL DE ALÇOA - ESPESURA VARIÁVEL |

2 - ESTUDOS DAS MATÉRIAS PRIMAS

2.1 - Agregados

Foi efetuado um estudo minucioso das pedreiras disponíveis nos arredores da Cidade do Rio de Janeiro, com o objetivo de encontrarmos agregados que tivessem desgaste de ABRASÃO LOS ANGELES e ÍNDICES DE FORMA em atendimento às exigências das Especificações Técnicas que preconizam valores mínimos de ABRASÃO LOS ANGELES menores que 30% e ÍNDICE DE FORMA dos agregados maiores que 0,5. A partir daí, procedemos nossos estudos técnicos-econômicos, concluindo pela viabilidade da utilização do agregado da pedreira VIGNÉ, localizada no Município de Nova Iguaçu no Rio de Janeiro - Quadro nº 1.

QUADRO N.º 1.

AGREGADOS NA PEDREIRA VIGNÉ

	Densidade Real	Desgaste por Abrasão do Agregado Graduação D	Índice de Forma
Brita ø	2,61	23,0%	0,60
Pó de Pedra	2.66	-	-

PENEIRAS	% PASSANDO	
	BØ	Pó
3/8"	100	100
4	25	93
10	9	56
40	6	20
80	2	9
200	1	6
-	-	-

2.2 - Cimento Asfáltico de Petróleo (CAP)

Baseado ainda nas Especificações Técnicas, optamos pela utilização do CAP 20 fabricado pela REDUC, levando em consideração as solicitações na pista e as condições ambientais da região – Quadro nº 2.

QUADRO N.º 2.

ENSAIOS DO CAP 20	RESULTADOS	ESPECIFICAÇÃO EB-78
VISCOSIDADE A 135° C, SSF.	172	min - 120
PENETRAÇÃO A 25° C 5s, 100g, 0,1mm.	52	min - 50
PONTO DE FULGOR °C	295	min - 235
ÍNDICE DE SUSCETIBILIDADE TÉRMICA... ÍNDICE PFEIFFER	- 0,7	- 2 a + 1
EFEITO DO CALOR E DO AR VARIAÇÃO EM PESO, %.	0,16	máx – 1
DUTIBILIDADE “25° C, CM”.	135	min – 20
ESPUMA À 175°	AUSÊNCIA	AUSÊNCIA
SOLUBILIDADE NO TRICLOROETILENO – % EM PESO	99,8	min - 99,5

2.3 - Filler

Necessariamente deveria ser adotado o uso do Filler como material de enchimento. Sendo que pelo menos 50% da fração que passa na peneira n.º 200, deveria ser constituída de material calcário com o objetivo de melhorar a adesividade e aumentar a consistência da película asfáltica.

Foi utilizado como material de enchimento o produto proveniente, da Empresa Moreira Cal, situada na Cidade de Volta Redonda (RJ) - Quadro nº 3.

QUADRO N.º 3

FILLER DOLOMÍTICO DE CARACTERÍSTICA BÁSICA

DENSIDADE REAL... 2,76
GRANULOMETRIA

PENEIRAS	% PASSANDO - FILLER
30	100
50	96.4
200	81,7

2.4 - Látex

Os elastômeros vem sendo adicionados aos ligantes asfálticos com o objetivo de obter maior elasticidade, flexibilidade, coesão, aderência, adesividade, melhorar a suscetibilidade térmica e aumentar a durabilidade das misturas betuminosas.

O Látex é uma emulsão estável de partículas de borracha em meio aquoso. Estas partículas extremamente pequenas e uniformes acarretam uma grande área superficial que quando convenientemente misturadas com o asfalto, consegue-se uma dispersão rápida e total. Na usina de Asfalto o processo mais empregado é o de adicionar o látex sincronizado com o CAP no PUGMILL durante o ciclo da mistura.

Tendo em vista as peculiaridades das Camadas Porosas de Atrito, introduzimos no nosso traço o emprego do látex fornecido pela extinta empresa PETROFLEX, com a denominação de PETROFLEX S-62, de características anionicas.

A utilização do látex foi definida levando-se em conta:

a - Ausência de finos, necessitando de maior coesão entre os grãos do agregado.

A coesão ou tenacidade é responsável pela propriedade de aglutinação entre os grãos dos agregados afetando diretamente a estabilidade da mistura.

Foram feitos ensaios no CAP, misturando-se percentuais que variaram de 0%, 3% e 5%.

Este ensaio chamado de “COPO E BOLA” é realizado no aparelho INSTRON, que mede exatamente a resistência de coesão.

- b - Alta porcentagem de vazios, necessitando de películas de asfalto mais gordas para evitar oxidação prematura.
- c - Grande circulação interna de água, necessitando de maior adesividade CAP/AGREGADO e maior aderência entre as camadas.
- d - Películas espessas de CAP, sendo necessário maior resistência a variações de temperatura para evitar deformações. Instabilidade devido a elevada fluência, podem ter seus efeitos alterados pelo uso vantajoso da borracha.

2.5 - Corretivo de Adesividade

Independente da boa adesividade entre o agregado e o material betuminoso, recomenda-se incrementá-la ao máximo. Utilizando um agente melhorador de adesividade em 0,4% em peso em relação ao CAP, adicionado no tanque de Usina de Asfalto.

3 - COMPOSIÇÃO DA MISTURA ASFÁLTICA EM LABORATÓRIO

A partir dos materiais disponíveis coletados nos silos quentes da Usina do Asfalto e visando atender a faixa especificada pela DIRENG, chegou-se a seguinte composição de agregados:

Silo n. ° 2	-	80,0%.
Silo n. ° 1	-	18,0%.
Filler	-	2,0%

O teor ótimo de ligante foi determinado em função da superfície específica do agregado, usando a expressão:

$$100 S = 0,17 A + 0,33 B + 2,30 C + 12 D + 135 F$$

Onde:

S = Superfície específica do agregado em m^2/Kg

A = % retida na peneira 3/8"

B = % passando na peneira 3/8" e retida na peneira n.º 4

C = % passando na peneira n.º 4 e retida na peneira n.º 30.

D = % passando na peneira n.º 30 e retida na peneira n.º 200.

F = % passando na peneira n.º 200.

$P = K$

P - Teor de asfalto em peso

K – Módulo de riqueza (adotou-se $K=3,75$)

Desenvolvendo-se a fórmula chegamos ao teor ótimo igual a 5,0 %

Assim sendo a composição da mistura asfáltica em laboratório ficou sendo a seguinte:

Peneira (“)	% Passando	Faixas
3/8	100,00	80 a 100
N.º 4.	32,9	20 a 40
N.º 8.	15,3	12 a 20
N.º 30.	11,2	8 a 16
N.º 200.	3,6	3 a 5

4 - TRECHOS EXPERIMENTAIS E COMPOSIÇÃO FINAL DA MISTURA

Os estudos de laboratório serviram de parâmetro para a execução dos trechos experimentais com o objetivo de atendermos além das exigências relacionadas, as seguintes recomendações para um bom desempenho da Camada Porosa de Atrito.

- a – Permeabilidade
- b – Coeficiente de atrito

Partindo da espessura especificada, dois cm, fizemos vários trechos experimentais com o objetivo de verificar:

- Método de execução
- Produção
- Permeabilidade
- Coeficiente de atrito
- Método de reparos, limpeza e remoção da borracha dos pneus.

Foram então, executados os trechos experimentais em torno de 60 m de comprimento com 3,0 m de largura. A evolução dos trabalhos nos levou as seguintes conclusões:

I - Utilização de régua de madeira tipo formas-guias para fixação de espessura e preservação de bordos livres de colmatação devido à compactação, com a garantia de escoamento das águas de uma faixa para outra.

II - Definimos a utilização dos seguintes equipamentos:

- Acabadora de esteira
- Rolos Tandem metálicos RT - 82 - H e CC - 21
- Usina Clemente Cifalli, com capacidade 100/120 t/hora, gravimétrica.
- Caminhão caçamba lonado, com capacidade de 16 ton.

III - Definimos pela execução dos trabalhos, apenas durante o dia e a produção foi estimada em 150 ton/dia.

IV - Definiu-se a nós a retirada de amostras dos trechos experimentais, o n.º de passadas do rolo necessárias para se obter o índice de vazios em torno de 25%. Concluímos, portanto que seriam necessários 5 (cinco) passadas com os rolos supracitados - Quadro n.º 4.

V - Definimos através de ensaios especiais a permeabilidade da CPA como também o coeficiente de atrito obtido nos trechos experimentais.

V.1 - Os ensaios de permeabilidade consistem em dois tipos, a saber:

a - Permeâmetro do nível variável

Consiste na fixação de um tubo com 7 cm de diâmetro interno e altura de 45 cm com duas graduações de 12,5 cm e 25 cm a partir do fundo. A fixação do tubo sobre a superfície da C.P.A. deverá ser feita utilizando-se os materiais dos tipos, cêra de abelha ou massa plástica, formando-se uma circunferência de 20cm de diâmetro. O ensaio consiste em lançar água no interior do tubo até atingir a marca de 25 cm, iniciando-se a marcação do tempo até nível d'água atingir a marca de 12,5 cm. Nos ensaios realizados o tempo de escoamento variou de 16 a 18 segundos, considerado pelas especificações níveis excelentes de permeabilidade.

b - Permeâmetro de carga constante

Este ensaio é feito em laboratório, considerando amostras coletadas na pista com sonda rotativa.

O corpo de prova foi colocado no permeâmetro, tomando-se todas as precauções necessárias ao preencher com cêra de abelha ou bentonita o espaço entre o corpo de prova e as paredes laterais do permeâmetro. Foram tomados, ainda, todos os cuidados para se manter constantes níveis d'água de montante e jusante da amostra. Obtivemos o seguinte resultado:

- Utilizando-se o gradiente hidráulico igual a 2 ou seja $I = 2$, obtivemos um coeficiente de permeabilidade igual a 0,14 cm/Seg., ou seja $K = 0,14$ cm/Seg.
- Utilizando-se o gradiente hidráulico igual a 5 ou seja $I = 5$, obtivemos um coeficiente de permeabilidade igual a 0,17 cm/Seg., ou seja $K = 0,17$ cm/Seg.

Estes resultados correspondem a uma vazão de 2,778 litros/min, e 8,824 litros/min., respectivamente. Portanto verificamos um alto índice de permeabilidade da massa asfáltica - Quadro n.º 5.

V.2 - Determinação do coeficiente de atrito do pavimento

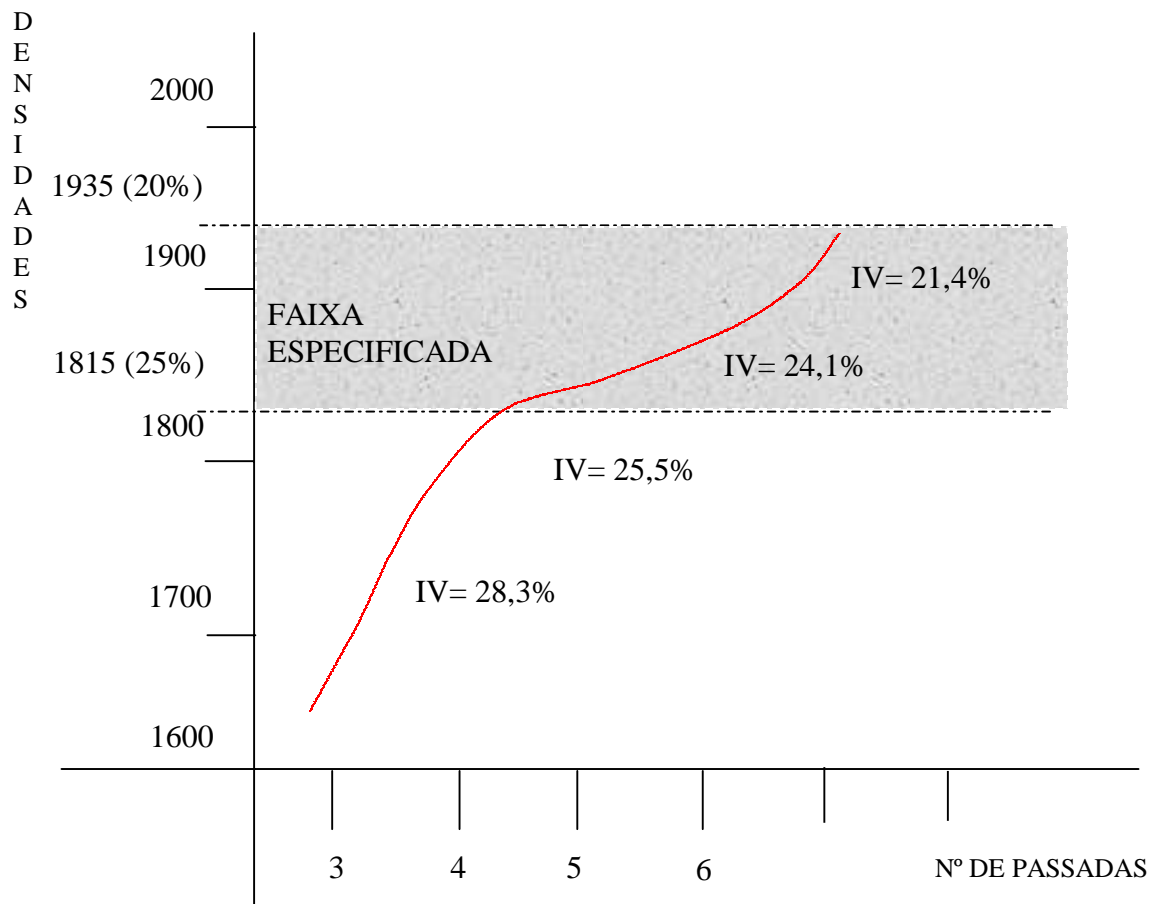
Para escolha do traço ideal a ser utilizado, foi considerado o parâmetro mais importante no estudo da C.P.A.

A C.P.A. tem como principal característica, em que as variações do coeficiente de atrito, em pista molhada ou seca, sejam insignificantes distinguindo-se inteiramente de um revestimento betuminoso denso normalmente empregado. Para isso foi utilizado o equipamento UMMETER nos testes de medição do atrito, atingindo níveis inteiramente aceitáveis nos valores obtidos. Os testes foram realizados de acordo com as prescrições da ICAO, ou seja, velocidade de 64 Km/h e película de água a 1mm de espessura. Nestas condições os resultados aceitáveis, deverão apresentar um coeficiente superior a 0,61 no caso do Aeroporto Santos Dumont - Quadro nº 6.

TABELA DE DENSIDADES E ÍNDICES DE VAZIOS OBTIDOS NO TRECHO EXPERIMENTAL

ANO - 1987

Nº DO CORPO DE PROVA	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
DIÂMETRO MÉDIO DO CP (cm)	15,00	15,00	15,00	15,00	15,01	15,01	14,99	15,01	15,01	14,99	15,00	14,96	15,00	15,00	15,01	15,00
ESPESSURA DO CP (cm)	1,40	1,90	1,54	1,48	2,28	2,64	2,57	2,09	2,25	2,91	2,67	2,66	2,29	3,11	2,45	2,52
PESO DO CP DO AR (g)	423,0	598,0	477,0	446,0	731,0	815,0	808,0	669,0	726,0	939,0	870,0	870,0	748,0	1061,0	819,3	850,5
VOLUME DO CP (cm ³)	247,4	335,8	272,2	261,6	403,4	449,5	453,6	369,8	398,1	513,6	471,8	467,6	397,6	549,6	433,5	445,3
DENSIDADE APARENTE DO CP (g/cm ³)	1709	1780	1752	1705	1812	1813	1781	1809	1823	1828	1844	1860	1881	1930	1890	1910
Nº DE PASSADAS	3 PASSADAS				4 PASSADAS				5 PASSADAS				6 PASSADAS			
DENSIDADE MÉDIA (g/cm ³)	1736				1803				1838				1902			
ÍNDICE DE VAZIOS (%)	28,3%				25,5%				24,1%				21,4%			



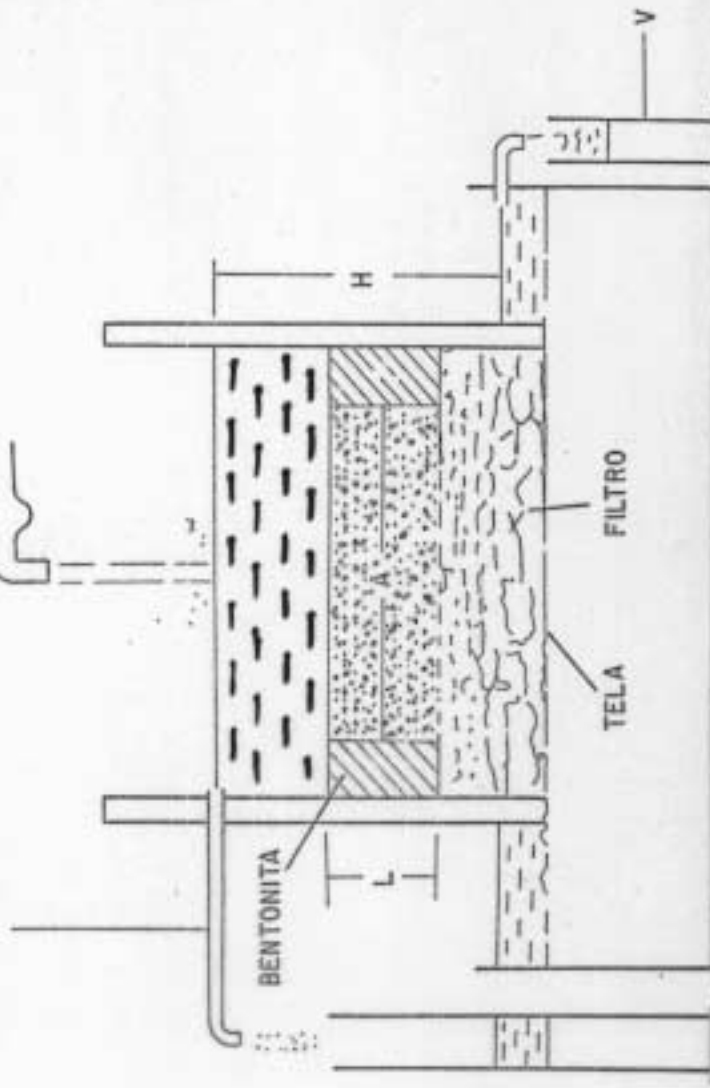
PERMEAMETRO DE CARGA CONSTANTE

A - ÁREA DA SEÇÃO TRANSVERSAL DA AMOSTRA

L - ALTURA DA AMOSTRA

H - CARGA HIDRAULICA = VAR.

TUBO DE DESCARGA PARA MANTER O NIVEL CONSTANTE

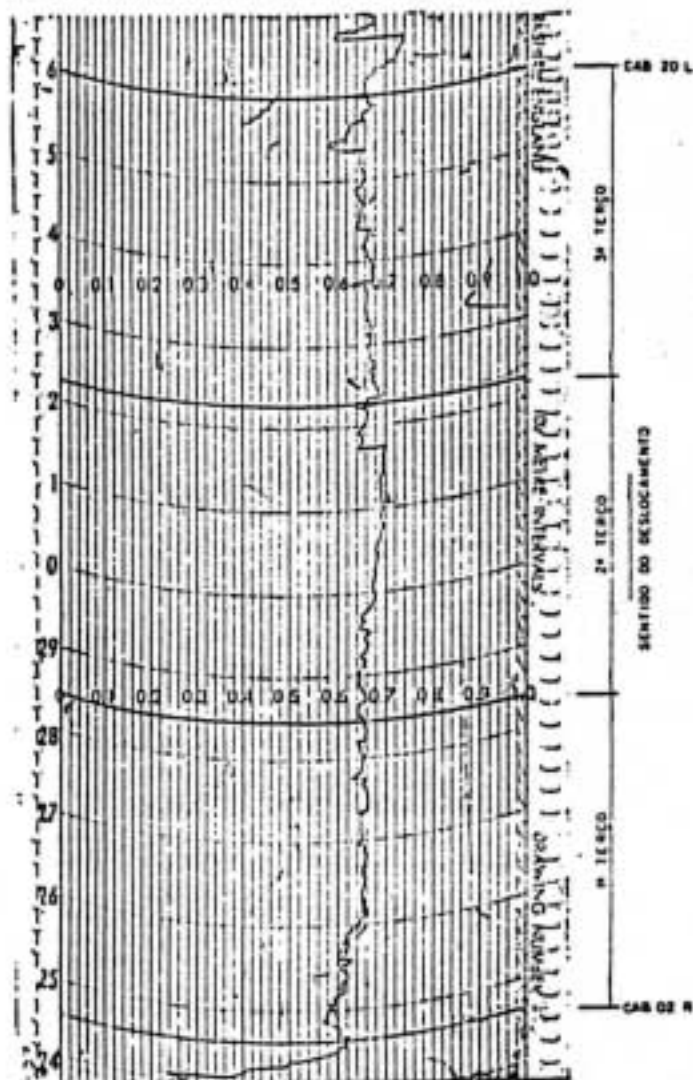


$$q = \frac{v}{t} = ki \text{ onde,}$$

q = vazão de descarga = volume percolado "v" por unidade de tempo
 k = coeficiente de permeabilidade
 i = gradiente hidráulico = H/L

PISTA PRINCIPAL - 02 R / 20 L - AEROPORTO SANTOS DUMONT

PISTA 02R/20L (PRINCIPAL)		COEFICIENTE DE ATRITO		
		TERÇO CAB 02R	TERÇO CENTRAL	TERÇO CAB 20L
SENTIDO DE DESLOCAMENTO DO EQUIPAMENTO	→	0,64	0,67	0,64
	←	0,65	0,67	0,65
VALOR MÉDIO DO TERÇO		0,65	0,67	0,65
VALOR MÉDIO DA PISTA		0,66



QUADRO Nº 6

VI – Visando objetivar futuras manutenções da C.P.A., foram simuladas várias situações que porventura podem ocorrer como: limpeza de borracha depositada pelos pneus das aeronaves, pintura de sinalização horizontal e pequenos reparos em áreas que sejam danificadas por motivos quaisquer.

Para simular a limpeza da borracha, foram utilizados jatos d'água em alta pressão direcionais e distribuídos, onde a pressão da água variou de 0 (zero) a 360 (trezentos e sessenta) BAR e limitamos em 150 (cento e cinquenta) BAR a pressão de utilização, pois acima desta, inicia-se um processo de desagregação superficial da C.P.A..

Quanto à pintura de faixas de sinalização, observou-se que esta aplicação em mais de uma camada, ocasiona a colmatação superficial da C.P.A.

Para a simular um reparo, utilizamos o método de aquecimento superficial do pavimento e posterior remoção com lâmina de patrol (na época não existia equipamentos de fresagem) utilizando o calor de um maçarico para descolmatar os bordos da C.P.A., com auxílio de uma escova de aço. Em seguida, aplicou-se nova pintura de ligação e lançou-se a massa asfáltica com vibroacabadora, seguindo-se a compactação. Com este método, obteve-se 80% de êxito nos remendos efetuados nos trechos experimentais.

Após todos os testes efetuados e de posse dos resultados dos ensaios dos materiais empregados, foram definidos os parâmetros básicos para a escolha do traço ideal, a ser utilizado na pista.

O traço definido foi o seguinte:

Peneiras	% Passando	Faixa Projeto
1/2"	100,0	100
3/8	100,0	80 a 100
N. ° 4.	38,1	20 a 40
N. ° 8.	20,0	12 a 20
N. ° 30.	11,9	8 a 14
N. ° 200.	4,0	3 a 5

Teor de Betume = 5,1%, obtido após análise das amostras dos trechos experimentais.

Látex = 4% do teor do CAP

Melhorador de adesividade = 0,4%

Temperatura de usinagem = 170° C

N. ° de passadas do rolo = 5 passadas.

5 - CONTROLE TECNOLÓGICOS

Foram executados os seguintes controles tecnológicos nas materiais primas, produção, espalhamento operação:

1 - Cap 20

- 1.1 - Viscosidade a 130 °c, ssf
- 1.2 - Penetração normal 100 g; 5s; 25 °c; 0,1 mm
- 1.3 - Ponto de fulgor (°c)
- 1.4 - Solubidade no tricloroetileno (%)
- 1.5 - Índice de suscetibilidade térmica
- 1.6 - Efeito do calor e do ar:
 - 1.6.1 - Variação em peso (%)
 - 1.6.2 - Dutilidade a 25 °c

2 - Agregados

- 2.1 - Granulometria
- 2.2 - Los angeles
- 2.3 - Cubicidade
- 2.4 - Índice de forma
- 2.5 - Adesividade

3 - Filler

- 3.1 - Granulometria

4 - Látex (Elastrômero quando aplicado na mistura na usina)

- 4.1 - Sólidos Totais %
- 4.2 - Viscosidade, CP
- 4.3 - pH
- 4.4 - Estireno combinado %

5 - Dope

- 5.1 - Natureza do elemento
- 5.2 - Adesividade

6 - Usina de asfalto

- 6.1 - Produção da usina
- 6.2 - Tempo de mistura
- 6.3 - Controle da bomba de látex e barra espargidora no misturador
- 6.4 - Aferição dos termômetros
- 6.5 - Aferição da balança
- 6.6 - Adição do asfalto
- 6.7 - Adição do dope
- 6.8 - Consumo do látex/cap (4%)
- 6.9 - Granulometria após extração (em branco)

7 - Pista

- 7.1 - Temperaturas da mistura, de chegada na obra
- 7.2 - Espessura após lançamento e após compactação
- 7.3 - Temperatura durante o espalhamento, início da rolagem e final da rolagem
- 7.4 - Índice de vazios
- 7.5 - Juntas transversais e longitudinais
- 7.6 - Características técnicas, estudo e eficiência dos rolos de compactação

8 - Controle após o início das operações

- 8.1 - Adequação da c.pa. a operação de aeronaves na pista do santos dumont
- 8.2 - Problemas decorrentes dos pousos e das decolagens das aeronaves
- 8.3 - Acabamento das operações das aeronaves nos procedimentos de tanque, reversão e frenagem, contaminação de óleo e combustível
- 8.4 - Controle permanentes da porosidade e coeficiente de atrito

6 - CONSIDERAÇÕES FINAIS

A C.P.A. do Aeroporto Santos Dumont tem como principal característica, a excelente porosidade, permeabilidade e coeficiente de atrito em se tratando de uma pista que recebe até 303mm de precipitação de chuvas por mês. Com isto, melhora sensivelmente a visibilidade do pavimento para os pilotos, eliminando a lâmina d'água na superfície, fazendo com que a água seja absorvida pela camada e escoada para seus acostamentos. A C.P.A., proporciona uma alta macrotextura melhorando o entrosamento pneumático/pavimento em presença d'água e alta velocidade, evitando com isso o fenômeno da hidroplanagem dando maior segurança às operações de pouso e decolagem nos dias de chuvas e reduzindo a água pluvierizada pelos pneus dos trens das aeronaves.

A C.P.A., apesar de ser uma mistura asfáltica com baixa estabilidade não apresenta deformações plásticas (permeamento) em função da boa coesão dos grãos da massa asfáltica e do comportamento interno da estrutura mineral envolvida. A sua vida útil é menor do que uma massa densa, por ter uma maior porosidade e em contato com a água e o ar, ocasionando uma oxidação precoce do ligante betuminoso, assim como, devido a ação conjunta do tráfego e das intemperies, produz uma redução da capacidade drenante ao longo dos anos, devido a colmatação dos poros, sendo suscetível a ação dos derivados do petróleo, como combustíveis, lubrificantes, solventes, etc... Portanto a Camada Porosa de Atrito, exige um perfeito monitoramento técnico e eventuais intervenções de manutenção para manter suas características básicas, de forma a proporcionar excelentes resultados operacionais para qual foi projetada.

CAPÍTULO II

AVALIAÇÃO DE DESEMPENHO, MONITORAMENTO DO NÍVEL DE ATRITO E MANUTENÇÃO DA CAMADA POROSA DE ATRITO DA PISTA PRINCIPAL DO AEROPORTO SANTOS DUMONT – RJ

1 – AVALIAÇÃO E MONITORAMENTO DO DESEMPENHO DA CAMADA POROSA DE ATRITO REALIZADO NO PERÍODO DE 1987 À 1991.

Desde a época da execução da C.P.A. em 1987 a INFRAERO em parceria com a Diretoria de Engenharia da Aeronáutica – DIRENG, vem acompanhando o desempenho da camada porosa na pista do Aeroporto Santos Dumont.

No período de 1987 a 1991 não houve a necessidade de se efetuar manutenção corretiva, pois o coeficiente de atrito permaneceu inalterado dentro dos limites especificados. Apenas foram efetuadas as remoções da borracha na zona de toque e inspeções rotineiras por Engenheiros e Técnicos.

No ano de 1991 foi realizada a substituição da C.P.A. na zona de toque, como medida de segurança, devido a grande quantidade de borracha depositada que estava dificultando o escoamento d' água pelos vazios da camada que estavam parcialmente colmatados. Nesses trechos, notava-se algum desgaste superficial causado pelo processo de remoção da borracha e pelo polimento dos agregados devido ao uso.

Após esta intervenção, os trabalhos de monitoramento foram sendo realizados com maior frequência em função das operações do Boeing 737-300 que dependem das boas condições da pista para os pousos e as decolagens com total segurança.

No período de outubro de 1991 a outubro de 1995 as avaliações foram efetuadas com medições mensais do coeficiente de atrito percorrendo-se duas faixas, em ambos os lados do eixo, a sete metros e a três metros e no próprio eixo da pista. O equipamento utilizado foi o Mu-Meter com os seguintes critérios: velocidade de 64 km/h e lâmina d' água de um mm de espessura, durante as medições foram coletados os dados das condições atmosféricas conforme exemplo no quadro 1.

Os resultados do monitoramento efetuado no período, conduziram a INFRAERO a decidir por uma intervenção de manutenção no final do ano de 1995.

QUADRO Nº 1 – Condições atmosféricas observadas nos dias das medições de atrito (09 MAR e 16 MAR 95)

DATA DA MEDIÇÃO	LOCAL DA MEDIÇÃO DE ATRITO	PERÍODO	TEMPERATURA NA HORA DA MEDIÇÃO (°C)	TEMPERATURA DO PAV. NA HORA DA MEDIÇÃO (°C)	TEMPERATURA MÉDIA (°C)		UMIDADE RELATIVA DO AR (%)	
					DIA ANTERIOR À MEDIÇÃO	DIA DA MEDIÇÃO	DIA ANTERIOR À MEDIÇÃO	DIA DA MEDIÇÃO
09/MAR	PISTA	TARDE	32	50	29,4	30	72,7	80
16 MAR	PRINCIPAL		29	48	26	27	77	59

* Nos primeiros cinco cm do pavimento.

Antes do início das medições foram efetuadas as calibrações do equipamento conforme os resultados do exemplo do quadro nº 2.

QUADRO Nº 2 – Dados de Calibração do Equipamento.

DATA DA MEDIÇÃO	CALIBRAÇÃO DO ZERO (“ZERO KNOB”) *	CALIBRAÇÃO DO ATRITO (“MU KNOB”)
09 MAR 95	690	410
16 MAR 95	690	410

Durante os quatro anos objetos das análises, foram elaborados relatórios contendo os valores obtidos nas medições e gráficos comparativos dos últimos resultados, com a finalidade de analisar o comportamento do nível de atrito a cada trecho de 100 metros conforme o exemplo do quadro nº 3 e nº 4.

Notamos em uma avaliação comparativa, que havia uma tendência na diminuição do coeficiente de atrito nas linhas de três metros de afastamento de eixo e o próprio eixo. Isto é, claramente explicado em função do desgaste (polimento) da C.P.A. ocasionado pelo tráfego canalizado das aeronaves da pista.

2 – RECUPERAÇÃO DO TRECHO COM DEFICIÊNCIA

Os trabalhos foram iniciados com a remoção dos trechos identificados para serem substituídos, utilizando Fresadora de Asfalto da Marca Wirgten, seguida de uma eficiente limpeza da superfície fresada. Posteriormente foram colocadas as réguas de madeira que servem de formas para o lançamento da nova mistura asfáltica da CPA.

2.1 – Escolha dos Materiais Utilizados.

Foram desenvolvidos os ensaios de várias amostras de agregados rochosos, filler e cimento asfáltico com a finalidade de escolher os materiais que atendessem a todos os parâmetros especificados em projeto.

Após a conclusão dos ensaios adotaram-se os seguintes materiais:

Brita nº 0 – Granito de cor cinza, procedente da pedreira Santo Antônio (R.J.).

Pó de Pedra – Obtido da mesma jazida da brita.

Filler – Pó calcário procedente da mineração Pratear (R.J.).

Cimento Asfáltico – Cap-20 procedente da refinaria da Petrobrás em Duque de Caxias (R.J.).

2.2 – Características dos Materiais Empregados na Mistura Asfáltica

. Densidades Reais dos Agregados

- Brita nº 0.....2.084
- Pó de Pedra.....2.782
- Filler (Cal).....2.760

. Desgaste por Abrasão do Agregado

- Graduação C.....30%

. Índice de Forma de Agregados

I = 0,66

. Adesividade do CAP ao Agregado

- Brita + CAP sem Dope.....Satisfatória

. Quadro Demonstrativo das Granulometrias dos Agregados, Silos Frios, Coletados nos Depósitos na usina de Asfalto.

PENEIRAS		PERCENTAGEM PASSANDO		
		BRITA 0	PÓ DE PEDRA	FILLER
½"	12,7	100	100	-
3/8"	9,5	98,6	100	-
Nº 4	4,8	14,9	99,9	-
Nº 8	2,4	2,2	76,4	-
Nº 30	0,6	1,8	43,5	-
Nº 40	0,42	0,2	32,8	100
Nº 200	0,074	0,8	7,8	97,0

. Ensaio do Ligante Betuminoso (CAP-20):

- Penetração (0,1 mm).....57
- Ponto de Amolecimento (°C).....48
- Viscosidade (SSP).....196
- Densidade Relativa.....1,02
- Ponto de Fulgor (°C).....338
- Espuma.....Ausência

2.3 – Mistura de Agregados

Após estudos, chegou-se a seguinte composição básica dos agregados, silo quente:

- Silo Quente nº 1.....20%
- Silo Quente nº 2.....77%
- Filler (Cal).....3%

. Quadro Demonstrativo da Mistura e Especificação

PENEIRAS		% EM PESO PASSANDO		
Nº	Mn	MISTURA PROJETADA	MISTURA ENCONTRADA	FAIXA ESPECIFICADA
½"	12,7	100	100	100
3/8"	9,5	99,8	98,8	80 – 100
Nº 4	4,8	36,1	38,7	20 – 40
Nº 8	2,4	17,8	18,7	12 – 20
Nº 30	0,6	11,5	13,1	8 – 14
Nº 200	0,074	4,2	3,1	3 - 5

. Percentuais para Mistura dos Silos Quentes

- Silo 1.....18,9%
- Silo 2.....72,7%
- Filler (Cal).....2,8%
- CAP.....5,6%

TOTAL.....100,0%

2.4 – Dosagem do Teor de Ligante Betuminoso

O teor ótimo de ligante foi determinado em função da superfície específica do agregado, usado a expressão dada:

$$100 s = 0,17 A + 0,33 B + 2,30 C + 12 D + 135 F$$

Valor encontrado = 5,3%

. Temperatura de mistura e compactação em função da relação Viscosidade Saybolt x Temperatura foram obtida:

- Temperatura de Mistura do CAP (°C) ----- 153 - 159
- Temperatura de Mistura Agregado (°C) ----- 166 - 172
- Temperatura de Compactação ----- 140 - 146

2.5 – Trecho Experimental.

Antes da produção da mistura na Usina para aplicação na Pista de Pouso, foi executado um trecho experimental fora da pista para avaliação total da mistura.

Foram Avaliados:

- % de vazios da mistura
- Permeabilidade da mistura
- Coeficiente de atrito

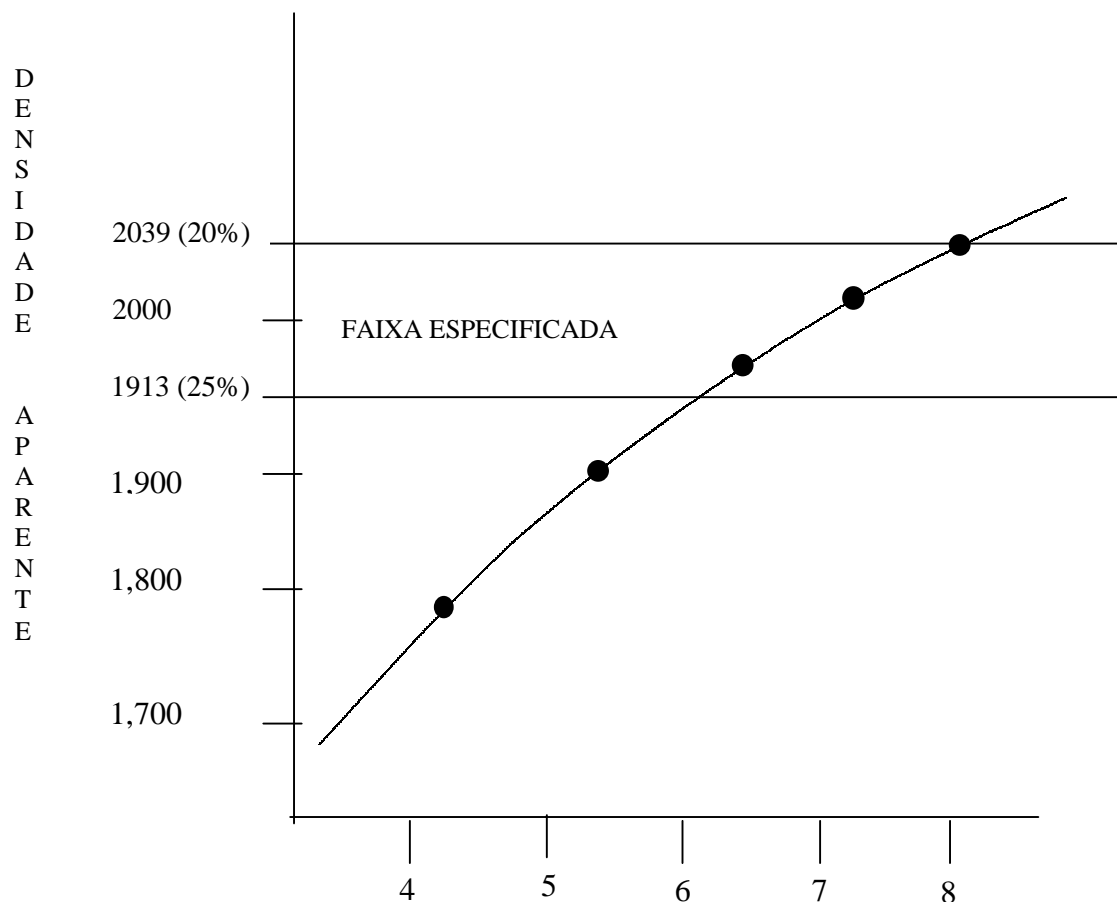
Seguem gráficos demonstrativos dos resultados obtidos.

CÁLCULO DAS DENSIDADES APARENTES E ÍNDICES DE VAZIOS - AEROPORTO SANTOS DUMONT/RJ

ANO - 1995

Nº DO CORPO DE PROVA	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
DIÂMETRO MÉDIO DO CP (cm)	15,14	15,11	15,16	15,10	15,12	15,17	15,20	15,10	15,18	15,19	15,15	15,18	15,14	15,14	15,22
ESPESSURA DO CP (cm)	2,72	2,33	2,18	2,54	2,68	2,62	2,51	2,55	2,60	2,47	2,48	2,76	2,48	2,40	2,62
PESO DO CP DO AR (g)	879,0	730,6	682,3	852,3	896,4	860,0	797,2	885,0	928,8	892,4	883,3	1007,4	967,1	824,3	996,0
VOLUME DO CP (cm ³)	489,4	417,6	393,2	454,6	480,9	475,1	418,9	456,4	476,2	447,3	446,8	479,2	446,2	413,0	476,3
DENSIDADE APARENTE DO CP (g/cm ³)	1,796	1,769	1,734	1,875	1,864	1,810	1,903	1,939	1,975	1,995	1,977	2,618	2,033	1,992	2,091
Nº DE PASSADAS	44 PASSADAS			85 PASSADAS			86 PASSADAS			87 PASSADAS			88 PASSADAS		
DENSIDADE APARENTE MÉDIA (g/cm ³)	1,766			1,850			1,930			1,997			2,039		
ÍNDICE DE VAZIOS (Z)	30,7			27,5			24,6			21,7			28,8		

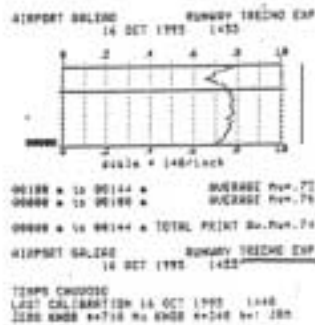
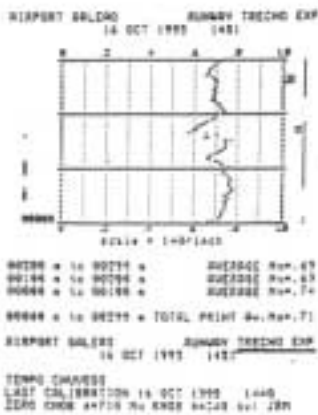
GRÁFICO DE DENSIDADES



. Resultados do Coeficiente de Atrito no Trecho Experimental

AIRPORT SALDO RUNWAY TRECHO EXP
 00000 * 10 00100 * SPEED 001000 Rev. 74
 00100 * 10 00200 * SPEED 002000 Rev. 53
 00200 * 10 00300 * SPEED 003000 Rev. 33
 AIRPORT SALDO Runway TRECHO EXP
 14 OCT 1993 1431
 00000 TOTAL Rev.No.71 Rev.SPEED 804
 TEMPO CHUVIDO
 LAST CALIBRATION 14 OCT 1993 1440
 LIND KMS #*710 No KMS #*240 by JRM

AIRPORT SALDO RUNWAY TRECHO EXP
 00000 * 10 00100 * SPEED 071000 Rev. 75
 AIRPORT SALDO Runway TRECHO EXP
 14 OCT 1993 1433
 00100 TOTAL Rev.No.75 Rev.SPEED 871
 TEMPO CHUVIDO
 LAST CALIBRATION 14 OCT 1993 1440
 LIND KMS #*710 No KMS #*240 by JRM



MEDIDAS COM MK4

3m a Direita - Pista Principal

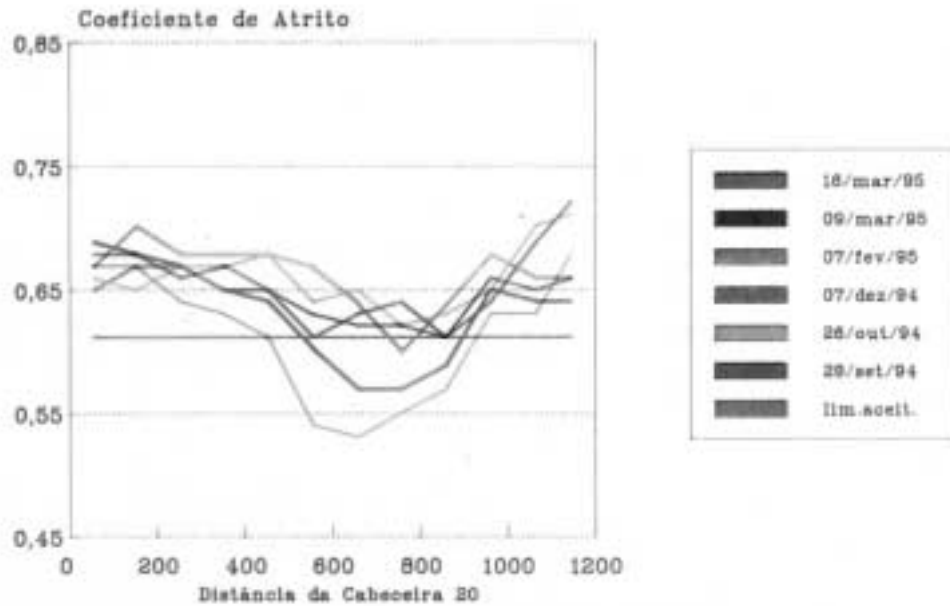


Figura 04 - Verificação da repetibilidade das leituras do MK-4, 3mD

MEDIDAS COM MK4 Eixo - Pista Principal

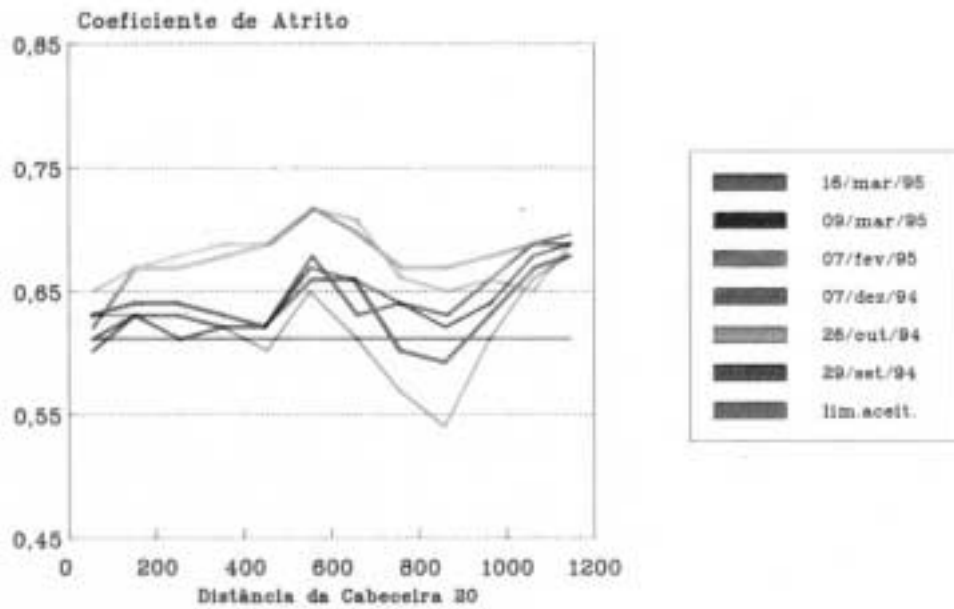
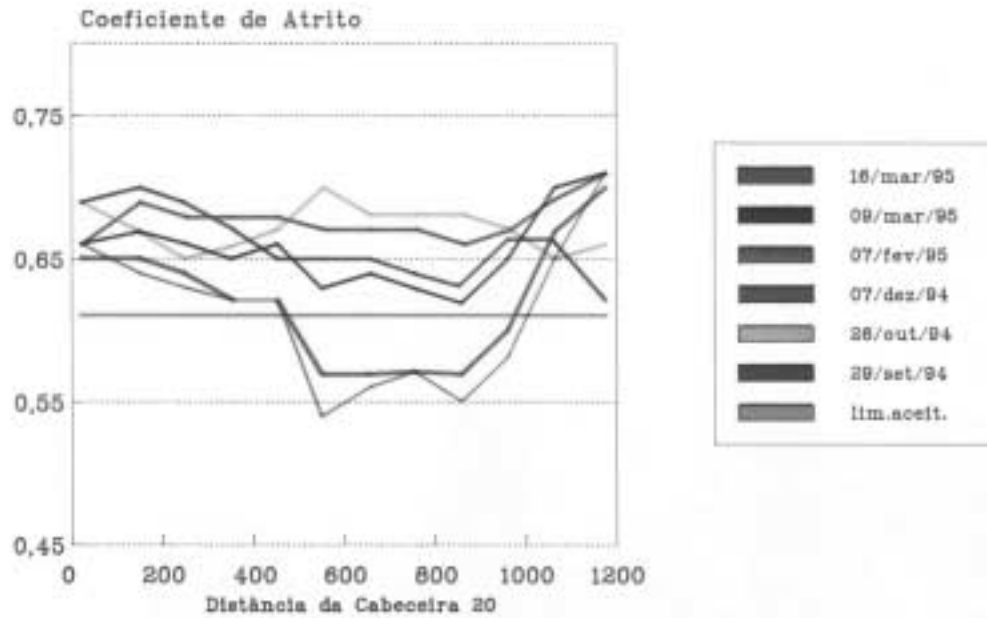


Figura 03 - Verificação da repetibilidade das leituras do MK-4, no eixo

MEDIDAS COM MK4

3m a Esquerda - Pista Principal



MEDIDAS COM MK4

Coef. de Atrito Medio da Pista Principal

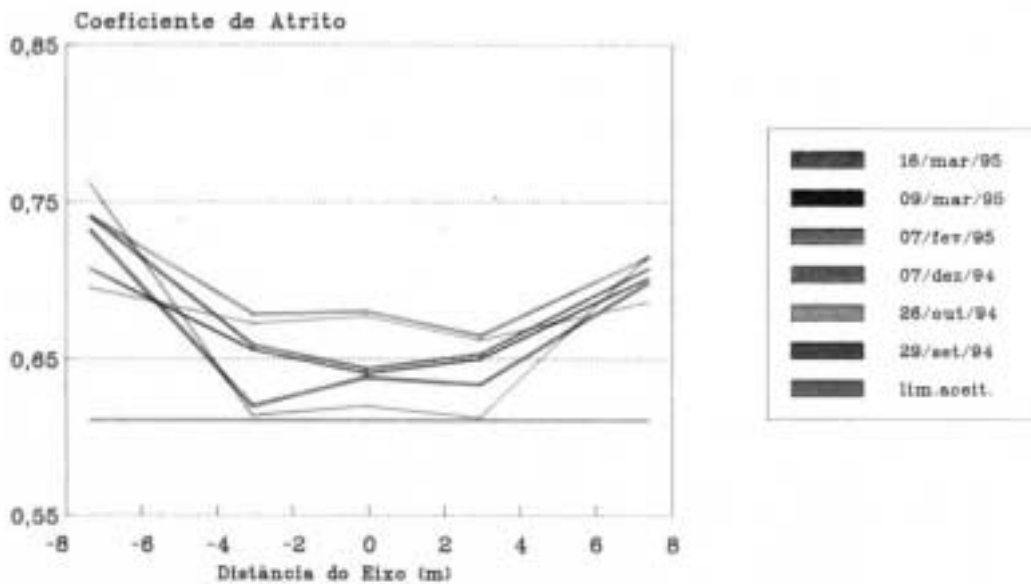


Figura 06 - Verificação do coeficiente de atrito em função da distribuição lateral do tráfego

CAPÍTULO III

PROJETO DE MISTURA PARA CAMADA POROSA DE ATRITO DA PISTA AUXILIAR DO AEROPORTO SANTOS DUMONT - OBRA DE 1998.

O projeto visou atender às especificações da INFRAERO.

1 - Natureza e procedência dos agregados

Os agregados (brita zero e Pó de pedra) exigidos pela especificação e que atendeu a faixa granulométrica especificada é de procedência da Pedreira Santo Antônio de Mineração e o pó calcário utilizado é de procedência da empresa Lindacal situadas no estado do Rio de Janeiro .

1.1 - Características dos materiais utilizados

Densidades reais dos agregados (D.N.E.R - ME 81/63 - ME 84/64):

Brita nº.....2,684
Pó de pedra.....2,782
Filler (Cal).....2,760

1.2 - Adesividade do CAP ao agregado (ME 78/63)

Brita + CAP com polímero, s/ Dope ----- Satisfatório.

1.3 - Desgaste por Abrasão Los Angeles do agregado (ME 35/64)

Graduação B ----- perda de 21%

1.4 - Índice de forma:

Índice ----- resultado - 0,64

1.5 - Quadro demonstrativo das granulometrias dos agregados, silos frios, coletados nos depósitos da Usina de Asfalto

PENEIRAS	PERCENTAGEM PASSANDO		
	Mistura Projetada	Mistura Encontrada	Faixa da DIRENG
½"-12,7	100	100	
3/8" - 9,5	95,9	100	
Nº 4 - 4,8	9,1	99,1	
Nº 8 - 2,4	2,1	71,1	
Nº 30 - 0,6	1,4	38,4	
Nº 40 - 0,42	1,0	33,0	100
Nº 200 - 0,074	0,6	5,7	97,0

1.6 - Ensaio do CAP. 20

Penetração (0,1 mm).....	56
Ponto de amolecimento (°C).....	61
Viscosidade (SSP) (145°).....	246
Densidade Relativa.....	1,03
Ponto de fulgor.....	29,1
Espuma.....	Ausência

2 - Mistura dos agregados

Após estudos chegou-se á seguinte composição básica dos agregados (silos quentes):

Silo quente n° 1.....	24,00 %
Silo quente n° 2.....	73,00 %
Filler (Cal).....	3,00 %
Total.....	100,00 %

2.1 - Quadro demonstrativo da mistura e especificações.

PENEIRAS	PERCENTAGEM PASSANDO		
	Mistura Projetada	Mistura Encontrada	Faixa da DIRENG
1/2"	100	100	100
3/8" – 9,5	96,9	96,8	80-100
Nº 4 – 4,8	32,6	26,8	20-40
Nº 8 – 2,4	20,2	14,2	12-20
Nº 30 – 0,6	12,5	10,9	8-14
Nº 200 – 0,074	5,2	3,7	3-5

2.2 - Percentuais para mistura dos silos quentes.

Silo nº 1.....	22,8%
Silo nº2.....	69,4%
Filler.....	2,90%
CAP.....	4,90% (CAP BETUFLEX COM POLÍMERO)
Total.....	100,00%

3 - Dosagem do teor de ligante betuminoso.

O teor ótimo de ligante foi determinado em função da superfície específica do agregado, usando a expressão dada:

$$100S = (0,17A) + (0,33B) + (2,3C) + (12D) + (13SF)$$

$$\text{Teor de CAP} = 4,90\%$$

3.1 - Temperatura de mistura e compactação:

Em função da relação Viscosidade Saybolt - Furol X Temperatura, foram obtidas.

Temperatura de mistura do CAP (°C).....153-159

Temperatura de mistura agregado (°C).....166-172

Temperatura de compactação (°C).....140-146

4 - Trecho experimental

Antes da produção da mistura na Usina para aplicação na pista de pouso, foi executado um trecho experimental na área do Aeroporto Santos Dumont para determinação do gráfico de vazios/compactação em função do número de passadas dos equipamentos de compactação.

AEROPORTO SANTOS DUMONT - RJ

Cálculo das Densidades Aparentes e Índices de Vazios do Trecho Experimental da CPA com Polímero 1998

Nº do Corpo de Prova	1	2	3	4	5	6
Diâmetro Médio do CP (cm)	9,95	9,70	9,70	9,77	9,83	9,98
Espessura do CP (cm)	2,23	2,53	2,65	3,13	2,54	3,27
Peso do CP ao Ar (g)	310,8	353,9	363,6	430,4	345,6	463,9
Volume do CP (cm ³)	173,4	187,0	195,8	234,7	192,8	251,2
Densidade Aparente (g/cm ³)	1792	1893	1857	1834	1793	1847
Nº de passadas do rolo	6 passadas					
Densidade Média (g/cm ³)	1858					
Índice de vazios (%)	26,1					
Permeabilidade (seg)	16					

Densidade de Teórica da Mistura 2.513 t/m³

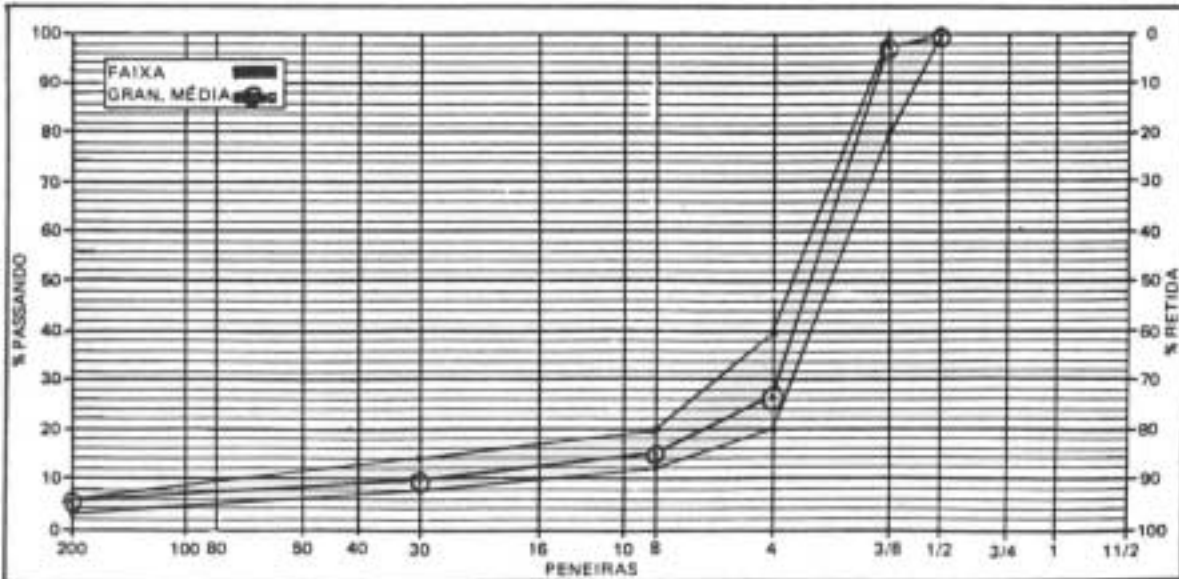
Teor de Betume Encontrado na Mistura 4,9% CAP + Polímero

- Mistura com Polímeros Trecho Experimental

- . Temperatura do Ligante = 170 °C
- . Temperatura da Mistura = 185 °C
- . Temperatura de Rolagem = 140 °C a 150 °C
- . Teor de Ligante = 4,9% ± 0,2%

TRAÇO PROJETADO DA MISTURA

ESTACA:		POSIÇÃO:		CAMADA: <i>POROSA DE ATRITO</i>		SERVIÇO:			
ENSAIO MARSHALL				TEOR DE BETUME					
CORPO DE PROVA Nº				AMOSTRA + TARA (g) <i>3.008</i>					
ALTURA DO CORPO DE PROVA				TARA (g) <i>1.343</i>					
DENSIDADE APARENTE	PESO AO AR	a		AMOSTRA (g) <i>1.665</i>					
	PESO IMERSO	b		INSOLÚVEL + TARA (g) <i>2.927</i>					
	VOLUME	c	a - b	SOLÚVEL (g) <i>810</i>					
	DENSIDADE	d	a / c	TEOR DE BETUME % <i>4,9</i>					
DESID. MÁXIMA TEÓRICA e				GRANULOMETRIA					
VAZIOS	% DE VAZIOS	f	$\frac{a-d}{d} \cdot 100$	PENEIRAS Nº		RETIDO	PASSADO (g)	(%)	FAIXA
	VAZIOS C/ BETUME	g	$\frac{a \times d}{b}$	2"	50,8				<i>I</i>
	V. A. M.	h	f + g	1 1/2"	38,1				
	R. B. V.	i	g / h	1"	25,4				
ESTABILIDADE	LEITURA	j		3/4"	19,1				
	FAT. CORREÇÃO	k		1/2"	12,7	-		100	100
	LEITURA CORRIGIDA	l	j x k	3/8"	9,52	<i>345,0</i>		<i>97,6</i>	<i>80-100</i>
	ESTABILIDADE	m	l x s	4"	4,76	<i>1462,0</i>		<i>27,1</i>	<i>20-40</i>
FLUÊNCIA	LEITURA	n		8"	2,00	<i>1656,0</i>		<i>14,8</i>	<i>12-20</i>
	FLUÊNCIA		$\frac{(mm)}{11,02} \rightarrow 3,937 \times n$ $\frac{(mm)}{11,02} \rightarrow 3,125 \times n$	30"	0,42	<i>1738,0</i>		<i>9,6</i>	<i>8-14</i>
TEOR DE BETUME (%)		p		CARACT. DO CAP		80	0,177		
DENS. REAL CAP.		q		PENETRAÇÃO		100	0,149		
PONTO DE AMOLECIMENTO		r		VISCOSIDADE		200	0,075	<i>1820</i>	<i>4,8</i> <i>3-5</i>
ÍNDICE PFEIFFER		s		PONTO FULGOR		FUNDO			



RESUMO	% BETUME	ESTABILIDADE	FLUÊNCIA	% VAZIOS	R. B. V.	DENS. APAR.	FAIXA
PROJETO							

RESUMO	% BETUME	ESTABILIDADE	FLUÊNCIA	% VAZIOS	R. B. V.	DENS. APAR.	FAIXA
PROJETO							



REPÚBLICA FEDERATIVA DO BRASIL
MINISTÉRIO DOS TRANSPORTES
DEPARTAMENTO NACIONAL DE ESTRADAS DE RODAGEM
DIVISÃO DE PESQUISAS E DESENVOLVIMENTO

CERTIFICADO N.º. 203/98

ASSUNTO: Ensaio em Agregados (Brita).

REMETENTE: O interessado, conforme carta s/n.º de 08.12.98, Proc. DPqD 2154/98.

REGISTRO: LP /98166 - 1 e 2.

AMOSTRA : LP/98166 - 1- Pedreira St.º. Antônio

LP/98166 - 2- Pedreira Vigné

Certificado nº. 203/98

RESULTADO DOS ENSAIOS

Perda à Abrasão Los Angeles, %

Brita 1 – Pedreira Stª. Antônio:21 (Graduação B)

Brita 1 - Pedreira Vigné: 16 (Graduação B)

Índice de Forma

Pedrisco - Pedreira Stª. Antônio:0,64

Pedrisco - Pedreira Vigné:0,65

CAPÍTULO IV

Estudo de Camada Porosa de Atrito com Betuflex B 65/60 utilizado na obra de Recuperação da Pista Principal do Aeroporto Santos Dumont – Ano de 1999.

1 - ELEMENTOS DO PROJETO

O projeto baseia-se nos resultados dos ensaios realizados em laboratório. Esses resultados são relacionados nas seguintes planilhas:

- Distribuição Granulométrica
- Caracterização dos Agregados e Resumo do Estudo Marshall
- Representação Gráfica do Estudo de Perda por Desgaste (Método Cantabro)

2 - AGREGADOS

O traço escolhido para os agregados analisados, foi o seguinte: BRITA ZERO = 83,0%, Pó de Pedra = 15,0% e FILLER CALCÁRIO = 2,0%, que se enquadra na faixa da Diretoria de Engenharia da Aeronáutica – DIRENG, especificada pela INFRAERO, para uma espessura de 2cm.

Equivalente de Areia do Pó de Pedra utilizado na mistura - 75,7%.

3 -TRAÇO FINAL

Brita 0 (zero)-----79,43%.
Pó de Pedra-----14,36%.
Filler Calcário-----1,91%.
Betuflex B 65/60-----4,30%

Fornecedores dos Materiais.

Brita 0 (zero)-----Pedreira Sto. António
Pó de Pedra-----Pedreira Sto. António
Filler Calcário-----Lindacal Dist. LTDA
Cimento Asfáltico-----Ipiranga Asfaltos S.A.

4- CARACTERÍSTICAS DO ESTUDO MARSHALL

Em resumo temos os seguintes resultados do Estudo Marshall (anexo 02).

<i>CARACTERÍSTICAS</i>	<i>RESULTADOS ENCONTRADOS À 25,0° C</i>	<i>ESPECIFICAÇÃO ESPESSURA = 2 cm</i>
Massa Esp. Aparente, Kg/dm ³	1,972	-----
Vazios, %	21,8	20 - 24
Perda p/ Desgaste pelo Mét. Cantabro Via úmida (após 24 h à 60°C), %	22,3	< 25
Resistência à tração por compressão diametral imerso à 60°C por 24 hs (DNER ME-82), Kg/cm ²	6,9	> 6,0

5- OBSERVAÇÕES

5.1 - Embora o teor de *BETUFLEX B 65/60* seja de 4,3 % admite-se uma variação esporádica dentro do intervalo de 4,3% à 4,5%.

ESTUDO MARSHALL

Obra: AEROPORTO SANTOS DUMONT	Data: 20/05/99
--------------------------------------	-----------------------

MATERIAIS USADOS	
MATERIAL	PROCEDÊNCIA
BRITA 0	PEDREIRA SANTO ANTÔNIO
PÓ DE PEDRA	PEDREIRA SANTO ANTÔNIO
FILLER CALCÁRIO	LINDACAL DISTRIBUIDORA LTDA
BETUFLEX B 65/80	IPIRANGA ASFALTOS S/A
BETUDOPE	IPIRANGA ASFALTOS S/A

CARACTERIZAÇÃO DOS AGREGADOS					
MATERIAL	% NA MISTURA DE AGREGADOS (1)	GRÃOS DE FORMA DEFEITUOSA OU ÍNDICE DE FORMA	Mg - MASSA ESP. DOS GRÃOS kg/m^3 (2)	DESGATE LOS ANGELES	ADESIVIDADE (3)
BRITA 0	82,0	-	2,684		SATISFATÓRIO COM
PÓ DE PEDRA	15,0	-	2,782		SENDE BETUDOPE
FILLER CALCÁRIO	3,0	-	2,780		
TOTAL	100,0				

ESTUDO MARSHALL								
DESCRIÇÃO			TRAÇOS ESTUDADOS				TRAÇO ADOTADO (4)	ESPEC.
			I	II	III	IV		
COMPOSIÇÃO DA MISTURA	BRITA 0	%	80,10	79,68	79,27	78,85	79,43	DREN 9
	PÓ DE PEDRA	%	14,48	14,40	14,33	14,25	14,36	
	FILLER CALCÁRIO	%	1,93	1,92	1,91	1,90	1,91	
	BETUFLEX B 65/80	%	3,50	4,00	4,50	5,00	4,30	
	total %		100,0	100,0	100,0	100,0		
AVALIAÇÃO VISUAL DA MISTURA	Envolvimento do Agregado							
CARACTERÍSTICAS MARSHALL DAS MISTURAS	Massa específica aparente Kg/dm^3		1,962	1,971	1,974	1,973	-	
	Estabilidade a °C e 50 Golpes Kgf							
	Fluência a °C 1/100"							
	Vazios	%	23,73	22,19	21,40	21,15	18 - 25	
	R.B.V.	%						

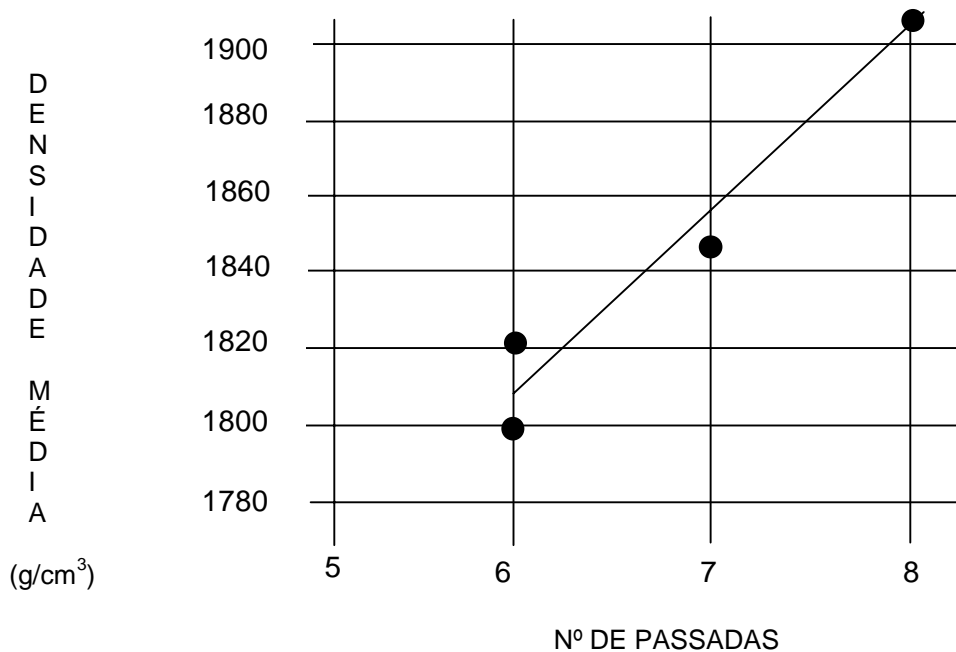
OBSERVAÇÕES
1. As granulometrias dos agregados, da mistura e da faixa especificada, encontram-se em planilha separada.
2. Ensaio DNER DPT - M 81 - 64 adotando-se a densidade d'água = 1,000

CÁLCULO DAS DENSIDADES APARENTES E ÍNDICES DE VAZIOS

° DO CORPO DE PROVA	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
DIÂMETRO MÉDIO DO CP (cm)	14,85	14,85	14,85	14,8	14,81	14,83	14,83	14,88	14,83	14,85	14,86	14,88	14,81	14,81
ESPESURA DO CP (cm)	2,62	2,85	2,66	2,75	2,62	2,57	3,11	3,07	2,83	2,41	2,51	2,83	2,61	3,22
ESO DO CP AO AR (g)	817,7	913	814,7	887,1	808	785	984,2	994	892,5	779,7	830,8	895	823,5	1099
VOLUME DO CP (cm ³)	453,8	493,6	460,7	473,1	451,3	443,9	537,2	533,9	488,8	417,4	435,3	492,1	449,6	554,7
DENSIDADE APARENTE (g/cm ³)	1197	1850	1768	1875	1790	1768	1832	1862	1826	1868	1909	1819*	1832	1945
° DO CORPO DE PROVA	6		6				7				8			
DENSIDADE MÉDIA (g/cm ³)	1824		1800				1847				1895			
ÍNDICE DE VAZIOS (%)	28,1		29				27,1				25,2			
RENABILIDADE (seg)	5		5,5				6,7				12,15			

Temperatura de Usinagem: 178 °C
 Temperatura de Espalhamento= 160 °C
 Temperatura de Pista= 150°C
 Temperatura de Ligante- 170°C
 Condições do tempo: Bom
 Teor de Betume= 4,1%

GRÁFICO DAS DENSIDADES OBTIDAS NO TRECHO EXPERIMENTAL

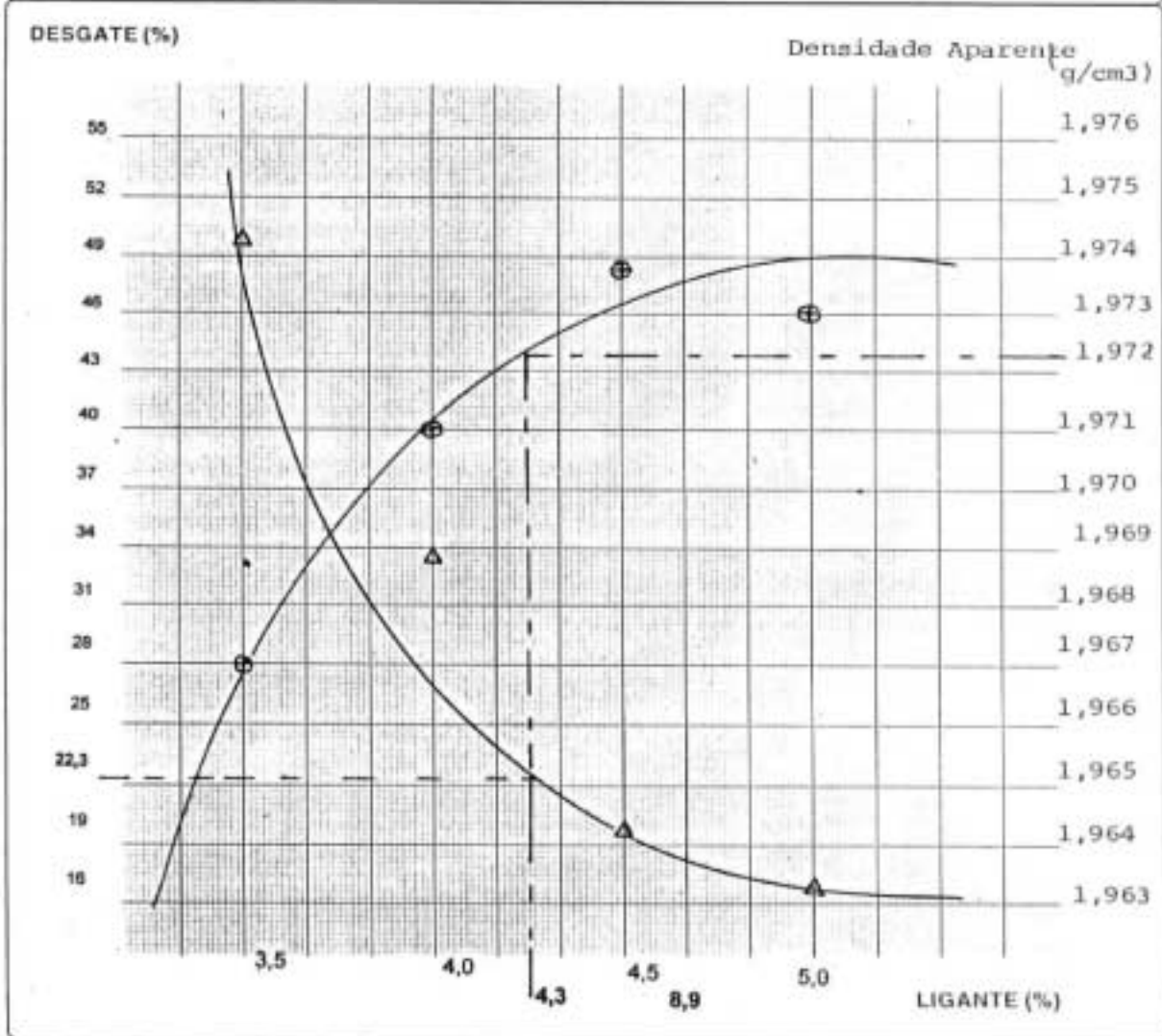


* não incluído na média

TEOR DE LIGANTE

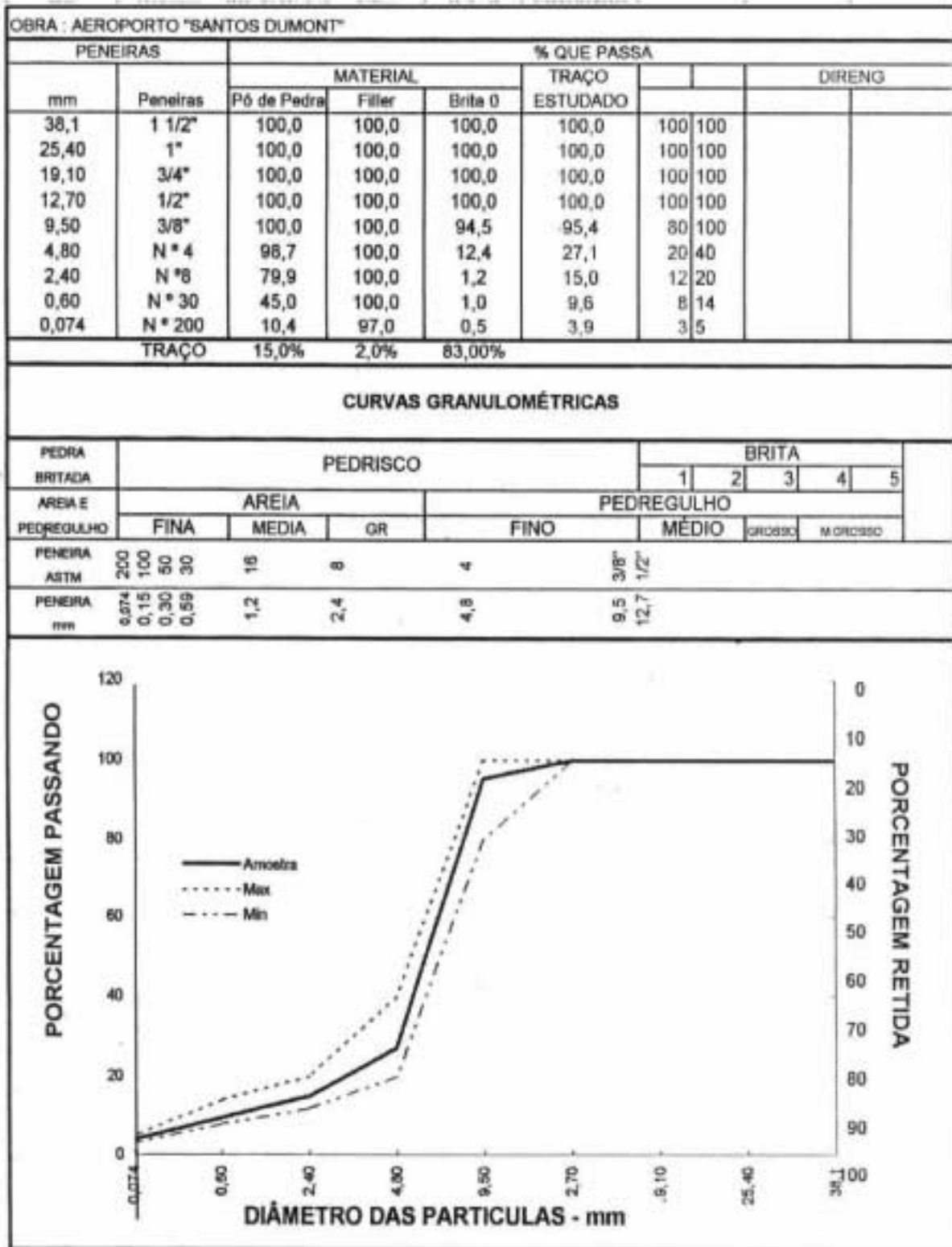
Obra: AEROPORTO SANTOS DUMONT	Data: 20/05/99
Faixa: DIRENG - Ministério da Aeronáutica - INFRAERO	

DOSAGEM ÓTIMA DE LIGANTE

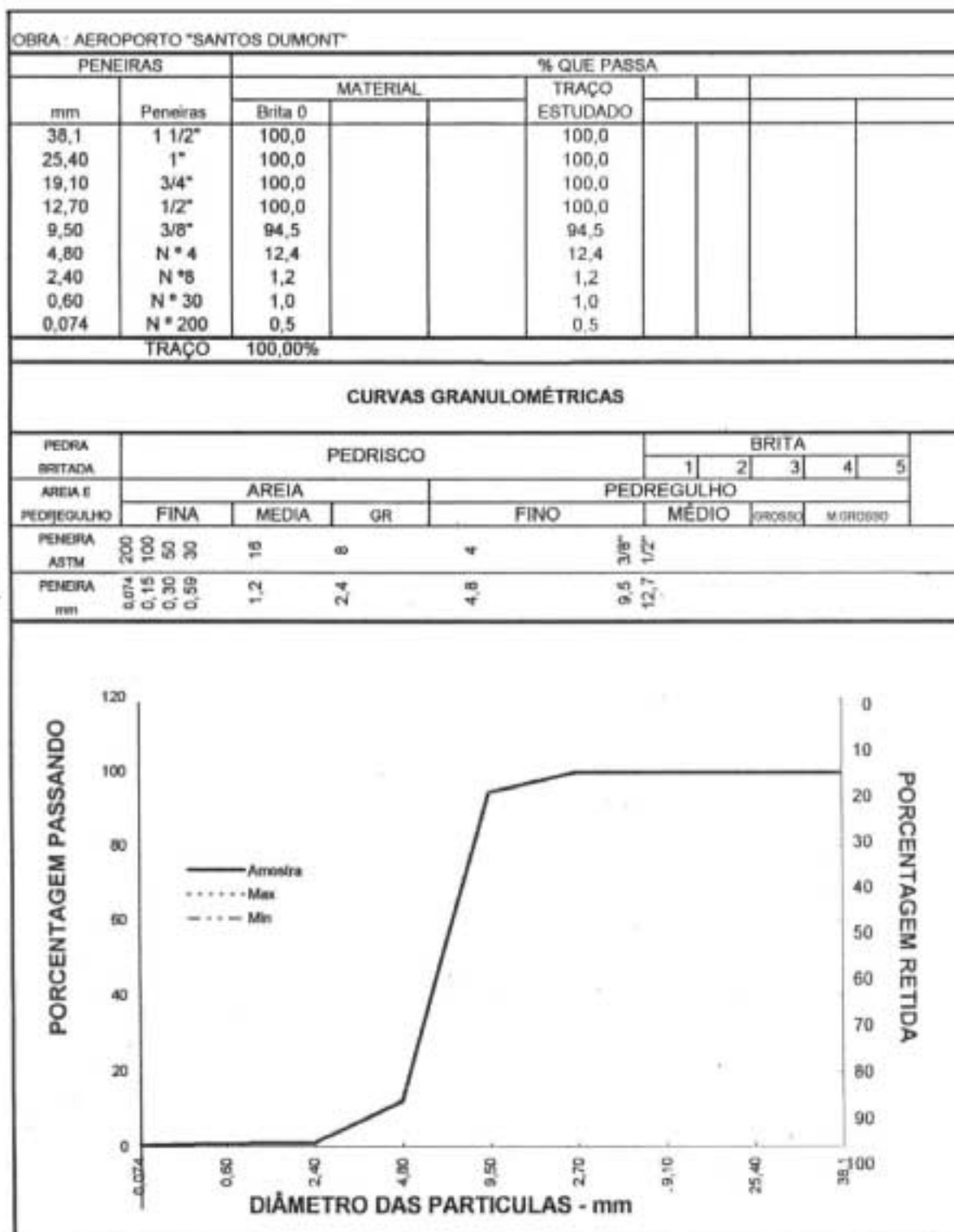


Variação aceitável: $\pm 0,2\%$	Variação tolerável: $\pm 0,2\%$	Teor ótimo: 4,26%
---------------------------------	---------------------------------	--------------------------

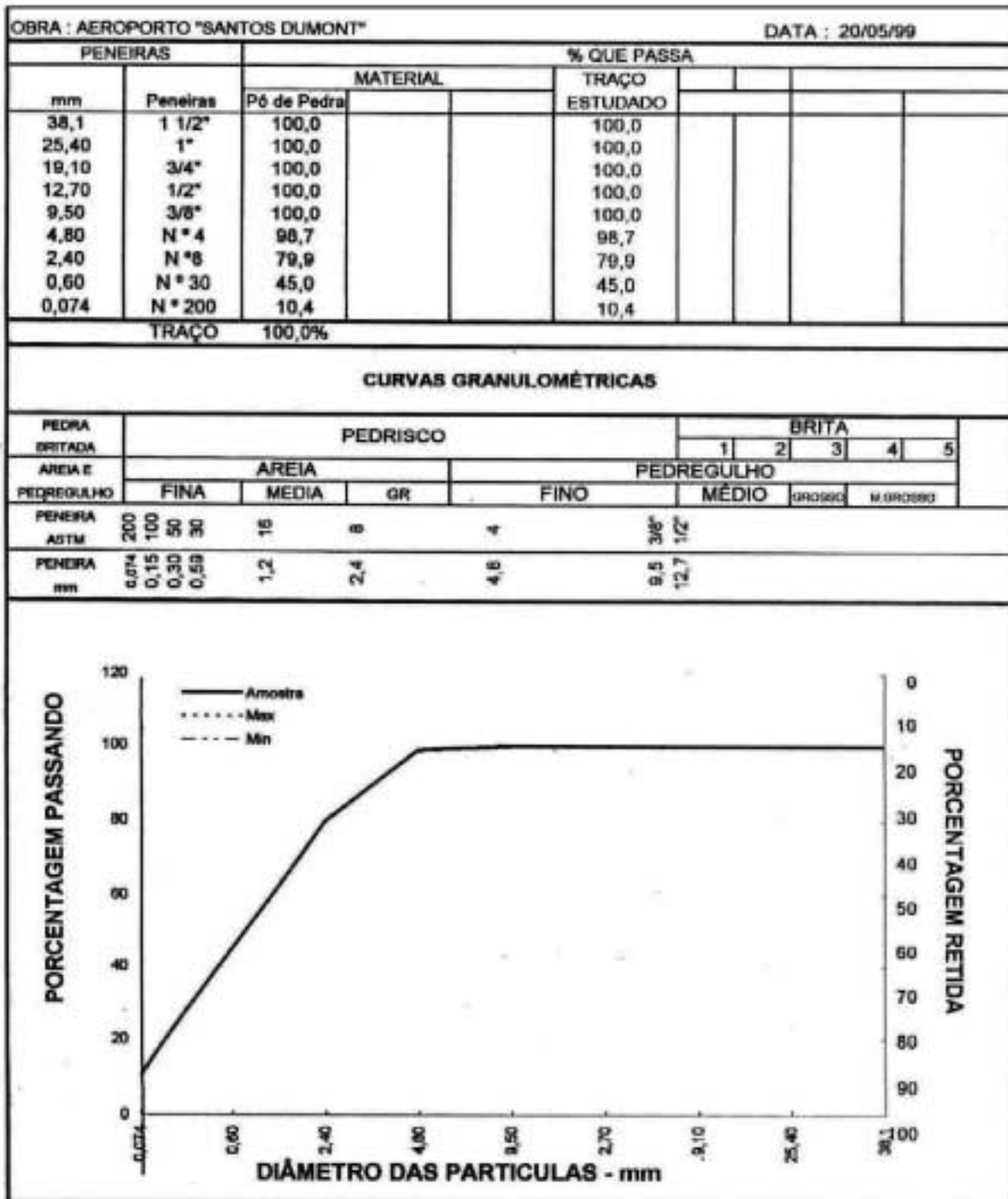
TRAÇO DA MISTURA



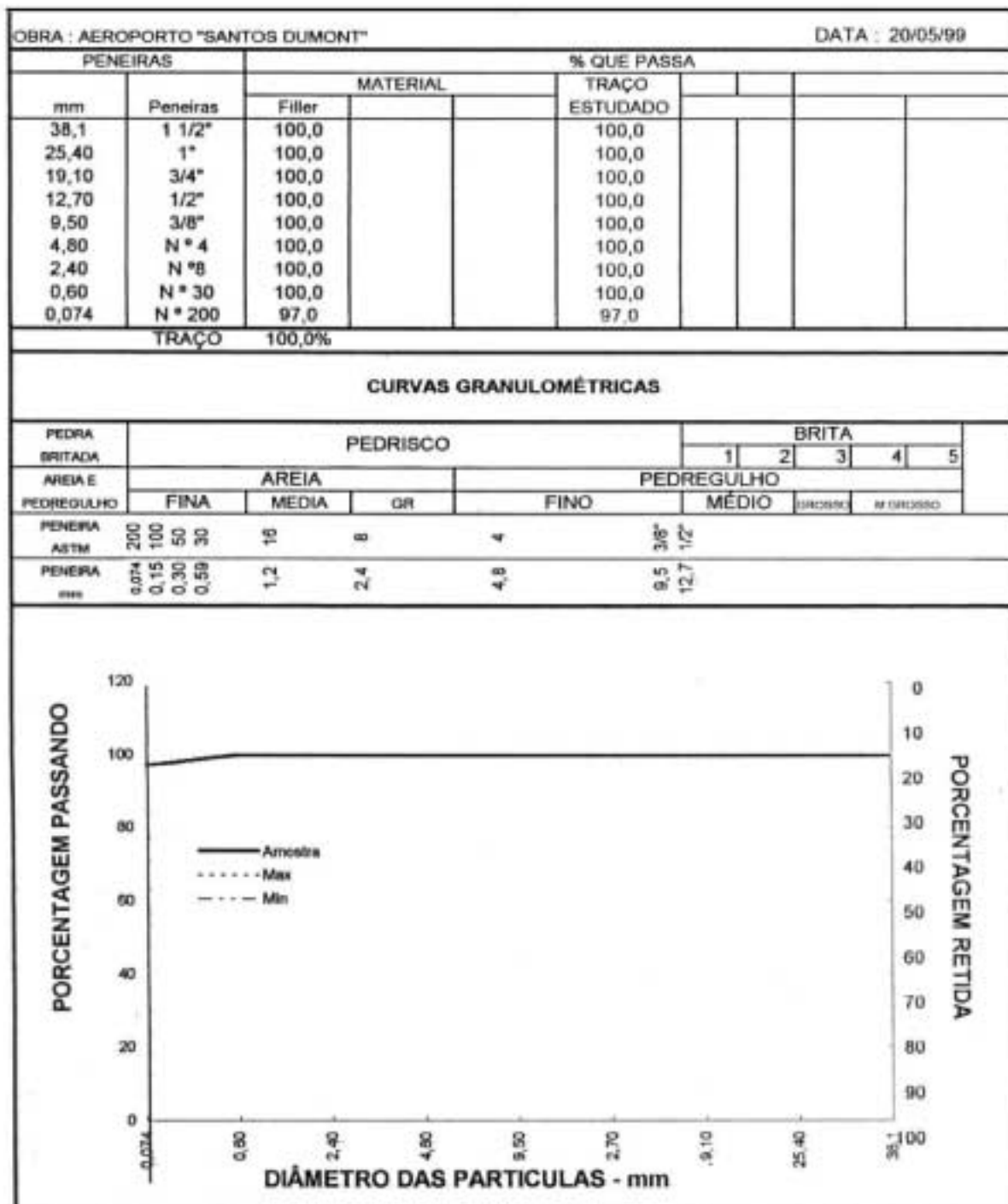
GRANULOMETRIA DA BRITA 0



GRANULOMETRIA DO PÓ DE PEDRA



GRANULOMETRIA DO FILLER



INFRAERO - OBRA AEROPORTO SANTOS DUMONT - CAMADA POROSA DE ATRITO (CPA)

Desgaste de Agregado por Abrasão e Índice de Forma.

Abaixo apresentamos os resultados dos ensaios de Desgaste por Abrasão Los Angeles e Índice de Forma das amostras de agregado provenientes da Pedreira Santo Antônio:

RESULTADO DOS ENSAIOS

ENSAIOS	RESULTADOS
Desgaste Abrasão “Los Angeles” Grad. C (%).....	21
Índice de Forma.....	0,72

1) IDENTIFICAÇÃO:

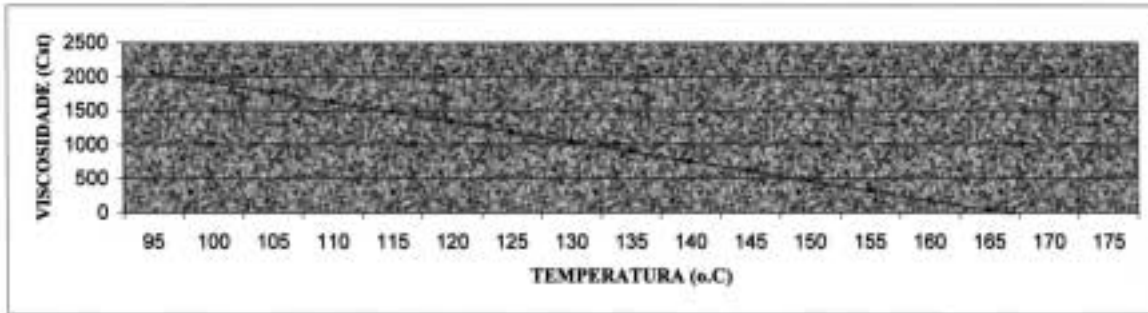
CERTIFICADO N°: 025-07/1999

PRODUTO	BETUFLEX B 65/60
QUANTIDADE	19.380 KG
NOTA FISCAL	9150
CLIENTE	INFRAERO - OBRA DE RECUPERAÇÃO DA PISTA PRINCIPAL DO SBRJ
DATA DE EMISSÃO	14/07/1999
ORDEM DE SERVIÇO	8826

2) CARACTERIZAÇÃO:

ENSAIO	UNID.	MÉTODO	ESPECIFICAÇÃO			RESULTADOS	
			B 60/60	B 65/60	B 80/60	IASA	CLIENTE
Ponto de Amolecimento	°C	MB-164	55-65	60-75	75-90	62	
Penetração 100g/5s/25°C	Dimm	PMB-107	50-70	50-70	50-70	51	
Índ. Suscetibilidade Térmica, mín.	-	NBR-6560	zero	+1	+3	+1,5	
Densidade Relativa 20/4°C	-	ASTM D70-82	1,00-1,04	1,00-1,04	1,00-1,04	1,025	
ECA, % de Variação em massa, máx.	%	D 1754	1,0	1,0	1,0	<1	
ECA, % Penetração original, mín.	%	D 1754	60	60	60	>70	
Ductibilidade 25° C, mín.	Cm	D 113	100	100	100	>100	
Recuperação Elástica, 25° C, mín.	%	D 113(Modificada)	60	80	80	88,5	
Ponto de Falga, mín.	°C	D 92	240	240	240	310	
Espuma, 177°C	-	D 92	sem	sem	sem	Sem	
Estabilidade, 2 dias, 163°C, ΔPa máx.	-	-	2	2	2	1	
Viscosidade Cinemática 135°C, máx	Cst	ASTM D4402	3000	3000	3000	962	
Viscosidade Cinemática 145°C, máx	Cst	ASTM D4402	2000	2000	2000	592	
Viscosidade Cinemática 175°C, máx	Cst	ASTM D4402	450	450	450	191	
Faixa Temperatura Usinagem	°C	-	anotar	anotar	anotar	155,9 à 163,2	
Faixa Temperatura Compactação CPA	°C	-	anotar	anotar	anotar	128,4 à 138,5	
Faixa Temperatura Compactação CBUQ	°C	-	anotar	anotar	anotar	145,8 à 155,9	
Temperatura de Carregamento	°C	-	anotar	anotar	anotar	190	

GRÁFICO DAS FAIXAS DE TEMPERATURAS DE USINAGEM E COMPACTAÇÃO

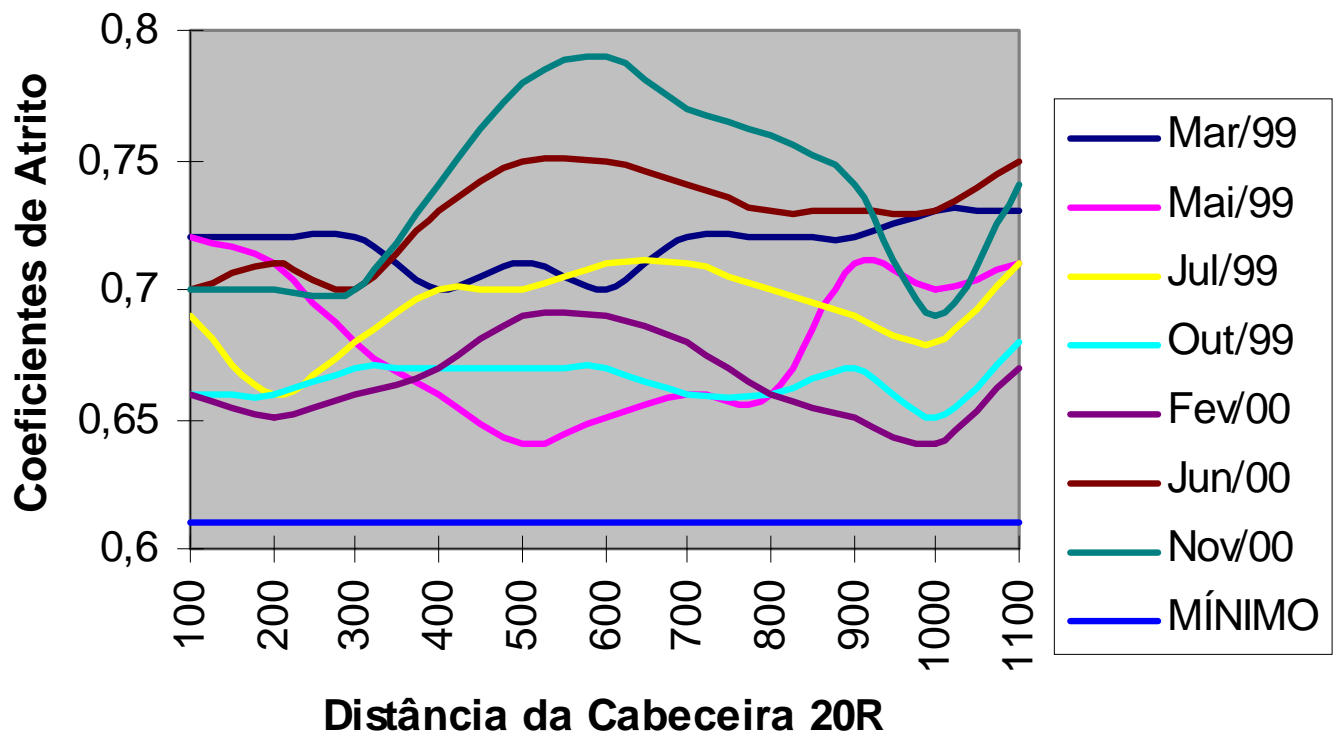


FAIXA DE TEMPERATURA DE USINAGEM
 FAIXA DE TEMPERATURA DE COMPACTAÇÃO CPA
 FAIXA DE TEMPERATURA DE COMPACTAÇÃO CBUQ

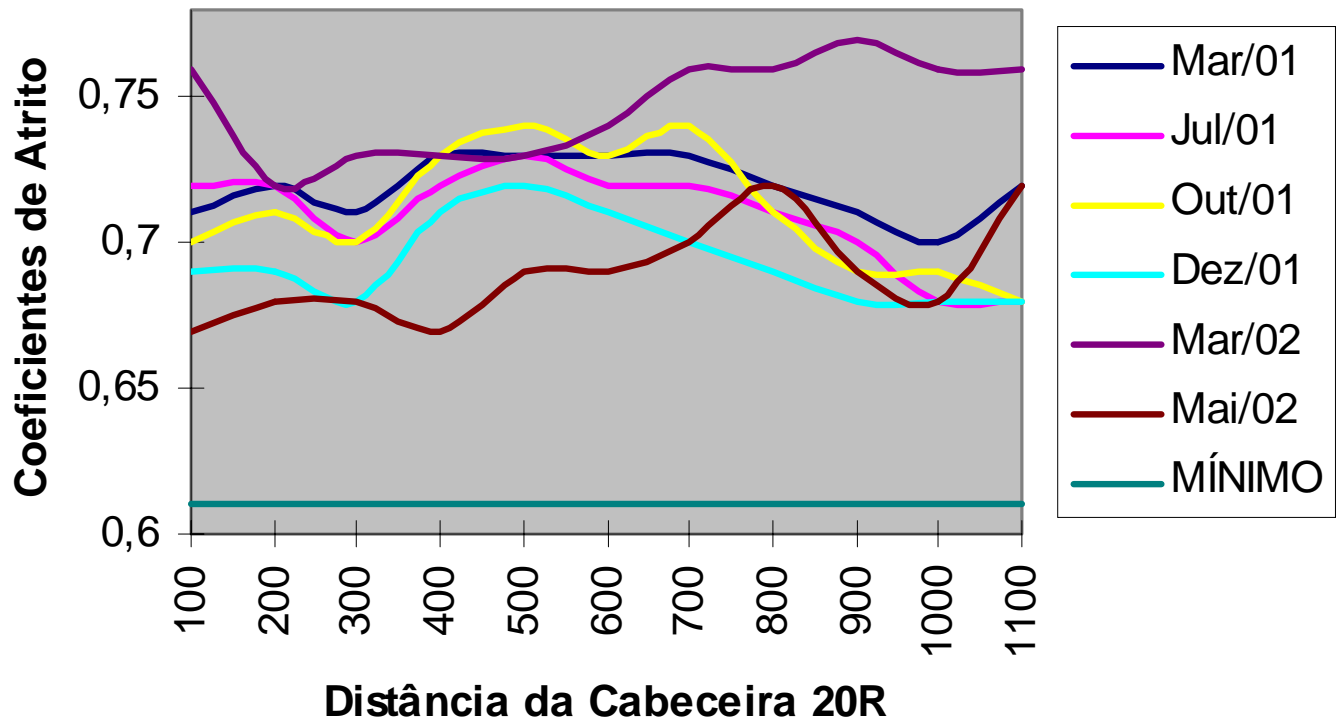
155,9	A	163,2
128,4	A	138,5
145,8	A	155,9

FAIXA DE TEMPERATURA DE USINAGEM COM VISCOSIDADE ENTRE 300 A 400 Cst
 FAIXA DE TEMPERATURA DE COMPACTAÇÃO CPA COM VISCOSIDADE ENTRE 800 A 1200 Cst
 FAIXA DE TEMPERATURA DE COMPACTAÇÃO CBUQ COM VISCOSIDADE ENTRE 400 A 600 Cst

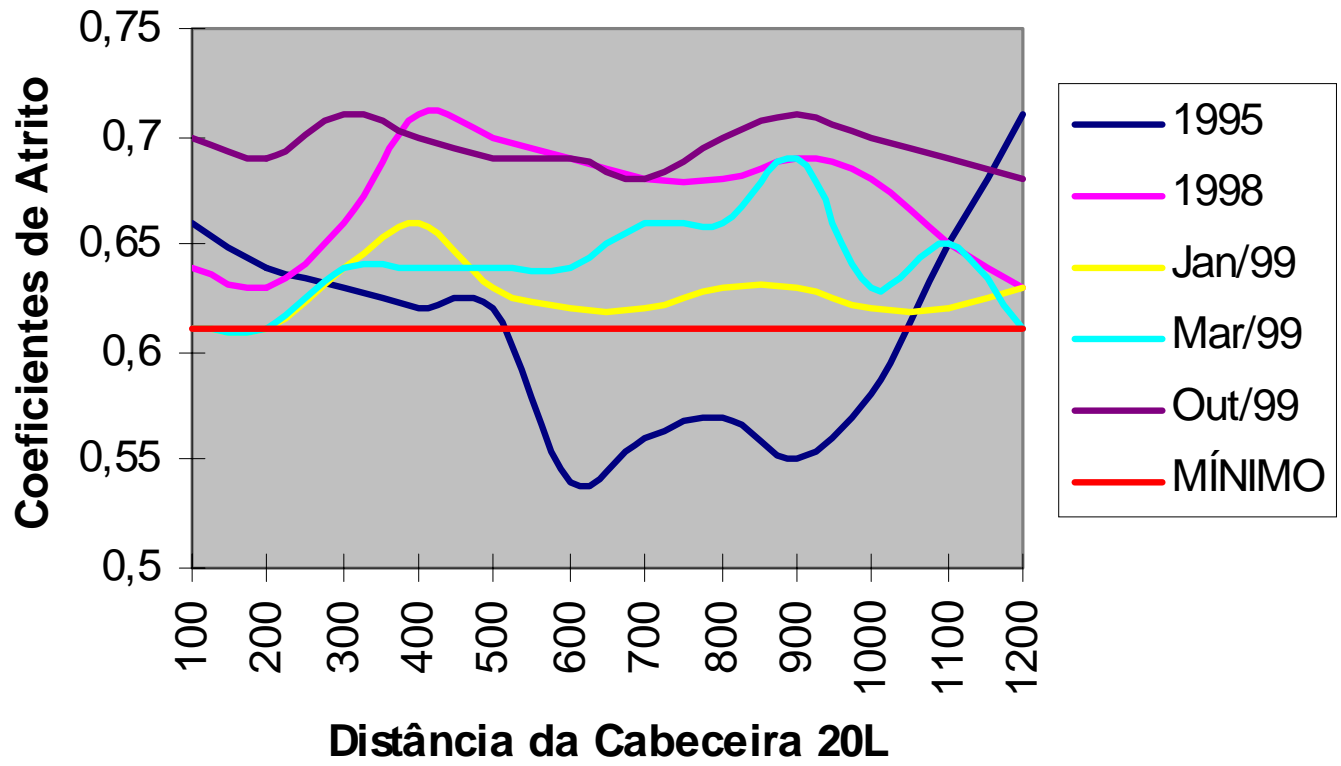
MEDIDAS DE ATRITO COM MK4 PISTA AUXILIAR



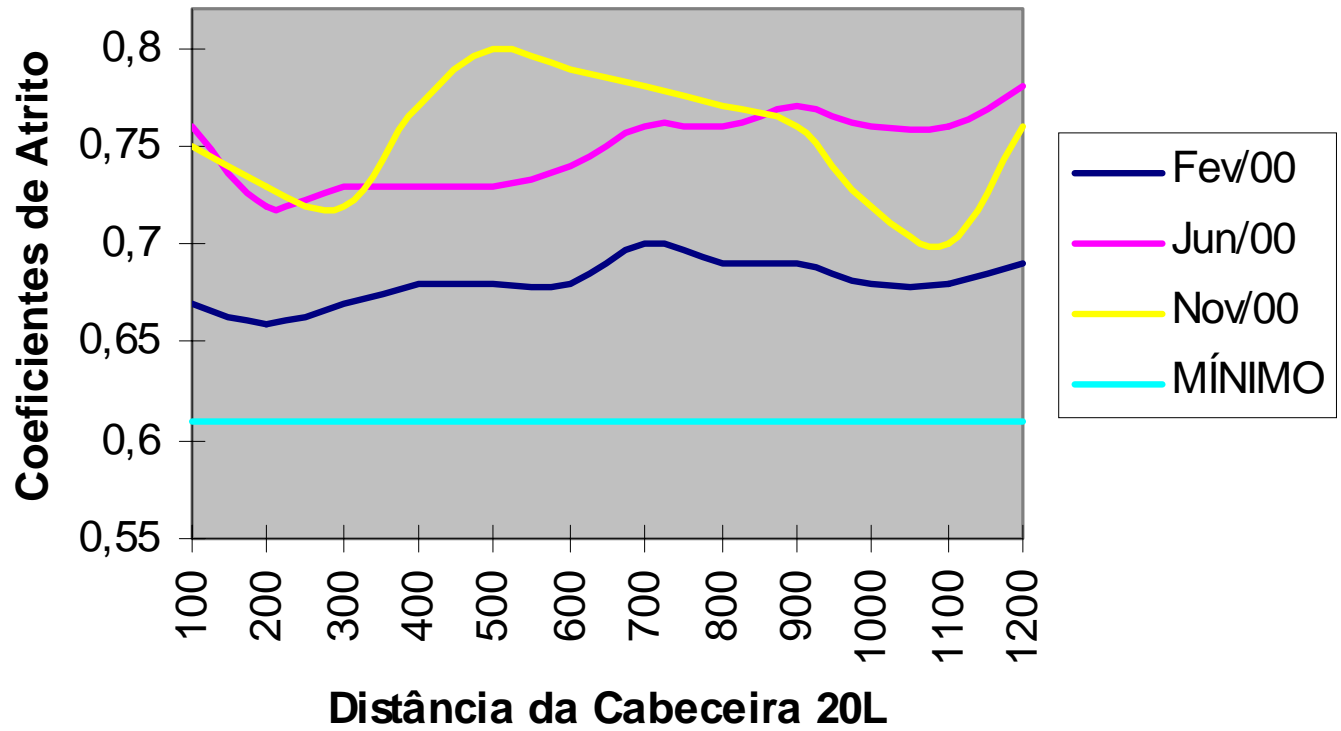
MEDIDAS DE ATRITO COM MK4 PISTA AUXILIAR



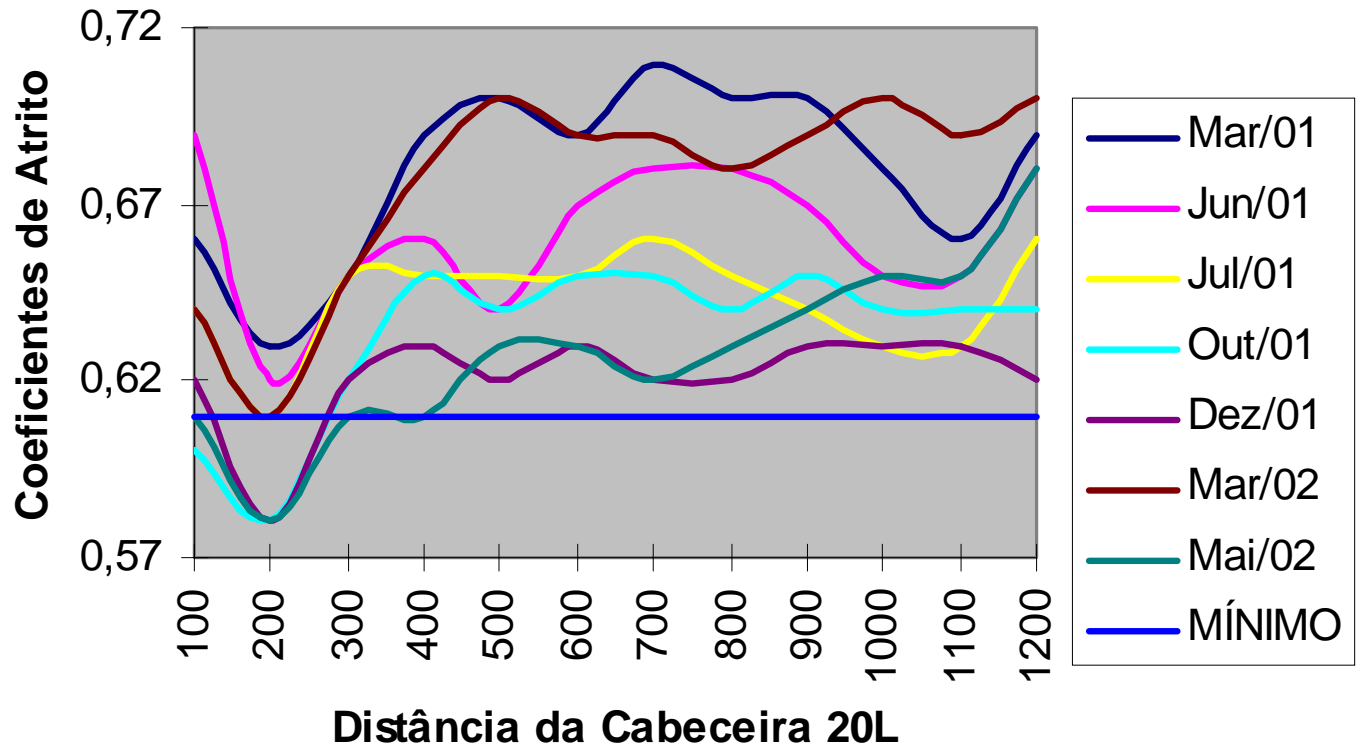
MEDIDAS DE ATRITO COM MK4 PISTA PRINCIPAL



MEDIDAS DE ATRITO COM MK4 PISTA PRINCIPAL



MEDIDAS DE ATRITO COM MK4 PISTA PRINCIPAL



**Crescimento do Movimento de Aeronaves no Aeroporto Santos Dumont
(Pousos + Decolagens)**

PERÍODOS DE	TOTAIS
1991	67.231
1992	56.338
1993	58.347
1994	64.044
1995	64.044
1996	82.396
1997	86766
1998	79.145
1999	107.490
2000	109.909
2001	112.083

O crescimento total de movimentos nos últimos 10 anos foi de 66,70% de operações de pousos e decolagens.

CONSIDERAÇÕES IMPORTANTES

Fazendo uma comparação entre o crescimento do número de operações de aeronaves no Aeroporto Santos Dumont e a quantidade de intervenções de manutenção efetuadas na Camada Porosa da Pista principal, podemos concluir que o desempenho e a durabilidade desse revestimento asfáltico esta melhorando ao longo dos anos em função do aperfeiçoamento técnico que vem sendo introduzido nos projetos da mistura asfáltica em cada etapa realizada .

RESUMO

A construção da Camada Porosa de Atrito viabilizou totalmente a utilização do Aeroporto Santos Dumont, para as operações de Aeronaves a Jato de médio porte, proporcionando total segurança nas Pistas 02R / 20L de 1320 m e a 02L / 20R de 1260m. O que parecia impossível, hoje é uma realidade.

Colocando o Aeroporto em segundo lugar no ranking dos aeroportos centrais de maiores movimentos de passageiros e aeronaves do Brasil.

Valeu o desafio enfrentado pela equipe de Engenharia da INFRAERO, que atuou com muita determinação e coragem, vencendo todos os desafios para a implantação desse projeto inédito na Engenharia de Aeroportos no Brasil.