ANÁLISE DA MACROTEXTURA EM REVESTIMENTO DE CAMADA POROSA DE ATRITO EM AEROPORTO NACIONAL

José Breno Ferreira Quariguasi
Universidade Federal do Ceará – Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Transportes
Campus do Pici, Bloco 703 – 60440-900, Fortaleza, CE, (85) 3366-9488,
brenoquariguasi@det.ufc.br

Lucius de Albuquerque Prado
Agência Nacional de Aviação Civil
Parque Cidade Corporate – Torre A – Setor Comercial Sul, Quadra 09 – Lote C – CEP 70308-200,
Brasília, DF, (61) 99227-3736
lucius.prado@anac.gov.br

Francisco Heber Lacerda de Oliveira
Universidade Federal do Ceará – Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Transportes
Campus do Pici, Bloco 703 – 60440-900. Fortaleza, CE, (85) 3366-9488
heber@det.ufc.br

RESUMO

A macrotextura é um dos parâmetros de aderência pneu-pavimento responsáveis por garantir a segurança das operações das aeronaves durante os pousos e decolagens. A fim de melhorar as condições de drenagem superficial das pistas, alguns aeroportos adotam um revestimento drenante, denominado Camada Porosa de Atrito (CPA), capaz de promover uma rápida percolação da água e a não formação de película d'água na superfície do pavimento. Com isso, esta pesquisa analisou o comportamento da macrotextura em uma pista aeroportuária constituída de CPA ao longo dos anos de 2015 a 2018, e verificou que este revestimento é adequado quanto ao parâmetro analisado.

Palavras-chave: Macrotextura, CPA, Aderência, Drenagem, Pavimento, Aeroporto.

1. INTRODUÇÃO

Acidentes aéreos estão relacionados a vários fatores que envolvem o homem, a máquina e o meio. Considerando-se que pousos e decolagens são as operações mais críticas de um voo, ressalta-se que a incapacidade de frenagem devido à deficiência de atrito é um dos fatores que mais influenciam na causa dos acidentes. Dentre as causas que proporcionam essa deficiência estão o polimento do agregado, a deterioração do revestimento e, de modo mais constante, o acúmulo de borracha proveniente dos pneus das aeronaves conjugado com a presença de água sobre o pavimento. Dessa forma, recomenda-se que os principais parâmetros de aderência pneu-pavimento – macrotextura e coeficiente de atrito – devem ser mensurados periodicamente com a finalidade de garantir a segurança das operações nas pistas de pouso e decolagem (PPD).

A macrotextura está relacionada à drenagem da água na pista, sendo, portanto, uma das características físicas que mais contribui para que se previna a aquaplanagem, fenômeno em que os pneus das aeronaves perdem o contato com a superfície do pavimento devido à película de água. Nesse sentido, a Agência Nacional de Aviação Civil (ANAC, 2018) determina valores mínimos para tais parâmetros a fim de que as operações ocorram em segurança.

Alguns tipos de revestimentos, como a Camada Porosa de Atrito (CPA), são empregados como camada de rolamento drenante com a finalidade de melhorar a aderência pneu-pavimento. Para Bernucci *et al.* (2008), a CPA possui um alto teor de vazios e elevada permeabilidade, e com isso escoa a água da chuva para o seu interior, promovendo uma rápida percolação dessa água até um local adequado. Por conta desse elevado volume de vazios, a CPA possui a tendência de permitir maior acúmulo de borracha no seu interior. Esse acúmulo pode ser mais intenso devido ao volume de tráfego e, sobretudo, quando não há rotinas de remoção dessa borracha. No Brasil, pode-se citar o Aeroporto de Santos Dumont, localizado no estado do Rio de Janeiro, ilustrado na Figura 1, como exemplo da utilização de CPA.

Em face do exposto, este trabalho tem o objetivo de analisar o desempenho da macrotextura de uma pista de pouso e decolagem de um aeroporto nacional, cujo revestimento é composto por CPA, entre meados de 2015 a 2018.



Figura 1: Aeroporto Santos Dumont/RJ.

2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

A rugosidade do pneu e a textura do pavimento são um dos fatores mais importantes em uma avaliação de aderência. Segundo Rodrigues Filho (2006), a microtextura pode ser caracterizada como o grau de rugosidade da superfície das partículas do agregado que constituem a mistura asfáltica ou o concreto de cimento Portland da camada do revestimento e não pode ser visível a olho nu. Já a macrotextura é definida como uma classificação de textura com uma série de picos e depressões com comprimentos de onda variando de 0,5 mm a 50 mm, de acordo com Bernucci *et al.* (2008), conforme ilustrado na Figura 2. Além disso, Rodrigues Filho (2006) afirma que o tamanho do agregado usado na mistura, a faixa granulométrica, a configuração geométrica e a quantidade de vazios existentes na estrutura do pavimento, são aspectos que caracterizam a macrotextura. Para o autor, o fenômeno da hidroplanagem dinâmica está diretamente ligado à macrotextura, pois estruturas abertas permitem a formação de canais entre a banda de rodagem e a pista, auxiliando o escoamento da água para fora da área de contato.

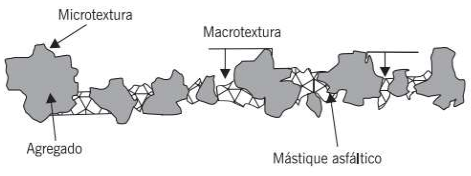


Figura 2: Micro e macrotextura na superfície de um revestimento asfáltico (Bernucci *et al.*, 2008).

O acúmulo de borracha oriundo do desgaste dos pneus das aeronaves, de acordo com Oliveira (2016), diminui a quantidade de vazios existentes no revestimento, limitando a capacidade de drenagem superficial das pistas de pouso e decolagem em pavimentos aeroportuários, o que pode gerar a aquaplanagem das aeronaves. Portanto, é fundamental que haja um controle da macrotextura por parte dos operadores de aeródromos e do órgão regulador com o objetivo de garantir a segurança das operações nas PPD.

Existem diversos métodos para remoção do acúmulo de borracha nas pistas de pouso e decolagem, tais como solventes químicos, ar comprimido quente, jato de água de alta pressão (hidrojateamento), solventes químicos e jato de água de alta pressão concomitantemente. No Brasil, segundo Oliveira *et al.* (2015), geralmente tem-se empregado a técnica de remoção por hidrojateamento a alta pressão e que após esses procedimentos é notado uma melhora nos parâmetros de aderência pneu-pavimento – coeficiente de atrito e macrotextura.

O ensaio da mancha de areia é um dos métodos utilizados para mensurar a profundidade da macrotextura. Esse ensaio é especificado pela ANAC (2016) e consiste em calcular a profundidade de um volume de areia de granulometria especificada que penetrou na textura de um revestimento. Para tanto, deve-se espalhar um volume de 24 cm³ de areia sobre o revestimento, de forma circular, a fim de se medir o seu diâmetro. As medidas devem ser obtidas a 3 metros do eixo e a cada 100 metros, alternando as leituras entre os lados direito e esquerdo.

A ANAC (2018) classifica a macrotextura de acordo com a profundidade média da mancha de areia (P) obtida em ensaio, conforme Tabela 1. De acordo com o órgão regulador, a macrotextura das PPD deve apresentar uma profundidade média maior ou igual a 0,60 mm para cada terço da pista. Caso a PPD não atinja esse valor mínimo, a ANAC (2018) exige que o operador do aeródromo adote medidas para restabelecer os requisitos mínimos exigidos. Caso contrário, esse operador estará sujeito a punições ou sanções se não forem cumpridas as exigências mínimas estabelecidas.

Tabela 1: Classes de macrotextura (ANAC, 2018).

Classe	***Profundidade - P (mm)***
Muito fechada	$P \leq 0,20$
Fechada	$0,20 < P \leq 0,40$
Média	$0,40 < P \leq 0,80$
Aberta	$0,80 < P \leq 1,20$
Muito aberta	$P > 1,20$

O DNER (1999) define a Camada Porosa de Atrito (CPA) como revestimento pré-misturado a quente com asfalto polímero, mistura executada em usina apropriada, composta de agregado, fíler e cimento asfáltico de petróleo modificado por polímero. Apresenta um teor de vazios de 18 a 25%, a Figura 3 exibe um corpo de prova de uma CPA e um de Concreto Asfáltico convencional. Segundo Bernucci *et al.* (2008), a CPA é utilizada como camada de rolamento com a finalidade de melhorar a aderência pneu-pavimento, sendo responsável pela coleta da água da chuva, promovendo uma rápida percolação da mesma. Portanto, esse tipo de pavimento tem como característica importante a diminuição da lâmina d'água na superfície de rolamento. Na literatura nacional, até onde seja de conhecimento dos autores deste artigo, poucos são os trabalhos realizados no que se refere à CPA em PPD.



Figura 3: Camada Porosa de Atrito (esquerda) e Concreto Asfáltico (direita) (Bernucci *et al.*, 2008).

Lugão (2008) estudou o desempenho da macrotextura na pista de pouso e decolagem do Aeroporto de Confins, localizado na cidade de Confins/MG, cujo revestimento também era constituído de CPA. Por meio dos resultados dos ensaios de macrotextura, propôs valores para classificar a pista quanto ao nível de emborrachamento da mesma, conforme expresso na Tabela 2. Ressalta-se que tal classificação deve ser utilizada com cautela por parte do operador, uma vez que patologias no pavimento, como desagregação, podem transmitir uma falsa impressão de que o revestimento não apresenta acúmulo de borracha.

Tabela 2: Níveis de emborrachamento para revestimentos de CPA (Lugão, 2008).

Profundidade da mancha de areia (mm)	*Níveis de emborrachamento*
P < 1,2	Altamente emborrachada
1,2 < P ≤ 1,6	Emborrachada
1,6 < P ≤ 2,0	Levemente emborrachada
2,0 < P	Praticamente sem borracha

McDaniel *et al.* (2010) analisou o desempenho, ao longo de cinco anos, de alguns pavimentos em trechos experimentais no estado de Indiana, nos Estados Unidos. Um desses pavimentos, constituído de Camada Porosa de Atrito, apresentou comportamento cíclico, em relação aos resultados de macrotextura, com valores variando de 1,37 a 1,52. Ademais, o autor constatou que não houve diferença significativa na macrotextura entre o período de abertura da via ao tráfego até o final do tempo de pesquisa

3. MÉTODO DE PESQUISA

Escolheu-se um aeroporto nacional, de porte mediano, com histórico médio de mais de 130 mil operações anuais nos últimos 5 anos, segundo dados do Departamento de Controle do Espaço Aéreo (DECEA, 2015, 2017). Nesse aeroporto, as pistas de pouso e decolagem apresentam revestimento asfáltico, executado em toda sua extensão em 2009, em Camada Porosa de Atrito (CPA) em condições de operações consideradas satisfatórias pelo operador do aeródromo.

Foram realizados 16 ensaios de macrotextura pelo método da mancha de areia entre julho de 2015 a março de 2018. Esses dados foram tabulados e analisada a sua evolução através do tempo, assim como também o comportamento estatístico, através de teste de igualdade das médias. Destaca-se que tais ensaios foram obtidos por meio de relatórios fornecidos pela Agência Nacional de Aviação Civil (ANAC).

Também foram feitas análises da profundidade média da macrotextura por terço da pista de pouso e decolagem, conforme recomenda a ANAC (2018), para o período supracitado.

4. ANÁLISES E RESULTADOS

A Tabela 3 apresenta os resultados de profundidade média da mancha de areia (P) e a data de medição do ensaio. Percebe-se que todos os resultados apresentaram valores de macrotextura classificados como “muito aberta” e, consequentemente, de acordo com as exigências da ANAC (2018). De acordo com o gráfico da Figura 4, nota-se que há uma tendência de aumento nos valores encontrados nesses ensaios. No que diz respeito ao nível de emborrachamento, constata-se que a PPD em análise apresentou 1 resultado classificado como emborrachado, 13 como levemente emborrachado (notadamente nas medições de 2016 e 2017) e 2 como praticamente sem borracha, seguindo a classificação proposta por Lugão (2008).

Tabela 3: Resultados dos ensaios de macrotextura.

Data da medição	*P (mm)*	*Data da medição*	*P (mm)*
21.08.2015	1,66	09.11.2016	1,93
16.10.2015	1,71	07.01.2017	1,70
11.12.2015	1,49	11.05.2017	1,84
05.02.2016	1,64	06.07.2017	1,68
22.03.2016	1,78	24.08.2017	1,89
21.05.2016	1,82	19.10.2017	2,05
20.07.2016	1,95	23.12.2017	1,79
14.09.2016	1,88	02.03.2018	2,24

Realizou-se uma análise das variâncias (ANOVA) nos dados de macrotextura, cuja hipótese nula indica que todas as médias são iguais e a hipótese alternativa indica que nem todas as médias são iguais para um nível de significância de 5%. Segundo os resultados apresentados na Tabela 4 não se pode rejeitar a hipótese nula de que as médias são iguais, uma vez que o Valor P encontrado é superior ao nível de significância. Com isso, essa tendência de aumento da macrotextura pode estar associada à variância dos resultados dos ensaios.

Tabela 4: Resultados da ANOVA.

Fonte	*GL*	*Valor F*	*Valor P*
Fator	14	0,95	0,51
Erro	195	-	-
Total	209	-	-

Analisou-se, também, os resultados da profundidade da macrotextura em relação aos

terços da pista de pouso e decolagem, segundo os resultados apresentados na Tabela 5 e Figura 5.

Nota-se pelos resultados que o primeiro terço, correspondente à cabeceira mais solicitada apresenta, em média, os menores valores de macrotextura, seguido da outra cabeceira, pois esta também apresenta um volume significativo de operações. A cabeceira mais utilizada apresentou, aproximadamente, 100 operações diárias, enquanto que a outra, 50, no período estudado, o que tende, por consequência, a ocasionar um maior acúmulo de borracha nesses terços da pista, sobretudo nas zonas de toque.

Tabela 5: Valores de macrotextura por terço da PPD.

Data da medição	*Profundidade da mancha de areia (mm)*			*Data da medição*	*Profundidade da mancha de areia (mm)*		
	1º Terço	*2º Terço*	*3º Terço*		*1º Terço*	*2º Terço*	*3º Terço*
21.08.2015	1,28	2,17	1,48	09.11.2016	1,51	2,68	1,53
16.10.2015	1,14	2,57	1,35	07.01.2017	1,19	2,48	1,36
11.12.2015	1,15	1,85	1,48	11.05.2017	1,23	2,71	1,50
05.02.2016	1,40	2,16	1,26	06.07.2017	1,41	2,22	1,35
22.03.2016	1,36	2,46	1,46	24.08.2017	1,36	2,74	1,48
21.05.2016	1,44	2,47	1,47	19.10.2017	1,46	3,07	1,49
20.07.2016	1,35	2,86	1,56	23.12.2017	1,49	2,37	1,43
14.09.2016	1,38	2,78	1,39	02.03.2018	1,82	3,06	1,76
				Médias	1,37	2,54	1,46

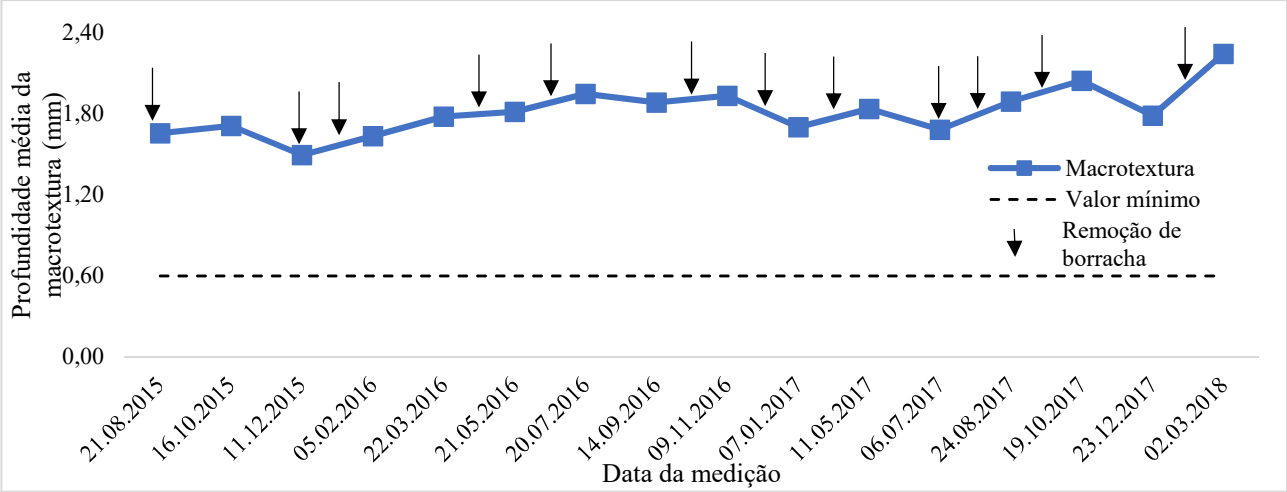


Figura 4: Resultados dos ensaios de macrotextura ao longo dos anos.

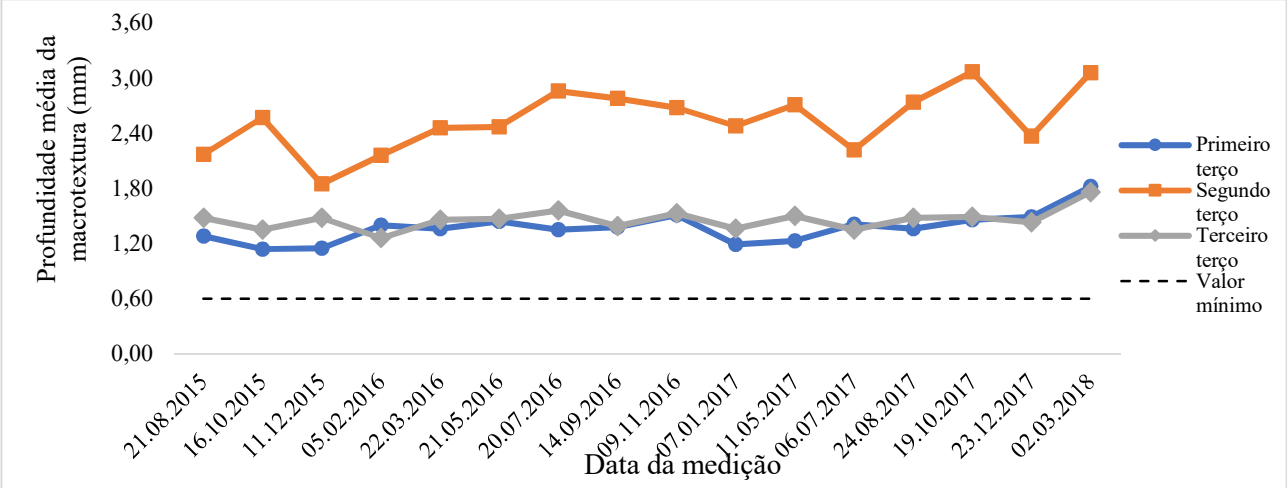


Figura 5: Comportamento da macrotextura por terços.

O que se apresenta na Tabela 5 tem resultado semelhante ao que Santos (2004) encontrou para o coeficiente de atrito em relação à localização dos maiores e menores dados do parâmetro analisado ao longo da pista. Provavelmente tais condições são decorrentes do maior polimento dos agregados nas cabeceiras de maior movimento, o qual se dá pelas recorrentes operações em uma mesma direção na PPD. No que diz respeito aos procedimentos de remoção do acúmulo de borracha da pista, conforme ilustrado na Figura 3, notou-se que, em geral, a macrotextura apresentou valores superiores logo após esses procedimentos, com exceção da medição realizada no dia 7 de janeiro de 2017. Contudo, não é possível calcular a eficiência percentual dos procedimentos de remoção de borracha, pois, estatisticamente, não se pode afirmar que as médias antes e após as remoções sejam diferentes, dado o elevado desvio-padrão dos resultados que, em alguns casos, atingiu o valor de 1,0 mm.

Em relação aos níveis de emborrachamento, o primeiro terço apresentou 3 resultados classificados como altamente emborrachados, 12 emborrachados e 1 levemente emborrachado. Para o segundo terço encontrou-se 1 resultado levemente emborrachado e os demais praticamente sem borracha, uma vez que essa região não apresenta zona de toque, região considerada crítica quanto à presença de borracha. Por fim, para o terceiro terço constatou-se a presença de 15 resultados classificados como emborrachados e 1 levemente emborrachado. Diante do exposto, o primeiro terço é mais crítico quando se analisa o quesito acúmulo de borracha na PPD.

5. CONCLUSÕES

De um modo geral, notou-se, pelos dados analisados, que a Camada Porosa de Atrito da PPD estudada proporcionou adequadas condições de segurança às operações de pousos e decolagens. Isso porque os valores de macrotextura encontrados ao longo do tempo de análise foi sempre superior ao valor mínimo recomendado pelos regulamentos vigentes. Esses resultados indicam a utilização da Camada Porosa de Atrito como um revestimento apropriado para pistas de pouso e decolagem.

Percebeu-se, graficamente, que a macrotextura apresentou uma tendência de crescimento no período analisado. Contudo, estatisticamente, não é possível afirmar que tal fenômeno venha ocorrendo dada a variância relativamente alta para esse parâmetro.

Também verificou-se que a macrotextura, em geral, apresentou valores melhores após os procedimentos de remoção de acúmulo de borracha da pista.

No que diz respeito à análise da macrotextura em terços da pista, percebeu-se que as cabeceiras apresentaram os menores valores, principalmente o primeiro terço mais solicitado pelas aeronaves, devido às operações de toque das aeronaves nos pousos ocorrerem com maior frequência nessa região.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à Agência Nacional de Aviação Civil (ANAC) pela disponibilização dos relatórios.

6. REFERÊNCIAS

ANAC. Agência Nacional de Aviação Civil. Instrução Suplementar IS nº 153.205-001 - Orientações para execução do ensaio volumétrico tipo mancha de areia e para elaborar relatórios de medição de condições operacionais. Brasília, DF. 2016.

ANAC. Agência Nacional de Aviação Civil. Resolução nº 464, de 22 de fevereiro de 2018 - Aprova a Emenda nº 02 ao Regulamento Brasileiro da Aviação Civil nº 153. Brasília, DF. 2018.

Bernucci, L. B., Mota, L. M. G., Ceratti, J. A. P. e Soares, J. B. Pavimentação Asfáltica. Formação Básica para Engenheiros. Petrobras. Abeda, Rio de Janeiro, RJ. 2008.

DECEA. Departamento de Controle do Espaço Aéreo. Anuário estatístico de tráfego aéreo. Rio de Janeiro, RJ. 2015.

DECEA. Departamento de Controle do Espaço Aéreo. Anuário estatístico de tráfego aéreo. Rio de Janeiro, RJ. 2017.

DNER. Departamento Nacional de Estradas de Rodagem. ES 386/99 Pavimentação - pré-misturado a quente com asfalto polímero - camada porosa de atrito. Rio de Janeiro, RJ. 1999.

Lugão, W. G., Análise da aderência entre pneu e pavimento com Camada Porosa de Atrito no Aeroporto Internacional Tancredo Neves – MG. Tese de Doutorado. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG. 2008.

McDaniel, R. S., Kowalski, K. J., Shah, A., Olek, J. e Bernhard, R. J. Long-term performance of a Porous Friction Course. Publication No FHWA/IN/JTRP-2009/22, SPR-2939. Indiana, EUA. 2010.

Oliveira, F. H. L., Almeida, L. C., Ramos, S. P., Aguiar, M. F. P. "A evolução da sustentabilidade na prática da remoção de borracha acumulada em pistas de pouso e decolagem". Congresso Técnico Científico da Engenharia e da Agronomia. Fortaleza, Ceará. 2015.

Oliveira, F. H. L. Desenvolvimento de um modelo de gerenciamento de pavimentos aeroportuários como apoio à tomada de decisão sobre estratégias de manutenção e reabilitação.

Tese de Doutorado. Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Transportes, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, CE. 2016.
Rodrigues Filho, O. S. Características de Aderência de Revestimentos Asfálticos Aeroportuários – Estudo de caso do Aeroporto Internacional de São Paulo/Congonhas. Dissertação de Mestrado. Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. São Paulo, SP. 2006.
Santos, E. L., Análise Histórica de Medição de Atrito das Pistas do Aeroporto Santos Dumont – RJ. Trabalho de Graduação. Centro Técnico Aeroespacial. Instituto Tecnológico de Aeronáutica. São José dos Campos, SP. 2004.