ANÁLISE DE IRREGULARIDADE

DE

PAVIMENTOS AEROPORTUÁRIOS

OSVALDO ALBUQUERQUE FONSECA

TESE SUBMETIDA AO CORPO DOCENTE DA COORDENAÇÃO DOS PROGRAMAS DE PÓS - GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DA UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO DE JANEIRO COMO PARTE DOS REQUISITOS NECESSÁRIOS PARA A OBTENÇÃO DO GRAU DE MESTRE EM CIÊNCIAS (M.Sc.) EM ENGENHARIA CIVIL.

Aprovada por:

Prof. JACQUES DE MEDINA
Presidente

Prof. FERNANDO MARTINS FRANCO

Prof. ERNESTO SIMÕES PREUSSLER

RIO DE JANEIRO, RJ - BRASIL
Dezembro de 1 986

FONSECA, OSVALDO ALBUQUERQUE

Análise de Irregularidade de Pavimentos Aeroportuários [Rio de Janeiro] 1 986.

X, 148 p. 29,7 cm (COPPE / UFRJ, M.Sc., Engenharia Civil, 1 986).

Tese - Universidade Federal do Rio de Janeiro, COPPE.

1. Irregularidade de Pavimentos Aeroportuários I. COPPE / UFRJ II. Título (série).

A meus pais,
NELSON e IVANETTE,
como reconhecimento e em gratidão à formação moral e aos exemplos de amor e trabalho com que me educaram.

À minha esposa,
TERESA CRISTINA,
cujo amor, carinho e compreensão constituíram fatores essenciais à produção desta Tese.

À DIRETORIA DE ENGENHARIA DA AERONÁUTICA,
que, na busca constante do desenvolvimento tecnológico, patrocinou esta pesquisa.

"A batalha deve ser constante
para que a vitória seja infinita."

A G R A D E C I M E N T O S

Ao Professor CESAR AUGUSTO VIEIRA DE QUEIROZ,

cujas aulas semearam a idéia inicial d e s t a Tese, pela dedicação e interesse com que orientou a realização deste trabalho, sustentados por sua larga experiência, sempre posta à disposição do desenvolvimento científico e tecnológico.

Ao Exmo. Sr. Brigadeiro Engenheiro HUGO NICODEMO GUIDA,

Subdiretor de Estudos e Projetos da Diretoria de Engenharia da Aeronáutica, que, com renovadas manifestações de confiança e estímulo, e com sua admirável sensibilidade, apontou-me o estudo que valia a pena ser desenvolvido.

Ao Professor ERNESTO SIMÕES PREUSSLER,

idealizador das atividades que permitiram esta pesquisa, pelo muito que aprendi, no campo, a respeito do comportamento dos pavimentos.

Ao Professor JACQUES DE MEDINA,

pelo direcionamento sereno e preciso prestado durante meu Curso na COPPE / UFRJ, e pelo constante incentivo à pesquisa.

Ao Professor FERNANDO MARTINS FRANCO,

por ter acedido a participar da Banca Examinadora.

Aos Professores da COPPE, por tudo que me ensinaram.

Ao Engenheiro PAULO S. MACHADO COELHO,

pela atenção com que me distinguiu e pelo inestimável auxílio prestado na obtenção de equações de regressão.

Aos colegas Engenheiros, civis e militares, da Divisão de Infra-estrutura da Subdiretoria de Estudos e Projetos da Diretoria de Engenharia da Aeronáutica, pela compreensão e apoio dispensados durante o desenvolvimento deste trabalho.

Aos Funcionários civis e militares do Laboratório Central de Infra-estrutura da Diretoria de Engenharia da Aeronáutica, e, em especial, às Equipes de PAVIMENTAÇÃO e TOPOGRAFIA, pelo empenho e abnegação com que trabalharam durante os levantamentos de campo para esta pesquisa.

Ao Sargento PONTES,

pela boa vontade e presteza com que se encarregou dos desenhos e figuras.

À YARA RAMOS RIBEIRO,

pelo carinho e dedicação com que organizou e montou este trabalho, e pelas palavras de ânimo e vibração com que também sempre me estimulou.

E a todos, enfim, que invountariamente omiti, mas que, de uma ou de outra forma, comigo colaboraram.

* * *

ANÁLISE DE IRREGULARIDADE DE PAVIMENTOS AEROPORTUÁRIOS

OSVALDO ALBUQUERQUE FONSECA

Dezembro de 1 986

Orientador: Prof. CESAR AUGUSTO VIEIRA DE QUEIROZ
Programa : Engenharia Civil

S I N O P S E

A irregularidade de pavimentos aeroportuários é analisada em comparação com a opinião de pilotos a respeito da condição de conforto e suavidade ao rolamento que as pistas de pouso e decolagem proporcionam às operações aéreas.

A título de revisão, é feito um breve comentário sobre a teoria das vibrações e da interação aeronave - pavimento, realçando - se os principais aspectos a serem observados quanto à irregularidade de uma pista de pouso.

O estágio atual de desenvolvimento de métodos e equipamentos para medição de irregularidade e avaliação de qualidade de rolamento dos pavimentos serviu de base para os trabalhos desta pesquisa.

Descrevem-se com detalhes, tanto o aparelho selecionado para as medições de irregularidade, o INTEGRADOR IPR / USP, quanto o método de calibrá-lo.

Apresenta-se uma metodologia de medição objetiva de irregularidade de pavimentos, apropriada às pistas de pouso e decolagem.

Os resultados das avaliações objetivas e subjetivas são analisados, distinta e comparativamente, tendo sido obtidas equações de regressão que as correlacionam. Estas equações possibilitaram o estabelecimento de padrões de irregularidade para superfícies de pavimentos aeroportuários, em termos de quociente de irregularidade (QI), que permitem o julgamento expedito do nível de conforto e suavidade ao rolamento.

Com a finalidade de fornecer subsídios para atividades de gerência de pavimentos, a nível de rede, foram estudados modelos de previsão de irregularidade em superfícies de pistas de aeroportos.

* * *

ANALYSIS OF AIRPORT PAVEMENTS ROUGHNESS

OSVALDO ALBUQUERQUE FONSECA
December, 1986.

Chairman : Prof. CESAR AUGUSTO VIEIRA DE QUEIROZ
Department: Civil Engineering

A B S T R A C T

Airport pavement uneveness is analysed in comparison with pilots'opinion concerning rolling smoothness and comfort conditions offered by runways to aerial operations.

As a revision, a short comment about the vibratory theory and the aircraft-pavement interaction is done, emphasizing the main aspects to be observed regarding the runway uneveness.

The present stage of development, in methods and equipments to measure the roughness and to evaluate the ride quality of pavements, also supported the toils of this research.

Both, the selected device for roughness measurement - the IPR/USP INTEGRATOR - and its calibration method are described in details.

A methodology of objective measurement of pavement roughness, suitable to runways, is suggested.

Regression equations correlating the results of the objective and subjective evaluations, distinct and comparatively analysed, were obtained. These equations made it possible to establish patterns of uneveness for airport pavement surfaces, in terms of irregularity quotient (QI), which allow a immediate judgement about the rolling smoothness and comfort conditions .

In order to contribute to airport pavements management activities, at net level, roughness prediction models were studied.

* * *

ÍNDICE

Pág.

Capítulo I - INTRODUÇÃO

I.1 - GENERALIDADES ---------- 1

I.2 - IRREGULARIDADE DA SUPERFÍCIE DOS PAVIMENTOS — CAUSAS E CONSEQÜÊNCIAS ---------- 2

I.3 - DESENVOLVIMENTO DOS TRABALHOS ---- 3

Capítulo II - EFEITOS DA IRREGULARIDADE SOBRE AS OPERAÇÕES DE POUSO E DECOLAGEM

II.1 - A INTERAÇÃO AERONAVE - PAVIMENTO

II.1.1 - Aspectos Teóricos ------ 5

II.1.2 - A Questão da Ressonância 9

II.1.3 - Transferência de Energia 10

II.2 - NÍVEIS DE INTERAÇÃO ---------- 12

II.3 - ASPECTOS ESPECIAIS A SEREM OBSERVADOS QUANTO Ã IRREGULARIDADE DE UMA PISTA DE POUSO ---------- 13

Capítulo III - O ESTADO DA ARTE

III.1 - MÉTODOS E EQUIPAMENTOS PARA A MEDIÇÃO DE IRREGULARIDADE DE PAVIMENTOS ---------- 15

III.1.1 - Perfilômetros -------- 15

III.1.2 - Equipamentos Tipo-Resposta ---------- 17

III.2 - MÉTODOS DE AVALIAÇÃO SUBJETIVA DA QUALIDADE DE ROLAMENTO ------ 18

III.3 - MÉTODOS DE AVALIAÇÃO DA IRREGULARIDADE DE PAVIMENTOS AEROPORTUÁRIOS ---------- 19

III.3.1 - Técnicas de Densidade Espectral a partir de dados obtidos com Nivelamento Topográfico 19

III.3.2 - Análise Direta dos Perfis obtidos com Nivelamento Topográfico 20

Pág.

Capítulo III - O ESTADO DA ARTE (Cont.)

III.3.3 - Avaliação da Irregularidade através da Análise Direta dos dados obtidos no Nivelamento 20

III.4 - PADRÕES DE IRREGULARIDADE DE PAVIMENTOS ---------- 21

III.5 - MEDIÇÕES DE IRREGULARIDADE EM AERÓDROMOS DO BRASIL ---------- 22

Capítulo IV - MEDIÇÃO DE IRREGULARIDADE EM PISTAS DE POUSO E DECOLAGEM DE AEROPORTOS NO BRASIL

IV.1 - O EQUIPAMENTO SELECIONADO ------- 24

IV.2 - CALIBRAÇÃO DO APARELHO ---------- 29

IV.2.1 - Nivelamento Topográfico de Trechos de Calibração ---------- 29

IV.2.2 - Escala adotada --------- 30

IV.2.3 - Correlação entre as Leituras do Integrador IPR/USP (LI) e os Quocientes de Irregularidade (QI) dos Trechos de Calibração ---------- 32

IV.3 - METODOLOGIA ADOTADA NAS MEDIÇÕES 37

IV.4 - RESULTADOS OBTIDOS ---------- 38

Capítulo V - AVALIAÇÃO SUBJETIVA DAS PISTAS ESTUDADAS ---------- 40

Capítulo VI - ANÁLISE DOS RESULTADOS OBTIDOS

VI.1 - ANÁLISE DAS MEDIÇÕES OBJETIVAS -- 41

VI.2 - ANÁLISE DAS AVALIAÇÕES SUBJETIVAS 45

VI.3 - ANÁLISE COMPARATIVA ENTRE AS AVALIAÇÕES OBJETIVA E SUBJETIVA ---- 47

VI.3.1 - O Desvio-padrão das Leituras ---------- 47

VI.3.2 - Correlações Obtidas ---- 49

Pág.

Capítulo VI - ANÁLISE DOS RESULTADOS OBTIDOS (Cont.)

VI.3.3 - Padrões de Irregularidade para Superfícies de Pavimentos Aeroportuários ---------- 53

Capítulo VII - MODELOS DE PREVISÃO DE IRREGULARIDADE EM PAVIMENTOS AEROPORTUÁRIOS 58

Capítulo VIII - CONCLUSÕES, LIMITAÇÕES E SUGESTÕES

VIII.1 - QUANTO À METODOLOGIA DE MEDIÇÃO 70

VIII.2 - QUANTO À ANÁLISE DAS AVALIAÇÕES OBJETIVA E SUBJETIVA ---------- 71

VIII.3 - QUANTO AOS NÍVEIS DE IRREGULARIDADE EM PAVIMENTOS AEROPORTUÁRIOS ---------- 72

VIII.4 - QUANTO AOS MODELOS DE PREVISÃO DE IRREGULARIDADE ---------- 73

CAPÍTULO I

I N T R O D U Ç Ã O

I.1 GENERALIDADES

As pistas dos aeroportos e aeródromos constituem o elemento estrutural de ligação entre o meio em que o transporte aéreo se processa e os terminais terrestres das comunidades por ele beneficiadas, social e economicamente. Assim, quanto maior a qualidade da superfície das pistas, maiores serão a segurança e o conforto ao rolamento das aeronaves nas operações de pouso e decolagem.

Portanto, autoridades, engenheiros e técnicos de infra-estrutura aeroportuária vêm-se esforçando no sentido de que sejam desenvolvidos procedimentos simples que permitam planejar, manter e oferecer, economicamente, a tripulantes e passageiros, pistas com as melhores condições possíveis de qualidade de superfície. O assunto também interessa à indústria aeronáutica e às companhias aéreas em geral, uma vez que tem profunda relação com custos operacionais, e aos projetistas de aeronaves em particular, já que envolve vibrações induzidas pela interação AERONAVE - PAVIMENTO. Essas vibrações podem conduzir peças estruturais à fadiga, e produzir danos a instrumentos elétricos e eletrônicos sensíveis, existentes no compartimento dos pilotos.

Do ponto de vista funcional, a qualidade da pista de um aeroporto ou aeródromo depende, principalmente, das suas características de atrito - que se relacionam com a segurança à aquaplanagem - e de irregularidade da superfície de seu pavimento - que afetam, além da segurança, a economia, o conforto e a suavidade ao rolamento das aeronaves.

A questão do atrito em pistas de aeroportos já foi amplamente tratada no Brasil por GUIDA (1), MARTINS (2), FERRARI (3), BRACCHARK(4) e MESQUITA(5) e, sem dúvida alguma, novos conhecimentos a respeito do assunto surgirão.

Entretanto, a irregularidade da superfície das pistas de aeroportos carecia de maiores estudos. Há referência

de apenas dois trabalhos de medição de irregularidade, cada um com finalidades distintas, realizados em pistas de aeródromos brasileiros: o primeiro, efetuado por QUEIROZ(6), na pista do Aeroporto Internacional de Brasília; o outro, executado por CARDOSO(7), nas pistas das Bases Aéreas de Santa Cruz (RJ) e Canoas (RS).

Como medir esta irregularidade, como tratá-la, analisar seus efeitos, prever seu desenvolvimento no transcurso do tempo, bem como estabelecer níveis admissíveis de irregularidade, para pistas de aeroportos, transformou-se, então, no objetivo desta Tese de Mestrado.

I.2 IRREGULARIDADE DA SUPERFÍCIE DOS PAVIMENTOS - CAUSAS E CONSEQÜÊNCIAS

No caso de pistas de aeroportos, a irregularidade pode ser definida, conforme QUEIROZ(8), como o desvio da superfície do pavimento, em relação a um plano de referência, que afeta a dinâmica das aeronaves, a qualidade de rolamento e as cargas dinâmicas aplicadas sobre o pavimento.

Várias podem ser as causas de valores relativamente elevados da irregularidade dos pavimentos, tais como:

a) a escolha de um sítio com solo de fundação de má qualidade e, em especial, compressível. Aliado às condições microclimáticas, esse solo constitui um grande potencial para um mau funcionamento estrutural do pavimento e, em conseqüência, para a maior irregularidade da superfície;
b) os métodos construtivos (como cita QUEIROZ(6));
c) grandes cargas transportadas pelas aeronaves, normalmente na região das asas, como motores e mísseis, sugere HOUBOLT(9), e
d) aumento das cargas transportadas e da velocidade de rolagem, além do uso de altas pressões de pneus, relativamente às cargas, velocidades e pressões usuais à época de projeto e construção das pistas, aponta ainda HOUBOLT(9).

Quanto às conseqüências, vale dizer que a irregularidade produz sobre as aeronaves vibrações e acelerações ver-

ticais indesejáveis. Além disso, a irregularidade tende a evoluir, expondo o pavimento a solicitações de tensão inadequadas à sua estrutura.

Portanto, o estudo da irregularidade em pistas de aeroportos deve ser relacionado às aeronaves, aos passageiros e à tripulação. A opinião subjetiva, principalmente dos pilotos, precisa ser levada em conta, pois são eles que sentem, de forma mais acentuada, os efeitos da irregularidade da superfície das pistas.

I.3 DESENVOLVIMENTO DOS TRABALHOS

Com a finalidade de obter subsídios para o planejamento, a longo prazo, dos gastos necessários à manutenção em funcionamento, a custos reduzidos e com bom nível de conforto e segurança operacionais, da rede de aeroportos do Brasil, a DIRENG (Diretoria de Engenharia da Aeronáutica) deu início, em 1985, à implantação de um Sistema de Gerência de Pavimentos aeroportuários, que envolve diversas atividades, quais sejam:

a) levantamento da condição da superfície dos pavimentos (trincas, buracos, desgaste, deformações permanentes, etc);
b) avaliação da capacidade estrutural, através de medições de deflexão com viga Benkelman e do perfil estrutural do pavimento;
c) avaliação de segurança à aquaplanagem, através de nivelamentos topográficos e de medição de textura superficial e do coeficiente de atrito com o aparelho Mu-meter;
d) avaliação subjetiva de pilotos e medição objetiva de irregularidade, utilizando o integrador IPR / USP;
e) informações a respeito do peso e do volume do tráfego aeroportuário, e
f) informações a respeito das últimas obras (restauração, reforço, ampliação, etc) realizadas no aeroporto.

As atividades, a princípio, foram executadas em 15 (quinze) aeroportos da rede da INFRAERO (Empresa Brasileira de Infra-estrutura Aeroportuária), a seguir mencionados:

1) Aeroporto Salgado Filho, Porto Alegre (RS)
2) Aeroporto Hercílio Luz, Florianópolis (SC)
3) Aeroporto Afonso Pena, Curitiba (PR)
4) Aeroporto de Confins, Belo Horizonte (MG)
5) Aeroporto das Goiabeiras, Vitória (ES)
6) Aeroporto Dois de Julho, Salvador (BA)
7) Aeroporto Santa Maria, Aracaju (SE)
8) Aeroporto Campo dos Palmares, Maceió (AL)
9) Aeroporto Internacional dos Guararapes, Recife (PE)
10) Aeroporto Presidente Castro Pinto, João Pessoa (PB)
11) Aeroporto Augusto Severo, Natal (RN)
12) Aeroporto Pinto Martins, Fortaleza (CE)
13) Aeroporto de Teresina, Teresina (PI)
14) Aeroporto de Tirirical, São Luis (MA)
15) Aeroporto Val de Cães, Belém (PA)

Dentro deste quadro de atividades é que foram inseridos os trabalhos desta Pesquisa. Eles se relacionam, especificamente, com as atividades citadas na alínea **d** deste item: IRREGULARIDADE EM SUPERFÍCIES DE PISTAS DE AEROPORTOS.

* * *

CAPÍTULO II

EFEITO DA IRREGULARIDADE EM PISTAS DE AEROPORTOS SOBRE AS OPERAÇÕES DE POUSO E DECOLAGEM

II.1 A INTERAÇÃO AERONAVE - PAVIMENTO

II.1.1 ASPECTOS TEÓRICOS

Uma vez que a irregularidade da superfície de uma pista de pouso interfere no procedimento de rolamento das aeronaves, cabe aqui uma descrição sumária da teoria das vibrações e do movimento oscilatório.

Existem duas classes de vibrações: as vibrações livres e as vibrações forçadas. A vibração forçada ocorre sob a excitação de forças externas. Sendo a excitação oscilatória, o sistema é obrigado a vibrar na freqüência de excitação. Se a freqüência da excitação coincide com uma das freqüências naturais do sistema, resulta um estado de ressonância, que pode evoluir para oscilações perigosas.

A FIGURA II.1.1.1 ilustra os quatro tipos de movimentos unidimensionais de corpos rígidos.

O movimento harmônico é a forma mais simples de movimento periódico.

Num movimento periódico, representando a posição (x) como função do tempo (t), deve-se ter sempre satisfeita a relação:

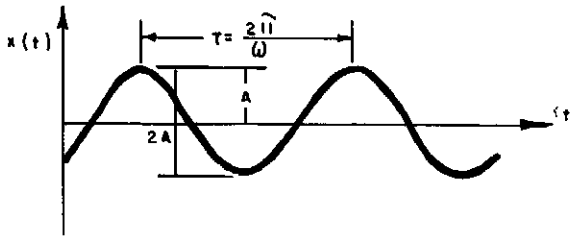
$$x(t) = x(t + T)$$

No movimento harmônico, a forma mais simples de movimento periódico, é válida a expressão:

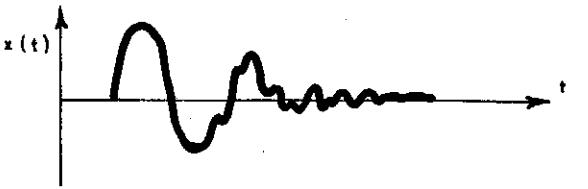
$$x = A \operatorname{sen} \omega t$$

Por outro lado, é impossível prever a posição, a um determinado tempo, num movimento ao acaso (randômico).

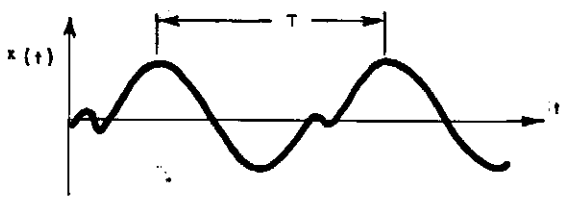
a) Movimento harmônico simples



b) Movimento transiente



c) Movimento periódico complexo



d) Movimento ao acaso

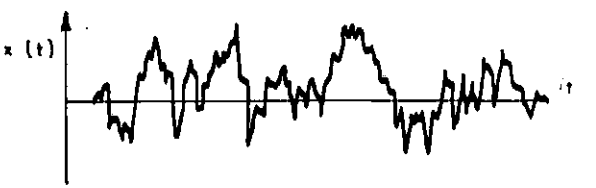


FIGURA II.1.1.1

Movimentos Unidimensionais de Corpos Rígidos.
(apud S.H. CARDOSO(7))

As propriedades mais simples do movimento oscilatório são o valor pico e o valor médio. O valor pico indica o esforço máximo a que está submetida a parte vibrante, e o valor médio indica um valor estável que pode ser determinado pela integração:

$$\bar{x} = \lim_{T \to \infty} \frac{1}{T} \int_0^T x(t)\,dt$$

onde $\bar{x}$ é o valor médio.

Para uma vibração aleatória (ao acaso), pode-se determinar um valor quadrático médio $\bar{x}^2$, de uma função $x(t)$, pela média dos valores quadráticos, integrados nos limites de um intervalo T:

$$\bar{x}^2 = \lim_{T \to \infty} \frac{1}{T} \int_0^T x^2(t)\,dt$$

Por analogia com o movimento harmônico, tem-se que a força harmônica (F) pode ser representada pela expressão:

$$F = F_o \text{ sen } (\omega t)$$

em que F_o é o valor inicial da amplitude da força harmônica. E o seu valor quadrático médio será:

$$\bar{F}^2 = \frac{1}{T} \int_0^T F_o^2 \text{ sen}^2(\omega t)$$

Segundo YANG(10), as irregularidades do pavimento constituem um tipo de vibração de múltipla freqüência, com comprimentos de onda e amplitudes irregulares.

A FIGURA II.1.1.2 mostra a representação estatística de uma função de múltipla freqüência em que $\phi(\omega)$ é a densidade de potência espectral, definida como o limite do valor do quadrado médio para um intervalo de freqüência tendendo a zero:

$$\phi(\omega) = \lim_{\Delta\omega \to o} \frac{\Delta\, \bar{x}^2}{\Delta\, \omega}$$

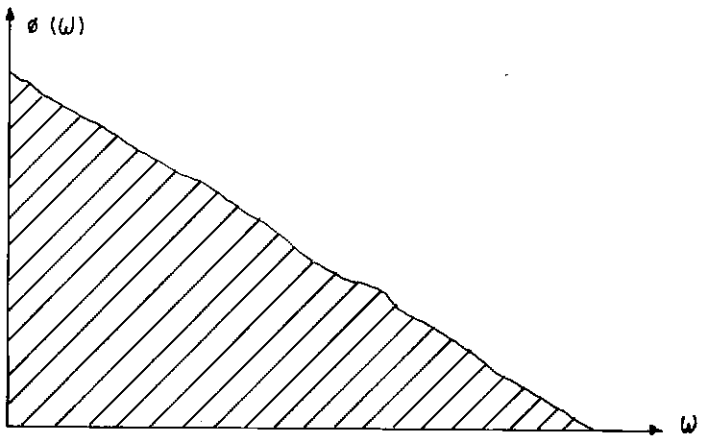


FIGURA II.1.1.2

Caracterização de vibrações randômicas
(forças harmônicas de múltiplia freqüência)

Para a função contínua, representada na FIGURA II.1.1.3, tem-se:

$$\overline{F}^2 = \int_0^\infty \Phi(\omega)\, d\omega$$

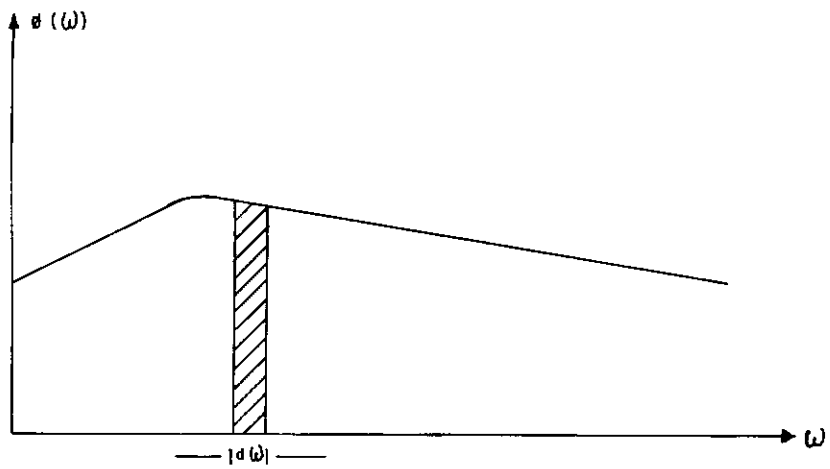


FIGURA II.1.1.3

Representação de uma função contínua de múltipla freqüência.

Para uma função de múltipla freqüência, o quadrado médio da força é o somatório do quadrado médio das amplitudes das forças, em todas as freqüências, dividido por 2:

$$\overline{F^2} = \sum_{i-1}^{n} \frac{F^2_i}{2}$$

II.1.2 A QUESTÃO DA RESSONÂNCIA

Pode-se comparar a vibração da aeronave a um movimento harmônico simples de um sistema de molas, para o qual é válida a expressão:

$$F = k\,x$$

onde **F** é a força necessária para produzir o deslocamento **x**, e **k** é um fator de proporcionalidade, dito constante de mola do sistema.

A equação

$$f = \frac{1}{2\Pi}\sqrt{\frac{k}{m}} \qquad \text{(Eq.II.1.2.1)}$$

permite calcular a freqüência de vibração de um corpo com determinada massa (m), oscilando sob a influência de uma força elástica restauradora.

Introduzindo no sistema um elemento amortecedor, a equação diferencial de equilíbrio passa a ser

$$F(x) = m\,\ddot{x} + c\,\dot{x} + k\,x$$

em que $\dot{x}$ e $\ddot{x}$ são derivadas, em relação ao tempo, da função posição x(t), respectivamente, velocidade e aceleração; **c** é o coeficiente de amortecimento; e **F(x)** é a função força, variável com o tempo.

MORRIS(11,12) mostra que as freqüências predominantes de resposta calculadas pela equação (II.1.2.1) foram:

- para aeronave de treinamento T-33..... 2 a 3 cps
- para aeronave convencional de transporte ..... 1 a 1,5 cps
- para aeronave turbo-jato de transporte ..... 0,75 cps

Segundo YANG(10), para o ESTADO CONSTANTE DE VIBRAÇÃO, as características do sistema de resposta têm estreito relacionamento com a freqüência fundamental **f** (que inclui a constante da mola e a massa do sistema) e com as características de amortecimento **c**.

Por outro lado, se as freqüências relativas à função força e à função resposta estão muito próximas, tais funções assumem as características mostradas nas FIGURAS ((II.1.2.1 a) e (II.1.2.1 b) . E, como interação desses dois sistemas, tem-se a função representada na FIGURA (II.1.2.1 c) .

Num intervalo de freqüência definido, surgirá um valor de pico aumentado por um fator de ampliação (H) da vibração forçada.

A este fenômeno denomina-se RESSONÂNCIA.

II.1.3 TRANSFERÊNCIA DE ENERGIA

LEE & SCHEFFEL(13) reconhecem a transferência de energia ao pavimento sob a forma cinética. Parte dessa energia seria transformada em deformações não elásticas, calor, ruído e recuperação elástica (*rebound*). Como a infra - estrutura não é perfeitamente elástica, depois de algumas repetições, é certo haver recalques.

Segundo HOUBOLT(9), HOUBOLT *et al*(14), MORRIS(12) e YANG(10), a função transferência, em termos de amplitude ao quadrado é representada por:

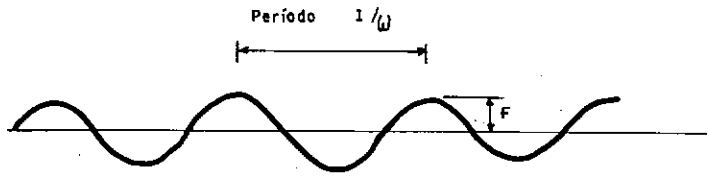
$$A^2(\omega) = \frac{\phi_o(\omega)}{\phi_h(\omega)}$$

em que:

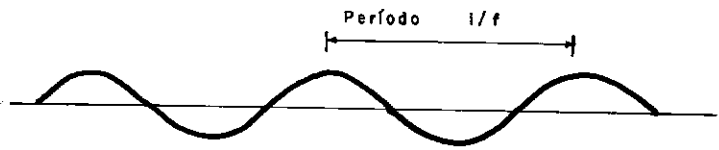
$A^2(\omega)$ = função transferência em termos de amplitude ao quadrado

$\phi_o(\omega)$ = espectro de saída (aceleração vertical da aeronave, função resposta)

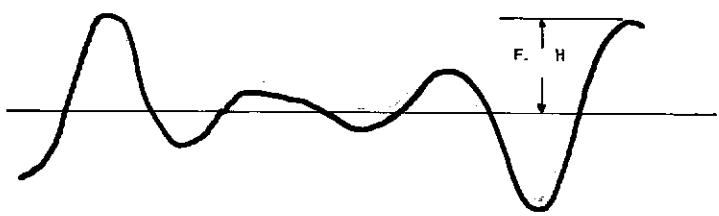
$\phi_h(\omega)$ = espectro de entrada (função força, representada pela irregularidade da superfície do pavimento)



a) Características de funções força.



b) Características de funções resposta



c) Resposta dinâmica da vibração forçada

FIGURA II.1.2.1

Estado constante de vibração forçada.

II.2 NÍVEIS DE INTERAÇÃO

A FIGURA (II.2.1) esquematiza, simplificadamente, o sistema mecânico que se estabelece quando uma aeronave se desloca sobre uma superfície.

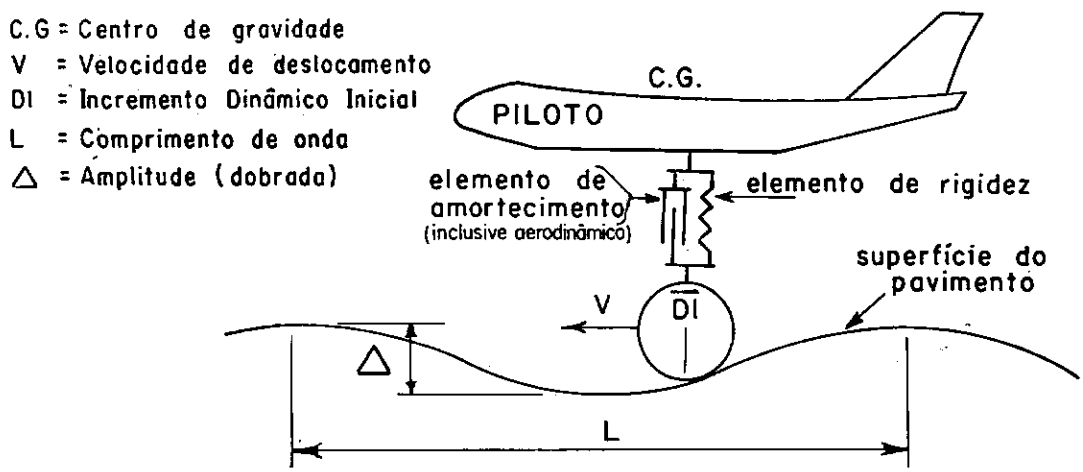


FIGURA II.2.1
Interação aeronave-pavimento.
(apud N.S.YANG (15))

YANG(15) descreve três níveis de interação aeronave — pavimento, que ocorrem simultaneamente:

a) 1 - a aeronave é função força
   2 - o pavimento responde

Numa vibração transiente, a função força é a carga que se move e não há vibração nem amortecimento inicial.

Num estado permanente de vibração, a função força é uma função estacionária $\mathbf{F \operatorname{sen} 2 \Pi \omega t}$ e a vibração inicial não é significativa.

b) vibração randômica de aeronave sobre superfície irregular:
   1 - a superfície irregular é função força
   2 - a aeronave que se move responde

A resposta média quadrática da vibração da aeronave é igual à função de potência espectral $\phi(\omega)$ da superfície do

pavimento vezes uma determinada função de transferência da aeronave.

c) 1 - a aeronave é função força novamente
   2 - existe um incremento dinâmico (DI) inicial, devido ao rolamento sobre superfície irregular
   3 - o pavimento é função resposta e recebe a carga dinâmica da aeronave como impacto

Admite-se que não há vibração inicial do pavimento no começo da interação. Em geral, a carga dinâmica sobre o pavimento é cerca de 3 a 5% maior que a resposta dinâmica de uma aeronave em rolamento.

II.3 ASPECTOS ESPECIAIS A SEREM OBSERVADOS QUANTO À IRREGULARIDADE DE UMA PISTA DE POUSO

É fato notório que a freqüência fundamental da aeronave, sua velocidade e o comprimento de onda da superfície do pavimento são os elementos essenciais da interação aeronave — pavimento. Conforme estes três elementos se combinem, as acelerações verticais das aeronaves podem se acentuar, sendo muito maior no compartimento do piloto que no centro de gravidade da aeronave, e tornando possível o fenômeno da ressonância.

Dados obtidos pela NASA mostram que os aumentos dos pesos das aeronaves e das velocidades de decolagem têm aumentado os comprimentos da onda de interesse.

MORRIS & HALL(16) observam que os problemas devidos à irregularidade ocorrem mais na região de alta velocidade de decolagem e, ocasionalmente, durante a fase inicial do pouso. Numa pista com irregularidade excessiva, surgem também inclinações pronunciadas que dificultam a leitura de instrumentos, podendo levar os pilotos a perderem o controle das aeronaves nos momentos mais críticos da decolagem ou do pouso.

MORRIS & STICKLE(17) chamam a atenção para o fato de que as operações de aeronaves sobre pistas e taxis com excesso de irregularidade têm resultado em danos estruturais, ruptura

por fadiga e reclamações de pilotos e passageiros. Foi observado que as pistas de taxi, nas quais se gasta o maior tempo numa operação de pouso ou decolagem, são muito mais irregulares. Segundo HOUBOLT(12), este fato contribui em muito para o problema de fadiga, o qual interfere nos custos de operação da aeronave.

Quanto às medições físicas, o número de linhas e posicionamento das mesmas, no sentido longitudinal da pista, tem variado de uma ou duas no eixo e próximo deste, desde poucos centímetros até 2,75 m. HOSANG(18) verificou que 75% das operações aéreas se verificam na faixa central de 8 m de pista.

Todos estes aspectos devem ser considerados num trabalho de medição, quer seja objetiva, quanto subjetiva. Quais e quantas linhas longitudinais interessam; que trechos os pilotos podem distinguir ao darem opiniões; medir as pistas de taxi também, ou somente as de pouso e decolagem, são questões que precisam ser definidas e que dependem de recursos técnicos, humanos e financeiros.

* * *

CAPÍTULO III

O ESTADO DA ARTE

III.1 MÉTODOS E EQUIPAMENTOS PARA A MEDIÇÃO DE IRREGULARIDADE DE PAVIMENTOS

A irregularidade de qualquer pista, isto é, o seu perfil real, é medida através de, basicamente, duas vias: a direta e a indireta.

Assim, o perfil real de um pavimento pode ser obtido diretamente, com nível e mira, ou com instrumentos mecânicos, com o mesmo princípio de funcionamento. E também pode ser obtido indiretamente, com auxílio de perfilômetros.

Por outro lado, a resposta dinâmica à irregularidade pode ser obtida através de sistemas do tipo - resposta, que utilizam aparelhos adaptados à suspensão dos veículos.

A medida do perfil real de um pavimento pelo método do nivelamento topográfico apresenta-se como inadequada à prática corrente, em face do excesso de tempo demandado para a execução dos serviços, especialmente se o pavimento é o de uma pista de pouso e decolagem, onde as operações aéreas ocorrem normalmente, sem interrupção.

A seguir, são expostos os principais equipamentos utilizados para medir os perfis das pistas e as respostas dinâmicas à irregularidade da superfície dos pavimentos, conforme descreve JANEFF(19).

III.1.1 PERFILÔMETROS

Os perfilômetros são equipamentos projetados para reproduzir, com precisão e em escala, o perfil longitudinal de um pavimento ao longo de uma linha reta.

A principal vantagem de um perfilômetro é a de prover informação completa a respeito do perfil do pavimento, que pode ser avaliada de acordo com necessidades específicas. Entretanto, o custo inicial ou a operação deste equipamento, ou

ambos, são caros, exigindo ainda extensivos serviços de processamento de dados.

O perfilômetro mais simples tem extremidade reta e pode ser operado tanto estaticamente, quanto a baixas velocidades. WAMBOLD(20) cita que alguns perfilômetros modernos exigem técnicos altamento treinados e têm que ser usados a velocidades de cerca de 5 km/h.

Os laboratórios de pesquisa da General Motors (GMR) desenvolveram, na década de 60, o primeiro PERFILÔMETRO GMR. Ele usa duas rodas carregadas através de molas, uma seguida da outra, instrumentadas com um potenciômetro linear para medir os deslocamentos relativos entre a estrutura do veículo e a superfície do pavimento. Acelerômetros montados na estrutura sobre cada uma das rodas medem o movimento da estrutura do veículo, por dupla integração do sinal. O movimento da estrutura é então adicionado ao movimento de deslocamento relativo para produzir dois sinais de voltagem que, em teoria, são o perfil do pavimento e o caminho da roda. Este método produz medidas mais precisas de comprimentos de onda longos, e separa dados de freqüência maior (comprimentos de onda curtos) de dados de freqüência menor (comprimentos de onda longos) pelo uso da suspensão do veículo como um filtro (com uma freqüência natural em torno de 1,5 a 1,8 Hz). Portanto, freqüências inferiores a 1 Hz são medidas primeiramente pelos acelerômetros; freqüências acima de 2 Hz são medidas primeiramente pelo potenciômetro linear; e freqüências entre 1 e 2 Hz são medidas por uma combinação dos dois sinais. Este método é de boa resolução, tanto para comprimentos de onda curtos com baixas amplitudes, como para comprimentos de onda longos com muito maiores amplitudes.

O PERFILÔMETRO GMR foi originalmente fabricado com equipamento de processamento analógico. Entretanto, o mais recente perfilômetro foi fabricado com minicomputador digital. O cômputo do perfil é agora realizado dentro de veículo medidor de perfil e os pontos do perfil computados são registrados em fita magnética para posterior processamento. Os sinais de aceleração e de deslocamento são imediatamente convertidos em valores digitais. O perfil é então obtido como uma função da distância, o que o torna independente da velocidade do veículo e mais fácil de interpretar. A flexibilidade de programação

do sistema digital requer menor experiência técnica na operação e manutenção do sistema relativamente à que o sistema analógico requeria.

O PERFILÔMETRO GMR não é largamento utilizado, principalmente,por causa do alto custo de aquisição e do rápido desgaste da roda de contato.

Outros equipamentos para medição de perfis têm sido desenvolvidos pelos franceses e na Universidade Técnica de Berlim, além de aparelhos mais recentes, baseados em provas de reflexão utilizando microondas, raio LASER, raios infravermelhos e sons.

III.1.2 EQUIPAMENTOS TIPO - RESPOSTA

Os equipamentos do tipo - resposta registram a resposta dinâmica de um sistema mecânico se deslocando sobre a superfície de um pavimento a uma velocidade constante. Portanto, as características do sistema mecânico, bem como a velocidade de deslocamento, afetam esta medida.

O primeiro equipamento do tipo - resposta largamente utilizado foi o RUGOSÍMETRO BPR (Bureau of Public Roads), introduzido em 1925. O Rugosímetro é um *trailer* de roda simples que mede os movimentos verticais unidirecionais da roda rígida e amortecida, com respeito à estrutura, por um integrador mecânico. Contadores que registram os resultados produzem uma contagem de irregularidade em polegada por milha. Modificações no RUGOSÍMETRO BPR incluíram um registrador de fita cumulativo, um oscilógrafo e o uso de diversas vigas de ressonância.

A grande desvantagem do Rugosímetro é que as medidas são feitas a baixas velocidades por causa da lenta resposta do contador eletromecânico. WAMBOLD(20) verificou que a substituição por um contador eletrônico não é uma solução satisfatória, pois as características operacionais do Rugosímetro são modificadas pela maior velocidade.

Também do tipo - resposta, o medidor da Portland Cement Association (PCA) e o Mays-Meter medem os movimentos verticais do eixo traseiro de um atuomóvel, relativamente à estrutura do veículo. Com o mesmo princípio de funcionamento,

porém adaptado às condições de rodovias do Brasil, foi desenvolvido, através de Convênio entre o IPR / DNER (Instituto de Pesquisas Rodoviárias do Departamento Nacional de Estradas de Rodagem) e a USP (Universidade de São Paulo), um outro aparelho tipo - resposta, que foi denominado INTEGRADOR IPR / USP.

Os equipamentos tipo - resposta são largamente utilizados pela sua simplicidade, baixo custo e alta velocidade de operação. Entretanto, exigem atenção quanto ao seu estado de calibração.

III.2 MÉTODOS DE AVALIAÇÃO SUBJETIVA DA QUALIDADE DE ROLAMENTO

Basicamente, todos os sistemas de avaliação subjetiva da serventia de um pavimento empregam uma escala de adjetivos para comparação, com códigos de palavras variando de muito ruim a muito boa, por exemplo, a escala original da A S S H T O, à qual se referem YODER & WITCZAK(21).

AVALIAÇÃO SUBJETIVA	CÓDIGO
MUITO BOA	4 - 5
BOA	3 - 4
REGULAR	2 - 3
RUIM	1 - 2
MUITO RUIM	0 - 1

Há, entretanto, diversos fatores que afetam a confiabilidade de uma avaliação subjetiva, entre os quais podem ser citados:

a) a subjetividade da avaliação, sujeita a fenômenos psicofísicos;
b) tipo de veículo utilizado;
c) velocidade adotada na avaliação;
d) maneira de conduzir o veículo;
e) tipos de manobra a que o veículo é submetido, e
f) erros sistemáticos (benevolência, rigor, tendência central, efeito halo).

A influência destes fatores deve, tanto quanto possível, ser minimizada.

III.3 MÉTODOS DE AVALIAÇÃO DE IRREGULARIDADE DE PAVIMENTOS AEROPORTUÁRIOS

A medida do perfil de uma pista é um passo preliminar na avaliação de seu desempenho como superfície de rolamento para veículos e no julgamento da geometria de sua superfície. Recentemente, a tendência no projeto de perfilômetros tem sido no sentido de se desenvolverem instrumentos capazes de serem sensibilizados com precisão por ondulações com comprimento de onda da ordem de 100 m.

O maior problema da utilização dos perfis está na extração de dados úteis. Os métodos selecionados dependem da finalidade para a qual as medições são desejadas e das limitações do equipamento. As análises de irregularidade e de qualidade de rolamento da pista são de três tipos: análise de dados físicos de irregularidade, análise de dados subjetivos da qualidade de rolamento e análise comparativa de dados físicos e subjetivos.

No caso de aeroportos, a irregularidade tem sido analisada por diferentes métodos, dentre os quais citam-se:

III.3.1 TÉCNICAS DE DENSIDADE ESPECTRAL A PARTIR DE DADOS OBTIDOS COM NIVELAMENTO TOPOGRÁFICO

A análise espectral decompõe a irregularidade em diversos comprimentos de onda.

Nesta técnica, adota-se um intervalo de amostragem de cerca de 61 cm e o maior comprimento de onda considerado de interesse tem sido de, aproximadamente, 90 m .

Segundo HOUBOLT *et al* (14), o uso da análise de potência espectral é um método conciso de apresentar as características de irregularidade de uma pista, com vários componentes de freqüência. Para MORRIS & HALL (16), apresenta a desvantagem de não distinguir os efeitos de muitas bacias de pequenas amplitudes e de poucas com grandes amplitudes, não indicando,

também, as zonas de importância ao longo da pista, mas ainda se constituindo num método de apresentar a irregularidade média da pista.

III.3.2 ANÁLISE DIRETA DOS PERFIS OBTIDOS COM NIVELAMENTO TOPOGRÁFICO

Trata-se de analisar diretamente os perfis das pistas, desenhadas a partir de nivelamentos topográficos, para os quais são válidas as mesmas condições de espaçamento do item III.3.1.

A análise deve começar pela inspeção visual das bacias ou áreas irregulares.

CARDOSO(7) elaborou gabarito de 1,20 m por 3 cm para avaliação de irregularidade diretamente sobre os dados do nivelamento. Tal gabarito se aplica às pistas utilizadas por aeronaves de caça brasileiras. Constitui-se num método moroso, mas de resultados práticos bastante eficientes.

III.3.3 AVALIAÇÃO DA IRREGULARIDADE ATRAVÉS DA ANÁLISE DIRETA DOS DADOS OBTIDOS NO NIVELAMENTO

O principal trabalho com esse enfoque foi o de SONNENBURG(22). Ele afirma que os métodos estatísticos têm - se mostrado lógicos e utilizáveis para a quantificação da irregularidade de pistas.

SONNENBURG(22) estudou perfis de 21 pistas e chegou, baseado na distribuição χ^2, aos limites de desvios-padrão constantes do QUADRO (III.3.3.1).

Pista com irregularidade aceitável	$\sigma < 8{,}13$ mm
Pista em faixa de transição	$8{,}13$ mm $< \sigma < 9{,}15$ mm
Pista com irregularidade excessiva	$\sigma > 9{,}15$ mm

QUADRO III.3.3.1

Limites de desvios-padrão de irregularidade, considerando distribuição estatística χ^2, para diferentes condições de pistas, segundo SONNENBURG(22).

III.4 PADRÕES DE IRREGULARIDADE DOS PAVIMENTOS

Com a finalidade de se obter parâmetros de irregularidade que possam servir de subsídios para a gerência e a manutenção de pavimentos sob suas responsabilidades, foram desenvolvidas diversas escalas por diferentes Organizações.

No Brasil — e em vários outros países pelos quais se difundiu — a escala adotada pelo DNER é a do Quociente de Irregularidade - QI. Expresso em unidades de contagens / km, o QI é determinado a partir de medições de campo efetuadas com o aparelho INTEGRADOR IPR / USP, do tipo resposta.

Por esta escala, um valor de QI de 20 contagens / km corresponde a um pavimento com excelente qualidade de rolamento, enquanto que um valor de QI de 60 contagens / km descreve um pavimento em avançado estado de deterioração.

No caso de aeroportos, o Manual de Projeto de Aeródromos da Organização Internacional de Aviação Civil - OACI (23) apresenta uma relação entre o estado da superfície dos pavimentos e o índice de irregularidade em polegadas por milha, obtido com o perfilômetro de rodas múltiplas desenvolvido pelo TRRL da Grã-Bretanha.

Através de correlações entre os valores do perfilômetro de rodas múltiplas e os do rugosímetro BPR, tem-se a classificação da OACI no QUADRO III.4.1:

CONDIÇÕES DE SUPERFÍCIE	ÍNDICE DE IRREGULARIDADE (mm / km)
MUITO BOA	< 1 499
BOA	1 499 a 2 162
REGULAR	2 162 a 2 793
RUIM	2 793 a 3 393
MUITO RUIM	> 3 393

QUADRO III.4.1

Classificação das condições de superfície de aeródromos em função do índice de irregularidade, obtido com o Rugosímetro tipo BPR, segundo a OACI (23).

III.5 MEDIÇÕES DE IRREGULARIDADE EM AERÓDROMOS DO BRASIL

Há apenas dois registros de medição de irregularidade em aeródromos brasileiros.

Em novembro de 1 978, QUEIROZ(6) efetuou medições de irregularidade na pista de pouso e decolagem do Aeroporto Internacional de Brasília, logo após a execução de serviços de recapeamento. Utilizou para tanto um perfilômetro de dinâmica de superfície, o qual, além de fornecer o perfil real da pista, adaptado com um simulador de quarto de carro, dá indicação da sua irregularidade em termos de contagens / km.

Os objetivos das medições eram:

a) avaliar a qualidade de rolamento da pista imediatamente após sua restauração, obtendo-se assim, um importante dado para a determinação futura de seu desempenho;

b) determinar as amplitudes da irregularidade para diversas faixas de comprimento de onda;

c) comparar a qualidade de rolamento da pista de pouso e decolagem com os valores obtidos em pavimentos rodoviários;

d) fornecer aos técnicos dados que pudessem ser correlacionados com o desempenho de aeronaves nas operações de pouso e decolagem, assim como com as opiniões subjetivas dos pilotos, e

e) obter avaliações objetivas da qualidade de rolamento que, eventualmente, pudessem ser utilizadas mais tarde para determinar padrãoes mínimos a serem exigidos em pistas recém construídas ou restauradas.

Foram medidos os 18 metros centrais da pista, divididos em 6 faixas de 3 m cada, metade para cada lado do eixo. A irregularidade média da pista, bastante uniforme, foi de 27 contagens / km. Foram também determinadas, como resultado da análise espectral, as diferentes amplitudes correspondentes a diversos comprimentos de onda de interesse.

Entretanto, ainda não se dispunha de correlações com avaliações subjetivas da qualidade de rolamento que permitissem um melhor juízo do valor 27 contagens / km. E mesmo a questão relativa à amplitude da irregularidade carecia de um estudo mais aprofundado.

Já CARDOSO(7), inicialmente, em suas medições de irregularidade nas pistas das Bases Aéreas de Santa Cruz (RJ) e de Canoas (RS), optou por utilizar o rugosímetro BPR, tendo, a seguir, usado o nivelamento topográfico. Foram escolhidas cinco linhas longitudinais pré-fixadas para a medição: uma no eixo e duas a 8,40 m e 4,20 m de cada lado do eixo de ambas as pistas.

Os resultados dos trabalhos de CARDOSO(7) constam de sua tese de Mestrado na COPPE / UFRJ e, entre as conclusões ligadas à sua pesquisa, registram-se:

a) validez econômica do nivelamento topográfico de metro em metro, desde que o trabalho de campo não interfira com a operação de aeronaves, e

b) suficiência do nivelamento topográfico de apenas uma linha longitudinal na faixa central de 8 m.

* * *

CAPÍTULO IV

MEDIÇÃO DE IRREGULARIDADE EM PISTAS DE POUSO E DECOLAGEM DE AEROPORTOS NO BRASIL

IV.1 O EQUIPAMENTO SELECIONADO

O primeiro passo no sentido de se pesquisar a respeito da irregularidade dos pavimentos aeroportuários foi o da escolha de um equipamento para as medições físicas desta característica dos pavimentos.

Analisando-se a vasta gama de aparelhos disponíveis (ver Capítulo III, Item III.1), e tendo em vista o sucesso obtido pelo DNER com sua utilização, foi selecionado o INTEGRADOR IPR / USP pelas vantagens que apresenta de simplicidade de funcionamento e baixo custo, e por ser um produto de fabricação nacional. Além disso, a alta velocidade de operação admitida pelo aparelho se adapta otimamente à necessidade de rápida entrada e saída das pistas de pouso e decolagem, permitindo praticamente não influir no tráfego aéreo. A atenção quanto ao estado de calibração, exigida por aparelhos do tipo - resposta, não seria uma grande preocupação, uma vez que, sendo o objetivo medir irregularidade de aeródromos, o veículo em que o INTEGRADOR IPR / USP é instalado poderia ser transportado ao invés de se deslocar, afetando ao mínimo a calibração do aparelho.

Neste ponto, cabe uma descrição sucinta do equipamento e de sua utilização, conforme DOMINGUES & QUEIROZ(24).

O INTEGRADOR IPR / USP é composto, essencialmente, de dois conjuntos: o SENSOR DE DESLOCAMENTOS VERTICAIS e o QUANTIFICADOR DE IRREGULARIDADES EM PAVIMENTOS.

O sensor de deslocamentos verticais é formado basicamente por um cursor (contendo máscara ótica), que acompanha os deslocamentos relativos entre os chassis e o diferencial do veículo em que é instalado (ver FIGURAS IV.1.1 e IV.1.3). Os claros da máscara ótica permitem a passagem programada dos feixes de luz, produzidos por 4 LED'S, de um lado da máscara

ótica para outro, onde são recebidos por quatro FOTOTRANSISTORES correspondentes. Esses fototransistores emitem sinais (P_1 a P_4) que são captados e processados pelo TOTALIZADOR do quantificador.

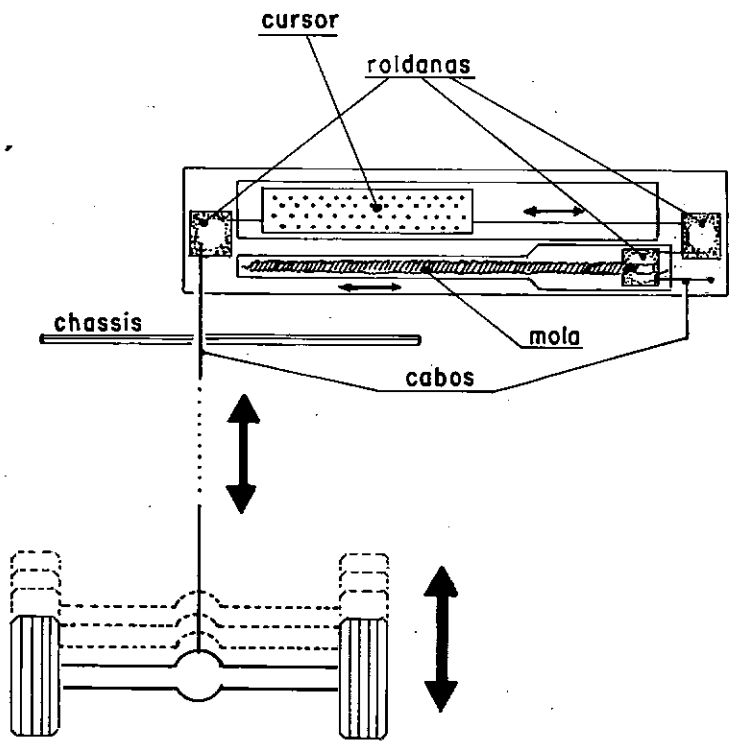


FIGURA IV.1.1

Esquema do "Sensor de Deslocamentos Verticais"

Já o QUANTIFICADOR DE IRREGULARIDADES EM PAVIMENTOS (digital) é composto por um TOTALIZADOR e por HODÔMETRO (ver FIGURA IV.2, a seguir).

O hodômetro contém, fundamentalmente, uma bobina sensora, um CONTADOR PROGRAMÁVEL, um CONTADOR DE LANCES e um GERADOR DE TOM DE ÁUDIO. Os pulsos provenientes da bobina sensora (gerados pela passagem de imãs pela bobina) são ampliados e RECORTADOS por um amplificador de entrada, e envia-

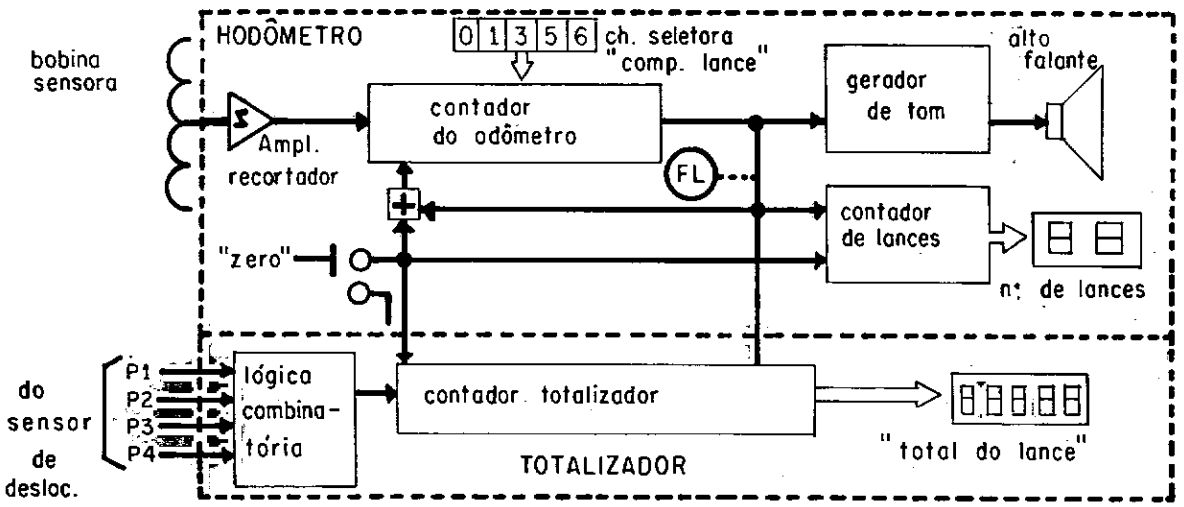


FIGURA IV.1.2
Diagrama em blocos do Quantificador de Irregularidades

dos ao CONTADOR DO HODÔMETRO, que é programado para ser decrementado a cada pulso recebido, a partir de um valor inicial (fixado por CHAVES SELETORAS). Quando o valor zero é atingido, um sinal FL indicando fim de lance é gerado, disparando as seguintes operações: o GERADOR DE TOM provoca o soar de um *beep* destinado a alertar o operador; o CONTADOR DE LANCES é incrementado; o mostrador TOTAL DO LANCE é atualizado com o valor obtido do CONTADOR TOTALIZADOR; o CONTADOR TOTALIZADOR é zerado, ficando pronto para nova contagem; o CONTADOR DO HODÔMETRO é recarregado com o valor programado nas CHAVES SELETORAS, dando início a uma nova medida.

Uma medida pode ser interrompida a qualquer tempo pelo pressionar do botão ZERO que: carrega o valor inicial das CHAVES SELETORAS no CONTADOR DO HODÔMETRO; limpa o CONTADOR DE LANCES; limpa o CONTADOR TOTALIZADOR; limpa os mostradores numéricos. As contagens são reiniciadas ao ser liberado o botão ZERO que pode, assim, ser utilizado como elemento

de sincronismo entre início de contagem e início do lance da pista em prova.

O TOTALIZADOR é composto por um contador e um bloco lógico que combina os quatro sinais (P_1 a P_4) provenientes do SENSOR. As características do SENSOR fazem com que o bloco lógico gerem um pulso para cada 0,2" de deslocamento do cursor, os quais são contados no CONTADOR TOTALIZADOR até o total correspondente a cada lance percorrido, o qual é representado no mostrador TOTAL DE LANCE.

Para ser utilizado, o INTEGRADOR IPR / USP é montado em um veículo de passeio médio. (Ver FIGURA IV.1.3, a seguir)

O aparelho fornece o somatório dos valores absolutos dos deslocamentos verticais de um ponto do diferencial, relativamente à carroceria do veículo. A irregilaridade de um trecho pode ser obtida, por exemplo, dividindo-se esse somatório pela extensão do trecho, sendo expressa em mm / km.

As medições são feitas continuamente, a velocidades padronizadas e constantes, procurando-se evitar mudança de marcha no percurso. As leituras são fornecidas em um painel digital colocado no interior da cabine do veículo, de modo que um operador, sentado no banco direito, pode anotá-las à medida que o veículo percorre a pista a ser medida. Utilizam-se, normalmente, leituras a cada 320 m de extensão, porém, segmentos de outras extensões podem ser adotados.

Para esta pesquisa, o INTEGRADOR IPR / USP foi instalado numa camionete marca Chevrolet C-10, pelos fornecedores do equipamento.

Entretanto, pequenos defeitos no funcionamento mecânico do equipamento surgiram logo na fase inicial de testes, e tiveram que ser contornados. Sua citação se faz necessária na medida em que venha a permitir o aprimoramento do INTEGRADOR.

O primeiro defeito diz respeito ao cabo de aço interno do sensor de deslocamentos verticais. Este cabo precisa ser bastante flexível para não atritar com as paredes da roldana na qual gira de 180°. O atrito cortou diversos cabos, prendendo o desenvolvimento do cursor. Considerando que um cabo de aço de flexibilidade suficiente não é encontrado facilmente no comércio, e que a solda que o prende ao cursor exige ferramentas específicas, sua substituição por cabos de

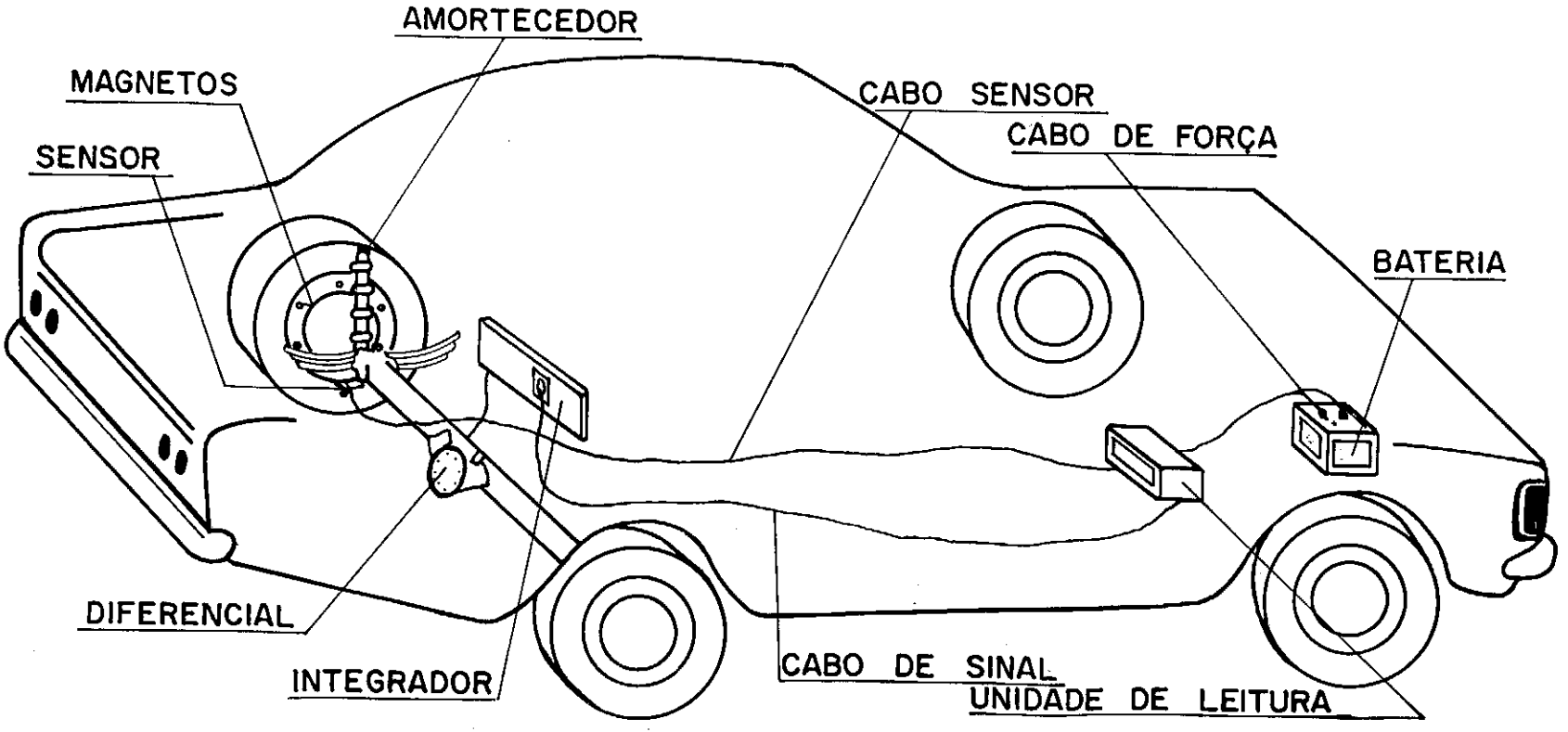


FIGURA IV.1.3

Instalação do INTEGRADOR e da UNIDADE DE LEITURA.

náilon, do tipo usado em pranchetas de desenho, mostrou-se como uma solução bastante aceitável, relativamente às leituras, e interessante no caso de necessidade de substituição, pois um simples nó o prende ao cursor.

A outra questão é a que se relaciona com o sistema de fixação do cabo de aço, que passa pelo chassi, no diferencial do veículo. Aqui também, vários cabos foram danificados pelo simples deslocamento da viatura, ainda na fase de calibração. Este fato obrigou a uma extrema preocupação para a calibração do aparelho.

IV.2 CALIBRAÇÃO DO APARELHO

As medidas de irregularidade geradas pelo INTEGRADOR, assim como por qualquer outro medidor de irregularidade do tipo resposta, dependem das características mecânicas do veículo em que o aparelho é instalado. Como estas características não se mantêm ao longo do tempo, nem são as mesmas para veículos diferentes, há necessidade de se calibrar esses medidores para que possam ser utilizados com confiança.

IV.2.1 NIVELAMENTO TOPOGRÁFICO DE TRECHOS DE CALIBRAÇÃO

Neste trabalho, para calibração do INTEGRADOR, foi utilizado o método do nivelamento topográfico de trechos de referência, desenvolvido por QUEIROZ(25) e SAYERS *et al*(26).

Optou-se pela utilização deste método pela economia e simplicidade de levantamento, além da facilidade de execução em qualquer ponto do país, bastando para isso que haja topógrafos.

Pelo método, são selecionados diversos trechos de pistas com diferentes níveis de irregularidade. Normalmente, tratam-se de trechos de rodovias em uso, com 320 metros de extensão.

As duas trilhas de roda de cada trecho são niveladas detalhadamente, isto é, em pontos com espaçamento de 0,50 m, obtendo-se desta forma o perfil de cada trilha. Estes perfis são a seguir utilizados para a determinação das característi-

cas de irregularidade do trecho.

Seguindo esta idéia, foram nivelados diversos trechos já selecionados pelo DNER, e por este Órgão utilizados para calibração. É importante lembrar que estes trechos são, preferencialmente, de rodovias de pequeno movimento que mantêm suas características por longos períodos, evitando, assim, freqüentes nivelamentos topográficos. Além disso não devem ser restaurados.

Os perfis dos trechos nivelados constam do Apêndice A .

IV.2.2 ESCALA ADOTADA

A escala de irregularidade adotada foi a do quociente de irregularidade (QI), ou índice de quarto de carro.

A origem da escala de irregularidade é o simulador de quarto-de-carro (SQC) do perfilômetro GMR. No SQC é simulado eletronicamente o sistema mecânico da FIGURA (IV.2.2.1).

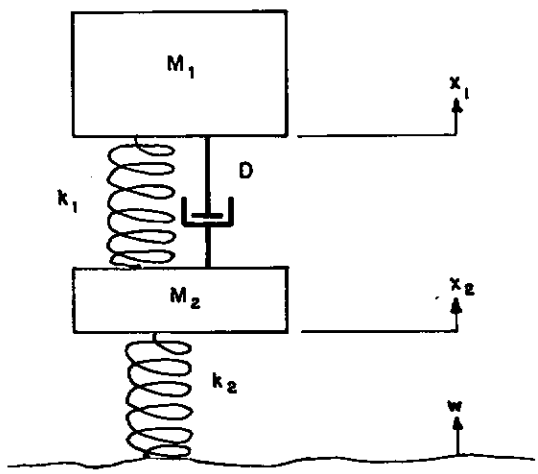


FIGURA IV.2.2.1
Sistema mecânico simulado no SQC.

em que: $y = f(\ell)$ é o perfil da trilha de roda.
M_1 (272 kg) é a massa suspensa
M_2 (44 kg) é a massa não suspensa
k_1 (36 kgf/cm) é a constante de mola
k_2 (179 kgf/cm) é a constante de mola do pneu

D (107 kgf.s/cm) é a constante de amortecimento

χ_1 é a ordenada da massa suspensa

χ_2 é a ordenada da massa não suspensa

Estes números são valores médios do rugosímetro B P R (reboque). As massas representam 1/4 das de carros.

O QI é definido pela expressão:

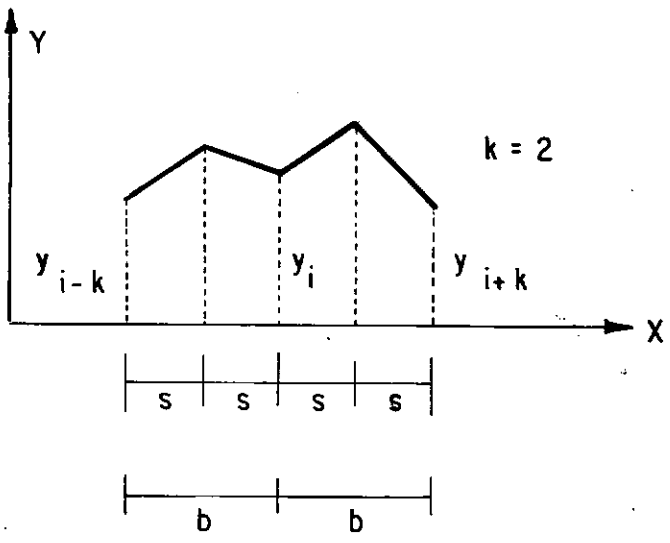
$$QI = \frac{1}{2L} \int_0^L \left| \chi_1 - \chi_2 \right| d\ell$$

$$\text{sendo } \chi_1 = \frac{d\chi_1}{d\ell}$$

$$\text{e } \chi_2 = \frac{d\chi_2}{d\ell}$$

O QI representa uma distância vertical (mm) acumulada numa determinada distência percorrida (km). Portanto, sua unidade é de mm/km. Entretanto, para evitar confusão com outras medidas de irregularidade, convencionou-se se referir ao QI em termos de constagens/km.

Para se obter o QI a partir dos nivelamentos topográficos, admitem-se diferentes comprimentos de base no perfil nivelado (ver FIGURA IV.2.2.2).



s → intervalo de medição

b = ks → comprimento de base

k → nº inteiro arbitrário

FIGURA IV.2.2.2

Características do perfil topográfico utilizadas na determinação do QI.

Das características do perfil, pode-se estimar a aceleração do perfil no ponto **i**, derivada 2ª, pela expressão:

$$SB_i = \frac{y_i + k - 2y_i + y_i - k}{(ks)^2}$$

onde SB_i é a estimativa da derivada 2ª do perfil do ponto **i** quando **s** é muito pequeno.

A aceleração vertical média quadrática (AVMQ) correspondente a um determinado comprimento base é dada por:

$$AV_b = AVMQ_b = \sqrt{\frac{\Sigma\ (SB_i)^2}{N - 2k}}$$

O Quociente de irregularidade (QI) pode então ser expresso em função de valores de aceleração vertical média quadrática (AVMQ) dos perfis e correlacionado com o fornecido pelo simulador de quarto-de-carro (SQC). A expressão encontrada que melhor correlaciona os dois valores é:

$$QI = -8{,}54 + 6{,}17\ AVMQ_{b=1{,}0\,m} + 19{,}38\ AMVQ_{b=2{,}5\,m}$$

Os valores de QI podem ser obtidos a partir de nivelamentos topográficos utilizando-se o programa VAROD, especialmente desenvolvido para este fim.

Os valores de QI dos trechos nivelados para esta pesquisa constam do Apêndice A.

IV.2.3 CORRELAÇÃO ENTRE AS LEITURAS DO INTEGADOR I P R / U S P (LI) E OS QUOCIENTES DE IRREGULARIDADE (QI) DOS TRECHOS DE CALIBRAÇÃO

Dispondo de valores de quociente de irregularidade (QI), médio entre as trilhas de roda interna e externa, característicos dos trechos de calibração, procedeu-se à aferição do INTEGRADOR.

Para tanto, foi elaborada a programação do comprimento do lance, conforme indicado no manual do aparelho, fabricado pela SED, a fim de que se pudesse registrar nas CHAVES SELETORAS o número correspondente ao comprimento dos trechos de calibração (320 m).

A seguir, a posição do cursor no sensor de deslocamentos verticais é ajustada através do PARAFUSO DE AJUSTE DE ZERO e com a fixação do cabo de aço ao diferencial do veículo. A partir daí, a carga atuando sobre o veículo não deve ser modificada até o final da operação.

Era necessário ainda definir a velocidade de percurso do veículo nos trechos de calibração. O ideal seria uma velocidade tão alta quanto a das aeronaves em operação de pouso ou decolagem (até cerca de 250 km/h). Porém, a utilização de uma velocidade alta nas medições em uma pista de aeroporto fica limitada pela falta de distância necessária para aceleração e parada do veículo.

Optou-se, portanto, por adotar na calibração e nas medições a velocidade de 65 km/h, que já era a velocidade utilizada para as medições de atrito com o aparelho μ - meter, e facilmente alcançável, exigindo também pouco espaço de frenagem.

Assim, cada trecho de calibração foi percorrido 5 (cinco) vezes, com o cuidado de se entrar no trecho já a 65 km/h e em quarta marcha.

O QUADRO (IV.2.3.1) apresenta os resultados das leituras (LI) obtidas do integrador nos trechos de calibração.

Pelo QUADRO (IV.2.3.1) tem-se que:

$$\Sigma V = \Sigma \ (LI_{máx} - LI_{mín}) = 184$$

$$\overline{V} = \frac{\Sigma \ (LI_{máx} - LI_{mín})}{N} = \frac{184}{16} = 11,5$$

em que **N** é o número de trechos considerados e **V** é a maior variação entre as leituras.

O limite de controle da variação (V_{lim}) é dado pela equação:

$$V_{lim} = 2,11 \cdot \overline{V} = 2,11 \cdot 11,5 \rightarrow V_{lim} = 24,26$$

Este limite indica que a variação obtida no trecho 27 foi excessiva e, portanto, este trecho mereceria outra série de leituras.

TRECHO DE CALIBRAÇÃO	LEITURAS (LI)					$LI_{médio}$	$LI_{máx} - LI_{mín}$
	1ª	2ª	3ª	4ª	5ª		
01	260	249	247	245	250	250	15
02	144	144	138	138	140	141	6
06	196	200	193	198	199	197	7
10	79	83	73	79	87	80	14
11	112	113	113	112	111	112	2
12	80	77	70	77	76	76	4
13	76	78	76	80	73	77	7
14	69	80	79	87	74	78	18
16	127	131	128	134	126	129	8
17	75	80	68	85	82	78	17
18	75	74	73	71	74	73	4
23	432	416	417	410	421	419	22
24	95	92	99	89	92	93	10
25	80	73	68	81	71	75	10
26	86	82	86	84	79	83	7
27	366	378	381	366	348	368	33

QUADRO IV.2.3.1

Leituras obtidas com o INTEGRADOR nos trechos de calibração.

Os valores de QI constantes do Apêndice A permitem calcular o quociente de irregularidade (QI) médio entre as trilhas interna e externa de cada trecho de calibração. O QUADRO (IV.2.3.2) relaciona estes valores de QI com as correspondentes leituras médias de irregularidade fornecidas pelo INTEGRADOR IPR / USP.

A FIGURA (IV.2.3.1) mostra a regressão linear obtida na aferição do aparelho, cuja equação é:

$$QI = 17{,}23 + 0{,}1858\ LI$$

Equação (IV.2.3.1)

$$R^2 = 0{,}94$$

TRECHO DE CALIBRAÇÃO	QUOCIENTE DE IRREGULARIDADE (QI) (contagens / km)	LEITURAS DO INTEGRADOR
01	62,235	250
02	51,095	141
06	63,245	197
10	29,85	80
11	43,58	112
12	27,25	76
13	26,885	77
14	37,31	78
16	43,495	129
17	25,695	78
18	26,51	73
23	92,69	419
24	35,675	93
25	28,86	75
26	30,965	83
27	82,175	368

QUADRO IV.2.3.2

Correlação entre as leituras obtidas com o integrador (LI) e os valores de quociente de irregularidade (QI) dos trechos de calibração.

Assim, a irregularidade de qualquer trecho de pavimento, com 320 m de extensão, pode ser determinada, em termos de QI, pela Equação (IV.2.3.1).

Para testar a repetição das leituras fornecidas pelo INTEGRADOR IPR / USP, após as medições efetuadas nos aeroportos do sul do país, passou-se com o veículo em três dos trechos de calibração, 5 repetições para cada trecho, obtendo-se os resultados constantes do QUADRO (IV.2.3.3).

Por este QUADRO (IV.2.3.3), verifica-se que apenas a variação entre leituras máxima e mínima excedeu o limite de controle superior $V_{lim} = 24,26$. Entretanto, as leituras médias alcançadas nos três trechos se encontram dentro do limite de 10% de variação em relação às leituras médias originais, o que atesta uma ótima repetição de leituras.

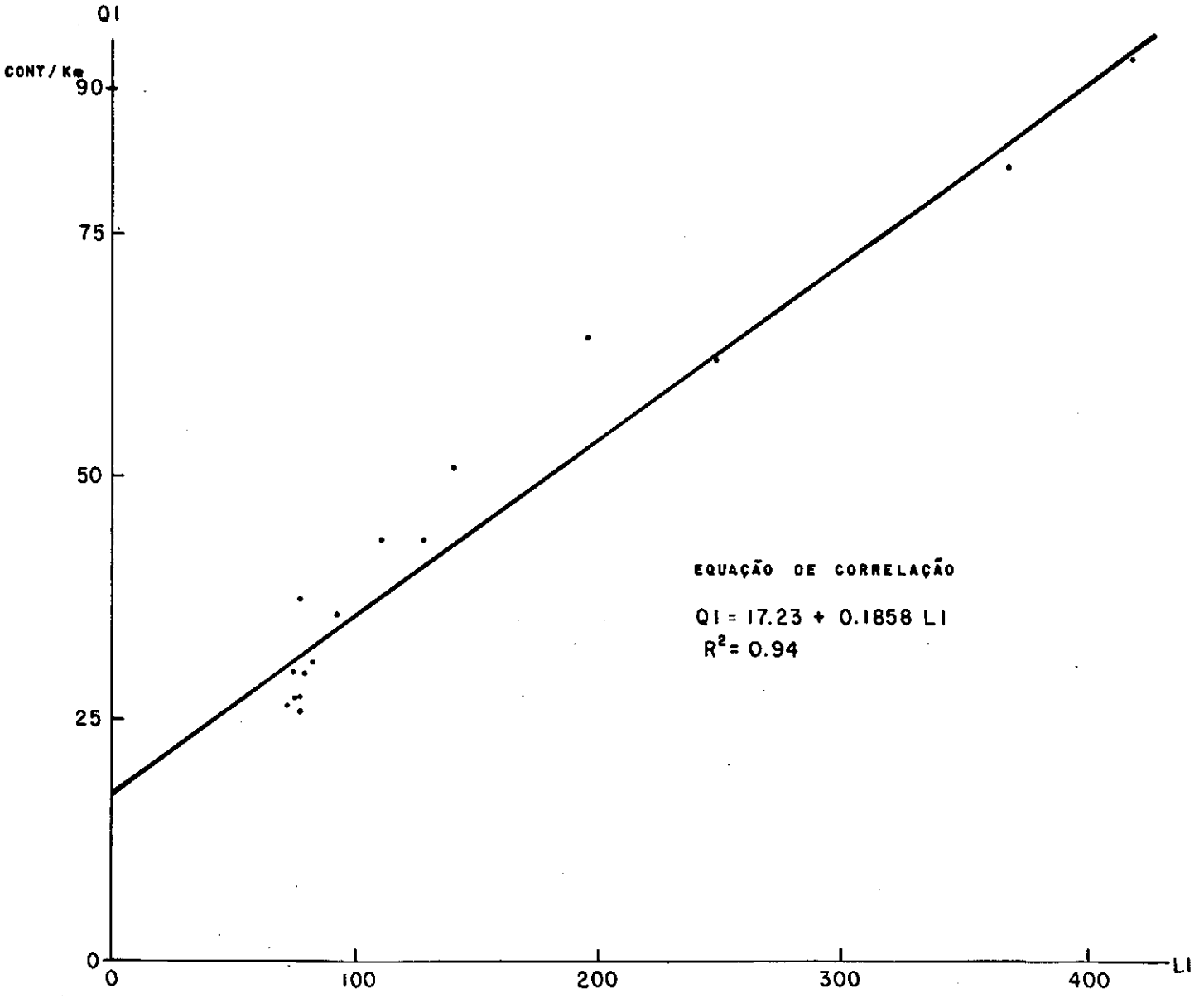


FIGURA IV.2.3.1

Regressão linear entre as leituras do INTEGRADOR (LI) e os Quocientes de Irregularidade (QI) dis trechos de calibração.

TRECHO DE CALIBRAÇÃO	LEITURAS DO INTEGRADOR (LI)						
	1ª	2ª	3ª	4ª	5ª	$LI_{médio}$	$LI_{máx} - LI_{mín}$
01	259	260	248	230	249	249	30
02	141	146	138	138	140	141	8
06	197	194	186	190	181	190	16

QUADRO IV.2.3.3

Leituras do integrador obtidas após sua utilização para verificação da repetição dos resultados.

IV.3 METODOLOGIA ADOTADA NAS MEDIÇÕES

Para trabalhos de medição da irregularidade de pistas de aeroportos foi necessário partir-se de uma metodologia, com base nos aspectos citados no Capítulo II, item II.3.

Assim, foram estabelecidos os seguintes critérios:

a) SOMENTE AS PISTAS DE POUSO E DECOLAGEM SERIAM MEDIDAS.

Uma vez que o objetivo das medições era estudar a irregularidade dos pavimentos aeroportuários e sua relação com o conforto e suavidade ao rolamento das aeronaves, e que a suavidade ao rolamento das aeronaves é mais exigida nas operações de pouso e decolagem, optou-se pela medição somente da irregularidade destas pistas.

b) AS MEDIÇÕES SERIAM FEITAS EM CINCO LINHAS LONGITUDINAIS AO LONGO DA PISTA.

Com a finalidade de se obter um número maior de dados que caracterizassem a irregularidade das pistas, foram definidos 5 (cinco) alinhamentos longitudinais de interesse: um sobre o seu eixo e outros quatro, dois de cada lado do eixo, situados a 4,5 m e a 9 m deste. Quaisquer desvios destas distâncias, quando do percurso da viatura com INTEGRADOR, para

até cerca de 3,5 e 8 m respectivamente, seriam considerados toleráveis.

c) AS LEITURAS SERIAM FEITAS NOS DOIS SENTIDOS DA PISTA.

Como as operações das aeronaves numa pista de pouso e decolagem se verificam tanto a partir de uma cabeceira como da outra, decidiu-se que as leituras do INTEGRADOR seriam obtidas percorrendo-se, nos dois sentidos, cada uma das 5 linhas longitudinais de medição definidas.

d) A VELOCIDADE DE MEDIÇÃO SERIA DE 65 km/h .

A indisponibilidade geral de espaço, que permita que se atinjam altas velocidades e que se freie com segurança, limitou a velocidade de medição. O valor de 65 km/h foi considerado razoável, haja vista a prática constatada com a utilização desta velocidade nas medidas de atrito com o aparelho μ - meter.

e) AS LEITURAS SERIAM OBTIDAS A CADA 80 m DE PERCURSO.

Para fins de estudo de irregularidade de pavimentos, o comprimento de uma pista de pouso e decolagem pode ser considerado pequeno. Uma pista de 2 4 00 m , por exemplo, admitiria no máximo 7 leituras quando percorrida com o INTEGRADOR, isto é, no caso de o equipamento ser preparado para fornecer leituras a cada 320 m (a extensão dos trechos de calibração). Assim, para aumentar a resolução das leituras obtidas, e uma vez que a flexibilidade do aparelho permite, optou-se por realizar leituras a cada 80 m . Bastaria a multiplicação destes valores por 4 (quatro) para se ter as leituras de irregularidade correspondentes a trechos de 320 m . Para se obter leituras a cada 80 m , altera-se o número indicado nas CHAVES SELETORAS do equipamento para um valor igual à quarta parte do correspondente a 320 m .

IV.4 RESULTADOS OBTIDOS

Adotando a metodologia citada no item anterior, e tomando todos os cuidados necessários, tais como iniciar as leituras com o veículo já a 65 km/h , evitando trocar de marcha e

percorrendo as linhas longitudinais de medição com a mesma carga utilizada na calibração do aparelho, foram tomados os valores de irregularidade das pistas de cada um dos aeroportos relacionados no Capítulo I, item I.3.

Os resultados obtidos, anotados da esquerda para a direita, constam do Apêndice B. Os sentidos de percurso podem ser identificados pela notificação das cabeceiras das pistas. Estas são designadas pela dezena mais próxima do rumo magnético para pouso, cortando-se o zero da direita.

Em algumas pistas, por exigüidade de tempo, somente 3 das 5 linhas longitudinais foram medidas ou só um sentido de medição foi anotado.

* * *

CAPÍTULO V

AVALIAÇÃO SUBJETIVA DAS PISTAS ESTUDADAS

Com a finalidade de colher subsídios para uma posterior análise comparativa, foram distribuídas às companhias aéreas fichas de avaliação do tipo apresentado na FIGURA V.1 .

Foi solicitado que os pilotos opinassem a respeito do nível de irregularidade das pistas em que operam, utilizando para isso quantas fichas desejassem.

Seria necessário que o piloto identificasse qual a pista do aeroporto que estaria utilizando, discriminando ainda o sentido de deslocamento, e se a operação seria de pouso ou de decolagem. O sentido de deslocamento é indicado, na prática corrente, pela identificação numérica da cabeceira inicial da operação.

É importante observar que a expressão CONFORTO E SUAVIDADE, empregada, envolve tanto a comodidade psicofísica quando do deslocamento da aeronave, como a segurança operacional que permite ao piloto utilizar os instrumentos de que necessita, sem dificuldades.

Por outro lado, a fim de se obter o maior número possível de informações a respeito da suavidade e do conforto ao rolamento que a pista oferece, foi constatado, por informações de pilotos, que o máximo a que eles se atêm, em comentários, é quanto a terços de pista. Assim, suas opiniões deveriam ser dadas por terço de pista, no sentido da operação.

As avaliações subjetivas dos pilotos encontram-se arquivadas na Diretoria de Engenharia da Aeronáutica.

Veja-se, a seguir, a FIGURA (V.1).

AVALIAÇÃO SUBJETIVA DA SUPERFÍCIE DA PISTA

AEROPORTO: _____ DATA: _____

PAVIMENTO: ☐ SECO ☐ MOLHADO

TIPO AERONAVE: _____

PISTA USADA: _____

DECOLAGEM ☐

ou

P O U S O ☐

Marque com "X" a condição de superfície da pista nas operações de pouso ou decolagem, considerando apenas o aspecto de "SUAVIDADE E CONFORTO AO ROLAMENTO DA AERONAVE"

	1º Terço	2º Terço	Último Terço (se for o caso)
ÓTIMO	☐	☐	☐
BOM	☐	☐	☐
REGULAR	☐	☐	☐
RUIM	☐	☐	☐
PÉSSIMO	☐	☐	☐

Se necessário, faça algum comentário: _____

FIGURA VI.1
Ficha de Avaliação Subjetiva.

CAPÍTULO VI

ANÁLISE DOS RESULTADOS OBTIDOS

VI.1 ANÁLISE DAS MEDIÇÕES OBJETIVAS

Com base nas observações de HOSANG(18) e de CARDOSO(7), já citadas nos Capítulos II e III, respectivamente nos itens II.3 e III.5, e para simplificar o tratamento dos resultados obtidos, foram determinadas as médias das leituras de irregularidade, desprezando-se as corridas mais externas. Isto é, só foram consideradas as leituras realizadas ao longo do eixo da pista e dos alinhamentos longitudinais situados a 4,5 m deste.

Os cálculos estatísticos foram efetuados por terços de pista, discriminadamente, para fins de posterior comparação com as avaliações subjetivas dos pilotos, as quais se referem aos terços das pistas.

Os valores do desvio-padrão, das médias das leituras, bem como o número de leituras consideradas em cada terço constam das TABELAS (VI.1.1), (VI.1.2) e (VI.1.3), a seguir.

Nestas TABELAS, também foram relacionados os intervalos em que se situam as médias do universo de leituras de cada terço, admitindo-se distribuição de STUDENT, com risco de 1%. Estas TABELAS permitem afirmar, portanto, com 99% de confiança, que as médias das leituras de irregularidade não são significativamente diferentes, quando efetuadas a partir de uma cabeceira da pista ou da outra. Em conseqüência, os estudos seguintes passaram a levar em conta somente as medições feitas a partir da cabeceira mais utilizada.

As médidas das leituras de irregularidade, referentes a trechos de 80 m , foram então multiplicadas por 4, para que se pudesse aplicar a equação de regressão linear (EQUAÇÃO IV.2.3.1), obtida quando da calibração do INTEGRADOR para trechos de 320 m . Assim, determinou-se a irregularidade de cada terço de pista, em termos de quociente de irregularidade (QI), em contagens / km.

Os valores de quociente de irregularidade obtidos constam do QUADRO (VI.3), adiante, juntamente com os valores

A E R O P O R T O	SENTIDO DO PERCURSO DA PISTA	NÚMERO DE LEITURAS EFETUADAS (n)	MÉDIA DAS LEITURAS DE IRREGULARIDADE (LI)	DESVIO-PADRÃO DAS LEITURAS DE IRREGULARIDADE (s)	(*) LIMITES DA MÉDIA DO UNIVERSO (μ) DIST. DE *STUDENT*
Confins - Belo Horizonte (MG)	16/34	34	12,19	4,3	10,18 a 14,19
	34/16	33	11,97	5,4	9,41 a 14,53
Goiabeiras - Vitória (ES)	05/23	18	6,86	2,9	4,88 a 8,84
	23/05	19	7,06	3,3	4,88 a 9,24
Dois de Julho - Salvador (BA)	10/28	33	22,48	9,1	18,17 a 26,79
	28/10	33	20,82	9,0	16,56 a 25,08
	17/35	15	35,64	10,8	27,33 a 43,95
	35/17	15	40,53	7,9	34,45 a 46,61
Santa Maria - Aracaju (SE)	11/29	18	17,11	5,3	13,49 a 20,73
	29/11	18	19,06	5,2	15,51 a 22,61
Campo dos Palmares - Maceió (AL)	12/30	21	11,86	4,8	8,89 a 14,83
	30/12	21	11,14	3,5	8,97 a 13,31
Guararapes - Recife (PE)	18/36	32	32,70	12,1	26,88 a 38,52
	36/18	33	31,00	10,5	26,03 a 35,97
Pres. Castro Pinto - João Pessoa (PB)	16/34	29	18,20	10,3	12,92 a 23,48
	34/16	29	17,76	9,5	12,89 a 22,63
Augusto Severo - Natal (RN)	16L/34R	25	29,30	10,8	23,25 a 35,35
	34R/16L	24	30,60	7,2	26,47 a 34,73
	12/30	18	44,20	12,0	36,00 a 52,40
	30/12	18	47,10	12,5	38,56 a 55,64
Pinto Martins - Fortaleza (CE)	13/31	27	29,20	6,0	25,99 a 32,41
	31/13	27	26,10	9,7	20,91 a 31,29
Teresina (PI)	01/19	24	24,25	7,1	20,18 a 28,32
	19/01	24	24,00	9,6	18,49 a 29,51
Tirirical - São Luís (MA)	06/24	26	21,80	11,4	15,56 a 28,04
	24/06	27	20,81	9,7	15,62 a 26,00
	09/27	15	36,00	13,0	26,00 a 46,00
	27/09	15	39,30	16,7	26,45 a 52,15
Val-de-cães - Belém (PA)	06/24	30	26,93	8,5	22,65 a 31,21
	24/06	30	29,13	9,8	24,19 a 34,07
	02/20	18	42,11	11,1	34,52 a 49,70
	20/02	18	41,67	12,9	32,85 a 50,49

(*) Nível de significância: 1%

TABELA VI.1.1

Estatística das leituras de irregularidade.
Terço da cabeceira mais utilizada.

AEROPORTO	SENTIDO DO PERCURSO DA PISTA	NÚMERO DE LEITURAS EFETUADAS (n)	MÉDIA DAS LEITURAS DE IRREGULARIDADE (LI)	DESVIO-PADRÃO DAS LEITURAS DE IRREGULARIDADE (s)	(*) LIMITES DA MÉDIA DO UNIVERSO (μ) DIST. DE
Confins - Belo Horizonte (MG)	16/34	35	11,67	6,1	8,86 a 14,47
	34/16	33	10,10	3,2	8,57 a 11,63
Goiabeiras - Vitória (ES)	05/23	21	10,06	4,6	7,21 a 12,91
	23/05	20	8,33	4,4	5,52 a 11,14
Dois de Julho - Salvador (BA)	10/28	33	26,09	9,7	21,50 a 30,68
	28/10	33	25,67	6,4	22,64 a 28,70
	17/35	14	43,47	10,2	35,26 a 51,68
	35/17	12	42,40	7,7	35,49 a 49,31
Santa Maria - Aracaju (SE)	11/29	18	16,17	4,3	13,23 a 19,11
	29/11	18	16,56	4,9	13,21 a 19,91
Campo dos Palmares - Maceió (AL)	12/30	21	10,29	3,4	8,18 a 12,40
	30/12	21	10,81	4,2	8,21 a 13,41
Guararapes - Recife (PE)	18/36	34	28,60	9,6	24,12 a 33,08
	36/18	36	29,40	10,5	24,78 a 34,02
Pres. Castro Pinto - João Pessoa (PB)	16/34	28	22,10	7,2	18,33 a 25,87
	34/16	28	22,30	6,5	18,90 a 25,70
Augusto Severo - Natal (RN)	16L/34R	26	27,20	10,1	21,67 a 32,73
	34R/16L	26	30,10	14,2	22,33 a 37,87
	12/30	21	37,60	7,7	32,83 a 42,37
	30/12	21	41,30	9,6	35,35 a 47,25
Pinto Martins - Fortaleza (CE)	13/31	30	23,70	7,0	20,17 a 27,23
	31/13	30	21,80	6,2	18,59 a 25,01
Teresina (PI)	01/19	27	24,90	6,6	21,37 a 28,43
	19/01	27	24,00	7,2	20,15 a 27,85
Tirirical - São Luís (MA)	06/24	27	22,90	8,7	18,24 a 27,55
	24/06	27	23,48	8,7	18,82 a 28,13
	09/27	15	36,50	12,8	26,65 a 46,35
	27/09	15	31,70	9,9	24,08 a 39,32
Val-de-cães - Belém (PA)	06/24	27	25,78	7,8	21,61 a 29,95
	24/06	27	26,22	6,9	22,53 a 30,35
	02/20	21	40,00	17,4	29,22 a 50,78
	20/02	21	42,14	21,8	28,63 a 55,65

(*) Nível de significância: 1%

TABELA VI.1.2

Estatística das leituras de irregularidades.
Terço central.

AEROPORTO	SENTIDO DO PERCURSO DA PISTA	NÚMERO DE LEITURAS EFETUADAS (n)	MÉDIA DAS LEITURAS DE IRREGULARIDADE (LI)	DESVIO-PADRÃO DAS LEITURAS DE IRREGULARIDADE (s)	(*) LIMITES DA MÉDIA DO UNIVERSO (μ) DIST. DE *STUDENT*
Confins - Belo Horizonte (MG)	16/34	34	9,19	3,7	7,44 a 10,93
	34/16	33	9,12	4,3	7,06 a 11,18
Goiabeiras - Vitória (ES)	05/23	18	11,50	6,3	7,19 a 15,81
	23/05	19	12,76	6,5	8,47 a 17,05
Dois de Julho - Salvador (BA)	10/28	33	35,81	13,9	29,16 a 42,46
	28/10	33	39,11	11,4	33,65 a 44,57
	17/35	15	37,50	6,4	32,58 a 42,42
	35/17	15	35,30	4,8	31,61 a 38,99
Santa Maria - Aracaju (SE)	11/29	18	24,00	19,3	10,81 a 37,19
	29/11	18	23,40	15,0	13,15 a 33,65
Campo dos Palmares - Maceió (AL)	12/30	21	10,57	2,6	8,96 a 12,18
	30/12	21	11,95	3,5	9,78 a 14,12
Guararapes - Recife (PE)	18/36	32	23,10	5,7	20,33 a 25,87
	36/18	33	24,70	11,5	19,19 a 30,20
Pres. Castro Pinto - João Pessoa (PB)	16/34	29	15,00	4,0	12,95 a 17,05
	34/16	29	16,20	3,2	14,56 a 17,84
Augusto Severo - Natal (RN)	16L/34R	25	27,56	7,5	23,38 a 31,74
	34R/16L	24	29,00	7,2	24,87 a 33,13
	12/30	18	39,30	17,7	27,20 a 51,40
	30/12	18	42,30	13,0	33,41 a 51,18
Pinto Martins - Fortaleza (CE)	13/31	27	24,40	8,1	20,07 a 28,73
	31/13	27	20,80	6,7	17,21 a 24,38
Teresina (PI)	01/19	24	32,80	12,2	25,80 a 39,80
	19/01	24	30,80	12,9	23,40 a 38,20
Tirirical - São Luís (MA)	06/24	26	19,00	5,8	15,83 a 22,17
	24/06	27	20,26	7,4	16,30 a 24,22
	09/27	15	45,80	12,3	36,33 a 55,26
	27/09	15	44,40	10,2	36,55 a 52,25
Val-de-cães - Belém (PA)	06/24	30	26,60	8,1	22,52 a 30,68
	24/06	30	28,50	10,1	23,41 a 33,59
	02/20	18	40,12	11,0	32,60 a 47,64
	20/02	18	37,50	13,1	28,55 a 46,45

(*) Nível de significância: 1%

TABELA VI.1.3

Estatística das leituras de irregularidade.
Terço da cabeceira menos utilizada.

de outra medida de dispersão: o coeficiente de variação das leituras.

Assim observa-se que as piores pistas, de um modo geral, são a 02 / 20 do Aeroporto de Belém e a 09 / 27 do Aeroporto de Tirirical, em São Luis; que as mais suaves são as pistas dos Aeroportos de Aracaju, Maceió, Vitória e Confins. Por outro lado, verifica-se também que o 3º terço da pista de Aracaju apresenta um coeficiente de variação elevado, e que este fato se deve ao acréscimo de extensão que a pista sofreu no sentido da cabeceira 29. O simples exame da ficha de leituras aponta o súbito aumento de valores lidos a partir da cabeceira 29, em todos os alinhamentos percorridos.

É interessante ressaltar que trechos visualmente diferenciados das pistas, como o terço da cabeceira 28 da pista 10 / 28 do Aeroporto de Salvador, ou uma antiga cabeceira de concreto de uma pista que foi ampliada, são detectados tranqüilamente pelo INTEGRADOR, cujas leituras se alteram de forma característica.

VI.2 ANÁLISE DAS AVALIAÇÕES SUBJETIVAS

Neste trabalho, somente foram consideradas as avaliações subjetivas de operações realizadas com aeronaves comerciais a jato, de grande porte, ou seja, o BOEING em suas versões 737, 727 e 747, as aeronaves A-300, DC-10, etc. Este fato se deve a que os aeródromos públicos em que estas aeronaves operam é que, normalmente, exigem os maiores cuidados e atenção das autoridades aeroportuárias.

Ao se analisar as fichas de avaliação subjetiva, deve-se ter em mente que, numa pista longa, uma aeronave, em operação de pouso, pode vir a usar o último terço da pista já para taxiamento em direção ao pátio de estacionamento do aeroporto. Por outro lado, quando de uma decolagem, talvez este último terço nem seja utilizado.

O tratamento das avaliações subjetivas de conforto e suavidade ao rolamento foi feito a partir da codificação numérica dos atributos da pista. Assim, a uma escala variando de 0 a 5, as opiniões dos pilotos foram tomadas com o grau intermediário da faixa correspondente, conforme o QUADRO VI.2.1.

C Ó D I G O	AVALIAÇÃO DE SUAVIDADE AO ROLAMENTO (A S R)	GRÃU INTERMEDIÁRIO
------ 5 -----		
	---------- ÓTIMA ----------	4,5
------ 4 -----		
	---------- BOA ----------	3,5
------ 3 -----		
	---------- REGULAR ----------	2,5
------ 2 -----		
	---------- RUIM ----------	1,5
------ 1 -----		
	---------- PÉSSIMA ----------	0,5
------ 0 -----		

QUADRO VI.2.1

Codificação adotada para a análise das avaliações subjetivas.

Talvez a correspondência numérica das avaliações subjetivas fosse mais precisamente determinada utilizando-se nas fichas dos pilotos, colunas como mostra a FIGURA (VI.2.1), e que NAIR *et al* (27) usaram.

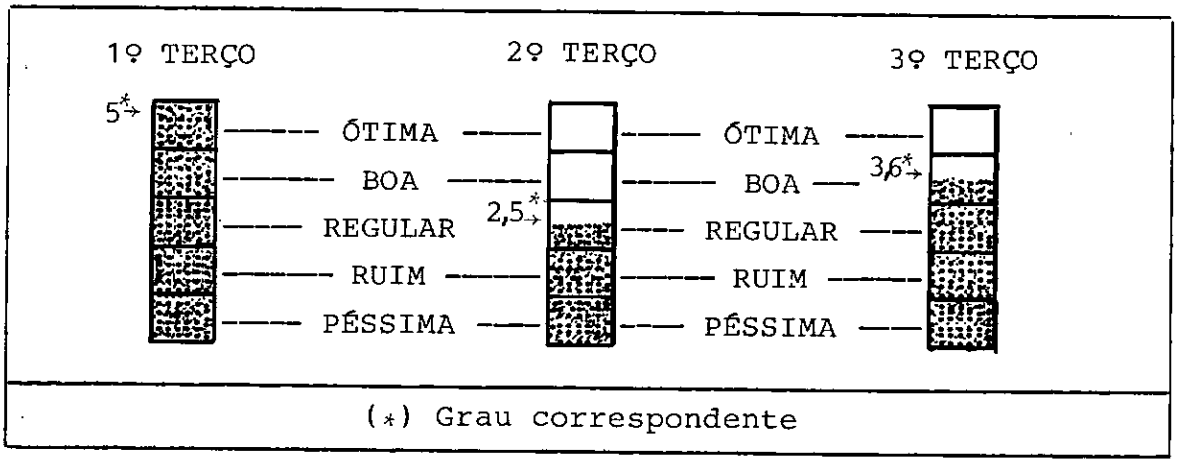


FIGURA VI.2.1

Exemplo de preenchimento de escala de avaliação.
De CONFORTO E SUAVIDADE AO ROLAMENTO, em colunas.

Entretanto, dada à inviabilidade de reunir os pilotos avaliadores, a fim de instruí-los quanto ao preenchimento das fichas, estas precisariam ser concisas e, assim, admitiu-se que a marcação de X seria um procedimento eficaz.

Desta forma, seguindo a codificação adotada, foram calculadas as médias dos graus correspondentes às opiniões dos pilotos, relativos a cada terço de pista. Estes valores constam do QUADRO (VI.3), tanto para as operações de decolagem quanto para as de pouso.

O QUADRO (VI.3) permite constatar que as pistas que ofereciam as melhores condições de conforto e suavidade na decolagem são as dos Aeroportos de Acaraju (SE) e de Confins (BH). E as piores condições eram apresentadas pelas duas pistas do Aeroporto de Belém e pela pista 10/28 do de Salvador.

Já para o pouso, as duas pistas de Belém foram as mais criticadas e a do Aeroporto de Confins (BH) era a preferida dos pilotos.

VI.3 ANÁLISE COMPARATIVA ENTRE AS AVALIAÇÕES OBJETIVA E SUBJETIVA

É interessante que se possa ajuizar da SERVENTIA (CONFORTO E SUAVIDADE AO ROLAMENTO de uma aeronave) do pavimento de uma pista de pouso, a partir de dados físicos. Assim, foram relacionados no QUADRO (VI.3) os elementos oriundos das avaliações subjetiva e objetiva.

Observe-se que, neste QUADRO, as avaliações subjetivas foram denominadas de Índice de Suavidade ao Rolamento (ISR). Tal procedimento se baseia no fato de que quaisquer correlações com o quociente de irregularidade forencem uma INDICAÇÃO da suavidade ao rolamento que o pavimento teria numa avaliação subjetiva.

VI.3.1 O DESVIO - PADRÃO DAS LEITURAS

A flexibilidade de se fazerem leituras a cada 80 m de percurso com o INTEGRADOR, permitiu a obtenção de um grande número de dados.

AEROPORTO	PISTA	TERÇO	I S R		IRREGULARIDADE	
			DECOLAGEM	POUSO	QI MÉDIO (cont./km)	COEF. DE VARIAÇÃO (%)
BELÉM (PA)	06/24	1º	1,8	2,2	38	31,5
		2º	1,8	1,9	37	30,2
		3º	2,0	1,9	38	30,6
	02/20	1º	0,5	1,5	48	27,1
		2º	0,5	1,5	48	43,3
		3º	0,5	0,5	46	27,5
SÃO LUIS (MA)	06/24	1º	3,5	2,8	33	52,2
		2º	3,5	2,8	34	38,0
		3º	2,5	3,5	31	30,5
TERESINA (PI)	19/01	1º	2,5	2,8	41	41,9
		2º	2,5	2,8	35	29,9
		3º	-	2,5	35	39,9
FORTALEZA (CE)	13/31	1º	2,7	3,0	38	20,6
		2º	3,1	2,8	34	29,6
		3º	-	2,3	34	33,2
NATAL (RN)	16L/34R	1º	2,5	-	40	36,8
		2º	2,5	-	39	37,0
		3º	-	-	38	27,4
RECIFE (PE)	18/36	1º	3,2	2,7	42	36,9
		2º	2,9	2,5	39	33,7
		3º	2,5	2,5	35	24,8
MACEIÓ (AL)	12/30	1º	3,0	3,5	26	40,4
		2º	3,0	3,5	25	33,4
		3º	-	4,0	26	25
ARACAJU (SE)	11/29	1º	4,5	3,5	21	30,8
		2º	4,5	3,0	20	26,7
		3º	-	3,0	20	80,5
SALVADOR (BA)	10/28	1º	2,2	2,4	33	40,5
		2º	2,2	2,5	36	37,2
		3º	-	3,0	45	38,7
VITÓRIA (ES)	05/23	1º	3,5	3,5	22	42,3
		2º	3,5	3,5	24	45,0
		3º	3,5	3,5	26	55,0
CONFINS (BG)	16/34	1º	4,1	4,5	26	35,3
		2º	4,1	4,5	25	52,3
		3º	4,5	4,5	24	40,3
AFONSO PENA - CURITIBA (PR)	15/36	1º	3,5	3,8	26	-
		2º	3,5	3,8	28	-
		3º	3,5	3,5	25	-
FLORIANÓPOLIS (SC)	14/32	1º	3,5	1,8	33	-
		2º	3,5	1,8	38	-
		3º	-	1,8	33	-
PORTO ALEGRE (RS)	10/28	1º	3,5	3,5	29	-
		2º	3,5	3,5	25	-
		3º	3,5	3,5	27	-

QUADRO VI.3

Irregularidade de pistas de aeroportos.

Em contrapartida o desvio - padrão das leituras era consideravalmente elevado, tendo sido alcançados coeficientes de variação (Cv) da ordem de até 80%.

Então, foram plotadas na FIGURA (VI.3.1.1), para cada par (QI, Cv) de características físicas das pistas, as correspondentes avaliações subjetivas para as operações de pouso e para as de decolagem, considerando-se todos os terços de pista.

Pela FIGURA (VI.3.1.1) observa-se que, para qualquer nível de irregularidade que se considere, encontram-se coeficientes de variação altos e baixos. Verifica-se, ainda, que os melhores e os piores níveis de CONFORTO E SUAVIDADE se correspondem, respectivamente, com valores de QI baixos e altos, independendo, portanto, dos coeficientes de variação.

Ou seja, considerando-se as respostas dinâmicas do INTEGRADOR a três extensões de superfície de pavimento, representadas nas FIGURAS (VI.3.1.2a, VI.3.1.2b e VI.3.1.2c) podem-se obter leituras (LI) a cada 320 m ou a cada 80 m . Nos casos **a** e **b**, os coeficientes de variação diferem, mas as avaliações de suavidade ao rolamento (ASR) tendem a ser as mesmas. O caso **c** receberia uma ASR melhor que **a** e **b**, talvez apenas com uma simples referência ao fenômeno vibratório ocorrido no 2º terço.

Portanto, a execução de leituras a cada 80 m de percurso ou a cada 320 m é indiferente em qualquer caso. Porém, leituras a cada 80 m permitem a fácil detecção de problemas localizados pelo simples exame da ficha de leituras.

Assim, levando-se cm onta os comprimentos comuns de pistas de aerportos, parece ser praticável a realização de leituras a cada 80 m .

VI.3.2 CORRELAÇÕES OBTIDAS

Com a finalidade de se desenvolver um critério técnico que permitisse o julgamento das condições de CONFORTO E SUAVIDADE AO ROLAMENTO apresentadas por uma pista de pouso, foram determinadas diversas equações de regressão, correlacionando-se os ÍNDICES DE SUAVIDADE AO ROLAMENTO (ISR) oriundos das avaliações dos pilotos, com os QUOCIENTES DE IRREGULARIDA-

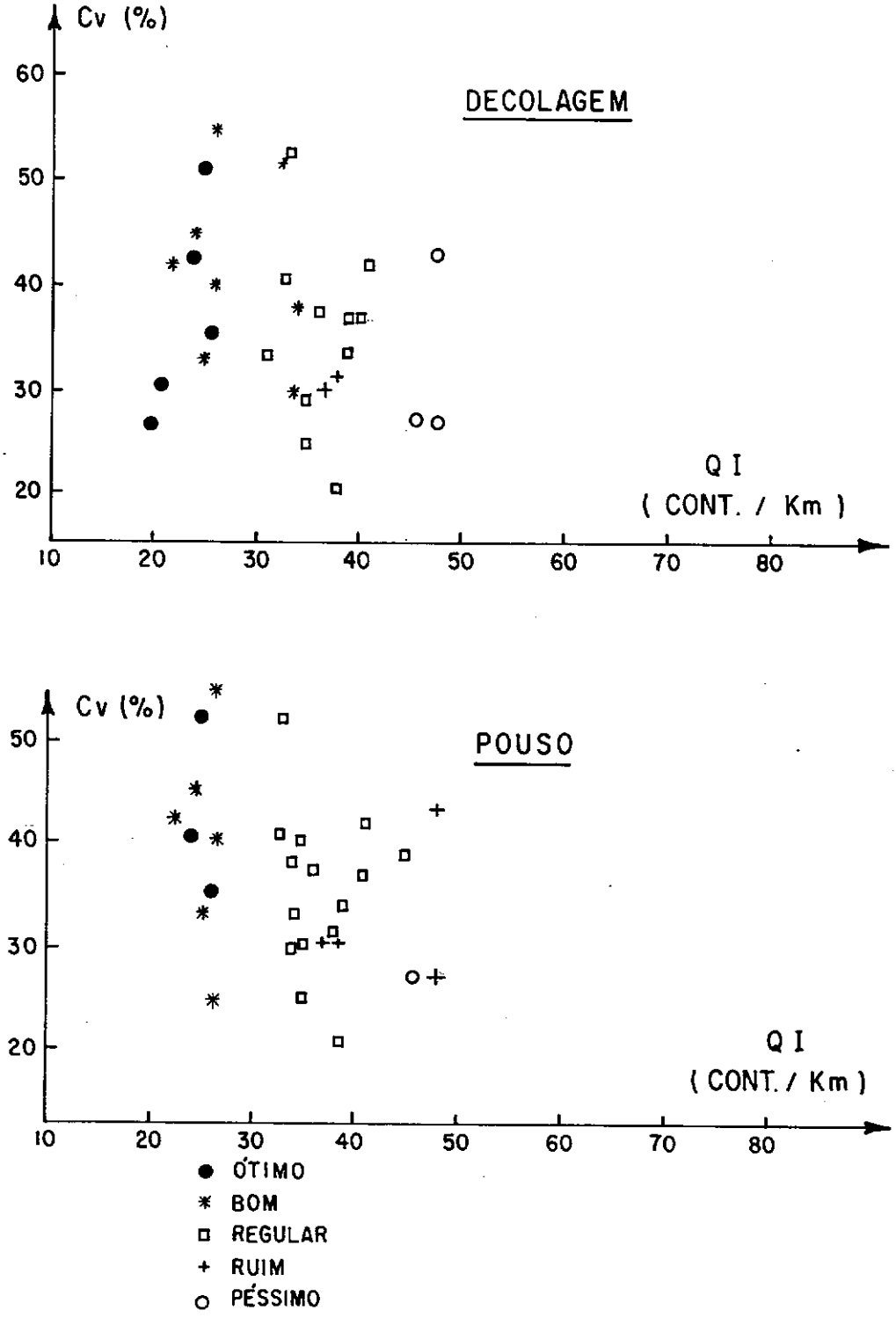
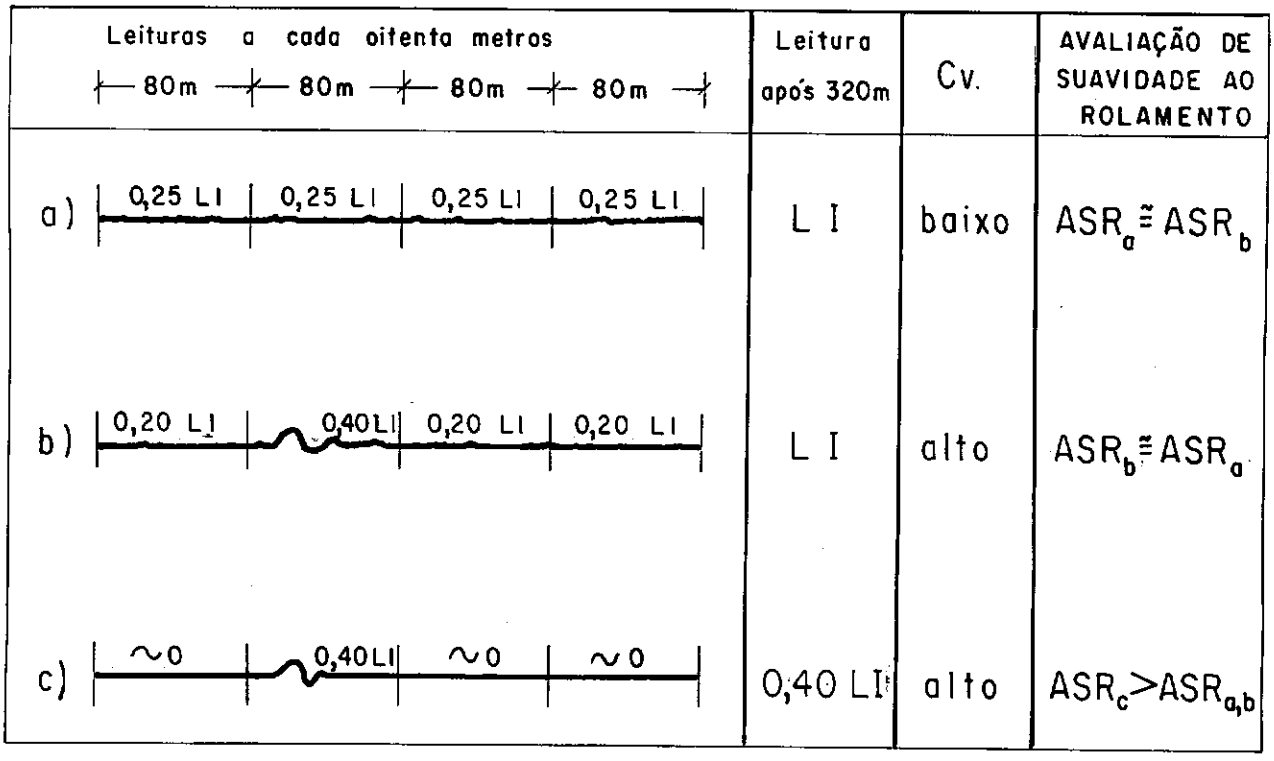


FIGURA VI.3.1.1

Avaliação subjetiva de pistas em função do Quociente de Irregularidade (QI) e do Coeficiente de Variação (Cv) das leituras



FIGURAS VI.3.1.2a, b, c

Relações entre avaliações de suavidade ao rolamento
e coeficientes de variação de leituras,
para diferentes tipos de resposta dinâmica do INTEGRADOR.

DE (QI) médios dos terços de pista, dados estes constantes do QUADRO (VI.3).

Em todos os casos estudados, as melhores correlações foram obtidas com regressão linear. Estas equações constam do QUADRO (VI.3.2.1) para os casos de interesse.

Dos cálculos estatísticos constou uma análise de resíduos que orientou a eliminação, com risco de 10%, de dados não significativos.

De um modo geral, os valores de coeficiente de determinação constantes do QUADRO (VI.3.2.1) refletem a confiabilidade das avaliações objetiva e subjetiva.

Se, por um lado, foram tomados todos os cuidados para as leituras do INTEGRADOR, por outro lado, as avaliações subjetivas foram afetadas, em especial, pela diversidade de aeronaves utilizadas e pelos diferentes tipos de manobra que

CASOS ESTUDADOS				EQUAÇÕES DE REGRESSÃO OBTIDAS	COEFICIENTES DE DETERMINAÇÃO (R^2)
D → decolagem P → pouso	TERÇO 1º	2º	3º		
1) D e P	x	x	x	ISR = 6,3282 - 0,1049 QI	0,74
2) D	x	x	x	ISR = 6,7641 - 0,1200 QI	0,77
3) P	x	x	x	ISR = 5,8907 - 0,0913 QI	0,75
4) D e P	x			ISR = 5,3731 - 0,0718 QI	0,59
5) D e P		x		ISR = 6,0430 - 0,0965 QI	0,74
6) D e P			x	ISR = 7,7552 - 0,1576 QI	0,91
7) D	x			ISR = 6,5308 - 0,1104 QI	0,73
8) D		x		ISR = 6,5747 - 0,1135 QI	0,76
9) D			x	ISR = 7,6630 - 0,1540 QI	0,94
10) P	x			ISR = 5,1741 - 0,0679 QI	0,72
11) P		x		ISR = 5,9895 - 0,0967 QI	0,84
12) P			x	ISR = 6,8681 - 0,1307 QI	0,73

QUADRO VI.3.2.1

Equações de regressão obtidas entre os Índices de Suavidade ao Rolamento (ISR) e o Quociente de Irregularidade (QI).

se processam nas operações de pouso e decolagem, conforme citado no Capítulo III, item III.2 .

Analisando-se o QUADRO (VI.3.2.1), e levando em conta, ainda, os aspectos relatados no item II.3 do Capítulo II, observa-se que:

a) os casos 1, 2 e 3 tratam da pista em toda a sua extensão;

b) os casos 4 a 12 tratam de cada terço da pista, em particular;

c) os casos 1, 4, 5 e 6 consideram, simultaneamente, as operações de pouso e decolagem;

d) os casos 2, 7, 8 e 9 consideram as operações de decolagem, em particular;

e) os casos 3, 10, 11 e 12 consideram as operações de pouso, em particular;

f) a melhor correlação foi obtida para o 3º terço, na decolagem, operação em que, por vezes, a aeronave nem utiliza tal terço. Este fato conduz à conclusão de que o valor do coeficiente de determinação encontrado (0,94) seria um tanto excessivo e de que a avaliação dos pilotos foi bastante influenciada psicofísica e esteticamente pelos terços de pista anteriores;

g) já no pouso, para o 3º terço, no qual, em geral, a aeronave já inicia o taxiamento em direção ao pátio de estacionamento, o coeficiente de determinação parece ter sido influenciado mais pela diversidade de aeronaves;

h) a pior correlação obtida foi para o 1º terço, em que se considerou, conjuntamente, operações de pouso e decolagem. A razão óbvia a que se pode atribuir este fato é quanto ao tipo de manobra executada neste terço na decolagem (corrida com aceleração), que é totalmente diferente da executada no pouso (toque a alta velocidade);

i) o 2º terço apresentou as melhores correlações para quaisquer condições de operação consideradas;

j) as equações de regressão obtidas para os casos 1, 2 e 3 parecem representar bem o estado geral das pistas;

l) cada terço de pista pode ser tratado de per si, em função da operação considerada.

VI.3.3 PADRÕES DE IRREGULARIDADE PARA SUPERFÍCIE DE PAVIMENTOS AEROPORTUÁRIOS

As equações de regressão obtidas no item VI.3.2 foram utilizadas para determinação de padrões de irregularidade de pistas de pouso e decolagem.

Considerando-se a pista como um todo, tem-se o QUADRO (VI.3.3.1), que relaciona as condições de CONFORTO E SUAVIDADE AO ROLAMENTO em função do quociente de irregularidade (QI) apresentado pela pista.

(Veja QUADRO VI.3.3.1, a seguir)

CONDIÇÃO DE CONFORTO E SUAVIDADE AO ROLAMENTO	ÍNDICE DE SUAVIDADE AO ROLAMENTO (ISR)	QUOCIENTE DE IRREGULARIDADE (QI) em cont / km		
		DECOLAGEM E POUSO	SÓ DECOLAGEM	SÓ POUSO
ÓTIMA	5 - 4	13 a 22	15 a 23	10 a 21
BOA	4 - 3	22 a 32	23 a 31	21 a 32
REGULAR	3 - 2	32 a 41	31 a 40	32 a 43
RUIM	2 - 1	41 a 51	40 a 48	43 a 54
PÉSSIMA	1 - 0	51 a 60	48 a 56	54 a 65

QUADRO VI.3.3.1

Padrões de irregularidade de pistas de pouso e decolagem em função do QUOCIENTE DE IRREGULARIDADE (QI).

Considerando-se cada terço de pista discriminadamente, obtêm-se os QUADROS (VI.3.3.2, VI.3.3.3 e VI.3.3.4).

CONDIÇÃO DE CONFORTO E SUAVIDADE AO ROLAMENTO	ÍNDICE DE SUAVIDADE AO ROLAMENTO (ISR)	QUOCIENTE DE IRREGULARIDADE (QI) em cont / km		
		DECOLAGEM E POUSO	SÓ DECOLAGEM	SÓ POUSO
ÓTIMA	5 - 4	6 a 19	14 a 23	3 a 17
BOA	4 - 3	19 a 33	23 a 32	17 a 32
REGULAR	3 - 2	33 a 47	32 a 41	32 a 47
RUIM	2 - 1	47 a 61	41 a 50	47 a 61
PÉSSIMA	1 - 0	61 a 75	50 a 59	61 a 76

QUADRO VI.3.3.2

Padrões de irregularidade de 1º terço de pistas de pouso e decolagem, em função do QUOCIENTE DE IRREGULARIDADE (QI).

CONDIÇÃO DE CONFORTO E SUAVIDADE AO ROLAMENTO	ÍNDICE DE SUAVIDADE AO ROLAMENTO (ISR)	QUOCIENTE DE IRRGULARIDADE (QI) em cont / km		
		DECOLAGEM E POUSO	SÓ DECOLAGEM	SÓ POUSO
ÓTIMA	5 - 4	11 a 21	14 a 23	10 a 21
BOA	4 - 3	21 a 32	23 a 31	21 a 31
REGULAR	3 - 2	32 a 42	31 a 40	31 a 41
RUIM	2 - 1	42 a 52	40 a 49	41 a 52
PÉSSIMA	1 - 0	52 a 63	49 a 58	52 a 62

QUADRO VI.3.3.3

Padrões de irregularidade de 2º terço de pistas de pouso e decolagem, em função do QUOCIENTE DE IRREGULARIDADE (QI).

CONDIÇÃO DE CONFORTO E SUAVIDADE AO ROLAMENTO	ÍNDICE DE SUAVIDADE AO ROLAMENTO (ISR)	QUOCIENTE DE IRREGULARIDADE (QI) em cont / km		
		DECOLAGEM E POUSO	SÓ DECOLAGEM	SÓ POUSO
ÓTIMA	5 - 4	18 a 24	17 a 24	14 a 22
BOA	4 - 3	24 a 30	24 a 30	22 a 30
REGULAR	3 - 2	30 a 37	30 a 37	30 a 37
RUIM	2 - 1	37 a 43	37 a 43	37 a 45
PÉSSIMA	1 - 0	43 a 49	43 a 50	45 a 52

QUADRO VI.3.3.4

Padrões de irregularidade de 3º terço de pistas de pouso e decolagem, em função do QUOCIENTE DE IRREGULARIDADE (QI).

A análise dos padrões de irregularidade descritos permite bem observar a influência do fator psicofísico nas avaliações subjetivas. Há um maior rigor, ao se considerar uma pista boa ou ótima, para o pouso do que para a decolagem. E, por outro lado, há uma maior tolerância, ao se considerar uma pista ruim ou péssima, para o pouso do que para a decolagem.

Em função dos padrões de irregularidade estabelecidos neste trabalho, têm-se os níveis de irregularidade das pistas, como um todo, no QUADRO (VI.3.3.5).

CONDIÇÃO DE CONFORTO E SUAVIDADE AO ROLAMENTO	PARA A OPERAÇÃO AÉREA EM GERAL (POUSO E DECOLAGEM)	PARA DECOLAGENS	PARA POUSOS
ÓTIMA	11/29 - Aracaju	11/29 - Aracaju	11/29 - Aracaju
BOA	12/30 - Maceió 05/23 - Vitória 16/34 - Confins BH 15/33 - Curitiba 10/28 - P.Alegre	12/30 - Maceió 05/23 - Vitória 16/34 - Confins BH 15/33 - Curitiba 10/28 - P.Alegre	12/30 - Maceió 05/23 - Vitória 16/34 - Confins BH 15/33 - Curitiba 10/28 - P.Alegre
REGULAR	06/24 - Belém 06/24 - São Luis 19/01 - Teresina 13/31 - Fortaleza 16L/34R - Natal 18/36 - Recife 10/28 - Salvador 14/32 - Florianóp.	06/24 - Belém 06/24 - São Luis 19/01 - Teresina 13/31 - Fortaleza 16L/34R - Natal 18/36 - Recife 10/28 - Salvador 14/32 - Florianóp.	06/24 - Belém 06/24 - São Luis 19/01 - Teresina 13/31 - Fortaleza 16L/34R - Natal 18/36 - Recife 10/28 - Salvador 14/32 -Florianóp.
RUIM	02/20 - Belém	02/20 - Belém	02/20 - Belém

QUADRO VI.3.3.5

Padrões de irregularidade
apresentados pelas pistas de aeroportos do Brasil.

Pelo QUADRO (VI.3.3.5), verifica-se que, no que diz respeito ao aspecto funcional, a pista 02/20 do Aeroporto Val de Cães, em Belém (PA), apresenta um nível de irregularidade abaixo da média, necessitando de uma restauração para que possa ser oferecida à operação aérea de jatos comerciais.

Poder-se-ia, portanto, estabelecer como limite indicativo da necessidade de restauração, o valor do Índice de Suavidade ao Rolamento (ISR) igual a 2, correspondente a uma avaliação de suavidade ao rolamento que passa de REGULAR para RUIM.

Analisando-se cada terço de pista medida, separadamente, ter-se-iam os seguintes terços de pista necessitando de restauração por apresentarem nível de irregularidade no limite de REGULAR para RUIM ou abaixo:

1º terço da pista 02/20 do Aeroporto de Belém, para a operação aérea em geral.
1º terço da pista 19/01 do Aeroporto de Teresina, para a decolagem.
1º terço da pista 18/36 do Aeroporto de Recife, para a decolagem.
2º terço da pista 02/20 do Aeroporto de Belém, para a operação aérea em geral.
3º terço das pistas 06/24 e 02/20 do Aeroporto de Belém, para a operação aérea em geral.
3º terço da pista 16L/34R do Aeroporto de Natal, para a operação aérea em geral.
3º terço da pista 10/28 do Aeroporto de Salvador, para operação aérea em geral.

* * *

CAPÍTULO VII

MODELOS DE PREVISÃO DE IRREGULARIDADE EM PAVIMENTOS AEROPORTUÁRIOS

Dentro da idéia atual de gerência de pavimentos, abordada por diversos autores, entre eles PHILLIPS(28) e LECLERC(29), e tendo em vista os modelos de desempenho obtidos por QUEIROZ(30)(31) para as rodovias, procurou-se neste trabalho reunir uma série de dados que permitissem desenvolver modelos próprios para pistas de aeroportos do Brasil. O enfoque foi dado ao aspecto da irregularidade, não se tendo preocupado nesta Tese com os problemas de evolução de trincamento ou desgaste.

Para tanto, foram levantados, em cada aeroporto, os dados relacionados no QUADRO (VII.1).

Relativamente a cada pista, foram considerados separadamente os trechos de estruturas de pavimentos diferentes, flexíveis ou compostos, ou, no caso de mesma estrutura ao longo de toda a pista, trechos de características bem definidas.

O tempo de exposição ao tráfego (I) é a idade que o pavimento possuía, quando das medições de irregularidade e de deflexão, desde a sua construção ou da última restauração conforme o caso.

O tráfego é expresso em termos de número de decolagens equivalentes do BOEING 727/200, determinado segundo o método da Federal Aviation Administration - FAA(32). Por esse método, a princípio, os números de decolagens das aeronaves são transformados, considerando-se que cada aeronave tenha o mesmo tipo de trem de pouso da aeronave de projeto. Os fatores de conversão são os que se seguem:

PARA CONVERTER Nºs DE DECOLAGENS DE AERONAVES DE → → →	EM Nºs DE DECOLAGENS DE AERONAVES DE → → → →	MULTIPLICAR POR
roda simples	roda dupla	0,8
roda simples	duplo tandem	0,5
roda dupla	duplo tandem	0,6
duplo duplo tandem	duplo tandem	1,0
duplo tandem	roda simples	2,0
duplo tandem	roda dupla	1,7
roda dupla	roda simples	1,3
duplo duplo tandem	roda dupla	1,7

A seguir, grupadas as decolagens com as aeronaves sob a mesma configuração de trem de pouso, a conversão para o número equivalente de decolagens da aeronave de projeto é obtida pela expressão:

$$\log R_1 = \log R_2 \left(\frac{W_1}{W_2} \right)^{1/2}$$

onde:

R_1 = nº equivalente de decolagens anuais da aeronave de projeto

R_2 = nº de decolagens anuais expresso em termos do trem de pouso da aeronave de projeto

W_1 = carregamento por roda da aeronave de projeto

W_2 = carregamento por roda da aeronave em questão

O QUADRO (VII.2) ilustra a determinação do número equivalente de decolagens anuais do BOEING 727/200 correspondente ao tráfego apresentado.

AEROPORTO	PISTA	TRECHO (terços)	IDADE (I) EM ANOS DESDE A CONSTRUÇÃO OU ÚLTIMA RESTAURAÇÃO ESTRUTURAL	DEFLEXÃO (D) MÉDIA (10^{-2} mm)	TRÁFEGO (N) — DECOLAGENS EQUIVALENTES DP BOEING 727-200	QI (cont/km)
Confins (BH) ----------	16/34	1º	1,6	26	3 136	26
		2º	1,6	23	3 136	25
		3º	1,6	21	3 136	24
Goiabeira (Vitória - ES) -----	05/23	total	6	15,1	5 154	24
2 de Julho (Salvador - BA) ---	10/28	1º e 2º	2	23,8	10 354	34,5
Santa Maria (Aracaju - SE) ---	11/29	1º e 2º	7	21	10 136	21
Cpo. dos Palmares (Maceió - AL) --	12/30	1º e 2º	7	21	13 146	26
Guararapes (Recife - PE) -----	18/36	1º	0,5	38,2	2 944	41
		2º	4	13,3	23 552	37
Castro Pinto (João Pessoa - PB) --	16/34	1º	3	21,6	1 557	32
		2º	4	32,8	2 076	29
Augusto Severo (Natal - RN) --	16L/34R	total	2	27,8	3 892	39
Teresina (PI) ----------	19/01	1º	7	29,7	13 223	41
		2º	7	22,4	13 223	35
Tirirical (São Luis - MA) ----	06/24	total	2	12,6	2 982	32,7
Val de Cães (Belém - PA) -----	06/24	total	3	13,6	7 365	38

QUADRO VII.1

Relação de características de pavimentos aeroportuários.

AERONAVE	TIPO TREM POUSO	Nº DECOLAGENS ANUAIS	Nº DECOLAGENS ANUAIS EM TERMOS DE RODA DUPLA	CARGA POR RODA (kg)	CARGA POR RODA DA AERONAVE DE PROJETO (kg)	Nº DECOLAGENS ANUAIS EQUIVALENTES DA AERONAVE DE PROJETO
BOEING 727 / 100 ----------	roda dupla	3 760	3 760	17 240	20 520	1 981
BOEING 727 / 200 ----------	roda dupla	9 080	9 080	20 520	20 520	9 080
BOEING 707 / 320 B ----------	duplo tandem	3 050	5 185	17 610	20 520	2 764
BOEING 737 / 300 ----------	roda dupla	2 650	2 650	12 440	20 520	463
Nº TOTAL DE DECOLAGENS EQUIVALENTES DA AERONAVE DE PROJETO →						14 198

QUADRO VII.2

Determinação do nº equivalente de decolagens do BOEING 727 / 200.

O tráfego anual calculado foi multiplicado pela idade do pavimento em anos, para que se obtivesse o número total acumulado de operações relacionado. Desta forma, não foi considerado o crescimento de tráfego aéreo, procedimento que pode ser admitido em razão da estabilidade de movimentos de aeronaves verificada nos últimos anos.

A deflexão foi medida com a viga Benkelman, em pontos distribuídos alternativamente ao longo da pista, sobre o seu eixo e a 3 m em ambos os lados, e com um caminhão pesando 8,2 t no eixo traseiro. Os valores de deflexão constantes do QUADRO (VII.1) são a média obtida para os diversos trechos de estrutura de pavimento discriminados.

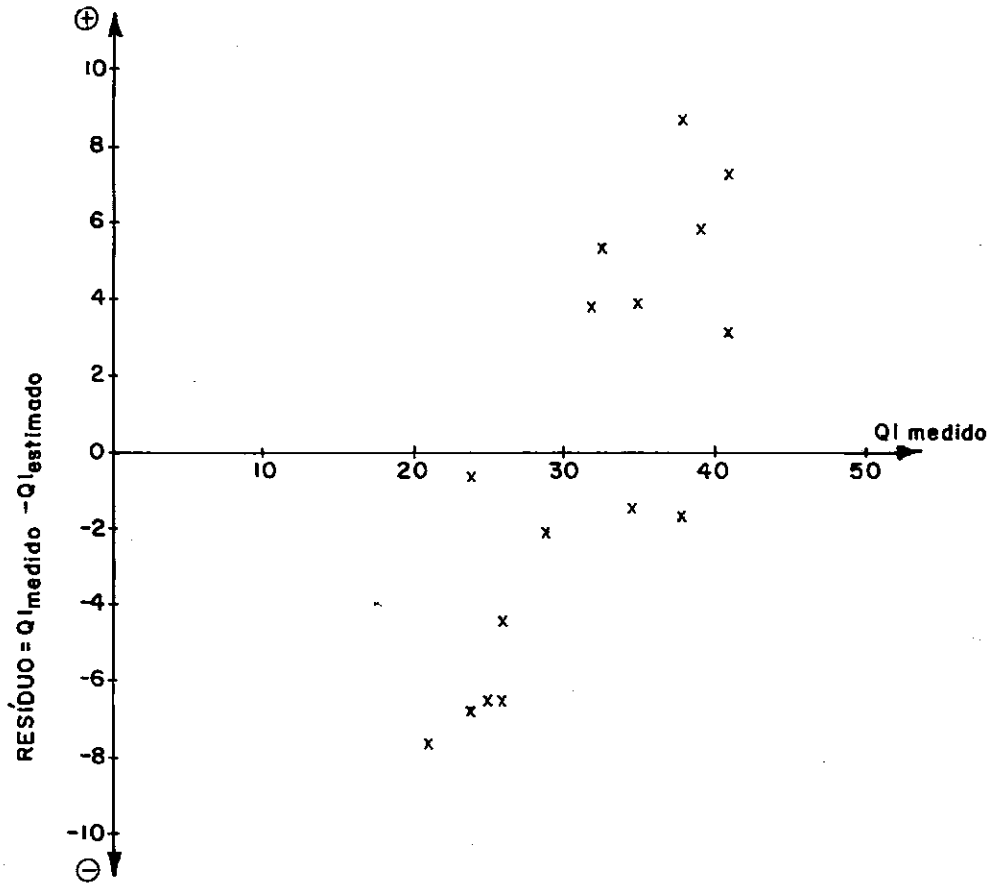
No QUADRO (VII.1), o Quociente de Irregularidade (QI) é o correspondente à média de cada trecho de interesse.

O tratamento estatístico destas variáveis conduziu a quatro modelos de previsão de irregularidade, representados pelas equações de regressão, constantes do QUADRO (VII.2).

1) $QI = 23{,}636 + 0{,}666.10^{-3}\ N + 0{,}338\ D - 1{,}2609.I$ $\Sigma\ (\text{resíduos})^2 = 451{,}852$ $\Sigma\ (\text{resíduos}) = 0{,}125$ $R^2 = 0{,}319$
2) $QI = 26{,}066 + 1{,}605.10^{-11}.D^{5{,}216}.N + 1{,}429.10^{-3}\ \frac{N}{I}$ $\Sigma\ (\text{resíduos})^2 = 375{,}49$ $\Sigma\ (\text{resíduos}) = 0{,}972$ $R^2 = 0{,}434$
3) $QI = 20\ [1 + 0{,}116.D^{0{,}567}\ \ell n\ (N + 1)]$ $\Sigma\ (\text{resíduos})^2 = 596{,}7$ $\Sigma\ (\text{resíduos}) = 0{,}234$ $R^2 < 0{,}101$
4) $QI = 20\ [1 + 8{,}795.10^{-3}\ D^{0{,}705}\ N^{0{,}230}]$ $\Sigma\ (\text{resíduos})^2 = 581{,}75$ $\Sigma\ (\text{resíduos}) = 1{,}36$ $R^2 < 0{,}127$

QUADRO VII.2

Modelos de previsão de irregularidade para pavimentos de pistas de pouso e decolagem.

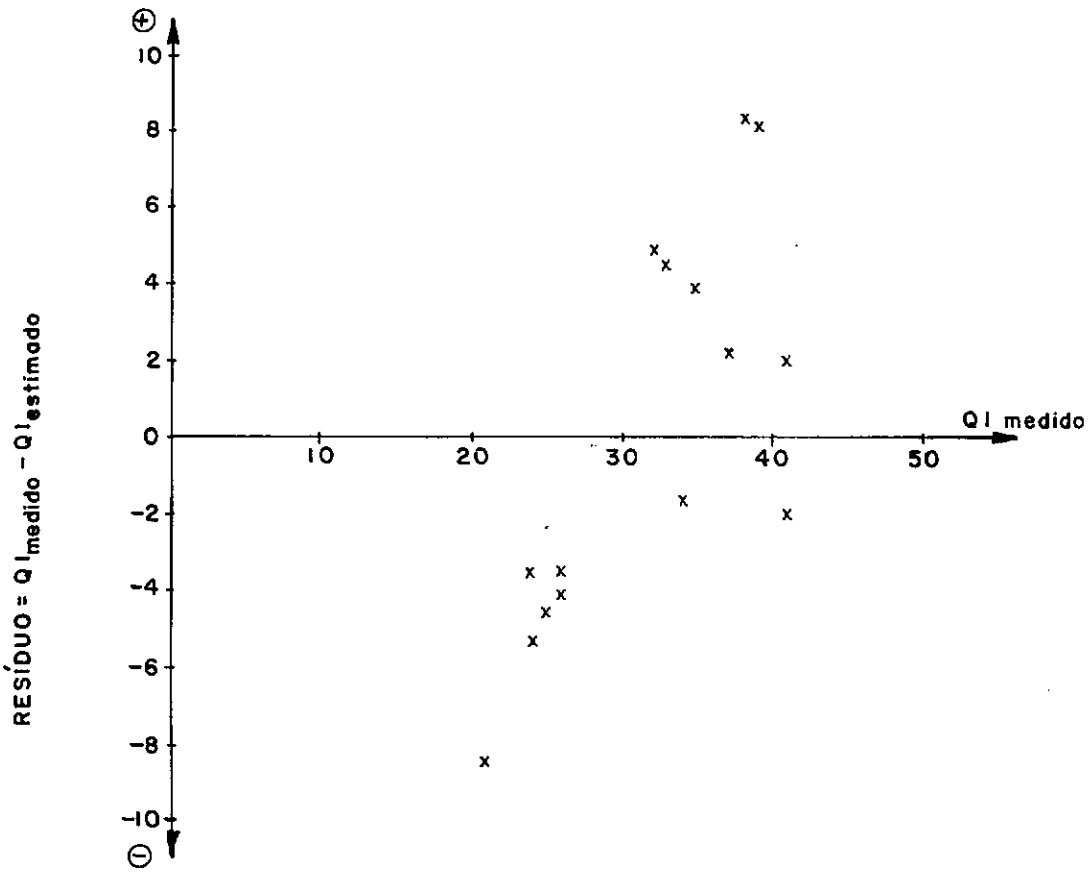


a) $QI_{EST} = 23{,}636 + 0{,}666 \cdot 10^{-3} \cdot N + 0{,}338 \cdot D - 1{,}2609 \cdot I$

AEROPORTO	PISTA	TRECHO	QI_{MEDIDO}	$QI_{ESTIMADO}$	RESÍDUO
CONFINS (BH)	16/34	1º terço	26	32,495	- 6,495
		2º terço	25	31,481	- 6,481
		3º terço	24	30,805	- 6,805
VITÓRIA (ES)	05/23	toda	24	24,607	- 0,607
SALVADOR (BA)	10/28	1º e 2º terços	34,5	36,054	- 1,554
ARACAJU (SE)	11/29	1º e 2º terços	21	28,658	- 7,658
MACEIÓ (AL)	12/30	1º e 2º terços	26	30,663	- 4,663
RECIFE (PE)	18/36	1º trecho	41	37,878	3,122
		2º trecho	37	38,773	- 1,773
JOÃO PESSOA (PB)	16/34	1º trecho	32	28,191	3,809
		2º trecho	29	31,061	- 2,061
NATAL (RN)	16L/34R	toda	39	33,103	5,897
TERESINA (PI)	19/01	1º trecho	41	33,655	7,345
		2º trecho	35	31,187	3,813
SÃO LUÍS (MA)	06/24	toda	32,7	27,359	5,341
BELÉM (PA)	06/24	toda	38	29,355	8,645

GRÁFICO VII.1.a

Resíduos de modelo de previsão de irregularidade em pistas de pouso.

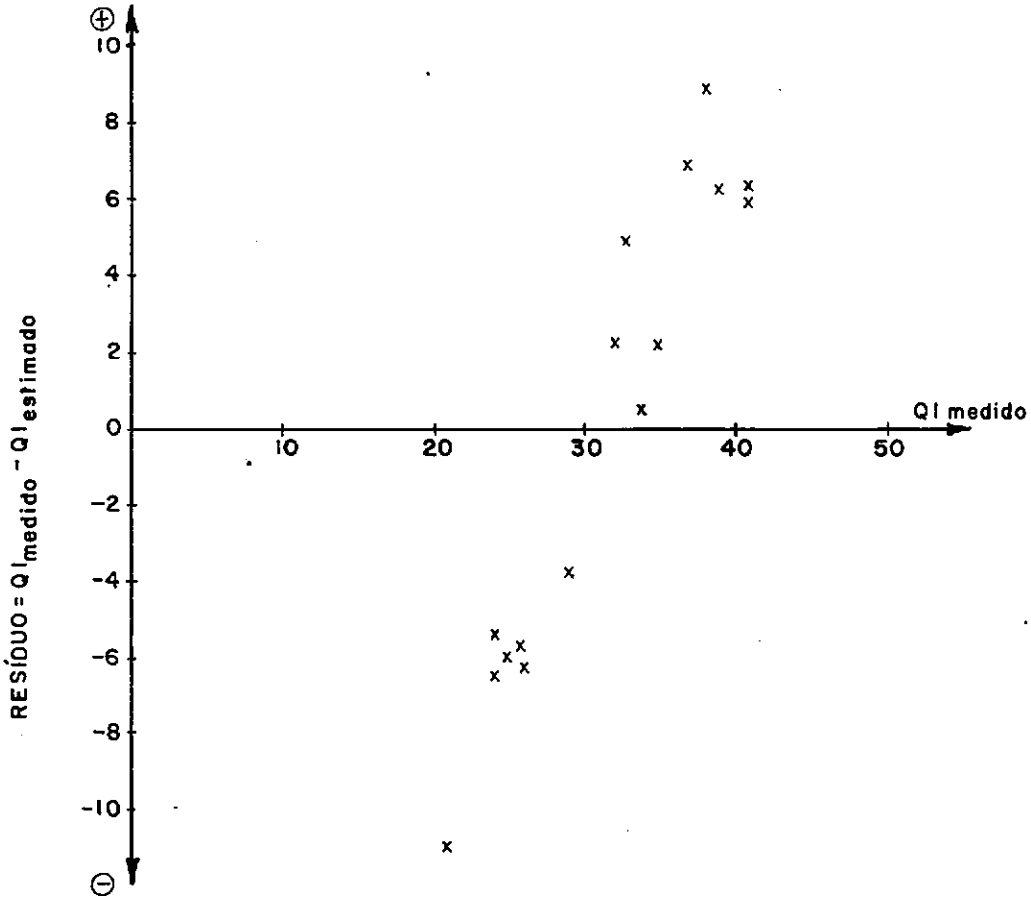


b) $QI_{EST} = 26{,}066 + 1{,}605 \cdot 10^{-11} \cdot D^{5{,}216} \cdot N + 1{,}429 \cdot 10^{-3} - \frac{N}{I}$

AEROPORTO	PISTA	TRECHO	QI_{MEDIDO}	$QI_{ESTIMADO}$	RESÍDUO
CONFINS (BH)	16/34	1º terço	26	30,076	- 4,076
		2º terço	25	29,505	- 4,505
		3º terço	24	29,264	- 5,264
VITÓRIA (ES)	05/23	toda	24	27,410	- 3,410
SALVADOR (BA)	10/28	1º e 2º terços	34,5	35,981	- 1,481
ARACAJU (SE)	11/29	1º e 2º terços	21	29,418	- 8,418
MACEIÓ (AL)	12/30	1º e 2º terços	26	29,421	- 3,421
RECIFE (PE)	18/36	1º trecho	41	42,922	- 1,922
		2º trecho	37	34,755	2,245
JOÃO PESSOA (PB)	16/34	1º trecho	32	27,036	4,964
		2º trecho	29	29,496	- 0,496
NATAL (RN)	16L/34R	toda	39	30,974	8,026
TERESINA (PI)	19/01	1º trecho	41	38,968	2,032
		2º trecho	35	31,108	3,892
SÃO LUÍS (MA)	06/24	toda	32,7	28,223	4,477
BELÉM (PA)	06/24	toda	38	29,671	8,329

GRÁFICO VII.1.b

Resíduos de modelo de previsão de irregularidade em pistas de pouso.

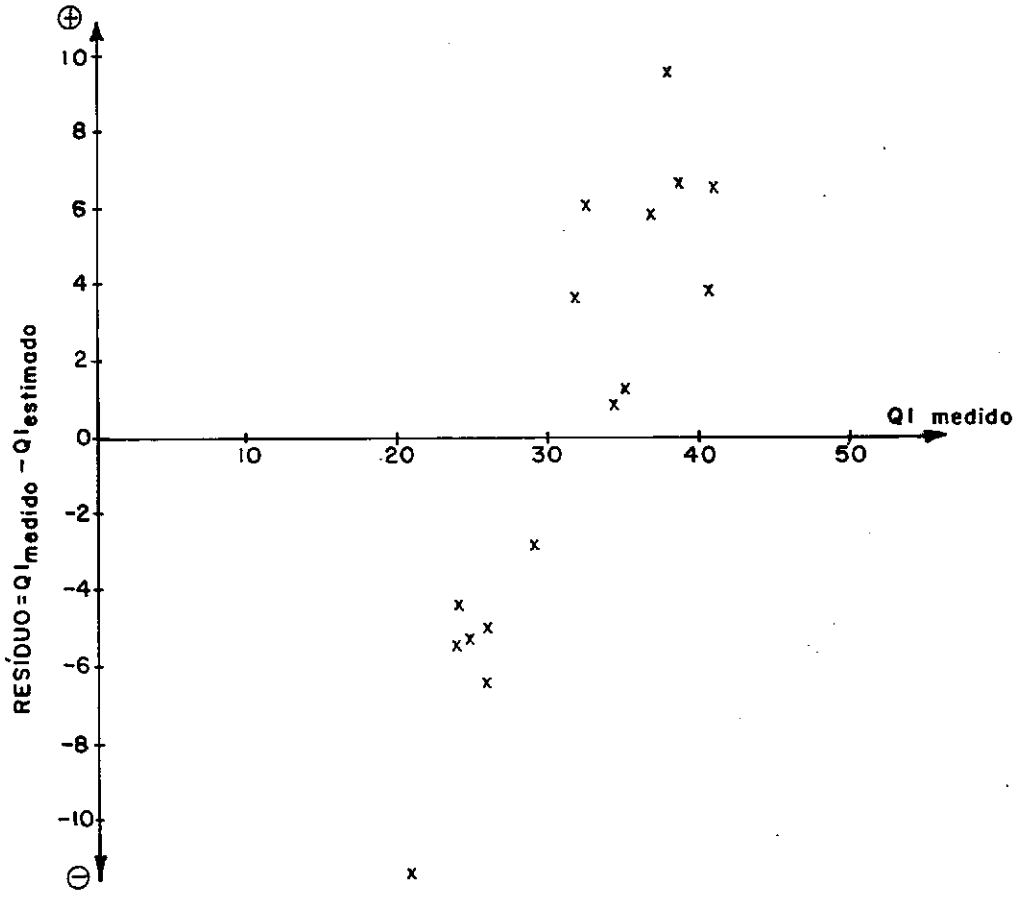


c) $QI_{EST} = 20\,[\,1 + 0{,}0116 \cdot D^{0{,}567} \cdot \ell n\,(N + 1)\,]$

AEROPORTO	PISTA	TRECHO	QI_{MEDIDO}	$QI_{ESTIMADO}$	RESÍDUO
CONFINS (BH)	16/34	1º terço	26	31,848	- 5,848
		2º terço	25	31,052	- 6,052
		3º terço	24	30,496	- 6,496
VITÓRIA (ES)	05/23	toda	24	29,243	- 5,243
SALVADOR (BA)	10/28	1º e 2º terços	34,5	32,940	1,560
ARACAJU (SE)	11/29	1º e 2º terços	21	32,025	-11,025
MACEIÓ (AL)	12/30	1º e 2º terços	26	32,364	- 6,364
RECIFE (PE)	18/36	1º trecho	41	34,620	6,380
		2º trecho	37	30,130	6,870
JOÃO PESSOA (PB)	16/34	1º trecho	32	29,738	2,262
		2º trecho	29	32,824	- 3,824
NATAL (RN)	16L/34R	toda	39	32,636	6,364
TERESINA (PI)	19/01	1º trecho	41	35,059	5,941
		2º trecho	35	32,833	2,167
SÃO LUÍS (MA)	06/24	toda	32,7	27,808	4,892
BELÉM (PA)	06/24	toda	38	29,074	8,926

GRÁFICO VII.1.c

Resíduos de modelo de previsão de irregularidade em pistas de pouso.



d) $QI_{EST} = 20\ [\ 1 + 8{,}795 \cdot 10^{-3} \cdot D^{0{,}705} \cdot N^{0{,}230}\ ]$

AEROPORTO	PISTA	TRECHO	QI_{MEDIDO}	$QI_{ESTIMADO}$	RESÍDUO
CONFINS (BH)	16/34	1º terço	26	31,143	- 5,143
		2º terço	25	30,220	- 5,220
		3º terço	24	29,576	- 5,576
VITÓRIA (ES)	05/23	toda	24	28,516	- 4,516
SALVADOR (BA)	10/28	1º e 2º terços	34,5	33,779	0,946
ARACAJU (SE)	11/29	1º e 2º terços	21	32,554	- 11,554
MACEIÓ (AL)	12/30	1º e 2º terços	26	32,557	- 6,557
RECIFE (PE)	18/36	1º trecho	41	34,404	6,596
		2º trecho	37	31,045	5,955
JOÃO PESSOA (PB)	16/34	1º trecho	32	28,323	3,677
		2º trecho	29	31,938	- 2,938
NATAL (RN)	16L/34R	toda	39	32,276	6,724
TERESINA (PI)	19/01	1º trecho	41	37,040	3,960
		2º trecho	35	33,967	1,033
SÃO LUÍS (MA)	06/24	toda	32,7	26,609	6,091
BELÉM (PA)	06/24	toda	38	28,587	9,413

GRÁFICO VII.1.d

Resíduos de modelo de previsão de irregularidade em pistas de pouso.

Para análise destes modelos, foram plotados os gráficos (VII.1.**a**, **b**, **c** e **d**) relativos, respectivamente, aos modelos 1, 2, 3 e 4 do QUADRO (VII.2).

Apesar de nenhum dos modelos representar satisfatoriamente a evolução da irregularidade, poderiam ser aplicados, do ponto de vista de engenharia, embora com reservas, tendo o segundo modelo apresentado a melhor correlação.

Em todos os casos,para irregularidades pequenas, são estimados, em geral, valores de QI maiores que os observados. E, para irregularidades grandes são estimados valores de QI menores que os medidos.

Portanto, ciente das nuances presentes em cada modelo, a irregularidade futura de uma certa pista de pouso poderia ser prevista, ainda que em caráter precário, utilizando-se o resíduo correspondente como uma parcela ΔQI a ser acrescida no segundo membro da equação que descreve o modelo. Tal procedimento é adotado no projeto de norma DNER - PRO 159/85 (33), para Reforço e Restauração de Pavimentos Rodoviários.

A FIGURA VII.1 ilustra a idéia da aplicaçãodo ΔQI.

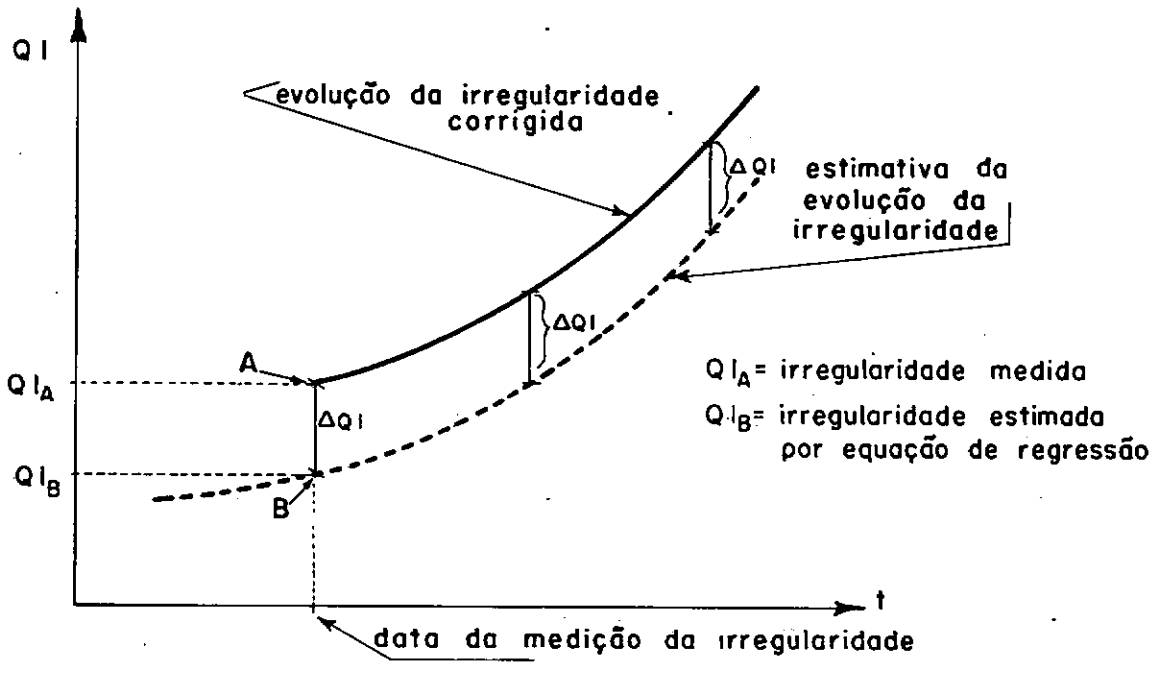


FIGURA VII.1

Previsão de evolução de irregularidade através da diferença entre valores de QI medidos e estimados.

Assim, adotando o segundo modelo de previsão encontrado, pode-se estabelecer a EQUAÇÃO (VII-a) para a previsão de irregularidade em pavimentos de pistas de pouso, revestidas em concreto asfáltico.

$$QI_A = 26{,}066 + 1{,}605\times10^{-11} \cdot D_E^{5{,}216} \cdot N_A + 1{,}429\times10^{-3} \cdot \frac{N_A}{I_A} + \Delta QI$$

(EQUAÇÃO VII.1)

onde:

QI_A = quociente de irregularidade em contagens / km do pavimento existente, atualizado à época futura de interesse

D_E = deflexão característica de campo (0,01 mm)

N_A = tráfego acumulado, em termos de números de decolagens equivalentes de BOEING 727 / 200, na época futura desejada, desde a construção ou última restauração do pavimento, conforme o caso

I_A = idade em anos do pavimento existente, desde sua construção ou última restauração, conforme o caso, na época futura de interesse

$$\Delta QI = QI_E - (26{,}066 + 1{,}605\times10^{-11} \cdot D_E^{5{,}216} \cdot N_E + 1{,}429 \cdot 10^{-3} \frac{N_E}{I_E})$$

onde: QI_E = quociente de irregularidade em contagens / km do pavimento existente à época do levantamento de dados

D_E = deflexão característica de campo (10^{-2} mm)

N_E = tráfego acumulado, em termos de número de decolagens equivalentes de BOEING 727 / 200, na época do levantamento de dados, desde a construção ou última restauração do pavimento, conforme o caso

I_E = idade em anos do pavimento existente, à época do levantamento de dados

Logo, dispondo-se de um modelo de crescimento de tráfego aéreo, para uma determinada pista de aeroporto, a condição de conforto e suavidade ao rolamento de qualquer de seus trechos, ou terços, em um certo tempo pode ser estimada comparando-se o valor obtido através da aplicação da EQUAÇÃO (VII. 1) com os padrões de irregularidade de pistas de pouso apresentados nos QUADROS (VI.3.3.1, VI.3.3.2, VI.3.3.3 e VI.3.3.4 conforme a operação aérea em análise. Para a utilização da EQUAÇÃO (VII.1) é necessário, pois, um levantamento da pista a ser avaliada, que forneça dados de irregularidade com o INTEGRADOR IPR / USP, de capacidade estrutural do pavimento, representada pela deflexão obtida com a viga Benkelman, e do tráfego aéreo que opera na pista desde sua construção ou restauração.

* * *

CAPÍTULO VIII

CONCLUSÕES, LIMITAÇÕES E SUGESTÕES

VIII.1 QUANTO À METODOLOGIA DE MEDIÇÃO

No estabelecimento de uma metodologia para medição de irregularidade de uma pista de pouso, foram essenciais, a princípio, as observações citadas no Capítulo II, item II.3, e que se referem resumidamente a:

a) as acelerações verticais das aeronaves são muito maiores no compartimento do piloto que no centro de gravidade da aeronave;
b) 75% das operações aéreas se processam na faixa central de 8 m de pista (HOSANG - 18);
c) os problemas devidos à irregularidade ocorrem mais na região de alta velocidade de decolagem e, ocasionalmente, durante a fase inicial do pouso.

O INTEGRADOR IPR / USP mostrou-se perfeitamente aplicável, com as vantagens de um equipamento do tipo-resposta que possui:

a) simplicidade de funcionamento, exposta com detalhes no Capítulo IV, item IV.1;
b) baixo custo;
c) alta velocidade de operação, extremamente desejável no caso de pistas de pouso e decolagem .

No que diz respeito aos pequenos defeitos apresentados pelo aparelho, referidos no Capítulo IV, item IV.1, sugere-se a substituição do cano interno que une a mola ao cursor por material de nâilon, do tipo usado em pranchetas de desenho, e o aprimoramento do sistema de fixação do cabo externo ao diferencial do veículo em que o INTEGRADOR IPR / USP é instalado.

Em face da necessidade de calibração que os medidores do tipo-resposta exigem, foi efetuado um controle das leituras fornecidas pelo INTEGRADOR após sua utilização nos aero-

portos do sul do país. As leituras de irregularidade de três trechos de calibração apresentaram ótima repetição.

Além disso, foi também excelente a correlação obtida (R^2 = 0,94) entre as Leituras de Irregularidade (LI) e os Quocientes de Irregularidade (QI) dos trechos de calibração.

Levando-se em conta as considerações quanto à flexibilidade de utilização do aparelho e as relativas à análise de suas leituras em vista do conforto e suavidade ao rolamento de aeronaves, sugere-se o seguinte procedimento para medições objetivas de irregularidade em pistas de pouso e decolagem de aeroportos:

a) medições em 3 linhas longitudinais ao longo da pista — sobre o eixo e a cerca de 3 ou 4 m de cada lado do eixo;
b) é suficiente, apenas, um sentido de percurso para a obtenção de leituras de irregularidade;
c) velocidade de percurso de 65 km/h (deve ser a mesma utilizada na calibração do equipamento);
d) deve-se efetuar leituras a cada 80 m de percurso, o que proporciona um bom número de dados para cálculo de médias estatísticas e permite, inclusive, a identificação de trechos de irregularidade elevada, caracteristicamente definidos através de simples exame das fichas de leitura.

É importante salientar que uma dificuldade encontrada nos trabalhos é a execução das tarefas sem interrupção das operações aéreas, de grande importância social e comercial. Tal dificuldade exige a utilização de equipamento de comunicação permanentemente em contato com a torre de controle de tráfego aéreo, sendo necessário, em alguns lugares, o trabalho noturno, quando então a freqüência de operações aéreas é menor.

VIII.2 QUANTO À ANÁLISE DAS AVALIAÇÕES OBJETIVA E SUBJETIVA

Qualquer trecho de uma pista de pouso e decolagem pode ter sua irregularidade expressa em termos de QI (contagens / km) e não necessariamente os terços de pista, conforme aqui analiasados. O importante, do ponto de vista funcional, é a condição de conforto e suavidade ao rolamento que o trecho em questão propicia.

Da mesma forma, toda a pista ou seus terços podem ser analisados, considerando-se especificamente operações de decolagem e/ou de pouso.

As leituras médias dos trechos de pavimento em estudo é que determinaram sua irregularidade. Falhas localizadas são normalmente apenas referidas nas avaliações subjetivas e detectadas nas avaliações objetivas. Porém, seus reparos são relativamente de pequeno valor e podem ser incluídos entre as atividades correntes de manutenção das pistas.

A escassez de avaliações subjetivas, no caso de alguns aeroportos, não permitiu um julgamento mais confiável a respeito da irregularidade de suas pistas. Apesar disso, tais dados foram utilizados neste trabalho.

Quanto à ficha de avaliação subjetiva, sugere-se, para estudos futuros, a utilização de modelo semelhante ao apresentado por NAIR *et al* (27) - ver FIGURA (VII.2.1). Assim, o grau correspondente a uma determinada avaliação poderá ser melhor definido.

A análise comparativa entre as avaliações subjetivas e objetivas foi afetada pela variedade de aeronaves e manobras consideradas. Entretanto, as equações de regressão obtidas já permitem o julgamento da SERVENTIA dos pavimentos às operações aéreas.

VIII.3 QUANTO AOS NÍVEIS DE IRREGULARIDADE EM PISTAS DE AEROPORTOS

Foram estabelecidos níveis de irregularidade correspondentes às diferentes condições de conforto e suavidade ao rolamento que as pistas oferecem às operações aéreas de jatos comerciais.

O QUADRO (VI.3.3.1) relaciona, de uma forma geral, as faixas de valores de Quociente de Irregularidade (QI) referentes a cada nível de serventia.

Considerando-se um Índice de Suavidade ao Rolamento (ISR) igual a 2 como limite admissível da irregularidade de pavimentos aeroportuários, significando uma SERVENTIA que passa de regular para ruim, pode-se adotar o valor de QI igual a

41 contagens / km como indicativo da necessidade de restauração. Por outro lado, um QI = 24 cont / km poderia ser adotado como o valor máximo de irregularidade admissível, logo após construções ou restaurações.

Nas operações de pouso são maiores o rigor e a tolerância ao se considerar uma pista boa ou ruim, respectivamente.

A escala do Quociente de Irregularidade mostrou-se bastante aplicável, em especial para as avaliações a nível de rede.

VIII.4 QUANTO AOS MODELOS DE PREVISÃO DE IRREGULARIDADE

Todos os modelos de previsão de irregularidade apresentaram-se pouco significativos. Entretanto, podem ser aplicados, embora com reservas, para se obter uma estimativa do QI que, comparado aos padrões de irregularidade, permitirá o julgamento da condição futura de suavidade ao rolamento das aeronaves.

Sugere-se, para o aprimoramento dos modelos, a repetição sistemática das atividades de gerência de pavimentos, incluindo aeroportos em piores condições. Novas leituras de irregularidade proporcionarão uma série histórica que permitirá obter melhores modelos de previsão.

*****
****
***
**
*

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1 - GUIDA, H. N., Camada Porosa de Atrito. In: REUNIÃO ANUAL DE PAVIMENTAÇÃO, 19ª, Rio de Janeiro, 1984. Anais... Rio de Janeiro, Associação Brasileira de Pavimentação, 1984, V.2, p.347 - 359.

2 - MARTINS DA SILVA, A., Atrito em Pistas Molhadas. In: REUNIÃO ANUAL DE PAVIMENTAÇÃO, 19ª, Rio de Janeiro, 1984. Anais... Rio de Janeiro, Associação Brasileira de Pavimentação, 1984, V.2, p.289-304.

3 - FERRARI, N. A., Medição de Atrito e Análise dos Resultados. In: REUNIÃO ANUAL DE PAVIMENTAÇÃO, 19ª, Rio de Janeiro, 1984. Anais... Rio de Janeiro, Associação Brasileira de Pavimentação, 1984, V.2, p.305 - 316.

4 - QUEIROZ, B. N., Equipamentos de Medida de Atrito e Textura Superficial. In: REUNIÃO ANUAL DE PAVIMENTAÇÃO, 19ª, Rio de Janeiro, 1984. Anais... Rio de Janeiro, Associação Brasileira de Pavimentação, 1984, V.2, p.317 - 336.

5 - MESQUITA, F. M. F., Remoção de Borracha em Pistas de Aeroportos. In: REUNIÃO ANUAL DE PAVIMENTAÇÃO, 19ª, Rio de Janeiro, 1984. Anais... Rio de Janeiro, Associação Brasileira de Pavimentação, 1984, V.2, p.337 - 346.

6 - QUEIROZ, C. A. V., Medições de Irregularidade na Pista de Pouso e Decolagem do Aeroporto Internacional de Brasília. Brasília, MT/GEIPOT, 1979. 23p. (Nota Técnica nº 003/79).

7 - CARDOSO, S. H., Estudo de Irregularidades de Superfície das Pistas de Pouso e dos Aeródromos Militares. Rio de Janeiro, COPPE / UFRJ, 1982. 158p. Tese (M. Sc.) - Universidade Federal do Rio de Janeiro, Centro de Tecnologia, Coordenação dos Programas de Pós-graduação em Engenharia, Rio de Janeiro, 1982.

8 - QUEIROZ, C. A. V., Aplicação de Sistemas Gerenciais de Pavimentos a uma Rede de Aeroportos. In: REUNIÃO ANUAL DE PAVIMENTAÇÃO, 20ª, Fortaleza, 1985. Anais... Fortaleza, Associação Brasileira de Pavimentação, 1985, V.2, p.615 - 625.

9 - HOUBOLT, J. C., Runway Roughness Studies in the Aeronautical F i e l d. Journal of teh Air Transport Division, 86 (ATI): 11 - 31, March 1961.

10 - YANG, N. C., Design of Functional Pavements. New York, Mc Graw - Hill Book Company, 1972.

11 - MORRIS, G. J., Response of a Jet Trainer Aircraft of Three Runways. s.l., NASA, 1964 (Technical Note D-2203).

12 - MORRIS, G. J., Response of a Turbojet and a Piston Engine Transport Airplane to Runway Roughness. s.l., NASA, 1965 (Technical Note D-3161).

13 - LEE, H. R. & SCHEFFEL, L., Runway Roughness Effects on New Aircraft Types. Journal of the Aero-Space Transport Division, A S C E, 94 (AT 1): 01-17, November 1968.

14 - HOUBOLT, J. C., WALLS, J. A. & SMILEY, R. F., On Spectral Analysis of Runway Roughness and Loads developed during Taxiing. s.l., NASA, 1955 (Technical Note 34 84).

15 - YANG, N. C., Nondestructive Evaluation of Airport Pavements; program references. Washington, Federal Aviation Administration, 1979, V.1 (Report nº FAA - RD - 78 - 154 I).

16 - MORRIS, G. J. & HALL, A. W., Recent Studies of Runway Roughness. s.l., NASA, 1965 (SP - 83).

17 - MORRIS, G. J. & STICKLE, J. W., Response of a Ligth Airplane to Roughness of Unpaved Runways. s.l., NASA, 1960. (Technical Note D - 510).

18 - HOSANG, J. C., Field Survey and Analysis of Aircraft Distribution on Airport Pavements. Springfield, Federal Aviation Administration, NTIS, 1975 (FAA, AD - A011 488).

19 - JANEFF, M. S., Pavement Roughness an Rideability; a State-of-the-Art Revew. Transportation Engineering Journal of ASCE, 108 (TE6): 662-675, November 1982.

20 - WAMBOLD, J. C., et al, The State of the Art of Measurement and Analysis of Road Roughness. Washington D. C., Transportation Research Board Meeting, 1980.

21 - YODER, E. J. & WITCZAK, M. W., Principles of Pavement Design. 2nd ed., New York, Wiley Interscience Publ., 1975, 697p.

22 - SONNENBURG, P. N., Analysis of Airfield Runway Roughness Criteria. Washington, U. S. Department of Transportation, Federal Aviation Administration, 1976 (Report nº FAA - RD - 75 - 110).

23 - ICAO - INTERNATIONAL CIVIL AVIATION ORGANIZATION, Aerodrome Desing Manual; Pavements. Montreal, ICAO, 1977, cap. 3, p.53 - 57 (Doc. 9157 - AN / 901 - Part. 3: Pavements).

24 - DOMINGUES, F. A. A. & QUEIROZ, C. A. V., O Integrador IPR / USP para medição de irregularidade de estradas e aeroportos. In: REUNIÃO ANUAL DE PAVIMENTAÇÃO, 20ª, Fortaleza, 1985. Anais... Fortaleza, Associação Brasileira de Pavimentação, 1985, V.1, p. 255 - 268.

25 - QUEIROZ, C. A. V., Calibrating Response - Type Roughness Measurement Systems through Rod-and-level Profiles. Washington, Transportation Rescarch Record, s.d., p.181 - 188 (TRR, 898).

26 - SAYERS, M. W., GILLESPIE, T. D. & QUEIROZ, C. A. V., The International Road Roughness Experiment Establishing Correlation and a Calibration Standard for Measurement. Washington, The World Bank, 1986 (World Bank Technical Paper, 45).

27 - NAIR, S. K. et al. Realistic Pavement Serviceability Equations using the 690 D Surface Dynamics Profilometer. Austin, Center for Transportation Rescarch, 1985, 238p. (Research Report 354-1F).

28 - PHILLIPS, D. K., Pavement Management; National Perspective. In: TRI-REGIONAL PAVEMENT MANAGEMENT WORKSHOP, Atlanta, 1983. Report... Atlanta, Federal Highway Administration, 1983, p.3-8 (Report nº FHWA-T9-83-207).

29 - LECLERC, R. V., Pavement Management - "Why" & "How". In: TRIREGIONAL PAVEMENT MANAGEMENT WORKSHOP, Atlanta, 1983. Report... Atlanta, Federal Highway Administration, 1983, p.9-23 (Report nº FHWA-TS-83-207).

30 - QUEIROZ, C. A. V., Modelos de Desempenho de Pavimentos; Desenvolvimento e Aplicação. Rio de Janeiro, DNER / IPR, 1982, 63p. (IPR, publicação 692).

31 - QUEIROZ, C. A. V., Modelos de Previsão de Desempenho para a Gerência de Pavimentos no Brasil. Brasília, GEIPOT, 1984. 366p.

32 - F. A. A. - U. S. Department of Transportation, Projeto e Avaliação de Pavimentos de Aeroportos. Washington, Federal Aviation Administration, 1978, 230p. (AC 150/5320-6C).

33 - D.N.E.R./MT, Projeto de Restauração de Pavimentos Flexíveis e Semi-rígidos; procedimentos. Brasília, MT/DNER, 1985, 43p. (Projeto DNER / PRO 159 / 85).

PERFIS DE TRECHOS DE CALIBRAÇÃO

DO INTEGRADOR IPR/USP

COM RESPECTIVOS VALORES DE

QUOCIENTE DE IRREGULARIDADE (QI)

A P Ê N D I C E "A"

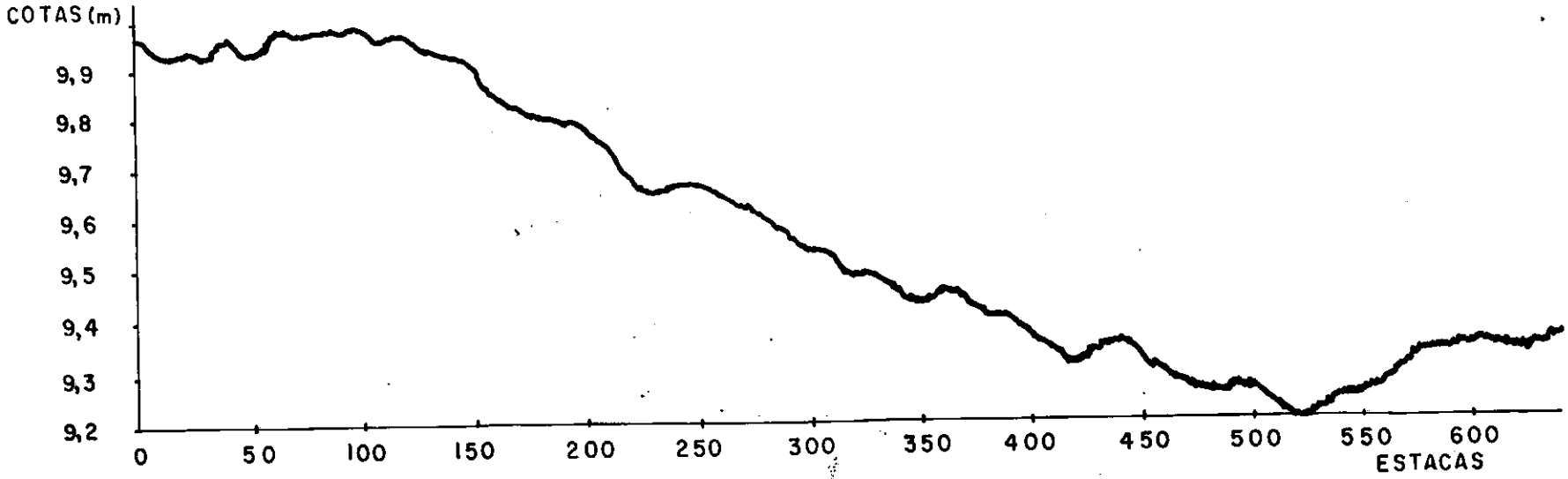
TRECHO : 01

TRILHA : Externa

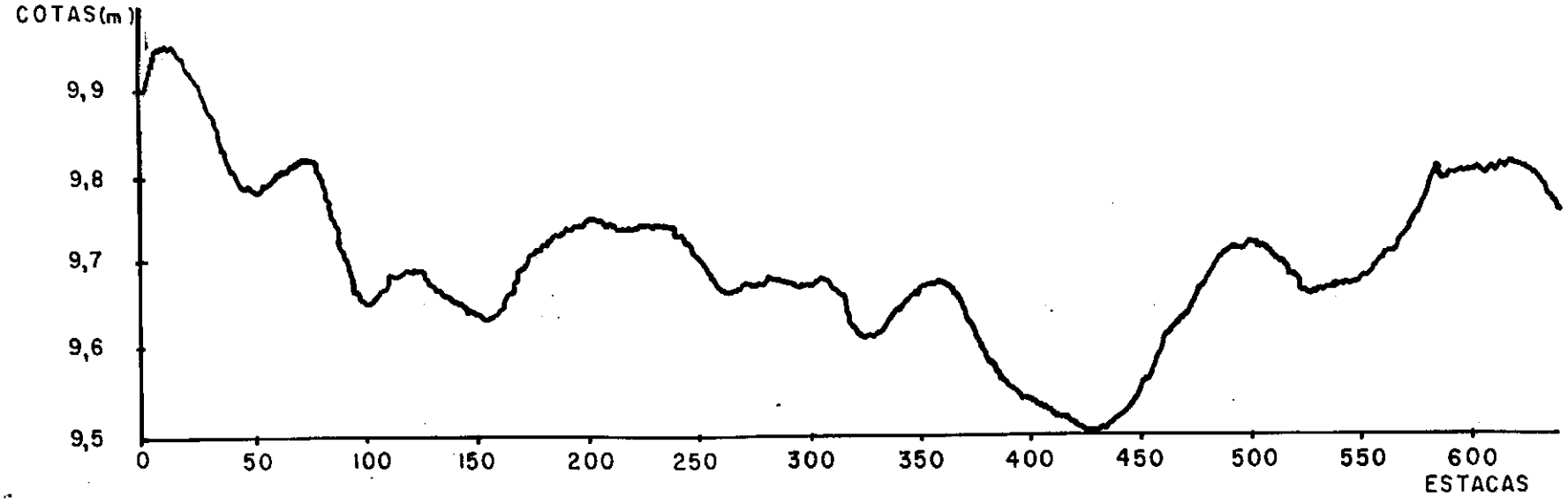
DATA : 23/04/85

QI = 64,79

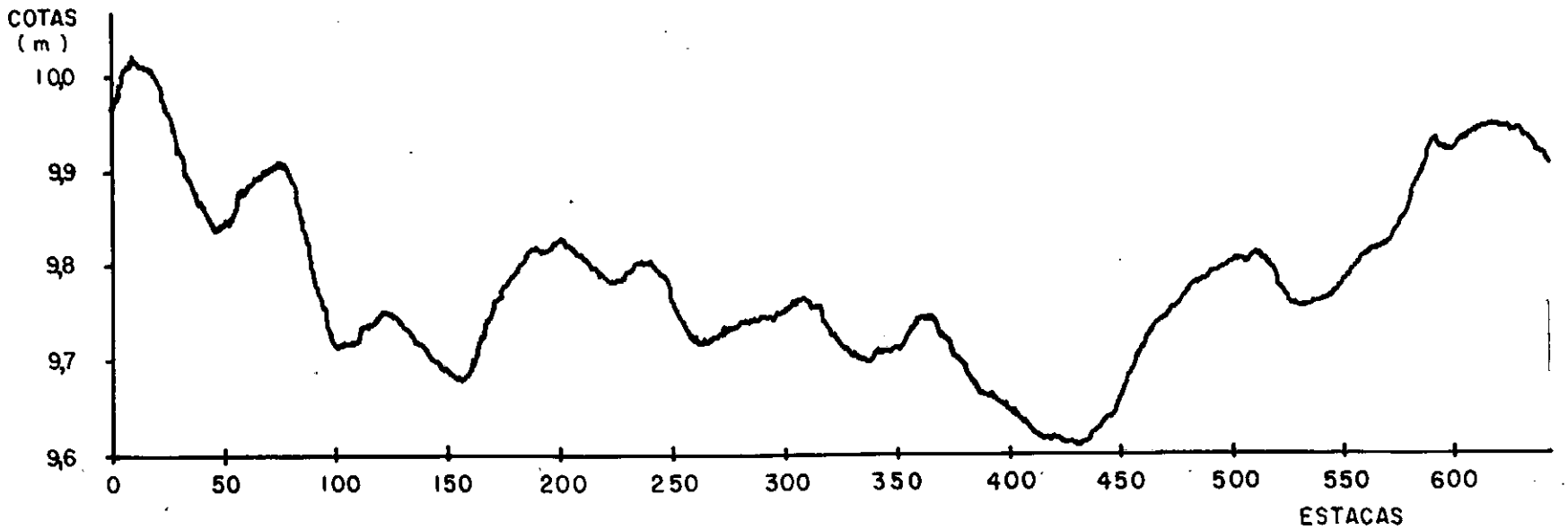
TRECHO : 01
TRILHA : Interna
DATA : 23/04/85
QI = 59,68



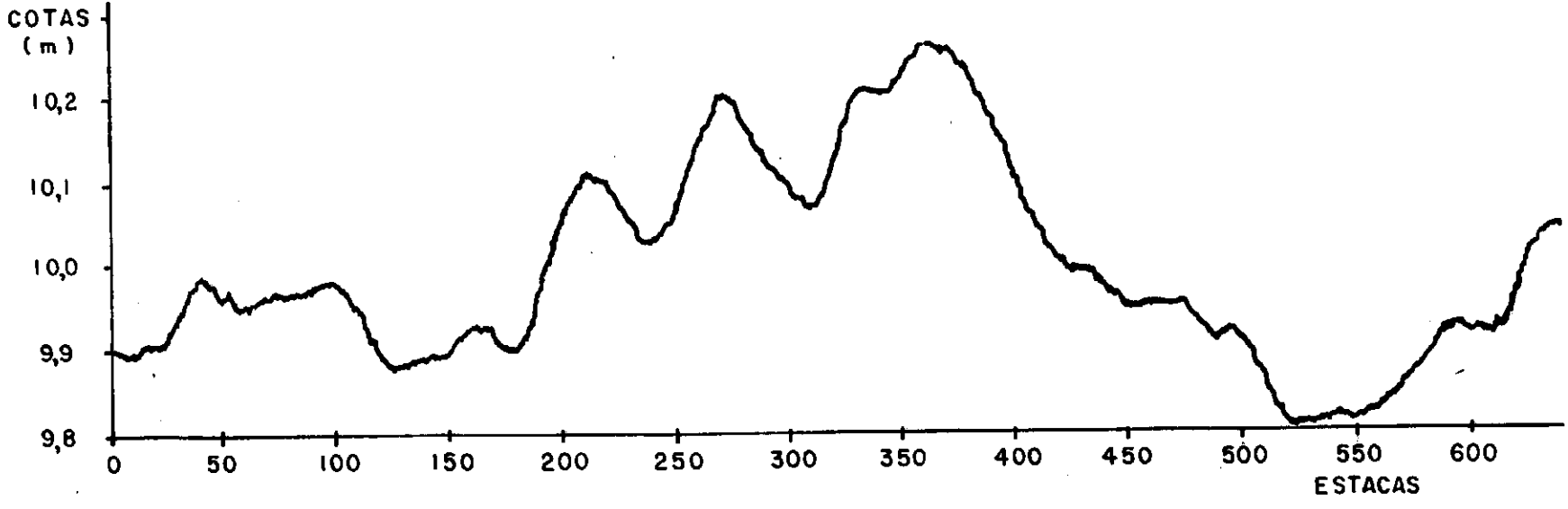
TRECHO : 02
TRILHA : Externa
DATA : 23/04/85
QI = 50,94



TRECHO : 02
TRILHA : Interna
DATA : 23/04/85
QI = 51,25



TRECHO : 06
TRILHA : Externa
DATA : 17/04/85
QI = 63,46

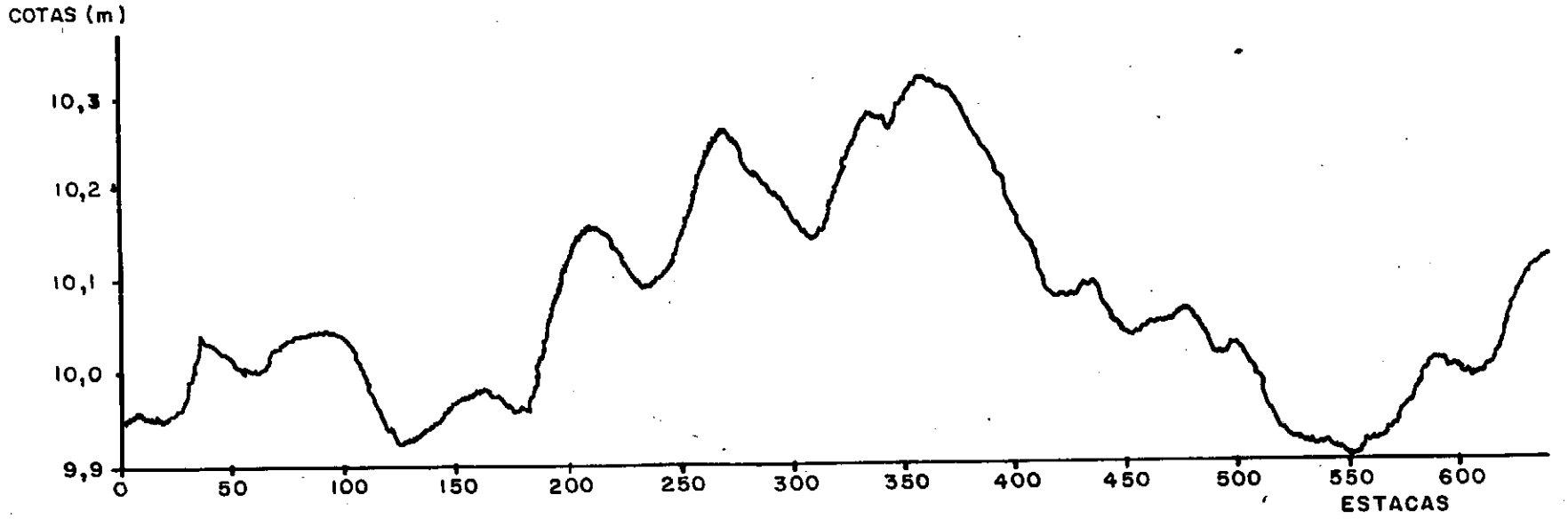


TRECHO : 06

TRILHA : Interna

DATA : 17/04/85

QI = 65,03

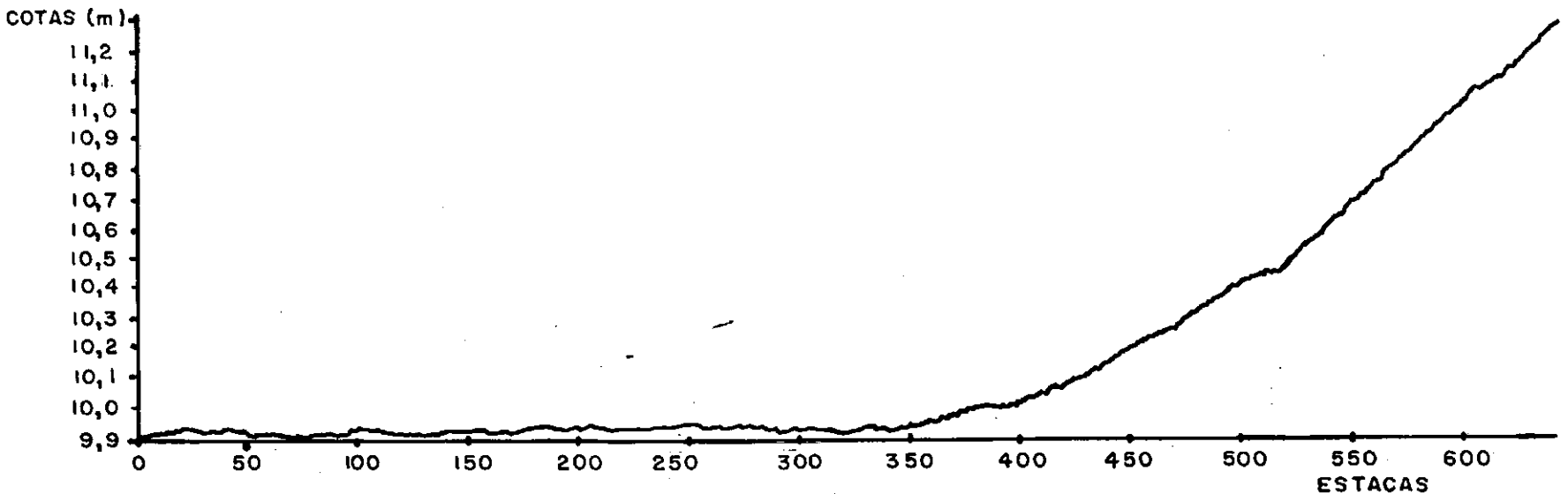


TRECHO : 10

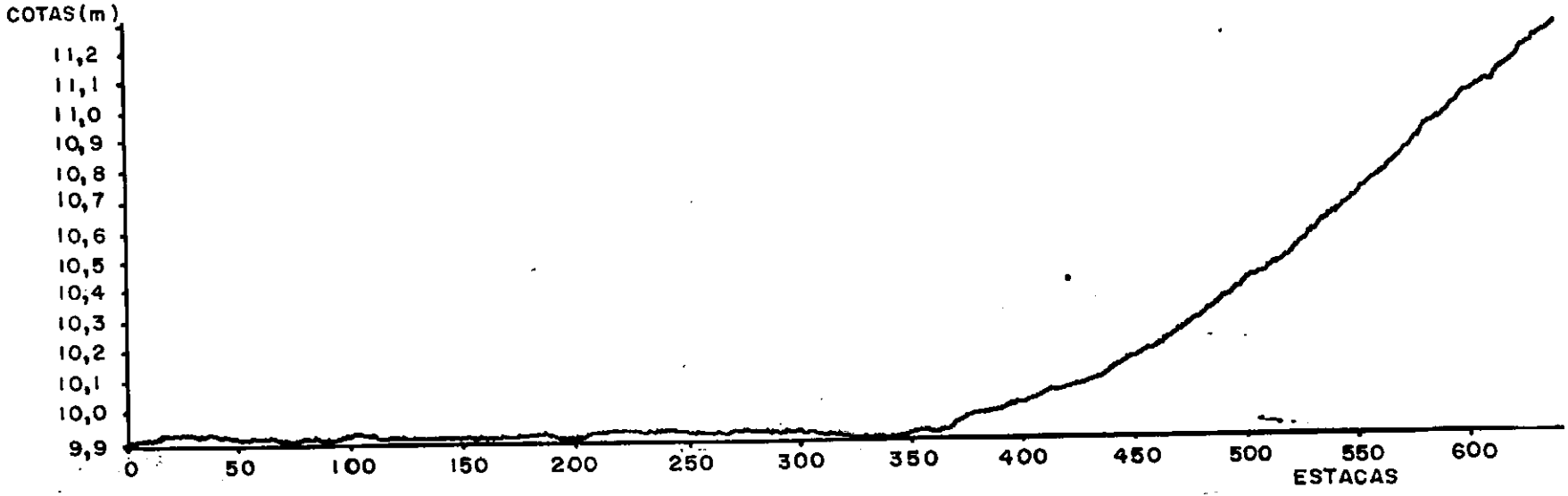
TRILHA : Externa

DATA : 16/04/85

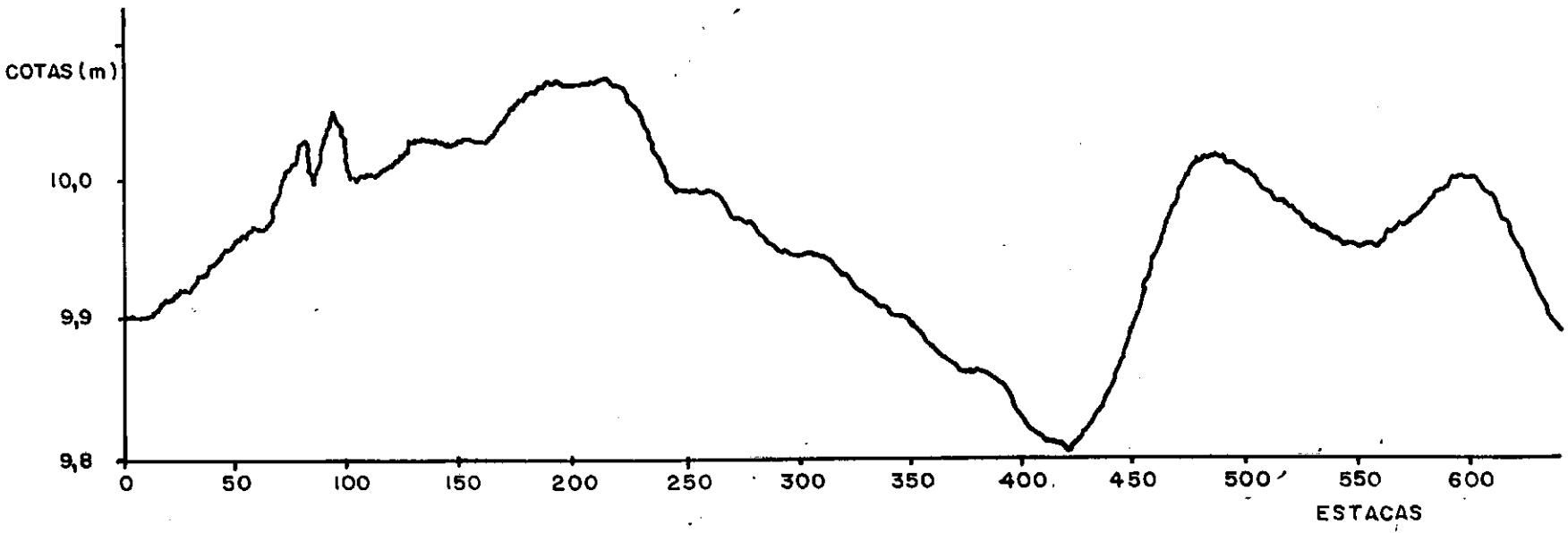
QI = 32,91



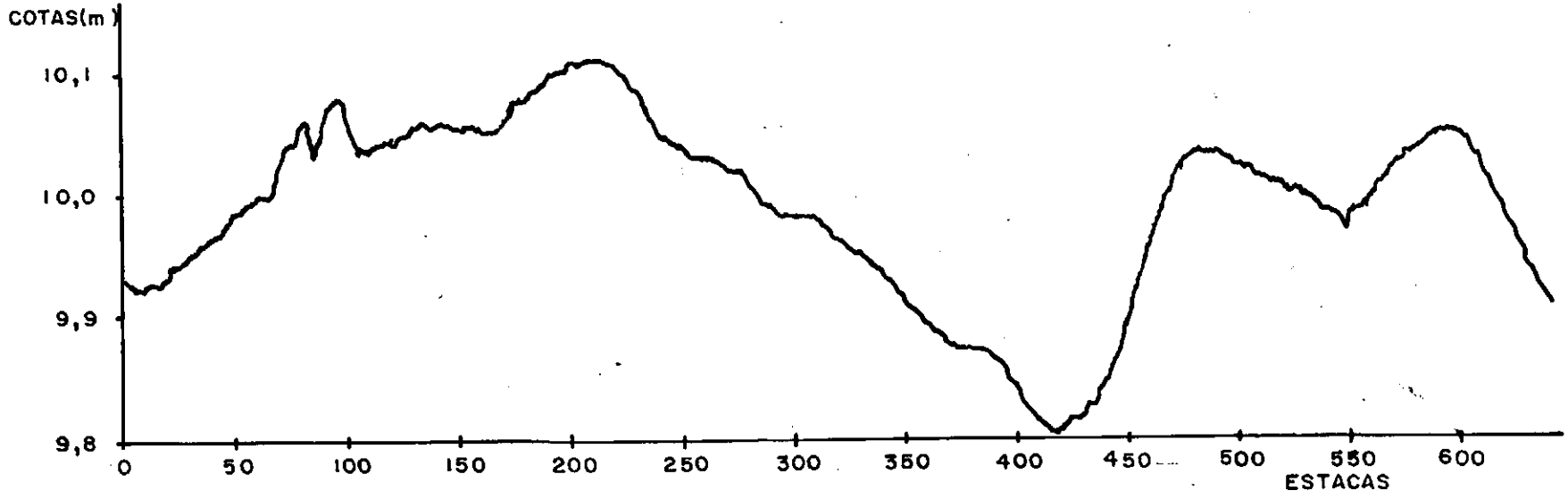
TRECHO : 10
TRILHA : Interna
DATA : 16/04/85
QI = 26,79



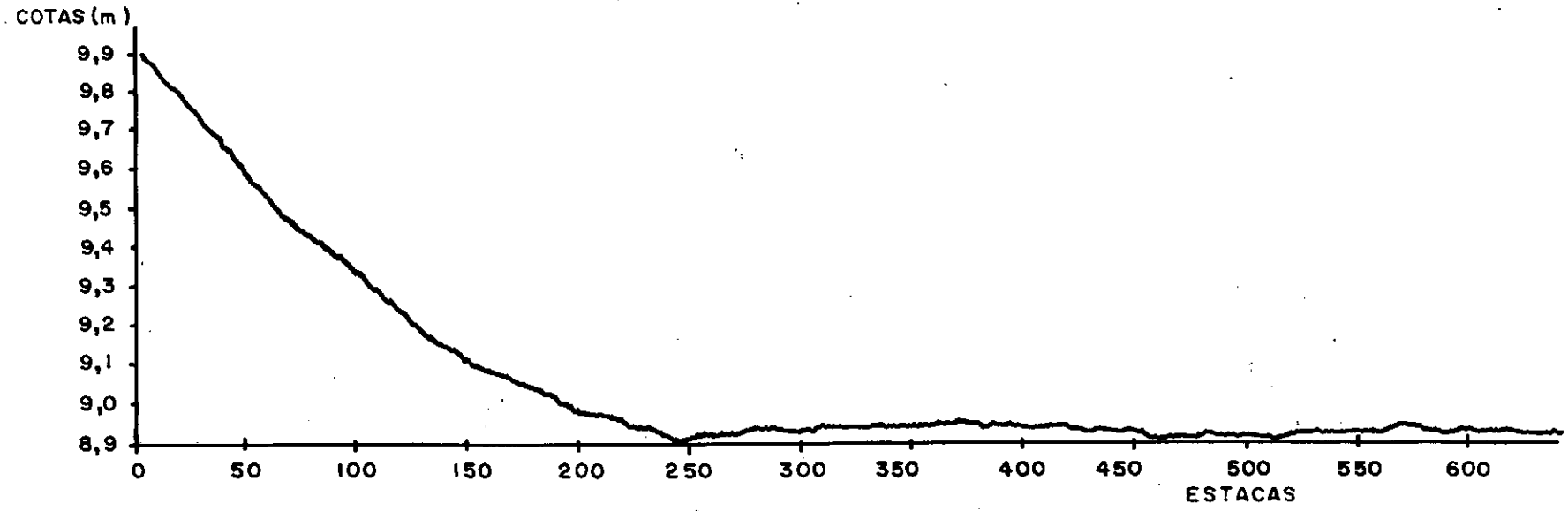
TRECHO : 11
TRILHA : Externa
DATA : 15/04/85
QI = 43,02



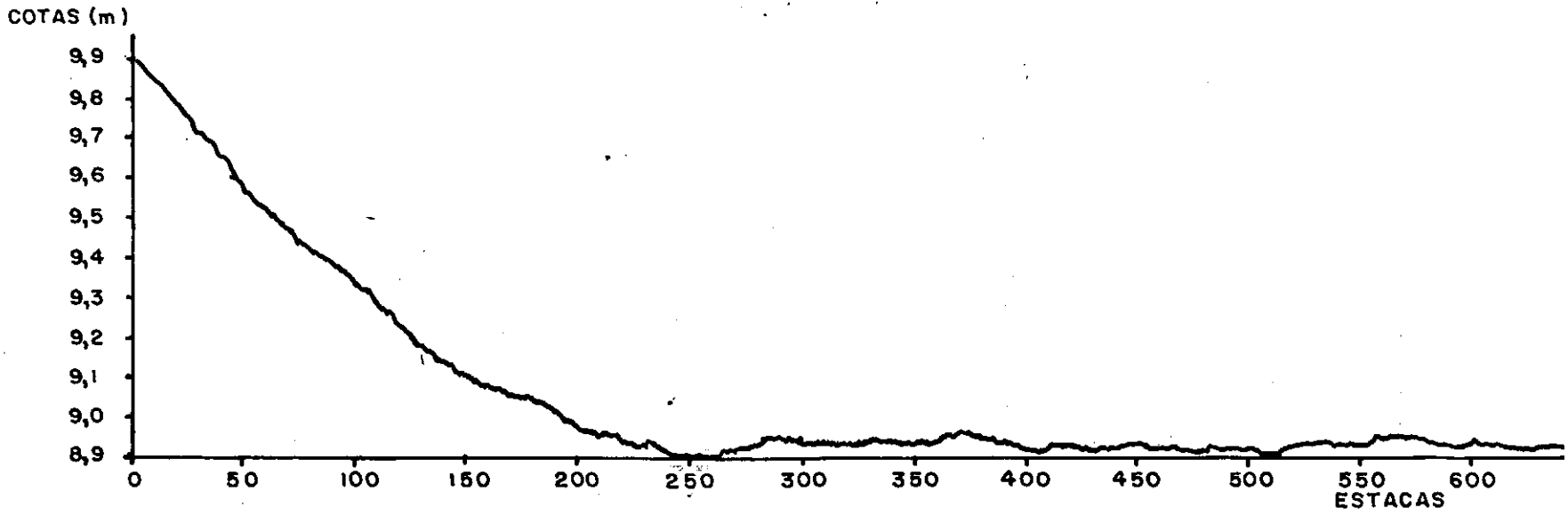
TRECHO : 11
TRILHA : Interna
DATA : 15/04/85
QI = 44,14



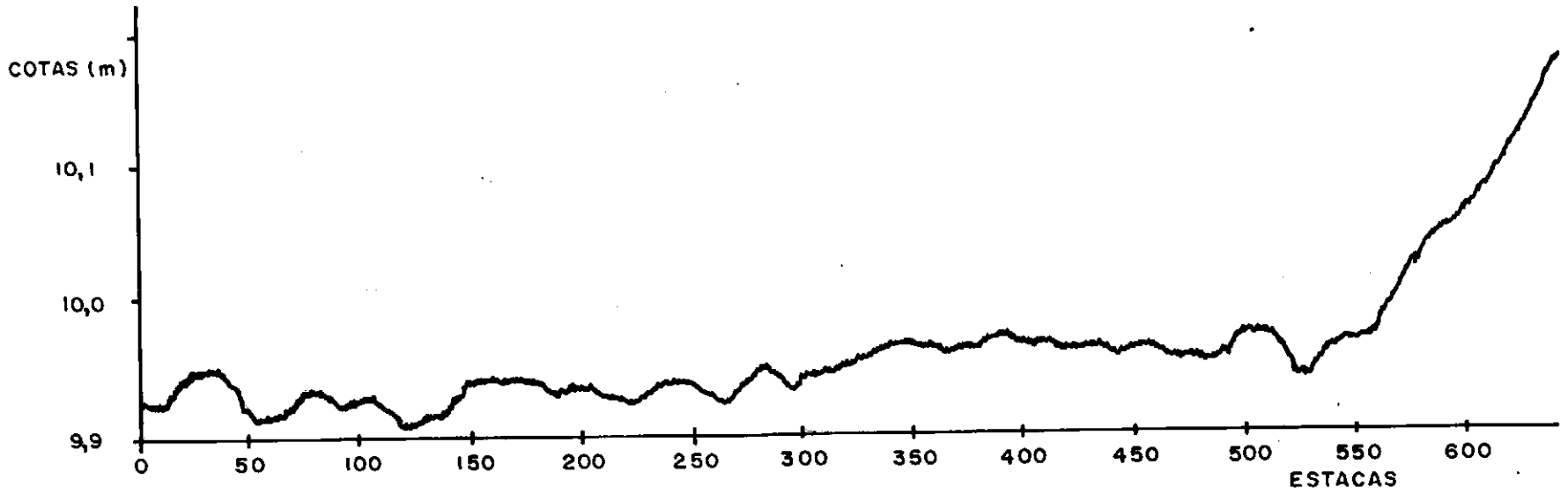
TRECHO : 12
TRILHA : Externa
DATA : 15/04/85
QI = 27,83



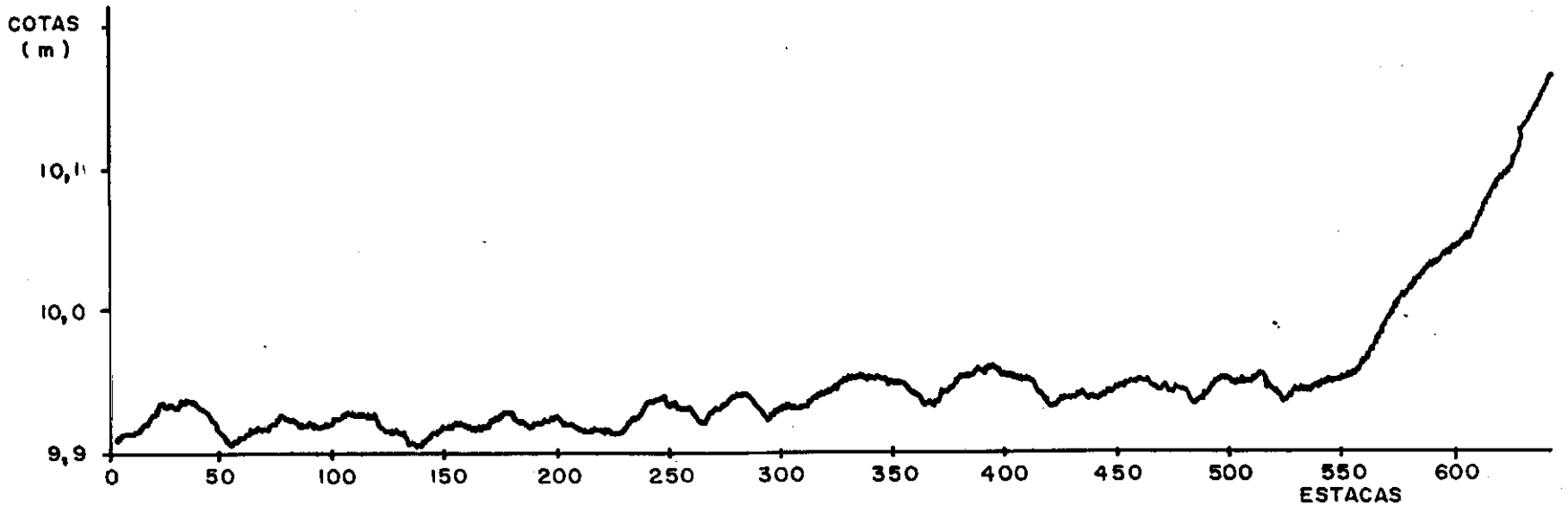
TRECHO : 12
TRILHA : Interna
DATA : 15/04/85
QI = 26,67



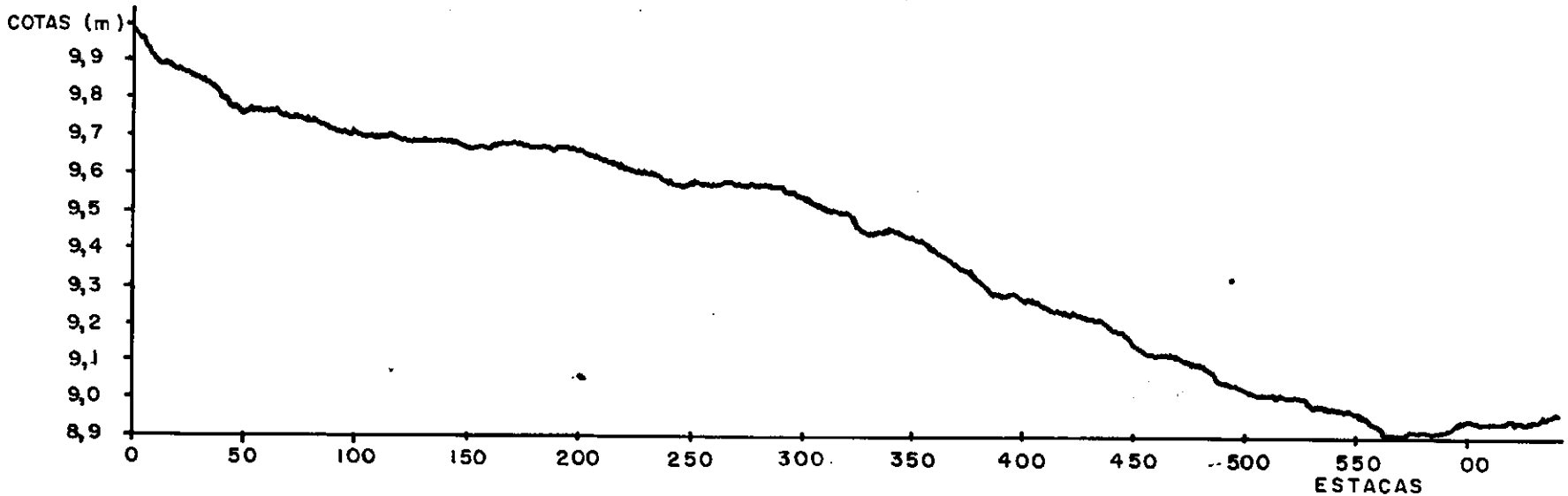
TRECHO : 13
TRILHA : Externa
DATA : 16/04/85
QI = 29,68



TRECHO : 13
TRILHA : Interna
DATA : 16/04/85
QI = 24,09



TRECHO : 14
TRILHA : Externa
DATA : 25/04/85
QI = 37,53

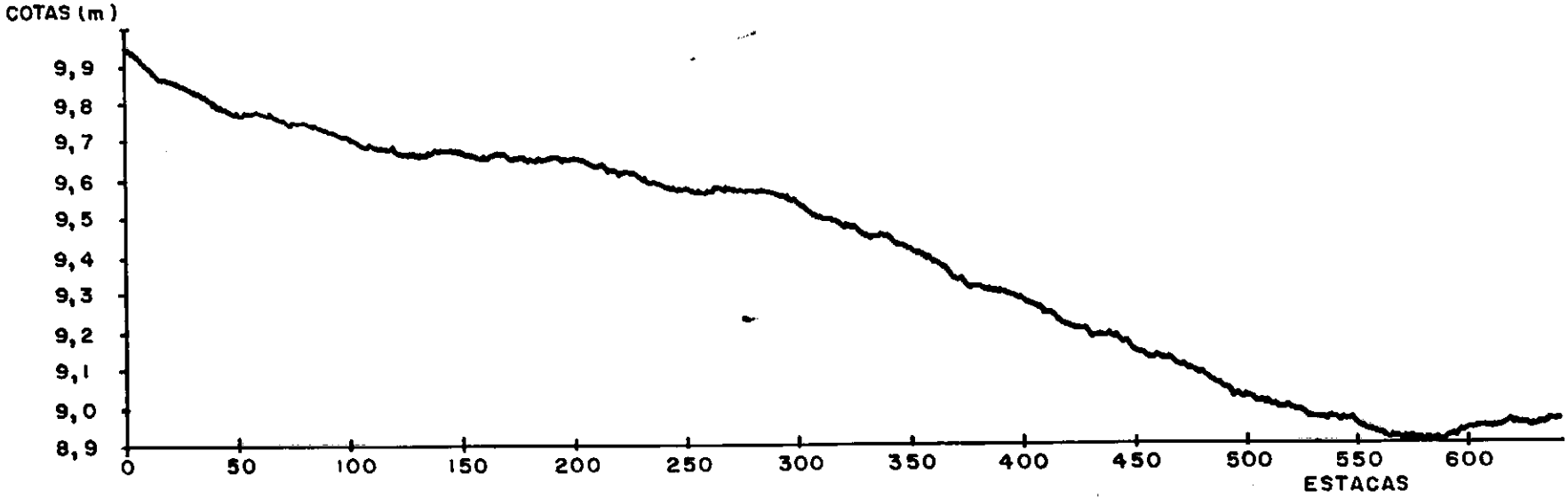


TRECHO : 14

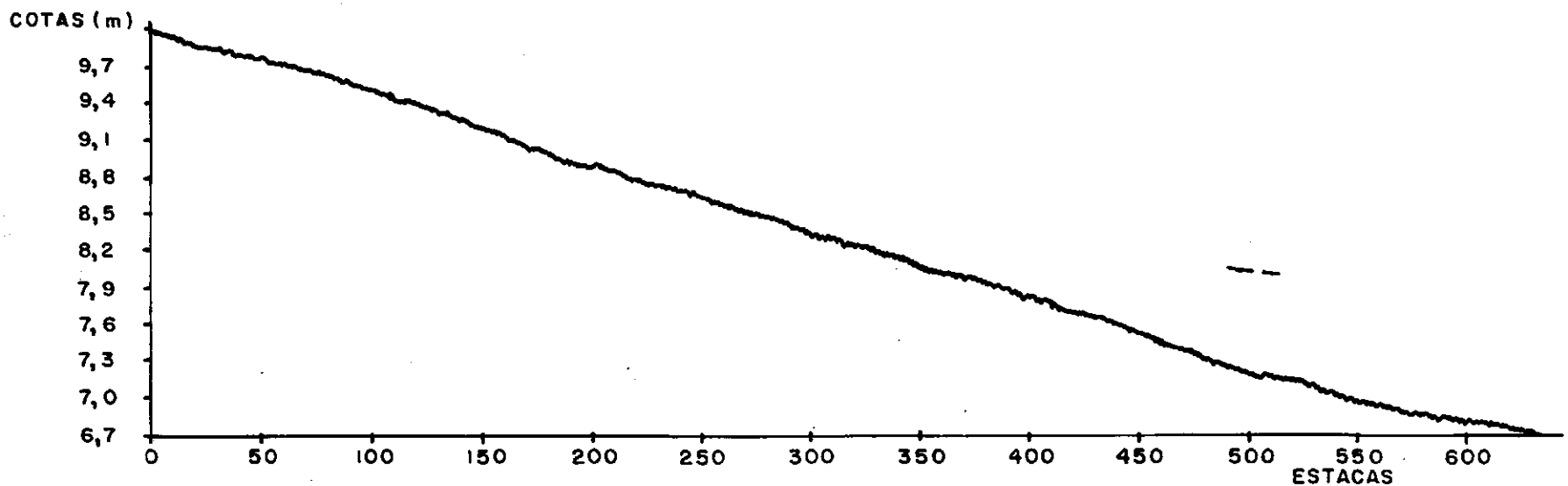
TRILHA : Interna

DATA : 25/04/85

QI = 37,09



TRECHO : 16
TRILHA : Externa
DATA : 25/04/85
QI = 42,90

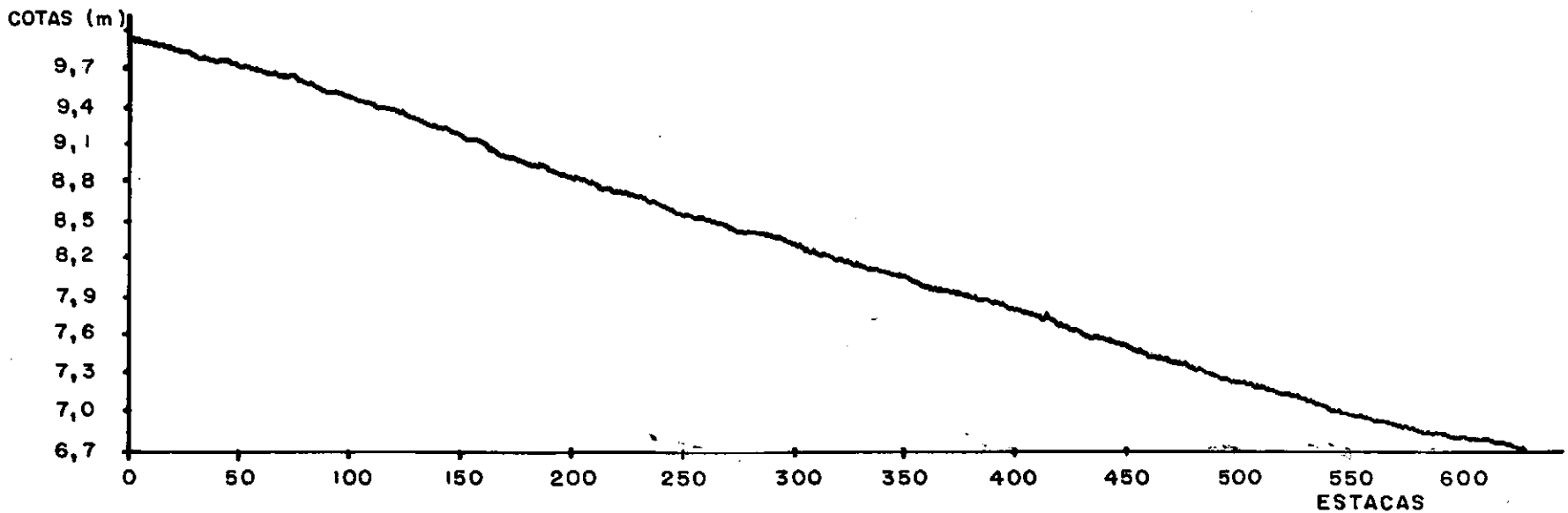


TRECHO : 16

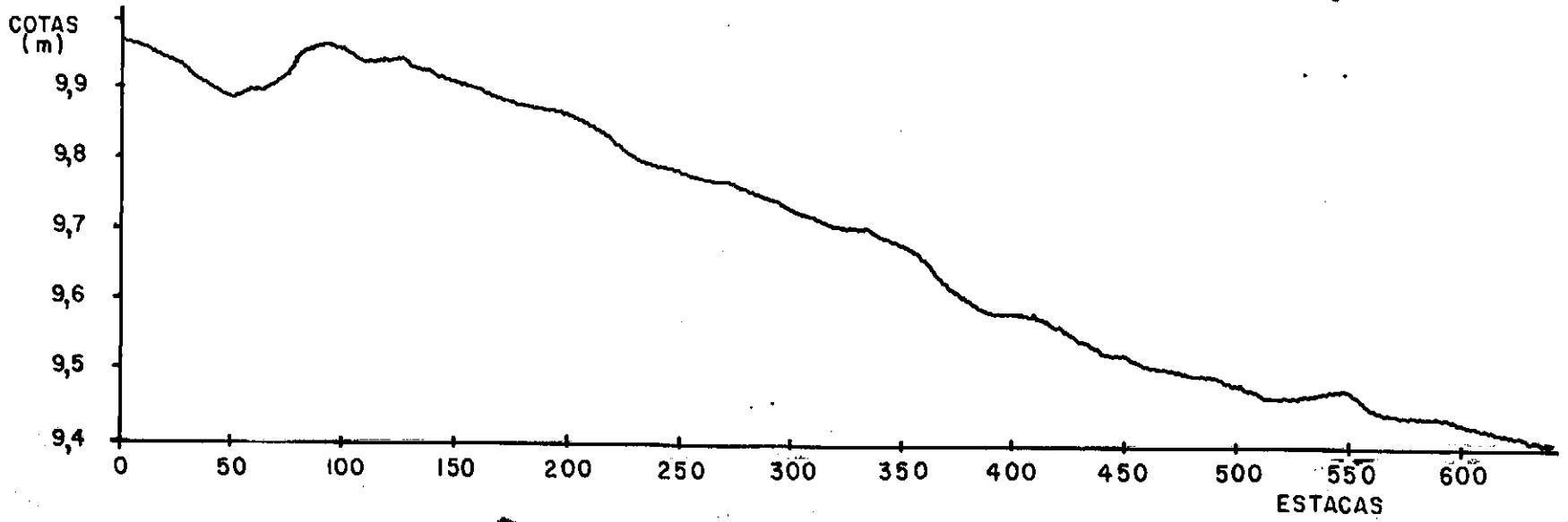
TRILHA : Interna

DATA : 25/04/85

QI = 44,09



TRECHO : 17
TRILHA : Externa
DATA : 11/04/85
QI = 23,63

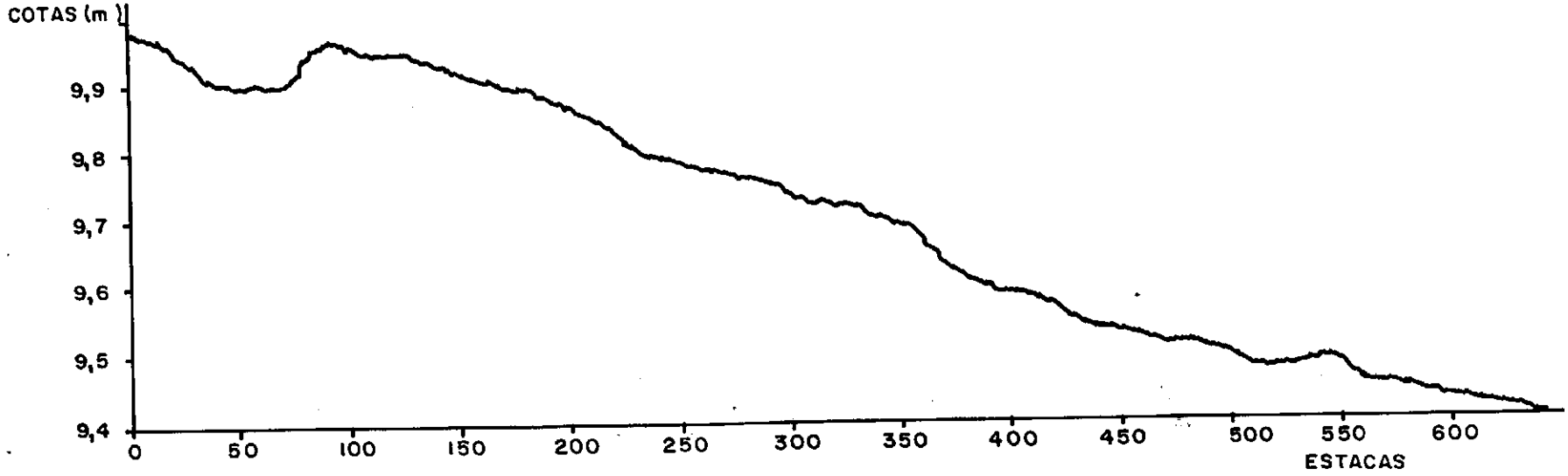


TRECHO : 17

TRILHA : Interna

DATA : 11/04/85

QI = 27,72

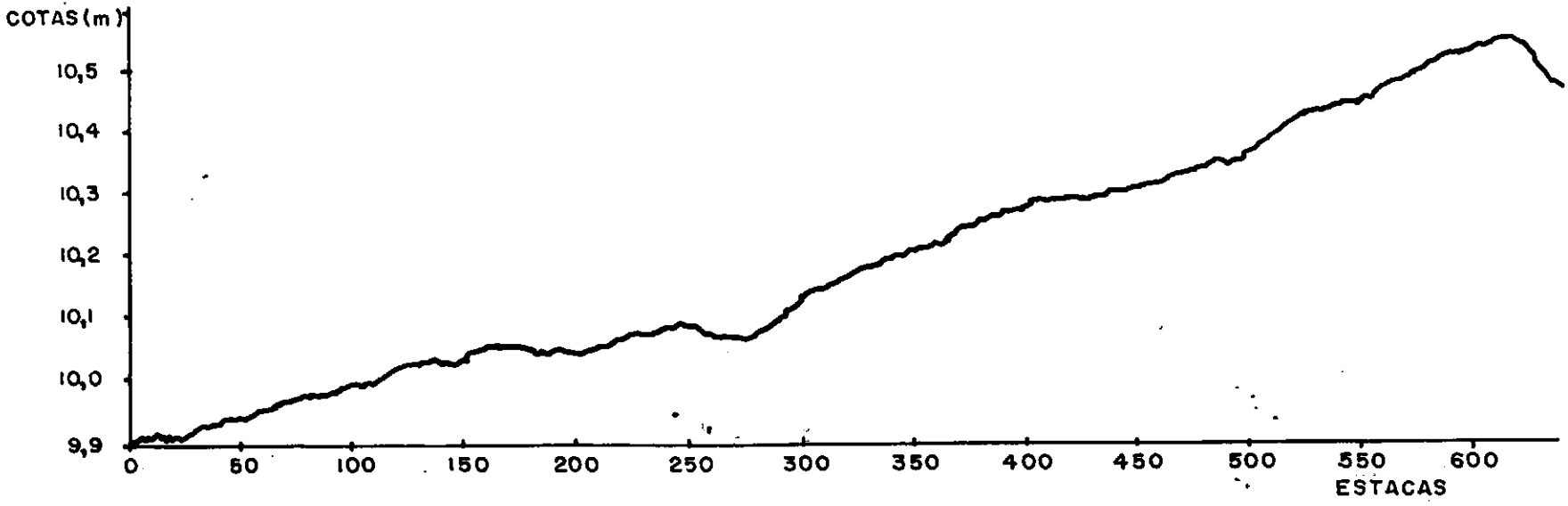


TRECHO : 18

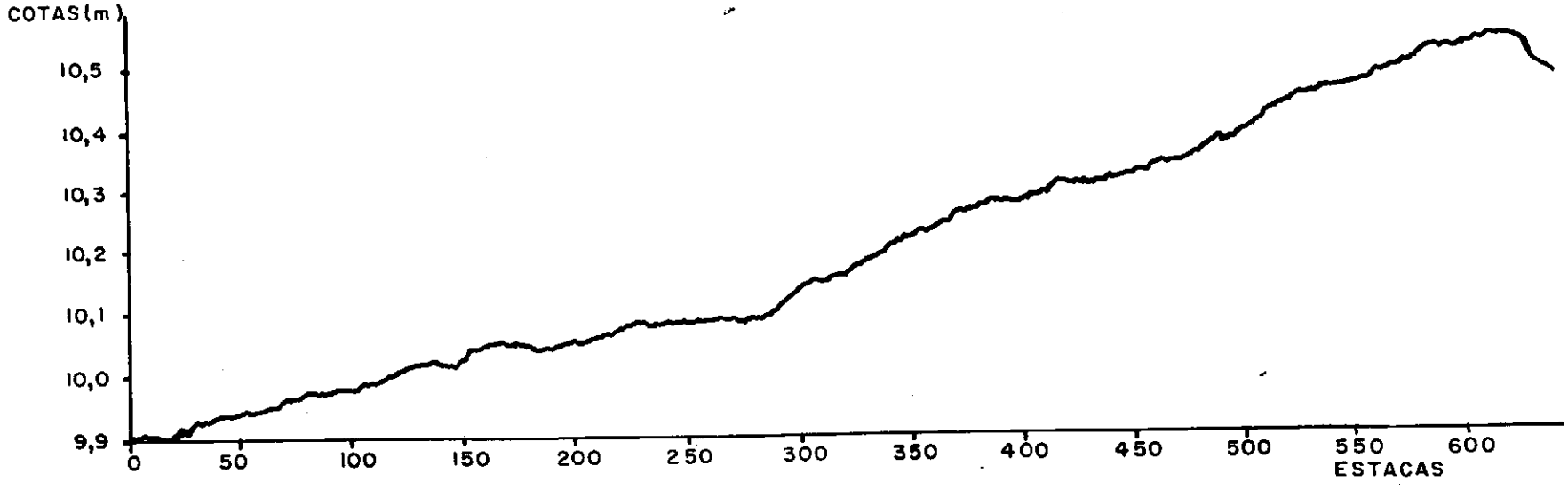
TRILHA : Externa

DATA : 11/04/85

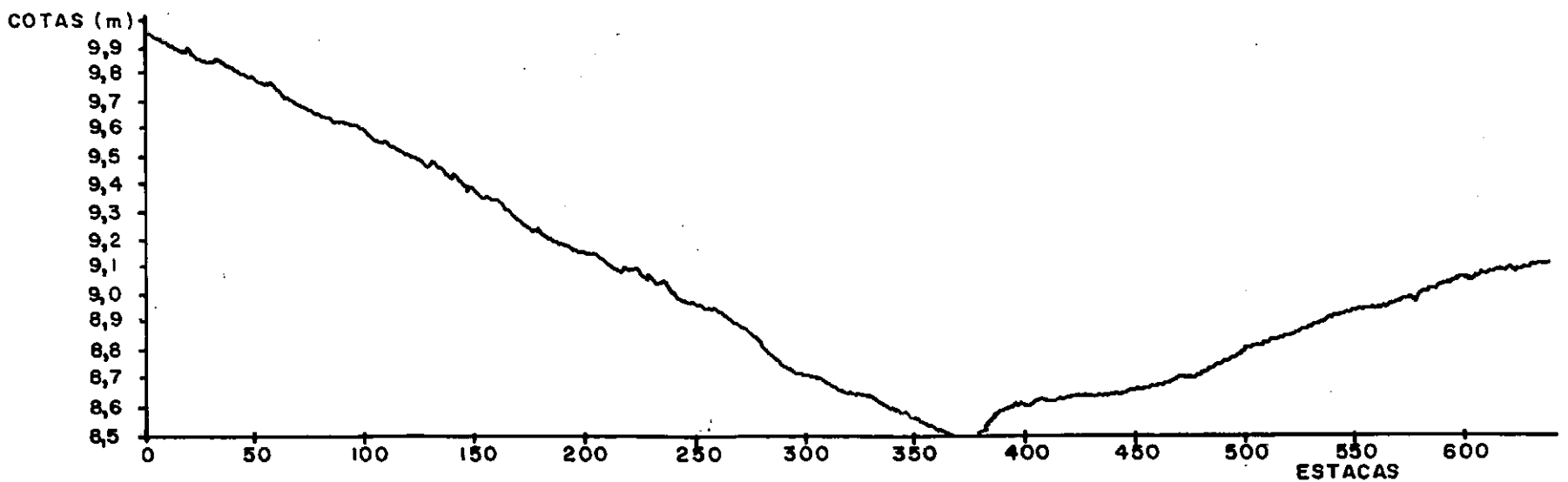
QI = 24,58



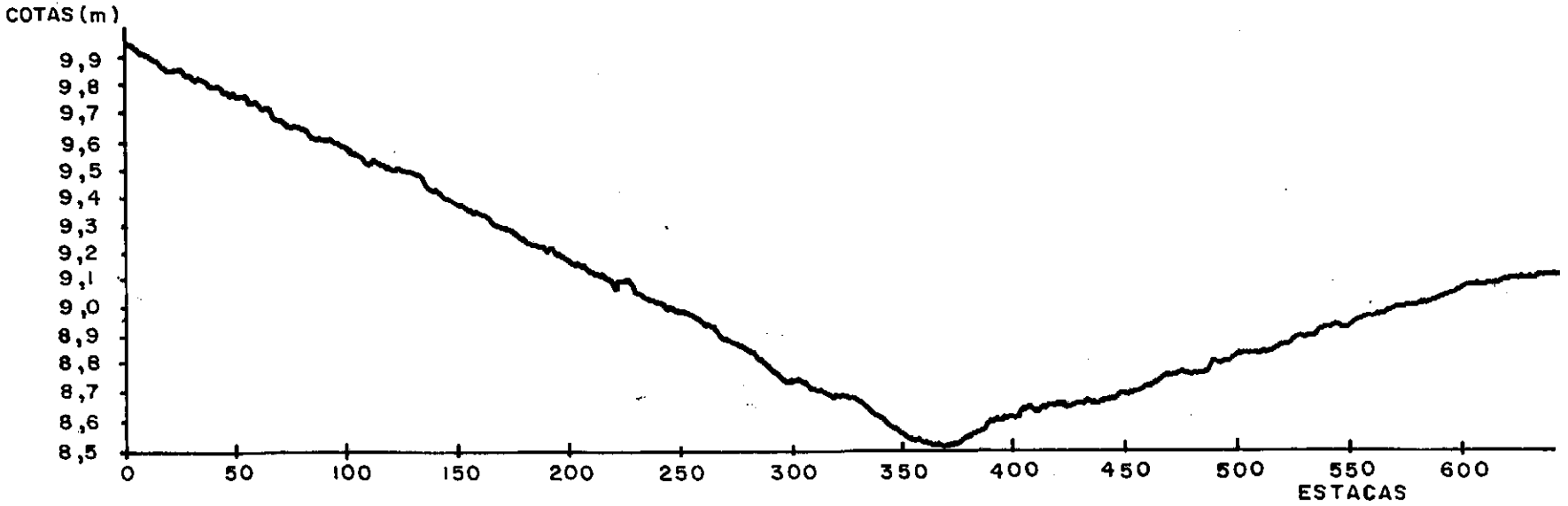
TRECHO : 18
TRILHA : Interna
DATA : 11/04/85
QI = 28,44



TRECHO : 23
TRILHA : Externa
DATA : 10/04/85
QI = 94,81



TRECHO : 23
TRILHA : Interna
DATA : 10/04/85
QI = 90,57

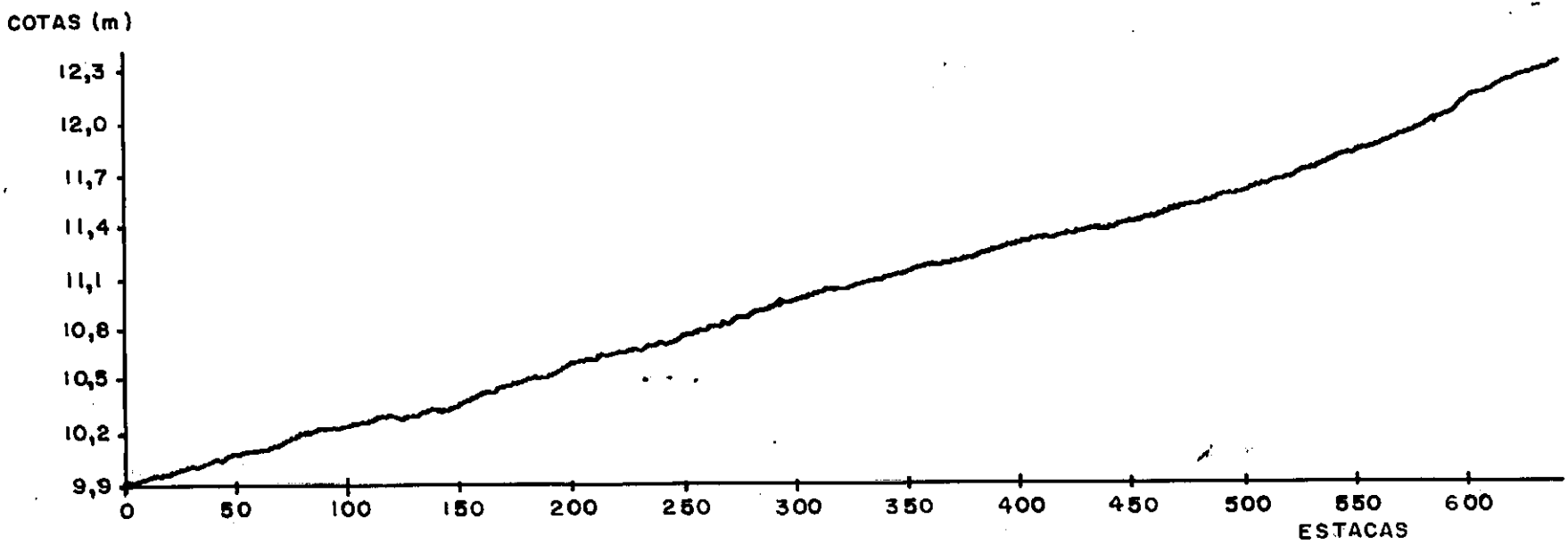


TRECHO : 24

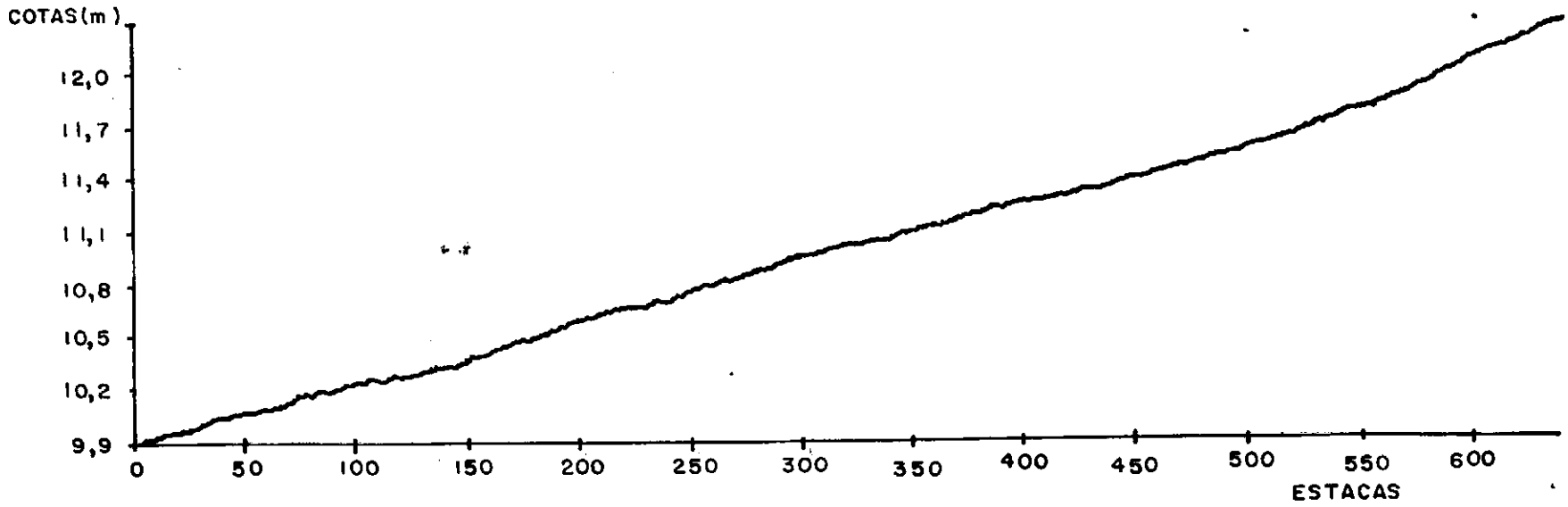
TRILHA : Externa

DATA : 10/04/85

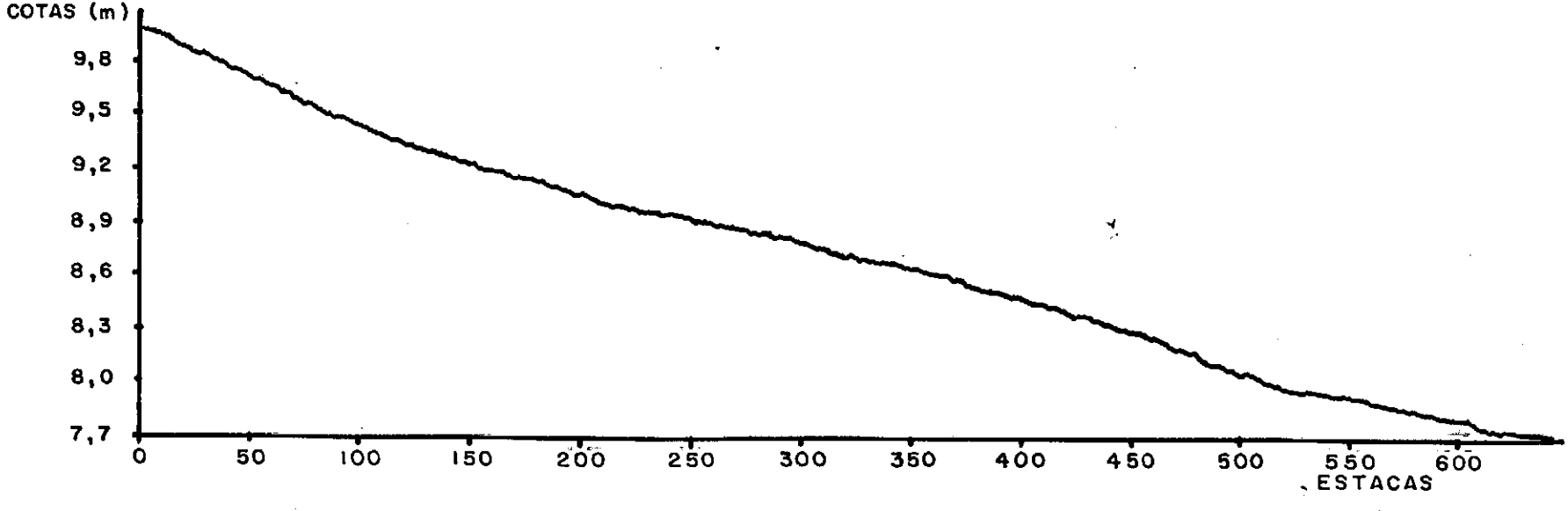
QI = 36,25



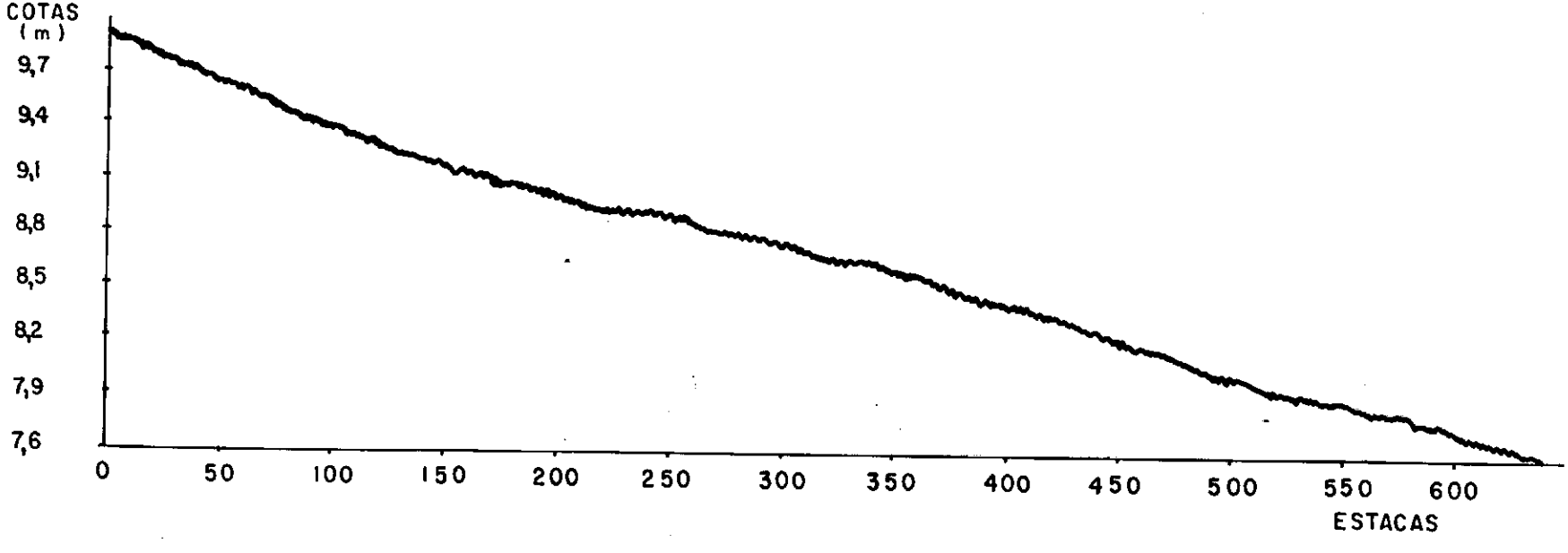
TRECHO : 24
TRILHA : Interna
DATA : 10/04/85
QI = 35,10



TRECHO : 25
TRILHA : Externa
DATA : 10/04/85
QI = 27,73



TRECHO : 25
TRILHA : Interna
DATA : 10/04/85
QI = 29,99

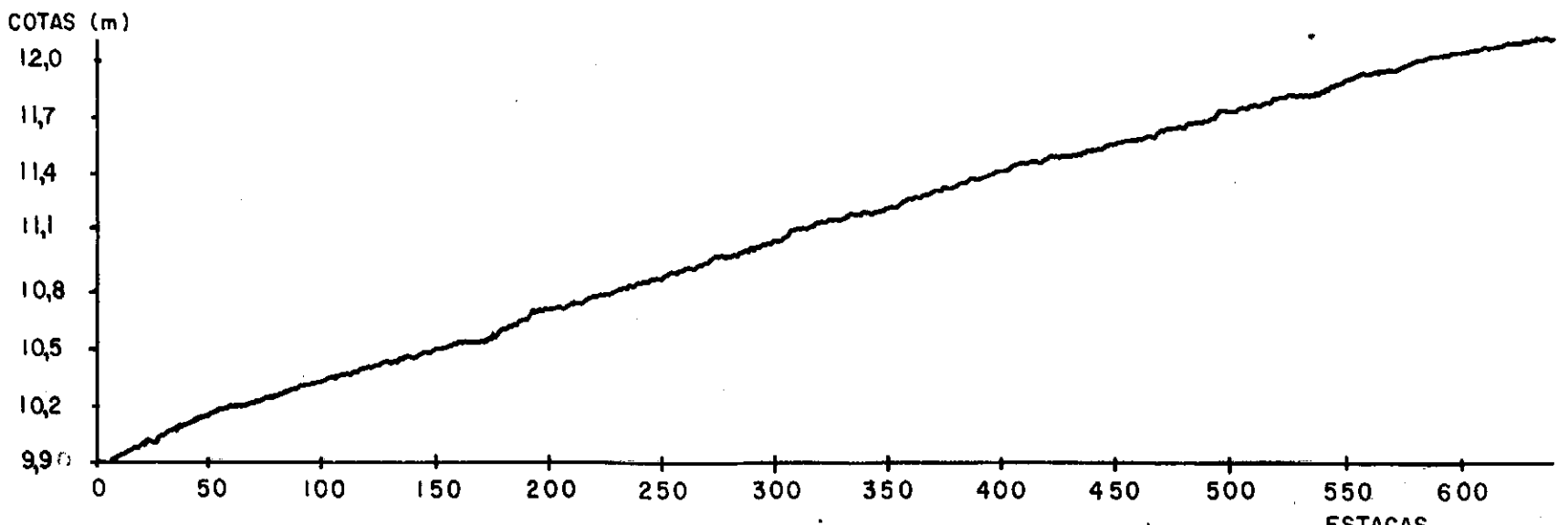


TRECHO : 26

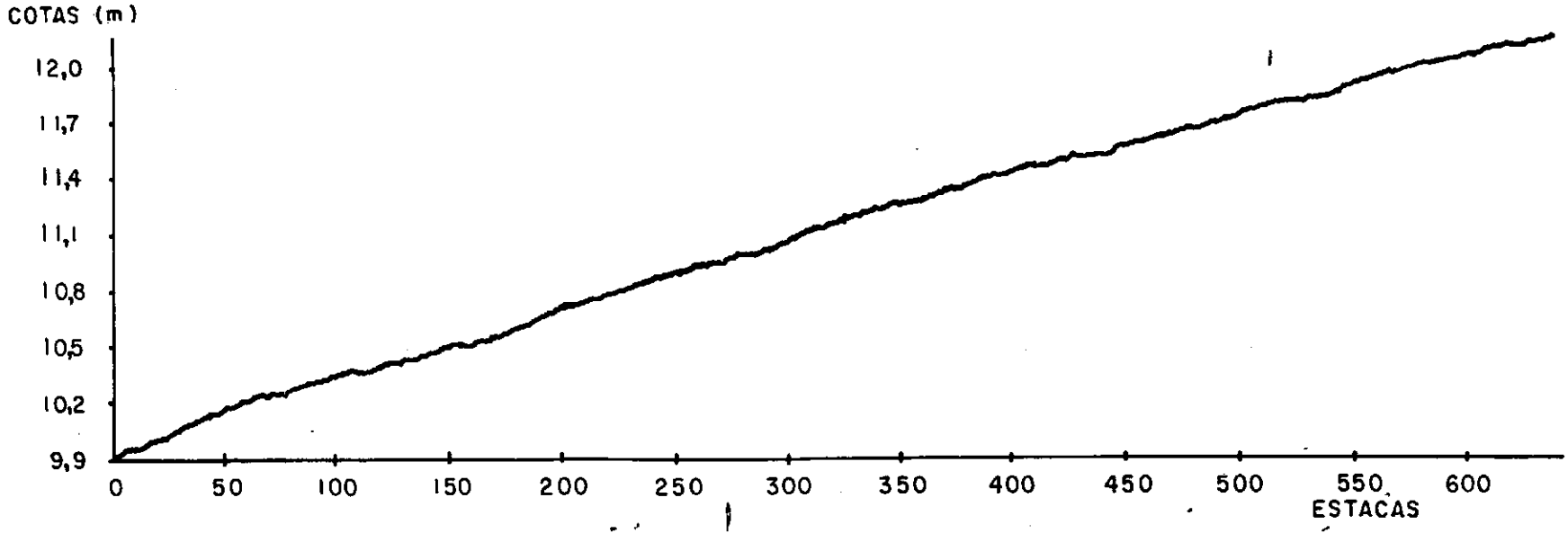
TRILHA : Externa

DATA : 10/04/85

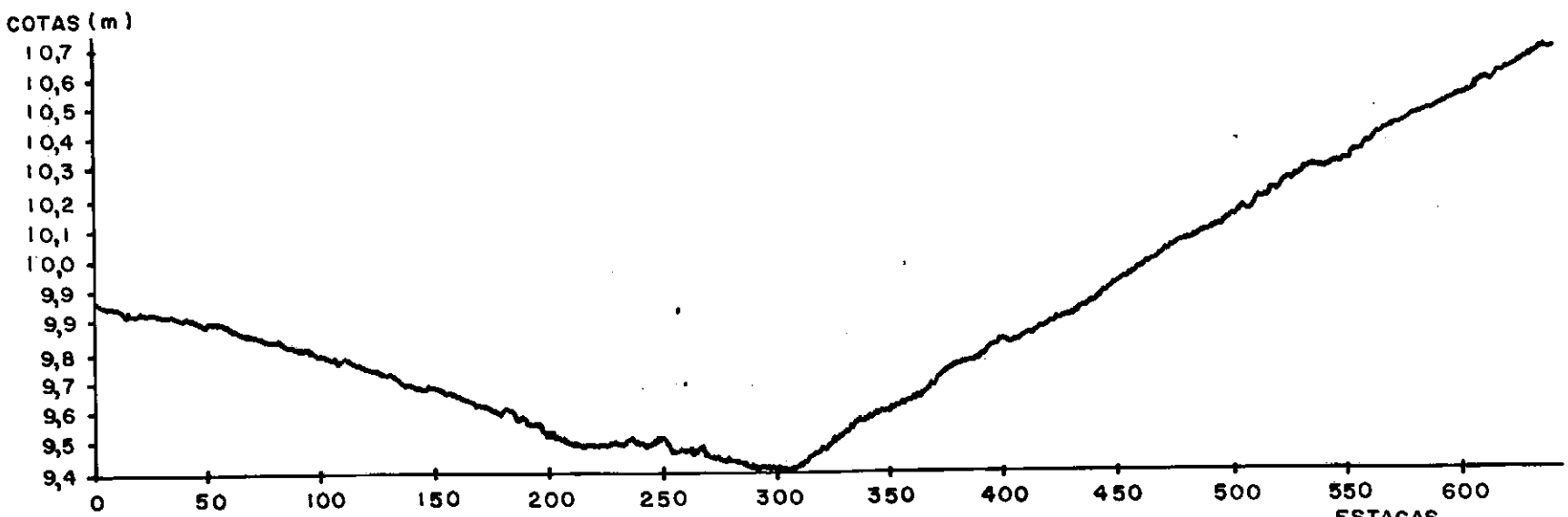
QI = 31,54



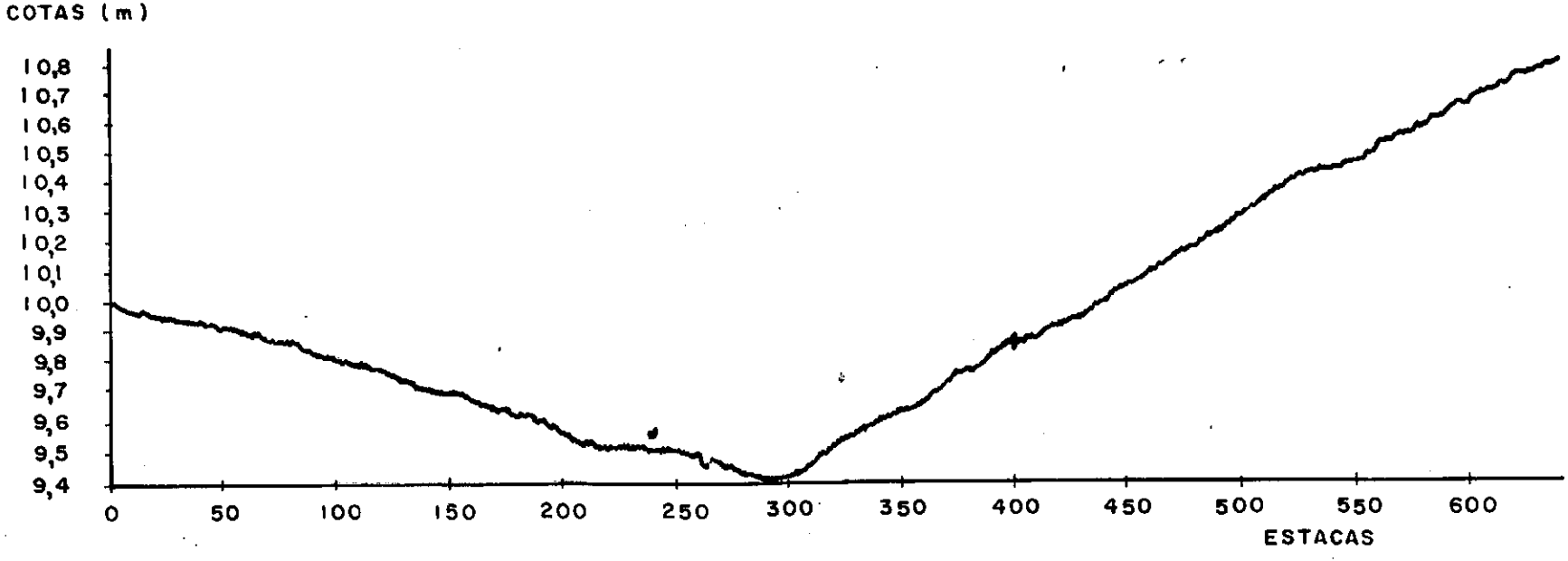
TRECHO : 26
TRILHA : Interna
DATA : 10/04/85
QI = 30,39



TRECHO : 27
TRILHA : Externa
DATA : 09/04/85
QI = 78,90



TRECHO : 27
TRILHA : Interna
DATA : 09/04/85
QI = 85,45



FICHAS DE LEITURAS DE IRREGULARIDADE DE PISTAS DE AEROPORTOS

APÊNDICE "B"

MEDIÇÃO DE IRREGULARIDADE

AEROPORTO : AFONSO PENA (CURITIBA - PR)
PISTA : 11/29
EQUIPAMENTO: INT.IPR/USP
VELOCIDADE (km/h): 65
SENTIDO : 11/29
INTERVALO DE MEDIÇÃO: [ ] 320 m [ ] 160 m [X] 80 m
DATA: 07/05/85
HORA: 13:00 h
OPERADOR: Ten OSVALDO

FAIXA Nº	FAIXA POSIÇÃO	LEITURAS										
1	9 m à esquerda do eixo											
2	4,5 m à esquerda do eixo	09	23	28	38	21	14	03	21	11	04	06
		08	09	07	05	02	04	03				
3	eixo	14	17	57	24	10	01	04	15	09	07	06
		02	05	08	04	05	04	00				
4	4,5 m à direita do eixo	09	18	31	39	17	11	04	10	09	08	06
		05	02	13	04	03	05	04				
5	9 m à direita do eixo											

MEDIÇÃO DE IRREGULARIDADE

AEROPORTO : AFONSO PENA (CURITIBA – PR)
PISTA : 15/33
EQUIPAMENTO: INT.IPR/USP
VELOCIDADE (km/h): 65
SENTIDO : 15/33
INTERVALO DE MEDIÇÃO: ☐ 320 m ☐ 160 m ☒ 80 m
DATA: 07/05/85
HORA: 13:30 h
OPERADOR: Ten OSVALDO

FAIXA Nº	FAIXA POSIÇÃO	LEITURAS										
1	9 m à esquerda do eixo	06	08	04	10	09	12	22	13	08	46	18
		13	11	10	16	16	41	15	12	14	16	15
		21	12									
2	4,5 m à esquerda do eixo	18	13	07	10	10	14	24	19	08	16	38
		24	10	15	19	10	12	16	23	09	05	09
		05	09	11								
3	eixo	16	06	06	07	01	06	05	17	06	19	33
		14	07	03	11	10	05	12	12	07	09	09
		03	08	07								
4	4,5 m à direita do eixo	24	20	14	05	07	08	07	16	07	11	43
		20	08	09	10	16	09	14	22	21	10	11
		07	08	09								
5	9 m à direita do eixo	09	08	11	22	24	14	19	29	05	18	48
		22	11	20	10	11	25	18	09	13	16	11
		12	17	13								

MEDIÇÃO DE IRREGULARIDADE

AEROPORTO : SALGADO FILHO (PORTO ALEGRE) EQUIPAMENTO: INT. IPR/USP

PISTA : 10/28 VELOCIDADE (km/h) : 65

SENTIDO : 10/28

INTERVALO DE MEDIÇÃO

- ☐ 320 m
- ☐ 160 m
- ☒ 80 m

DATA: 13/05/85

HORA: 09:00 h

OPERADOR: Ten OSVALDO

FAIXA		LEITURAS										
Nº	POSIÇÃO											
1	9 m à esquerda do eixo	21	08	14	09	09	11	15	16	18	15	17
		14	13	11	18	15	12	17	17	09	12	17
		11	13	11								
2	4,5 m à esquerda do eixo	30	10	12	12	13	11	09	13	11	08	07
		12	09	13	10	14	10	14	13	12	11	13
		08	14	15								
3	eixo	28	16	14	19	14	18	13	12	14	12	11
		13	10	08	10	10	15	11	13	14	11	14
		13	14	11								
4	4,5 m à direita do eixo	32	13	16	14	11	14	16	17	17	09	08
		10	12	09	14	16	13	16	10	10	09	19
		11	14	13								
5	9 m à direita do eixo	33	11	14	15	13	12	17	10	24	12	12
		13	10	10	13	12	11	09	13	10	10	11
		11	11	11								

MEDIÇÃO DE IRREGULARIDADE

AEROPORTO : HERCÍLIO LUZ (FLORIANÓPOLIS) EQUIPAMENTO: INT.IPR/USP

PISTA : 14/32 VELOCIDADE (km/h): 65

SENTIDO : 14/32

INTERVALO DE MEDIÇÃO: ☐ 320 m ☐ 160 m ☒ 80 m

DATA: 09/05/85

HORA: 14:30 h

OPERADOR: Ten OSVALDO

FAIXA		LEITURAS										
Nº	POSIÇÃO											
1	9 m à esquerda do eixo	42	29	25	23	17	18	18	13	24	17	27
		18	13	19	11	10	13	15	24	20	10	20
		13	15	28								
2	4,5 m à esquerda do eixo	23	16	14	17	22	37	43	40	40	30	36
		19	21	40	31	24	13	18	23	20	17	25
		24	16	15								
3	eixo	23	15	11	15	20	19	17	19	35	20	22
		17	15	21	18	23	16	15	13	30	16	13
		16	22	13								
4	4,5 m à direita do eixo	24	16	13	28	18	11	16	19	36	23	35
		22	24	41	41	31	19	14	40	36	33	32
		39	24	17								
5	9 m à direita do eixo	25	13	19	20	21	20	18	18	27	26	19
		10	13	14	13	11	10	20	14	11	14	15
		10	12	09								

MEDIÇÃO DE IRREGULARIDADE

AEROPORTO : CONFINS – BELO HORIZONTE (MG) EQUIPAMENTO: INT. IPR/USP

PISTA : 16 / 34 VELOCIDADE (km/h): 65

SENTIDO : 16/34

INTERVALO DE MEDIÇÃO: ☐ 320 m ☐ 160 m ☒ 80 m

DATA: 17/06/85

HORA: 23:00 h

OPERADOR: Ten OSVALDO

FAIXA		LEITURAS										
Nº	POSIÇÃO											
1	9 m à esquerda do eixo	09	14	14	06	15	22	17	20	12	14	17
		19	03	08	19	19	12	07	16	04	15	13
		06	09	04	09	08	12	17	12	13	14	09
		02	09									
2	4,5 m à esquerda do eixo	06	08	08	08	05	20	11	13	13	13	13
		10	15	10	18	01	04	18	14	06	04	04
		05	12	11	12	15	09	09	09	03	08	09
		09										
3	sobre o eixo	15	14	08	10	11	10	20	11	14	09	16
		12	21	10	14	11	09	11	15	12	21	08
		16	19	20	09	03	13	08	05	07	05	04
		13	12									
4	4,5 m à direita do eixo	10	11	23	21	11	12	16	19	09	11	12
		06	11	08	13	09	06	13	08	09	05	18
		04	12	07	09	08	05	09	13	08	10	09
		14										
5	9 m à direita do eixo	06	04	17	16	11	22	04	06	16	13	11
		06	10	12	13	08	06	07	07	15	06	03
		06	12	09	10	11	07	02	11	16	15	22
		11	10									

MEDIÇÃO DE IRREGULARIDADE

AEROPORTO : CONFINS - BELO HORIZONTE (MG) EQUIPAMENTO: INT. IPR/USP

PISTA : 16 / 34 VELOCIDADE (km/h): 65 SENTIDO : 34/16

INTERVALO DE MEDIÇÃO: ☐ 320 m ☐ 160 m ☒ 80 m

DATA: 17/06/85

HORA: 23:00 h

OPERADOR: Ten OSVALDO

FAIXA		LEITURAS										
Nº	POSIÇÃO											
1	9 m à esquerda do eixo	07	26	12	14	07	09	02	07	05	02	04
		12	03	05	11	07	13	06	14	05	11	13
		06	02	13	11	11	11	10	06	08	14	01
		03										
2	4,5 m à esquerda do eixo	11	13	04	13	08	07	06	05	07	08	11
		07	04	04	05	10	11	09	11	09	13	14
		11	06	09	18	09	11	03	31	10	05	13
3	sobre o eixo	12	12	05	07	06	10	14	02	06	14	16
		09	10	09	10	14	10	12	14	10	12	16
		12	08	13	10	14	09	17	06	10	06	12
4	4,5 m à direita do eixo	10	09	05	10	15	16	19	01	09	04	06
		05	06	13	13	16	07	08	09	09	12	12
		13	12	08	14	15	21	09	17	20	12	11
5	9 m à direita do eixo	10	15	16	19	12	04	06	05	04	02	06
		01	06	05	02	16	02	02	10	08	19	20
		16	13	16	04	11	16	10	16	09	10	02
		09										

MEDIÇÃO DE IRREGULARIDADE

AEROPORTO : GOIABEIRAS - VITÓRIA (ES)

PISTA : 05 / 23

EQUIPAMENTO: INT.IPT/USP

VELOCIDADE (km/h) : 65

SENTIDO : 05/23

INTERVALO DE MEDIÇÃO

- [ ] 320 m
- [ ] 160 m
- [X] 80 m

DATA: 20/06/85

HORA: 16:10 h

OPERADOR: Ten OSVALDO

FAIXA Nº	FAIXA POSIÇÃO	LEITURAS										
1	9 m à esquerda do eixo	26	17	09	14	04	05	02	10	19	08	15
		02	11	11	04	06	07	15	04			
2	4,5 m à esquerda do eixo	06	06	06	02	04	07	07	14	06	04	08
		14	16	05	06	02	12	14	06			
3	sobre o eixo	06	10	07	06	07	08	16	10	08	11	11
		18	19	18	17	20	25	16	18			
4	4,5 m à direita do eixo	05	08	08	04	05	05	11	05	07	04	10
		08	08	09	05	07	08	11	08			
5	9 m à direita do eixo	08	09	21	06	08	09	07	05	04	06	22
		12	04	11	12	10	13	24	17			

MEDIÇÃO DE IRREGULARIDADE

AEROPORTO : GOIABEIRAS – VITÓRIA (ES)
PISTA : 05 / 23
EQUIPAMENTO: INT.IPR/USP
VELOCIDADE (km/h): 65
SENTIDO : 23/05
INTERVALO DE MEDIÇÃO: ☐ 320 m ☐ 160 m ☒ 80 m
DATA: 20/06/85
HORA: 16:10 h
OPERADOR: Ten OSVALDO

FAIXA Nº	FAIXA POSIÇÃO	LEITURAS										
1	9 m à esquerda do eixo	19	10	14	08	08	04	06	18	13	06	06
		02	07	10	06	09	18	09	06			
2	4,5 m à esquerda do eixo	12	09	04	07	09	13	04	10	10	08	05
		03	08	05	09	08	15	10	08	07		
3	sobre o eixo	27	17	20	22	18	19	19	17	12	13	05
		06	15	09	07	06	08	06	10			
4	4,5 m à direita do eixo	14	16	10	07	08	05	08	10	05	02	02
		12	07	05	02	01	08	03	07			
5	9 m à direita do eixo	10	21	05	03	05	10	11	08	16	14	19
		09	08	12	03	17	14	18	24			

MEDIÇÃO DE IRREGULARIDADE

AEROPORTO : DOIS DE JULHO – SALVADOR (BA)
PISTA : 35 / 17
EQUIPAMENTO: INT. IPR/USP
VELOCIDADE (km/h) : 65
SENTIDO : 17/35
INTERVALO DE MEDIÇÃO: [ ] 320 m [ ] 160 m [X] 80 m
DATA: 24/06/85
HORA: 03:55 h
OPERADOR: Ten OSVALDO

FAIXA		LEITURAS										
Nº	POSIÇÃO											
1	9 m à esquerda do eixo											
2	4,5 m à esquerda do eixo	38	30	32	30	46	53	41	35	28	42	40
		34	39	39	40							
3	sobre o eixo	38	28	46	35	43	38	39	40	45	67	40
		42	29	37								
4	4,5 m à direita do eixo	39	41	32	37	48	41	54	38	34	57	40
		35	28	52	40							
5	9 m à direita do eixo											

MEDIÇÃO DE IRREGULARIDADE

AEROPORTO : DOIS DE JULHO - SALVADOR (BA) EQUIPAMENTO: INT.IPR/USP

PISTA : 35 / 17 VELOCIDADE (km/h): 65

SENTIDO : 35/17

INTERVALO DE MEDIÇÃO: [ ] 320 m [ ] 160 m [X] 80 m

DATA: 24/06/85

HORA: 03:55 h

OPERADOR: Ten OSVALDO

FAIXA Nº	FAIXA POSIÇÃO	LEITURAS										
1	9 m à esquerda do eixo											
2	4,5 m à esquerda do eixo	42	32	35	50	36	34	53	53	52	36	39
		45	36	35								
3	sobre o eixo	40	30	47	43	56	45	36	36	37	50	42
		33	29	31								
4	4,5 m à direita do eixo	48	34	38	30	47	34	39	34	48	49	37
		32	35	30								
5	9 m à direita do eixo											

MEDIÇÃO DE IRREGULARIDADE

AEROPORTO : DOIS DE JULHO – SALVADOR (BA) EQUIPAMENTO: INT.IPR/USP

PISTA : 10 / 28 VELOCIDADE (km/h): 65

SENTIDO : 10/28

INTERVALO DE MEDIÇÃO: [ ] 320 m [ ] 160 m [X] 80 m

DATA: 24/06/85

HORA: 03:40 h

OPERADOR: Ten OSVALDO

FAIXA		LEITURAS										
Nº	POSIÇÃO											
1	9 m à esquerda do eixo	24	36	27	19	49	35	26	12	09	12	11
		18	27	19	18	38	27	25	30	17	17	21
		17	29	38	142	75	36	38	38	37	45	33
2	4,5 m à esquerda do eixo	35	43	35	35	20	23	27	10	09	19	15
		22	36	18	41	53	32	30	32	37	36	30
		29	44	28	89	108	34	35	43	31	36	40
3	sobre o eixo.	30	33	24	27	16	20	19	16	18	17	13
		19	19	19	14	14	25	22	24	17	19	20
		19	13	25	82	83	31	43	39	33	54	37
4	4,5 m à direita do eixo	33	37	25	24	15	15	32	21	16	12	08
		21	30	29	40	34	29	32	24	17	34	22
		24	30	25	80	90	49	70	48	42	58	37
5	9 m à direita do eixo	39	38	19	18	14	16	34	11	11	14	17
		25	25	29	22	21	26	21	20	19	29	16
		18	23	09	71	63	41	29	34	37	35	30

MEDIÇÃO DE IRREGULARIDADE

AEROPORTO : DOIS DE JULHO - SALVADOR (BA) EQUIPAMENTO: INT.IPR/USP

PISTA : 10 / 28

VELOCIDADE (km/h): 65

SENTIDO : 28/10

INTERVALO DE MEDIÇÃO: [ ] 320 m [ ] 160 m [X] 80 m

DATA: 24/06/85

HORA: 03:40 h

OPERADOR: Ten OSVALDO

FAIXA Nº	FAIXA POSIÇÃO	LEITURAS										
1	9 m à esquerda do eixo	36	46	22	34	45	51	89	16	21	19	13
		18	18	20	27	25	40	21	27	27	23	12
		09	07	13	27	25	24	15	17	31	20	44
2	4,5 m à esquerda do eixo	43	57	45	56	51	56	87	46	30	20	22
		24	22	21	22	30	33	32	28	29	32	16
		10	20	17	15	24	13	09	11	25	28	45
3	sobre o eixo	35	53	41	44	40	34	81	77	34	25	24
		30	24	27	23	25	24	22	21	12	22	17
		20	12	14	15	16	18	15	17	23	53	28
4	4,5 m à direita do eixo	49	46	34	40	55	39	138	74	32	26	25
		29	19	35	34	36	41	23	19	23	30	22
		11	15	14	16	29	26	20	28	25	45	30
5	9 m à direita do eixo	48	38	36	41	42	70	161	18	22	29	35
		21	24	26	20	25	31	30	27	24	21	18
		14	12	11	29	44	55	17	34	40	19	

M E D I Ç Ã O D E I R R E G U L A R I D A D E

AEROPORTO : SANTA MARIA - ARACAJU (SE)
P I S T A : 11/29

EQUIPAMENTO: INT.IPR/USP
VELOCIDADE (km/h): 65
SENTIDO : 11/29

INTERVALO DE MEDIÇÃO
- ☐ 320 m
- ☐ 160 m
- ☒ 80 m

DATA: 28/06/85
HORA: 07:30 h
OPERADOR: Ten OSVALDO
3S PINHEIRO

FAIXA		LEITURAS										
Nº	POSIÇÃO											
1	9,0 m à esquerda do eixo	29	26	27	22	27	22	34	19	17	21	18
		29	26	18	20	26	61	87				
2	4,5 m à esquerda do eixo	17	27	19	19	18	18	20	10	16	16	22
		19	19	14	05	06	74	32				
3	Sobre o eixo	20	26	18	20	20	18	25	15	13	21	17
		19	22	13	13	12	50	31				
4	4,5 m à direita do eixo	11	16	15	07	10	09	10	12	14	10	15
		17	14	15	07	11	56	38				
5	9,0 m à direita do eixo	24	25	28	23	19	23	15	21	10	23	15
		18	17	17	18	21	51	43				

MEDIÇÃO DE IRREGULARIDADE

AEROPORTO : SANTA MARIA – ARACAJU (SE) EQUIPAMENTO: INT.IPR/USP

PISTA : 11/29 VELOCIDADE (km/h): 65

SENTIDO : 29/11

INTERVALO DE MEDIÇÃO: ☐ 320 m ☐ 160 m ☒ 80 m

DATA: 28/06/85

HORA: 07:30 h

OPERADOR: Ten OSVALDO
3S PINHEIRO

FAIXA Nº	FAIXA POSIÇÃO	LEITURAS										
1	9 m à esquerda do eixo	74	23	22	21	14	24	20	23	19	13	14
		19	13	14	26	24	25	17				
2	4,5 m à esquerda do eixo	61	28	19	13	18	15	15	12	12	17	13
		06	15	07	13	16	19	19				
3	sobre o eixo	50	25	11	15	16	17	27	18	18	20	17
		20	19	16	24	19	24	22				
4	4,5 m à direita do eixo	37	45	13	07	14	17	18	14	22	16	11
		22	27	17	20	17	30	19				
5	9,0 m à direita do eixo	18	24	24	19	28	32	32	20	24	15	17
		28	23	29	20	25	20	23				

M E D I Ç Ã O D E I R R E G U L A R I D A D E

AEROPORTO : CAMPO DOS PALMARES – MACEIÓ (AL) EQUIPAMENTO: INP. IPR/USP

P I S T A : 12 / 30

VELOCIDADE (km/h) : 65

SENTIDO : 30/12

INTERVALO DE MEDIÇÃO: [ ] 320 m [ ] 160 m [X] 80 m

DATA: JUN / 85

HORA: 09:20 h

OPERADOR: Ten OSVALDO

FAIXA Nº	FAIXA POSIÇÃO	LEITURAS										
1	9 m à esquerda do eixo	10	12	13	08	08	15	17	18	08	14	12
		13	19	16	12	13	08	07	14	10	19	
2	4,5 m à esquerda do eixo	15	22	16	11	09	09	15	14	13	06	10
		07	06	16	16	15	10	12	05	08	06	
3	sobre o eixo	13	13	15	12	10	08	07	08	04	09	12
		10	10	22	15	11	14	09	08	14	07	
4	4,5 m à direita do eixo	09	11	12	14	12	08	10	06	09	13	14
		16	11	11	17	10	12	10	08	11	16	
5	9 m à direita do eixo	21	16	09	12	12	07	16	16	07	11	09
		07	13	03	11	09	16	09	08	07	04	

M E D I Ç Ã O D E I R R E G U L A R I D A D E

AEROPORTO : CAMPO DOS PALMARES - MACEIÓ (AL) EQUIPAMENTO: INT. IPR/GSP

P I S T A : 12 / 30

VELOCIDADE (km/h) : 65

SENTIDO : 12/30

INTERVALO DE MEDIÇÃO: [ ] 320 m [ ] 160 m [X] 80 m

DATA: JUN / 85

HORA: 09:20 h

OPERADOR: Ten OSVALDO

FAIXA		LEITURAS										
Nº	POSIÇÃO											
1	9 m à esquerda do eixo	09	13	18	18	18	15	12	20	09	08	14
		11	08	15	15	17	13	18	17	22	19	
2	4,5 m à esquerda do eixo	12	08	09	12	13	22	21	06	17	15	17
		14	11	11	08	09	12	13	10	08	12	
3	sobre o eixo	12	05	08	09	16	18	19	11	13	10	06
		11	09	09	06	10	09	09	12	09	12	
4	4,5 m à direita do eixo	08	07	12	08	08	10	12	05	09	08	06
		09	08	11	10	08	10	14	18	10	13	
5	9 m à direita do eixo	09	11	08	07	07	07	15	14	14	08	04
		04	11	17	17	06	06	14	14	08	08	

MEDIÇÃO DE IRREGULARIDADE

AEROPORTO : GUARARAPES - RECIFE (PE)

PISTA : 18 / 36

EQUIPAMENTO: INT.IPR/USP

VELOCIDADE (km/h): 65

SENTIDO : 18/36

INTERVALO DE MEDIÇÃO

- ☐ 320 m
- ☐ 160 m
- ☒ 80 m

DATA: 02/07/85

HORA: 10:00 h

OPERADOR: Ten OSVALDO

FAIXA		LEITURAS										
NV	POSIÇÃO											
1	9 m à esquerda do eixo	28	25	55	47	35	38	23	21	33	20	41
		24	59	45	44	36	32	28	27	17	43	40
		36	27	17	14	17	25	18	25	41	35	27
2	4,5 m à esquerda do eixo	28	32	33	30	38	49	37	49	27	21	22
		32	27	62	45	22	30	19	27	31	22	17
		17	30	20	22	14	23	29	16	18	29	20
		22										
3	sobre o eixo	30	17	31	28	25	33	31	22	26	33	54
		30	29	21	36	16	27	23	22	29	34	13
		27	23	16	36	15	20	32	19	20		
4	4,5 m à direita do eixo	22	18	20	64	51	56	29	67	23	28	38
		26	49	30	32	28	30	22	19	20	33	33
		21	24	27	24	31	28	29	17	26	29	16
5	9 m à direita do eixo	36	30	53	26	38	38	12	24	21	25	28
		14	64	29	42	22	33	11	24	18	28	18
		18	18	16	18	21	25	22	18	29	12	12

MEDIÇÃO DE IRREGULARIDADE

AEROPORTO : GUARARAPES - RECIFE (PE)

PISTA : 18 / 36

EQUIPAMENTO: INT. IPR/USP

VELOCIDADE (km/h): 65

SENTIDO : 36/18

INTERVALO DE MEDIÇÃO

- ☐ 320 m
- ☐ 160 m
- ☒ 80 m

DATA: 02/07/85

HORA: 10:00 h

OPERADOR: Ten OSVALDO

FAIXA		LEITURAS										
Nº	POSIÇÃO											
1	9 m à esquerda do eixo	13	16	26	19	24	30	32	17	18	18	25
		22	23	25	21	16	22	19	40	37	60	19
		35	38	35	30	30	31	39	30	49	30	28
		23										
2	4,5 m à esquerda do eixo	20	29	35	23	28	37	25	21	26	24	24
		35	37	20	20	20	32	27	40	30	54	25
		37	29	37	61	34	53	51	25	18	26	29
		28										
3	sobre o eixo	17	21	33	20	20	33	19	26	24	13	25
		19	21	28	32	18	42	28	28	42	52	30
		27	24	29	29	25	36	34	19	23	18	27
		28										
4	4,5 m à direita do eixo	29	16	20	28	14	16	28	13	18	24	17
		27	23	26	25	26	18	26	19	43	42	39
		24	32	22	24	39	39	49	36	24	30	29
		22										
5	9 m à direita do eixo	28	26	41	21	19	25	11	14	17	28	34
		34	43	22	15	20	25	30	34	33	52	17
		21	30	20	25	30	30	39	37	21	18	19
		20										

MEDIÇÃO DE IRREGULARIDADE

AEROPORTO : CASTRO PINTO – J. PESSOA (PB)

PISTA : 16 / 34

EQUIPAMENTO: INT. IPR/USP

VELOCIDADE (km/h) : 65

SENTIDO : 16/34

INTERVALO DE MEDIÇÃO: [ ] 320 m [ ] 160 m [X] 80 m

DATA: 06/07/85

HORA: 07:55 h

OPERADOR: Ten OSVALDO
3S PINHEIRO

FAIXA		LEITURAS										
Nº	POSIÇÃO											
1	9 m à esquerda do eixo	16	14	21	22	34	16	38	18	13	15	27
		12	24	27	27	22	39	14	09	18	13	14
		10	15	12	15	11	11					
2	4,5 m à esquerda do eixo	13	11	14	18	15	13	32	17	14	23	27
		15	21	28	19	14	37	14	16	21	15	13
		17	22	13	13	12	23					
3	sobre o eixo	15	09	19	12	12	15	18	55	10	27	25
		23	33	15	20	09	23	24	20	19	17	11
		19	13	08	14	16	11	21				
4	4,5 m à direita do eixo	17	08	28	15	14	07	15	44	15	21	27
		37	33	15	16	21	19	25	21	13	10	15
		22	15	12	12	10	13	14				
5	9 m à direita do eixo	06	04	25	15	06	08	14	43	17	22	38
		20	14	12	17	13	16	31	22	14	21	16
		16	14	18	21	16	16	22				

M E D I Ç Ã O D E I R R E G U L A R I D A D E

AEROPORTO : CASTRO PINTO – J. PESSOA (PB)

P I S T A : 16 / 34

EQUIPAMENTO: INT. IPR/USP

VELOCIDADE (km/h): 65

SENTIDO : 34/16

INTERVALO DE MEDIÇÃO

- ☐ 320 m
- ☐ 160 m
- ☒ 80 m

DATA: 06/07/85

HORA: 07:55 h

OPERADOR: Ten OSVALDO
3S PINHEIRO

FAIXA		L E I T U R A S										
Nº	POSIÇÃO											
1	9 m à esquerda do eixo	16	18	25	20	15	20	19	30	12	16	34
		11	17	16	09	16	24	28	22	14	33	18
		17	06	12	26	03	08					
2	4,5 m à esquerda do eixo	18	19	16	17	20	17	17	17	15	26	18
		36	27	15	19	31	25	30	17	17	48	14
		12	15	11	28	05	15					
3	sobre o eixo	17	13	17	13	17	16	11	19	15	17	13
		29	10	15	16	25	19	21	32	13	40	24
		15	16	10	13	14	10	15				
4	4,5 m à direita do eixo	20	12	14	13	20	15	12	12	18	13	25
		29	22	17	28	25	17	22	20	17	17	36
		09	18	20	10	14	19	20				
5	9 m à direita do eixo	15	09	14	10	17	11	19	15	18	10	24
		26	30	18	27	20	19	23	17	09	38	17
		13	23	25	14	16	19	15				

M E D I Ç Ã O D E I R R E G U L A R I D A D E

AEROPORTO : AUGUSTO SEVERO - NATAL (RN)
P I S T A : 16L/34R
EQUIPAMENTO: INT.IPR/USP
VELOCIDADE (km/h): 65
SENTIDO : 16/34
INTERVALO DE MEDIÇÃO: ☐ 320 m ☐ 160 m ☒ 80 m
DATA: 07/07/85
HORA: 09:30 h
OPERADOR: Ten OSVALDO

FAIXA Nº	FAIXA POSIÇÃO	L E I T U R A S										
1	9 m à esquerda do eixo	29	20	29	28	29	31	29	17	33	18	18
		34	29	26	19	15	42	26	31	33	31	17
		28	26	18								
2	4,5 m à esquerda do eixo	30	22	56	37	24	27	19	12	19	16	16
		25	20	25	25	39	34	44	31	32	26	32
		29	22	16								
3	sobre o eixo	31	24	43	28	30	21	21	16	24	28	23
		23	20	29	23	46	33	22	22	31	33	32
		25	19	26								
4	4,5 m à direita do eixo	49	37	39	32	19	24	41	22	13	13	30
		43	33	23	19	32	55	25	16	24	29	27
		46	37	24	19							
5	9 m à direita do eixo	37	44	39	28	18	28	29	23	21	30	32
		31	31	29	30	48	19	22	15	12	27	27
		35	18	20								

MEDIÇÃO DE IRREGULARIDADE

AEROPORTO : AUGUSTO SEVERO - NATAL (RN)
PISTA : 16L/34R
EQUIPAMENTO: INT.IPR/USP
VELOCIDADE (km/h) : 65
SENTIDO : 34/16
INTERVALO DE MEDIÇÃO: ☐ 320 m ☐ 160 m ☒ 80 m
DATA: 07/07/85
HORA: 09:30 h
OPERADOR: Ten OSVALDO

FAIXA Nº	FAIXA POSIÇÃO	LEITURAS										
1	9 m à esquerda do eixo	21	32	26	28	24	21	15	10	32	31	17
		17	16	27	36	21	18	31	42	30	23	27
		45	42	35								
2	4,5 m à esquerda do eixo	20	31	37	29	27	18	20	19	58	93	26
		26	44	55	31	18	14	24	42	23	26	32
		40	25	37								
3	sobre o eixo	25	24	35	38	29	32	22	33	57	30	30
		20	26	23	25	25	18	26	26	26	34	37
		31	27	29								
4	4,5 m à direita do eixo	18	25	35	28	28	39	38	42	66	27	21
		28	20	27	20	20	15	22	22	36	33	50
		32	25									
5	9 m à direita do eixo	17	28	27	21	15	37	24	17	43	19	27
		25	40	32	17	18	20	25	23	32	31	24
		32	27	43								

M E D I Ç Ã O D E I R R E G U L A R I D A D E

AEROPORTO : AUGUSTO SEVERO - NATAL (RN)
PISTA : 12/30
EQUIPAMENTO: INT.IPR/USP
VELOCIDADE (km/h): 65
SENTIDO : 12/30
INTERVALO DE MEDIÇÃO: ☐ 320 m ☐ 160 m ☒ 80 m
DATA: 08/07/85
HORA: 23:00 h
OPERADOR: Ten OSVALDO

FAIXA Nº	POSIÇÃO	L E I T U R A S										
1	9 m à esquerda do eixo											
2	4,5 m à esquerda do eixo	41	67	40	37	35	52	30	44	46	41	42
		32	39	61	67	31	45	31	35			
3	sobre o eixo	65	63	49	31	37	36	33	48	53	44	34
		31	36	62	37	34	35	22	64			
4	4,5 m à direita do eixo	58	40	45	34	37	29	44	33	27	33	37
		21	43	51	52	33	38	21	20			
5	9 m à direita do eixo											

MEDIÇÃO DE IRREGULARIDADE

AEROPORTO : AUGUSTO SEVERO - NATAL (RN)
PISTA : 12/30
EQUIPAMENTO: INT. IPR/USP
VELOCIDADE (km/h): 65
SENTIDO : 30/12
INTERVALO DE MEDIÇÃO
☐ 320 m
☐ 160 m
☒ 80 m
DATA: 08/07/85
HORA: 23:00 h
OPERADOR: Ten OSVALDO

FAIXA		LEITURAS										
Nº	POSIÇÃO											
1	9 m à esquerda do eixo											
2	4,5 m à esquerda do eixo	35	38	39	53	69	42	42	43	35	46	37
		53	31	33	38	66	47	56	64			
3	sobre o eixo	20	42	34	37	70	41	27	37	36	59	66
		42	50	41	37	46	64	60	52			
4	4,5 m à direita do eixo	33	41	35	47	58	28	34	38	35	48	39
		32	38	34	29	47	61	29	44			
5	9 m à direita do eixo											

M E D I Ç Ã O D E I R R E G U L A R I D A D E

AEROPORTO : AUGUSTO SEVERO - NATAL (RN)
PISTA : 16R/34L
EQUIPAMENTO: INT.IPT/USP
VELOCIDADE (km/h): 65
SENTIDO : 16/34
INTERVALO DE MEDIÇÃO
- ☐ 320 m
- ☐ 160 m
- ☒ 80 m

DATA: 09/07/85
HORA: 01:15 h
OPERADOR: Ten OSVALDO

FAIXA Nº	FAIXA POSIÇÃO	LEITURAS										
1	9 m à esquerda do eixo											
2	4,5 m à esquerda do eixo	65	52	42	35	17	27	36	28	21	26	19
		18	15	26	18	20	19	12	13			
3	sobre o eixo	5	4	10	8	25	16	26	5	20	14	27
		23	20	6	25	38	73	58	55			
		Feita no sentido 34/16										
4	4,5 m à direita do eixo	109	62	30	12	20	37	35	20	18	25	20
		49	33	33	18	12	15	13	13			
5	9 m à direita do eixo											

MEDIÇÃO DE IRREGULARIDADE

AEROPORTO : PINTO MARTINS – FORTALEZA (CE)
PISTA : 13/31
EQUIPAMENTO: INT. IPR/USP
VELOCIDADE (km/h) : 65
SENTIDO : 13/31
INTERVALO DE MEDIÇÃO: [ ] 320 m [ ] 160 m [X] 80 m
DATA: 11/07/85
HORA: 06:23 h
OPERADOR: Ten OSVALDO

FAIXA Nº	FAIXA POSIÇÃO	LEITURAS										
1	9 m à esquerda do eixo	25	26	40	37	28	27	18	13	22	22	31
		19	29	21	29	13	29	22	19	23	19	40
		18	15	17	19	15	12					
2	4,5 m à esquerda do eixo	22	26	54	39	32	32	28	23	41	36	33
		21	39	24	34	25	22	33	29	24	32	39
		23	19	38	18	22	16					
3	sobre o eixo	20	29	47	40	29	30	24	18	14	22	27
		20	20	24	21	27	27	23	20	33	17	38
		28	23	19	17	15	22					
4	4,5 m à direita do eixo	34	22	23	45	36	19	24	23	14	27	14
		13	19	15	16	10	20	31	19	19	21	35
		14	17	28	16	27	18					
5	9 m à direita do eixo	26	18	26	11	20	14	18	21	20	30	12
		35	19	18	10	16	16	16	17	12	10	29
		17	14	15	23	22	19					

MEDIÇÃO DE IRREGULARIDADE

AEROPORTO : PINTO MARTINS - FORTALEZA (CE) EQUIPAMENTO: INT. IPR/USP

PISTA : 13/31 VELOCIDADE (km/h) : 65

SENTIDO : 31/13

INTERVALO DE MEDIÇÃO: [ ] 320 m [ ] 160 m [X] 80 m

DATA: 11/07/85

HORA: 06:23 h

OPERADOR: Ten OSVALDO

FAIXA		LEITURAS										
Nº	POSIÇÃO											
1	9 m à esquerda do eixo	17	17	18	13	18	16	26	13	13	14	12
		12	17	11	19	18	17	10	23	11	11	13
		14	22	11	22	11	21					
2	4,5 m à esquerda do eixo	15	22	13	19	17	22	20	22	12	14	18
		14	16	07	15	22	21	17	22	17	18	14
		17	23	16	09	21	34					
3	sobre o eixo	17	12	15	18	27	35	30	20	33	21	24
		22	28	17	22	23	22	28	21	16	19	28
		21	32	25	43	27	29					
4	4,5 m à direita do eixo	14	16	23	23	15	22	37	26	22	24	30
		20	23	21	19	29	24	31	40	36	17	34
		27	38	39	46	23	36					
5	9 m à direita do eixo	13	14	18	10	13	47	25	21	16	14	40
		26	38	28	39	24	30	37	30	20	19	31
		24	26	31	31	17	29					

M E D I Ç Ã O D E I R R E G U L A R I D A D E

AEROPORTO : TERESINA (PI)

P I S T A : 01 / 19

EQUIPAMENTO: INT.IPT/USP

VELOCIDADE (km/h): 65

SENTIDO : 01/19

INTERVALO DE MEDIÇÃO

- [ ] 320 m
- [ ] 160 m
- [X] 80 m

DATA: 13/07/85

HORA: 15:00 h

OPERADOR: Ten OSVALDO

FAIXA		L E I T U R A S										
Nº	POSIÇÃO											
1	9 m à esquerda do eixo	41	24	21	39	23	26	29	21	27	25	33
		26	26	37	36	22	39	32	23	33	36	42
		23	33	24								
2	4,5 m à esquerda do eixo	36	18	26	35	18	13	28	18	36	24	20
		28	28	40	35	28	27	33	28	31	57	37
		42	31	29								
3	sobre o eixo	27	21	24	34	20	20	24	23	19	24	19
		25	13	32	15	18	27	27	20	30	60	31
		27	24	20								
4	4,5 m à direita do eixo	42	15	27	23	16	26	24	24	20	20	27
		30	23	25	16	29	27	55	23	39	53	33
		26	23	19								
5	9 m à direita do eixo	51	17	25	27	30	34	34	27	50	30	20
		23	33	30	41	33	23	49	30	31	54	20
		20	18	29								

M E D I Ç Ã O D E I R R E G U L A R I D A D E

AEROPORTO : TERESINA (PI)

P I S T A : 01 / 19

EQUIPAMENTO: INT. IPR/USP

VELOCIDADE (km/h) : 65

SENTIDO : 19/01

INTERVALO DE MEDIÇÃO

- [ ] 320 m
- [ ] 160 m
- [X] 80 m

DATA: 13/07/85

HORA: 15:00 h

OPERADOR: Ten OSVALDO

FAIXA		LEITURAS										
Nº	POSIÇÃO											
1	9 m à esquerda do eixo	22	20	20	46	38	35	39	27	32	30	32
		34	33	28	27	37	44	39	31	28	21	27
		18	34	47								
2	4,5 m à esquerda do eixo	21	27	24	53	35	19	45	29	28	14	21
		26	28	17	23	23	14	30	25	14	27	32
		17	40	63								
3	sobre o eixo	26	26	29	63	34	21	20	20	26	09	28
		21	17	24	18	24	18	18	21	20	25	33
		18	32	44								
4	4,5 m à direita do eixo	28	29	40	59	31	11	28	21	34	25	37
		40	27	23	20	36	25	25	23	16	26	38
		21	23	53								
5	9 m à direita do eixo	22	24	29	47	36	25	31	35	29	27	38
		27	27	29	36	25	22	26	23	18	22	35
		20	28	49								

MEDIÇÃO DE IRREGULARIDADE

AEROPORTO : TIRIRICAL - SÃO LUÍS (MA)
PISTA : 06/24
EQUIPAMENTO: INT. IPT/USP
VELOCIDADE (km/h): 65
SENTIDO : 06/24
INTERVALO DE MEDIÇÃO: [ ] 320 m [ ] 160 m [X] 80 m
DATA: 16/07/85
HORA: 09:45 h
OPERADOR: Ten OSVALDO

FAIXA Nº	FAIXA POSIÇÃO	LEITURAS										
1	9 m à esquerda do eixo	18	45	31	41	24	26	05	10	07	13	22
		21	19	31	26	47	48	27	16	17	12	06
		23	19	26	16	19						
2	4,5 m à esquerda do eixo	28	29	32	35	14	26	12	12	14	39	36
		12	15	39	35	33	17	22	18	22	12	06
		25	21	23	15	33						
3	sobre o eixo	17	20	41	19	19	15	13	06	09	17	15
		31	24	31	21	18	24	20	22	29	20	15
		25	11	21	27	19						
4	4,5 m à direita do eixo	26	19	51	38	22	26	16	13	10	14	11
		19	28	30	11	17	16	22	12	20	17	22
		15	11	22								
5	9 m à direita do eixo	21	20	89	33	16	44	23	10	09	36	21
		18	13	21	57	20	20	18	16	08	15	22
		25	32	13	16	19						

M E D I Ç Ã O D E I R R E G U L A R I D A D E

AEROPORTO : TIRIRICAL - SÃO LUÍS (MA)
P I S T A : 06/24

EQUIPAMENTO: INT. IPR/USP
VELOCIDADE (km/h): 65
SENTIDO : 24/06

INTERVALO DE MEDIÇÃO
- [ ] 320 m
- [ ] 160 m
- [x] 80 m

DATA: 16/07/85
HORA: 09:45 h
OPERADOR: Ten OSVALDO

FAIXA		L E I T U R A S										
Nº	POSIÇÃO											
1	9 m à esquerda do eixo	14	23	18	17	16	10	16	09	13	25	21
		19	31	22	15	14	16	30	13	12	23	34
		15	32	59	17	15						
2	4,5 m à esquerda do eixo	18	31	22	10	19	21	15	16	08	22	16
		17	12	29	25	12	13	18	12	17	16	25
		16	26	49	17	28						
3	sobre o eixo	22	33	23	20	26	17	15	26	20	25	24
		15	17	31	25	24	17	21	09	08	17	15
		23	19	43	29	15						
4	4,5 m à direita do eixo	30	20	35	21	30	06	14	15	14	22	38
		25	40	38	17	16	39	36	09	12	15	22
		19	27	20	34	20						
5	9 m à direita do eixo	12	29	27	27	22	12	06	20	17	32	35
		26	25	19	36	26	26	24	15	16	18	41
		30	39	47	45	21						

M E D I Ç Ã O D E I R R E G U L A R I D A D E

AEROPORTO : TIRIRICAL - SÃO LUÍS (MA)
PISTA : 09/27
EQUIPAMENTO: INT. IPR/USP
VELOCIDADE (km/h): 65
SENTIDO : 09/27
INTERVALO DE MEDIÇÃO: [ ] 320 m [ ] 160 m [X] 80 m
DATA: 16/07/85
HORA: 09:45 h
OPERADOR: Ten OSVALDO

FAIXA Nº	FAIXA POSIÇÃO	L E I T U R A S										
1	9 m à esquerda do eixo	23	29	46	25	20	22	20	16	25	47	57
		40	35	32	58							
2	4,5 m à esquerda do eixo	31	39	31	28	53	33	72	25	35	49	44
		44	35	42	42							
3	sobre o eixo	36	46	59	27	34	27	20	35	45	36	50
		41	47	48	63							
4	4,5 m à direita do eixo	47	36	43	18	42	40	35	29	23	44	68
		62	50	29	22							
5	9 m à direita do eixo	43	26	24	22	42	20	17	48	20	56	49
		50	40	28	34							

M E D I Ç Ã O D E I R R E G U L A R I D A D E

AEROPORTO : TIRIRICAL - SÃO LUÍS (MA)
EQUIPAMENTO: INT.IPR/USP
P I S T A : 09/27
VELOCIDADE (km/h): 65
SENTIDO : 27/09
INTERVALO DE MEDIÇÃO: ☐ 320 m ☐ 160 m ☒ 80 m
DATA: 16/07/85
HORA: 09:45 h
OPERADOR: Ten OSVALDO

FAIXA Nº	FAIXA POSIÇÃO	L E I T U R A S										
1	9 m à esquerda do eixo	36	19	36	52	55	43	17	23	22	27	22
		18	15	19	28							
2	4,5 m à esquerda do eixo	15	51	49	51	53	51	27	28	28	34	50
		12	23	32	42							
3	sobre o eixo	40	47	44	46	46	43	45	38	16	25	53
		26	81	52	44							
4	4,5 m à direita do eixo	43	33	39	54	55	30	29	32	35	15	30
		45	29	26	44							
5	9 m à direita do eixo	40	25	39	39	64	30	32	45	17	18	25
		20	46	27	24							

MEDIÇÃO DE IRREGULARIDADE

AEROPORTO : VAL DE CÃES - BELÉM (PA)
PISTA : 06 / 24
EQUIPAMENTO: INT.IPT/USP
VELOCIDADE (km/h): 65
SENTIDO : 06/24
INTERVALO DE MEDIÇÃO: [ ] 320 m [ ] 160 m [X] 80 m
DATA: 21/07/85
HORA: 15:20 h
OPERADOR: Ten SEIXAS

FAIXA Nº	FAIXA POSIÇÃO	LEITURAS										
1	9 m à esquerda do eixo	34	29	28	23	24	26	25	43	28	26	35
		30	23	28	23	22	14	29	21	29	17	19
		11	24	26	41	40	43	33				
2	4,5 m à esquerda do eixo	25	29	31	15	16	25	21	45	18	34	38
		31	19	41	14	20	19	22	18	15	12	21
		15	18	32	38	38	30	29				
3	sobre o eixo	38	34	33	25	26	21	26	38	31	43	25
		29	36	38	15	23	15	25	36	24	27	26
		15	23	33	40	37	35	39				
4	4,5 m à direita do eixo	24	17	39	18	27	19	18	27	14	31	28
		33	25	26	16	32	23	27	22	23	23	25
		23	16	38	29	28	23	23				
5	9 m à direita do eixo	39	62	26	23	27	19	28	43	21	41	25
		29	26	29	24	37	35	37	24	40	27	33
		19	19	40	41	43	29	24				

M E D I Ç Ã O D E I R R E G U L A R I D A D E

AEROPORTO : VAL DE CÃES - BELÉM (PA)
PISTA : 06 / 24
EQUIPAMENTO: INT.IPR/USP
VELOCIDADE (km/h): 65
SENTIDO : 24/06
INTERVALO DE MEDIÇÃO: [ ] 320 m [ ] 160 m [X] 80 m
DATA: 21/07/85
HORA: 15:20 h
OPERADOR: Ten SEIXAS

FAIXA Nº	FAIXA POSIÇÃO	LEITURAS										
1	9 m à esquerda do eixo	34	36	36	42	30	20	18	21	17	19	27
		25	15	22	17	46	21	47	32	39	18	24
		24	34	35	17	30	36	30				
2	4,5 m à esquerda do eixo	20	29	34	46	34	23	18	30	30	35	19
		30	18	30	20	29	26	22	27	31	22	35
		36	24	30	22	45	44	30				
3	sobre o eixo	35	43	46	25	25	17	24	32	22	27	29
		47	28	33	17	36	26	27	22	38	18	37
		36	17	22	21	34	27	33				
4	4,5 m à direita do eixo	26	27	48	47	25	23	19	32	21	24	24
		18	20	25	22	16	33	31	33	34	38	45
		31	34	25	11	24	28	25				
5	9 m à direita do eixo	27	46	32	43	25	25	16	25	15	26	16
		25	18	20	21	35	34	31	36	36	26	38
		24	29	20	18	34	23	24				

M E D I Ç Ã O D E I R R E G U L A R I D A D E

AEROPORTO : VAL DE CÃES - BELÉM (PA)
PISTA : 02 / 20
EQUIPAMENTO: INT.IPR/USP
VELOCIDADE (km/h): 65
SENTIDO : 02/20
INTERVALO DE MEDIÇÃO: [ ] 320 m [ ] 160 m [X] 80 m
DATA: 21/07/85
HORA: 15:20 h
OPERADOR: Ten SEIXAS

FAIXA		LEITURAS										
Nº	POSIÇÃO											
1	9 m à esquerda do eixo	46	47	45	36	29	23	24	30	23	25	25
		29	30	38	30	27	52	21	24			
2	4,5 m à esquerda do eixo	48	41	48	29	24	38	30	23	33	26	42
		16	23	55	20	44	50	38	38			
3	sobre o eixo	28	49	48	27	41	36	29	61	33	29	45
		67	70	55	31	45	37	46	49			
4	4,5 m à direita do eixo	46	53	39	40	52	71	37	31	33	35	46
		83	49	49	29	52	37	25	23			
5	9 m à direita do eixo	58	62	63	50	63	72	31	26	33	31	32
		46	80	37	37	44	24	19	29			

MEDIÇÃO DE IRREGULARIDADE

AEROPORTO : VAL DE CÃES - BELÉM (PA)
PISTA : 02 / 20
EQUIPAMENTO: INT.IPR/USP
VELOCIDADE (km/h): 65
SENTIDO : 20/02
INTERVALO DE MEDIÇÃO: ☐ 320 m ☐ 160 m ☒ 80 m
DATA: 21/07/85
HORA: 15:20 h
OPERADOR: Ten SEIXAS

FAIXA Nº	FAIXA POSIÇÃO	LEITURAS										
1	9 m à esquerda do eixo	25	29	19	22	36	42	33	32	29	22	20
		17	18	24	30	31	27	27	34			
2	4,5 m à esquerda do eixo	24	27	35	29	26	59	46	95	41	82	25
		36	23	65	48	38	39	62	42			
3	sobre o eixo	32	68	32	49	41	42	67	102	47	40	31
		50	36	34	26	37	56	44	20			
4	4,5 m à direita do eixo	36	44	26	24	26	55	24	30	46	31	38
		23	22	40	30	28	31	54	56			
5	9 m à direita do eixo	28	20	43	23	34	39	35	27	29	35	24
		28	29	35	33	35	33	57	66			