





**COMPATIBILIZAÇÃO DOS VALORES DE IRI E
QI PARA CORRESPONDÊNCIA DE NÍVEL DE
IRREGULARIDADE EM RODOVIAS TIPO
FREEWAY**



Triunfo
CONCEPA



CONCEPA - Concessionária da Rodovia Osório Porto Alegre S.A.

Rodovia: BR-290/RS – BR-116/RS

Trecho: Osório – Porto Alegre – Entr. BR-116 (Acesso para Guaíba)

Segmento: Km 0 ao Km 112 da BR-290 = Km 291 ao Km 299,9 da BR-116

Extensão: 121 km

Edital: 0292/93-00

Data Concorrência: Fase I: 09/1993

Fase II: 06/1994

Fase III: 30/11/1994

Data Início do Contrato: 04/07/1997

Data do Término do Contrato: 04/07/2017

Data Base do Contrato: Nov/94

- **No primeiro trecho conhecido como Free Way, a Rodovia BR 290 atravessa seis municípios (Osório, Santo Antonio da Patrulha, Glorinha, Gravataí, Cachoeirinha e Porto Alegre**
- **No segundo trecho, já coincidente com a BR-116 e conhecido como Travessia Getúlio Vargas, passa por Porto Alegre e Eldorado do Sul;**
- **No último trecho sendo apenas a BR-116, corta Eldorado do Sul e Guaíba;**
- **Atende, portanto, oito municípios onde vivem aproximadamente 2,5 milhões de habitantes, e é um dos principais corredores de ligação com o Mercosul, em especial com o Uruguai e a Argentina.**

APRESENTAÇÃO



Características Técnicas da Rodovia BR/290-RS

Tipo de Rodovia	Classe Especial
Relevo	Plano
Velocidade Diretriz	120 km/h
Faixa de domínio	120,00m
Raio mínimo	700,00m
Rampa máxima	< 3%
Extensão em tangente	52.893,00 m
Extensão em curvas	43.707,00 m
Pista de rolamento	3 faixas por sentido com 3,75m cada + acostamento externo com 3,00m, acostamento interno de 2,00m e canteiro central de 6,00m

APRESENTAÇÃO

Antes: 2 faixas de rolamento de 3,75 metros, faixa de segurança interna com 1,00 metro e acostamento externo com 3,50 metros



Depois: três faixas de rolamento de 3,75 metros, faixa de segurança interna com 2 metros e acostamento externo com 3 metros



Dados de monitoramento base para o estudo

Irregularidade

Afundamento de Trilha de Roda

Índice de Gravidade Global (Trincamento)

Deflexão

Limites PER

**QI < 35
cont/km**

ATR < 5mm

IGG < 30

**Deflexão < 50
(0,01mm)**

Motivos para estudar a compatibilização entre os índices de irregularidade IRI e QI:

- Pesquisas sobre o assunto nos últimos anos demonstraram a ineficácia e inadequação dos modelos mais conhecidos de correlação entre os índices IRI e QI;
- Órgãos e agências reguladoras de rodovias brasileiras nem sempre contemplam o mesmo índice - alternando entre IRI e QI;

- Realização de avaliações dos diversos tipos de pavimentos e tipos de rodovias de uma maneira homogênea;
- Softwares utilizados para dimensionamento de pavimentos utilizam como dados de entrada índices de irregularidade;
- Em paralelo nota-se que se a correlação errada fosse feita para a gerência de uma malha pavimentada, haveria grande possibilidade de tomadas de decisões erradas;
- Evolução dos equipamentos e da metodologia X Parâmetros de Contrato.

Qual é o índice de irregularidade IRI mais correto que corresponderia ao valor do índice QI = 35 cont/km contemplado no contrato de concessão da CONCEPA?

PERFILÔMETROS INERCIAIS

- Mede o perfil longitudinal do pavimento adequado ao QI / IRI;
- Permite a variação da velocidade e não depende de caract. do veículo;
- Sua calibração normalmente é duradoura e pode ser verificada;
- Possibilita um amplo leque de utilizações.

Um pouco de história da Irregularidade:

- 1941 *BPR Roughometer*
- 1964 Perfilômetro GMR, usado com simulador matemático do BPR, gerava *Quarter Car Index (QI)*
- 1975 Pesquisa PICR, usou o QI*, criou o Quociente de Irregularidade (QI)
- 1982 IRRE, no Brasil, gerou o IRI



REPETITIVIDADE E EXATIDÃO – Testes Iniciais do Perfilômetro Inercial Laser

- 3 bases com 200 m úteis, níveis de irregularidade diferentes

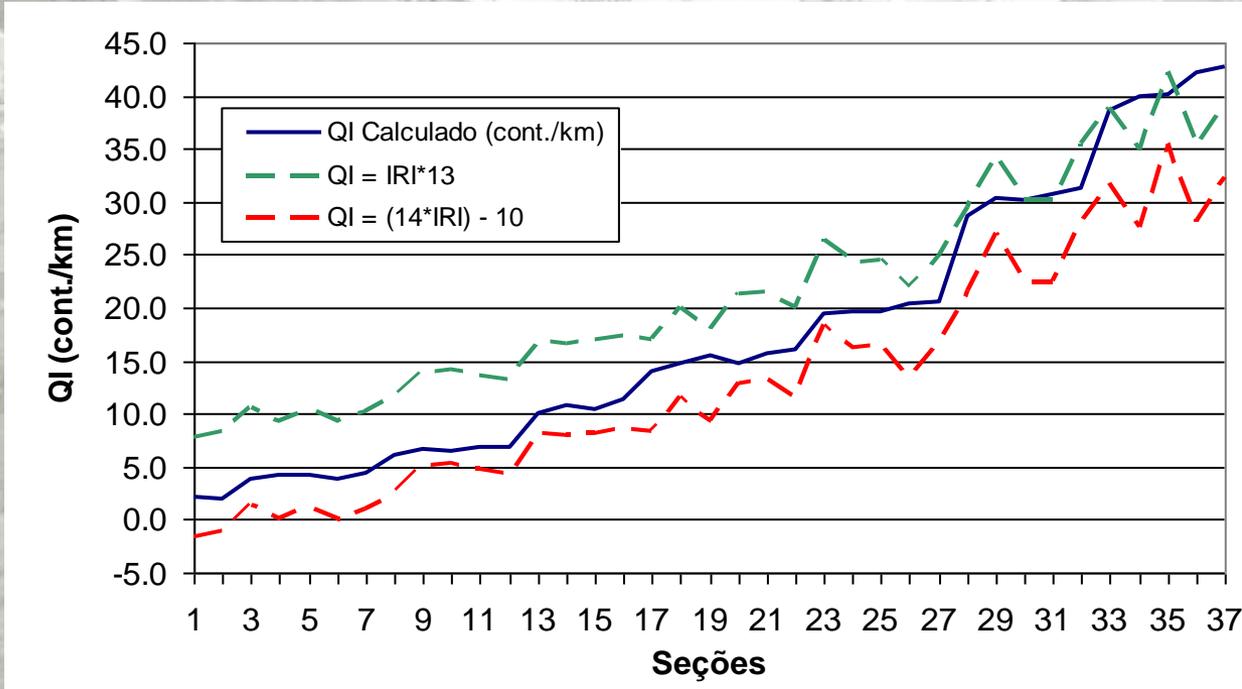
	Medição Dipstick 25 cm		10 medições Perfilômetro	
	QI (cont/km)	IRI (m/km)	QI médio (cont/km)	IRI médio (m/km)
A – Base Bandeirantes	23.2	2.38	22.7	2.37
B - Base USP 1	28.6	2.66	28.9	2.73
C - Base USP 2	35.8	3.09	34.1	3.03

Diferenças Percentuais:
Dipstick – Perfilômetro

	QI	IRI
A – Base Bandeirantes	1.73%	0.38%
B - Base USP 1	-0.89%	-2.78%
C - Base USP 2	3.81%	2.10%



Foram verificados os dois modelos de correlação usados no Brasil



Em trabalhos anteriores, foram selecionados 37 trechos de 200m com QI variando de 2,2 a 42,8 cont/km

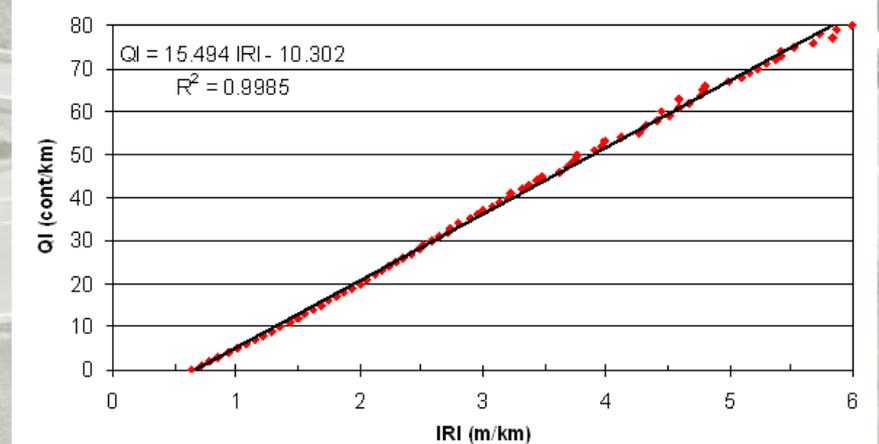
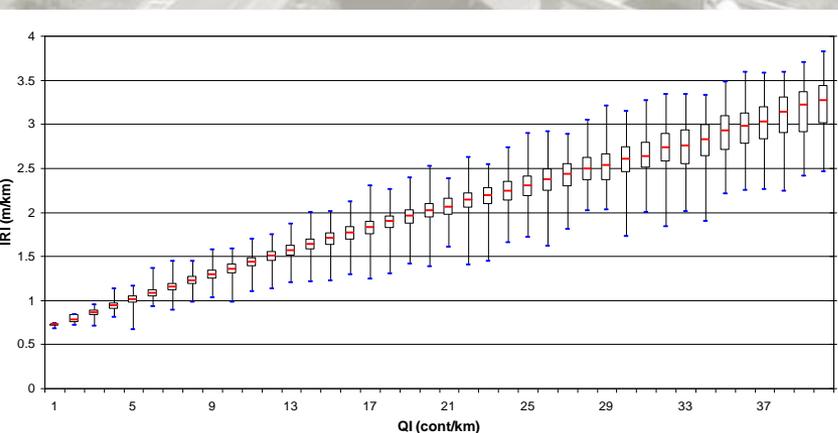
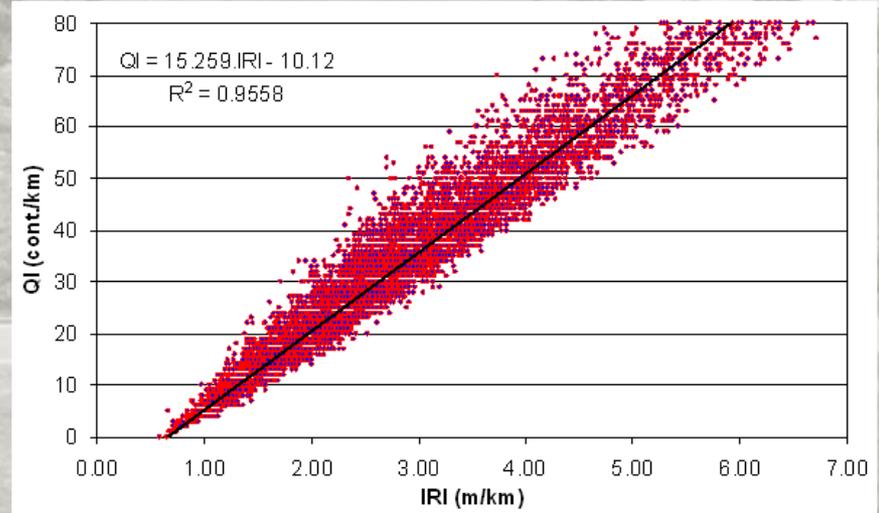
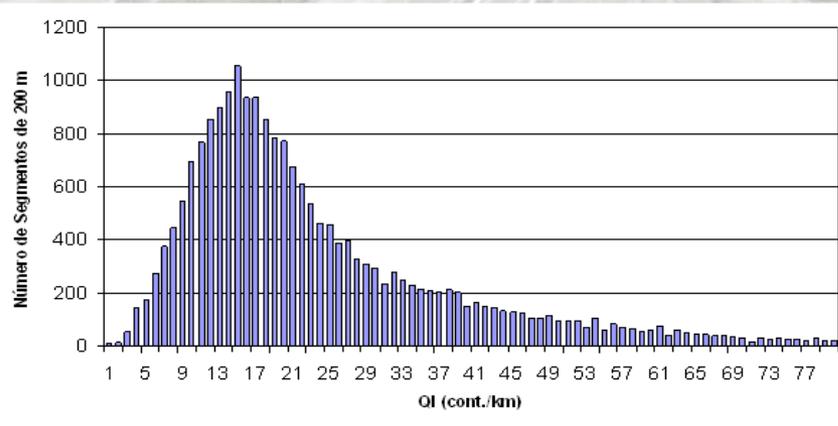
Tratam-se de análises relativas

Dadas as diferenças, estudou-se o assunto com mais dados

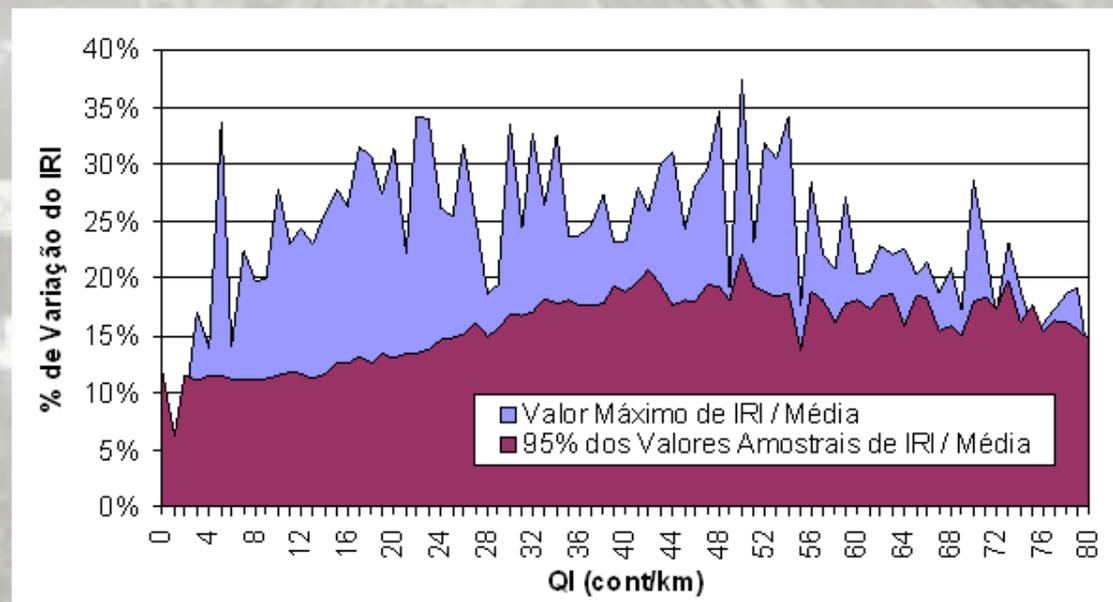
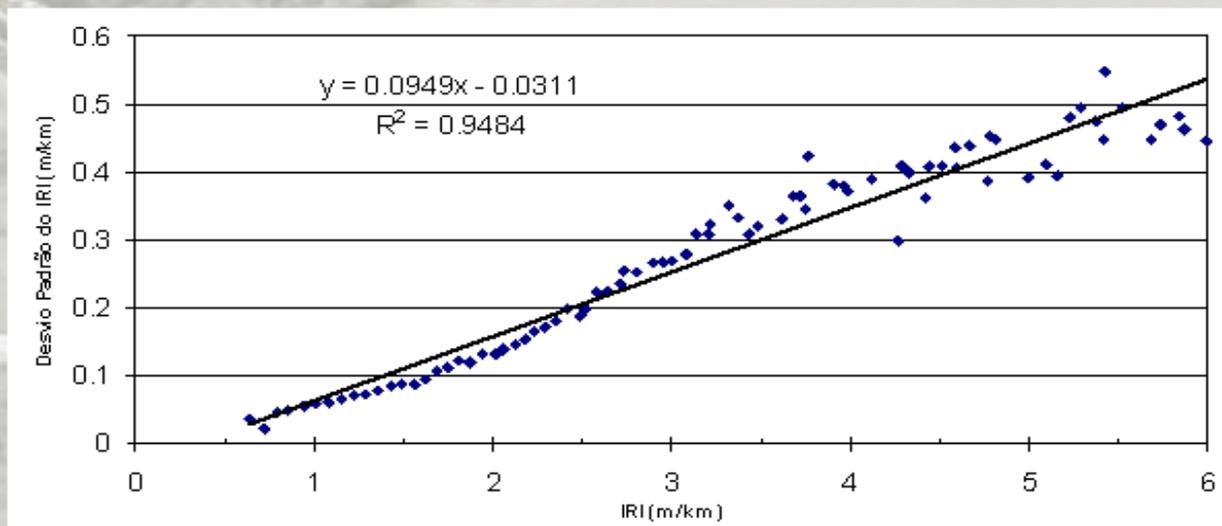
CORRELAÇÃO IRI X QI

$-1 \leq QI \leq 80$
 $,59 \leq IRI \leq 6,69$

21942 trechos de 200 m

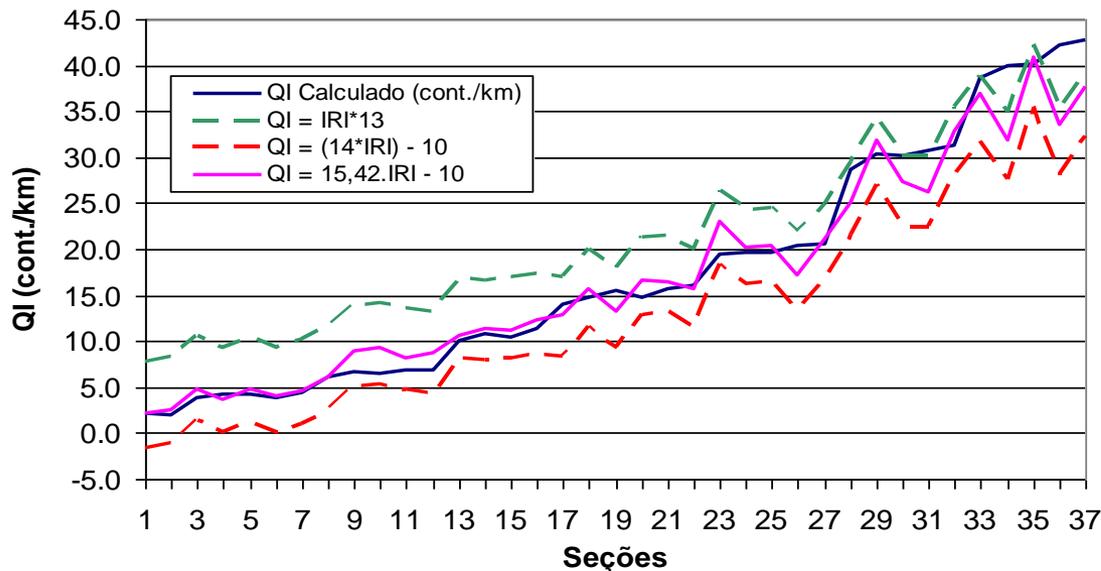
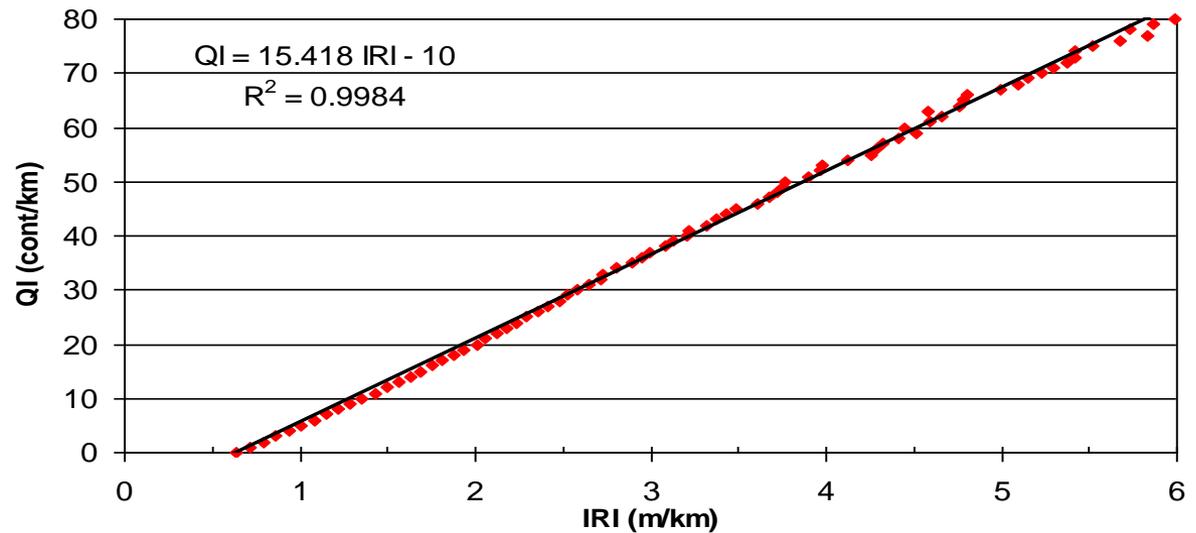


CORRELAÇÃO IRI X QI



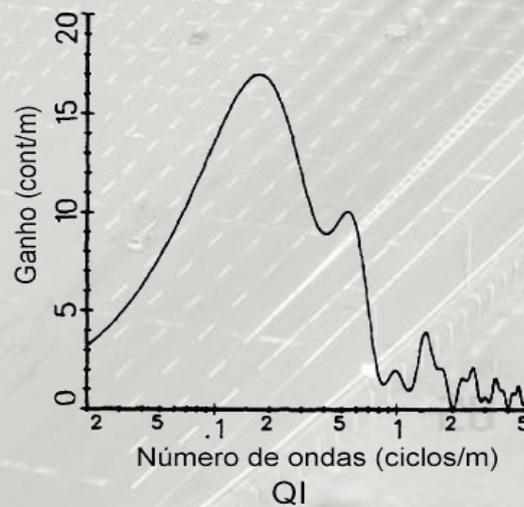
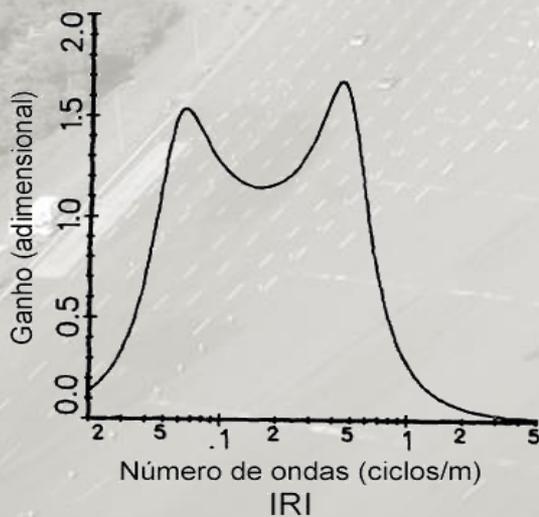
CORRELAÇÃO IRI X QI

QI = 15,42 IRI - 10



Mesmo em face de um modelo melhor, não se recomenda correlacionar os dois índices p/ evitar erros que em 95% das vezes podem atingir 20%

- *Os dados evidenciaram uma grande dispersão de valores, não divulgada em outras publicações;*
- *No caso mais extremo, para $QI = 50$ cont/km, o IRI variou entre 2,3 e 4,6 m/km;*
- *Os resultados são independentes do equipamento, vez que os cálculos foram feitos em perfis, sendo que a explicação está na característica dos índices.*



- *Diferentemente do estudo IRRE, houve neste grande diversidade de geometrias;*
- *A principal conclusão portanto é a recomendação de não se usar correlações entre QI e IRI;*
- *Para situações em que não existam os perfis, a correlação $QI = 15,42 \cdot IRI - 10$, pode ser usada informando-se a dispersão;*
- *O estudo bibliográfico indicou que a correlação $QI = 13 \cdot IRI$, não é adequada para o QI atual (DNIT).*

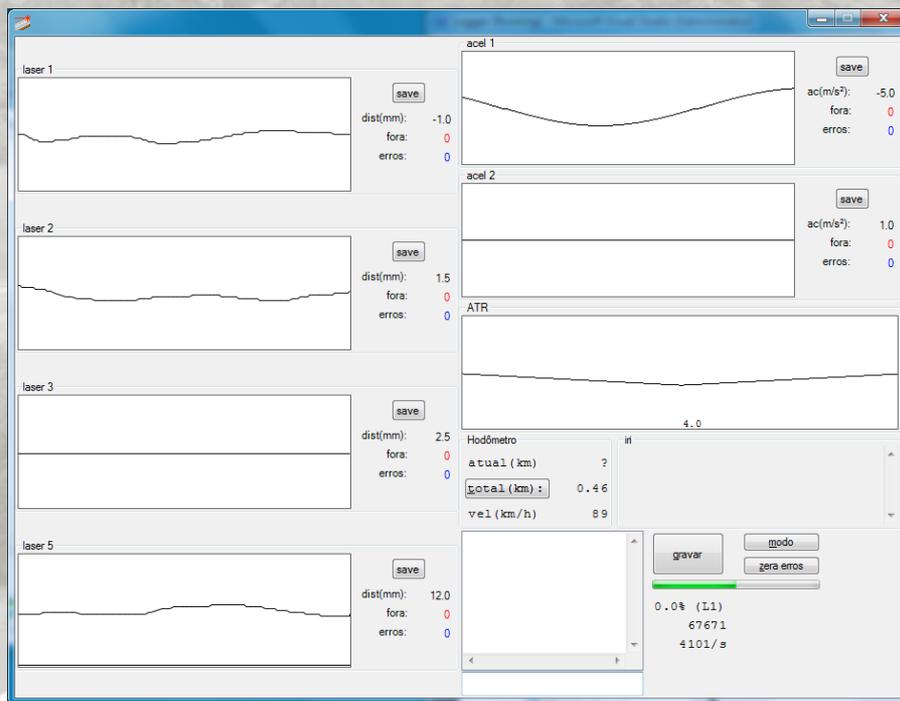
MÉTODO

- Para a realização da pesquisa, foi feito um novo levantamento de todos os perfis longitudinais das faixas de rolamento sob concessão da CONCEPA utilizando equipamento mais modernos que o tradicionalmente utilizado em levantamentos.



MÉTODO

- O equipamento utilizado para realizar o novo levantamento, tem como princípio de funcionamento, um veículo que contém o equipamento instalado que trafega sobre o pavimento e um computador registrando concomitantemente o deslocamento longitudinal, a altura do veículo até o pavimento e a aceleração vertical do mesmo.



- Simultaneamente, o sistema processa os dados para que a aceleração vertical registrada seja transformada em deslocamento vertical. A “transformação” da medida da aceleração em deslocamento vertical é feita através de duas integrações sucessivas. Com o valor do deslocamento calculado, consegue-se traçar o perfil para medição das irregularidades.

CiberShell - C:\Levantamentos\Concepa 2011

- * BR290 - Pista Norte - Faixa 1 - km 55.93 ate km 62.02.obs
- * BR290 - Pista Norte - Faixa 2 - km 56.13 ate km 61.75.obs
- * BR290 - Pista Norte - Faixa 3 - km 16.75 ate km 19.64.obs
- * BR290 - Pista Norte - Faixa 3 - km 56.26 ate km 60.62.obs

Pasta Obs Nomes Extrair Processamento Excel

pulso	km	m	obs
7030480	56.962		inicio da capa nov
7044017	57.002	-1	km57
7381414	57.999	1	km58
7589199	58.613		ponte
7608150	58.669		fim
7719487	58.998	2	km59
8058576	60.000	0	km60
8397326	61.001	0	km61
8591574	61.575		fim da capa nova
8609172	61.627		fim do levantament

pulso(km) 2.954979e-6 -3%

deslocamento (km) 36.187076

salvar carregar obs regressão ax+b regressão b recarregar_obs salvar_cfg

CiberShell - C:\Levantamentos\Concepa 2011

- ATR_BR290 - Pista Norte - Faixa 1 - km 57.00 ate km 61.50.out
- ATR_BR290 - Pista Norte - Faixa 2 - km 57.00 ate km 61.50.out
- ATR_BR290 - Pista Norte - Faixa 3 - km 17.00 ate km 19.00.out
- ATR_BR290 - Pista Norte - Faixa 3 - km 57.00 ate km 60.20.out
- IRI_QI_BR290 - Pista Norte - Faixa 1 - km 57.00 ate km 61.50.out
- IRI_QI_BR290 - Pista Norte - Faixa 2 - km 57.00 ate km 61.50.out
- IRI_QI_BR290 - Pista Norte - Faixa 3 - km 17.00 ate km 19.00.out
- IRI_QI_BR290 - Pista Norte - Faixa 3 - km 57.00 ate km 60.20.out

Pasta Obs Nomes Extrair Processamento Excel

Realização: Cibemétrica
Data: 28-02-2011
Contratantes: Concepa
Operador: João Rodrigo
Espaçamento dos sensores: 150

Troca dos títulos

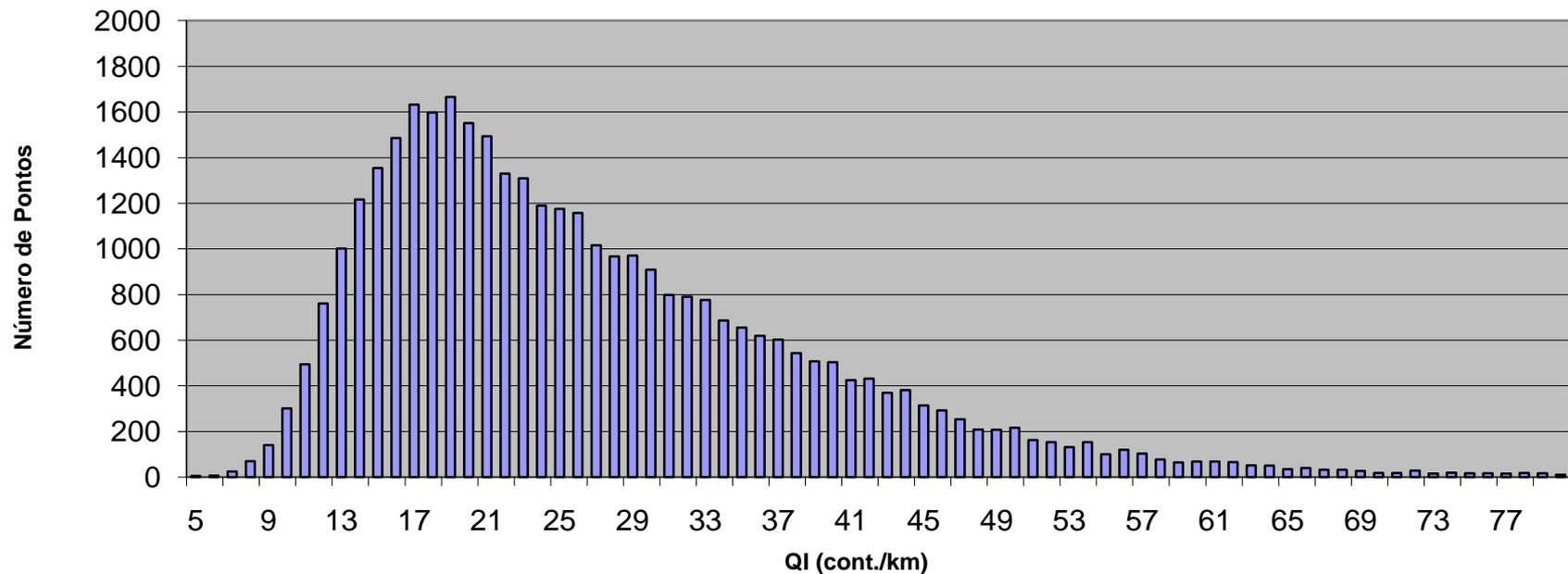
De:	Para:
ATR 1:2:3	ATR Esq
ATR 1:2:4	ATR Esq
ATR 1:2:5	ATR
ATR 1:3:5	ATR

Exportar

- Nesta pesquisa, visando atender as duas normas vigentes, foram calculados para cada segmento de 200 metros um perfil com espaçamento de 50 centímetros para o cálculo do QI e outro perfil com espaçamento de 25 centímetros para o cálculo do IRI.
- Levantamentos de irregularidade realizados nos anos de 2007 à 2010 foram reprocessados e considerados em conjunto com o novo levantamento para possuir um banco de dados mais completo e uma análise mais abrangente.
- Com base nos perfis longitudinais destes 5 anos, foram então calculados o QI e o IRI para cada trilha de roda de cada segmento, independentemente.
- A massa de dados totalizou pouco mais de 37500 mil pares (IRI x QI).
- As principais observações feitas em campo durante os levantamentos reprocessados e realizados foram analisadas, para que se pudesse excluir pares com dados que pudessem não representar perfis corretos de pavimentos. Foram eliminados pontos referentes à paradas na pista, umidade, objetos da pista, sujeira, desvios, saídas, ultrapassagens, etc.
- Após tal análise restaram 36.263 pares de valores de QI e IRI, ambos referentes aos mesmos segmentos de 200 metros.

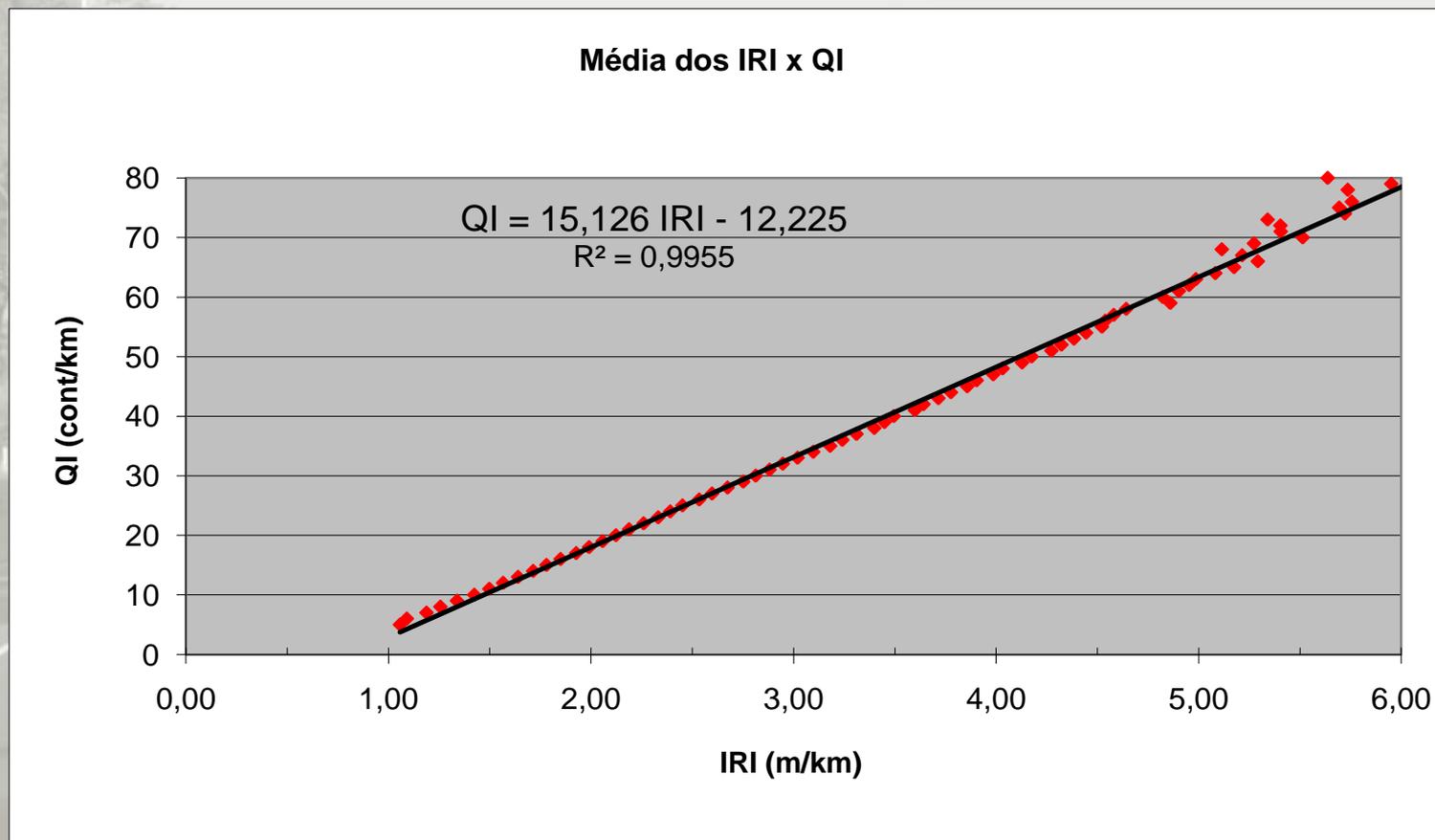
- Foi realizada em seguida uma análise estatística que resumidamente consistiu em arredondar os dados do QI visando eliminar a casa decimal para que fosse possível determinar a variação dos valores do IRI para cada valor inteiro de QI.
- Como foi verificado que os valores de QI acima de 80 cont/km eram muito poucos, eles também foram cortados da análise, pois as médias de IRI para cada QI em tais valores não seriam representativas. Restaram para a análise inicial 36.137 pares de pontos.
- Em seguida, calculou-se para cada valor de QI arredondado entre 5 e 80 cont/km, as seguintes estatísticas referentes aos valores do IRI: mediana, primeiro quartil, o terceiro quartil, o mínimo, o máximo, o máximo menos o mínimo, o coeficiente de variação, a média, o desvio padrão e a quantidade de valores de IRI referente a cada QI arredondado.

Distribuição dos Pontos Segundo o Índice QI



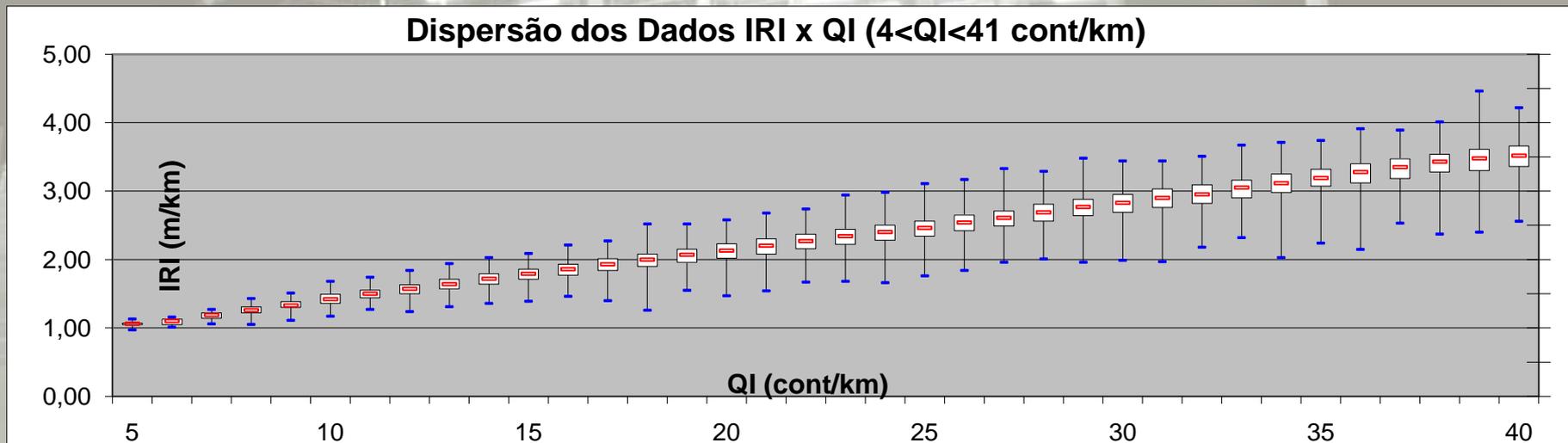
- O gráfico representa a distribuição da quantidade de medidas observadas em cada valor arredondado de QI, entre 5 e 80 m/km. Como pode ser observado há um número substancial de medidas para os valores de QI entre 10 e 45 cont./km.

- O gráfico ilustra o alinhamento existente entre os valores médios de IRI para cada unidade de QI e inclui a regressão linear desta relação.



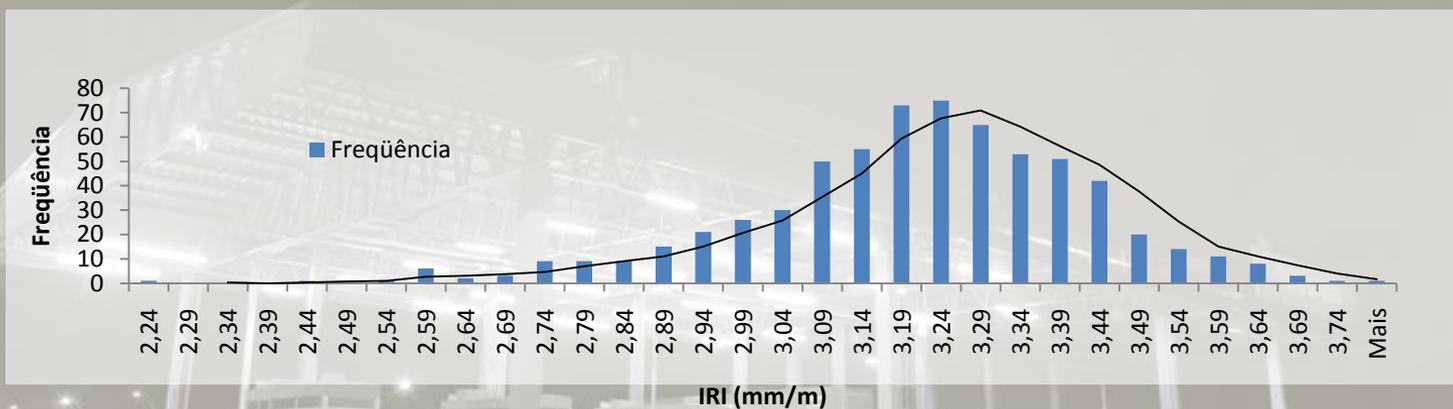
MÉTODO

- É possível observar uma pequena variação entre a regressão linear obtida por BARELLA (2007), entretanto a tendência e o alinhamento são muito semelhantes, o que valida inclusive o estudo anterior com um base de dados completamente diferente.
- O gráfico tipo *box plot* que concentra diversas das informações estatísticas levantadas também mostra resultados muito similares aos da pesquisa citada e permite a mesma conclusão de que existe uma grande variação de valores de IRI para cada valor de QI, muito embora possa ser observada uma concentração maior ao redor do valor médio do IRI.



- Como para esta pesquisa o interesse maior está justamente ao redor do valor $QI = 35$ cont/km, foi levantado o histograma dos valores de IRI, agrupados em faixas de $0,05$ m/km, em que o valor de QI arredondado foi igual a 35 cont/km.

Histograma $QI=35$ (cont/km)



- O histograma evidencia as mesmas conclusões da pesquisa anterior que validam o cálculo da média mostrado anteriormente, vez que a linha de tendência incluída por meio de média móvel demonstra que a distribuição dos valores do IRI para um mesmo valor de QI segue uma distribuição próxima da normal.

- A análise estatística dos 656 valores de IRI que geraram um valor de QI arredondado igual a 35 cont/km, revela os seguintes resultados:

QI = 35 cont/km	
Média	3,179771341
Erro padrão	0,008324221
Mediana	3,19
Modo	3,19
Desvio padrão	0,213204076
Variância da amostra	0,045455978
Intervalo	1,5
Mínimo	2,24
Máximo	3,74

- Em uma primeira análise, pode-se afirmar que o valor justo de IRI que representa nos segmentos de perfis longitudinais de 200 metros, o valor inteiro de $QI = 35$ cont/km, seria o valor médio de 3,18 m/km.
- Com esse dado em mãos, passamos ao segundo método de análise proposto, que foi de se verificar em toda a série de dados levantada, com base no QI original, não arredondado para um valor inteiro, o número de pares ordenados que conteria valores de QI maiores que 35,0 cont/km. Em seguida, organizando-se a série de dados pelo valor do decrescente do IRI, contando o mesmo número de pares ordenados, chega-se ao valor do IRI justo, ou seja, o IRI que deixa o mesmo número de segmentos fora do limite estabelecido.
- Organizou-se então os 36.263 pares ordenados originais por ordem de QI e em seguida foi verificado que 8.003 pares possuíam valores de QI maiores ou iguais a 35,1 cont/km.
- Em seguida, organizou-se os mesmos pares em ordem decrescente de IRI e contou-se 8.003 pares para se chegar então ao par de número 8.004, cujo valor de IRI também foi igual a 3,18 m/km.

- **As análises e estudos com os dados dos levantamentos permitem afirmar que o índice de irregularidade IRI mais correto que corresponde ao valor do índice $QI = 35$ cont/km, encontrado no contrato de concessão, é de $3,18$ m/km.**
- **O primeiro método validou o segundo e vice-versa, não deixando dúvidas portanto que para os pavimentos da Concepa, com base nos milhares de segmentos de perfis longitudinais analisados o valor de IRI de $3,18$ m/km representa adequadamente o valor de QI de 35 cont/km, podendo portanto ser substituído contratualmente sem prejuízos nem vantagens para nenhum dos lados envolvidos na relação contratual de uma concessão rodoviária.**
- **A conclusão acima não quer dizer que tal relação permanecerá fixa por tempo indefinido, pois diferentes conformações de irregularidades podem alterar a relação com o tempo, visto que os índices se comportam de forma diferente em relação aos diferentes comprimentos de onda que compõem a irregularidade de um pavimento.**
- **Também é importante salientar que o valor correspondente de IRI determinado nesta pesquisa não pode ser estendido a outras rodovias sem que um estudo individualizado como este seja realizado.**

www.concepa.com.br

**Rua Voluntários da Pátria 4813 CEP 90230-011 Porto Alegre RS
Fone/Fax 51 3027 7400 Informações 51 3029 2000**

Eng. Rodrigo Maluf Barella, DSc.

Eng. Lélío Brito, DSc.

Eng. Fábio Hirsch, MSc.

Eng. Fernando Cronst

Eng. João Rodrigo Matos, MSc.

Eng. Thiago Vitorello, MSc.