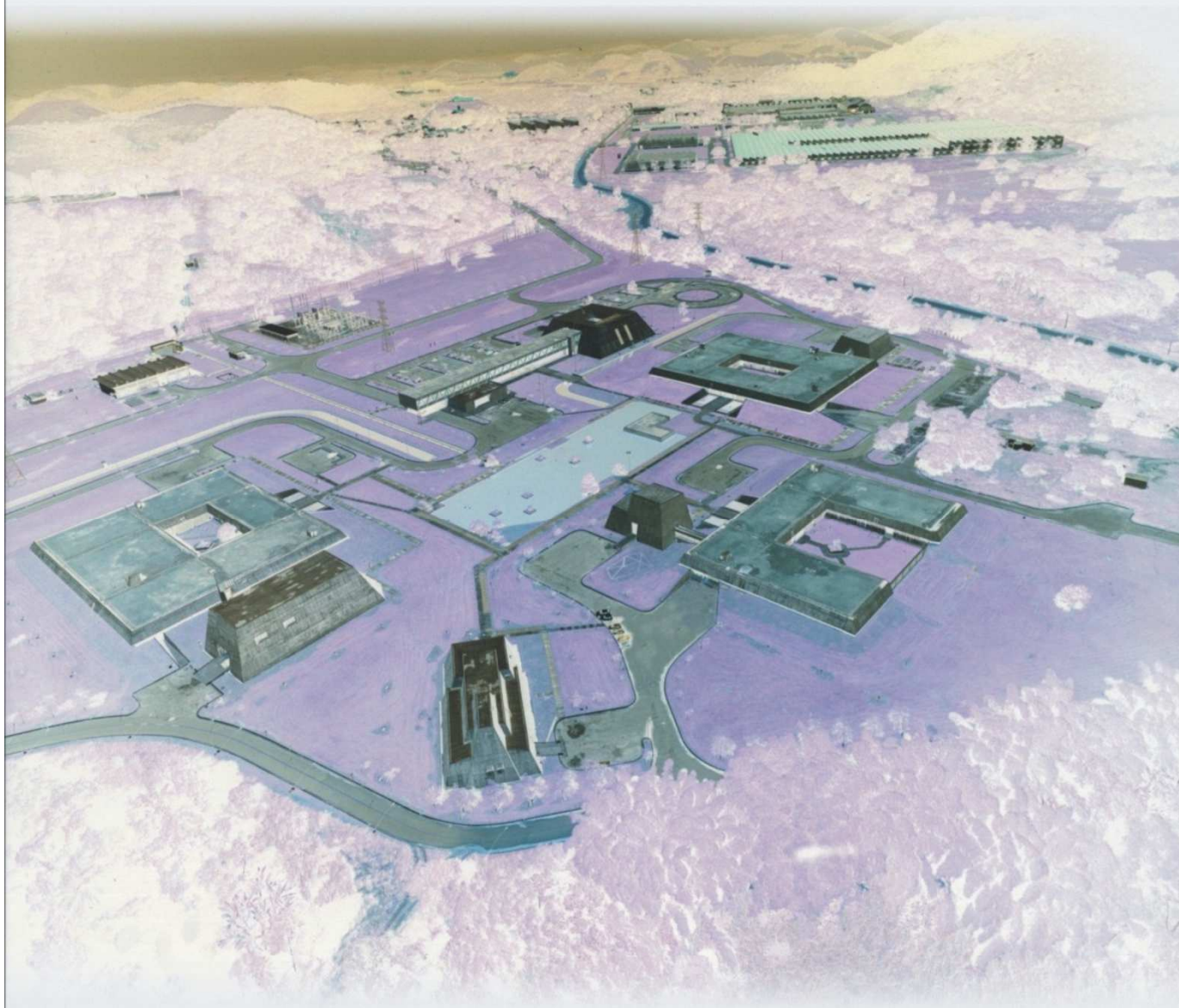


# Relatório Final da Comparação Interlaboratorial em Ensaios Dinamométricos de Motores Ciclo Otto



Inmetro  
Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia

**PEP-Inmetro**

Programa de Ensaios de Proficiência do Inmetro

# COMPARAÇÃO INTERLABORATORIAL EM ENSAIOS DINAMOMÉTRICOS DE MOTORES CICLO OTTO

## RELATÓRIO FINAL Nº 006/2017

### ORGANIZAÇÃO PROMOTORA DA COMPARAÇÃO INTERLABORATORIAL



Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia - Inmetro  
Diretoria de Metrologia Científica e Tecnologia - Dimci  
Endereço: Av. Nossa Senhora das Graças, 50 - Xerém - Duque de Caxias  
RJ - Brasil - CEP: 25250-020  
E-mail para contato: pep-inmetro@inmetro.gov.br

### COMITÊ DE ORGANIZAÇÃO

Adelcio Rena Lemos (Inmetro/Dimci/GT-PEP)  
José Ricardo Bardellini da Silva (Inmetro/Dimci/GT-PEP)  
Neivaldo Silva Nonato (Inmetro/Dimci/GT-PEP)  
Paulo Roberto da Fonseca Santos (Inmetro/Dimci/GT-PEP)  
Paulo Roque Martins Silva (Inmetro/Dimel/Diart)  
Valnei Smarçaro da Cunha (Inmetro/Dimci/Dimqt)

### COMITÊ TÉCNICO

Gabriel Fonseca Sarmanho (Inmetro/Dimci/Dimqt)  
Luiz Henrique da Conceição Leal (Inmetro/Dplan/Dgcor)  
Paulo Roque Martins Silva (Inmetro/Dimel/Diart)  
Rodrigo Faggi (AEA)  
Valnei Smarçaro da Cunha (Inmetro/Dimci/Dimqt)

## SUMÁRIO

1.	Introdução .....	3
2.	Materiais e Métodos .....	3
2.1.	Item de Ensaio .....	3
2.2.	Metodologia .....	4
2.3.	Análise Estatística .....	4
2.3.1.	Integridade do Item de teste .....	4
2.3.2.	Análise de Variância - ANOVA .....	6
2.3.3.	Visualização dos Resultados e Detecção de Outliers: Box-Plot .....	6
3.	Análise de Resultados .....	7
3.1.	Análise de Variância - ANOVA .....	7
3.1.1.	Torque Corrigido .....	7
3.1.2.	Potência Corrigida .....	19
3.2.	Visualização dos Resultados e Detecção de <i>Outliers</i> : Box-Plot .....	30
3.2.1.	Torque Corrigido .....	30
3.2.2.	Potência Corrigida .....	31
4.	Conclusões .....	33
5.	Participantes .....	33
6.	Referências Bibliográficas .....	34

## 1. Introdução

A Comparação Interlaboratorial é uma ferramenta da qualidade para a identificação de diferenças interlaboratoriais, porém a avaliação tem caráter pontual. Uma CI tem por finalidade comparar resultados de medição de diferentes laboratórios, realizados sob condições similares, e, assim, obter uma avaliação da competência técnica dos laboratórios participantes, fornecendo-lhes um mecanismo adequado para avaliar e demonstrar a confiabilidade de seus resultados de medições. Os laboratórios participantes, por sua vez, têm a oportunidade de rever seus procedimentos de análises, bem como a implantar melhorias nos seus processos, caso seja necessário.

Esta comparação interlaboratorial é a primeira realizada em motores do ciclo Otto e nela foram propostas as avaliações dos parâmetros torque corrigido em N·m e potência corrigida em kW. As medidas destes parâmetros foram realizadas em 19 rotações, a saber: 6000, 5750, 5500, 5250, 5000, 4750, 4500, 4250, 4000, 3750, 3500, 3250, 3000, 2750, 2500, 2250, 2000, 1750 e 1500 rpm.

Esta CI teve como objetivo:

- Comparar os resultados dos laboratórios para os ensaios propostos;
- Monitorar os resultados dos laboratórios de análise de torque e potência;
- Contribuir para o aumento da confiança nos resultados das medições dos laboratórios que efetuam ensaios em bancos dinamométricos de motores ciclo Otto;
- Contribuir para a melhoria contínua das técnicas de medição de torque e potência de cada laboratório;

## 2. Materiais e Métodos

### 2.1. Item de Ensaio

O item de comparação utilizado nesta CI foi um motor do ciclo Otto cedido pela empresa Fiat Chrysler Automóveis (FCA), atualmente de responsabilidade do Instituto Mauá de Tecnologia com as características descritas na tabela 1.

**Tabela 1** - Características do item de comparação

<b>Fabricante</b>	Fiat Chrysler Automóveis (FCA)
<b>Modelo</b>	Fire 1.4 L EVO
<b>Número do motor</b>	2019573
<b>Combustível</b>	Etanol

## 2.2. Metodologia

Os laboratórios participantes realizaram os ensaios no motor conforme o procedimento:

- Procedimento de teste – motores ciclo Otto. Procedimento baseado na norma ABNT NBR ISO 1585:1996 e enviado aos participantes via e-mail.

Pontos que deveriam ser observados:

- Os ensaios deverão ser realizados nas condições normais do motor;

## 2.3. Análise Estatística

### 2.3.1. Integridade do Item de teste

O laboratório da Magneti Marelli realizou ensaios no início e ao final da Comparação Interlaboratorial, para avaliar as condições encontradas no item de teste e informou a coordenação desta CI os resultados para que fosse verificada estatisticamente a integridade do motor.

Para avaliar a integridade do item, ou seja, se as medições iniciais diferem estatisticamente das finais utilizou-se o teste estatístico de Wilcoxon-Mann-Whitney.

Pôde-se observar que houve diferença estatisticamente significativa (Tabela 1 p-valores inferiores a 0,05) entre as medições iniciais e finais para todas as rotações avaliadas e para ambos os parâmetros torque corrigido (N.m) e potência corrigida (kW).

Tabela 1. P-valores do teste de Wilcoxon-Mann-Whitney

Rotação (rpm)	Torque corrigido (N.m)	Potência corrigida (kW)
6000	0,012186	0,011667
5750	0,012186	0,012186
5500	0,012186	0,006694
5250	0,012186	0,012186
5000	0,012186	0,011925
4750	0,012186	0,012186
4500	0,007495	0,012186
4250	0,011925	0,011925
4000	0,012186	0,011925
3750	0,011925	0,012186
3500	0,012186	0,011925
3250	0,011925	0,011925
3000	0,012186	0,011925
2750	0,011925	0,011925
2500	0,012186	0,011925
2250	0,011925	0,011667
2000	0,011925	0,011667
1750	0,011667	0,010909
1500	0,012186	0,009701

Sendo assim, o motor não se manteve íntegro durante a realização desta Comparação Interlaboratorial. As figuras 1 e 2 mostram as curvas obtidas para os parâmetros torque e potência corrigida no início e ao final da CI. Para ambos os casos, nota-se claramente a diminuição de torque e potência no final da CI. Houve claramente um problema no item de teste que de alguma forma influenciou no andamento da CI como se verá mais adiante neste relatório.

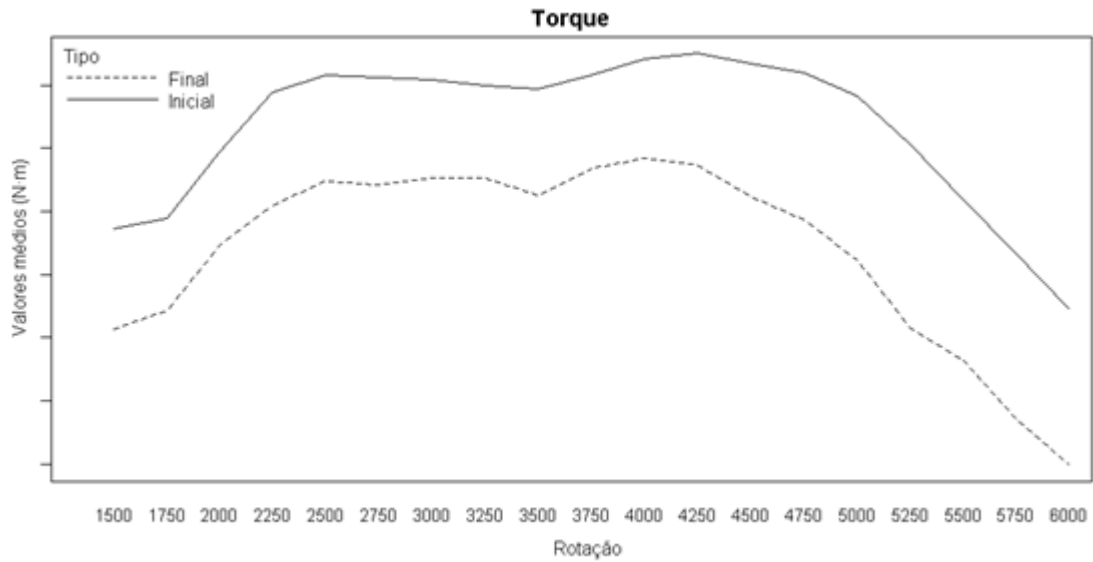


Figura 1 – Medidas de torque corrigidas obtidas no início e ao final da CI de ensaios dinamométricos de motores do ciclo Otto

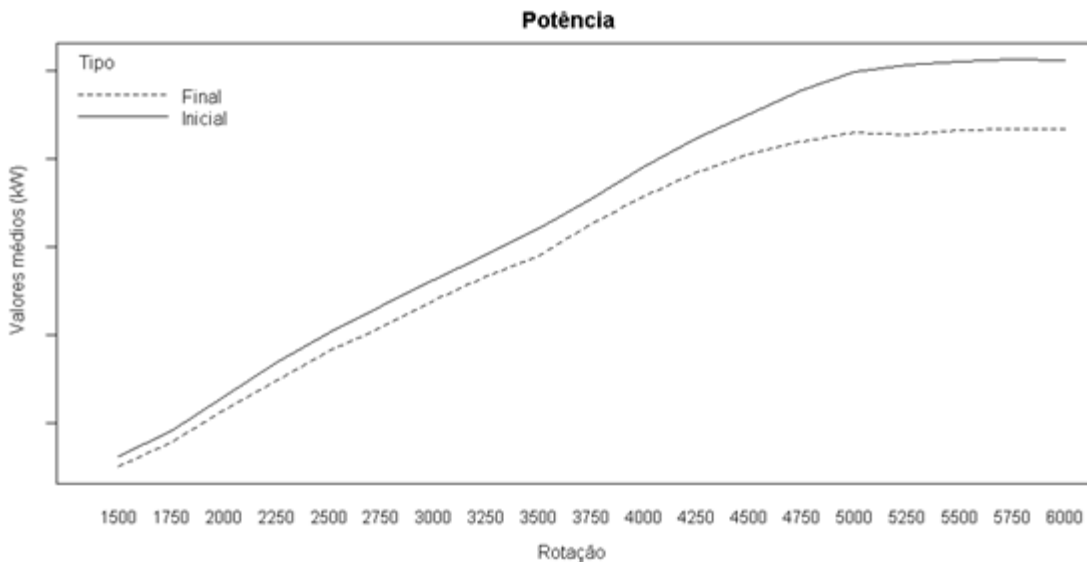


Figura 2 – Medidas de potência corrigidas obtidas no início e ao final da CI de ensaios dinamométricos de motores do ciclo Otto

Devido à confidencialidade dos resultados, uma vez que laboratório que efetuou os ensaios de integridade também é participante da CI, estes resultados não serão apresentados.

### 2.3.2. Análise de Variância - ANOVA

Para a comparação entre as médias de todos os participantes, foi utilizado o método de comparação ANOVA de fator único para cada parâmetro em cada uma das rotações utilizadas. Esse método usa um teste único para determinar se há ou não diferenças entre as médias dos participantes em vez de comparações pareadas, como são feitas com o teste t.

Após a ANOVA, se houvesse algum participante com resultados discrepantes, deveria ser utilizado o procedimento denominado “Diferença Menos Significativa” (DMS) para identificar quais médias específicas dos participantes diferem dos outros. Nesse método, calcula-se uma diferença que é avaliada como a menor diferença, que é significativa. A diferença entre cada par de médias é então comparada com a diferença menos significativa para se determinar quais médias são diferentes.

Para um número igual de réplicas  $N_g$  para cada participante, a diferença menos significativa é calculada conforme equação abaixo:

$$DMS = t \cdot \sqrt{\frac{2 \cdot MQE}{N_g}} \quad (1)$$

Onde:

DMS = Diferença Menos Significativa

t = t de student

MQE = Quadrado da média para o erro

$N_g$  = Réplicas para cada participante

### 2.3.3. Visualização dos Resultados e Detecção de *Outliers*: Box-Plot

O Box-plot (gráfico de caixa) é um gráfico utilizado para visualização da distribuição de um conjunto de dados [4]. É formado por cinco medidas: 1º quartil ( $Q_1$ ), 3º quartil ( $Q_3$ ), mediana ( $Q_2$ ), valor mínimo (LI) e valor máximo (LS). Além disso, o box-plot pode ser empregado para avaliação de *outliers*. Dessa forma, os valores mínimo e máximo são calculados de acordo com as equações abaixo:

$$LI = Q_1 - 1,5 * (Q_3 - Q_1) \quad (2)$$

$$LS = Q_3 + 1,5 * (Q_3 - Q_1) \quad (3)$$

O diagnóstico para detecção de *outliers* é dado pela seguinte regra:

Se o valor obtido  $>LS$  ou o valor obtido  $<LI$ , o valor obtido é considerado um *outlier*;

Se  $LI \leq$  o valor obtido  $\leq LS$ , o valor obtido não é considerado um *outlier*;

### 3. Análise de Resultados

#### 3.1. Análise de Variância - ANOVA

##### 3.1.1. Torque Corrigido

A tabela 2 mostra as médias e medianas para os resultados de torque corrigido. Os coeficientes de variação das médias variam entre 2,5 % (4000 rpm) e 4,7 % (5750 e 5250 rpm).

As figuras 3 a 21 mostram as distribuições das médias dos resultados de cada laboratório para o parâmetro torque corrigido em cada uma das rotações do motor utilizadas.

A linha sólida em cada gráfico corresponde à média das médias dos laboratórios, enquanto que a linha tracejada corresponde a mediana dos resultados. Pode-se notar que para todas as rotações utilizadas, há resultados considerados como *outliers* nas medições individuais de vários participantes (valores relacionados em vermelho). Esta observação não quer dizer que haja uma grande variabilidade das medidas, pois os coeficientes de variação das médias são baixos (< 1%). Alguns participantes apresentaram resultados mais dispersos e não apresentaram *outliers*, como se pode verificar ao longo dos box-plots para cada uma das rotações do motor avaliadas.

**Tabela 2** – Média e Mediana dos resultados dos ensaios dinamométricos de torque corrigido em N.m.

Rotação (rpm)	Média (N.m)	Coefficiente de Variação (%)	Mediana (N.m)
6000	94,28	4,5	95,83
5750	97,81	4,6	99,58
5500	101,43	4,5	102,97
5250	105,45	4,6	107,25
5000	109,55	4,2	111,55
4750	112,29	3,7	113,60
4500	113,07	3,3	114,10
4250	114,42	2,7	115,08
4000	114,36	2,5	114,84
3750	113,59	2,6	113,79
3500	112,85	2,8	113,39
3250	113,02	2,6	113,10
3000	113,05	2,7	113,07
2750	112,99	2,9	113,22
2500	112,91	2,7	113,46
2250	111,08	2,6	111,38
2000	107,80	2,8	108,45
1750	101,71	3,2	101,89
1500	100,46	3,6	100,69



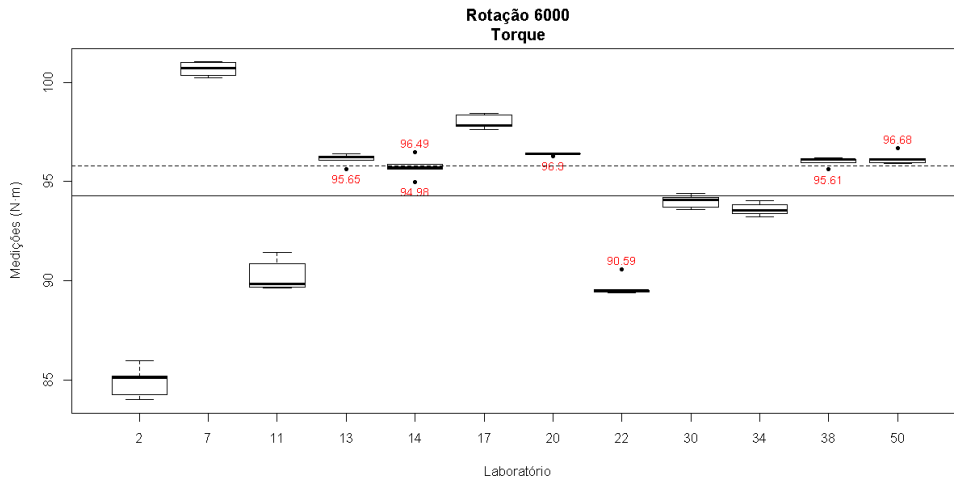


Figura 3 – Distribuição dos resultados obtidos para a determinação de torque corrigido a 6000 rpm.

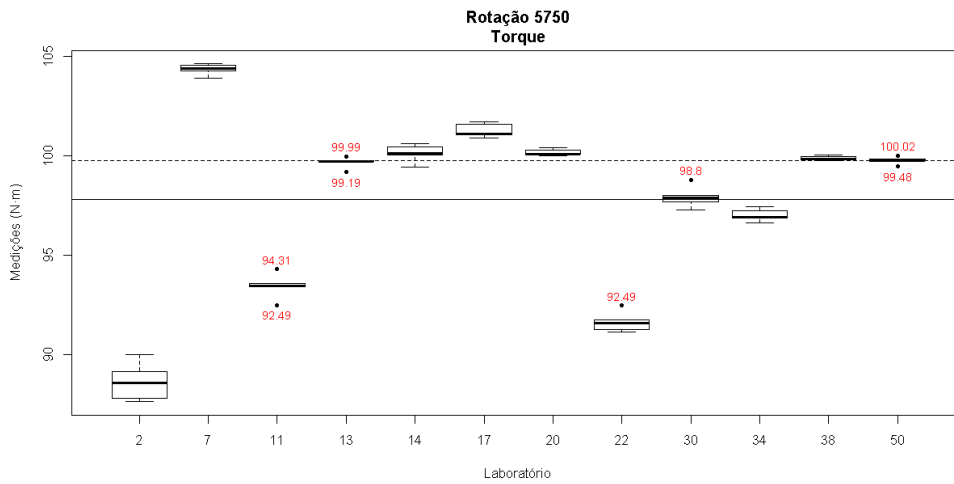


Figura 4 – Distribuição dos resultados obtidos para a determinação de torque corrigido a 5750 rpm.

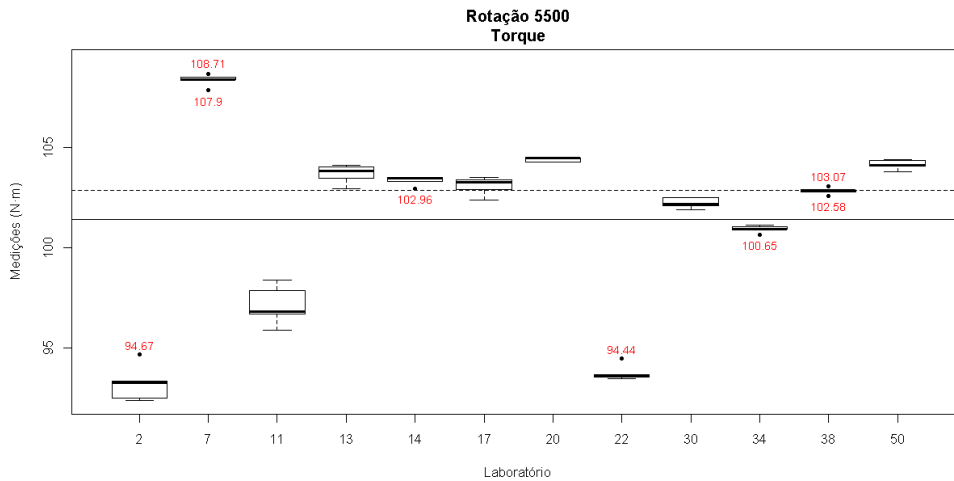


Figura 5 – Distribuição dos resultados obtidos para a determinação de torque corrigido a 5500 rpm.

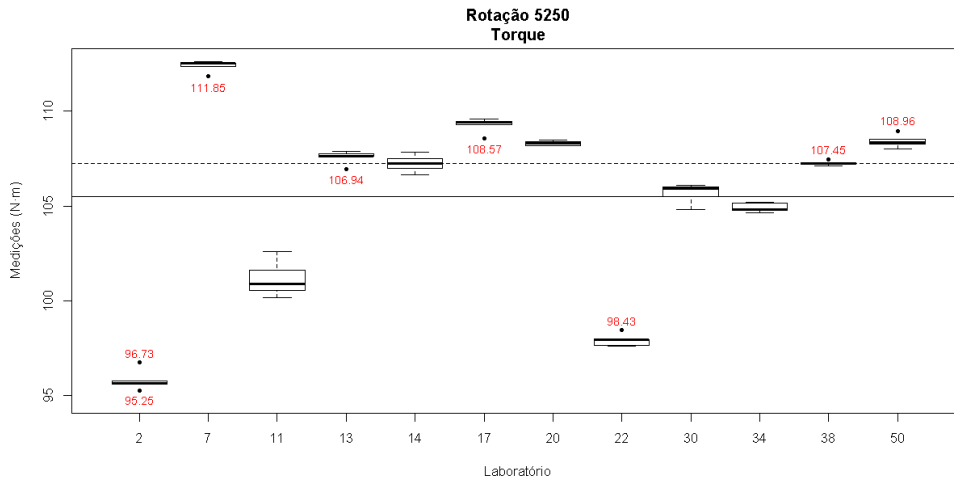


Figura 6 – Distribuição dos resultados obtidos para a determinação de torque corrigido a 5250 rpm.

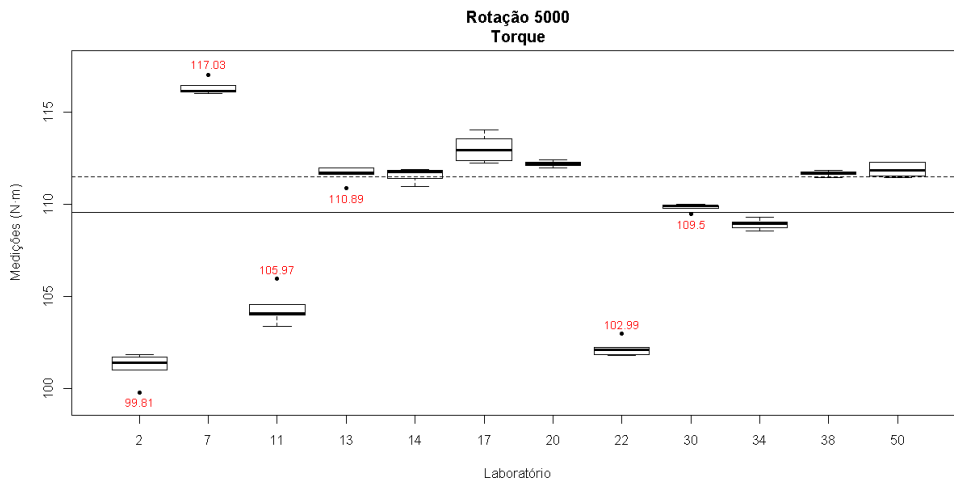


Figura 7 – Distribuição dos resultados obtidos para a determinação de torque corrigido a 5000 rpm.

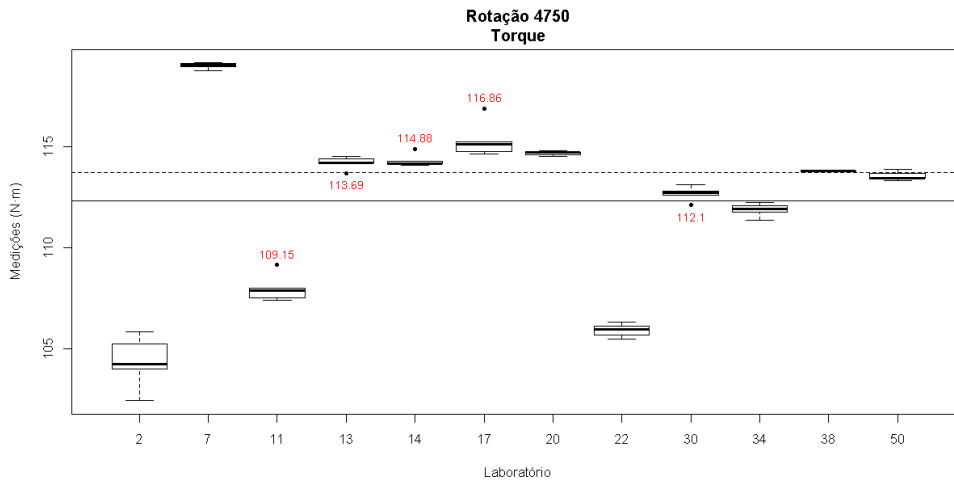


Figura 8 – Distribuição dos resultados obtidos para a determinação de torque corrigido a 4750 rpm.

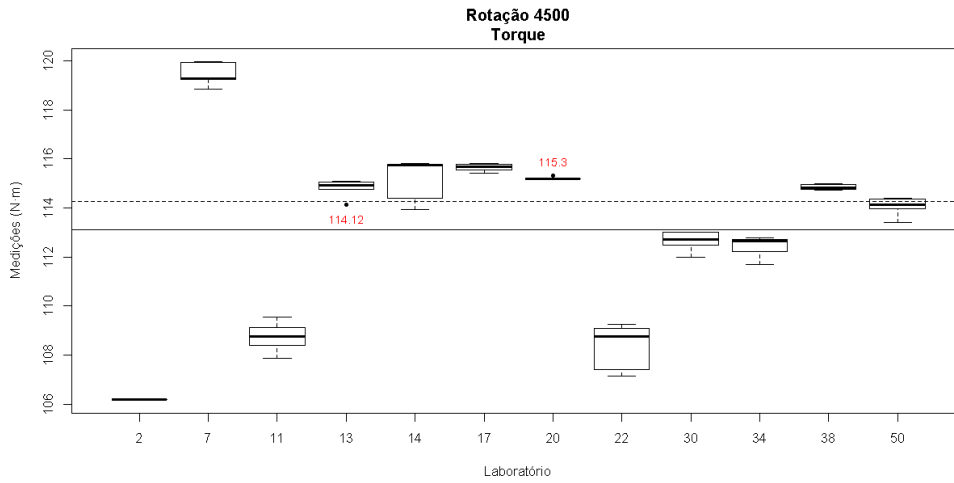


Figura 9 – Distribuição dos resultados obtidos para a determinação de torque corrigido a 4500 rpm.

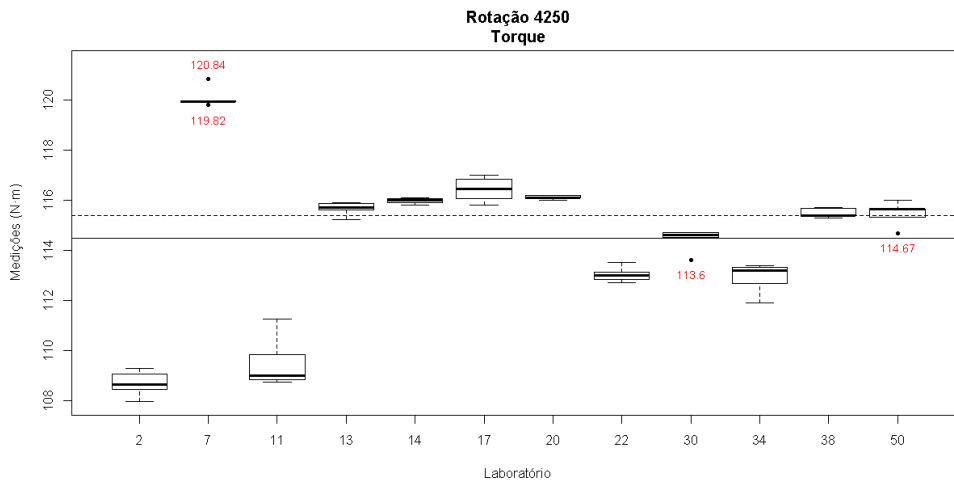


Figura 10 – Distribuição dos resultados obtidos para a determinação de torque corrigido a 4250 rpm.

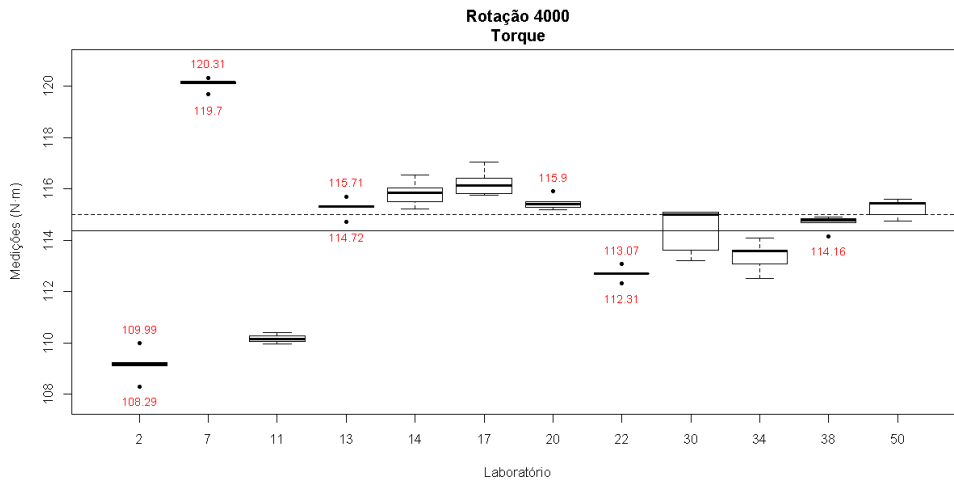


Figura 11 – Distribuição dos resultados obtidos para a determinação de torque corrigido a 4000 rpm.

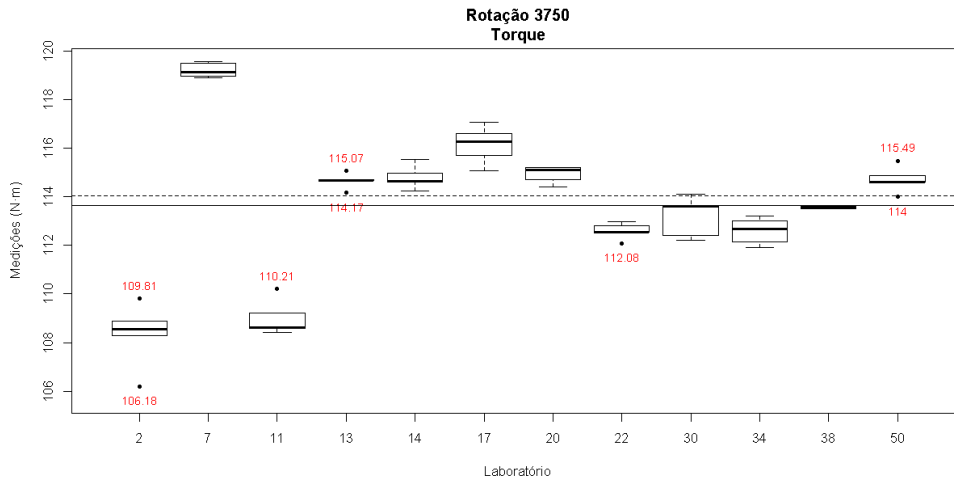


Figura 12 – Distribuição dos resultados obtidos para a determinação de torque corrigido a 3750 rpm.

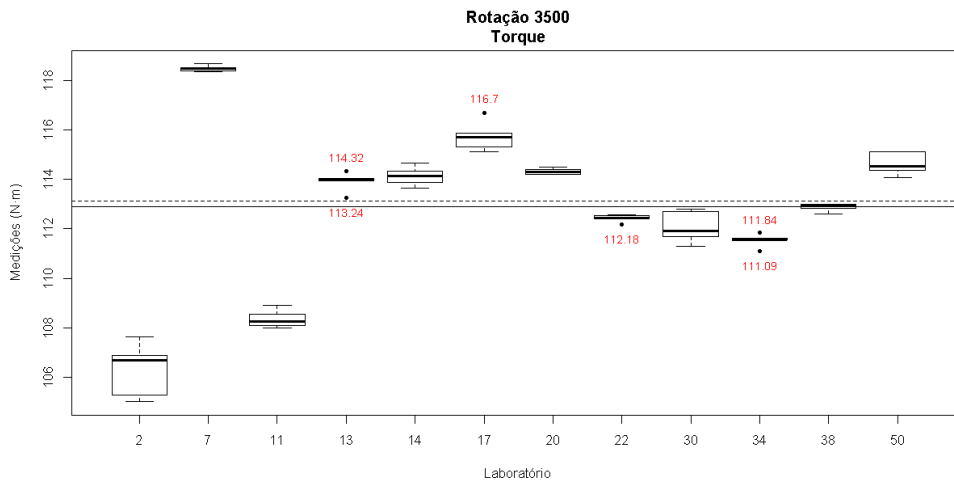


Figura 13 – Distribuição dos resultados obtidos para a determinação de torque corrigido a 3500 rpm.

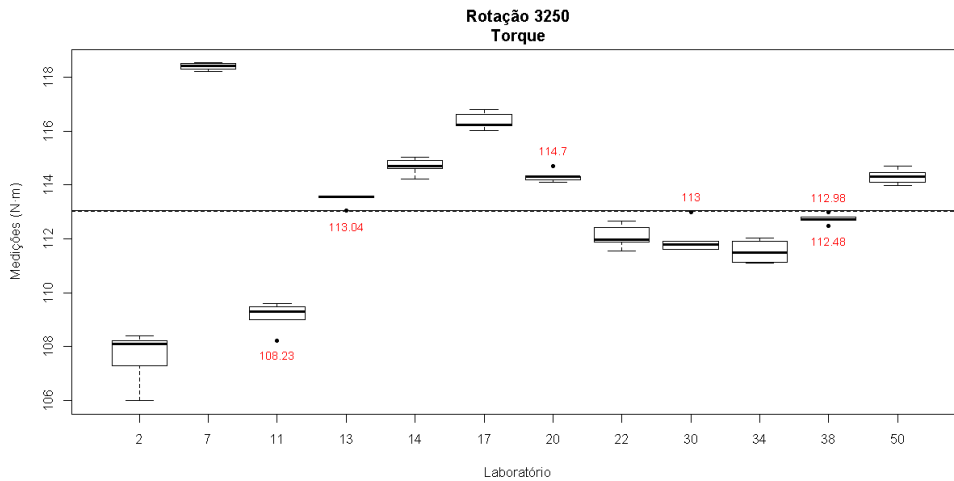


Figura 14 – Distribuição dos resultados obtidos para a determinação de torque corrigido a 3250 rpm.

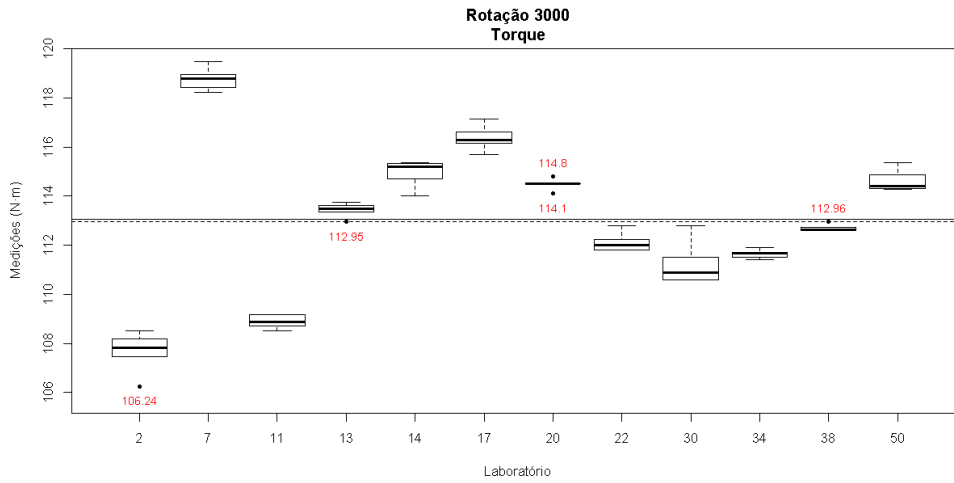


Figura 15 – Distribuição dos resultados obtidos para a determinação de torque corrigido a 3000 rpm.

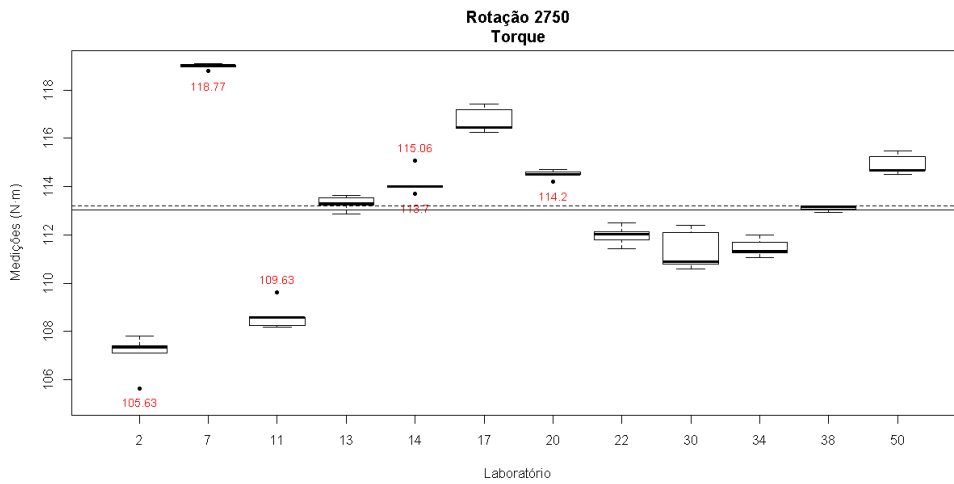


Figura 16 – Distribuição dos resultados obtidos para a determinação de torque corrigido a 2750 rpm.

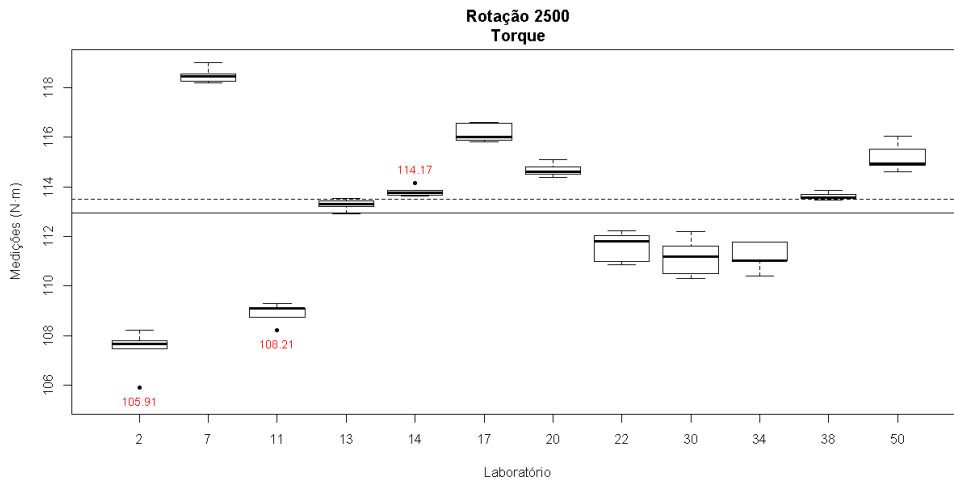


Figura 17 – Distribuição dos resultados obtidos para a determinação de torque corrigido a 2500 rpm.

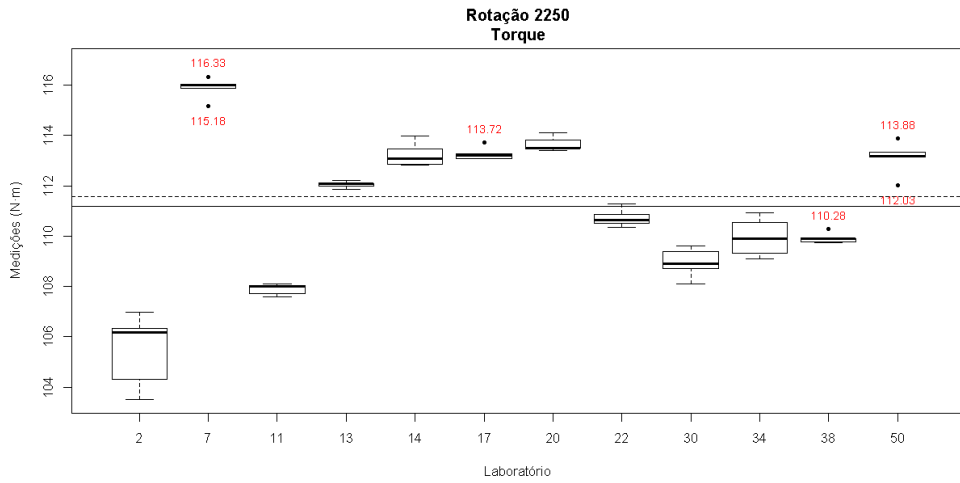


Figura 18 – Distribuição dos resultados obtidos para a determinação de torque corrigido a 2250 rpm.

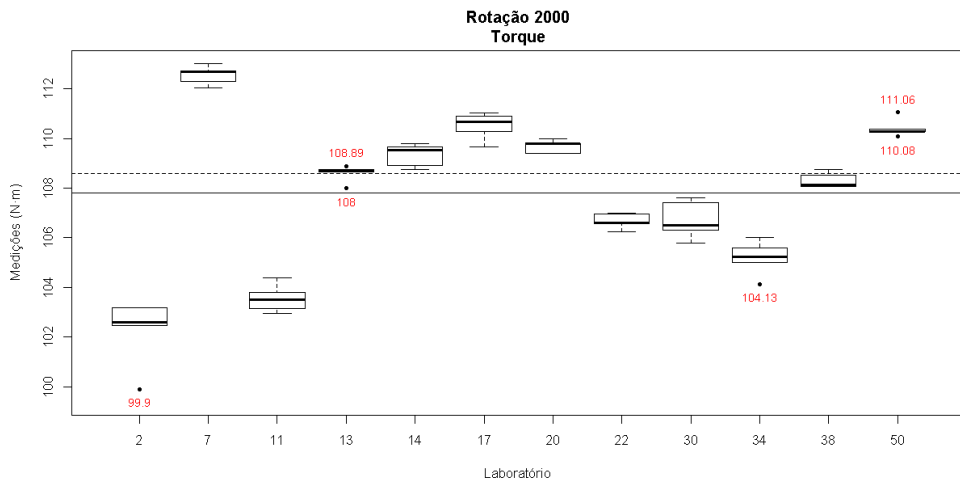


Figura 19 – Distribuição dos resultados obtidos para a determinação de torque corrigido a 2000 rpm.

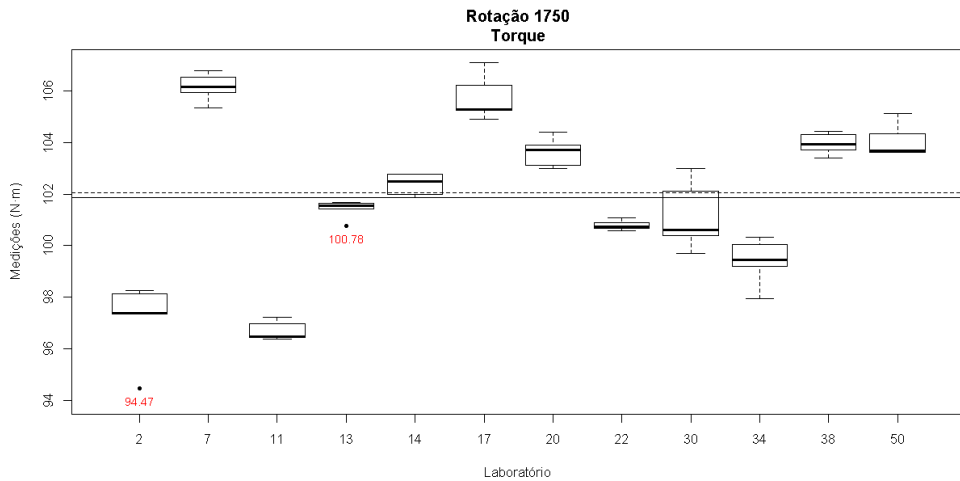
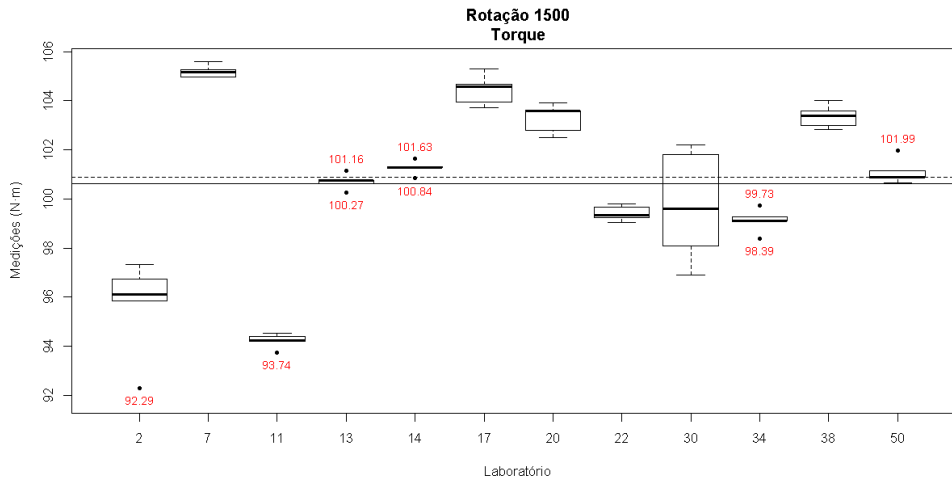


Figura 20 – Distribuição dos resultados obtidos para a determinação de torque corrigido a 1750 rpm.



**Figura 21** – Distribuição dos resultados obtidos para a determinação de torque corrigido a 1500 rpm.

A tabela 3 mostra os resultados dos p-valores para torque corrigido. Para todas as rotações, os p-valores foram menores que 0,05, indicando que houve diferença estatística entre as médias dos participantes.

**Tabela 3** – p-valores obtidos para análise de variância

Rotação (rpm)	p-valor Torque corrigido (N.m)
6000	8,7E-44
5750	1,5E-44
5500	4,8E-44
5250	4,6E-47
5000	7,2E-43
4750	7,1E-40
4500	5,2E-39
4250	2,9E-36
4000	3,2E-35
3750	1,1E-29
3500	6,9E-37
3250	8,8E-37
3000	4,2E-35
2750	4,0E-37
2500	1,9E-35
2250	1,2E-30
2000	2,4E-31
1750	3,3E-26
1500	4,0E-24

Como houve diferenças significativas entre as médias dos participantes da CI, a tabela 4 mostra os resultados obtidos para a Diferença Menos Significativa (DMS) para torque corrigido, onde os resultados são agrupados em pares. Os valores em vermelho indicam onde o par de laboratórios difere estatisticamente. A regra para este caso é que TODOS os pares testados apresentaram valores estatisticamente diferentes em todas as rotações do motor utilizadas.



Tabela 4 – “Diferença Menos Significativa” (DMS) entre os laboratórios participantes. Parâmetro: torque corrigido

Rotação	6000	5750	5500	5250	5000	4750	4500	4250	4000	3750	3500	3250	3000	2750	2500	2250	2000	1750	1500
"11 - 13"	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
"11 - 14"	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
"11 - 17"	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
"11 - 2"	0	0	0	0	0	0	0	0,051	0,01	0,598	0	0	0,002	0	2E-04	0	0,009	1	0,128
"11 - 20"	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
"11 - 22"	0,247	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
"11 - 30"	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,048	0	0	0
"11 - 34"	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	6E-04	0	0
"11 - 38"	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
"11 - 50"	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
"11 - 7"	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
"13 - 14"	1	0,674	1	1	1	1	1	1	0,376	1	1	5E-04	2E-04	0,052	0,548	0,017	0,33	0,347	1
"13 - 17"	0	0	0,322	0	7E-04	0,017	0,066	0,095	0,015	0,004	0	0	0	0	0	0,014	1E-04	0	0
"13 - 2"	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
"13 - 20"	1	0,535	0,124	0,061	0,539	1	1	0,778	1	1	0,977	0,024	0,013	0,002	4E-04	6E-04	0,038	5E-04	8E-04
"13 - 22"	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1E-04	1E-04	0,001	5E-04	0	0,008	1E-04	1	0,222
"13 - 30"	0	0	1E-04	0	0	4E-04	0	0,001	0,031	0,004	0	0	0	0	0	0	1E-04	1	0,588
"13 - 34"	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,001	0,073
"13 - 38"	1	1	0,045	1	1	1	1	1	0,261	0,06	0,009	0,078	0,152	1	1	0	1	1E-04	6E-04
"13 - 50"	1	1	0,671	0,027	1	0,348	0,156	1	1	1	0,123	0,027	0,003	0	0	0,042	1E-04	0	1
"13 - 7"	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
"14 - 17"	0	0,002	1	0	4E-04	0,039	0,695	0,772	0,928	0,011	0	0	3E-04	0	0	1	0,019	0	0
"14 - 2"	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
"14 - 20"	0,181	1	0,007	0,003	0,376	1	1	1	1	1	1	0,955	0,892	1	0,053	1	1	0,095	0,012
"14 - 22"	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,017	0,025
"14 - 30"	0	0	0,004	0	0	1E-04	0	1E-04	1E-04	0,002	0	0	0	0	0	0	0	0,111	0,085
"14 - 34"	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,007
"14 - 38"	1	1	0,519	1	1	0,685	1	0,697	0,002	0,024	0,001	0	0	0,009	1	0	0,06	0,017	0,009
"14 - 50"	0,781	1	0,065	0,001	1	0,174	0,01	0,595	0,32	1	0,55	0,885	1	0,096	5E-04	1	0,036	0,009	1
"14 - 7"	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Rotação	6000	5750	5500	5250	5000	4750	4500	4250	4000	3750	3500	3250	3000	2750	2500	2250	2000	1750	1500
"17 - 2"	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
"17 - 20"	0	0,003	6E-04	0,01	0,085	0,371	1	1	0,07	0,023	2E-04	0	0	0	1E-04	1	0,193	8E-04	0,352
"17 - 22"	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
"17 - 30"	0	0	0,043	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
"17 - 34"	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
"17 - 38"	0	1E-04	1	0	0,001	4E-04	0,102	0,023	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,006	0,457
"17 - 50"	0	0	0,007	0,024	0,007	0	1E-04	0,018	0,012	0,006	0,005	0	0	0	0,018	1	1	0,011	0
"17 - 7"	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1
"2 - 20"	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
"2 - 22"	0	0	0,524	0	0,019	3E-04	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
"2 - 30"	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
"2 - 34"	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3E-04	0
"2 - 38"	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
"2 - 50"	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
"2 - 7"	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
"20 - 22"	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
"20 - 30"	0	0	0	0	0	0	0	0	0,006	6E-04	0	0	0	0	0	0	0	1E-04	0
"20 - 34"	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
"20 - 38"	1	1	0	0,003	0,676	0,087	1	0,276	0,066	0,012	2E-04	0	0	3E-04	0,011	0	0,005	1	1
"20 - 50"	1	0,99	1	1	1	0,015	0,005	0,229	1	1	1	1	1	0,958	0,617	0,834	0,317	1	0,006
"20 - 7"	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1E-04	0,019
"22 - 30"	0	0	0	0	0	0	0	3E-04	0	0,829	1	1	0,066	0,269	0,993	2E-04	1	1	1
"22 - 34"	0	0	0	0	0	0	0	1	0,151	1	0,033	0,262	0,719	0,541	1	0,262	0,002	0,046	1
"22 - 38"	0	0	0	0	0	0	0	0	0,103	0,81	0,153	0,428	0,004	0	0,219	6E-04	0	0	0
"22 - 50"	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,049
"22 - 7"	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
"30 - 34"	1	0,021	7E-04	0,055	0,059	0,161	1	1E-04	0,009	0,844	0,452	0,601	1	1	1	0,061	0,002	0,006	1
"30 - 38"	0	0	0,31	0	0	0,015	0	0,008	1	1	0,075	0,057	4E-04	0	0	0,075	9E-04	0	0
"30 - 50"	0	0	0	0	0	0,087	4E-04	0,01	0,038	0,003	0	0	0	0	0	0	0	0	0,153
"30 - 7"	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
"34 - 38"	0	0	0	0	0	0	0	0	6E-04	0,106	5E-04	6E-04	0,011	0	0	1	0	0	0
"34 - 50"	0	0	0	0	0	1E-04	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,013

Rotação	6000	5750	5500	5250	5000	4750	4500	4250	4000	3750	3500	3250	3000	2750	2500	2250	2000	1750	1500
"34 - 7"	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
"38 - 50"	1	1	5E-04	0,001	1	1	0,103	1	0,309	0,044	0	0	0	0	1E-04	0	0	1	0,004
"38 - 7"	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	5E-04	0,027
"50 - 7"	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,001	0

### 3.1.2. Potência Corrigida

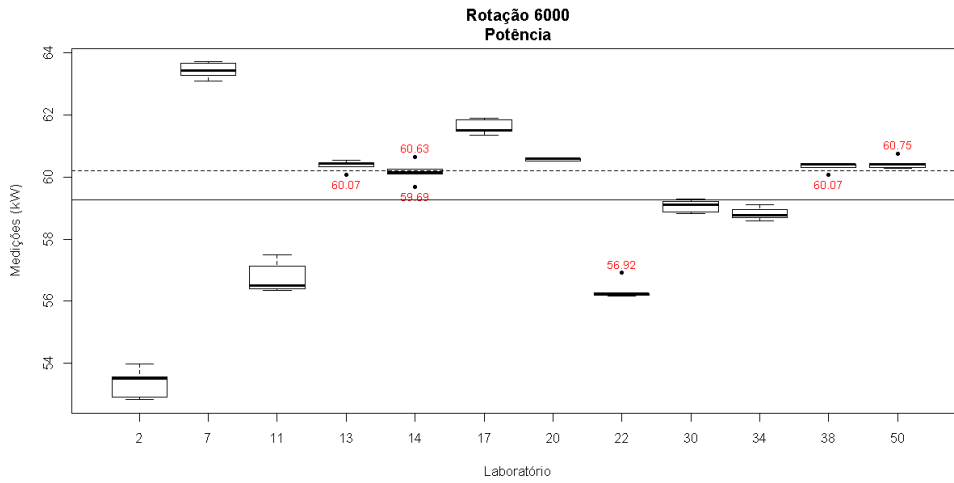
A tabela 5 mostra as médias e medianas para os resultados de potência corrigida. Os coeficientes de variação das médias variam entre 3,1 % (2250 rpm) e 4,9 % (5750 e 5250 rpm).

As figuras 22 a 40 mostram as distribuições das médias dos resultados de cada laboratório para o parâmetro potência corrigida em cada uma das rotações do motor utilizadas.

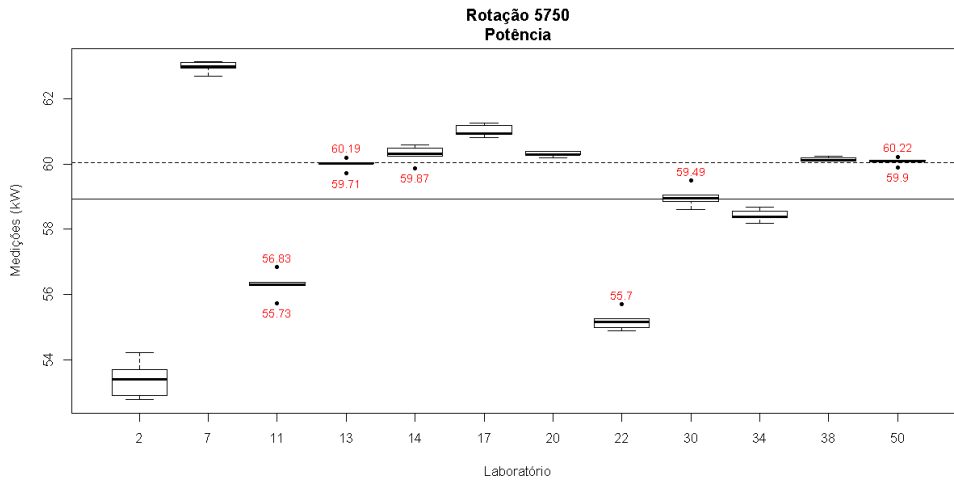
A linha sólida em cada gráfico corresponde à média das médias dos laboratórios, enquanto que a linha tracejada corresponde a mediana dos resultados. Pode-se notar que para todas as rotações utilizadas, há resultados considerados como outliers nas medições individuais de vários participantes (valores relacionados em vermelho). Esta observação não quer dizer que haja uma grande variabilidade das medidas, pois os coeficientes de variação das médias são baixos (< 1%). Novamente, alguns participantes apresentaram resultados mais dispersos e não apresentaram outliers, como se pode verificar ao longo dos box-plots para cada uma das rotações do motor avaliadas.

**Tabela 5** – Média e Mediana dos resultados dos ensaios dinamométricos de potência corrigida em kW.

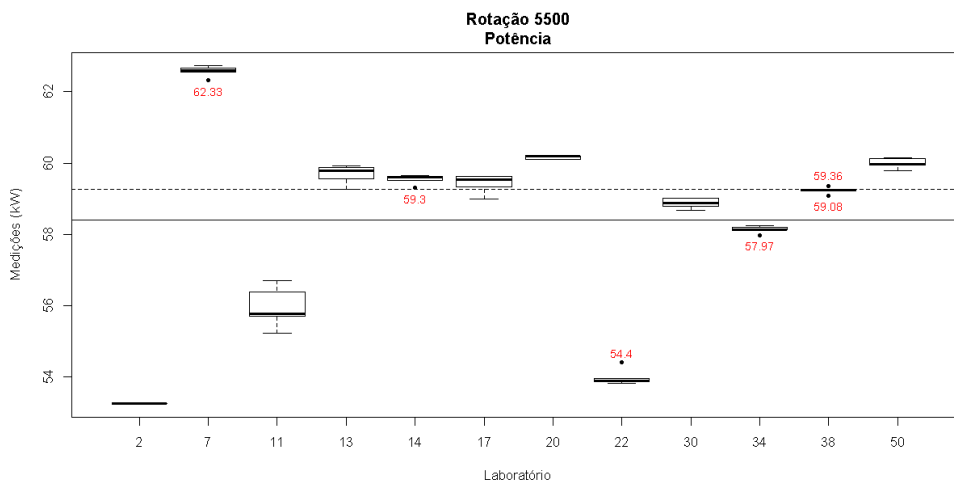
Rotação (rpm)	Média (kW)	Coefficiente de Variação (%)	Mediana (kW)
6000	58,85	4,8	59,61
5750	58,51	4,9	59,49
5500	57,98	4,8	59,05
5250	57,59	4,9	58,53
5000	56,98	4,6	57,96
4750	55,47	4,2	56,27
4500	52,99	3,7	53,41
4250	50,60	3,4	51,16
4000	47,59	3,3	47,98
3750	44,32	3,4	44,52
3500	41,10	3,5	41,29
3250	38,21	3,4	38,26
3000	35,29	3,5	35,32
2750	32,33	3,6	32,41
2500	29,37	3,4	29,42
2250	26,01	3,1	26,00
2000	22,43	3,4	22,52
1750	18,53	3,5	18,55
1500	15,58	3,3	15,64



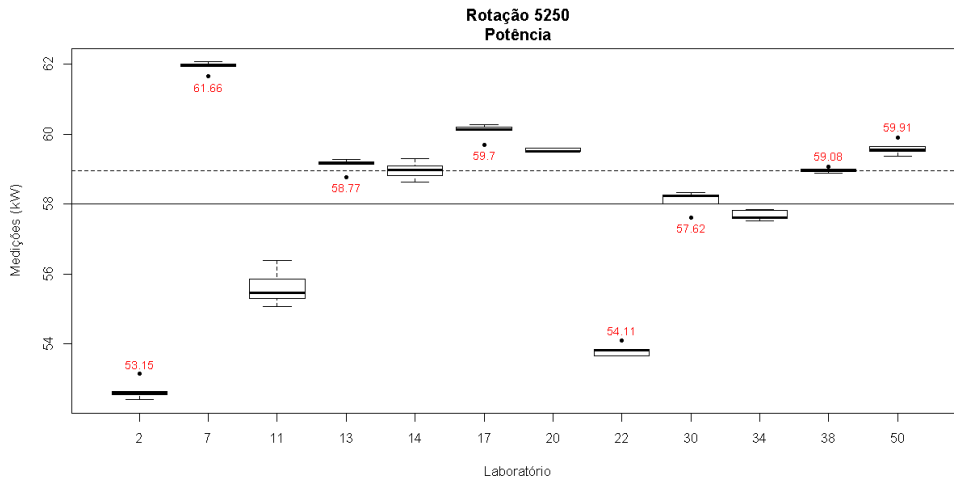
**Figura 22** – Distribuição dos resultados obtidos para a determinação de potência corrigida a 6000 rpm.



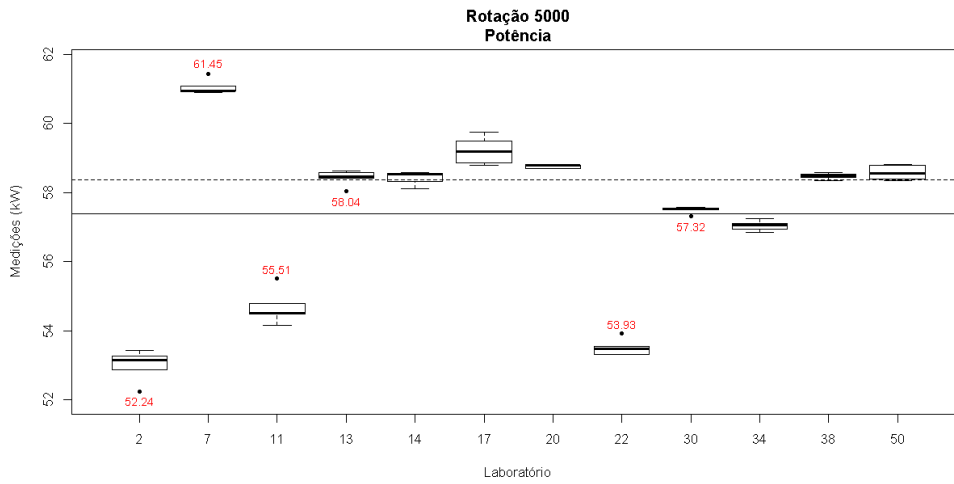
**Figura 23** – Distribuição dos resultados obtidos para a determinação de potência corrigida a 5750 rpm.



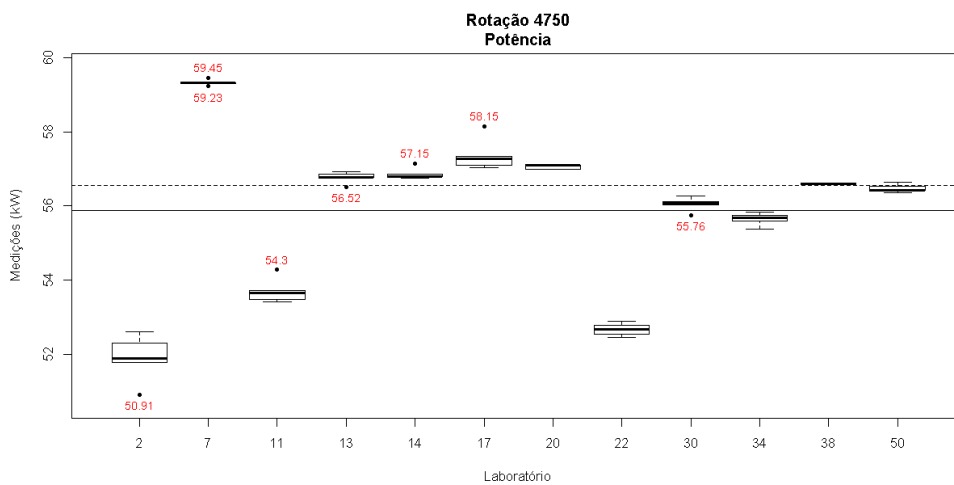
**Figura 24** – Distribuição dos resultados obtidos para a determinação de potência corrigida a 5500 rpm.



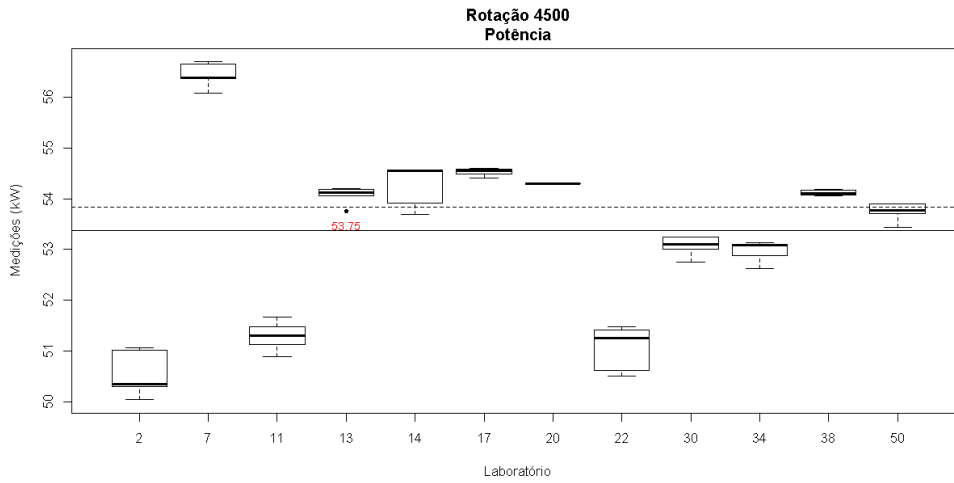
**Figura 25** – Distribuição dos resultados obtidos para a determinação de potência corrigida a 5250 rpm.



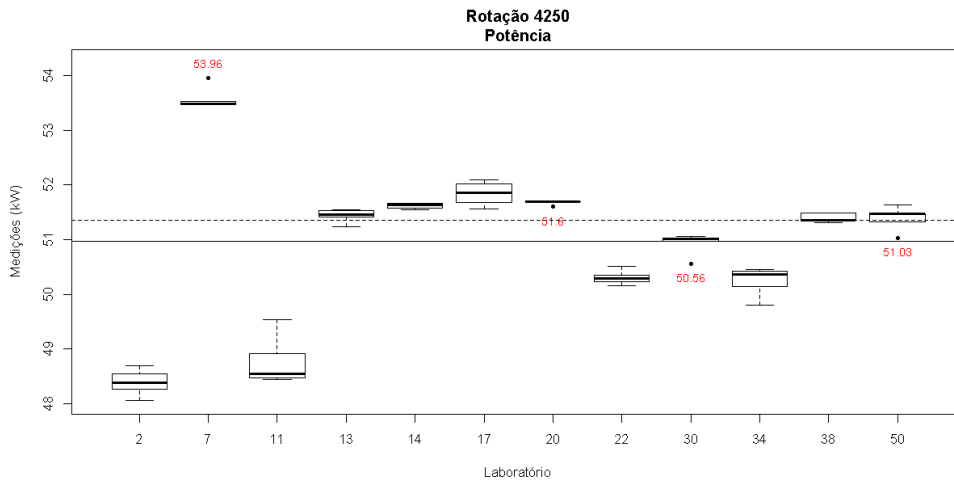
**Figura 26** – Distribuição dos resultados obtidos para a determinação de potência corrigida a 5000 rpm.



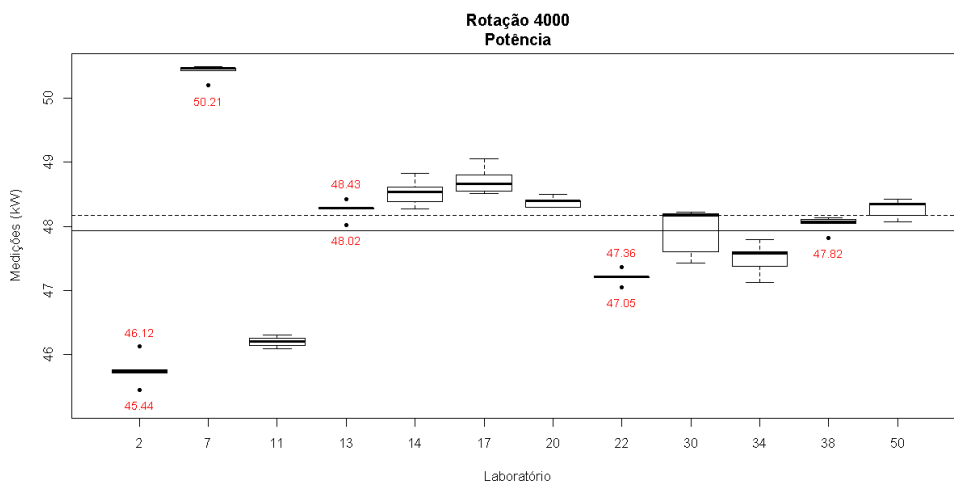
**Figura 27** – Distribuição dos resultados obtidos para a determinação de potência corrigida a 4750 rpm.



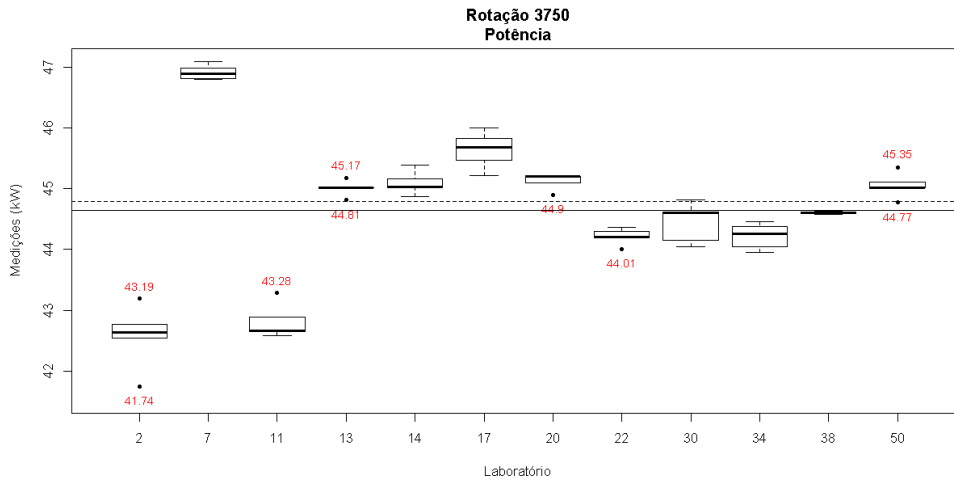
**Figura 28** – Distribuição dos resultados obtidos para a determinação de potência corrigida a 4500 rpm.



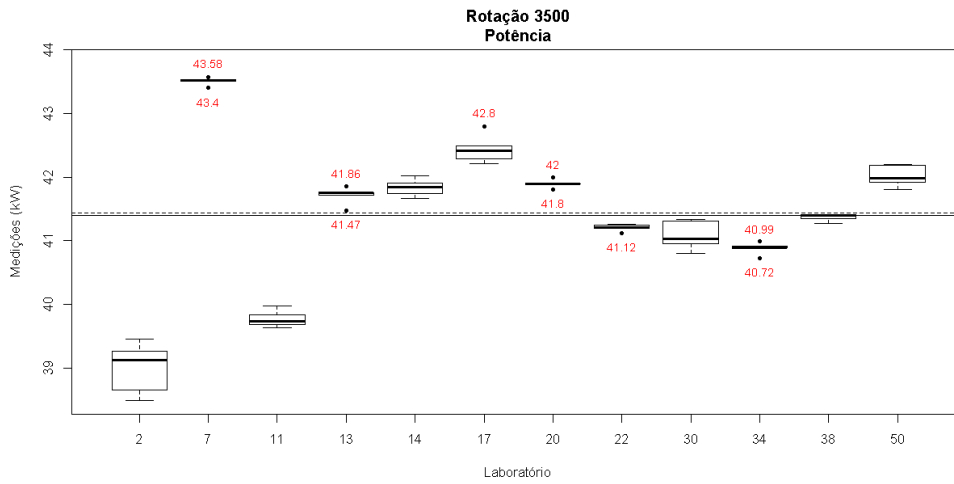
**Figura 29** – Distribuição dos resultados obtidos para a determinação de potência corrigida a 4250 rpm.



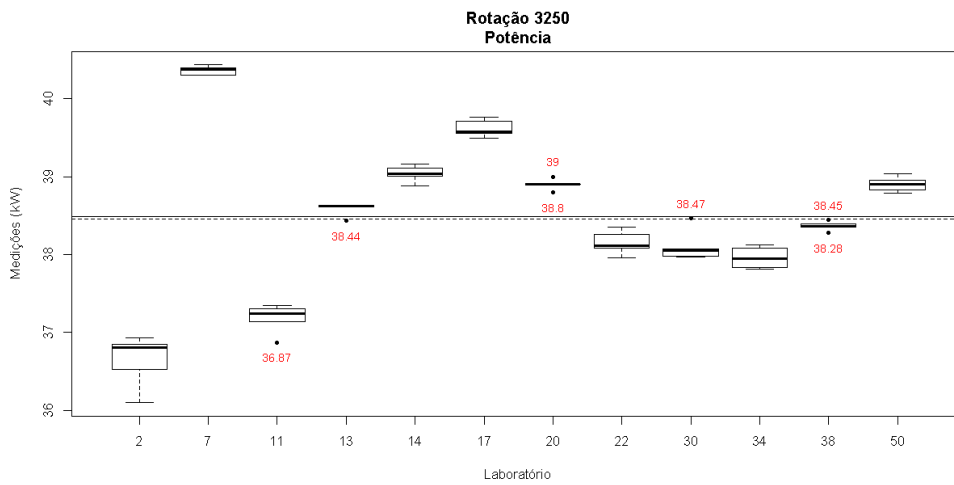
**Figura 30** – Distribuição dos resultados obtidos para a determinação de potência corrigida a 4000 rpm.



**Figura 31** – Distribuição dos resultados obtidos para a determinação de potência corrigida a 3750 rpm.

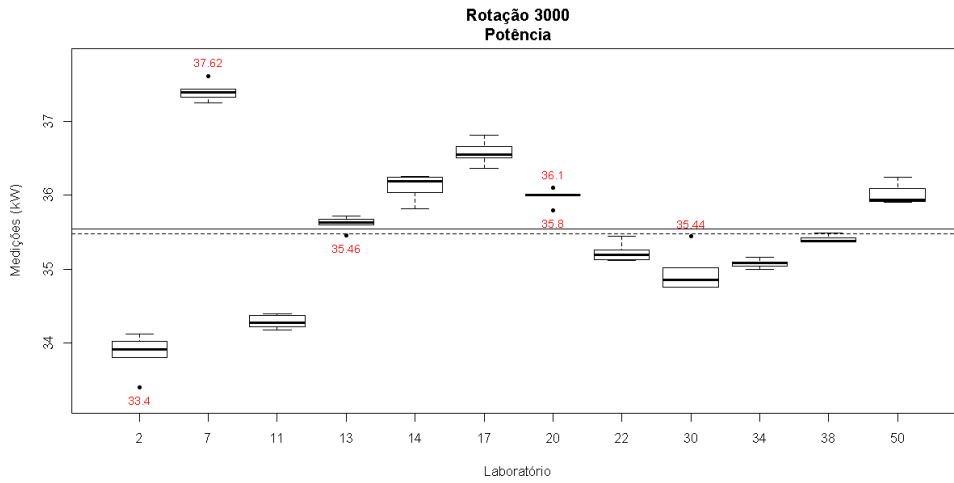


**Figura 32** – Distribuição dos resultados obtidos para a determinação de potência corrigida a 3500 rpm.

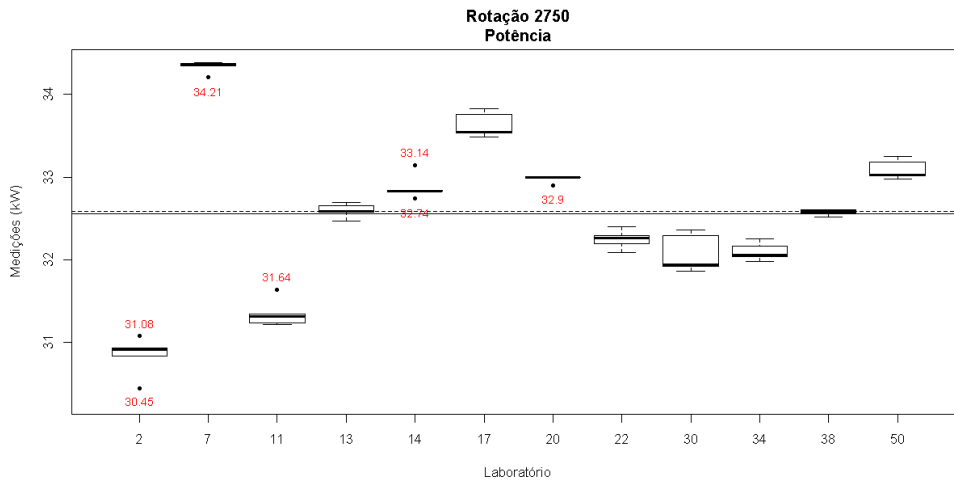


**Figura 33** – Distribuição dos resultados obtidos para a determinação de potência corrigida a 3250 rpm.

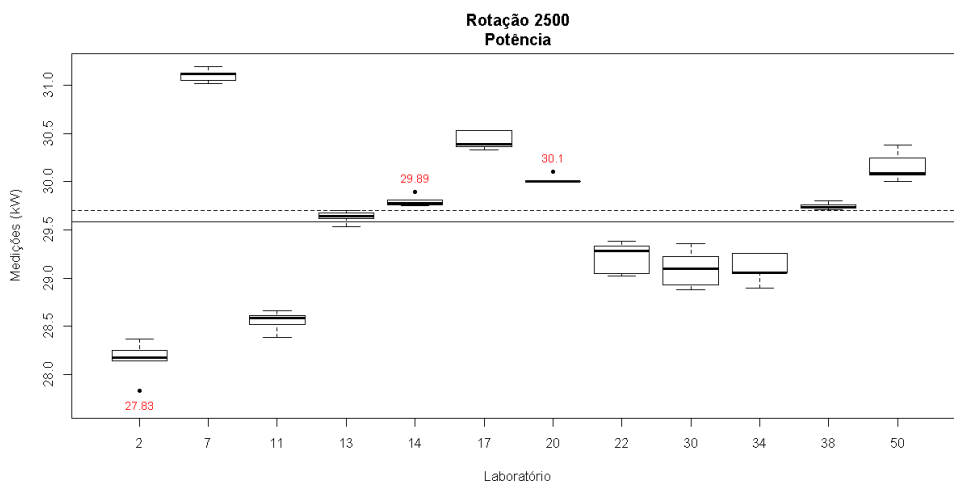




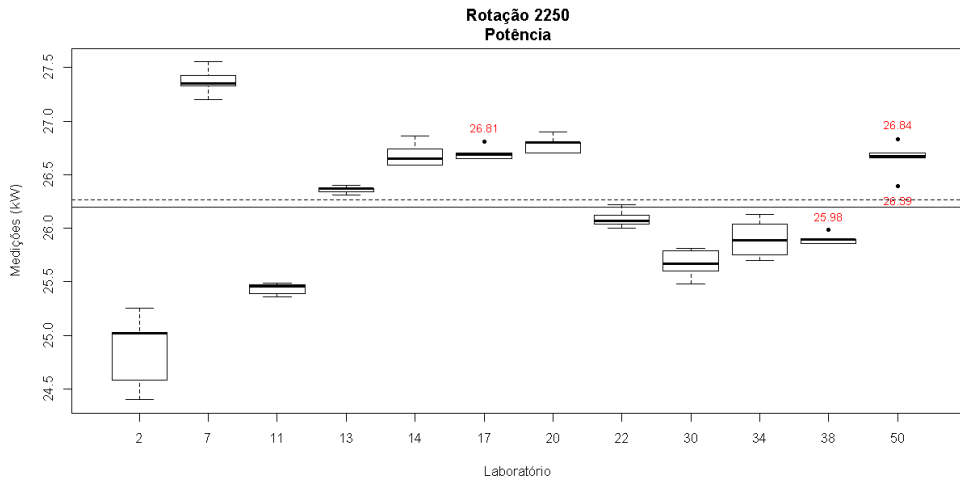
**Figura 34** – Distribuição dos resultados obtidos para a determinação de potência corrigida a 3000 rpm.



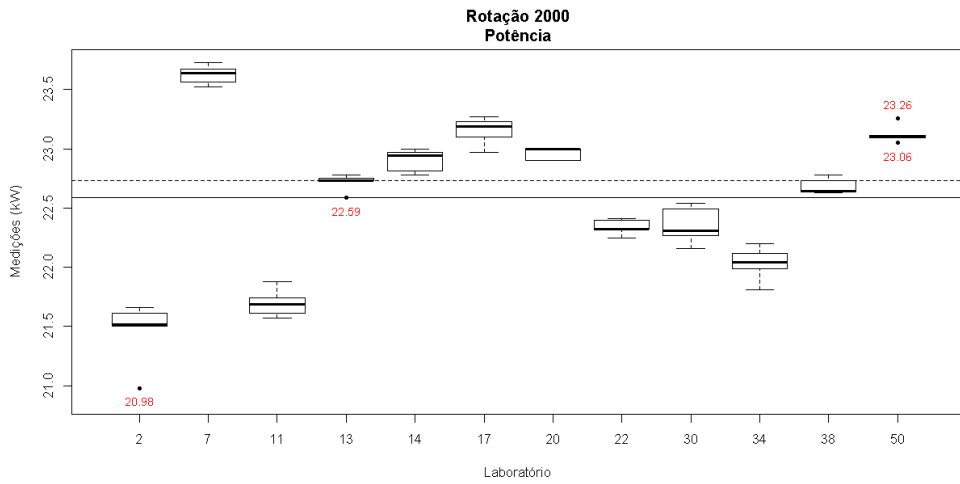
**Figura 35** – Distribuição dos resultados obtidos para a determinação de potência corrigida a 2750 rpm.



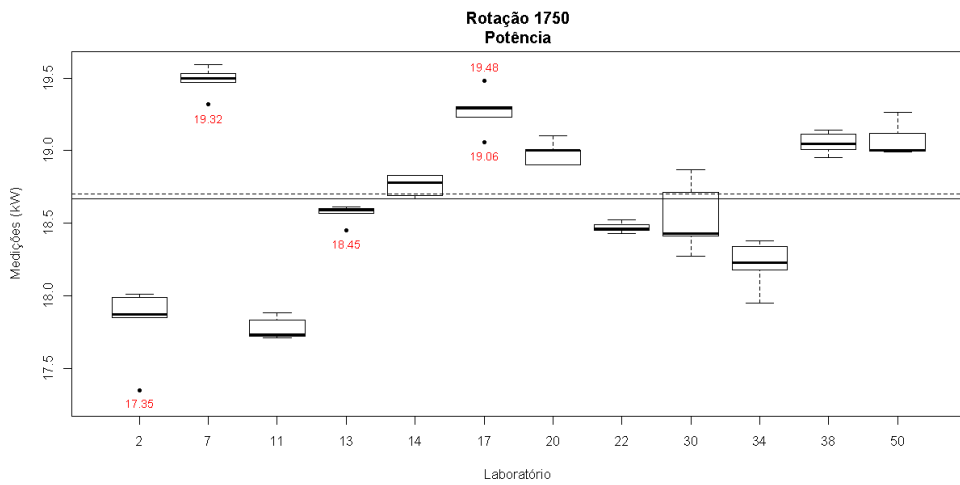
**Figura 36** – Distribuição dos resultados obtidos para a determinação de potência corrigida a 2500 rpm.



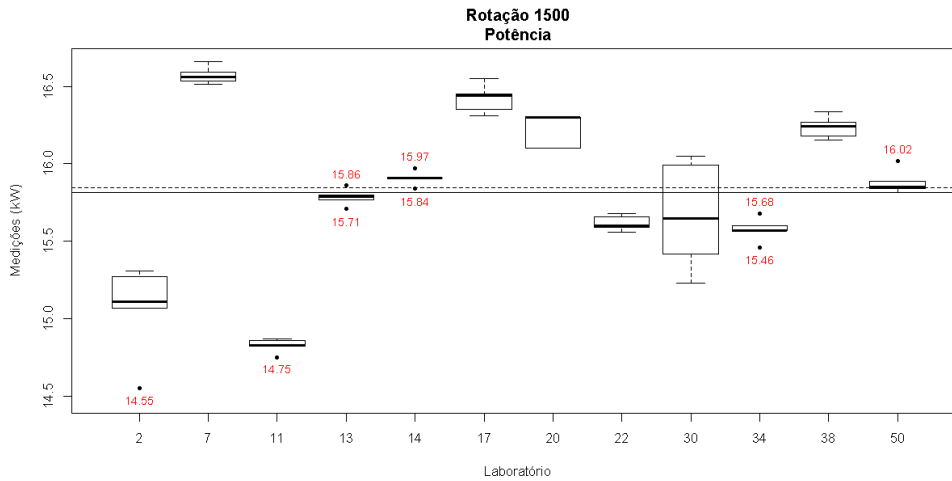
**Figura 37** – Distribuição dos resultados obtidos para a determinação de potência corrigida a 2250 rpm.



**Figura 38** – Distribuição dos resultados obtidos para a determinação de potência corrigida a 2000 rpm.



**Figura 39** – Distribuição dos resultados obtidos para a determinação de potência corrigida a 1750 rpm.



**Figura 40** – Distribuição dos resultados obtidos para a determinação de potência corrigida a 1500 rpm.

A tabela 6 mostra os resultados dos p-valores para potência corrigida. Para todas as rotações, os p-valores foram menores que 0,05, indicando que houve diferença estatística entre as médias dos participantes.

**Tabela 6** – p-valores obtidos para análise de variância de potência corrigida (kW)

Rotação (rpm)	p-valor Potência corrigida (kW)
6000	6,2E-44
5750	1,1E-44
5500	1,3E-44
5250	1,4E-47
5000	1,1E-43
4750	4,6E-40
4500	1,7E-35
4250	3,5E-36
4000	1,2E-35
3750	7,4E-30
3500	7,3E-37
3250	1,3E-36
3000	4,5E-35
2750	2,6E-37
2500	1,2E-36
2250	2,6E-30
2000	1,2E-31
1750	2,8E-26
1500	3,6E-24

Como houve diferenças significativas entre as médias dos participantes da CI, a tabela 7 mostra os resultados obtidos para a Diferença Menos Significativa (DMS) para potência corrigida, onde os resultados são agrupados em pares. Os valores em vermelho indicam onde o par de laboratórios difere estatisticamente. Novamente, a regra para este caso é TODOS pares testados apresentaram valores estatisticamente diferentes em todas as rotações do motor utilizadas.

Tabela 5 – “Diferença Menos Significativa” (DMS) entre os laboratórios participantes. Parâmetro: Potência corrigida

Rotação	6000	5750	5500	5250	5000	4750	4500	4250	4000	3750	3500	3250	3000	2750	2500	2250	2000	1750	1500
"11 - 13"	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
"11 - 14"	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
"11 - 17"	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
"11 - 2"	0	0	0	0	0	0	7E-04	0,041	0,005	0,814	0	0	6E-04	0	0	0	0,02	1	0,099
"11 - 20"	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
"11 - 22"	0,138	0	0	0	0	0	0,959	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
"11 - 30"	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,082	0	0	0
"11 - 34"	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	7E-04	1E-04	0
"11 - 38"	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1E-04	0	0	0
"11 - 50"	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
"11 - 7"	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
"13 - 14"	1	0,49	1	1	1	1	1	1	0,183	1	1	2E-04	1E-04	0,017	0,235	0,006	0,129	0,174	1
"13 - 17"	0	0	0,425	0	3E-04	0,007	0,066	0,033	0,004	0,002	0	0	0	0	0	0,004	0	0	0
"13 - 2"	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
"13 - 20"	1	0,416	0,012	0,039	0,373	0,53	1	0,487	1	1	0,552	0,014	0,005	5E-04	1E-04	2E-04	0,02	2E-04	3E-04
"13 - 22"	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1E-04	3E-04	3E-04	0,002	0,002	0	0,034	1E-04	1	0,459
"13 - 30"	0	0	0	0	0	0,001	0	0,004	0,058	0,006	0	1E-04	0	0	0	0	2E-04	1	1
"13 - 34"	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1E-04	0	0	0	0	0	1E-04	0	0,002	0,185
"13 - 38"	1	1	0,02	1	1	1	1	1	0,417	0,088	0,024	0,171	0,245	1	0,793	1E-04	1	0	2E-04
"13 - 50"	1	1	0,207	0,013	1	0,526	0,413	1	1	1	0,055	0,013	0,002	0	0	0,016	0	0	1
"13 - 7"	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
"14 - 17"	0	0,001	1	0	3E-04	0,03	0,73	0,623	0,702	0,008	0	0	2E-04	0	0	1	0,015	0	0
"14 - 2"	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
"14 - 20"	0,189	1	6E-04	0,003	0,362	1	1	1	1	1	1	0,806	1	1	0,04	1	1	0,096	0,013
"14 - 22"	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,013	0,024
"14 - 30"	0	0	3E-04	0	0	2E-04	0	1E-04	1E-04	0,001	0	0	0	0	0	0	0	0,095	0,091
"14 - 34"	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,007
"14 - 38"	1	1	0,234	1	1	0,634	1	0,667	0,002	0,023	0,001	0	0	0,008	1	0	0,049	0,012	0,008
"14 - 50"	0,834	1	0,017	9E-04	1	0,162	0,031	0,586	0,267	1	0,587	0,845	1	0,1	2E-04	1	0,037	0,006	1

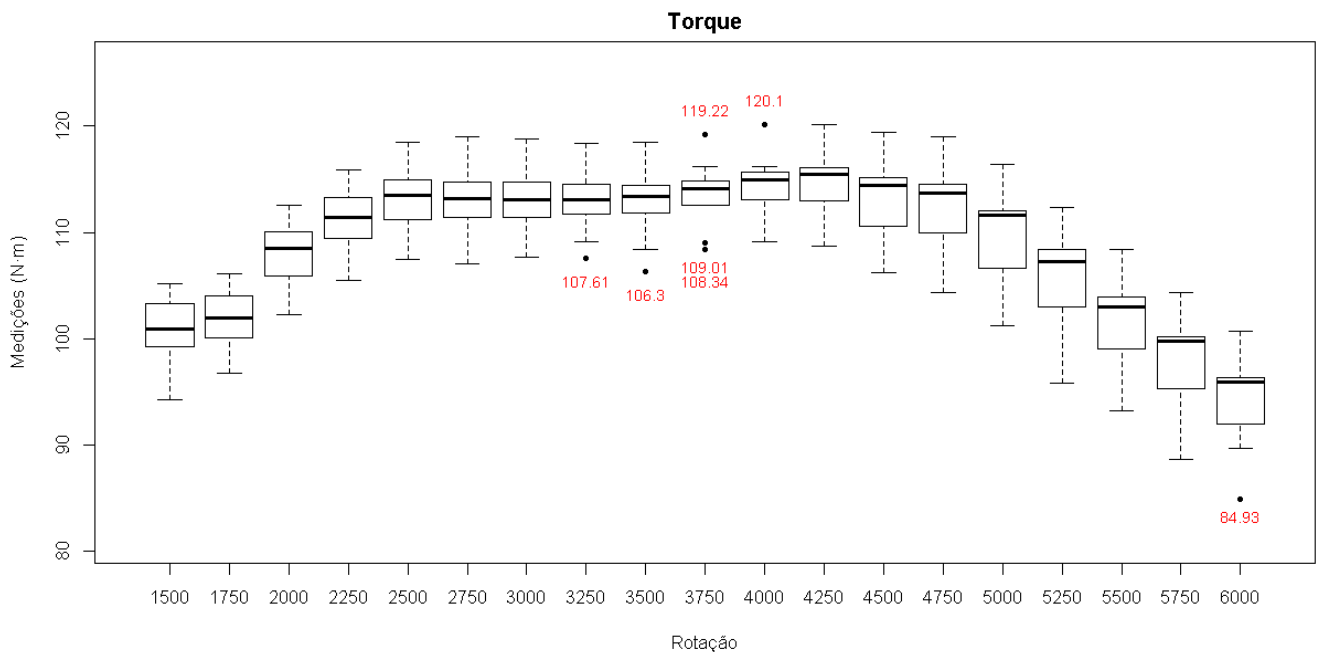
Rotação	6000	5750	5500	5250	5000	4750	4500	4250	4000	3750	3500	3250	3000	2750	2500	2250	2000	1750	1500
"14 - 7"	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
"17 - 2"	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
"17 - 20"	0	0,002	0	0,005	0,068	0,396	1	1	0,054	0,014	1E-04	0	0	0	0	1	0,103	0,012	0,231
"17 - 22"	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
"17 - 30"	0	0	0,003	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
"17 - 34"	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
"17 - 38"	0	1E-04	1	0	7E-04	3E-04	0,139	0,017	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,096	0,331
"17 - 50"	0	0	0,002	0,016	0,004	0	3E-04	0,013	0,006	0,004	0,003	0	0	0	0,007	1	1	0,172	0
"17 - 7"	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,131	0,622
"2 - 20"	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
"2 - 22"	0	0	1E-04	0	0,027	4E-04	0,038	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
"2 - 30"	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
"2 - 34"	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3E-04	0
"2 - 38"	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
"2 - 50"	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
"2 - 7"	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
"20 - 22"	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
"20 - 30"	0	0	0	0	0	0	0	0	0,004	8E-04	0	0	0	0	0	0	0	1E-04	0
"20 - 34"	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
"20 - 38"	1	1	0	0,003	0,615	0,06	1	0,289	0,045	0,014	2E-04	0	0	2E-04	0,007	0	0,006	1	1
"20 - 50"	1	1	1	1	1	0,01	0,017	0,244	1	1	1	1	1	1	0,481	0,914	0,219	1	0,006
"20 - 7"	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,004
"22 - 30"	0	0	0	0	0	0	0	4E-04	0	0,818	1	1	0,071	0,296	0,793	2E-04	1	1	1
"22 - 34"	0	0	0	0	0	0	0	1	0,143	1	0,033	0,293	0,711	0,528	0,972	0,258	0,002	0,038	1
"22 - 38"	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,103	0,816	0,17	0,455	0,003	0	0,243	5E-04	0	0
"22 - 50"	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,048
"22 - 7"	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
"30 - 34"	1	0,016	1E-04	0,054	0,068	0,133	1	1E-04	0,007	0,842	0,409	0,706	1	1	1	0,089	0,001	0,005	1
"30 - 38"	0	0	0,101	0	0	0,019	0	0,009	1	1	0,087	0,058	5E-04	0	0	0,095	8E-04	0	0
"30 - 50"	0	0	0	0	0	0,106	0,002	0,011	0,039	0,003	0	0	0	0	0	0	0	0	0,169

Rotação	6000	5750	5500	5250	5000	4750	4500	4250	4000	3750	3500	3250	3000	2750	2500	2250	2000	1750	1500
"30 - 7"	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
"34 - 38"	0	0	0	0	0	0	0	0	5E-04	0,107	5E-04	7E-04	0,012	0	0	1	0	0	0
"34 - 50"	0	0	0	0	0	1E-04	3E-04	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,015
"34 - 7"	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
"38 - 50"	1	1	0	9E-04	1	1	0,216	1	0,293	0,044	0	0	0	0	0	0	0	1	0,004
"38 - 7"	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1E-04	0,006
"50 - 7"	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3E-04	0

### 3.2. Visualização dos Resultados e Detecção de *Outliers*: Box-Plot

#### 3.2.1. Torque Corrigido

A Figura 41 mostra os box-plots dos resultados obtidos para o parâmetro torque corrigido para cada uma das rotações utilizadas nesta comparação interlaboratorial. Os valores em vermelho correspondem às médias dos laboratórios em que os resultados são considerados como *outliers*. A tabela 7 mostra os participantes que apresentaram *outliers* para cada uma das rotações utilizadas nos testes dinamométricos. Para as rotações de 3250, 3500, 3750, 4000 e 6000 rpm pelo menos um laboratório apresentou resultados considerados como *outliers*.



**Figura 41** – Box-Plots para para determinação de torque corrigido em ensaios dinamométricos de motores ciclo Otto. Os valores em vermelho indicam os “*Outliers*” para o parâmetro torque corrigido.

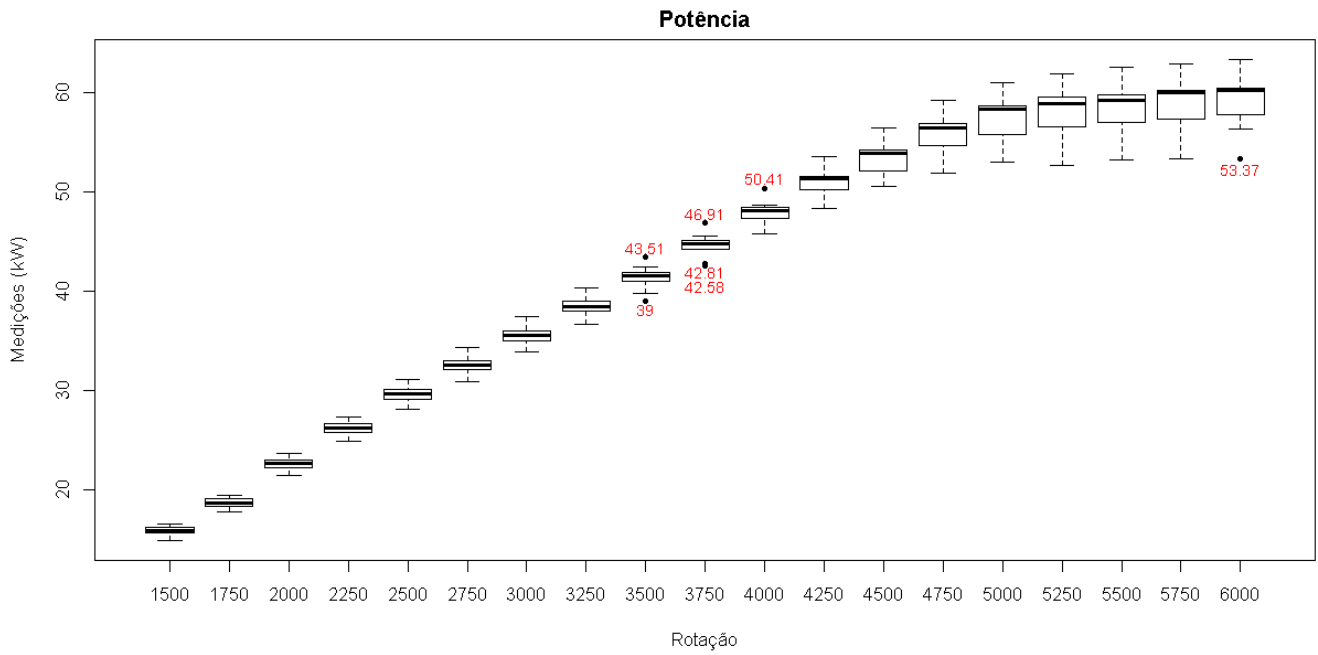
**Tabela 7** – Outliers observados para determinação do parâmetro torque corrigido (kW).

Rotação (rpm)	Outliers
6000	2
5750	-
5500	-
5250	-
5000	-
4750	-
4500	-
4250	-
4000	7
3750	2, 7, 11
3500	2
3250	2
3000	-
2750	-
2500	-
2250	-
2000	-
1750	-
1500	-

### 3.2.2. Potência Corrigida

A Figura 42 mostra os box-plots dos resultados obtidos para o parâmetro potência corrigida para cada uma das rotações utilizadas nesta comparação interlaboratorial. Os valores em vermelho correspondem às médias dos laboratórios em que os resultados são considerados como *outliers*. A tabela 7 mostra os participantes que apresentaram *outliers* para cada uma das rotações utilizadas nos testes dinamométricos. Para as rotações de 3500, 3750, 4000 e 6000 rpm pelo menos um laboratório apresentou resultados considerados como *outliers*.





**Figura 42** – Box-Plots para para determinação de torque corrigido em ensaios dinamométricos de motores ciclo Otto. Os valores em vermelho indicam os “Outliers” para o parâmetro torque corrigido.

**Tabela 7** – Outliers observados para determinação do parâmetro potência corrigida (N.m).

Rotação (rpm)	Outliers
6000	02
5750	-
5500	-
5250	-
5000	-
4750	-
4500	-
4250	-
4000	7
3750	2, 7, 11
3500	2, 7
3250	-
3000	-
2750	-
2500	-
2250	-
2000	-
1750	-
1500	-

#### **4. Conclusões**

As comparações interlaboratoriais e ensaios de proficiência realizados em conjunto pela Associação Brasileira de Engenharia Automotiva e o Inmetro são estudos únicos e realizados apenas no Brasil. Essa primeira iniciativa de ensaio em motores mostrou algumas inconsistências nos resultados, especialmente em relação à estabilidade do item de teste durante o andamento da CI e algumas perguntas a serem respondidas, a saber:

- Quais são as razões da instabilidade do item de teste?
- Como podemos garantir a estabilidade do item durante todo o período da CI?
- Será necessário fazer um estudo prévio do item de teste para estudar a sua estabilidade antes do início da próxima CI?
- As possíveis variações dos resultados podem ser também atribuídas pelo método de teste utilizado?
- Até que ponto os locais de instrumentação para tomada de medida influem nos resultados? Devemos trabalhar em uma padronização para que todos os participantes realizem de forma mais uniforme possível os seus testes?

Mesmo com todos estes questionamentos, a continuidade do estudo é de grande importância para a indústria e a sociedade. Tais estudos servirão para solucionar os problemas verificados nesta CI, padronizar os métodos de medição e consolidar o aprendizado adquirido a cada comparação.

O ensaio de torque e potência em motores do ciclo Otto envolve um grande número de variáveis que influenciam nos resultados e, mesmo que não haja avaliação do desempenho dos laboratórios, recomenda-se que todos os laboratórios analisem criticamente seus métodos de medição, sendo que todo o processo e experiência laboratorial devem ser considerados.

A participação em ensaios de proficiência e comparações interlaboratoriais de forma contínua pode garantir ao laboratório informações sobre sua capacidade de medição e é de grande importância para o monitoramento da validade de seus resultados.

#### **5. Participantes**

Recebemos doze inscrições para esta CI. A numeração que consta na Tabela 7 é apenas indicativa do número de participantes na CI.

A identidade dos participantes em relação aos resultados do ensaio é confidencial, sendo conhecido apenas pelo responsável do laboratório e pela organização desta comparação interlaboratorial, não estando, em hipótese alguma, associada à identificação dos participantes na apresentação dos

resultados neste relatório. Os participantes foram codificados de forma a não haver possibilidade de associação do resultado com o respectivo laboratório.

**Tabela 7 – Participantes**

<b>Instituição</b>	
1.	AVL South America Ltda.
2.	Continental Brasil Indústria Automotiva Ltda. Laboratório de Motores
3.	Delphi Automotive Systems do Brasil Ltda EDL
4.	FCA Fiat Chrysler Automóveis Brasil Ltda.
5.	General Motors do Brasil Ltda. GPSSA-Laboratório de Motores e Transmissões
6.	Instituto Mauá de Tecnologia Divisão de Motores e Veículos – Centro de Pesquisas
7.	KSPG Automotive Brazil Ltda.
8.	Magneti Marelli Sistemas Automotivos Ind. e Com. Ltda. Laboratório Testes de Motores - Magneti Marelli
9.	MAHLE Metal Leve
10.	Petróleo Brasileiro S.A. - PETROBRAS Laboratório de Motores do CENPES
11.	Robert Bosch Ltda. Laboratório de Aplicação em Motores da DGS-EC/EAF1-LA
12.	SENAI – Serviço Nacional de Aprendizagem Industrial Laboratório de Ensaios de Motores Centro de Inovação e Tecnologia SENAI FIEMG – Campus CETEC

## **6. Referências Bibliográficas**

- ABNT NBR ISO/IEC 17043, Avaliação de conformidade — Requisitos gerais para ensaios de proficiência, Rio de Janeiro, 2011.
- ISO 5725 (E) *Accuracy (trueness and precision) of measurement methods and results – Part 2: Basic method for the determination of repeatability and reproducibility of a standard measurement method*, Geneva, 1994.
- ISO 13528, *Statistical methods for use in proficiency testing by interlaboratory comparisons*, Geneva, 2015.
- Vocabulário Internacional de Metrologia: conceitos fundamentais e gerais e termos associados (VIM 2012). 1ª Edição Luso - Brasileira, 2012.
- Miller, J. C. and Miller, J. N. (1993). *Statistics for analytical chemistry, 3rd Ed.; Ellis Horwood, Chichester*, 1993.
- Freund, J.E. . Estatística aplicada economia, administração e contabilidade, 11ª Ed., Editora Artmed, 2006.



Programa de Ensaio da Proficiência do Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia - PEP-Inmetro  
Av. Nossa Senhora das Graças, 50 - Xerém - Duque de Caxias - RJ - Brasil CEP: 25250-020  
Tel/Fax: +55 21 2679-9745 - [www.inmetro.gov.br](http://www.inmetro.gov.br) - E-mail: [pep-inmetro@inmetro.gov.br](mailto:pep-inmetro@inmetro.gov.br)