

EDUARDO DA SILVA ANDRADE

**ESTUDO DO DESEMPENHO DO SISTEMA DE FRENAGEM DOS
TRENS SÉRIES 7000, 7500 E 8000 EM CONDIÇÕES DEGRADADAS
COM FOCO EM OPERAÇÃO COMERCIAL SEGURA
TESTES PRÁTICOS**

Monografia apresentada à Escola Politécnica da Universidade de São Paulo para obtenção do título de especialista em Tecnologia Metro-Ferroviária.

SÃO PAULO
2016

EDUARDO DA SILVA ANDRADE

**ESTUDO DO DESEMPENHO DO SISTEMA DE FRENAGEM DOS
TRENS SÉRIES 7000, 7500 E 8000 EM CONDIÇÕES DEGRADADAS
COM FOCO EM OPERAÇÃO COMERCIAL SEGURA
TESTES PRÁTICOS**

Trabalho de conclusão apresentado à Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, curso de pós-graduação “Latu-senso” em Tecnologia Metroferroviária, desenvolvido no âmbito do Programa de Educação Continuada em Engenharia – PECE.

Área de Concentração:
Sistemas de Transporte, Grupo de Análise de Segurança e Confiabilidade Aplicada.

Orientador:
Prof. Dr. Rodolfo Molinari

SÃO PAULO
2016

FICHA CATALOGRÁFICA

Andrade, Eduardo da Silva

Estudo do desempenho do sistema de frenagem dos trens séries 7000, 7500 e 8000 em condições degradadas com foco em operação comercial segura Testes de Desempenho / Eduardo da Silva Andrade – São Paulo, 2016.

29 p.

Monografia (Especialização em Tecnologia Metroferroviária) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. Programa de Educação Continuada em Engenharia.

1. Freio 2.Trens. 3. Operação de transporte. 4. Segurança I. Universidade de São Paulo, Escola Politécnica, Programa de Educação Continuada da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo.

AGRADECIMENTOS

Ao orientador Prof. Dr. Rodolfo Molinari, pela dedicação, paciência e auxílio no desenvolvimento do trabalho;

À Diretoria da CPTM, pela importante iniciativa em proporcionar o curso de especialização, sem o qual não vivenciaria este momento único, de grande valia para o aprimoramento de minha carreira nos âmbitos profissional e pessoal;

Aos colegas de trabalho que colaboraram para a realização deste trabalho, em especial aos Srs, João Paulo Bueno, Edson Raymundo e Yassuhiro Edson Yogi.

A todos os meus familiares, pela compreensão nos momentos de ausência;

E sobre tudo a Deus, pela maravilha que é a vida.

RESUMO

O estudo de desempenho do sistema de freio dos trens série 7000, 7500 e 8000, visa diminuir o impacto de eventuais falhas das unidades controladoras de freio no desempenho da operação de trens, diminuindo assim o número de passageiros prejudicados e melhorando a qualidade dos serviços prestados pela CPTM.

As composições das séries 7000, 7500 e 8000 são formadas por oito carros e segundo informações dos fabricantes tem a capacidade de manter a eficiência do freio de serviço com até duas unidades eletrônicas de freio avariadas.

Foram realizadas diversas corridas em via nivelada e em condição de tara para as velocidades de 40, 50, 70 e 90 km/h, onde depois de aplicado o freio máximo de serviço, foram verificadas as distâncias de parada das composições, para quatro condições distintas:

- 1- Freio Pleno – aplicação do freio de serviço em todos os carros
- 2 – Degradão de 12,5 % do freio de serviço (1 carro em falha)
- 3 – Degradão de 25% do freio de serviço (2 carros em falha)
- 4 – Degradão de 37,5% do freio de serviço (3 carros em falha)

Os testes demonstraram que é possível aperfeiçoar algumas ações operacionais, visando diminuir transtornos causados por avaria nas BCU's.

Palavras-chave: CPTM. Freio. Trens.

ABSTRACT

The brake system performance study of trains series 7000, 7500 and 8000, aims to reduce the impact of any failure of the controlling units brake performance of trains operation, thereby reducing the number of injured passengers and improving the quality of services by CPTM.

The compositions of the series 7000, 7500 and 8000 are formed by eight cars and second information manufacturers have the capability of maintaining the service brake efficiency with up to two electronic units damaged brake.

Several races were held on a level road and tare condition for speeds of 40, 50, 70 and 90 km/h, where after applying maximum brake service, it was verified the composition of the stopping distance for four different conditions:

- 1- Full Brake - brake service application in all cars
- 2- 12.5% degradation of the electro pneumatic service brake (1 car in failure)
- 3- 25% degradation of the electro pneumatic service brake (2 cars in failure)
- 4- 37,5% degradation of the electro pneumatic service brake (3 cars in failure)

Tests have shown that it is possible to improve some operational actions in order to reduce inconvenience caused by breakdown in BCU's.

Keywords: Brake. CPTM. Brake. Trains.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 01 - Esforço freio ED	13
Figura 02 - Esforço do freio ED carro motor e EP carro reboque.....	13
Figura 03 - Esforço do freio ED + EP carro motor e esforço do freio EP carro reboque....	14

LISTA DE GRÁFICOS

GRÁFICO 01 – DESACELERAÇÃO MÉDIA DOS TRENS PARA VELOCIDADE DE 90 KM/H (M/S ²).....	18
GRÁFICO 02 – DISTÂNCIA PERCORRIDA DURANTE A FRENAGEM PARA VELOCIDADE DE 90 KM/H (M).....	19
GRÁFICO 03 – VARIAÇÃO DA DESACELERAÇÃO MÉDIA PARA A VELOCIDADE DE 90 KM/H (%)	19
GRÁFICO 04 – DESACELERAÇÃO MÉDIA DOS TRENS PARA A VELOCIDADE DE 70 KM/H (M/S ²).....	21
GRÁFICO 05 – DISTÂNCIA PERCORRIDA DURANTE A FRENAGEM PARA A VELOCIDADE DE 70 KM/H (M).....	21
GRÁFICO 06 – VARIAÇÃO DA DESACELERAÇÃO MÉDIA PARA A VELOCIDADE DE 70 KM/H (%)	22
GRÁFICO 07 – DESACELERAÇÃO MÉDIA DOS TRENS PARA A VELOCIDADE DE 50 KM/H (M/S ²).....	24
GRÁFICO 08 – DISTÂNCIA PERCORRIDA DURANTE A FRENAGEM PARA A VELOCIDADE DE 50 KM/H (M).....	24
GRÁFICO 09 – VARIAÇÃO DA DESACELERAÇÃO MÉDIA PARA A VELOCIDADE DE 50 KM/H (%)	24
GRÁFICO 10 – DESACELERAÇÃO MÉDIA DOS TRENS PARA A VELOCIDADE DE 40 KM/H (M/S ²).....	26
GRÁFICO 11 – DISTÂNCIA PERCORRIDA DURANTE A FRENAGEM PARA A VELOCIDADE DE 40 KM/H (M).....	27
GRÁFICO 12 – VARIAÇÃO DA DESACELERAÇÃO MÉDIA PARA A VELOCIDADE DE 40 KM/H (%)	27

LISTA DE TABELAS

TABELA 01– RESULTADOS OBTIDOS NAS CORRIDAS PARA A VELOCIDADE DE 90 KM/H	17
TABELA 02 – MÉDIA DOS RESULTADOS OBTIDOS PARA AS DIFERENTES CONDIÇÕES TESTADAS	18
TABELA 03 - RESULTADOS DOS TESTES PARA A VELOCIDADE DE 70 KM/H.....	20
TABELA 04 – DISTÂNCIAS DE PARADA PARA A VELOCIDADE DE 70 KM/H PARA AS DIFERENTES CONDIÇÕES TESTADAS.	20
TABELA 05 - RESULTADOS DOS TESTES PARA A VELOCIDADE DE 50 KM/H.....	22
TABELA 06 – DISTÂNCIAS DE PARADA PARA A VELOCIDADE DE 50 KM/H PARA AS DIFERENTES CONDIÇÕES TESTADAS	23
TABELA 07 - RESULTADOS DOS TESTES PARA A VELOCIDADE DE 40 KM/H.....	25
TABELA 08 – DISTÂNCIAS DE PARADA PARA A VELOCIDADE DE 40 KM/H PARA AS DIFERENTES CONDIÇÕES TESTADAS	26

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

BCU	Unidade de Controle de Freio (<i>Brake Control Unit</i>)
CAF	Construções e Auxiliar de Estradas de Ferro
CCU	Unidade de Controle do Sistema COSMOS
COSMOS	Sistema Modular de Controle e Supervisão (<i>Controle and Supérvision Modular System</i>)
CPTM	Companhia Paulista de Trens Metropolitanos
ATC	Controle automático do trem
ED	Freio eletrodinâmico
EP	Freio eletropneumático

SUMÁRIO

1.	INTRODUÇÃO	12
2.	SISTEMA DE FRENAGEM DOS TRENS SÉRIE 7000, 7500 E 8000	13
2.1.	Freio de serviço ($1,1 \text{ m/s}^2$).....	14
2.2.	“Blending”	14
2.3.	Compensação de Carga.....	14
2.4.	Freio de Parada	15
3.	REALIZAÇÃO DOS TESTES DE DESEMPENHO	16
3.1.	Condições necessárias para a realização do teste.....	16
4.	RESULTADOS DOS TESTES DE DESEMPENHO EM VIA.....	17
4.1.	Resultados obtidos para a velocidade de 90 km/h.....	17
4.2.	Resultados obtidos para a velocidade de 70 km/h.....	19
4.3.	Resultados obtidos para a velocidade de 50 km/h.....	22
4.4.	Resultados obtidos para a velocidade de 40 km/h.....	25
5.	CONCLUSÃO.....	28
	REFERÊNCIAS.....	29

1. INTRODUÇÃO

A CPTM, Companhia Paulista de Trens Metropolitanos, é formada por seis linhas, possuindo aproximadamente 261 km de extensão, com uma frota de 214 trens, transportando diariamente aproximadamente três milhões de pessoas, realizando mais de 2.600 viagens, o que corresponde a mais de 80 mil quilômetros percorridos todos os dias.

Com o fluxo desta magnitude, qualquer falha em trens causa grandes impactos na operação do sistema, levando a grandes prejuízos a CPTM, afetando a milhares de passageiros.

Com intuito de reduzir o impacto causado por avarias no sistema de freio em trens das series 7000, 7500 e 8000, foi realizado o estudo do comportamento do sistema em condição degradada.

Foram realizados testes de desempenho simulando avarias nas unidades eletrônicas de controle de freio, verificando o comportamento da composição em tara durante a aplicação do freio máximo de serviço.

2. SISTEMA DE FRENAGEM DOS TRENS SÉRIE 7000, 7500 E 8000

O freio de serviço eletropneumático (EP) é priorizado pelo freio dinâmico (ED). O sistema permite o uso de freio conjunto em caso de insuficiência do freio dinâmico, como suplementação adicional. Em um escopo maior, o freio pneumático pode substituir o freio dinâmico se ocorrer uma falha.

- Eletrodinâmico
- Eletrodinâmico + Eletropneumático (“*blending*”)
- Eletropneumático

Abaixo, a representação gráfica caso o freio ED ser capaz de suprir todo o esforço de freio solicitado:

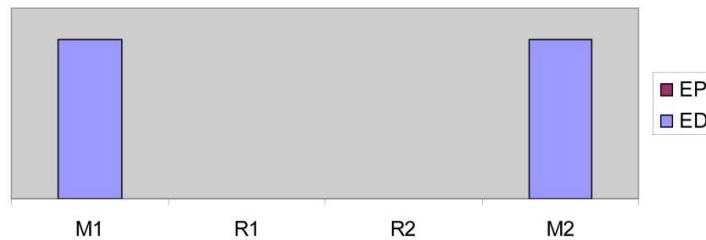


Figura 01 - Esforço do Freio ED

Abaixo, a representação gráfica caso o freio ED não ser capaz de suprir todo o esforço de freio solicitado:

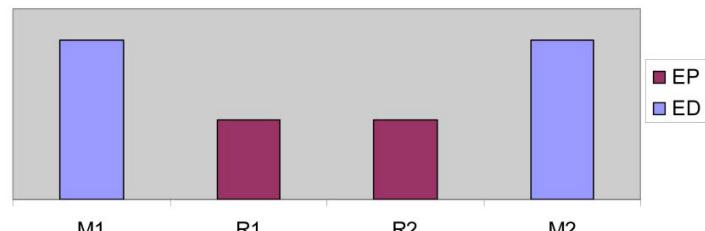


Figura 02- Esforço do Freio ED Carro Motor e EP Carro Reboque

Abaixo, a representação gráfica caso o freio ED não seja capaz de suprir todo o esforço de freio solicitado:

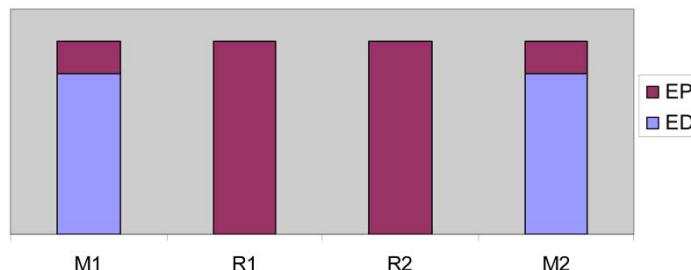


Figura 03 - Esforço do freio ED + EP carro motor e esforço do freio EP carro reboque

2.1. Freio de serviço ($1,1 \text{ m/s}^2$)

Durante a aplicação do freio de serviço são ativados:

- Freio eletrodinâmico ED;
- Freio eletropneumático de serviço EP (quando o esforço de ED não é suficiente para demanda solicitada);

Na situação de comando de freio ativo, a unidade eletrônica de freio BCU, irá calcular o esforço do freio EP de acordo com:

- Demanda de freio;
- Peso do carro;
- Algoritmo do “blending” (se necessário);
- Esforço do freio ED.

2.2. “Blending”

Durante o freio de serviço, o freio EP, caso seja necessário irá complementar o esforço de frenagem, assim teremos freio eletrodinâmico e freio eletropneumático simultaneamente.

2.3. Compensação de Carga

A BCU recebe informação do peso do carro de acordo com os valores lidos do

sistema de suspensão quando o trem está parado, e congela este valor quando o trem está em movimento.

Caso seja detectada alguma falha no equipamento de suspensão, a BCU adota como padrão o valor do peso de carro carregado.

2.4. Freio de Parada

Na situação de freio de serviço, quando a velocidade estiver aproximadamente em 10 Km/h, o freio ED perde sua eficiência, desta maneira, o freio EP assume totalmente a frenagem até a parada do trem, ele recebe um sinal alguns instantes antes da perda de eficiência do freio ED e inicia o acréscimo de pressão nos cilindros de freio através de um gradiente programado no software.

3. REALIZAÇÃO DOS TESTES DE DESEMPENHO

Os testes de desempenho em via do sistema de freio dos trens série 7000 foram realizados no período noturno na linha 10 da CPTM, no trecho entre as estações Brás e Santo André.

Todas as corridas foram realizadas com a composição vazia. Não foi possível realizar teste com a composição carregada, devido no momento ser inviável retirar de operação composição desta série para realização deste estudo.

3.1. Condições necessárias para a realização do teste

- 1) Unidades de controle de freio (BCU) de todos os carros do trem em pleno funcionamento;
- 2) Pastilhas de freio assentadas
- 3) Boletos dos trilhos secos
- 4) Perfis de rolamento das rodas ferroviárias isentos de trincas térmicas, desprendimentos de material, calos, covas, escoamentos, sulcos e ondulações na pista de rolamento;
- 5) Via permanente plana.
- 6) Tensão de catenária de 3000 volts.

4. RESULTADOS DOS TESTES DE DESEMPENHO EM VIA

4.1. Resultados obtidos para a velocidade de 90 km/h

Foram realizadas 16 corridas (ver tabela 01) com composição da série 7000 em tara e em via nivelada, onde após o trem atingir a velocidade de 90 km/h foi aplicado o freio máximo de serviço.

- 1 - Freio de serviço máximo em funcionamento pleno
- 2 - Freio de serviço máximo com degradação em um carro reboque
- 3 - Freio de serviço máximo com degradação em dois carros reboques
- 4 - Freio de Serviço Máximo com degradação em três carros Reboques

Tabela 01 – Resultados obtidos nas corridas para a velocidade de 90 km/h

Descrição	ΔT (s)	ΔV (m/s)	Desaceleração Média do Trem (m/s²)	Distância de Parada (m)
Q09 - Freio pleno	21,16	24,44	1,16	259
Q09 - Freio pleno	21,56	24,44	1,13	264
Q36 - Freio pleno	21,26	24,44	1,15	260
Q36 - Freio pleno	22,28	24,17	1,08	269
Q09 - 01 BCU isolada	21,72	24,17	1,11	262
Q09 - 01 BCU isolada	22,32	24,17	1,08	270
Q36 - 01 BCU isolada	21,53	24,72	1,15	266
Q36 - 01 BCU Isolada	21,83	24,44	1,12	267
Q09 - 02 BCU isoladas	22,32	24,44	1,10	273
Q09 - 02 BCU isoladas	20,92	24,17	1,16	253
Q36 - 02 BCU isoladas	22,22	24,44	1,10	272
Q36 - 02 BCU isoladas	22,22	24,44	1,10	272
Q09 - 03 BCU isoladas	27,38	24,17	0,88	331
Q09 - 03 BCU isoladas	27,46	24,17	0,88	332
Q36 - 03 BCU isoladas	24,86	24,44	0,98	304
Q36 - 03 BCU isoladas	25,06	24,44	0,98	306

Após a realização das corridas foi calculado a média aritmética para cada condição testada (ver tabela 02)

Tabela 02 – Média dos resultados obtidos para as diferentes condições testadas

Descrição	ΔT (s)	ΔV (m/s)	Desaceleração Média do Trem (m/s^2)	Distância de Parada (m)	Variação da Aceleração Média (%)
Média 7000 – Freio pleno	21,57	24,38	1,13	263	
Média 7000 - 01 BCU isolada	21,85	24,38	1,12	266	-1%
Média 7000 - 02 BCU isoladas	21,92	24,38	1,11	267	-2%
Média 7000 - 03 BCU isoladas	26,19	24,31	0,93	318	-18%

Para a velocidade de 90 km/h observamos que na condição de 03 BCU isolada há um prejuízo de 18% na taxa de desaceleração média quando comparada ao funcionamento pleno (ver grafico 03). Esta perda de eficiencia representa um aumento de aproximadamente 60 metros na distância de parada (ver grafico 02).

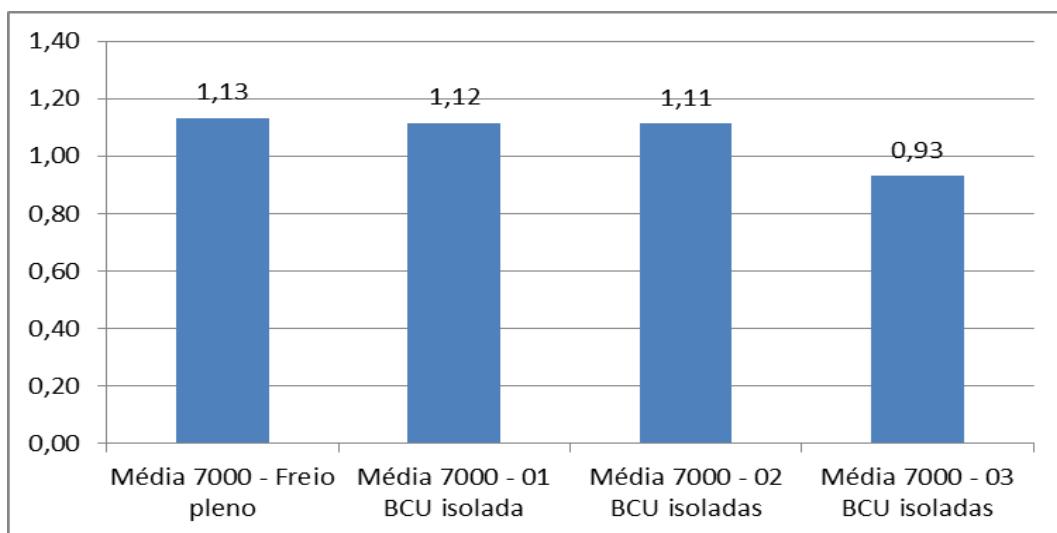


Gráfico 01 – Desaceleração Média dos Treins para velocidade de 90 km/h (m/s^2)

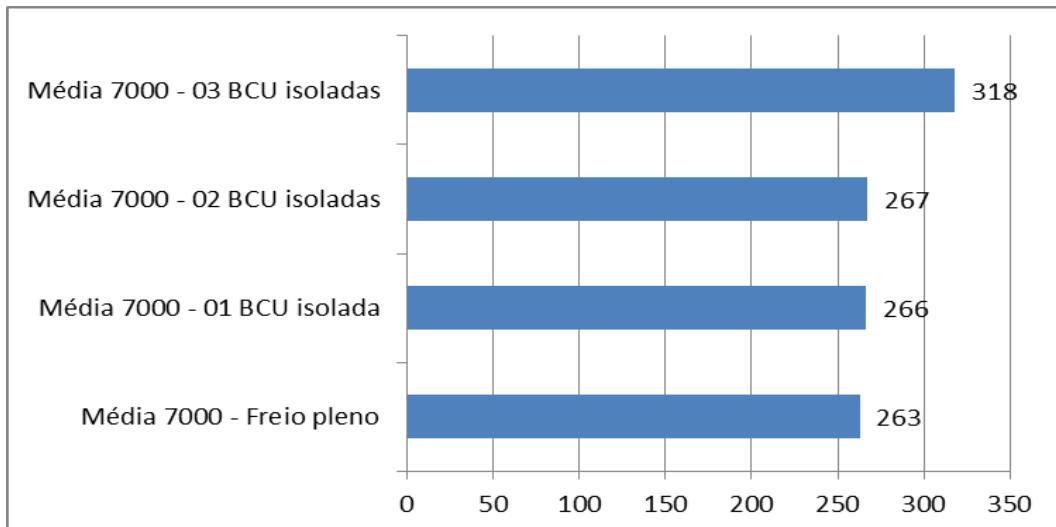


Gráfico 02 – Distância Percorrida Durante a Frenagem para velocidade de 90 km/h (m)

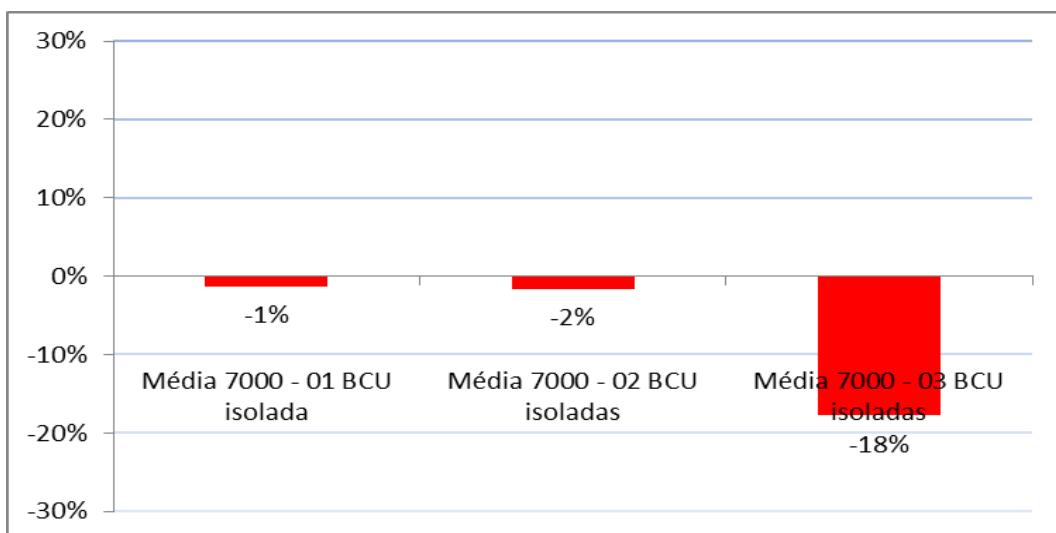


Gráfico 03 – Variação da desaceleração média para a velocidade de 90 km/h (%)

4.2. Resultados obtidos para a velocidade de 70 km/h

Foram realizadas 16 corridas (ver tabela 03) com composição da série 7000 em tara e em via nivelada, onde após o trem atingir a velocidade de 70 km/h foi aplicado o freio máximo de serviço.

- 1 - Freio de serviço máximo em funcionamento pleno
- 2 - Freio de serviço máximo com degradação em um carro reboque
- 3 - Freio de serviço máximo com degradação em dois carros reboques
- 4 - Freio de serviço máximo com degradação em três carros reboques

Tabela 03 - Resultados dos testes para a velocidade de 70 km/h

Descrição	ΔT (s)	ΔV (m/s)	Desaceleração Média do Trem (m/s ²)	Distância de Parada (m)
Q09 - Freio pleno	17,1	18,89	1,10	162
Q09 - Freio pleno	17,1	18,89	1,10	162
Q36 - Freio pleno	16,77	18,61	1,11	156
Q36 - Freio pleno	17,63	18,61	1,06	164
Q09 - 01 BCU isolada	16,34	18,61	1,14	152
Q09 - 01 BCU isolada	15,74	18,61	1,18	146
Q36 - 01 BCU isolada	17,68	18,61	1,05	165
Q36 - 01 BCU isolada	16,87	18,89	1,12	159
Q09 - 02 BCU isoladas	17,92	18,61	1,04	167
Q09 - 02 BCU isoladas	18,14	19,44	1,07	176
Q36 - 02 BCU isoladas	17,23	18,33	1,06	158
Q36 - 02 BCU isoladas	17,35	18,89	1,09	164
Q09 - 03 BCU isoladas	19,36	18,89	0,98	183
Q09 - 03 BCU isoladas	19,26	18,61	0,97	179
Q36 - 03 BCU isoladas	19,16	18,89	0,99	181
Q36 - 03 BCU isoladas	19,16	18,61	0,97	178

Após a realização das corridas foi calculado a média aritmética para cada condição testada (ver tabela 04).

Tabela 04 – Distâncias de parada para a velocidade de 70 km/h para as diferentes condições testadas.

Descrição	ΔT (s)	ΔV (m/s)	Desaceleraçã o Média do Trem (m/s ²)	Distância de Parada (m)	Variação da Aceleração Média (%)
Média 7000 - Freio pleno	17,15	18,75	1,09	161	
Média 7000 - 01 BCU isolada	16,66	18,68	1,12	156	3%
Média 7000 - 02 BCU isoladas	17,66	18,82	1,07	166	-3%
Média 7000 - 03 BCU isoladas	19,24	18,75	0,97	180	-11%

Para a velocidade de 70 km/h observamos que na condição de 03 BCU isolada há um prejuízo de 11% na taxa de desaceleração média quando comparada ao funcionamento pleno (ver grafico 06). Esta perda de eficiencia representa um aumento de aproximadamente 20 metros na distancia de parada (ver grafico 05).

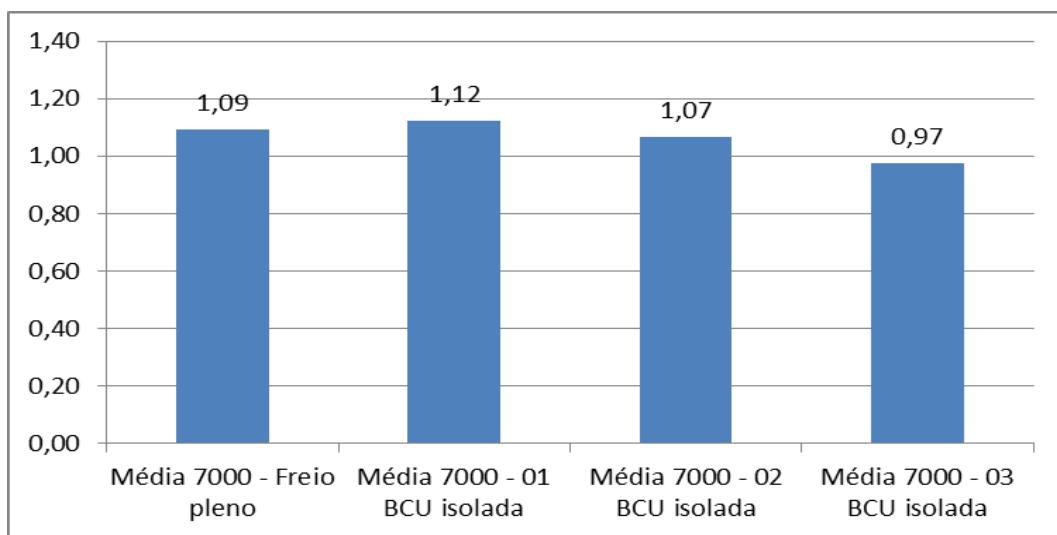


Gráfico 04 – Desaceleração Média dos Treins para a velocidade de 70 km/h (m/s²)

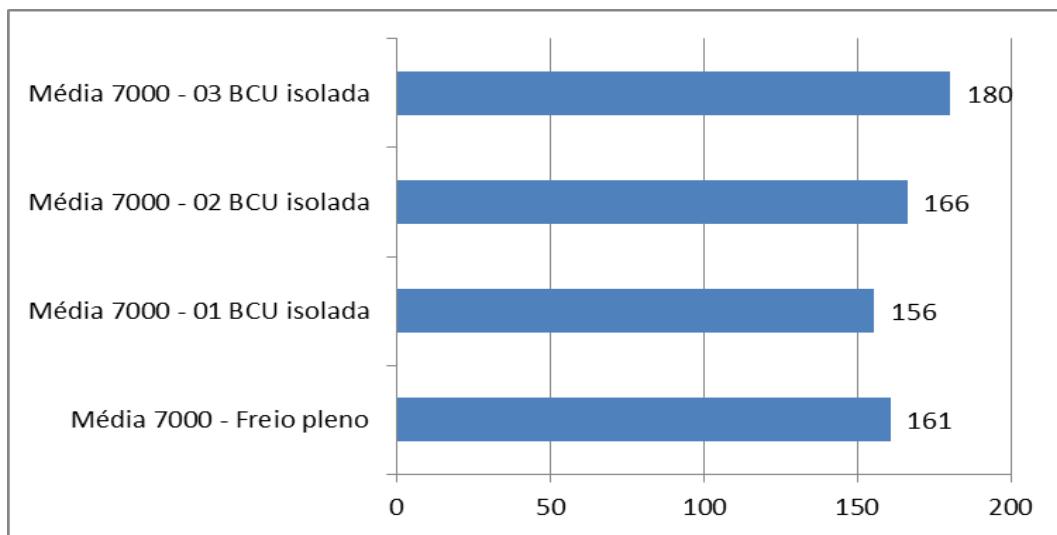


Gráfico 05 – Distância Percorrida Durante a Frenagem para a velocidade de 70 km/h (m)

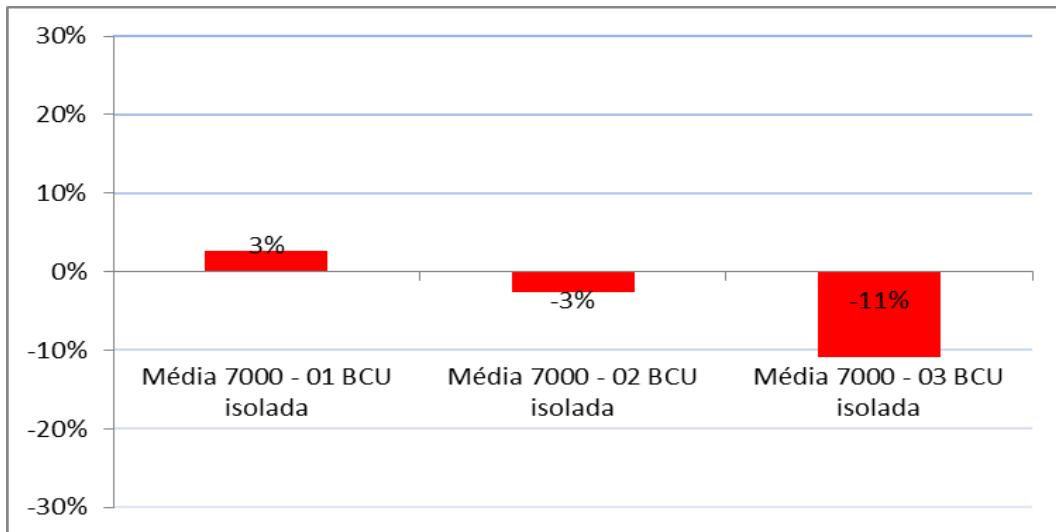


Gráfico 06 – Variação da desaceleração média para a velocidade de 70 km/h (%)

4.3. Resultados obtidos para a velocidade de 50 km/h

Foram realizadas 16 corridas (ver tabela 05) com composição da série 7000 em tara e em via nivelada, onde após o trem atingir a velocidade de 50 km/h foi aplicado o freio máximo de serviço.

- 1 - Freio de serviço máximo em funcionamento pleno
- 2 - Freio de serviço máximo com degradação em um carro reboque
- 3 - Freio de serviço máximo com degradação em dois carros reboques
- 4 - Freio de serviço máximo com degradação em três carros reboques

Tabela 05 - Resultados dos testes para a velocidade de 50 km/h

Descrição	ΔT (s)	ΔV (m/s)	Desaceleração Média do Trem (m/s ²)	Distância de Parada (m)
Q09 - Freio pleno	12,20	13,06	1,07	80
Q09 - Freio pleno	12,26	13,06	1,07	80
Q36 - Freio pleno	12,56	13,06	1,04	82
Q36 - Freio pleno	12,34	13,06	1,06	81
Q09 - 01 BCU isolada	12,56	13,06	1,04	82
Q09 - 01 BCU isolada	11,34	13,06	1,15	74
Q36 - 01 BCU isolada	11,85	13,33	1,13	79
Q36 - 01 BCU isolada	12,15	13,33	1,10	81

Descrição	ΔT (s)	ΔV (m/s)	Desaceleração Média do Trem (m/s ²)	Distância de Parada (m)
Q09 - 02 BCU isoladas	12,66	13,33	1,05	84
Q09 - 02 BCU isoladas	12,66	13,06	1,03	83
Q36 - 02 BCU isoladas	14,44	13,06	0,90	94
Q36 - 02 BCU isoladas	13,90	13,33	0,96	93
Q09 - 03 BCU isoladas	14,54	13,33	0,92	97
Q09 - 03 BCU isoladas	16,86	13,33	0,79	112
Q36 - 03 BCU isoladas	13,72	13,33	0,97	91
Q36 - 03 BCU isoladas	13,60	13,06	0,96	89

Após a realização das corridas foi calculado a média aritmética para cada condição testada (ver tabela 06)

Tabela 06 – Distâncias de parada para a velocidade de 50 km/h para as diferentes condições testadas

Descrição	ΔT (s)	ΔV (m/s)	Desaceleração Média do Trem (m/s ²)	Distância de Parada (m)	Variação da Aceleração Média (%)
Média 7000 - Freio pleno	12,33	13,06	1,06	80	
Média 7000 - 01 BCU isolada	12,04	13,19	1,08	81	2%
Média 7000 - 02 BCU isoladas	13,42	13,19	0,99	88	-7%
Média 7000 - 03 BCU isoladas	14,68	13,26	0,91	97	-14%

Para a velocidade de 50 km/h observamos que na condição de 03 BCU isolada há um prejuízo de 14% na taxa de desaceleração média quando comparada ao funcionamento pleno (ver grafico 09). Esta perda de eficiencia representa um aumento de aproximadamente 20 metros na distancia de parada (ver grafico 08).

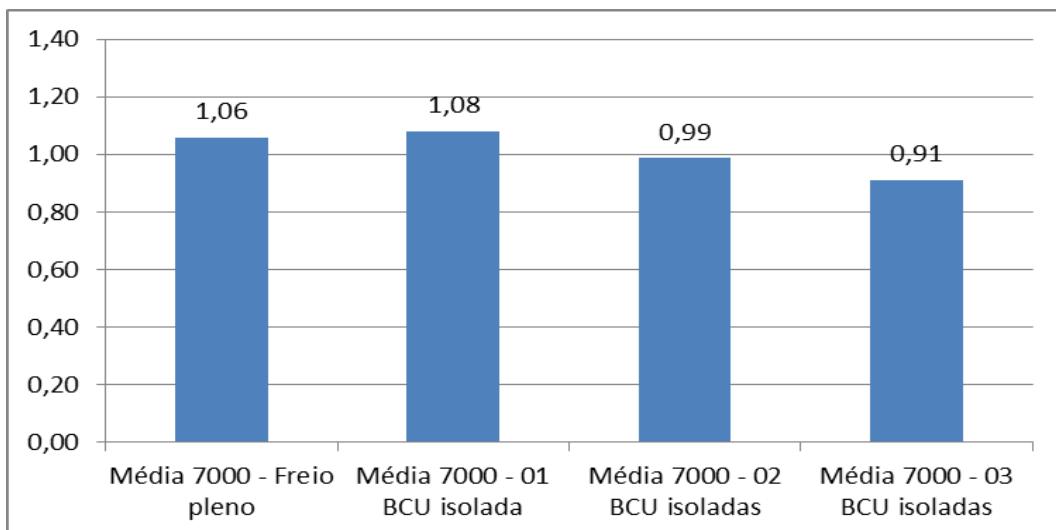
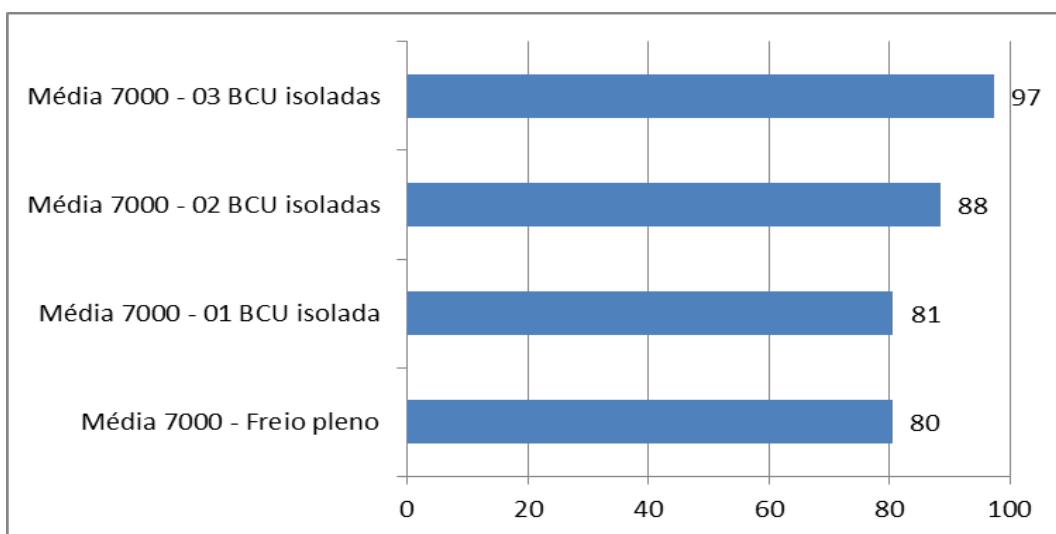
Gráfico 07 – Desaceleração Média dos Treins para a velocidade de 50 km/h (m/s^2)

Gráfico 08 – Distância Percorrida Durante a Frenagem para a velocidade de 50 km/h (m)

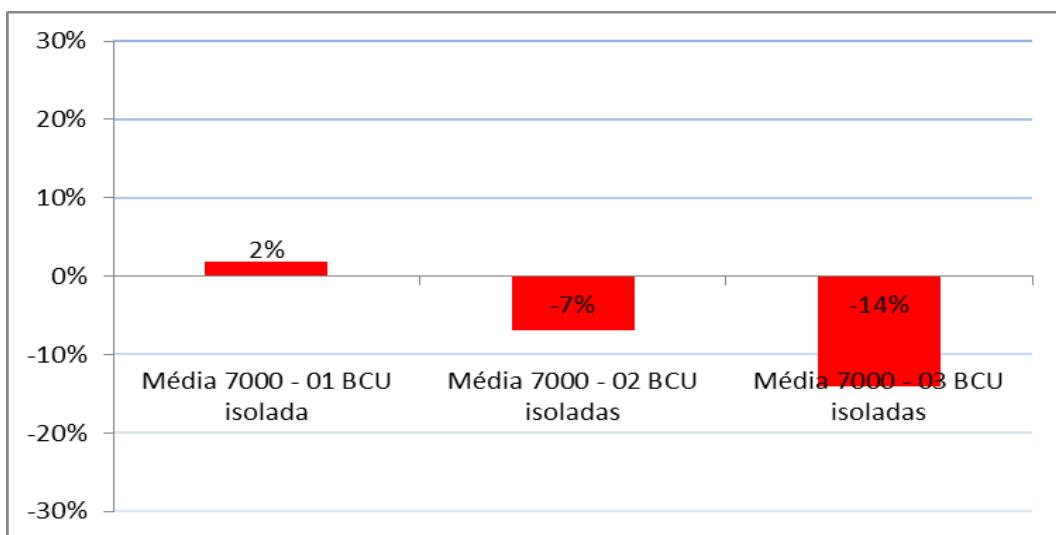


Gráfico 09 – Variação da desaceleração média para a velocidade de 50 km/h (%)

4.4. Resultados obtidos para a velocidade de 40 km/h

Foram realizadas 10 corridas (ver tabela 07) com composição da série 7000 em tara e em via nivelada, onde após o trem atingir a velocidade de 40 km/h foi aplicado o freio máximo de serviço.

- 1 - Freio de Serviço máximo em funcionamento pleno
- 2 - Freio de Serviço máximo com degradação em um carro reboque
- 3 - Freio de Serviço máximo com degradação em dois carros reboques
- 4 - Freio de Serviço máximo com degradação em três carros reboques

Tabela 07 - Resultados dos testes para a velocidade de 40 km/h

Descrição	ΔT (s)	ΔV (m/s)	Desaceleração Média do Trem (m/s²)	Distância de Parada (m)
Q36 - Freio pleno	10,55	10,56	1,00	56
Q36 - Freio pleno	10,43	10,28	0,99	54
Q36 - 01 BCU isolada	10,72	10,56	0,98	57
Q36 - 01 BCU isolada	9,91	10,56	1,07	52
Q36 - 02 BCU isoladas	10,48	10,28	0,98	54
Q36 - 02 BCU isoladas	10,82	10,56	0,98	57
Q09 - 03 BCU isoladas	14,50	10,28	0,71	75
Q09 -03 BCU isoladas	12,28	10,56	0,86	65
Q36 - 03 BCU isoladas	11,58	10,56	0,91	61
Q36 - 03 BCU isoladas	11,26	10,28	0,91	58

Após a realização das corridas foi calculado a média aritmética para cada condição testada (ver tabela 08)

Tabela 08 – Distâncias de parada para a velocidade de 40 km/h para as diferentes condições testadas

Descrição	ΔT (s)	ΔV (m/s)	Desaceleração Média do Trem (m/s^2)	Distância de Parada (m)	Variação da Aceleração Média (%)
Média Q36 - Freio pleno	10,49	10,42	0,99	55	
Média Q36 - 01 BCU isolada	10,32	10,56	1,02	54	2%
Média Q36 - 02 BCU isoladas	10,65	10,42	0,98	55	-2%
Média Q36 - 03 BCU isoladas	11,42	10,42	0,91	59	-9%

Para a velocidade de 40 km/h observamos que na condição de 03 BCU isolada há um prejuízo de 9% na taxa de desaceleração média quando comparada ao funcionamento pleno (ver grafico 12). Esta perda de eficiencia representa um aumento de aproximadamente 5 metros na distancia de parada (ver grafico 11).

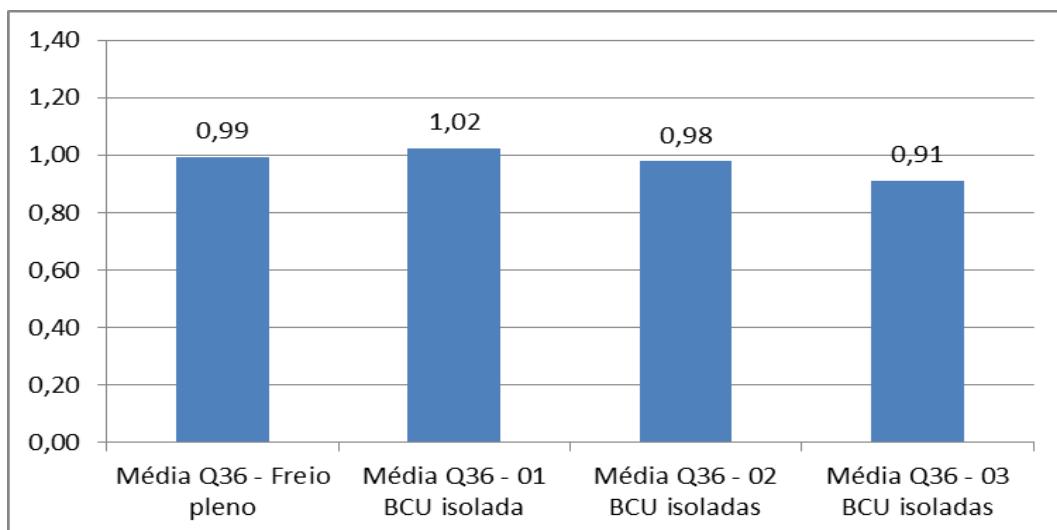


Gráfico 10 – Desaceleração Média dos Trens para a velocidade de 40 km/h (m/s^2)

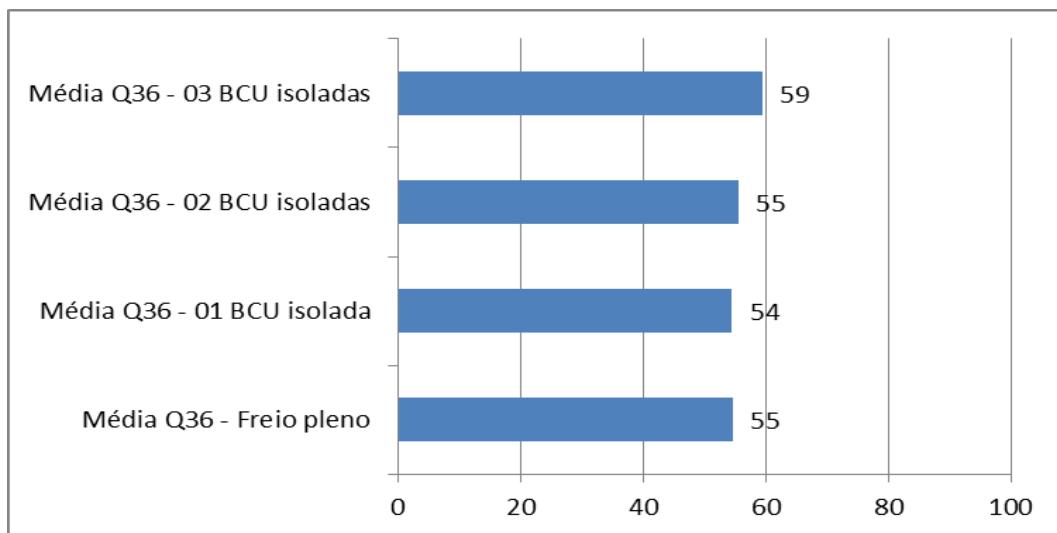


Gráfico 11 – Distância Percorrida Durante a Frenagem para a velocidade de 40 km/h (m)

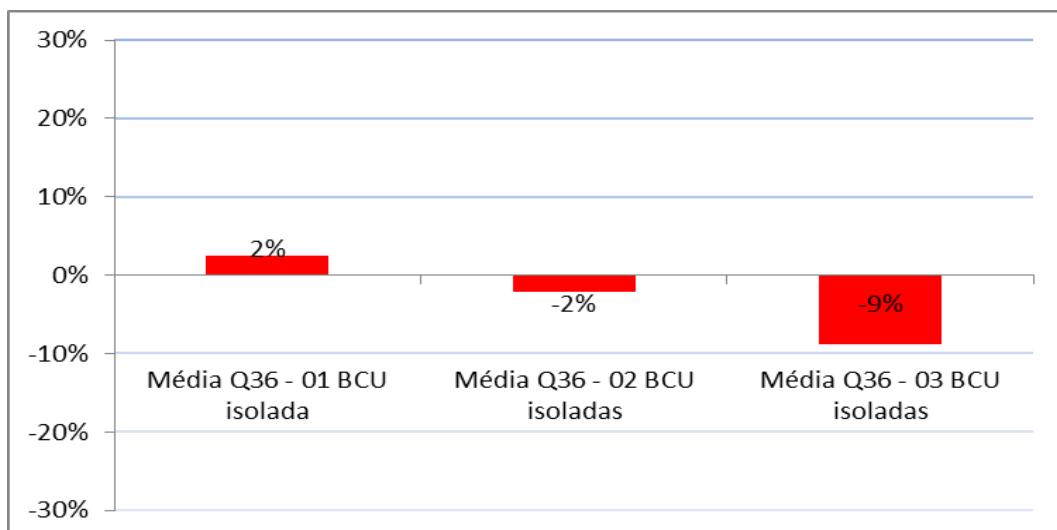


Gráfico 12 – Variação da desaceleração média para a velocidade de 40 km/h (%)

5. CONCLUSÃO

- Com base nos resultados obtidos nos testes de desempenho de frenagem realizado nos trens da Série 7000 é possível afirmar que é possível prestar serviço sem prejuízo à segurança operacional com falha em até duas unidades controladora de freio, ou seja, com degradação de 25% do freio de serviço.
- Foi constatado que quando há avaria em três unidades controladoras do sistema de freio, as composições da série 7000 não tem capacidade de compensar as pressões nos cilindros de freio, elevando a distância de parada da composição, após a aplicação do freio de serviço.
- Para a velocidade de 40 km/h com a composição em tara há um aumento de aproximadamente 5 metros na distância de parada da composição após aplicação do freio de serviço máximo, esta variação na distância não representa aumento significativo no risco operacional. Com base neste dado é possível elevarmos de 20 km/h limitação atual da CPTM para 40 km/h a velocidade autorizada para composição em tara nos casos em que houver três unidades eletrônicas de freio avariadas. Esta mudança traz um ganho significativo para a operação da CPTM, possibilitando reduzir em 50% o tempo de recolhimento de uma composição vazia até a Oficina, diminuindo o número de passageiros prejudicados em decorrência de avaria no sistema de freio da composição.
- Ressalto que não há perda na eficiência do freio de emergência em decorrência de avaria em BCU's, portanto a segurança do sistema de circulação de trens não é afetada.
- Os resultados obtidos são validos apenas para a condição de tara, não foram realizados testes em condição de carga.

REFERÊNCIAS

- [1] Norma de serviço – Execução de Obras e Serviços ao Longo da Via Férrea – CPTM. Disponível em:
http://webcptm/administracao/sistema_normativo/download.asp?id=2838&id_vr=7 (acesso em 14 março de 2016)
- [2] Manual do Fabricante – Trens série 7000, 7500 e 8000 – CAF
- [3] MELERO, M.; *Knorr-Bremse - Preliminary Brake Calculation – Electro pneumatic brake equipment*, CPTM São Paulo, 3 ed. Berlim, Germany. Junho 2009. 26 p.