

Semana de Tecnologia Metroviária
21 a 24 de setembro de 2004
São Paulo - Brasil

São Paulo
Setembro /2004

ESTUDO PARA A RACIONALIZAÇÃO DA ENERGIA ELÉTRICA CONSUMIDA NOS TRENS DO METRÔ DE SÃO PAULO



Autores:

Adalberto de Paula Ramos - GMT / MTC / EPV

Edivaldo Wagner Martins - GMT / MTR / MRL

Miguel Yuji Igarashi - GMT / MTC / EPV

Este estudo foi desenvolvido como trabalho de conclusão do curso de Pós-graduação em Tecnologia Metro-Ferroviária desenvolvido pela USP / Poli / PECE e a UNIMETRO.

ESTUDO PARA A RACIONALIZAÇÃO DA ENERGIA ELÉTRICA CONSUMIDA NOS TRENS DO METRÔ DE SÃO PAULO

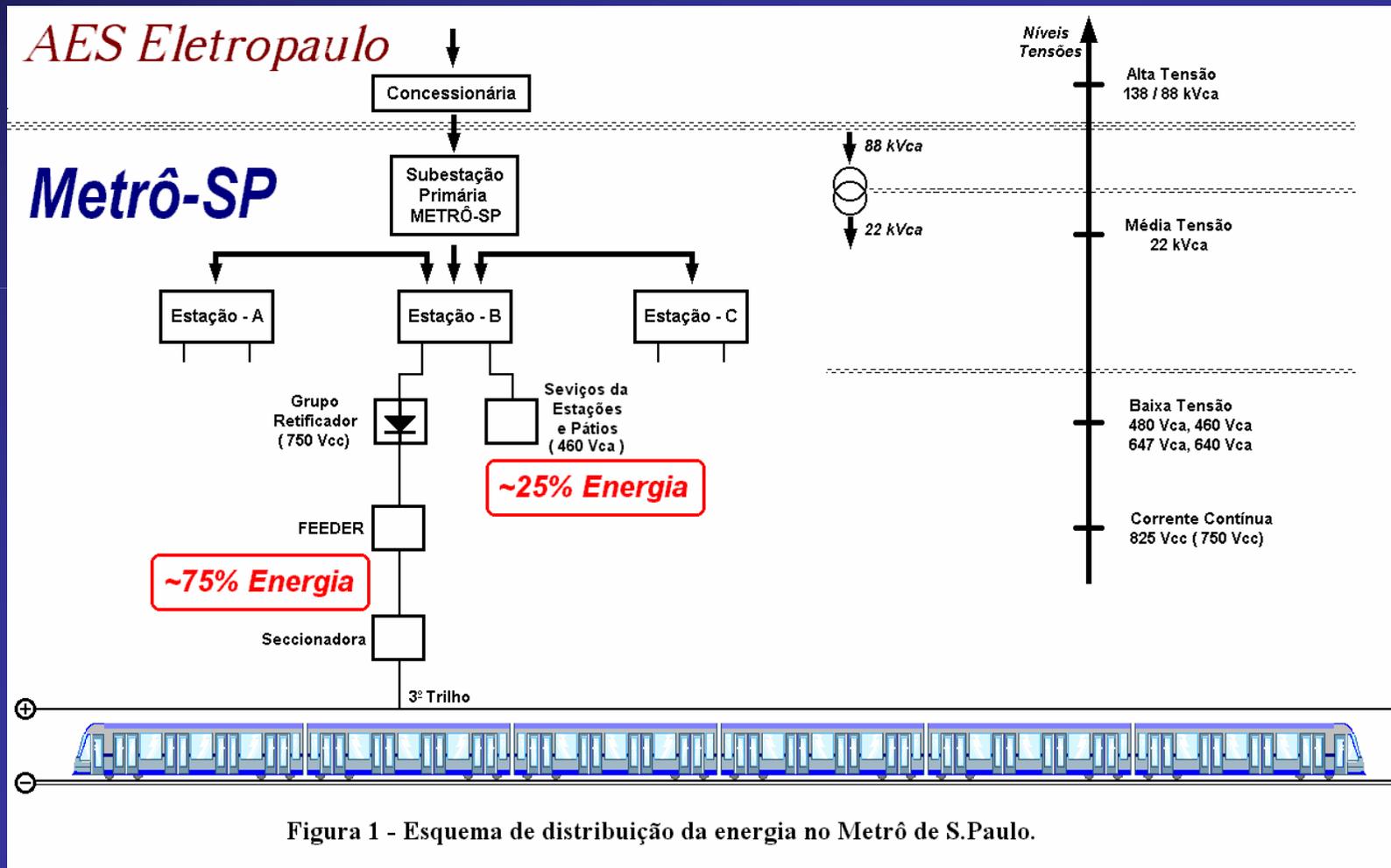


SITUAÇÃO ATUAL DO CONSUMO (METRÔ-SP)

- **Gasto total com energia elétrica (Mensal)**
 - da ordem de 34.000 MWh, que equivale ao consumo de aproximadamente 170.000 residência de médio padrão (200kWh)
 - custo mensal de US\$ 2,000,000.00
 - representa $\cong 10\%$ de toda arrecadação
- **Gasto com energia elétrica na Linha 3-Vermelha**
 - aproximadamente 14.000 MWh
 - representa $\cong 40\%$ do total do Metrô-SP

ESTUDO PARA A RACIONALIZAÇÃO DA ENERGIA ELÉTRICA CONSUMIDA NOS TRENS DO METRÔ DE SÃO PAULO

Distribuição do consumo de energia



ESTUDO PARA A RACIONALIZAÇÃO DA ENERGIA ELÉTRICA CONSUMIDA NOS TRENS DO METRÔ DE SÃO PAULO



FORMAS DE ECONOMIZAR

- **ECONOMIA ESTÁTICA**
 - Em trens estacionados em Pátios ou ao longo da linha, implementar um sistema de “*stand-by*”
- **ECONOMIA DINÂMICA**
 - São duas propostas:-
 - **Trens Carregados**
Alteração dos Níveis de Desempenho (ND)
 - **Trens vazios**
Redução da velocidade compensando o atraso no tempo de abertura de portas.

ESTUDO PARA A RACIONALIZAÇÃO DA ENERGIA ELÉTRICA CONSUMIDA NOS TRENS DO METRÔ DE SÃO PAULO



MÓDULO DE ECONOMIA DE ENERGIA

- **Projetado, construído e testado.**

- **É aplicado nos modos:**
 - ⇒ **de Economia Estática**
 - ⇒ **de Economia Dinâmica.**

ESTUDO PARA A RACIONALIZAÇÃO DA ENERGIA ELÉTRICA CONSUMIDA NOS TRENS DO METRÔ DE SÃO PAULO



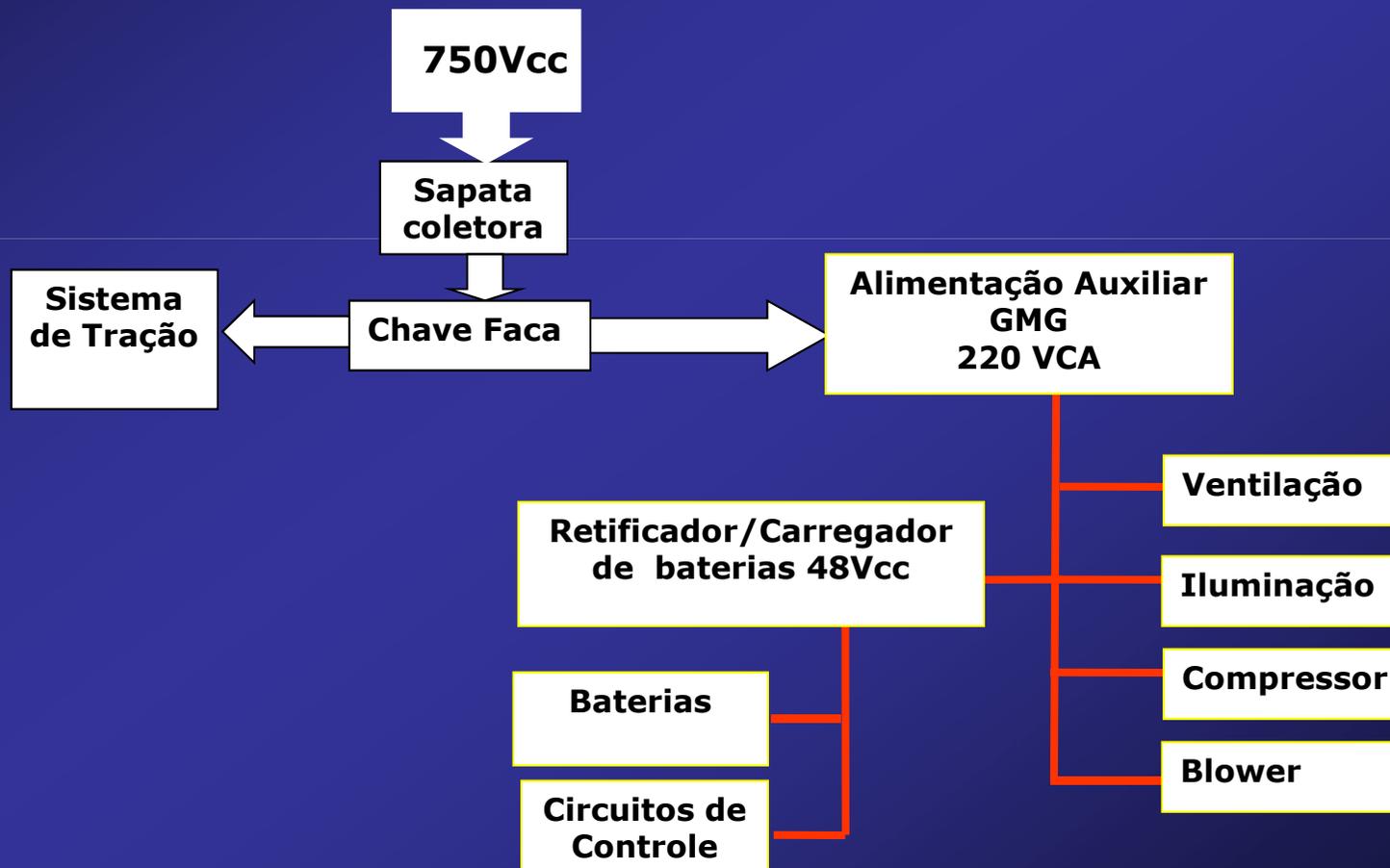
ECONOMIA

ESTÁTICA

ESTUDO PARA A RACIONALIZAÇÃO DA ENERGIA ELÉTRICA CONSUMIDA NOS TRENS DO METRÔ DE SÃO PAULO



• ECONOMIA ESTÁTICA



ESTUDO PARA A RACIONALIZAÇÃO DA ENERGIA ELÉTRICA CONSUMIDA NOS TRENS DO METRÔ DE SÃO PAULO



- **Trem recolhido no Pátio**
 - **Energia Consumida**
 - **Tempo de carregamento do sistema pneumático**
 - **Problemas Após Religamento**

ESTUDO PARA A RACIONALIZAÇÃO DA ENERGIA ELÉTRICA CONSUMIDA NOS TRENS DO METRÔ DE SÃO PAULO



Energia Consumida Pelos Equipamentos

Trem	Trem 317		Trem 328		Trem 340		Trem 320	
Carro	3102	3103	3163	3164	3240	3239	3119	3120
Tensão de Linha (V)	750	750	770	770	740	740	750	750
Trem desligado								
Somente GMG	29,3		32,8		33,3		27,0	
GMG+ Retificador	34,2		34,2		37,7		32,0	
Trem ligado								
Ventilação desligada	49,5	51,8	46,2	50,8	48,8	42,2	49,5	54,9
Ventilação Alta	63,0	74,3	64,7	67,0	66,6	62,2	68,4	67,5
Vent. Alta+Compres- sor+Iluminação	87,8	101,3	103,0	104,9	84,4	97,7	108,5	108,0
Vent. Alta + Blower	72,0	81,0	94,7	97,0	115,4	89,7	80,6	78,8
Vent. Alta + Compres. + Blower	99,0	116,1	134,0	138,6	151,0	123,4	121,1	120,6
Considerando Ciclo de Compressores de 20%								
Vent. Alta+Compres- sor+iluminação	68,0	79,7	70,5	72,6	71,1	70,2	76,4	75,6

Valores em kW

ESTUDO PARA A RACIONALIZAÇÃO DA ENERGIA ELÉTRICA CONSUMIDA NOS TRENS DO METRÔ DE SÃO PAULO



Função *Stand-by* - Módulo de Economia de Energia

Módulo de Controle de Energia - Protótipo

04-May-04 8:33:08 AM

Trem em STAND-BY **Trem Vazio**

Trem/Carro: 322 3127
Estação:
ND: AF
Carga: 0

Tensão de Bateria: **48.05**

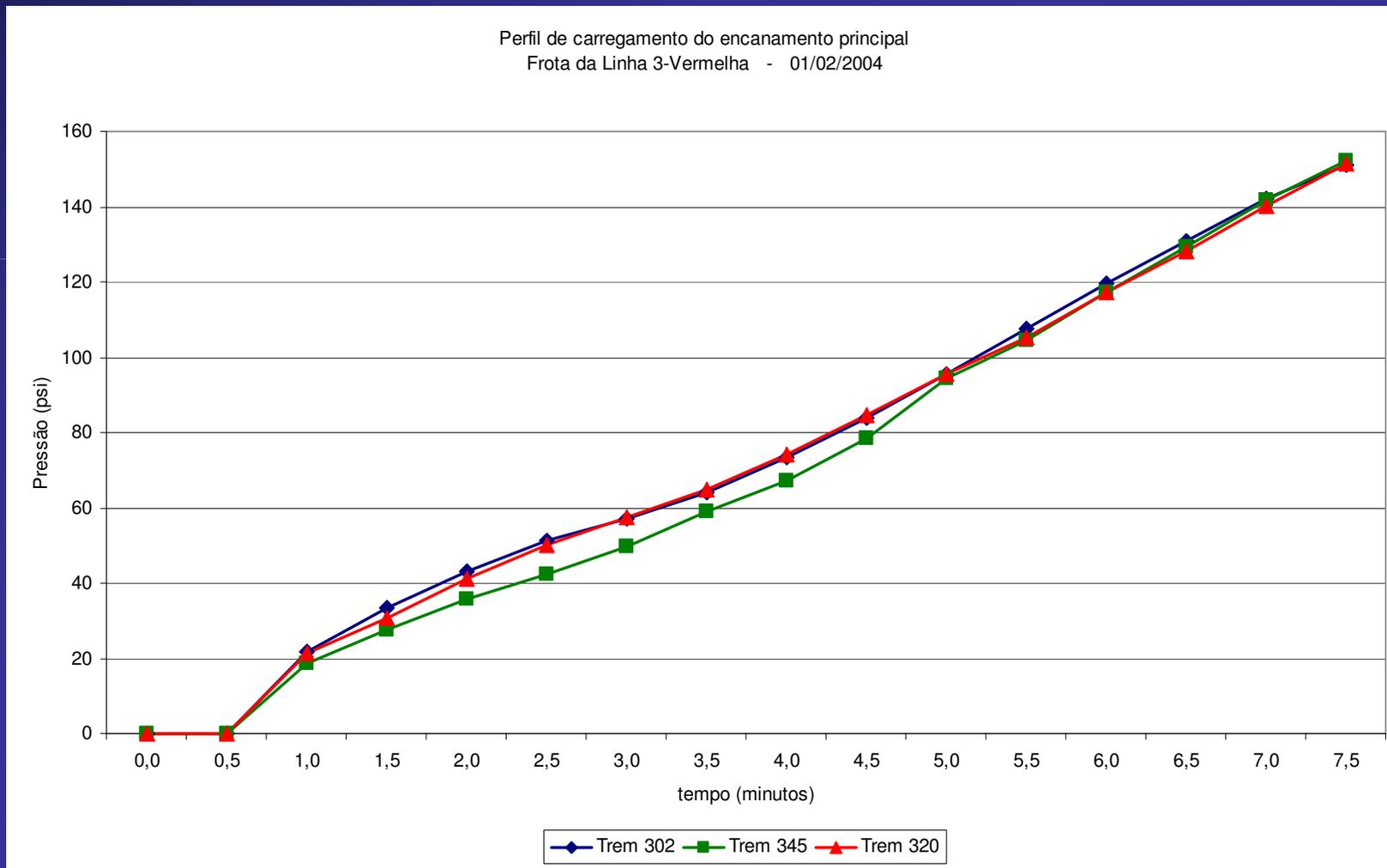
Entradas Analógicas	Entradas Digitais	Saídas Digitais	Gravação
Vel (km/h) esc= 100: 0.000	0 Trem c/ comando=1	1 TX trem vazio = 1	Diretório: c:\
Carg (V) esc= 10: 0.000	0 Carro Líder = 1	1 Habilita TX = 1	Inicia gravação Termina gravação
Vbat (V) esc= 50: 48.05	0 Botão Limpeza = 1	0 Sinaliz ab pt esq = 1	Tempo de Parada (seg): 0
V (V) esc= 10: 9.961	1 Liga o Módulo = 1	0 Sinaliz ab pt dir = 1	Tempo de Percurso (seg): 0
V (V) esc= 256: 0.000	0	1 Aciona stand-by = 1	Distância Percorrida (m): 0
V (V) esc= 254: 0.000	0	0 Falha do módulo = 1	Energia Consumida (kWh): 0
	0 Portas fechadas = 1	0	Energia Devolvida (kWh): 0
		0	Energia Total (kWh): 0

Start | Módulo de Controle d... | 8:33 AM

ESTUDO PARA A RACIONALIZAÇÃO DA ENERGIA ELÉTRICA CONSUMIDA NOS TRENS DO METRÔ DE SÃO PAULO



Tempo para carregamento do sistema de ar



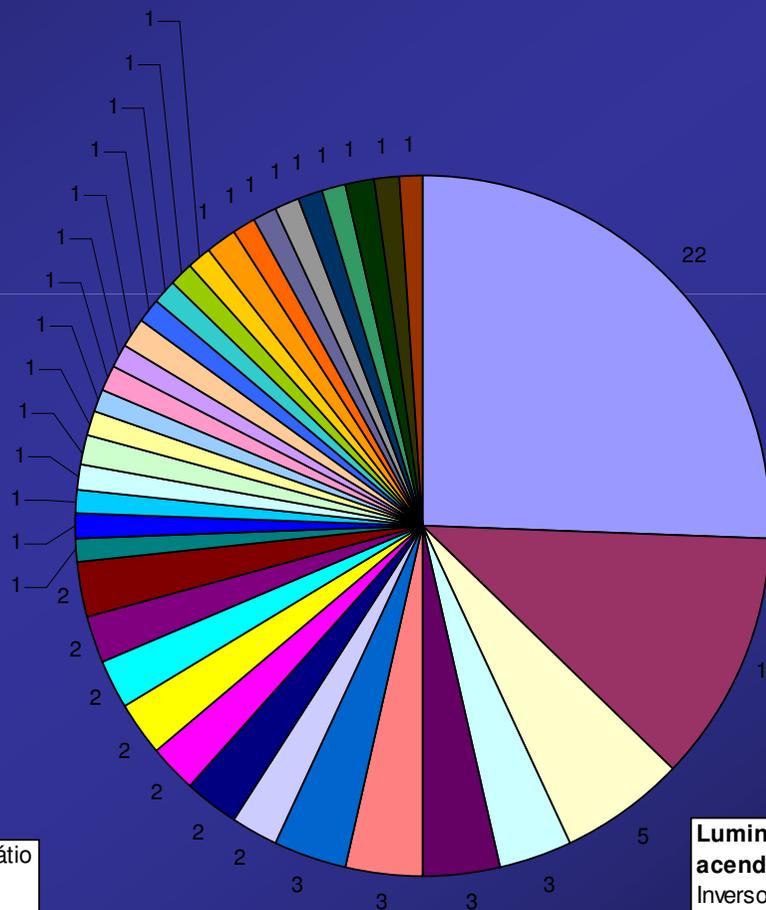
ESTUDO PARA A RACIONALIZAÇÃO DA ENERGIA ELÉTRICA CONSUMIDA NOS TRENS DO METRÔ DE SÃO PAULO



Ocorrências no Pátio após Religamento

Amostra 2001 a 2003 (753 Religamentos)

- LLLGIMG
- LPLPROP
- LILINT
- LFLESTA
- LILEXT
- LPLOUTR
- LPLPROP
- LCLREVE
- LLL
- LLL
- LLL
- LRLSINA
- LSL
- LSL
- LALOUTR
- LALTS
- LALTS
- LCLCAB
- LCLCON
- LCLREVE
- LCLSAL
- LCLSAL
- LFLALIV
- LFLALIV
- LFLALIV
- LFLALIV
- LFLOUTR
- LFLSINA
- LFLTUB
- LILCAB
- LILEXT
- LPLPROP
- LPLPROP
- LPLPROP



GMG Anormal fixo em 1 carro
 Fusível AF/CC ... 5
 NI ... 3
 Subconj. SG01 ... 3
 Outros ... 11

Propulsão Anormal fixa em acc em 1 carro
 (Cob: 8 Maf: 2)
 NI ... 3
 Outros ... 7

Luminária de Emergência não acende 1 no carro
 Inversor ... 4
 Lâmpada ... 1

Total: 86 ocorrências no Pátio entre 19hs de domingo e 6hs de Segunda Feira

ESTUDO PARA A RACIONALIZAÇÃO DA ENERGIA ELÉTRICA CONSUMIDA NOS TRENS DO METRÔ DE SÃO PAULO



RESULTADO ESPERADO

➤ **TEMPO DE APLICAÇÃO DO STAND-BY**

8.040 horas/MÊS

➤ **ECONOMIA ESTÁTICA PREVISTA**

200.000 kWh/MÊS

ESTUDO PARA A RACIONALIZAÇÃO DA ENERGIA ELÉTRICA CONSUMIDA NOS TRENS DO METRÔ DE SÃO PAULO



ECONOMIA

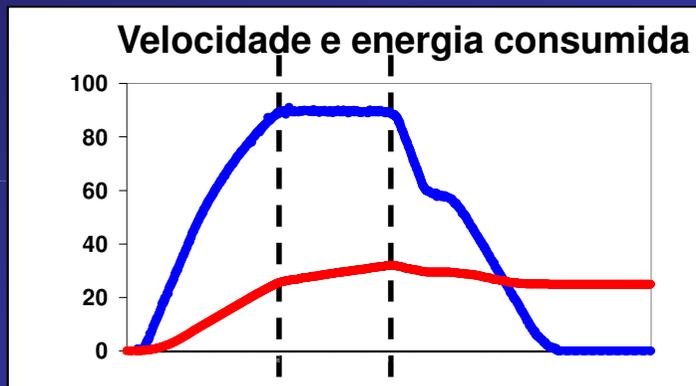
DINÂMICA

ESTUDO PARA A RACIONALIZAÇÃO DA ENERGIA ELÉTRICA CONSUMIDA NOS TRENS DO METRÔ DE SÃO PAULO

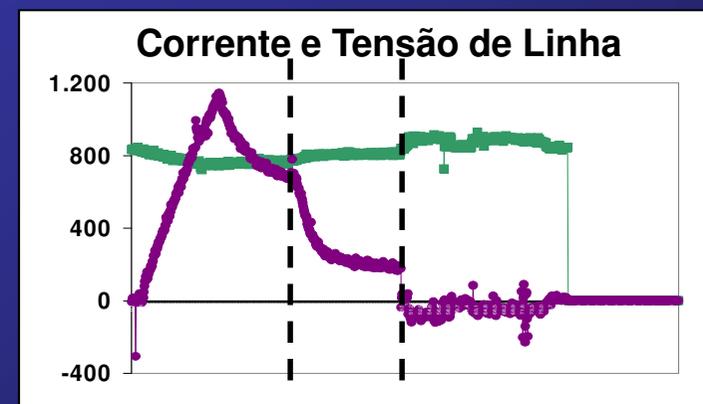
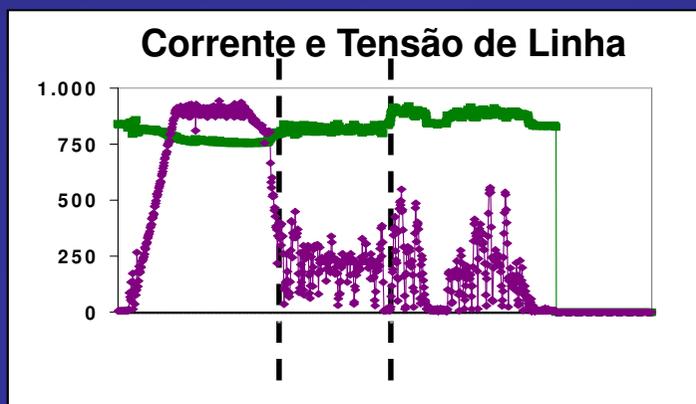
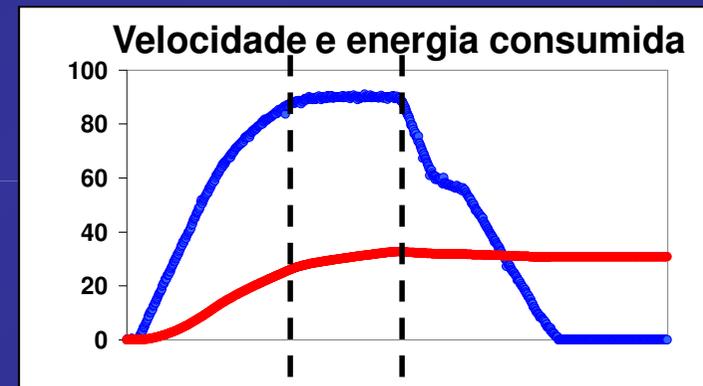


Características de consumo dos Trens

Mafersa



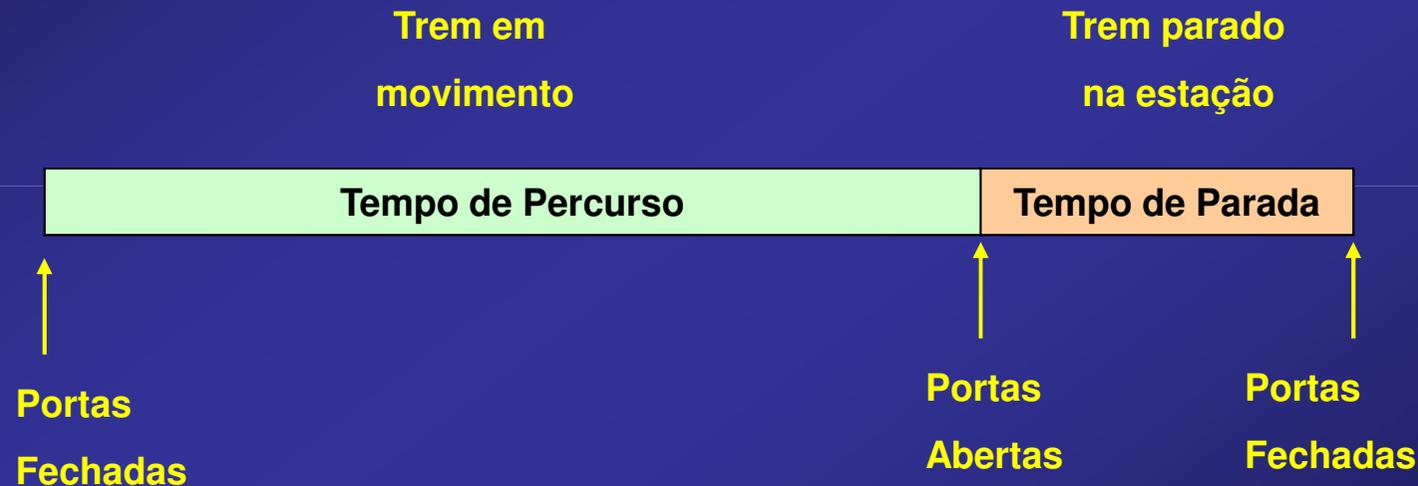
Cobrasma



ESTUDO PARA A RACIONALIZAÇÃO DA ENERGIA ELÉTRICA CONSUMIDA NOS TRENS DO METRÔ DE SÃO PAULO



Regulação dos Trens na Via



O CCO (Centro de Controle Operacional) realiza a Regulagem de Trens alterando os Tempos de Percurso e Parada.

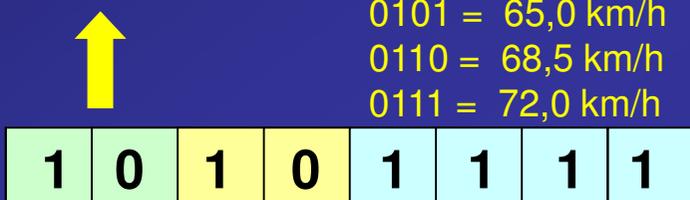
Para mudar os Tempos de Percurso, o CCO transmite aos trens os Níveis de Desempenho (ND)

ESTUDO PARA A RACIONALIZAÇÃO DA ENERGIA ELÉTRICA CONSUMIDA NOS TRENS DO METRÔ DE SÃO PAULO



Níveis de Desempenhos (ND)

Taxa de Aceleração	Velocidade Limite
00 = 0,55 m/s ²	0000 = 47,5 km/h
01 = 0,75 m/s ²	0001 = 51,0 km/h
10 = 1,11 m/s ²	0010 = 54,5 km/h
11 = Power limit	0011 = 58,0 km/h
	0100 = 61,5 km/h
	0101 = 65,0 km/h
	0110 = 68,5 km/h
	0111 = 72,0 km/h
	1000 = 75,5 km/h
	1001 = 79,0 km/h
	1010 = 82,5 km/h
	1011 = 86,0 km/h
	1100 = 89,5 km/h
	1101 = 93,0 km/h
	1110 = 96,5 km/h
	1111 = 100 km/h



ND = 0 ... Desempenho máximo (AF)

ND = 3 Atraso de 03 segundos

ND = 6 Atraso de 06 segundos

ND = 9 Atraso de 09 segundos

ND = 12 ... Atraso de 12 segundos

ND = 15 ... Atraso de 15 segundos

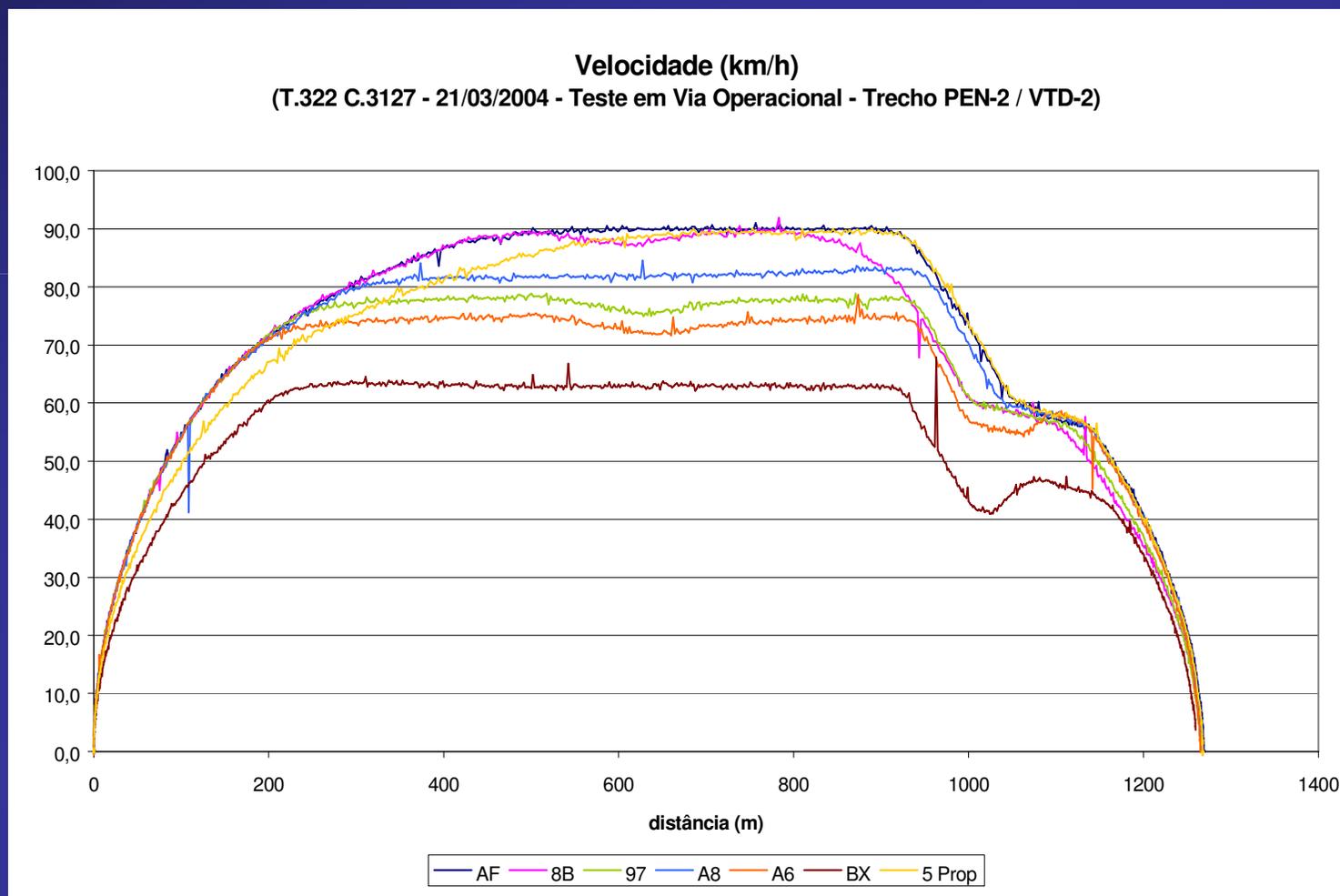
ND = 18 ... Atraso de 18 segundos

ND = 21 ... Atraso de 21 segundos

ESTUDO PARA A RACIONALIZAÇÃO DA ENERGIA ELÉTRICA CONSUMIDA NOS TRENS DO METRÔ DE SÃO PAULO



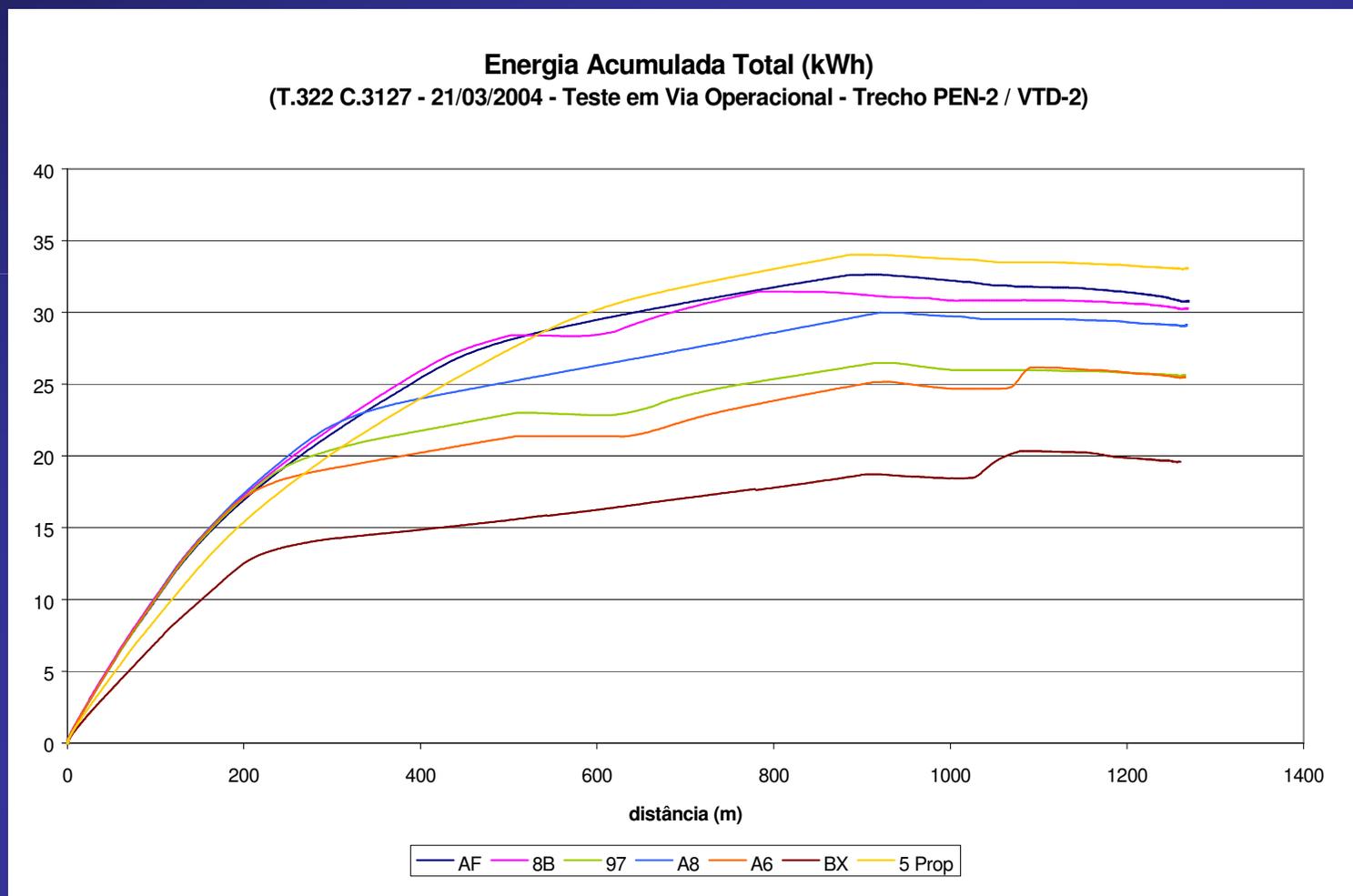
Comparação entre NDs



ESTUDO PARA A RACIONALIZAÇÃO DA ENERGIA ELÉTRICA CONSUMIDA NOS TRENS DO METRÔ DE SÃO PAULO



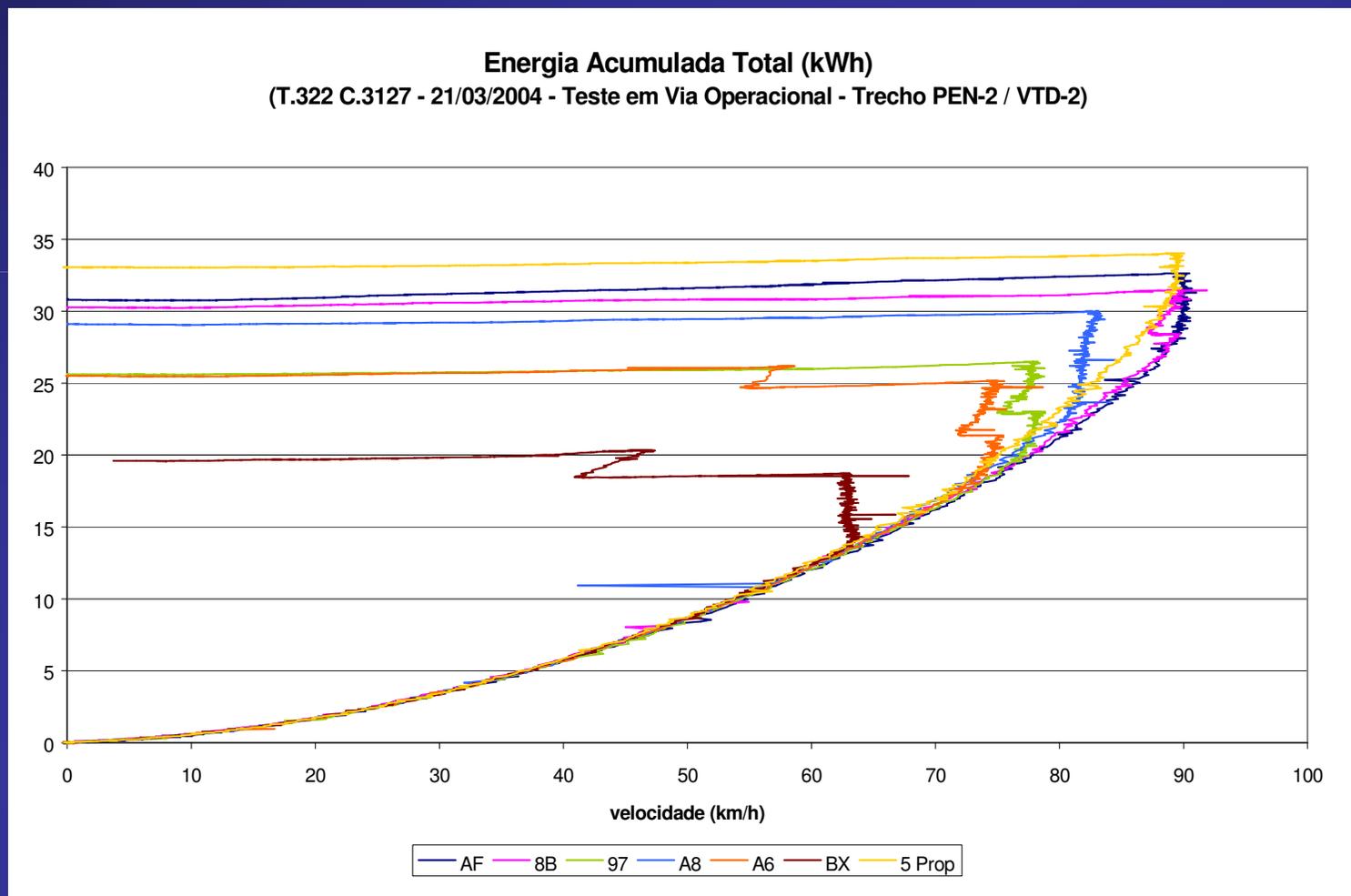
Comparação entre NDs



ESTUDO PARA A RACIONALIZAÇÃO DA ENERGIA ELÉTRICA CONSUMIDA NOS TRENS DO METRÔ DE SÃO PAULO



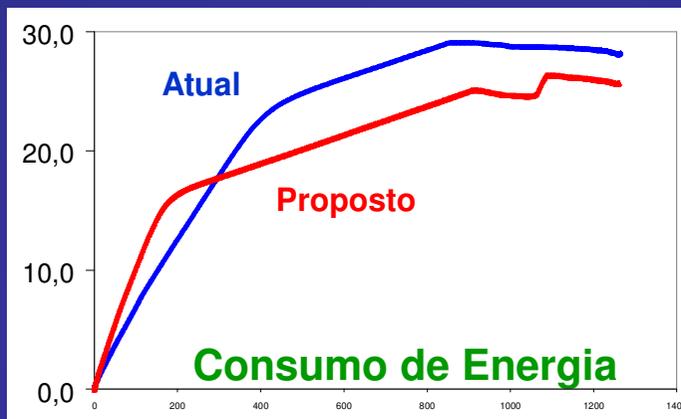
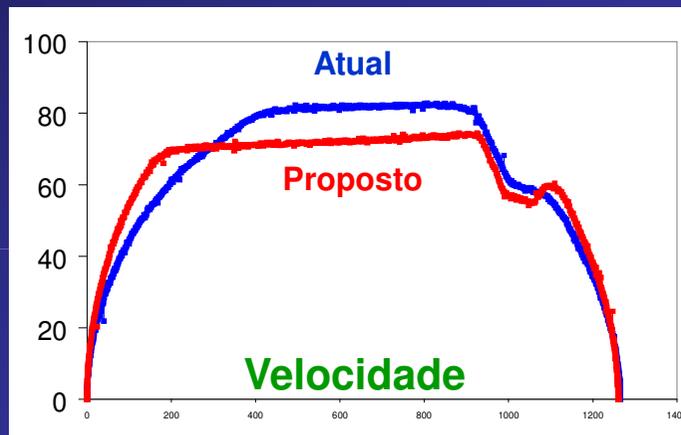
Comparação entre NDs



ESTUDO PARA A RACIONALIZAÇÃO DA ENERGIA ELÉTRICA CONSUMIDA NOS TRENS DO METRÔ DE SÃO PAULO



Proposta 1: Alteração da Tabela de NDs



Comparando os Perfis de Velocidade, constata-se que um perfil com maior aceleração, porém menor velocidade final consome menos energia elétrica que o perfil original.

Propõe-se então alterar as Tabelas de NDs atuais, segundo este modelo.

ESTUDO PARA A RACIONALIZAÇÃO DA ENERGIA ELÉTRICA CONSUMIDA NOS TRENS DO METRÔ DE SÃO PAULO



Proposta 1: Alteração da Tabela de NDs

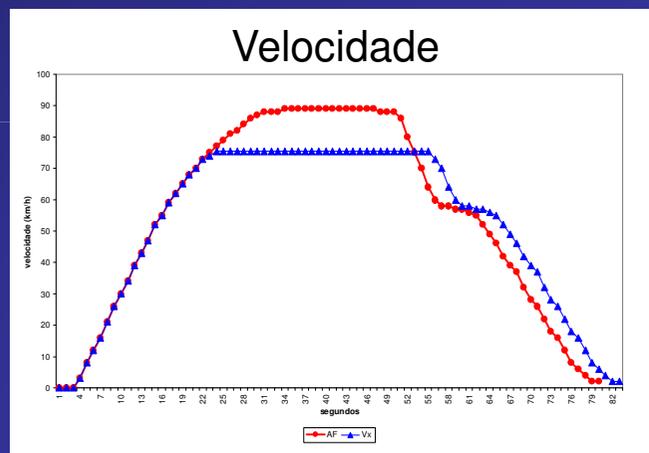
Tempos de atraso em relação ao Tempo Mínimo de Percurso (seg)				
Taxa de aceleração: 1,11 m/s ²				
Veloc ND (km/h)	Taxa PP (m/s ²)			
	0,85	0,75	0,67	
F	100,0	0,0	1,6	3,4
E	96,5	0,0	1,6	3,4
D	93,0	0,0	1,6	3,4
C	89,5	0,0	1,6	3,4
B	86,0	0,1	1,7	3,5
A	82,5	0,7	2,2	4,0
9	79,0	1,9	3,2	4,8
8	75,5	3,2	4,4	6,0
7	72,0	4,8	6,0	7,5
6	68,5	6,7	8,1	9,4
5	65,0	9,0	10,3	11,7
4	61,5	11,7	13,1	14,4
3	58,0	15,2	---	17,7
2	54,5	---	---	21,7
1	51,0	---	---	---
0	47,5	---	---	---
	A	9	8	

Tempos de atraso em relação ao Tempo Mínimo de Percurso (seg)				
Taxa de aceleração: 0,75 m/s ²				
Veloc ND (km/h)	Taxa PP (m/s ²)			
	0,85	0,75	0,67	
	100,0	3,4	5,0	6,9
	96,5	3,4	5,0	6,9
	93,0	3,4	5,0	6,9
	89,5	3,4	5,0	6,9
	86,0	3,5	5,1	6,9
	82,5	4,1	5,6	7,4
	79,0	5,2	6,5	8,1
	75,5	6,4	7,7	9,2
	72,0	8,0	9,2	10,7
	68,5	9,8	11,2	12,5
	65,0	12,0	13,4	14,7
	61,5	14,7	---	17,4
	58,0	---	---	20,6
	54,5	---	---	24,5
	51,0	---	---	---
	47,5	---	---	---
	6	5	4	

ESTUDO PARA A RACIONALIZAÇÃO DA ENERGIA ELÉTRICA CONSUMIDA NOS TRENS DO METRÔ DE SÃO PAULO



Proposta 2: Tempos de Parada e Percurso para Trens Vazios



Nos trens vazios, propõe-se também diminuir a velocidade máxima do trem.

O atraso provocado deve ser compensado através da diminuição do tempo de parada na estação.

Tempo de percurso

Tempo de parada

Perfil original

Tempo de percurso

Tempo de parada

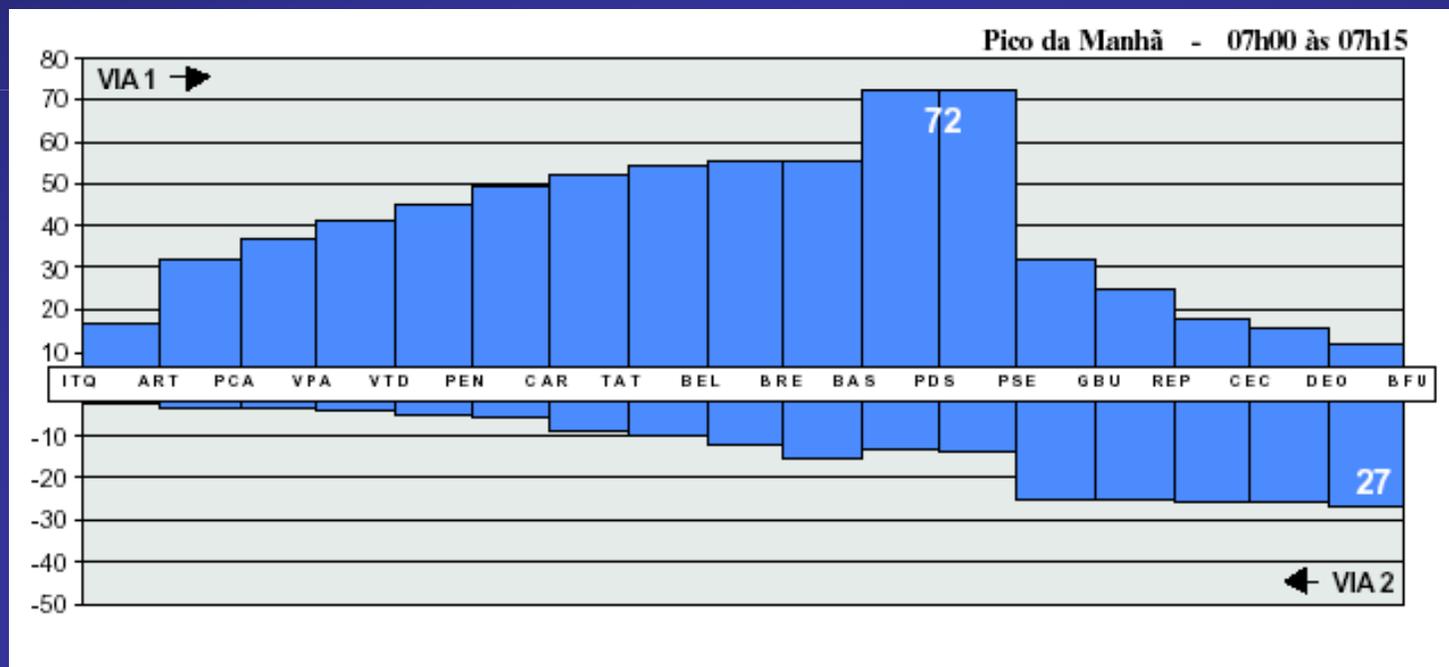
Perfil proposto

ESTUDO PARA A RACIONALIZAÇÃO DA ENERGIA ELÉTRICA CONSUMIDA NOS TRENS DO METRÔ DE SÃO PAULO



Proposta 2: Tempos de Parada e Percurso para Trens Vazios

Efeito Pendular



ESTUDO PARA A RACIONALIZAÇÃO DA ENERGIA ELÉTRICA CONSUMIDA NOS TRENS DO METRÔ DE SÃO PAULO



Resultados obtidos (Cobrasma)

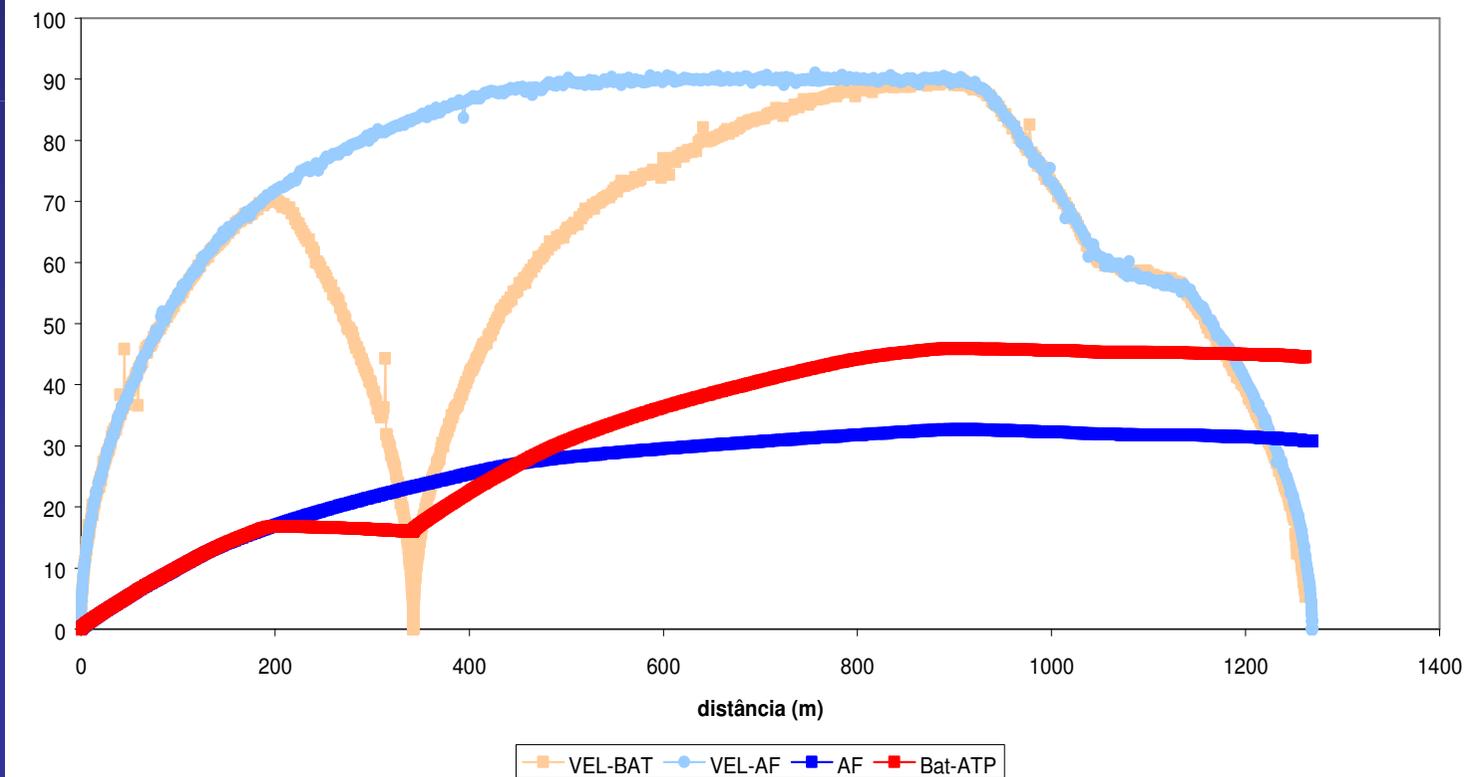
Nível de Desempenho			Aceleração (m/s ²)	Veloc. Máxima (km/h)	Taxa de PP (m/s ²)	Tempo de Percuso Previsto (s)	Tempo de Percuso Realizado (s)	Energia Consumida na Propulsão (kWh)	Economia de Energia (%)	
0	máximo	AF	max	100	max	79,8	79,8	32,8	-	
8,23 %										
3	atual	8B	max	86	0,67	82,8	83,2	31,7	5,02	
	proposto	A8	max	75,5	max		82,1	30,1		
10,9 %										
6	atual	97	max	72	0,75	85,8	85,3	26,8	-0,18	
	proposto	A6	max	68,5	max		86,2	26,8		
-0,37 %										
9	atual	48	0,75	75,5	0,67	88,8	89,9	29,2	7,90	
	proposto	A5	max	65	max		87,1	26,9		
4,82 %										
12	atual	46	0,75	68,5	0,67	91,8	92,2	25,5	-0,68	
	proposto	A4	max	61,5	max		88,9	25,6		
8,59 %										
15	atual	07	0,55	72	0,67	94,8	94,6	27,2	14,05	
	proposto	A3	max	58	max		90,6	23,4		
Baixa Aderência						-	101,3	20,8	36,5	-
1 Carro sem Propulsão						-	82,8	34,1	-3,98	-
"Batida de ATP"						-	102	46,8	-42,6	-

ESTUDO PARA A RACIONALIZAÇÃO DA ENERGIA ELÉTRICA CONSUMIDA NOS TRENS DO METRÔ DE SÃO PAULO



Consumo nas BATIDAS de ATP

Velocidade(km/h) e Energia Acumulada Total (kWh)
Comparação entre Desempenho Máximo e Batida de ATP
(T.322 C.3127 - 21/03/2004 - Teste em Via Operacional - Trecho PEN-2 / VTD-2)



ESTUDO PARA A RACIONALIZAÇÃO DA ENERGIA ELÉTRICA CONSUMIDA NOS TRENS DO METRÔ DE SÃO PAULO



Módulo de Economia de Energia



Mínima interferência nos trens, baixo custo, utiliza o mesmo canal de comunicação entre trem e CCO, não requer alteração no software do ATC de Bordo, informa antecipadamente ao usuário o lado de abertura de portas na próxima estação.

ESTUDO PARA A RACIONALIZAÇÃO DA ENERGIA ELÉTRICA CONSUMIDA NOS TRENS DO METRÔ DE SÃO PAULO



Módulo de Economia de Energia

Módulo de Controle de Energia - Protótipo

04-May-04 8:45:49 AM

Trem/Carro: 322 3127

Estação: DEO-2

ND: AF

Carga: 5.234

Trem Cheio

Estação atual: DEO-2

Lado da próxima abertura de portas: Direito

Entradas Analógicas	Entradas Digitais	Saídas Digitais	Gravação
Vel (km/h) esc= 100: 83.20	1 Trem c/ comando=1	0 TX trem vazio = 1	Diretório: c:\
Carg (V) esc= 10: 5.234	1 Carro Líder = 1	0 Habilita TX = 1	Inicia gravação Termina gravação
Vbat (V) esc= 50: 48.05	0 Botão Limpeza = 1	0 Sinaliz ab pt esq = 1	Tempo de Parada (seg): 0
V (V) esc= 10: 9.961	1 Liga o Módulo = 1	0 Sinaliz ab pt dir = 1	Tempo de Percurso (seg): 0
V (V) esc= 256: 4.063	0	0 Aciona stand-by = 1	Distância Percorrida (m): 0
V (V) esc= 254: 32.74	0	0 Falha do módulo = 1	Energia Consumida (kWh): 0
	0	0	Energia Devolvida (kWh): 0
	1 Portas fechadas = 1	0	Energia Total (kWh): 0

Start | Módulo de Controle d... | 8:45 AM

ESTUDO PARA A RACIONALIZAÇÃO DA ENERGIA ELÉTRICA CONSUMIDA NOS TRENS DO METRÔ DE SÃO PAULO



Conclusões – Economia Dinâmica

**Custo de Implantação:
cerca de US\$ 20.000,00**

**Tempo de amortização:
menos de 2 meses**

**Economia de Energia prevista:
cerca de 200.000 kWh/mês**

ESTUDO PARA A RACIONALIZAÇÃO DA ENERGIA ELÉTRICA CONSUMIDA NOS TRENS DO METRÔ DE SÃO PAULO



CONSIDERAÇÕES

FINAIS

ESTUDO PARA A RACIONALIZAÇÃO DA ENERGIA ELÉTRICA CONSUMIDA NOS TRENS DO METRÔ DE SÃO PAULO



ECONOMIA TOTAL

- Considerando os 2 modos de economia, temos a redução anual de 4.800.000 kWh na Linha 3-Vermelha, que representa 3% do consumo.
- Equivale ao consumo de 2.000 residências de médio padrão, ou ao dobro do consumo dos prédios administrativos do Metrô-SP.
- US\$ 150.000,00 por ano

ESTUDO PARA A RACIONALIZAÇÃO DA ENERGIA ELÉTRICA CONSUMIDA NOS TRENS DO METRÔ DE SÃO PAULO



VALE RESSALTAR

- Escopo do trabalho = Linha 3-Vermelha.
- Pode ser estendida para demais linhas do Metrô-SP.
- Estimativas de economia são conservadoras.
- Quebra de paradigma.
- Trabalho conjunto entre GMT, GOP e GEP.

ESTUDO PARA A RACIONALIZAÇÃO DA ENERGIA ELÉTRICA CONSUMIDA NOS TRENS DO METRÔ DE SÃO PAULO



FIM