

CATEGORIA 3

**CURVAS ÓTIMAS DE VELOCIDADE PARA A LINHA 2 DO METRÔ DO RIO DE
JANEIRO**

INTRODUÇÃO

A operação de um sistema metroviário somente pode ser considerada quando o tripé composto pelo material rodante, via permanente e energia necessária para a movimentação das composições estiver disponível e confiável. A energia, antes proveniente de máquinas a vapor, perdeu espaço para a eletricidade a partir da segunda metade do século XIX, já que a segunda fonte apresenta maior eficiência e, portanto, menor custo, além de assegurar maior confiabilidade e automação na operação de sistemas metroferroviários.

Devido à alta inércia dos trens, é necessário um volume expressivo de energia para sua movimentação. Além disso, as estações precisam de iluminação e ventilação, para garantir o conforto dos clientes e condições mínimas para operação. Assim sendo, os gastos com energia elétrica são bastante representativos dentro do balanço financeiro das operadoras metroferroviárias. Um exemplo deste montante é o consumo anual do MetrôRio, equivalente ao de uma cidade de cento e treze mil habitantes.

Para se ajustar à acentuada crise econômica que incidiu sobre o Brasil após os Jogos Olímpicos de 2016, as companhias buscaram com mais afinco iniciativas de produtividade e, nesse contexto, projetos ou ações de eficiência energética receberam mais destaque. Outro fator motivador para o crescimento de iniciativas de eficiência energética foi a ocorrência de consecutivos reajustes positivos nas tarifas de energia a partir de 2014, justificados pela necessidade de reequilíbrio de um setor elétrico nacional resultante de cenários hidrológicos desfavoráveis e consumo desenfreado de energia.

O gasto com energia elétrica, antes já representativo, se tornava ainda mais crítico para a saúde financeira das operadoras metroferroviárias, pois as tarifas permaneciam em rampas ascendentes, mesmo em cenário de crise econômica e consequente redução de demanda de energia. Assim, cada vez mais o tema da eficiência energética passou a ganhar espaço e importância.

No que tange aos sistemas sobre trilhos, as medidas de eficiência energética voltadas para as cargas auxiliares (iluminação, aparelhos de transporte, sistemas de refrigeração, ventilação primária nos túneis) usualmente envolvem a substituição de um equipamento por outro mais eficiente, diferindo pouco de um processo conduzido em instalações comerciais ou industriais. Em contrapartida, quando tais medidas são destinadas às cargas de tração, os estudos demandam um desenvolvimento mais complexo e específico, já que reduzir o consumo associado à movimentação dos trens garantindo a manutenção da oferta exige ideias inovadoras e completamente dependentes das características do sistema e da teoria do movimento acelerado.

Na procura por uma solução de eficiência energética criativa, que trouxesse economia relevante para empresa, mas que simultaneamente exigisse nenhum ou baixo investimento face à escassez de recursos intensificada pelo cenário de crise econômica, a ideia desenvolvida neste trabalho foi concebida combinando conhecimentos de gestão de energia e planejamento operacional.

O estudo realizado no MetrôRio visou possibilitar a redução do consumo de tração na Linha 2, a partir da análise de diferentes cenários de velocidade e aceleração aplicáveis a esse percurso, sem que fossem ultrapassados os limites de segurança

impostos pela via e pelo sistema de proteção automática - ATP (*Automatic Train Protection*), e sem que fossem alterados os intervalos entre trens na plataforma praticados atualmente.

Para o desenvolvimento deste trabalho foram utilizados os softwares *Open Track* e *OpenPowerNet* (programas de simulação de operação e energia, respectivamente, adquiridos e em utilização pelo MetrôRio). Enquanto o primeiro programa simula a operação do sistema e fornece como resultado a performance dos trens no que tange à aderência à grade horária, a segunda ferramenta funciona como um submódulo que permite a análise do consumo de energia resultante em cada subestação alimentadora do sistema de tração dos trens, dentre outras grandezas elétricas, sob determinadas condições operativas.

Para modelagem do sistema operacional no *Open Track* é necessária a disponibilização de dados de geometria da via (inclinações, distâncias e desvios), da curva de esforço trator dos trens, do carregamento dos trens, da grade praticada, da aceleração máxima, dos sinais e suas funções, e da velocidade máxima atingível em cada trecho.

Em relação à modelagem do sistema de alimentação de energia elétrica no *OpenPowerNet*, foram inseridos dados de potência nominal e topologia das subestações, quantidade de cabos (circuito positivo e negativo), coeficiente de temperatura dos cabos, temperatura média, resistividade, tamanho dos cabos, chaves e disjuntores, incluindo os respectivos estados, pontos de alimentação (positiva e

negativa) na via, regeneração dos trens, cabines de paralelismo e seccionadoras de intertravamento telecomandada dispostas pelo sistema.

A metodologia desenvolvida poderá ser aplicada para outros sistemas de trem e metrô, sendo necessária apenas a adequação da modelagem às novas características de via, sistema de alimentação de energia elétrica e material rodante.

DIAGNÓSTICO

1. CONSUMO DE ENERGIA: TRAÇÃO X AUXILIAR

A energia exigida para a movimentação dos trens, chamada de energia de tração, equivale a 72% do consumo total do MetrôRio. Analisando sob o aspecto da máxima potência instantânea necessária para operação do sistema, a alimentação da via para deslocamento das composições é responsável por 89% do valor. Tal representatividade no consumo e máxima potência, ambos itens geradores de cobrança nas faturas de energia elétrica, se traduz no comprometimento de 79% do orçamento de energia da companhia, considerando as tarifas praticadas atualmente e as projetadas até 2021.

Levando em conta o caráter majoritário da energia de tração na composição dos gastos com energia do MetrôRio, este trabalho focou no desenvolvimento de uma ação voltada para a redução desse tipo de energia, visando o menor impacto possível na operação.

Além de não diminuir a oferta, outro requisito a ser atendido pela solução a ser proposta era de que fosse mínima, ou inexistente, a necessidade de investimentos em

ativos, dada a crise econômica acentuada no Estado do Rio de Janeiro. Somado a esse panorama, tem-se o fato de o MetrôRio ser consumidor livre e, portanto, gozar da prerrogativa de poder escolher o seu fornecedor de energia com base em processo de cotação. Dessa forma, a tarifa de energia, por ser negociável, é menor do que a válida para os demais consumidores.

Essa tarifa mais baixa, ao mesmo tempo que reduz os gastos com energia da companhia, dificulta a viabilidade financeira de projetos de eficiência energética que requerem investimentos, reforçando assim a ideia de desenvolvimento de uma solução livre de aplicação de altos recursos monetários.

2. DESENVOLVIMENTO DA IDEIA

O consumo de energia de tração de sistemas metroferroviários basicamente depende dos seguintes fatores:

- Tipo de frota utilizada, já que os trens mais novos, com sistemas de propulsão constituídos de motores de corrente alternada e componentes IGBT (*Insulated Gate Bipolar Transistor*), são mais eficientes;
- Grade praticada, incluindo a quantidade de trens e os intervalos praticados entre trens na plataforma;
- Geometria da via permanente, pois quanto maior o número de inclinações, maior será o consumo de energia;
- Velocidades e acelerações aplicadas em cada trecho de interestação;

- Modo de condução, o qual pode ser manual livre, manual controlado (conta com sistema de proteção automático – *ATP Automatic Train Protection* – que limita a velocidade máxima do trem, porém deixa a tração e a frenagem à ação do condutor) ou piloto automático (modo no qual toda a movimentação do trem é automática, excetuando-se a abertura e fechamento das portas). Os modos de condução manuais podem consumir até 18% (dezoito por cento) mais energia que o piloto automático, segundo estudo realizado em agosto de 2015 pelo MetrôRio (1);
- Relação entre a temperatura ambiente e a configuração de temperatura interna da composição, a qual determina o consumo da carga de refrigeração do trem;
- Carregamento do trem, pois quanto mais pesado o trem, mais energia é necessária para movimentá-lo.

Tendo em vista que:

- (i) A iniciativa buscava reduzir o consumo de energia associado à tração;
- (ii) Qualquer alteração no tipo de frota, ou instalação de piloto automático nos trechos que ainda não contam com tal tecnologia, exigiria uma grande disponibilização de recursos;
- (iii) Modificar a grade para diminuir a oferta, mudar a geometria da via ou reduzir o carregamento dos trens não eram alternativas viáveis;
- (iv) O sistema de refrigeração do trem já havia sido configurado para executar a mínima temperatura no verão e a máxima no inverno, de forma a priorizar o conforto dos passageiros.

Este trabalho vislumbrou a oportunidade de redução no consumo de tração da Linha 2, a partir da aplicação de novas curvas de velocidade nos trechos entre Pavuna (terminal da Linha 2) e Cidade Nova (estação imediatamente anterior ao início do trecho compartilhado entre as Linhas 1 e 2 nos dias úteis) e entre Pavuna e Estácio (estação terminal da Linha 2 nos finais de semana e feriados), onde a condução dos trens é realizada no modo manual livre ou manual controlado, sem que fossem ultrapassados os limites de segurança da via e do sistema ATP (*Automatic Train Protection*). Dessa forma, não seria necessária a mobilização de grandes recursos financeiros, já que a ideia consistia em definir diferentes cenários de velocidade e aceleração para os trechos Pavuna – Cidade Nova e Pavuna – Estácio, com base na geometria da via e nos fundamentos da física básica do movimento uniformemente acelerado.

As análises dos resultados de impacto na operação e consumo de energia associados a cada cenário se dariam a partir da realização de simulações em softwares adquiridos e em utilização pelo MetrôRio desde 2015.

3. SOFTWARES DE SIMULAÇÃO DE OPERAÇÃO E ENERGIA NO METRÔRIO

Para o desenvolvimento deste trabalho foram utilizados os softwares *Open Track* e *OpenPowerNet*. Enquanto o primeiro programa simula a operação do sistema e fornece como resultado o desempenho no que tange à aderência à grade (intervalos praticados entre trens na plataforma e quantidade de trens no carrossel), a segunda ferramenta funciona como um submódulo que permite a análise do consumo de energia

resultante em cada subestação alimentadora do sistema de tração dos trens, dentre outras grandezas elétricas, sob determinadas condições operativas.

Para o mapeamento do sistema MetrôRio nos softwares de simulação utilizados, foram inseridas as inclinações e curvaturas na via permanente, bem como o posicionamento e a funcionalidade de cada sinalização e os limites de velocidade por trecho. Em relação ao material rodante, foram exigidos dados para a modelagem da curva de esforço trator dos trens de cada tipo de frota, a quantidade e o tipo de cada carro das composições e o nível de carregamento dos trens.

Quanto ao sistema de energia, as simulações abrangeram o nível de corrente contínua, a partir da modelagem das subestações retificadoras que alimentam a via permanente em 750 Vcc (setecentos e cinquenta volts de corrente contínua). Para tanto foram inseridos dados de potência nominal dos retificadores, quantidade de cabos (circuitos positivo e negativo), coeficiente de temperatura dos cabos, temperatura média, resistividade, tamanho dos cabos, chaves e disjuntores, incluindo os respectivos estados (aberto ou fechado), posicionamento de alimentação (positiva e negativa) na via, condições para a regeneração dos trens, posicionamento e características dos cabos das cabines de paralelismo e seccionadoras de intertravamento telecomandadas dispostas pelo sistema.

O trabalho de modelagem das Linhas 1, 2 e 4 do MetrôRio em ambos os softwares foi iniciado em maio de 2015 e finalizado em outubro de 2017. O maior desafio durante esse período foi o levantamento de dados fidedignos ao campo para que fosse garantida a assertividade dos softwares. A execução e a validação da

modelagem foram realizadas pelas áreas de Planejamento da Operação, Gestão de Energia e Engenharia de Projetos do MetrôRio. Desde que a modelagem foi validada até a data de elaboração deste documento, o MetrôRio realizou 16 (dezesseis) estudos de impacto na operação e/ou no consumo de energia elétrica da companhia, decorrentes de medidas de alteração na grade, de novos procedimentos de manutenção, de novas filosofias de injeção de trens e de indisponibilidade de fontes de alimentação do sistema.

4. PREMISSAS UTILIZADAS NAS SIMULAÇÕES

A fim de possibilitar as análises de economia, para cada grade horária atualmente executada nos dias úteis, nos sábados e nos domingos ou feriados, foram realizadas simulações considerando o cenário base e, posteriormente, os cenários que foram construídos visando a redução de consumo de energia nos trechos em estudo.

Dias úteis:

- Trens com carregamento de horário de pico;
- 98% (noventa e oito por cento) da frota composta por trens CRC no trecho Pavuna - Cidade Nova (trecho não compartilhado da Linha 2);
- Horário de pico: Intervalo de 4 (quatro) minutos e 30 (trinta) segundos;
- Horário de vale: Intervalo de 7 (sete) minutos;
- Sistema de distribuição de energia íntegro, sem degradação;
- Operação:

- Linha 1: Uruguai – Jardim Oceânico (20 estações);
- Linha 2: Pavuna – General Osório I (30 estações, sendo 14 compartilhadas com a Linha 1);
- Duração da simulação: 1 hora.

Sábados:

- Trens com carregamento de horário de pico – dia útil;
- 100% (cem por cento) da frota composta por trens CRC no trecho Pavuna – Estácio (Linha 2);
- Horário: Intervalo de 7 (sete) minutos e 30 (trinta) segundos;
- Sistema de distribuição de energia íntegro, sem degradação;
- Operação:
 - Linha 1: Uruguai – Jardim Oceânico;
 - Linha 2: Pavuna – Estácio (16 estações);
- Duração da simulação: 1 hora.

Domingos e feriados:

- Trens com carregamento de horário de pico – dia útil;
- 100% (cem por cento) da frota composta por trens CRC no trecho Pavuna - Estácio;
- Horário: Intervalo de 9 (nove) minutos;

- Sistema de distribuição de energia íntegro, sem degradação;
- Operação:
 - Linha 1: Uruguai – Jardim Oceânico;
 - Linha 2: Pavuna – Estácio;
- Duração da simulação: 1 hora.

5. DEFINIÇÃO DE CENÁRIOS

Para elucidar a linha de raciocínio aplicada no desenvolvimento dos cenários construídos, é necessário destacar alguns fundamentos da física básica do movimento (2).

Adaptando o princípio fundamental da dinâmica¹ para a situação do movimento de um trem, tem-se que o esforço trator desse trem será sempre proporcional à sua massa e à sua aceleração, conforme explicitado na Equação 1:

Equação 1

$$F_T = m a$$

Em que:

F_T equivale ao esforço trator do trem;

m é a massa do trem;

a é a aceleração imposta ao trem pelo condutor:

Lembrando que pela a teoria do movimento uniformemente variado (aceleração constante) (2), é válida a relação disposta na Equação 2:

Equação 2

$$V = V_0 + (a t)$$

Em que:

- V = velocidade final;
- V_0 = velocidade inicial
- a = aceleração constante;
- t = tempo de duração da aceleração.

E que a energia potencial do trem será definida pela sua massa e pela altura em que ele se encontra do solo, conforme indica a Equação 3:

Equação 3

$$E_p = mgh$$

Em que:

- E_p é a energia potencial do trem de massa m , que, pelo princípio da conservação da energia (2), é basicamente transformada em energia cinética, salvo as perdas por atrito, assim que o corpo é deslocado da altura h para o solo;
- g é a aceleração da gravidade.

E que por fim, de acordo com a primeira Lei de Newton (2), o trem permanece em repouso ou em movimento retilíneo uniforme (velocidade constante), a menos que uma força aja sobre ele, e que quanto maior a massa do trem e velocidade desse

movimento, maior será a sua capacidade de permanecer no seu estado inicial de repouso ou de movimento, conclui-se que:

(i) Quanto maior a aceleração aplicada, maior será o esforço trator do trem e, portanto, maior será a quantidade de energia exigida para a imposição do movimento;

(ii) Para um mesmo valor constante de aceleração, quanto maior a velocidade a ser atingida, mais tempo esse corpo passará acelerando e maior será o seu consumo de energia;

(iii) Em um movimento de descida, é possível aproveitar tanto a energia potencial quanto a inércia do trem, que se traduz em uma menor exigência de energia elétrica para manter o trem em movimento, gerando assim um menor consumo de energia.

Com base nas conclusões acima e no perfil de via da Linha 2, observado na Planta do Sinóptico de Via PVN - CLG, para os trechos entre Pavuna e Cidade Nova e entre Pavuna e Estácio, em que somente são aplicados os modos de condução manual livre ou controlada, foram construídas as curvas de velocidade do Anexo II, as quais se fundamentaram em:

(i) Aumentar as velocidades de cruzeiro de 70 km/h (setenta quilômetros por hora) para 80 km/h (oitenta quilômetros por hora), valor equivalente ao limite superior de segurança, nas inclinações negativas de forma a permitir um maior aproveitamento da energia potencial e da inércia dos trens favoráveis ao movimento de descida;

(ii) Diminuir as velocidades de cruzeiro de 70 km/h (setenta quilômetros por hora) para 50 km/h (cinquenta quilômetros por hora) nas rampas, para reduzir o tempo em aceleração nas subidas e, conseqüentemente, a exigência máxima de corrente, que gera maiores consumos de energia. Ressalta-se que valores de velocidade inferiores a este exigiriam velocidades superiores ao limite máximo em outros trechos para que o máximo impacto no tempo de percurso fosse inferior a 90 (noventa) segundos.

A título de ilustração da linha de raciocínio seguida, as **Erro! Fonte de referência não encontrada.** e 2 apresentam a comparação entre a velocidade base e as velocidades construídas 6 e 10, nos trechos de inclinação dos percursos Pavuna – Estácio e Estácio – Pavuna, respectivamente.

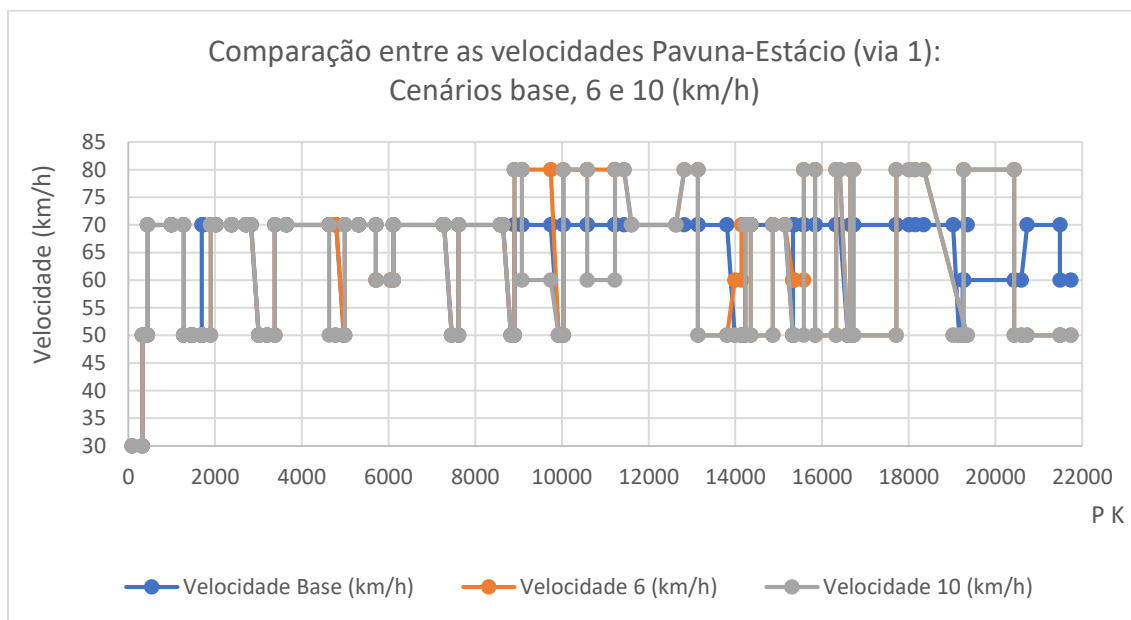


Figura 1 - Comparação da velocidade base com as velocidades construídas 6 e 10 – via 1.

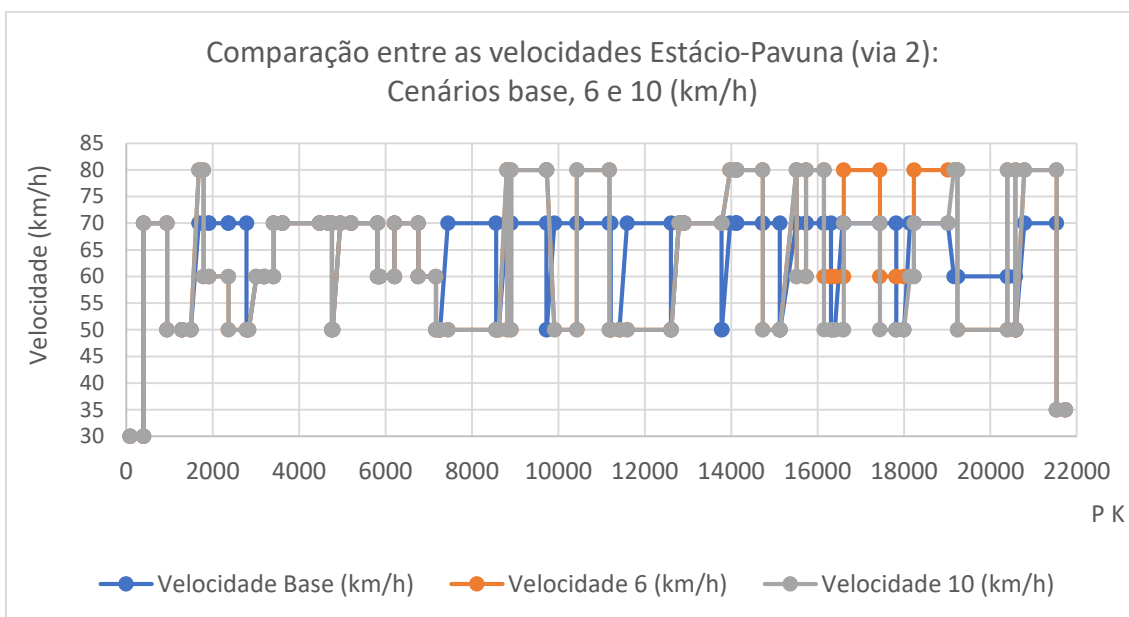


Figura 2 - Comparação da velocidade base com as velocidades construídas 6 e 10 – via 2.

Ressalta-se que as alterações nas velocidades de cada trecho de interestação ocorreram de forma a alcançar a maior economia no consumo de energia e causar o menor impacto possível nos intervalos e no tempo de percurso praticados. Para tanto, foram realizadas o total de 29 (vinte e nove) simulações.

5.1. CENÁRIO BASE

Para todas as grades simuladas (dias úteis - horário de pico, dias úteis - horário de vale, sábados e domingos/feriados) considerou-se o cenário base de acelerações e velocidades conforme abaixo:

- Aceleração:
 - Frota CRC = 1,12 m/s²;

- Frota Alstom & Mafersa = 1,12 m/s².
- Velocidade máxima em cada interestação conforme Anexo I.

5.2. CENÁRIOS CONSTRUÍDOS

Os diferentes cenários simulados para cada grade horária foram construídos a partir da combinação das curvas de velocidade do Anexo II com dois valores de aceleração, conforme informado nos itens de 6.1.2.1 a 6.1.2.4. Não foram elaboradas mais condições de aceleração devido à inflexibilidade da manopla dos trens.

5.2.1. Dias Úteis – Horário de pico (intervalo de 4 minutos e 30 segundos)

Para a grade praticada no horário de pico dos dias úteis, foram construídos e simulados os 10 (dez) cenários da Tabela 1 - Cenários para dias úteis, no horário de pico. Tabela 1:

Tabela 1 - Cenários para dias úteis, no horário de pico.

Cenário	Curva de Velocidade	Aceleração aplicada (m/s ²)
HP 1	Vbase	1,06
HP 2	V9	1,12
HP 3	V1	1,12
HP 4	V2	1,12
HP 5	V3	1,12
HP 6	V4	1,12
HP 7	V5	1,12
HP 8	V5	1,06
HP 9	V6	1,12
HP 10	V6	1,06

5.2.2. Dias Úteis – Horário de vale (intervalo de 7 minutos)

Depois da observância dos resultados obtidos para o horário de pico, foram simulados 8 (oito) diferentes cenários para a grade praticada no horário de vale dos dias úteis, conforme indicado na Tabela 2.

Tabela 2 - Cenários para dias úteis, no horário de vale.

Cenário	Curva de Velocidade	Aceleração aplicada (m/s ²)
HV 1	V2	1,12
HV 2	V3	1,12
HV 3	V4	1,12
HV 4	V5	1,12
HV 5	V5	1,06
HV 6	V6	1,12
HV 7	V6	1,06
HV 8	V10	1,12

5.2.3. Sábados (intervalo de 7 minutos e 30 segundos)

Devido à proximidade dos intervalos praticados na grade de dias úteis – horário de vale e na grade de sábado, os cenários foram novamente refinados e restritos ao total de 5 (cinco) a serem simulados, conforme disposto na Tabela 3.

Tabela 3 - Cenários para sábados.

Cenário	Curva de Velocidade	Aceleração aplicada (m/s ²)
HS 1	V6	1,12
HS 2	V6	1,06
HS 3	V7	1,12
HS 4	V8	1,12
HS 5	V10	1,12

5.2.4. Domingos (intervalo de 9 minutos)

Com base no comportamento dos resultados frente às alterações de cenário realizadas nas grades de horário de vale e de sábados, e considerando o alargamento do intervalo, para a grade de domingo foram simulados os 6 (seis) cenários da Tabela 4.

Tabela 4 - Cenários para domingos.

Cenário	Curva de Velocidade	Aceleração aplicada (m/s ²)
HD 1	V2	1,12
HD 2	V6	1,12
HD 3	V7	1,12
HD 4	V8	1,12
HD 5	V9	1,12
HD 6	V10	1,12

ANÁLISE DOS RESULTADOS

Para cada grade estudada (dias úteis – horário de pico, dias úteis – horário de vale, sábados e domingos ou feriados) serão apresentados os percentuais de economia no consumo de energia elétrica, calculados com base na comparação entre os resultados das simulações dos cenários construídos e do cenário base, conforme a Equação 4.

Equação 4

Economia (%)

$$= \frac{\text{RESULTADO Cenário construído} - \text{RESULTADO Cenário base}}{\text{RESULTADO Cenário base}} \times 100\%$$

1. CÁLCULO DE ECONOMIA NO CONSUMO DE ENERGIA ELÉTRICA

No tocante ao consumo e à demanda de energia elétrica, os arquivos resultantes dos programas utilizados não indicam o consumo de energia por trecho, mas sim as potências médias exigidas em cada subestação retificadora do sistema do MetrôRio, durante o tempo de simulação e sob as condições operativas de cada cenário simulado.

Considerando que consumo de energia é dado pela integral da potência no tempo e que, portanto, pode-se afirmar que o consumo de energia é proporcional à potência média do sistema (3) (vide Equação 5), os percentuais de economia calculados para as potências médias do sistema foram extrapolados para o consumo de energia elétrica, conforme a Equação 6.

Equação 5

$$\text{Consumo de Energia} = (\text{Potência média do sistema}) \times \text{tempo}$$

Equação 6

$$\begin{aligned} \text{Economia Potência média sistema (\%)} \\ = \text{Economia Consumo de Energia (\%)} \end{aligned}$$

A potência média do sistema para cada cenário simulado é resultante do somatório das potências médias das subestações retificadoras que alimentam os trechos sob estudo.

Tendo em vista que a operação da Linha 2 do MetrôRio compreende percursos diferentes nos dias úteis (Pavuna – General Osório I) e nos fins de semana (Pavuna –

Estácio), as subestações que tiveram suas potências médias somadas são listadas na Tabela 5, que se refere às simulações com as grades de dias úteis, e na Tabela 6, associada às grades de fins de semana.

Tabela 5 - Subestações analisadas nas simulações das grades de dias úteis.

Subestação Retificadora
Pavuna
Acari Fazenda Botafogo
Coelho Neto
Colégio
Vicente de Carvalho
Thomaz Coelho
Inhaúma
Maria da Graça
Triagem
São Cristóvão
Joaquim Palhares

Tabela 6 - Subestações analisadas nas simulações das grades de fins de semana.

Subestação Retificadora
Pavuna
Acari Fazenda Botafogo
Coelho Neto
Colégio
Vicente de Carvalho
Thomaz Coelho
Inhaúma
Maria da Graça
Triagem
São Cristóvão
Estácio

Dessa forma, a potência média do sistema em cada cenário das grades de dias úteis é dada pela Equação 7, enquanto que para as grades de fins de semana, observa-se a Equação 8.

Equação 7

$$Potência\ média\ sistema = \sum_{i = Pavuna}^{Joaquim\ Palhares} Potência\ média\ da\ subestação\ i$$

Equação 8

$$Potência\ média\ sistema = \sum_{i = Pavuna}^{Estácio} Potência\ média\ da\ subestação\ i$$

Por fim, para cada grade de dias úteis, sábados e domingos ou feriados, os percentuais de economia no consumo de energia elétrica serão calculados com base na Equação 9.

Equação 9

$$\begin{aligned} &Economia\ Consumo\ de\ Energia\ (\%) \\ &= Economia\ Potência\ média\ sistema\ (\%) = \\ &= \frac{Potência\ média\ sistema_{Cenário\ construído} - Potência\ média\ sistema_{Cenário\ base}}{Potência\ média\ sistema_{Cenário\ base}} \times 100\% \end{aligned}$$

2. CÁLCULO DA ECONOMIA NO ORÇAMENTO DE ENERGIA DO METRÔRIO

Finalizados os cálculos de economia no consumo e demanda (potência) de energia elétrica, para os cenários que apresentarem percentuais de redução, serão

calculados os ganhos financeiros por ano, tendo em vista as tarifas vigentes em dezembro/2018.

O histórico de janeiro/2017 a novembro/2018 das medições verificadas, tanto no sistema CCK instalado no MetrôRio, quanto nas faturas da LIGHT (empresa responsável pela distribuição de energia elétrica na cidade do Rio de Janeiro) da subestação Colégio de 138 kV, aponta para uma separação do consumo de energia do trecho sob estudo conforme indicado na Tabela 7.

Tabela 7 - Representatividade de cada grade no consumo mensal médio do trecho.

Consumo Mensal por grade horária	Parcela do consumo total	Parcela do consumo total (MWh)
Dias úteis - horário de pico	33%	1.470
Dias úteis - horário de vale	49%	990
Sábados	10%	300
Domingos ou feriados	8%	240
Total médio no mês*	100%	3.000

*Histórico de janeiro/2017 a novembro/2018

O cálculo da economia anual no orçamento de energia, no que tange aos gastos com consumo, fundamentou-se na representatividade dos consumos de cada grade horária em relação ao volume total, vide Tabela 7, e nos percentuais de redução de consumo resultantes das simulações dos cenários construídos, conforme descrito na Equação 10.

Equação 10

$$\begin{aligned}
 \text{Economia anual}_{\text{consumo}} (\text{R}\$) &= \\
 &= (\% \text{ de representatividade})(\% \text{ de economia consumo})3.000 \text{ MWh} \times \text{R}\$ 328,43 \\
 &\quad / \text{MWh} \times 12 \text{ meses}
 \end{aligned}$$

Em que:

- 3.000 MWh (megawatts-hora) é o consumo médio mensal do trecho, de acordo com o histórico analisado;
- O valor de R\$ 328,43/MWh (trezentos e vinte e oito reais e quarenta e três centavos por megawatts-hora) equivale à tarifa média de energia elétrica praticada em dezembro/2018, quando da confecção deste estudo, considerados os impostos (8% de ICMS sobre a tarifa de fornecimento e 6% de PIS/COFINS sobre as tarifas de fornecimento e transmissão).

Finalizados os cálculos de economia no orçamento trazida pela redução do consumo, devem ser dimensionados os ganhos financeiros referentes à queda na potência máxima exigida pelo sistema. Os pagamentos pelas máximas potências, ou demandas, exigidas no mês são devidos à distribuidora LIGHT, que realiza as cobranças conforme o horário de ocorrência dos valores máximos.

Durante o intervalo de 17h30 a 20h30, a tarifa aplicada à máxima demanda exigida pelo sistema é de R\$ 16,72/kW (dezesesseis reais e setenta e dois centavos por quilowatt), enquanto que, para os demais horários, a potência máxima é valorada a R\$ 10,10/kW (dez reais e dez centavos), sendo ambas as tarifas já acrescentadas de 6% (seis por cento) de PIS/COFINS.

Ressalta-se que, para os dois horários de precificação da demanda utilizados pela LIGHT, a exigência máxima de potência pelo sistema do MetrôRio ocorre durante a operação das grades de dias úteis – horário de pico, motivo pelo qual as economias

associadas à demanda somente serão calculadas para os cenários desse formato de grade.

Considerando a relação informada na Equação 6, a economia no orçamento anual, que será atribuída à menor exigência de potência no intervalo de 17h30 a 20h30, é dada pela Equação 11:

Equação 11

$$\begin{aligned} \text{Economia anual}_{\text{demanda ponta}} \text{ (R\$)} &= \\ &= (\% \text{ de economia consumo}) \text{ R\$ } 16,72/\text{kW} \times 9200 \text{ kW} \times 12 \text{ meses} \end{aligned}$$

Em que:

- 9.200 kW (nove mil e duzentos quilowatts) é a máxima demanda atual no trecho, medida nesse horário.

No que tange aos demais horários, a economia relacionada à exigência de uma menor demanda de energia deverá obedecer a Equação 12.

Equação 12

$$\begin{aligned} \text{Economia anual}_{\text{demanda fora ponta}} \text{ (R\$)} &= \\ &= (\% \text{ de economia consumo}) \text{ R\$ } 10,10/\text{kW} \times 9600 \text{ kW} \times 12 \text{ meses} \end{aligned}$$

Em que:

- 9.600 kW (nove mil e seiscentos quilowatts) é a máxima demanda atual no trecho, medida nesse horário.

3. RESULTADOS OBTIDOS

3.1 Dias Úteis – Horário de pico (intervalo de 4 minutos e 30 segundos)

A Tabela 8 resume os resultados obtidos a partir das simulações realizadas com os cenários construídos para a grade de dias úteis – horário de pico.

Tabela 8 - Economias no consumo para os cenários de dias úteis – horário de pico.

Cenário	Atraso no tempo de percurso Pavuna – Cidade nova (s)	Atraso no tempo de percurso Cidade Nova – Pavuna (s)	Atrasos nos intervalos (s)	Economia no consumo (%)	Economia no orçamento por ano (R\$)
HP 1	0	0	Não houve atraso.	+ 2,82	Não aplicável
HP 2	95	93	Thomaz Coelho – Engenho da Rainha (via 1): 103 Engenheiro Rubens Paiva – Pavuna (via 2): 93	- 9,12	- 630.297
HP 3	13	10	Vicente de Carvalho – Thomaz Coelho (via 1): 49 Engenheiro Rubens Paiva – Pavuna (via 2): 10	- 0,24	- 16.587
HP 4	30	37	Thomaz Coelho – Engenho da Rainha (via 1): 67 Engenheiro Rubens Paiva – Pavuna (via 2): 37	- 3,95	- 272.991
HP 5	21	56	Thomaz Coelho – Engenho da Rainha (via 1): 58 Engenheiro Rubens Paiva – Pavuna (via 2): 56	- 2,69	- 185.910
HP 6	23	56	Thomaz Coelho – Engenho da Rainha (via 1): 60 Engenheiro Rubens Paiva – Pavuna (via 2): 56	- 3,58	- 247.419
HP 7	25	56	Thomaz Coelho – Engenho da Rainha (via 1): 60 Engenheiro Rubens Paiva – Pavuna (via 2): 56	- 5,04	- 348.322
HP 8	27	63	Thomaz Coelho – Engenho da Rainha (via 1): 60 Engenheiro Rubens Paiva – Pavuna (via 2): 63	- 5,97	- 412.596
HP 9	25	56	Thomaz Coelho – Engenho da Rainha (via 1): 60 Engenheiro Rubens Paiva – Pavuna (via 2): 56	- 5,48	- 378.731
HP 10	27	63	Thomaz Coelho – Engenho da Rainha (via 1): 60 Engenheiro Rubens Paiva – Pavuna (via 2): 63	- 6,23	- 430.565

3.2 Dias Úteis – Horário de vale (intervalo de 7 minutos)

A Tabela 9 resume os resultados obtidos a partir das simulações realizadas com os cenários construídos para a grade de dias úteis – horário de vale.

Tabela 9 - Economias no consumo para os cenários de dias úteis – horário de vale.

Cenário	Atraso no tempo de percurso Pavuna – Cidade nova (s)	Atraso no tempo de percurso Cidade Nova – Pavuna (s)	Atrasos nos intervalos (s)	Economia no consumo (%)	Economia no orçamento por ano (R\$)
HV 1	0	0	Inhaúma – Del Castilho (via 1): 2 Acari Fazenda Botafogo – Engenheiro Rubens Paiva (via 2): 3	- 19,31	-1.118.726
HV 2	0	0	Inhaúma – Del Castilho (via 1): 2 Acari Fazenda Botafogo – Engenheiro Rubens Paiva (via 2): 3	- 17,65	-1.022.554
HV 3	0	0	Inhaúma – Del Castilho (via 1): 2 Acari Fazenda Botafogo – Engenheiro Rubens Paiva (via 2): 3	- 18,30	-1.060.211
HV 4	0	0	Inhaúma – Del Castilho (via 1): 2 Acari Fazenda Botafogo – Engenheiro Rubens Paiva (via 2): 3	- 20,09	-1.163.915
HV 5	1	0	Inhaúma – Del Castilho (via 1): 2 Acari Fazenda Botafogo – Engenheiro Rubens Paiva (via 2): 4	- 17,25	- 999.380
HV 6	0	0	Inhaúma – Del Castilho (via 1): 2 Acari Fazenda Botafogo – Engenheiro Rubens Paiva (via 2): 3	- 21,02	-1.217.795
HV 7	1	0	Inhaúma – Del Castilho (via 1): 2 Acari Fazenda Botafogo – Engenheiro Rubens Paiva (via 2): 4	- 18,31	-1.060.791
HV 8	0	7	Del Castilho – Maria da Graça (via 1): 18 Acari Fazenda Botafogo – Engenheiro Rubens Paiva (via 2): 15	- 30,02	-1.739.210

3.3 Sábados (intervalo de 7 minutos e 30 segundos)

A Tabela 10 resume os resultados obtidos a partir das simulações realizadas com os cenários construídos para a grade de sábados.

Tabela 10 - Economias no consumo de energia para os cenários de sábados.

Cenário	Atraso no tempo de percurso Pavuna – Estácio (s)	Atraso no tempo de percurso Estácio – Pavuna (s)	Atrasos nos intervalos (s)	Economia no consumo (%)	Economia no orçamento por ano (R\$)
HS 1	4	0	São Cristóvão – Estácio (via 1): 4	- 16,63	- 196.624
HS 2	0	0	Não houve atraso.	- 11,77	- 139.162
HS 3	4	0	São Cristóvão – Estácio (via 1): 4	- 17,47	- 206.556
HS 4	4	0	Del Castilho – Engenho da Rainha (via 1): 15	- 19,55	- 231.149
HS 5	4	0	Del Castilho – Engenho da Rainha (via 1): 15 Coelho Neto – Acari Fazenda Botafogo (via 2): 5	- 22,15	- 261.890

3.4 Domingos ou feriados (intervalo de 9 minutos)

A Tabela 11 resume os resultados obtidos a partir das simulações realizadas com os cenários construídos para a grade de domingos ou feriados.

Tabela 11 - Economias no consumo para os cenários de domingos ou feriados.

Cenário	Atraso no tempo de percurso Pavuna – Estácio (s)	Atraso no tempo de percurso Estácio – Pavuna (s)	Atrasos nos intervalos (s)	Economia no consumo (%)	Economia no orçamento por ano (R\$)
HD 1	1	0	Não houve atraso.	- 15,59	147.462
HD 2	4	0	São Cristóvão – Estácio (via 1): 4	- 16,67	157.678
HD 3	4	0	São Cristóvão – Estácio (via 1): 4	- 17,50	165.529
HD 4	4	0	Del Castilho – Engenho da Rainha (via 1): 15	- 20,15	190.594
HD 5	32	0	Triagem – Maracanã (via 1): 46 Maria da Graça – Del Castilho (via 2): 29	- 8,94	84.562
HD 6	4	0	Del Castilho – Engenho da Rainha (via 1): 15 Coelho Neto – Acari/Fazenda Botafogo (via 2): 5	- 22,36	211.498

4. Melhores cenários (Dias úteis, Sábados e Domingos)

Reunindo os cenários que concomitantemente apresentaram as maiores economias e os menores impactos no tempo de percurso e nos intervalos praticados, têm-se os cenários ótimos da Tabela 12, cujos impactos no tempo de percurso (Pavuna – Cidade nova em dias úteis e Pavuna – Estácio em sábados e domingos) são apresentados na **Erro! Fonte de referência não encontrada..**

Ressalta-se que os atrasos nos tempos de percurso já eram esperados nessa análise em razão da opção de se manter inalterada a quantidade de trens disponíveis na

grade para não impactar o custo de manutenção do MetrôRio associado ao material rodante.

Tabela 12 - Economias no consumo de energia para os cenários ótimos.

Cenários	Economia no consumo (%)	Economia no orçamento de energia por ano (R\$)
HP 10 + HV 8 + HS 5 + HD 6	- 20,8	2.643.164
HP 9 + HV 8 + HS 5 + HD 6	- 20,5	2.591.330
HP 10 + HV 6 + HS 5 + HD 6	- 16,4	2.121.748
HP 9 + HV 6 + HS 5 + HD 6	- 16,1	2.069.915

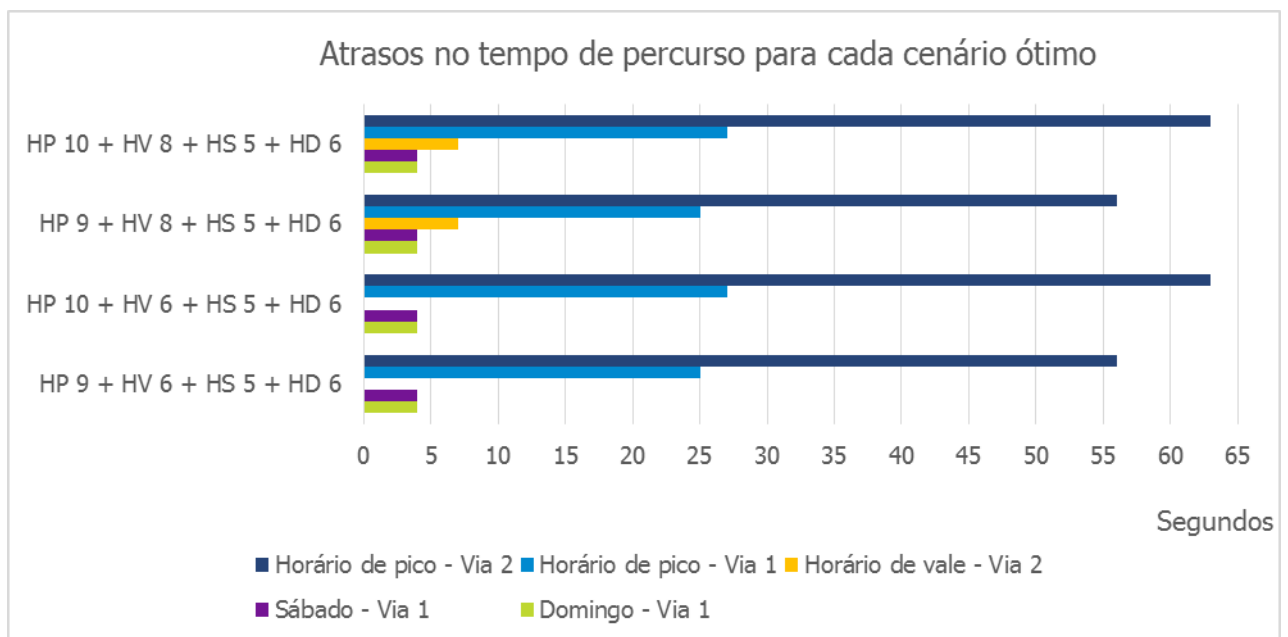


Figura 3 -Atrasos no tempo de percurso para cada cenário ótimo.

CONCLUSÕES

Tendo em vista os resultados promissores que apontam para uma economia de mais de R\$ 2 milhões por ano, com aumento do tempo de percurso inferior a um minuto, indica-se como ações de continuidade deste estudo:

- (i) A realização de novas simulações considerando possível a alteração da quantidade de trens disponíveis na grade;
- (ii) A aplicação dos cenários ótimos da Tabela 12 em campo para validação dos resultados obtidos.

Para a utilização permanente dos cenários ótimos será necessária a instalação de novas placas de velocidade na via e remoção das atuais, além da aplicação de treinamento específico para os condutores e controladores de tráfego. Os computadores de bordo dos trens deverão ser verificados por amostragem para comprovar a aderência da condução às curvas ótimas de velocidade.

Para aumentar a garantia de realização das velocidades propostas, uma outra etapa futura seria o desenvolvimento de um dispositivo embarcado, capaz de monitorar a velocidade instantânea do trem e, a partir disso, orientar o condutor a perseguir a curva ótima.

Considerando as restrições do MetrôRio de disponibilidade de recursos financeiros e humanos para realização deste projeto, tem-se o cronograma macro da

Erro! Fonte de referência não encontrada..

Etapa	Atividades	1º mês	2º mês	3º mês	4º ao 12º mês	13º ao 18º mês	19º ao 30º mês
I	Análise com alteração da quantidade de trens						
	Validação em campo						
	Treinamento dos condutores						
	Instalação de novas placas						
	Verificação da economia R\$ 2 milhões/ano					A partir do 13º mês depois de iniciadas as atividades do projeto.	
II	Desenvolvimento do dispositivo						
	Instalação do dispositivo nos trens						

Figura 4 - Cronograma macro do projeto de aplicação das curvas ótimas.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. METRÔRIO, **Relatório de Medição de Consumo de Energia nos Diferentes Modos de Condução**. Rio de Janeiro: 2015. Estudo realizado com base em amostragem de medições em campo para verificação de diferença de consumo de energia elétrica entre os modos de condução manuais (livre e controlado) e o piloto automático.
2. NUSSENZVEIG, H. Moysés **Curso de Física Básica: Volume 1**. 5ª edição. São Paulo: Edgard Blucher, 2013.
3. ALEXANDER, Charles K.; SADIKU, Matthew N. O. **Fundamentos de Circuitos Elétricos**. 5ª edição. Porto Alegre: AMGH, 2013.

Anexo I – Curva de Velocidade do Cenário Base

Trechos	Inclinações	PK1	PK2	Vbase VIA 1 (m/s)
Pavuna-Engenheiro Rubens Paiva	acive	21.740	20.733	60 – 70
Engenheiro Rubens Paiva - Acari Fazenda Botafogo	acive	20.594	20.434	60
	declive	20.434	19.268	60
	acive	19.268	19.158	60 – 50
Acari Fazenda Botafogo - Coelho Neto	acive	19.022	18.348	70
	declive	18.348	18.150	70
Coelho Neto - Colégio	declive	18.008	17.714	70
	acive	17.714	16.727	70
	declive	16.727	16.590	70 - 50
Colégio - Irajá	declive	16.407	16.324	70
	acive	16.324	15.842	70
	declive	15.842	15.578	70
	acive	15.578	15.352	70
	declive	15.352	15.327	70 - 50
Irajá - Vicente de Carvalho	declive	15.147	14.865	70
	acive	14.865	14.357	70
	declive	14.357	14.142	70 - 50
	acive	14.142	13.989	50
Vicente de Carvalho - Thomaz Coelho	acive	13.805	13.137	70
	declive	13.137	12.825	70
Thomaz Coelho - Engenho da Rainha	declive	12.630	11.606	70
Engenho da Rainha - Inhaúma	declive	11.434	11.223	70
	acive	11.223	10.583	70
	declive	10.583	9.925	70 - 50
Inhaúma - Del Castilho	acive	9.742	9.077	70
	declive	9.077	8.904	70
	acive	8.904	8.825	50
Del Castilho - Maria da Graça	acive	8.641	8.586	70
	declive	8.586	7.458	70 - 50
Maria da Graça - Triagem	declive	7.280	7.267	70
	acive	7.267	6.052	70 - 60
	declive	6.052	5.314	60 - 70
	acive	5.314	4.976	70 - 50
	plano	4.976	4.971	50

Trechos	Inclinações	PK1	PK2	Vbase VIA 1 (m/s)
Triagem - Maracanã	plano	4.793	4.777	70
	acive	4.777	4.633	70
	declive	4.633	3.647	70
	acive	3.647	3.202	70 - 50
	declive	3.202	3.013	50
	plano	3.013	3.008	50
Maracanã - São Cristóvão	plano	2.830	2.713	70
	declive	2.713	2.385	70
	plano	2.385	2.019	70
	declive	2.019	1.899	70
	acive	1.899	1.717	70
	plano	1.717	1.673	70 - 50
São Cristóvão - Cidade Nova	plano	0	85	65
	acive	85	280	65 - 70
	declive	280	940	70 - 40 - 50
	acive	940	1.060	50
	declive	1.060	1.310	50
	plano	1.310	1.352	50
São Cristóvão - Estácio	plano	1.493	1.458	50
	acive	1.458	1.445	50
	declive	1.445	993	50 - 70
	acive	993	411	70 - 50
	declive	411	89	50 - 30

Trechos	Inclinações	PK1	PK2	Vbase VIA 2 (m/s)
Engenheiro Rubens Paiva - Pavuna	declive	20.729	21.740	70 - 35
Acari Fazenda Botafogo - Engenheiro Rubens Paiva	declive	20.394	20.589	60 - 50
	acive	19.240	20.394	60
	declive	19.158	19.240	60
Coelho Neto - Acari Fazenda Botafogo	declive	18.232	19.017	70
	acive	18.137	18.232	70
Colégio - Coelho Neto	acive	17.442	17.998	70 - 50
	declive	16.606	17.442	70
	acive	16.580	16.606	70
Irajá - Colégio	acive	16.149	16.397	70 - 50
	declive	15.736	16.149	70
	acive	15.517	15.736	70
	declive	15.313	15.517	70

Vicente de Carvalho - Irajá	acive	14.731	15.132	70 - 50
	declive	14.127	14.731	70
	acive	14.107	14.127	70
	declive	13.973	14.107	70
Thomaz Coelho - Vicente de Carvalho	declive	12.905	13.785	70 - 50
	acive	12.793	12.905	70
Engenho da Rainha - Thomaz Coelho	acive	11.593	12.611	70 - 50
Inhaúma - Engenho da Rainha	acive	11.182	11.413	70 - 50
	declive	10.428	11.182	70
	acive	9.911	10.428	70
Del Castilho - Inhaúma	declive	8.906	9.728	70 - 50
	acive	8.823	8.906	70
	declive	8.808	8.823	70
Maria da Graça - Del Castilho	declive	8.560	8.623	50
	acive	7.444	8.560	70
Triagem - Maria da Graça	acive	7.250	7.261	50
	declive	5.861	7.250	50 - 60 - 70
	acive	5.200	5.861	60 - 70
	declive	4.955	5.200	70
Maracanã - Triagem	plano	4.672	4.777	70 - 50
	declive	4.471	4.672	70
	acive	3.615	4.471	70
	declive	3.193	3.615	60 - 70
	acive	3.007	3.193	60
São Cristóvão - Maracanã	plano	2.781	2.829	50
	acive	2.364	2.781	70
	plano	1.907	2.364	70
	acive	1.786	1.907	70
	declive	1.679	1.786	70
Cidade Nova - São Cristóvão	plano	253	0	65 - 70
	declive	718	253	50 - 70
	acive	1.232	718	50
	plano	1.288	1.232	50
Estácio - São Cristóvão	plano	1.289	1.492	50
	acive	942	1.289	50
	declive	398	942	70
	acive	89	398	30

Anexo II – Curvas de Velocidade Construídas para as Simulações

VIA 1													
Trechos	Inclinações	PK1	PK2	V1 (m/s)	V2 (m/s)	V3 (m/s)	V4 (m/s)	V5 (m/s)	V6 (m/s)	V7 (m/s)	V8 (m/s)	V9 (m/s)	V10 (m/s)
Pavuna - Engenheiro Rubens Paiva	acive	21.740	20.733	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50
Engenheiro Rubens Paiva - Acari Fazenda Botafogo	acive	20.594	20.434	60	50	50	50	50	50	50	50	60	50
	decive	20.434	19.268	80	80	80	80	80	80	80	80	80	80
Acari Fazenda Botafogo - Coelho Neto	acive	19.268	19.158	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50
	decive	19.022	18.348	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50
Coelho Neto - Colégio	acive	18.348	18.150	80	80	80	80	80	80	80	80	80	80
	decive	18.008	17.714	80	80	80	80	80	80	80	80	80	80
Colégio - Irajá	acive	17.714	16.727	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50
	decive	16.727	16.590	80	80	80	80	80	80	80	80	80	80
	decive	16.407	16.324	80	80	80	80	80	80	80	80	80	80
	acive	16.324	15.842	60	50	50	50	50	50	50	50	60	50
Irajá - Vicente de Carvalho	decive	15.842	15.578	80	80	80	80	80	80	80	80	80	80
	acive	15.578	15.352	50	50	50	60	60	60	50	50	50	50
	decive	15.352	15.327	50	50	50	60	60	60	50	50	50	50
	acive	15.147	14.865	80	70	70	70	70	70	70	70	80	70
Vicente de Carvalho - Thomaz Coelho	acive	14.865	14.357	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50
	decive	14.357	14.142	80	70	70	70	70	70	70	70	80	70
	acive	14.142	13.989	50	50	50	60	60	60	50	50	50	50
Thomaz Coelho - Engenho da Rainha	decive	13.805	13.137	70	50	60	50	50	50	50	50	50	50
	decive	13.137	12.825	70	80	80	80	80	80	80	80	80	80
	decive	12.630	11.606	70	70	70	70	70	70	70	70	80	70

VIA 1													
Trechos	Inclinações	PK1	PK2	V1 (m/s)	V2 (m/s)	V3 (m/s)	V4 (m/s)	V5 (m/s)	V6 (m/s)	V7 (m/s)	V8 (m/s)	V9 (m/s)	V10 (m/s)
Engenho da Rainha - Inhaúma	decive	11.434	11.223	70	80	80	80	80	80	80	80	80	80
	acive	11.223	10.583	70	80	80	80	80	80	80	80	60	60
	decive	10.583	9.925	70 - 50	80 - 50	80 - 50	80 - 50	80 - 50	80 - 50	80 - 50	80 - 50	80 - 50	80 - 50
Inhaúma - Del Castilho	acive	9.742	9.077	70	80	80	80	80	80	80	80	60	60
	decive	9.077	8.904	70	80	80	80	80	80	80	80	80	80
	acive	8.904	8.825	50	50	50	50	50	50	50	50	60	50
Del Castilho - Maria da Graça	acive	8.641	8.586	70	70	70	70	70	70	70	70	50	70
	decive	8.586	7.458	70 - 50	70 - 50	70 - 50	70 - 50	70 - 50	70 - 50	70 - 50	70 - 50	80	70 - 50
Maria da Graça - Triagem	decive	7.280	7.267	70	70	70	70	70	70	70	70	70	70
	acive	7.267	6.052	70 - 60	70 - 60	70 - 60	70 - 60	70 - 60	70 - 60	70 - 60	70 - 60	70 - 60	70 - 60
	decive	6.052	5.314	60 - 70	60 - 70	60 - 70	60 - 70	60 - 70	60 - 70	60 - 70	60 - 70	60 - 70	80
	acive	5.314	4.976	70 - 50	70 - 50	70 - 50	70 - 50	70 - 50	70 - 50	70 - 50	70 - 50	50	70 - 50
	plano	4.976	4.971	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50
Triagem - Maracanã	plano	4.793	4.777	70	70	70	70	70	70	70	70	50	60
	acive	4.777	4.633	70	70	70	70	70	70	70	70	50	60
	decive	4.633	3.647	70	70	70	70	70	70	70	70	80	70
	acive	3.647	3.202	70 - 50	70 - 50	70 - 50	70 - 50	70 - 50	70 - 50	70 - 50	70 - 50	70 - 50	70 - 50
	decive	3.202	3.013	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50
	plano	3.013	3.008	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50

VIA 1													
Trechos	Inclinações	PK1	PK2	V1 (m/s)	V2 (m/s)	V3 (m/s)	V4 (m/s)	V5 (m/s)	V6 (m/s)	V7 (m/s)	V8 (m/s)	V9 (m/s)	V10 (m/s)
Maracanã - São Cristóvão	plano	2.830	2.713	80	80	80	80	70	70	70	70	80	70
	decive	2.713	2.385	80	80	80	80	80	70	70	70	80	70
	plano	2.385	2.019	80	80	80	80	70	70	70	70	80	70
	decive	2.019	1.899	80	80	80	80	80	70	70	70	80	70
	acive	1.899	1.717	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50
	plano	1.717	1.673	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50
São Cristóvão - Cidade Nova	plano	0	85	70	50	50	50	50	50	50	50	70	50
	acive	85	280	50 - 70	50 - 80	50 - 80	50 - 80	50 - 80	50 - 70	50 - 70	50 - 70	50 - 70	50 - 70
	decive	280	940	80 - 50	80 - 50	80 - 50	80 - 50	80 - 50	70 - 50	70 - 50	70 - 50	80 - 50	70 - 50
	acive	940	1.060	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50
São Cristóvão - Estácio	decive	1.060	1.310	60	80	80	80	80	50	50	50	60	50
	plano	1.310	1.352	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50
	plano	1.493	1.458	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50
	acive	1.458	1.445	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50
São Cristóvão - Estácio	decive	1.445	993	50-70	50-70	50-70	50-70	50-70	50-70	50-70	50-70	50-70	50-70
	acive	993	411	70-50	70-50	70-50	70-50	70-50	70-50	70-50	70-50	70-50	70-50
	decive	411	89	50-30	50-30	50-30	50-30	50-30	50-30	50-30	50-30	50-30	50-30

25ª SEMANA DE TECNOLOGIA METROFERROVIÁRIA

6º PRÊMIO TECNOLOGIA E DESENVOLVIMENTO METROFERROVIÁRIOS

VIA 2													
Trechos	Inclinações	PK1	PK2	V1 (m/s)	V2 (m/s)	V3 (m/s)	V4 (m/s)	V5 (m/s)	V6 (m/s)	V7 (m/s)	V8 (m/s)	V9 (m/s)	V10 (m/s)
Engenheiro Rubens Paiva - Pavuna	declive	20.729	21.740	80	80	80	80	80	80	80	80	80	80
	declive	20.394	20.589	80	80	80	80	80	80	80	80	80	80
	declive	19.240	20.394	55	50	50	50	50	50	50	50	50	50
Acari Fazenda Botafogo - Engenheiro Rubens Paiva	declive	19.158	19.240	80	80	80	80	80	80	80	80	80	80
	declive	18.232	19.017	70	80	80	80	80	80	80	80	70	70
	declive	18.137	18.232	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60
Coelho Neto - Acari Fazenda Botafogo	declive	17.442	17.998	50	60	60	60	60	60	60	60	50	50
	declive	16.606	17.442	70	80	80	80	80	80	80	80	70	70
	declive	16.580	16.606	50	60	60	60	60	60	60	60	50	50
Colégio - Coelho Neto	declive	16.149	16.397	50	60	60	60	60	60	60	60	50	50
	declive	15.736	16.149	80	80	80	80	80	80	80	80	80	80
	declive	15.517	15.736	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60
Irajá - Colégio	declive	15.313	15.517	80	80	80	80	80	80	80	80	80	80
	declive	14.731	15.132	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50
	declive	14.127	14.731	80	80	80	80	80	80	80	80	80	80
Vicente de Carvalho - Irajá	declive	14.107	14.127	80	80	80	80	80	80	80	80	80	80
	declive	13.973	14.107	80	80	80	80	80	80	80	80	80	80
	declive	12.905	13.785	70	70	70	70	70	70	70	70	80	70
Thomaz Coelho - Vicente de Carvalho	declive	12.793	12.905	70	70	70	70	70	70	70	70	50	70
	declive	11.593	12.611	70	50	50	50	50	50	50	50	50	50
	declive	11.182	11.413	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50
Engenho da Rainha - Thomaz Coelho	declive	10.428	11.182	70	80	80	80	80	80	80	80	80	80
	declive	9.911	10.428	70	50	50	50	50	50	50	50	60	50
	declive	9.911	10.428	70	50	50	50	50	50	50	50	60	50

VIA 2													
Trechos	Inclinações	PK1	PK2	V1 (m/s)	V2 (m/s)	V3 (m/s)	V4 (m/s)	V5 (m/s)	V6 (m/s)	V7 (m/s)	V8 (m/s)	V9 (m/s)	V10 (m/s)
Del Castilho - Inhaúma	declive	8.906	9.728	70	80	80	80	80	80	80	80	80	80
	declive	8.823	8.906	70	50	50	50	50	50	50	50	50	50
	declive	8.808	8.823	70	80	80	80	80	80	80	80	70	80
Maria da Graça - Del Castilho	declive	8.560	8.623	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50
	declive	7.444	8.560	70	50	50	50	50	50	50	50	50	50
	declive	7.250	7.261	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50
Triagem - Maria da Graça	declive	5.861	7.250	50 - 60 - 70	50 - 60 - 70	50 - 60 - 70	50 - 60 - 70	50 - 60 - 70	50 - 60 - 70	50 - 60 - 70	50 - 60 - 70	50 - 80	50 - 60 - 70
	declive	5.200	5.861	60 - 70	60 - 70	60 - 70	60 - 70	60 - 70	60 - 70	60 - 70	60 - 70	50 - 50	60 - 70
	declive	4.955	5.200	70	70	70	70	70	70	70	70	80	70
Maracanã - Triagem	declive	4.672	4.777	70	70	70	70	70	70	70	70	70	60
	declive	4.471	4.672	70	80	80	80	80	80	80	80	80	80
	declive	3.615	4.471	70	70	70	70	70	70	70	70	70	50
São Cristóvão - Maracanã	declive	3.193	3.615	60 - 70	50 - 70	50 - 70	50 - 70	50 - 70	50 - 70	50 - 70	50 - 70	50 - 80	50 - 70
	declive	3.007	3.193	60	50	50	50	50	50	50	50	50	50
	declive	2.781	2.829	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50
Cidade Nova - São Cristóvão	declive	2.364	2.781	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50
	declive	1.907	2.364	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60
	declive	1.786	1.907	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60
Estácio - São Cristóvão	declive	1.629	1.786	80	80	80	80	80	80	80	80	80	80
	declive	1.289	1.289	203	50	50	50	50	50	50	50	50	50
	declive	718	253	50 - 80	50 - 80	50 - 80	50 - 80	50 - 80	50 - 80	50 - 80	50 - 80	50 - 80	50 - 80
Estácio - São Cristóvão	declive	1.232	718	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50
	declive	1.288	1.232	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50
	declive	1.289	1.492	203	50	50	50	50	50	50	50	50	50
Estácio - São Cristóvão	declive	942	1.289	347	50	50	50	50	50	50	50	50	50
	declive	398	942	544	70	70	70	70	70	70	70	70	70
	declive	89	398	309	30	30	30	30	30	30	30	30	30