



AEAMESP



21ª SEMANA DE TECNOLOGIA METROFERROVIÁRIA

2º PRÊMIO TECNOLOGIA E DESENVOLVIMENTO METROFERROVIÁRIOS

INVESTIGAÇÃO DE ASPECTOS DE PROJETO EM ACIDENTES FERROVIÁRIOS EM AMV'S

Alcenir Altoé

Renato Lataliza Vasconcelos



AEAMESP



## 21ª SEMANA DE TECNOLOGIA METROFERROVIÁRIA

### 2º PRÊMIO TECNOLOGIA E DESENVOLVIMENTO METROFERROVIÁRIOS

#### Categoria 3: Inovações Tecnológicas

Título: INVESTIGAÇÃO DE ASPECTOS DE PROJETO EM ACIDENTES FERROVIÁRIOS EM AMV'S

## 1 INTRODUÇÃO

O presente trabalho tem o objetivo de apresentar a análise realizada no travessão 21 da RH-BRU localizada na entrada da Pera de carregamento da mina de Brucutu (Figura 1) localizada no município de Barão de Cocais-MG e que está integrada a Estrada de Ferro Vitória a Minas (EFVM). Este estudo foi solicitado em função de uma série de descarrilamentos e quase acidentes ocorridos nestes locais. Estes acidentes tiveram como causa imediata a subida da roda do primeiro vagão após as locomotivas no contratrilho da chave 21B durante a passagem pela via desviada deste Aparelho de mudança de via (AMV). As ações tomadas no nível de manutenção não foram suficientes para resolver o problema. Foram checadadas e corrigidas todas as cotas de salvaguarda que estivessem fora de medida e executado o nivelamento do circuito de chave para garantir que não houvesse diferenças de nível entre uma linha e outra, o que causaria empenos no travessão.

Os acidentes e incidentes possuíam as seguintes particularidades:

- Todos os trens descarrilaram ou foi verificada subida de roda no sentido ascendente;
- Todos os trens apresentaram o problema durante a passagem no travessão 21;
- Somente no primeiro vagão após a locomotiva;
- Todos tiveram o levante da roda no contratrilho esquerdo da chave 21B da HBR.



Figura 1 – Visão geral do Travessão 21 da RH-BRU – Entrada da Pera de Brucutu.

Uma vez esgotadas as possibilidades de solução de problema a nível de manutenção, a área de Engenharia e Melhoria Operacional da EFVM iniciou as análises a nível de projeto.

Desta forma, o objetivo deste trabalho consiste em estudar a região e apresentar uma proposta de solução a partir da análise dos fundamentos de projeto envolvidos no cenário do acidente.



AEAMESP



## 2 DETERMINAÇÃO DOS PONTOS A SEREM INVESTIGADOS

Para se determinar os pontos a serem abordados a nível de projeto foram executados estudos topográficos, em planta e perfil para se identificar as oportunidades de melhoria e propor ações neste sentido.

Em um primeiro momento as análises em planta não apontavam para problemas na região. O travessão está localizado em uma tangente e a ponta de agulha do AMV 21A está distante 26,68m do marco de saída (ST) da curva que antecede o circuito. A tangente que precede o circuito de chave possui tamanho suficiente para não causar problemas ao mesmo.

A curva, anterior ao circuito, na linha 01, possui os seguintes dados:

- Tipo de curva: Circular com ramo de Transição em Espiral;
- Raio: 454,730m;
- Lc (Ramo de Transição): 37,80m;
- Ângulo Central (Calculado):  $26^{\circ}23'26''$ .

O raio desta curva está acima do raio modal da EFVM na linha tronco (343,82m) e logo podemos afirmar que é remota a possibilidade de estar contribuindo para o problema.

O circuito de chave é constituído por um travessão universal com a utilização de AMV's 1:10 com agulhas de 5,029m e entrevia, medida em campo, de 4,26m.

O levantamento do perfil da via no local, através de levantamento topográfico, apontou para a existência de uma rampa de 1,06% na entrada do circuito de chave e da existência de uma curva vertical no travessão 21. Tal perfil está demonstrado na Figura 2.

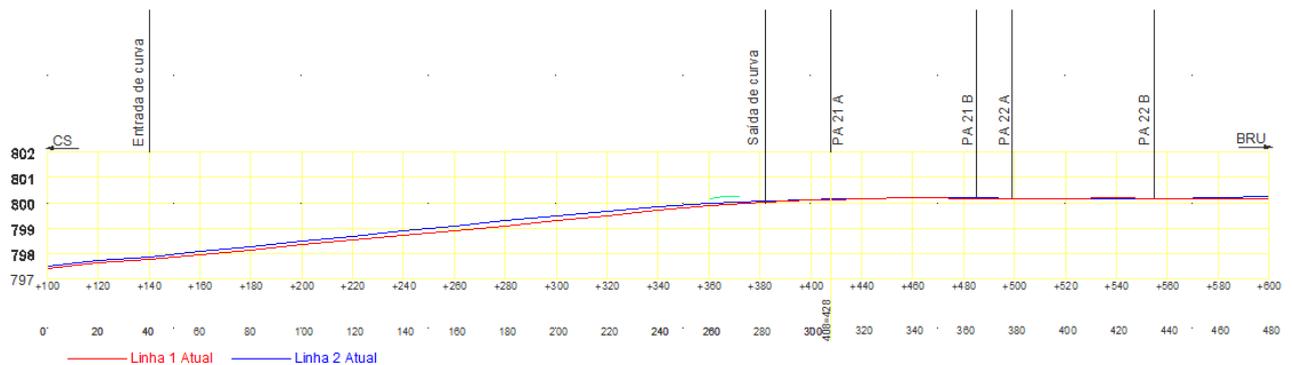


Figura 2 – Perfil da linha na região da HBR (Entrada do Pátio de Brucutu) mostrando a linha 1 e a linha 2.

Conforme o capítulo 12, item 3, do “Practical Guide to Railway Engineering”, AMV’s não devem ser instalados em curvas verticais. Como pode ser notado na Figura 2, o travessão 21(entre a PA 21A e a PA 21B) está posicionado em uma curva vertical. Ela se inicia aproximadamente na estaca 320 e termina na estaca 460. Logo é um ponto que deve ser trabalhado. A Figura 3 demonstra de forma gráfica a variação das rampas.

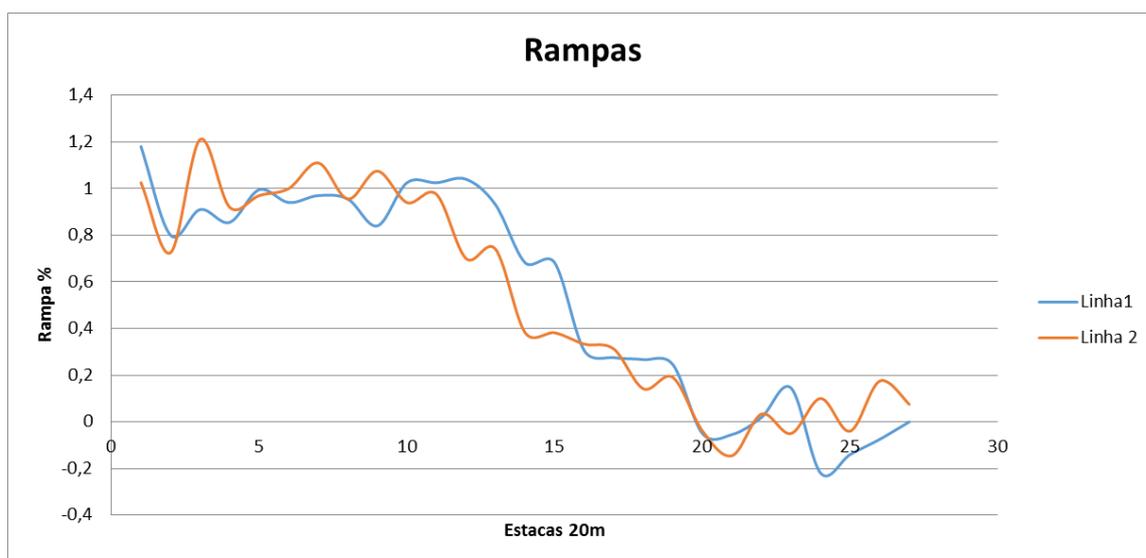


Figura 3 – Gráfico demonstrando a variação das rampas em estacas de 20m no trecho levantado nas linhas 1 e 2.

Uma vez observado esta anomalia propõe-se a sua correção e verificar a eficácia da sua ação.

Outro ponto a ser considerado é a recomendação da AREMA em no caso da instalação de AMV’s em rampas, deve ser priorizado a passagem dos trens no sentido ascendente pela reta dos AMV em função dos esforços longitudinais gerados pelo trem. Segue trecho da AREMA (2003,p. 250), referente a este assunto:

“On moderate grades, where one line splits into two or more, the up-hill move should be the straight side of the turnout as the tractive force of the locomotives, (produced from ascending the grade) generally creates a greater concentration of longitudinal forces than braking (descending the grade).”<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Tradução Nossa: [Em moderadas rampas, onde uma linha se divide em duas ou mais, o sentido ascendente deve ser feito no lado reto do AMV devido às forças trativas das locomotivas, (Produzidas pela rampa ascendente) que geralmente criam maior concentração longitudinal de forças do que na frenagem (rampas descendentes).].



AEAMESP



Sendo assim, a partir dos dados observados e considerando as recomendações da AREMA levanta-se duas hipóteses a serem investigadas:

- O fato do AMV estar posicionado em uma curva vertical;
- A questão do AMV estar posicionado imediatamente após uma rampa, com a passagem pela via desviada no sentido ascendente.

A análise do perfil demonstrado na Figura 2 indica o posicionamento do travessão na curva vertical e precedido de uma rampa de comprimento maior que o trem. Uma vez que, devido ao terreno e a condições de traçado que não é viável a sua alteração, não é possível mudar a rampa na chegada do circuito em estudo. Assim será modificado a curva vertical na região com o objetivo remover o travessão deste elemento de planta vertical.

### 3 MUDANÇA DE PERFIL NA REGIÃO DO AMV

Com base nas discussões realizadas no capítulo anterior foram feitos os estudos para a modificação do perfil na região do circuito de chave. Baseado no perfil da Figura 2 foram calculadas as curvas verticais e realizadas a sua locação no trecho. O perfil obtido está demonstrado na Figura 4 e os dados calculados para as curvas verticais estão demonstrados na Figura 5.

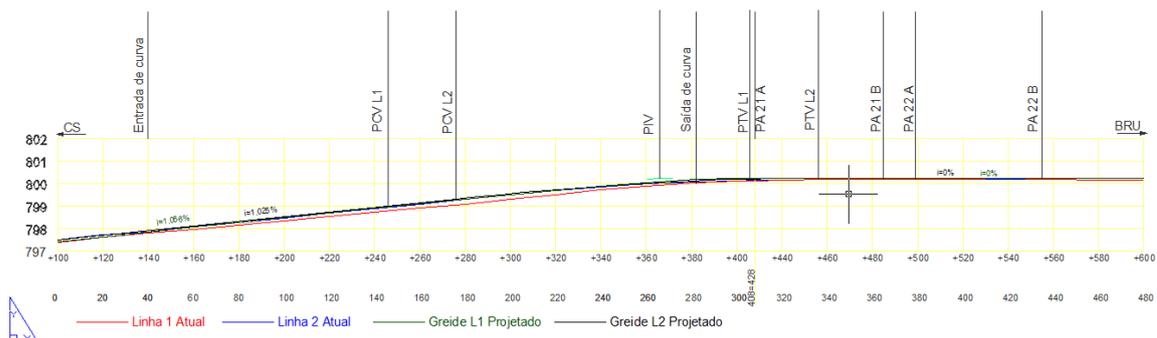


Figura 4 – Perfil demonstrando os novos greides projetados.

Os greides foram projetados levando-se em consideração as recomendações da AREMA para o comprimento das curvas verticais convexa para linhas de segunda classe (pátios e ramais secundários) de 0,2% por estaca de 100 pés (30,48m) e considerado os aspectos do local. Outro detalhe a ser colocado, é que devido ao posicionamento dos AMV's, a posição das rampas e para minimizar a altura de levante foram utilizadas parábolas compostas.

TABELA DE CURVAS VERTICAIS										
Linha	Tipo	e	L	L1	L2	PIV	PCV	PTV	i1	i2
1	Convexa	0,21126	160,00	120,00	40,00	2+366	2+246	2+406	1,056%	0%
2	Convexa	0,20180	160,00	90,00	70,00	2+366	2+276	2+456	1,025%	0%

Figura 5 – Tabela com os dados das curvas verticais projetadas.

Com estes dados foi gerada uma caderneta de levantes que foi utilizada para implantar as referencias de topo de linha no campo para a correção geométrica. Tais valores para a linha 1 e linha 2 estão demonstradas na Figura 5. Apesar do paralelismo das vias, foram utilizadas curvas verticais distintas para minimizar os levantes.

LINHA 1						LINHA 2					
Estaca	PR	Cota Atual	Cota Greide	Levante(mm)	Observação	Estaca	Cota Atual	Dist Abs	Cota Greide	Levante(mm)	Observações
Poste	801,068	800,000			RN	Poste	800,000				RN
2+600	801,068	800,158	800,233	75		2+600	800,233	480,000	800,233	0	
2+580	801,068	800,158	800,233	75		2+580	800,218	460,000	800,233	15	
2+560	801,068	800,173	800,233	60		2+560	800,183	440,000	800,233	50	
2+555	801,068	800,180	800,233	53	PA	2+555	800,185	435,000	800,233	48	PA
2+540	801,068	800,213	800,233	20		2+540	800,170	420,000	800,233	63	
2+520	801,068	800,184	800,233	49		2+520	800,180	400,000	800,233	53	
2+499	801,068	800,180	800,233	53	PA T4 22A	2+499	800,173	379,000	800,233	60	PA T4 22A
2+488	801,068	800,186	800,233	47	PA 21 B	2+488	800,189	368,000	800,233	44	PA 21 B
2+460	801,068	800,200	800,233	33		2+460	800,200	340,000	800,233	33	
2+440	801,068	800,151	800,233	82		2+456	800,192	335,954	800,233	41	PTV i=0%
2+408=2+428	801,068	800,119	800,233	114	PA 21 A	2+440	800,162	320,000	800,2225173	61	
2+406		800,113	800,233	120	PTV i=0%	2+408=2+428	800,145	308,000	800,2008178	56	PA 21 A
2+400	801,068	800,097	800,229	132		2+400	800,120	300,000	800,1797622	60	
2+382	801,068	800,042	800,176	134	Saída de Curva	2+382	800,060	282,000	800,1131134	53	Saída de Curva
2+366		799,933	800,075	142	PIV e= 0.21126 L1= 120 L2=40	2+366	799,999	265,954	800,0312332	32	PIV e= 0.20180 L1=90 L2=70
2+360	801,068	799,892	800,027	135		2+360	799,976	260,000	799,9960196	20	
2+340	801,068	799,706	799,862	156		2+340	799,828	240,000	799,8648082	37	
2+320	801,068	799,498	799,687	189		2+320	799,688	220,000	799,7136663	26	
2+300	801,068	799,293	799,504	211		2+300	799,493	200,000	799,5425937	50	
2+280	801,068	799,088	799,312	224		2+280	799,305	180,000	799,3515907	47	
2+260	799,737	798,920	799,112	192		2+276	799,262	175,954	799,31053	49	PCV
2+246		798,786	798,965	180	PCV	2+260	799,090	160,000	799,1470001	57	
2+240	799,737	798,729	798,903	174		2+240	798,899	140,000	798,9420001	43	
2+220	799,737	798,535	798,691	156		2+220	798,677	120,000	798,7370001	60	
2+200	799,737	798,347	798,480	133		2+200	798,477	100,000	798,5320001	55	
2+180	799,737	798,148	798,269	121		2+180	798,283	80,000	798,3270001	44	
2+160	799,737	797,977	798,058	81		2+160	798,099	60,000	798,122	23	
2+140	799,737	797,795	797,846	51		2+140	797,857	40,000	797,917	60	
2+120	799,737	797,635	797,635	0	Entrada de Curva	2+120	797,712	20,000	797,712	0	Entrada de Curva
2+100	799,737	797,399	797,424	25	i=1.0563%	2+100	797,507	0,000	797,507	0	i=1.025%

Figura 6 – Quadro demonstrando os levantamentos necessários em cada estaca.

O perfil projetado foi implantado no trecho com suporte topográfico, conforme a Figura 7, e com a utilização de EGP's da manutenção da EFVM entre os dias 19 e 20 de janeiro de 2015.



Figura 8 – Equipe da VP EFVM realizando a instalação das referências de topo de linha na linha 1 da HBR.

Apesar da modificação ter sido implantada e ela ter garantido que o travessão 21 ficasse posicionado fora da curva vertical, tal medida não foi suficiente para garantir que as rodas não escalassem no contratrilho da chave 21B. Isto indica, que não só a curva vertical, mas a rampa anterior a ele também são determinantes para a questão apresentada. Uma vez que todo o trem está posicionado em uma rampa, e que está possui um inclinação considerável, o esforço trator aliado ao ângulo relativamente acentuado da chave 10 estaria provocando uma dificuldade do trem se inscrever no travessão em questão. Uma vez que não há possibilidade de se trabalhar a rampa no local visto que envolveria altos custos com



AEAMESP



terraplanagem e modificações até na linha principal do Ramal BH, o próximo passo seria considerar alterações na planimetria do local no sentido de se melhorar a inscrição do trem no circuito de chave estudado.

#### 4 MODIFICAÇÃO DO TRAVESSÃO 21 DA HBR

Uma vez esgotadas as possibilidades para melhorar o perfil na região do circuito de chave da HBR e que os trabalhos executados não ofereceram o resultado esperado, a opção a ser implantada consiste na melhoria das condições de inscrição do vagão no circuito de chave. Esta melhoria passa pelo aumento da razão de abertura do travessão 21 o que permitiria um raio maior na via desviada e conseqüentemente uma menor solicitação de esforços trem-via com a conseqüente minimização da possibilidade do rodeio escalar o contratrilho como tem ocorrido.

Esta modificação envolverá a modificação na curva existente na linha 1 e substituição do travessão existente. Será adotada a premissa de que o travessão 22 não será modificado, existe hoje uma tangente livre de 26,68m entre a PL do 21A e a saída da curva abaixo do circuito de chaves. Para encaixar um travessão 20 no local, que necessita de 110,708m de tangente, enquanto que um AMV 10 ocupa uma extensão de 56,370m, será necessária uma tangente de pelo menos 54,338m. Além disto, deve-se adotar uma distância de segurança entre a Ponta de agulha e o início da curva para proteger a entrada o AMV. Esta distância deve ser de pelo menos 10 metros, porém iremos trabalhar com a distância de 20m devido às incertezas dos levantamentos realizados. Durante a locação topográfica da nova geometria no campo, esta distância poderá ser reavaliada e diminuída se necessário sem perda de qualidade da solução. Tomando por base estes parâmetros, há a necessidade de se aumentar a tangente antes do AMV em 47,66m. Esta distância será obtida a partir da modificação da curva existente abaixo do circuito.

Conforme citado no capítulo 02, a curva existente local é uma curva de transição com os seguintes dados:

- Tipo de curva: Circular com ramo de Transição em Espiral;
- Raio: 454,730m;



AEAMESP



- Lc (Ramo de transição): 37,80m;
- Ângulo Central (Calculado):  $26^{\circ}23'26''$ .

Partindo desta informação, para gerar o comprimento na tangente necessário para encaixar o travessão 20 serão necessárias duas modificações nesta curva:

- Eliminação dos ramos de transição;
- Redução do raio até se alcançar a distância desejada na tangente existente.

A eliminação dos ramos de transição implica em piora nas condições de concordância da curva com a tangente adjacente. Porém, para a velocidade praticada no local (30km/h), as transições não gerarão problemas para a manutenção da via no local e nem restrições operacionais devido a isto.

A redução do raio será minimizada pela eliminação dos ramos de transição. Uma vez que é aumentada a distância necessária para a mudança de direção dos trens haverá abertura para implantação de raios maiores. Logo tais fatores não implicarão em problemas para a manutenção e a operação. A Figura 9 demonstra a diferença entre uma curva de transição e uma curva circular simples. A curva de transição é composta pelo arco TE-ET enquanto que a curva circular é composta pelo arco PC-PT. A curva de transição, apesar de ser responsável por uma melhor inscrição dos veículos na via e uma melhor distribuição de superelevação, ela tem o inconveniente de demandar mais espaço nas tangentes. Em condições restritas, como a que temos a necessidade de gerar em função da implantação do travessão 20, elas se tornam inviáveis.

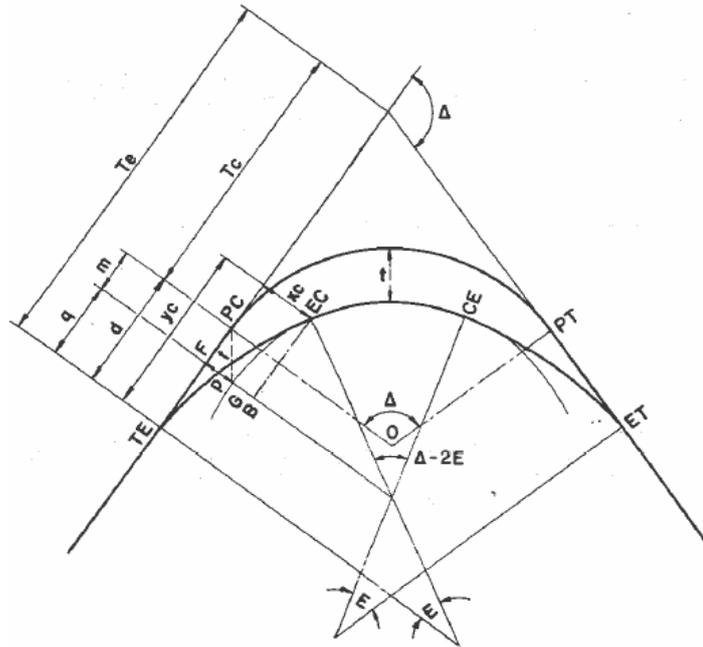


Figura 9 – Curva de transição e curva sem transição e seus elementos geométricos.

Levando em consideração estas restrições, foram realizados os cálculos e as simulações necessárias. Com isto, chegou-se a conclusão de que a curva de transição seria substituída por uma curva circular simples com o raio de 331,433m ( $G = 3^\circ 27'28''$ ) que permitirá a tangente necessária antes do travessão e deixando um, ainda, um espaço de 20m entre PL e a saída da curva.

Para aferir a melhoria realizada na região que necessita ser melhorada será utilizado o grau de curva, que é uma das formas de expressar em termos numéricos a curvatura. Ela é dada pelo inverso do raio. Quanto mais acentuada é a curvatura menor é o raio e, assim, pior é a condição de inscrição de um veículo na via. Zero consiste no valor da curvatura da tangente, melhor condição de inscrição.

O Grau de curva pode ser considerado uma forma de se medir a curvatura, porém, com um determinado multiplicador. A vantagem em utiliza-lo está no fato dele tornar os valores obtidos maiores que 1 o que facilita o trabalho com os dados, sem perder a proporcionalidade. No caso estudado será utilizado o grau para uma corda de 20m. Este conceito também pode ser aplicado para análise de AMV's. Geometricamente ele é constituído por duas curvas no sentido reverso. A primeira é a curva do trilho de ligação e a segunda é o raio equivalente. Este é calculado em função do comprimento da agulha e é o fator que é utilizado para se determinar a velocidade máxima de passagem em um AMV, por

exemplo. O raio equivalente é diretamente proporcional ao comprimento da agulha, ou seja, quanto maior a agulha melhor.

O gráfico da Figura 10 demonstra uma comparação da situação atual com a situação projetada para o travessão 21A do Brucutu. Como pode ser notado, apesar de uma piora na curvatura da curva abaixo do circuito que não representará problemas para a circulação e para a via, haverá uma melhoria significativa na curvatura nos AMV's. Esta melhoria implicará em melhor inscrição da via, com a conseqüente minimização da transferência de esforços do trem para a via uma vez que o traçado será melhorado. A Figura 11 demonstra uma comparação numérica dos raios e graus de curva na condição atual e na condição projetada.

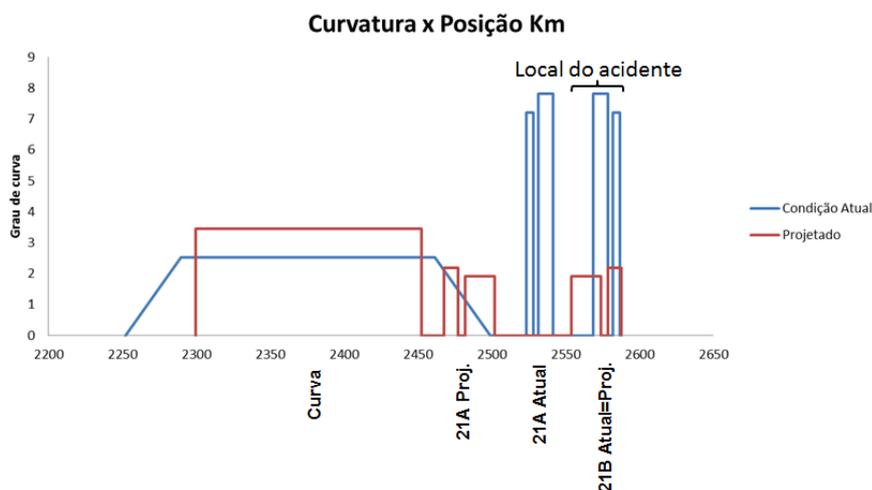


Figura 10 – Gráfico comparando as curvaturas atuais (Azul) e as curvaturas projetadas (Vermelho) para o local do acidente.



AEAMESP



Característica	Atual	Projetado
Número do AMV	10	20
Comprimento da Agulha(m)	5,029	9,144
Raio Equivalente(m)	159	527
Grau Equivalente (G20)	7,207547	2,174573055
Raio Desvio(m)	146,679	599,404
Grau Desvio (G20)	7,812979	1,911899153

Figura 11 – Quadro demonstrando as características que serão modificadas para garantir uma melhor inscrição no AMV.

Para implementar a melhoria proposta no local, serão necessárias à realização dos seguintes serviços em valores aproximados:

- Demolição de dois AMV's 10/68;
- Construção de dois AMV's 20/68;
- 250 metros de Puxamento de linha até 3,5m;
- 180 metros de Reconstituição e elevação de plataforma até 0,50 cm;
- 150 metros de construção de canaleta de aterro na seção de 30x30cm;
- Reposicionamento dos sinais de campo em 60 metros;
- 200 metros de abertura de valas para reposicionamento de cabos de sinalização.

O travessão 22 não será alterado para minimizar as intervenções no local.



AEAMESP



## 5 RH 201

O problema da RH 201 é semelhante às condições apresentadas pelo circuito de chave da HBR em Brucutu. O travessão está localizado em uma rampa 1,2% o que configura uma situação semelhante. A Figura 12 demonstra tal situação.

Desta forma, ele também necessita de melhorias do circuito de chave, ou seja, substituição do travessão. Porém, este local necessita de um estudo topográfico e técnico mais detalhado visto que provavelmente irá interferir no feixe de entrada do pátio de Costa Lacerda.

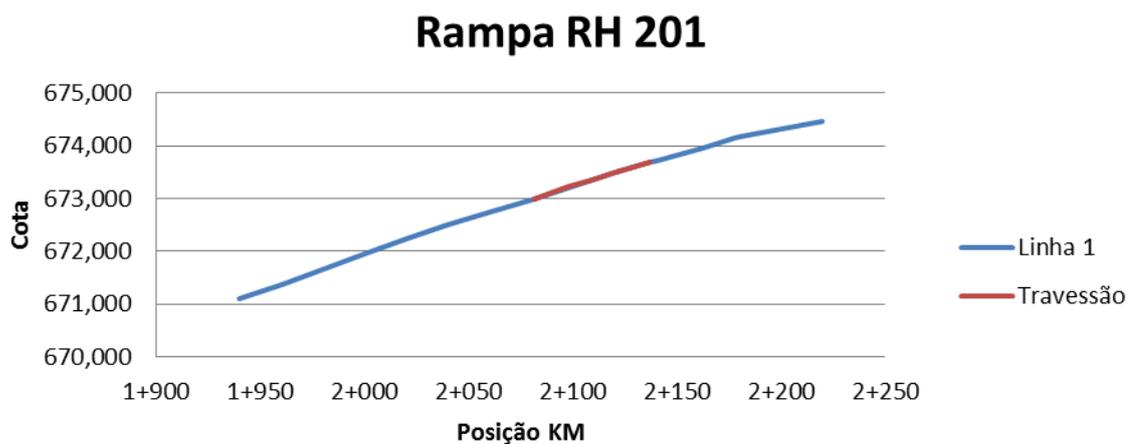


Figura 12 – Perfil na região da RH 201.



AEAMESP



## 6 CONCLUSÃO E RECOMENDAÇÕES

Uma vez estudada a condição do circuito de chave da HBR, mais especificamente o travessão 21, a sua geometria e as ocorrências no local foi verificado a existência de uma condição geométrica inadequada às demandas da operação ferroviária. Foram realizados estudos e intervenções no perfil da via que não foram suficientes para solucionar o problema. Com isto foi estudado e definido que a melhor forma de melhorar a condição da via no local é com a substituição do travessão existente, que possui razão de abertura de 1:10, para um novo travessão, com razão de abertura de 1:20. Também foram realizadas as análises e simulações geométricas necessárias para averiguar a viabilidade da implantação deste novo travessão que demanda mais espaço em tangente. Estas análises demonstraram a necessidade de se alterar o raio e a configuração da curva abaixo do circuito. Seus elementos foram definidos, fechando assim a conclusão de que é, tecnicamente, viável a instalação do novo travessão no local.

Apesar do fato de não existir requisitos de projeto e de manutenção que foram descumpridos. Existem recomendações da AREMA que, caso fossem observadas na etapa de projeto poderiam evitar o problema. Por se tratarem de recomendações não quer dizer que necessariamente deveriam ser seguidas pelos projetistas. Este é um exemplo clássico que demonstra a complexidade da dinâmica trem-via e seus desdobramentos, geralmente complexos. Tal fato dificulta a antecipação de certos problemas. Conhecendo tal fato, recomenda-se que todas as etapas dos projetos, independente do tamanho, sejam analisadas e validadas por todas as áreas envolvidas na operação da ferrovia (operação, manutenção, eletroeletrônica, via permanente, engenharia, etc.). Além disto, deve-se usar à exaustão as ferramentas de simulação disponíveis para otimizar os projetos e antecipar problemas antes da implantação do projeto.



AEAMESP



## 7 BIBLIOGRAFIA

AREMA. Practical Guide to Railway Engineering. Landover: AREMA, 2003. 565p.

BRINA, Helvécio Lapertosa. Estradas de Ferro. 1. ed. Rio de Janeiro: LTC, 1988. 152p.