



Assuntos Ferro-viarios

Pelo Ten. Cel. ARTHUR PANPHIRO

A titulo de curiosidade e como uma pequena contribuição ao estudo dos assuntos ferro-viarios, apresentamos a compilação a seguir, tirada do livro "Da resistência dos trens e suas applicações", publicado em Campinas em 1922 e da autoria do engenheiro C. W. Stevenson. Parece-nos tal estudo deverá interessar não só os ferro-viarios, mas tambem os officiais da 4.ª Secção do E.M.E.

CALCULO DA LOTAÇÃO DE UM TREM

1.ª Parte — CALCULO DA RESISTENCIA APRESENTADA PELA MÁQUINA, PELO TREM E PELA LINHA.

Para rebocar um trem a locomotiva terá que vencer:

- 1.º — as resistencias apresentadas pelo trem. Entende-se por trem o conjunto de carros por ela rebocados, chamado tambem **composição**.
 - 2.º — as resistencias apresentadas por ela própria.
- As resistencias apresentadas quer pela locomotiva, quer pelo trem são devidas:

- 1.º aos atritos provenientes do rolamento dos eixos, dos rebordos das rodas sobre os trilhos, à depressão momentanea que oferecem os trilhos à passagem dos veículos e mais ainda, na máquina, às resistências próprias ao funcionamento de qualquer máquina a vapor;

- 2.º — às resistencias oferecidas pelas curvas;

- 3.º — às resistências oferecidas pelo **grade** (rampa);

- 4.º — à resistência apresentada pelo ar atmosferico e pelo vento.

Assim, pois, a lotação capaz de ser rebocada por uma máquina não depende sómente do esforço de tração que ela pôde desenvolver, mas tambem da natureza da linha onde vae trafegar.

As resistencias enumeradas se traduzem no calculo pelas seguintes fórmulas:

a) PARA O TREM:

I) **Trens de cargas pesados e vagarosos ou de passageiros em trechos de fortes rampas.**

- 1.º) — Resistencias devidas aos atritos, tambem chamadas **resistencias normais**.

$$R_1 = 0,41 + \frac{84,5}{4 + P} \text{ kg/1000 kg.}$$

Esta fórmula dá a resistencia normal que cada carro oferece ao rolamento, resistencia esta expressa em o numero de quilos correspondente a cada tonelada do pêsô bruto (tara e carga) apresentado pelo carro. Nela: R_1 = resistencia normal; P = n.º de toneladas de pêsô bruto.

2) — Resistencias apresentadas pelas curvas:

$$R_2 = 0,2 + c \frac{100}{r} \text{ kg/1000 kg.}$$

Nesta fórmula: $c = a + b + 3,8$, sendo a = bitola da linha e b = base rigida dos truques; por variar pouco esta base pôde-se admitir na bitola de 1^m,00 para c o valor $c = 6$; r = raio da curva; R_2 = resistencia em quilogramos que, por tonelada de pêsô bruto do carro, êle apresenta em consequencia das curvas.

$$\text{Então: } R_2 = 0,2 + \frac{600}{r} \text{ kg/1000 kg.}$$

E' claro que para um longo trecho de linha, contendo varias curvas, se tomará para r o valor do menor raio, expresso em metros, pois corresponde à curva que oferece maior resistencia.

3.º) — Resistencias apresentadas pelo **grade**

$$R_3 = i \text{ kg/1000 kg.}$$

i é a inclinação da rampa em milímetros por metro e dá a resistencia em quilogramos por tonelada de pêsô bruto que o carro oferecerá para subi-la.

4.º) — Resistencias atmosfericas.

A resistencia apresentada pelo ar atmosferico e pelo vento é considerada insignificante para velocidades inferiores a 40 quilometros por hora.

Para velocidades maiores pôde-se empregar uma das fórmulas:

$$R_4 = 0,0052 V^2 \text{ kg/m}^2 \text{ (Zossen-Berlin)}$$

$$R_4 = 0,005 V^2 \text{ kg/m}^2 \text{ (American Locomotive Co.)}$$

$$R_4 = 0,024 V^2 \text{ kg/m}^2 \text{ (General Electric Co.)}$$

Nessas fórmulas: R_4 é a resistencia em kg, apresentada por metro quadrado de superficie frontal do trem; V é a velocidade do trem em quilometros por hora.

Como em geral não se leva em conta esta resistencia R_4 , teremos para resistencia total: $R = R_1 + R_2 + R_3$.

II) TRENS RAPIDOS E LEVES

a) Resistencias normais — Bitola larga:

$$R_1 = 1,5 + 0,05 V \text{ kg} / 1000 \text{ kg.}$$

Bitola estreita:

$$R_1 = 0,41 + \frac{84,5}{4+P} + 2,5 \left(\frac{V-25}{50} \right)^2$$

OU A FÓRMULA BALDWIN:

$$R_1 = 0,75 + \frac{53 + 0,6V}{P + 1} + 0,0002V^2 \text{ kg} / 1000 \text{ kg.}$$

V = velocidade em km. por hora; P = pêso bruto do carro em toneladas; R_1 = resistencia em kg. por tonelada de pêso bruto.

As resistencias R_2 , R_3 e R_4 medem-se pelas mesmas fórmulas anteriormente citadas.

b) PARA A LOCOMOTIVA

1.º) — Resistencias normais — Póde-se admitir para qualquer velocidade como expressão dessas resistencias o valor de 12 kg. por tonelada, de pêso aderente. Chamando R_1 esta resistencia em quilogramas e Q' o pêso aderente em toneladas, temos:

$$R'_1 = 12 Q' \text{ kg.}$$

Chama-se **pêso aderente** o pêso da locomotiva que é transmitido ás rodas motrizes. Esta resistencia R_1 se compõe de duas partes, uma a resistencia do mecanismo, outra a do rolamento, sendo a primeira cerca de 50% do total. Da resistencia do mecanismo está livre o esforço tangencial, atingido só pela do rolamento; assim considera-se como resistencia normal da máquina quando considerada como veículo de carater especial 6 kg/T, ou $R = 6 \text{ kg/T}$.

2.º) — Resistencia devida ás curvas:

Chama-se **degree** = D , o gráo americano correspondente á corda de 30 pés ingleses. Nas curvas a resistencia oferecida pela máquina é maior que a dos carros, podendo ser avaliada pela fórmula:

$$R'_2 = 1,5 D \text{ lb} / 2000 \text{ lb.}$$

Esta formula traduz a resistencia em libras para cada 2000 libras de pêso aderente.

STEVENSON, ADOTA A PRÁTICA DE HENDERSON, TOMANDO PARA A LOCOMOTIVA A MESMA RESISTÊNCIA DOS CARROS, por resultarem valores muito excessivos pelo emprego da outra fórmula. Isto por serem apertadas as curvas de nossas linhas.

3º) — Resistência devida ao grade $R'_3 = i Q'$. Multiplicar a taxa do grade em milímetros pelo peso aderente em toneladas.

4º) — Resistências atmosféricas $R'_4 = 0,0035 V^2 \text{ kg/m}^2$. Sendo V a velocidade da máquina em quilômetros por hora R_4 dá em quilogramas o valor da resistência por metro quadrado da superfície frontal da máquina.

Na bitola estreita esta superfície não vai além de 6 a 8 metros quadrados.

5º) — Resistências devidas aos truques da máquina e ao tender.

Além das resistências já consideradas ainda é preciso considerar as devidas ao truque ou truques da locomotiva e a devida ao tender.

Uma locomotiva poderá apresentar somente as rodas motrizes ou além destas um truque ou semitruque de guia sobre o qual ela apoia a parte dianteira dos longerões e mais ainda um semi-truque, um truque ou varios truques sobre os quais ela apoia a sua parte posterior (fornalha).

Calcula-se hoje a resistência dos truques e do tender como si se tratasse de veículos ordinarios de peso correspondente, devendo porém, a do tender ser contada a razão de 75% do total com carga completa de agua e combustivel.

2.ª Parte — CALCULO DO ESFORÇO DE TRAÇÃO APRESENTADA PELA MÁQUINA.

Para o caso dos trens de carga, em que a marcha do trem não pede velocidade elevada, o esforço trator máximo admissivel é dado em quilogramas pela fórmula:

$$E_3 = \frac{k p d^2 l}{D}$$

Nesta fórmula:

E_3 — esforço trator em quilogramas;

p — pressão de regimen da caldeira em quilogramas;

d — diametro dos cilindros em centímetros;

l — curso dos embolos em centímetros;

D — diametro das rodas motrizes em centímetros;

k — um coeficiente que exprime a relação entre o esforço máximo real e o esforço teorico.

Para o caso em que a velocidade dos embolos não atinge 75 metros por minuto faz-se: $k = 0,85$.

“Nas locomotivas desenhadas de acôrdo com as boas normas da pra-

tica, essa velocidade de embolos corresponde a cerca de 14 km. por hora nas máquinas de carga e 20 km/h nas de passageiros”.

A fórmula que dá a velocidade do embolo em metros por minuto em função da velocidade da máquina em quilômetros por hora é:

$$s = 10,6 \frac{IV}{D}$$

sendo s a velocidade do embolo; fazendo

$$s = 75, \quad v = 7 \frac{D}{l}$$

Quando se tratar de trens de passageiros em que a velocidade domina o problema, a fórmula que dá o esforço trato realizavel é:

$$E_4 = \frac{kk'pd^2l}{D}$$

em que k' é um coeficiente que decorre da grande velocidade que devem ter os embolos. Entra em jogo o valor de k' desde que a velocidade dos embolos torne-se maior que 75 metros por minuto.

Chamando S a area da superficie de aquecimento da caldeira expressa em metros quadrados, o coeficiente k' deverá entrar em jogo desde que a velocidade em km. por hora da máquina seja superior ou atinja ao valor:

$$V \leq 1100 \frac{S}{E_3} \text{ km/h.}$$

Não existem fórmulas praticas para dar o valor de k' , por isto que sua determinação é assás delicada, variando com muitos fatores.

Stevenson em a pagina 125 traz tres tabelas para determinação do valor em questão.

Póde-se tambem calcular o esforço de tração da máquina em função de seu pêso aderente. O trabalho produzido pelo vapor nos cilindros tem por fim em primeiro logar vencer as resistencias apresentadas pela locomotiva e pelo trem, em segundo, uma vez estas vencidas, produzir um esforço tangencial à circunferencia das rodas, no ponto de contacto com os trilhos. Desde que este esforço seja superior ao valor do atrito estático entre as rodas e a superficie de rolamento dos trilhos, dá-se o rola-

mento da roda e consequente movimento da máquina. Este esforço tangencial, chamado **aderência**, é dado pela fórmula:

$$E_1 = 1000 f O_2'$$

sendo: E_1 — esforço tangencial em quilogramas; e f o coeficiente de aderência.

O valor de f varia conforme se trate de trilhos secos, húmidos ou gordurosos, com a presença de corpos estranhos sobre os trilhos, etc. Seu valor cresce com a presença de areia sobre os trilhos, razão da existência nas máquinas do **areeiro**, dispositivo apropriado para largar areia sobre os trilhos. Stevenson indica para f os seguintes valores:

Em geral, nas condições normais da marcha 0,20.

Na iniciação do movimento ou em marcha lenta para determinar a lotação das máquinas: 0,25.

Póde-se também calcular o esforço de tração de uma locomotiva em função da potencia da caldeira em cavalos-vapor ou ainda da superficie de aquecimento dessa caldeira.

As fórmulas são: chamando N — potencia da caldeira em cavalos-vapor;

E_2 — esforço de tração dado pela capacidade da mesma em quilogramas;

S — superficie de aquecimento respectivo, em metros quadrados:

$$E_2 = \frac{270 N}{V}$$

$$E_2 = \frac{1260 S}{V}$$

Experiencias americanas dão como maior esforço, em média, desenvolvido por metro quadrado de superficie de aquecimento de caldeira, o valor de 4,67 cavalos-vapor, em se tratando de máquinas de simples expansão, vapor saturado.

LOCOMOTIVAS COMPOUND E DE VAPOR SUPER-AQUECIDO

Tudo quanto anteriormente dissemos com relação ao calculo do esforço trator se refere a máquinas de simples expansão, vapor saturado.

Outras são as fórmulas conforme se trate de máquinas **compound** ou de vapor super-aquecido.

As primeiras são as que empregam a multipla expansão de vapor. Essas máquinas se classificam conforme o numero de cilindros que contêm.

Assim temos máquinas de 2, 4 e 3 cilindros e ainda as formadas por dois grupos motores separados, constituindo duas máquinas distintas, articuladas (sistema Mallet).

Para o caso das máquinas de 2 cilindros pôde-se empregar uma das fórmulas:

$$E_{3c} = \frac{p'd'^2 + p''d''^2}{2D},$$

sendo p' e p'' as pressões médias nos cilindros de alta e baixa pressão, d' e d'' os diâmetros respectivos.

Chamando $p\phi$ a pressão da caldeira, p a pressão do reservatório que fica entre a caldeira e os cilindros, a qual é limitada e no geral igual a

6 kg. e $r = \frac{p\phi}{d'^2}$ obtemos a fórmula:

$$E_{3e} = 0,85 \frac{d'^2}{D} \frac{p + (r-1)p\phi}{2}$$

Na prática adota-se a fórmula:

$$E_{3c} = \frac{k''pd''^2}{2D};$$

k'' é um coeficiente que depende de r ; em média

$$k'' = 0,55, \quad \text{donde } E_{3c} = \frac{0,55 p'd^2}{D}.$$

Para o caso das locomotivas de 4 cilindros emprega-se uma das fórmulas:

$$E_{3c} = \frac{1,1 pd^2}{D}$$

$$E_{3c} = \frac{0,55 p d''^2}{D}$$

O esforço trator em função da superfície de aquecimento da caldeira, dado que por metro quadrado dessa superfície corresponde a potencia 5,37 cv, é expresso pela fórmula:

$$E_{2c} = \frac{1450 S}{V}$$

LOCOMOTIVAS DE VAPOR SUPER-AQUECIDO.

No momento da partida ou com pequena velocidade o esforço de tração é o mesmo que o desenvolvido nas máquinas de vapor saturado; quando a velocidade cresce faz-se então sentir os bons efeitos do vapor super-aquecido

Para este caso toma-se a fórmula que dá o esforço trator em função da caldeira Para S dá-se como valor a area da superficie de aquecimento da caldeira mais a area da superficie de super-aquecimento

Hoje em dia não se constróem mais locomotivas a não ser do tipo **compound** ou com super aquecedor

3.ª Parte — DADA UMA LOCOMOTIVA CALCULAR O PESO DO TREM QUE A MESMA PODE REBOCAR.

Si chamarmos:

E_u = esforço trator util da locomotiva, isto é, ao esforço efetivo na barra de atrelagem do tender ao trem;

P = peso bruto (tara e carga) do trem;

R = resistencia total oferecida pelo trem; para que um trem se possa manter em marcha normal é preciso que:

$$E_u = PR,$$

$$\text{daí } + P = \frac{E_u}{R} = \frac{E - Q R/t}{R}$$

sendo:

E = esforço trator desenvolvido pela pressão do vapor nos cilindros da máquina;

Q = peso bruto da locomotiva e tender.

R'_t = resistencia média da locomotiva e tender, dada em quilogramos por tonelada.

A ultima expressão dada resolve o problema.

Para exemplificar o exposto transcrevemos um exemplo dado por STEVENSON em a sua obra "Da resistência dos trens e suas applicações".

Trata-se de calcular a lotação máxima de um trem, para dado trecho de linha, tomando as condições mais pesadas do traçado e que lhe limitam a capacidade de transporte.

Foi escolhida a E. F. Mogyana entre as estações de Anhumas e Tanquinho e suposto um trem de carga.

Para poder resolver o problema é preciso conhecer as condições técnicas do traçado afim de obter-se a rampa máxima e o menor raio de curva.

Para o caso a rampa máxima era de 19,9 m/m por metro e o raio menor de 120^m,00.

A locomotiva era do tipo 140,40 S, isto é: tem um semi-truque guia, 4 eixos motores, não tem truque trazeiro, pêso aderente de 40 toneladas e é de vapor super-aquecido.

Suas características são:

Cilindros — 44,4 × 55,8 cm.

Rodas motrizes — 106,6 cm.

Superfície de aquecimento — 120 m²

Superfície de aquecimento total equivalente — 160 m²

Pressão normal da caldeira — 12,6 kg/m²

Pêso aderente — 40 T

Pêso do truque — 6,2 T

Pêso do tender carregado — 30 T.

ESFORÇO TRATOR

Embora se trate de uma máquina de vapor super-aquecido, como é o caso de um trem de carga e que portanto terá pouca velocidade, podemos empregar a fórmula para o caso das máquinas de simples expansão — vapor saturado. Vem então:

$$E_3 = \frac{0,85 \text{ pd}^2 \text{ l}}{D} = \frac{0,85 \times 12,6 \times 44,4^2 \times 55,8}{106,6} = 11000 \text{ kg.}$$

Como os trechos mais pesados da linha só podem ser vencidos pelos trens de carga com velocidades reduzidas, cumpre não contar sinão com o pêso aderente da locomotiva, visto como, em geral, a capacidade dos cilindros e a da caldeira, têm ampla margem sôbre a adherencia.

Assim temos:

$$E_1 = 1000 \text{ f Q.} = 1000 \times 0,25. \times 40 = 10000 \text{ kg.}$$

RESISTENCIAS OFERECIDAS PELO TREM.

Vamos supôr que o trem se compõe de vagons com o peso bruto de 30 T., cada um, temos para cada carro:

1.º — Resistencia normal:

$$R_1 = 0,41 + \frac{84,5}{4+P} = 0,41 + \frac{84,5}{4+30} = 2,9 \text{ k/T}$$

2.º) — Resistencia das curvas:

$$R_2 = 0,2 + \frac{600}{r} = 0,2 + \frac{600}{120} = 5,2 \text{ k/T}$$

3.º) — Resistencia do grade:

$$R_3 = i \text{ k/1000 kg} = 19,9 \text{ k/T}$$

Resistencia total de um carro = $R = R_1 + R_2 + R_3 = 28,0 \text{ k/T}$

RESISTENCIAS OFERECIDAS PELA MÁQUINA

1.º — Resistencia normal: $R'_1 = 6 \text{ kg por T de } Q'$

2.º — Resistencia das curvas: $R'_2 = 5,2 \text{ kg. por T de } Q'$

3.º — Resistencia do grade: $R'_3 = 19,9 \text{ kg por T de } Q'$

Dai: $R' = (R'_1 + R'_2 + R'_3) Q' = 31,1 \times 40 = 1244 \text{ kg.}$

4.º — Resistencia do truque = $R'' = \frac{1}{4}$ da resistencia do carro de 25 T. Temos então para o carro de 25 T:

$$\begin{aligned} R_1 &= 0,41 + \frac{84,5}{4+P} = 0,41 + \frac{84,5}{4+25} = 3,3 \\ R_2 &= \quad \quad \quad = \quad \quad \quad = 5,2 \\ R_3 &= \quad \quad \quad = \quad \quad \quad = 19,9 \\ R'' &= \dots\dots\dots 28,4 \text{ kg/T.} \end{aligned}$$

ASSIM PARA O TRUQUE A RESISTENCIA TOTAL E' DE

$$6,2 \times 28,4 = 176,08$$

5.º) Resistencia do tender = 0,80 da resistencia do carro de 30 T ou sejam 24 T. Podemos tomar a resistencia do carro de 25 T, já calculada o que virá ainda folgar mais o esforço trator da locomotiva.

Temos então: $R'' = 28,4 \times 24 = 681,6 \text{ kg.}$

A resistencia total da máquina, truque e tender é pois:

$$R_{10c} = 1244 \text{ kg} + 176,08 + 681,6 \text{ kg} = 2101,7 \text{ kg ou } R_{10c} = 2100 \text{ kg.}$$

CAPACIDADE DE TRACÇÃO:

$$E_u = E - Q R' = 10000 - 2100 = 7900 \text{ kg.}$$

Assim pois, a maquina é capaz na barra de ligação do tender ao trem de um esforço de tração de 7900 kg.

LOTAÇÃO DO TREM: Vimos anteriormente que cada carro apresenta ao seu rolamento na linha considerada uma resistencia de 28 kg. por tonelada; dividindo o esforço util de tração da máquina por 28, teremos então o numero de toneladas que a máquina pôde arrastar, isto é:

$$Z = \frac{7900}{28} = 282 \text{ T} \quad \text{ou} \quad \frac{282}{30} = 9 \text{ vagões}$$

Assim, pois, a máquina em questão pôde rebocar um trem composto de 9 vagões com o peso bruto de 30 toneladas.