

SIMULAÇÃO DE COMPOSIÇÃO FERROVIÁRIA EM CREMALHEIRA ACIONADA POR MOTORES DE INDUÇÃO E INVERSORES DE FREQUÊNCIA

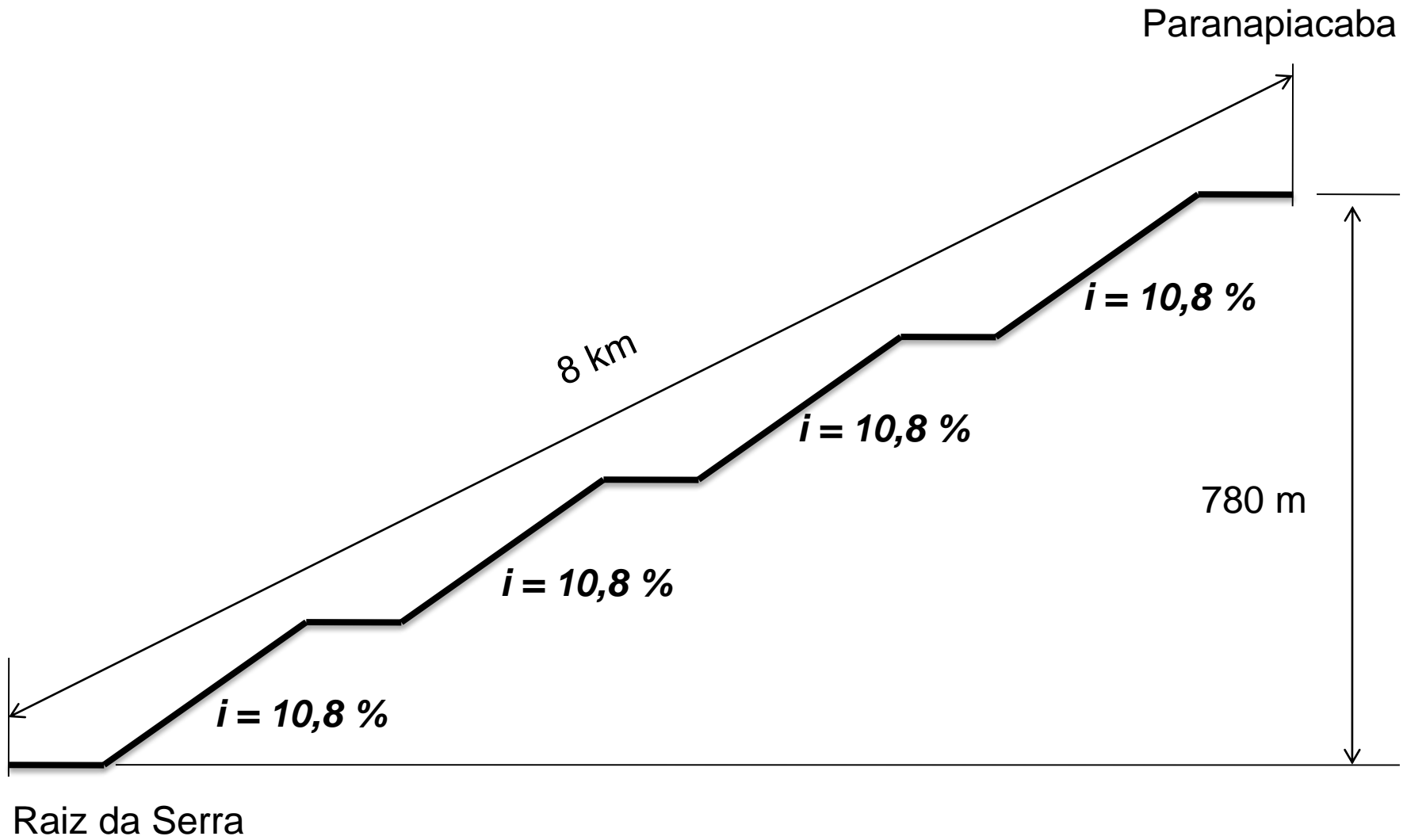
21ª SEMANA DE TECNOLOGIA METROFERROVIÁRIA, PRÊMIO
TECNOLOGIA E DESENVOLVIMENTO METROFERROVIÁRIOS

Mário Eiras Filho
Consultor Interno
Engenharia

Cremalheira



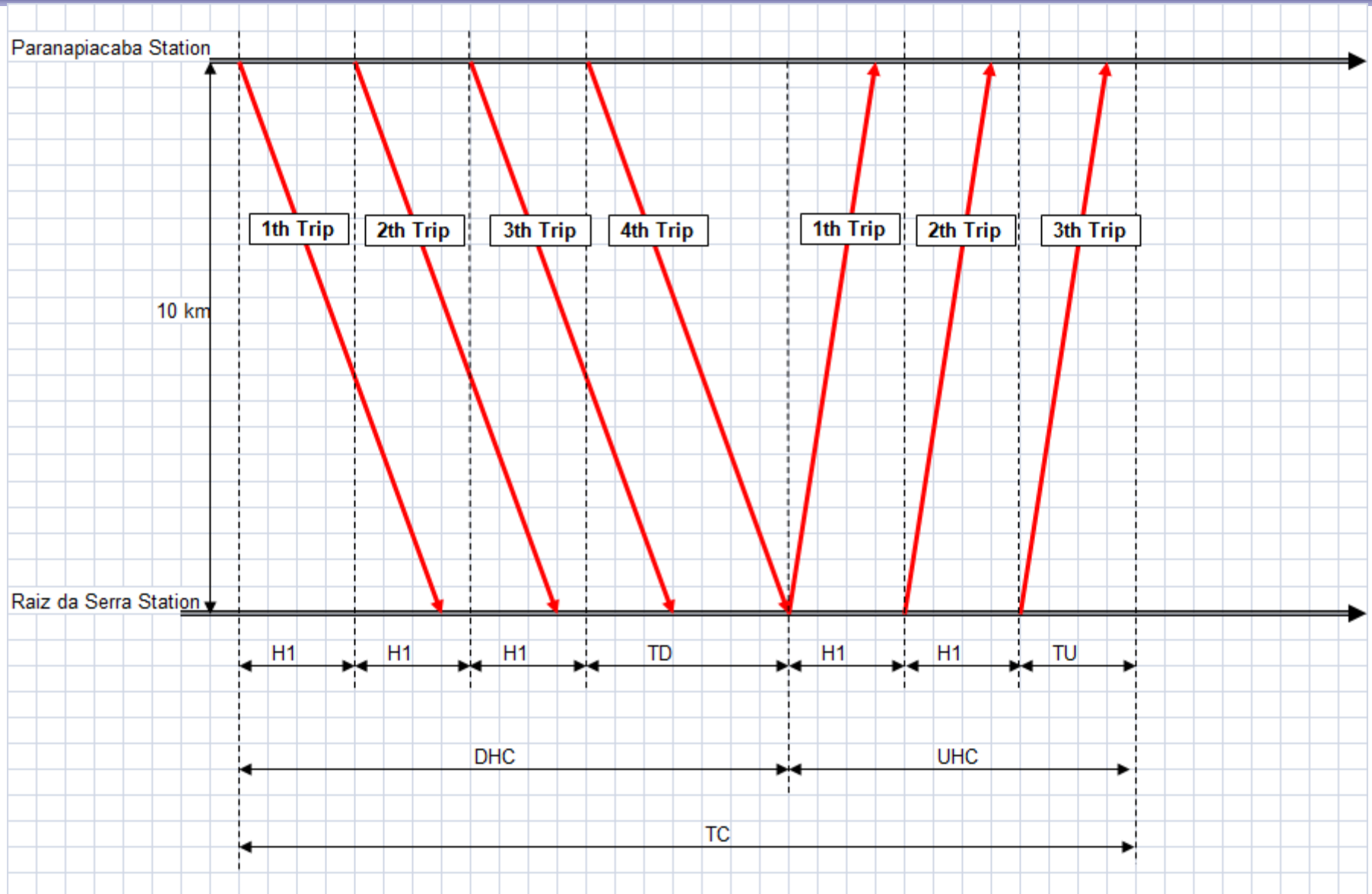
Cremaalheira



Cremalheira – Sistema Abt passo 120 mm



Cremlheira – Operação Otimizada



Cremaalheira – Operação Otimizada

| Tag | Descrição | minutes | Km/h |
|-----------|------------------------|-----------|------|
| H1 | Head Way | 6 | |
| TD | Tempo de Descida | 29 | 21 |
| DHC | Tempo de Descida Total | 47 | |
| TU | Tempo de Subida | 22 | 27 |
| UHC | Tempo de Subida Total | 34 | |
| TC | Ciclo | 81 | |



| | |
|---|------------------|
| Viagens por dia em um sentido | 71,3 |
| Eficiencia | 65% |
| Viagens por dia considerando eficiencia | 46,3 |
| Capacidade por viagem TB | 500 |
| Capacidade por dia | 23.170 |
| Capacidade anual TB | 8.457.100 |



Cremaalheira – O que tínhamos !

| Tag | Descrição | <i>minutes</i> | <i>Km/h</i> |
|------------|------------------------|----------------|-------------|
| H1 | Head Way | 6 | |
| TD | Tempo de Descida | 29 | 21 |
| DHC | Tempo de Descida Total | 47 | |
| TU | Tempo de Subida | 22 | 27 |
| UHC | Tempo de Subida Total | 34 | |
| TC | Ciclo | 81 | |



| | |
|---|------------------|
| Viagens por dia em um sentido | 71,3 |
| Eficiencia | 65% |
| Viagens por dia considerando eficiencia | 46,3 |
| Capacidade por viagem TB | 500 |
| <i>Capacidade por dia</i> | 23.170 |
| <i>Capacidade anual TB</i> | 8.457.100 |



Cremalheira – O que tínhamos !

❑ Velocidades

- Características físicas imutáveis da locomotiva, limitação da potência

❑ Capacidade

- Características físicas imutáveis da locomotiva, limitação da potência

❑ Eficiência

- Absolescência
- Confiabilidade declinante
- Peças de reposição – mercado

Cremaalheira – O que precisávamos !

| Tag | Descrição | <i>minutes</i> | <i>Km/h</i> |
|------------|------------------------|----------------|-------------|
| H1 | Head Way | 6 | |
| TD | Tempo de Descida | 24 | 25 |
| DHC | Tempo de Descida Total | 42 | |
| TU | Tempo de Subida | 20 | 30 |
| UHC | Tempo de Subida Total | 32 | |
| TC | Ciclo | 74 | |

| | |
|---|-------------------|
| Viagens por dia em um sentido | 77,8 |
| Eficiencia | 85% |
| Viagens por dia considerando eficiencia | 66,2 |
| Capacidade por viagem TB | 750 |
| Capacidade por dia | 49.622 |
| Capacidade anual TB | 18.111.892 |

Uma nova Locomotiva !!!!



- Mais Capacidade**
- Mais velocidade**
- Confiável**
- Segura**
- Tecnologia atualizada**
- Customizada**



$$F_{motor} - (R_{mpt} + R_c + R_i) = m \cdot k \cdot \frac{dv}{dt} \quad (1)$$

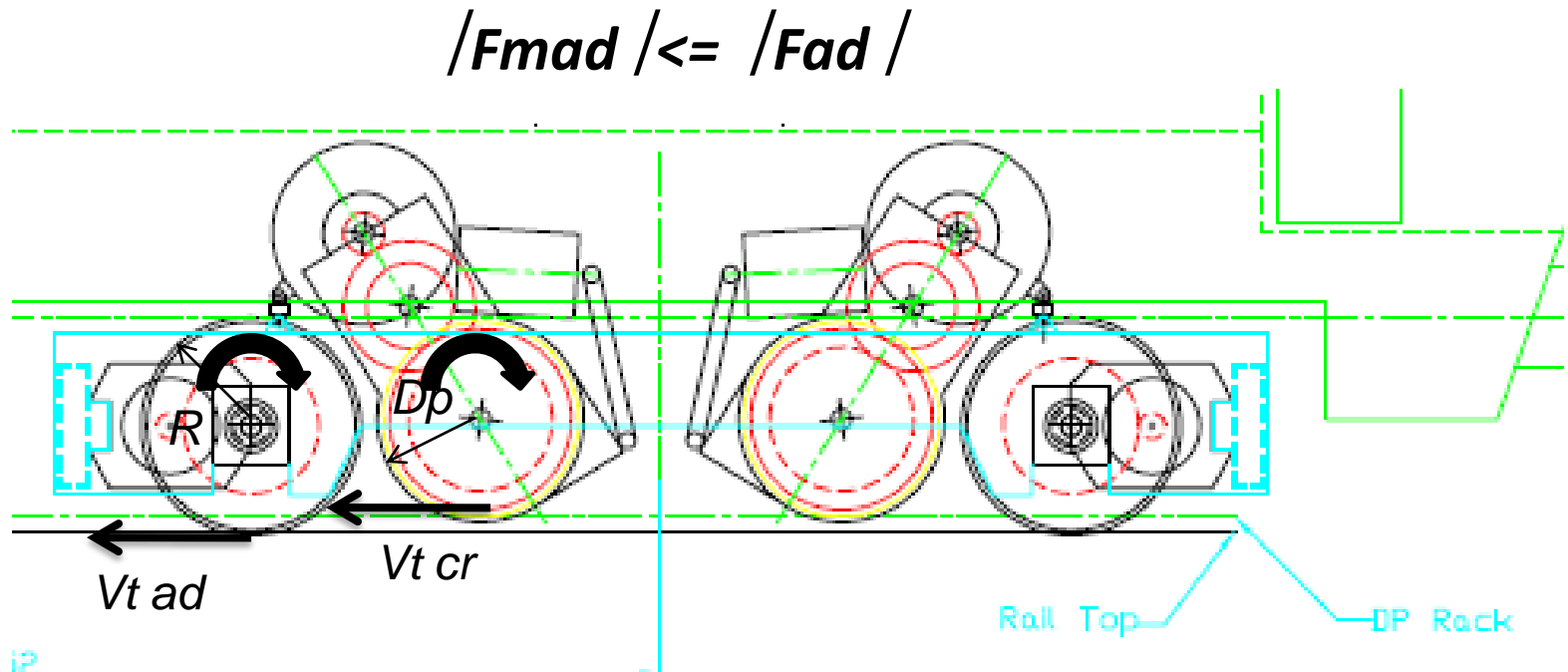
$$v = \int a \, dt \quad e \quad s = \int v \cdot dt \quad (2)$$

$$F_{motor} = F_{mcr} + F_{mad}$$

$$|F_{mad}| \leq |F_{ad}|$$

$R \Rightarrow$ Resistências ao avanço

Simulação Aspectos Técnicos Relevantes



$$Vt_{ad} = Vt_{cr}$$

$$\omega_{roda} \times R = \omega_{cr} \times Dp$$

Simulação Aspectos Técnicos Relevantes

Motores de Corrente Alternada



- Só Vantagens
 - Menores
 - Mais Robustos
 - Mais confiáveis
 - Inexistência de escovas de carvão
 - Manutenção Mínima
 - Simplificação dos sistemas de controle de velocidade por IF

Simulação Aspectos Técnicos Relevantes

Motores de Corrente Alternada



$$n = \frac{120 \cdot f \cdot (1 - s)}{2 \cdot p}$$

$$C = \Phi_m \cdot I_2$$

e que o fluxo depende da relação V_1/f_1 .

$$\Phi_m \sim \frac{V_1}{f_1}$$

| | |
|----------|--|
| Φ_m | = fluxo de magnetização [Wb] |
| I_2 | = corrente do rotor [A] |
| V_1 | = tensão estatórica [V] |
| f_1 | = frequência da tensão estatórica [Hz] |

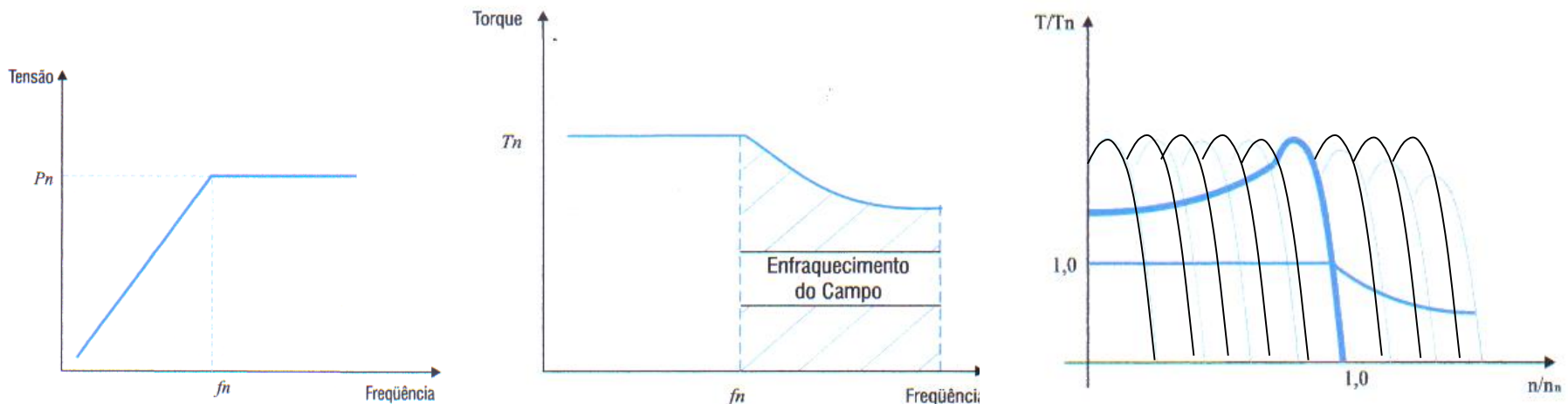
Simulação Aspectos Técnicos Relevantes

Motores de Corrente Alternada



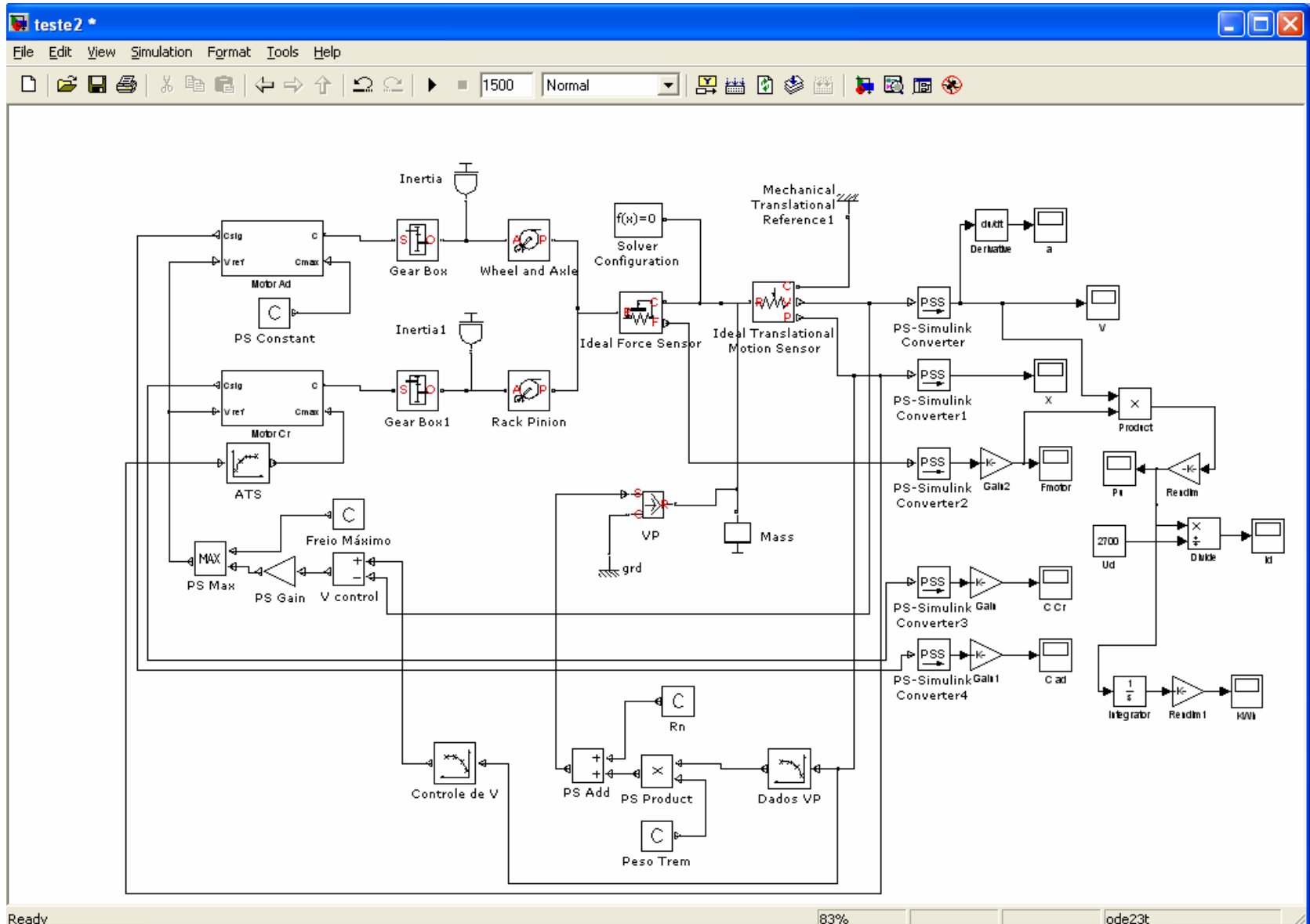
Para possibilitar a operação do motor com torque constante para diferentes velocidades, deve-se variar a tensão V , proporcionalmente com a variação da frequência f , mantendo desta forma o fluxo constante. A variação $V1 / f1$ é feita linearmente até a frequência base (nominal) do motor. Acima desta, a tensão que já é a nominal permanece constante e há então apenas a variação da frequência que é aplicada ao enrolamento do estator.

Com Isto determina-se uma área acima da frequência base (nominal) chamada região de enfraquecimento de campo, ou seja, uma região onde o fluxo começa a decrescer e, portanto, o torque também começa a diminuir.



Determinar as características de torque do MT será crucial

Simulação Aspectos Técnicos Relevantes MathLab - SimScape



Simulação - Entradas

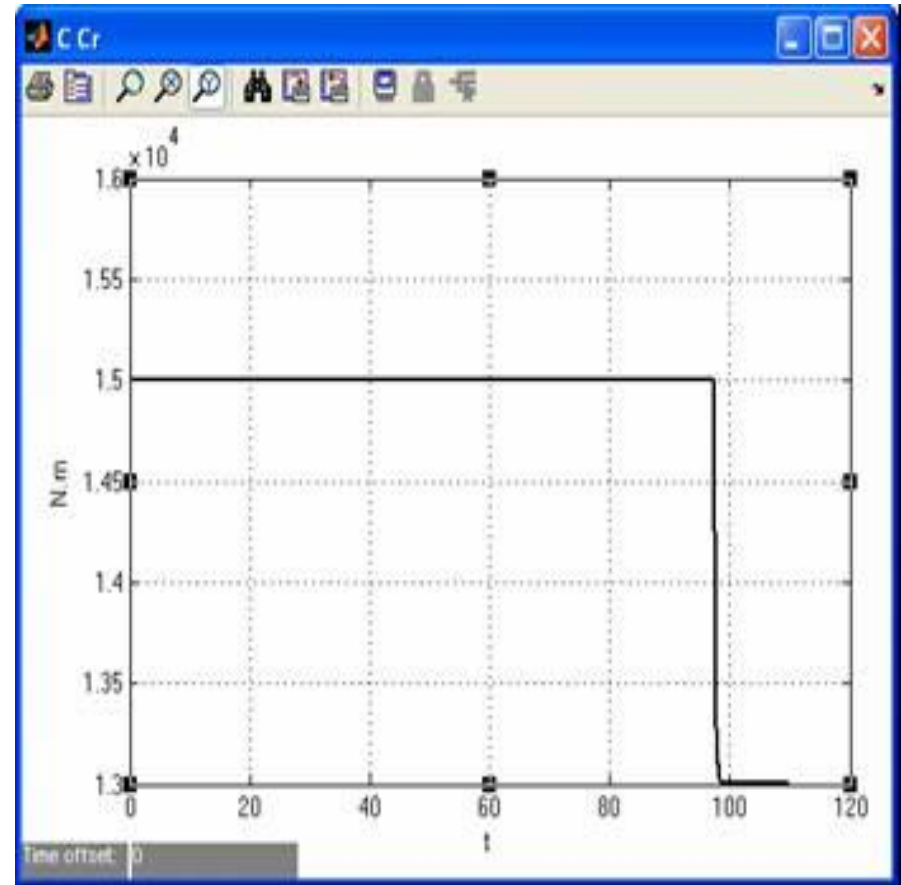
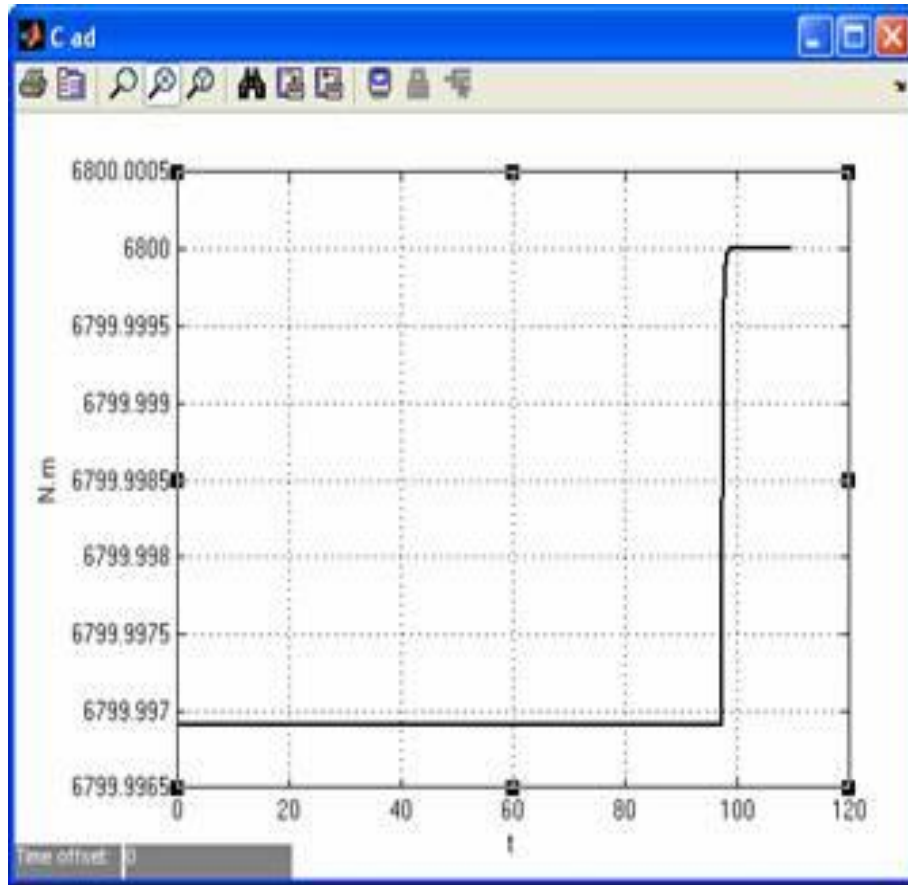


| <i>Vagões</i> | |
|---------------|---------|
| Lotação | 75 ton |
| Tara | 25 ton |
| PB | 100 ton |
| Peso/eixo | 25 ton |
| Área Frontal | 5 m2 |

| <i>Trem</i> | |
|-----------------|---------|
| Numero de Locos | 2 |
| Peso Composição | 990 t |
| Rampa | 10 % |
| Curva Raio | 2000 m |
| VMA | 30 Km/h |

| <i>Locomotiva</i> | |
|-------------------|--------|
| Peso Aderente | 120000 |
| Peso por eixo | 30 |
| Aderência | 26% |
| Max Fr aderente | 31200 |

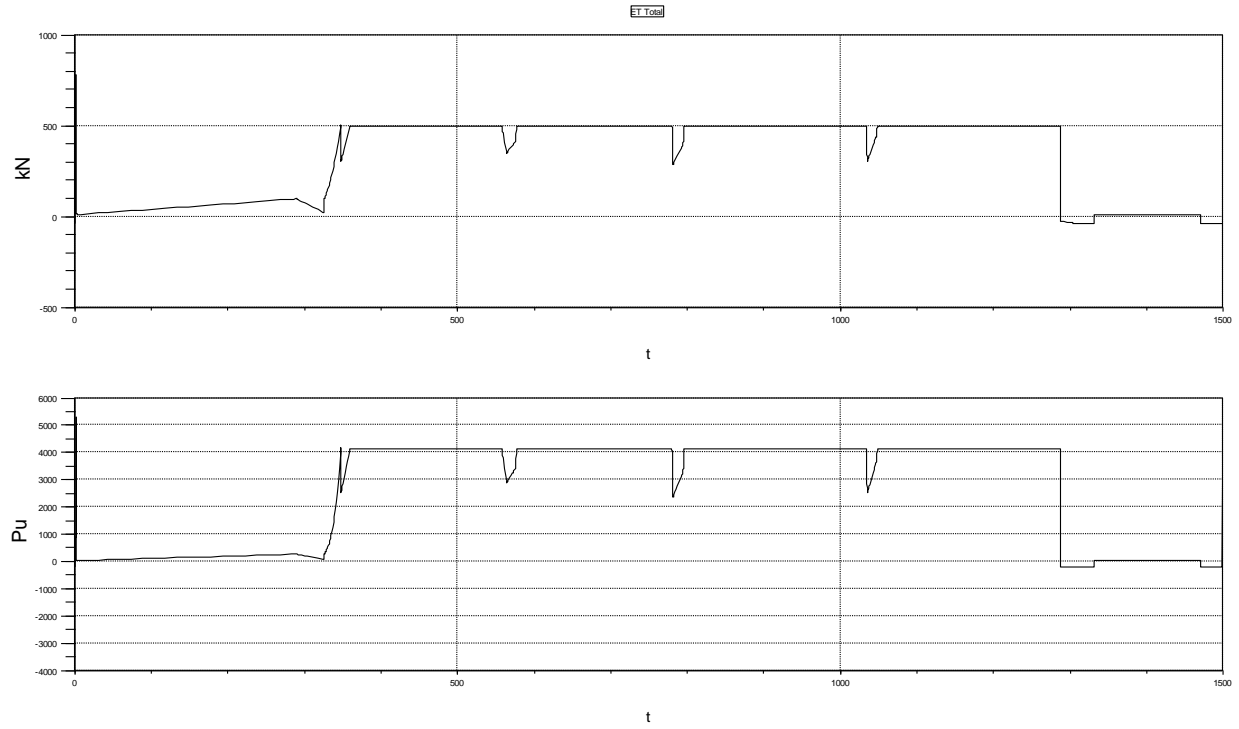
Simulação - Saidas



Simulação - Sairas



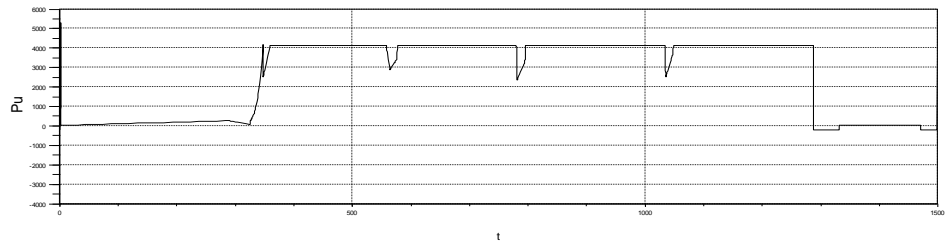
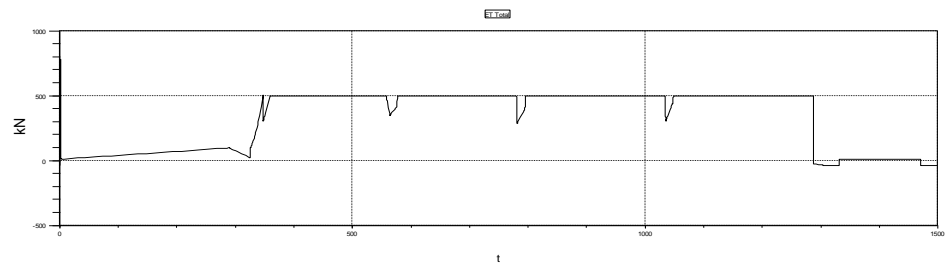
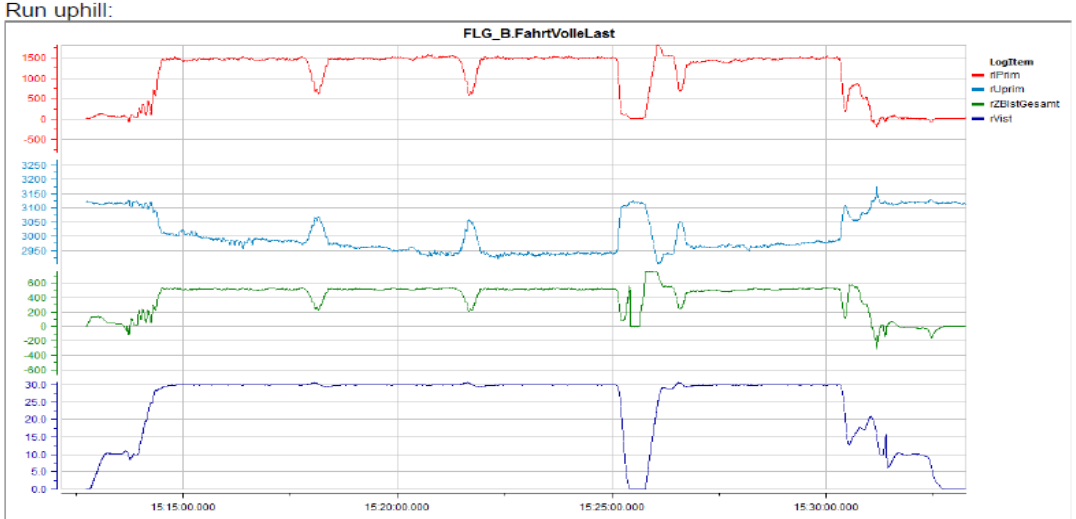
| | | |
|-------------------------------------|------|----|
| <i>Raio da Roda</i> | 565 | mm |
| <i>Dp Engrenagem de Cremalheira</i> | 1031 | mm |
| <i>Rel. Transmissão Cr</i> | 6,32 | Ad |
| <i>Rel. Transmissão Ad</i> | 6,91 | ad |



Simulação – Saídas - Especificação

| | |
|--|-----------------|
| <i>Esforço Trator Máximo Aderência</i> | <i>240 Kn</i> |
| <i>Esforço Trator Máximo Cremalheira</i> | <i>540 kN</i> |
| <i>Esforço Trator Máximo Total</i> | <i>780 kN</i> |
| <i>Esforço Trator Contínuo Aderência</i> | <i>140 kN</i> |
| <i>Esforço Trator Contínuo Cremalheira</i> | <i>400 kN</i> |
| <i>Esforço Trator Contínuo Total</i> | <i>540 kN</i> |
| <i>Potência Máxima Aderência</i> | <i>1540 kW</i> |
| <i>Potência Máxima Cremalheira</i> | <i>3760 kW</i> |
| <i>Potência Máxima Total</i> | <i>5300 kW</i> |
| <i>Potência contínua Aderência</i> | <i>1540 kW</i> |
| <i>Potência contínua Cremalheira</i> | <i>3000 kW</i> |
| <i>Potência Contínua Máxima</i> | <i>4540 kW</i> |
| <i>Conjugado máximo Motor Aderência</i> | <i>6,8 kN.m</i> |
| <i>Conjugado Máximo Motor Cremalheira</i> | <i>15 kN.m</i> |
| <i>Trem Tipo para Tração Dupla</i> | <i>750 Tb</i> |

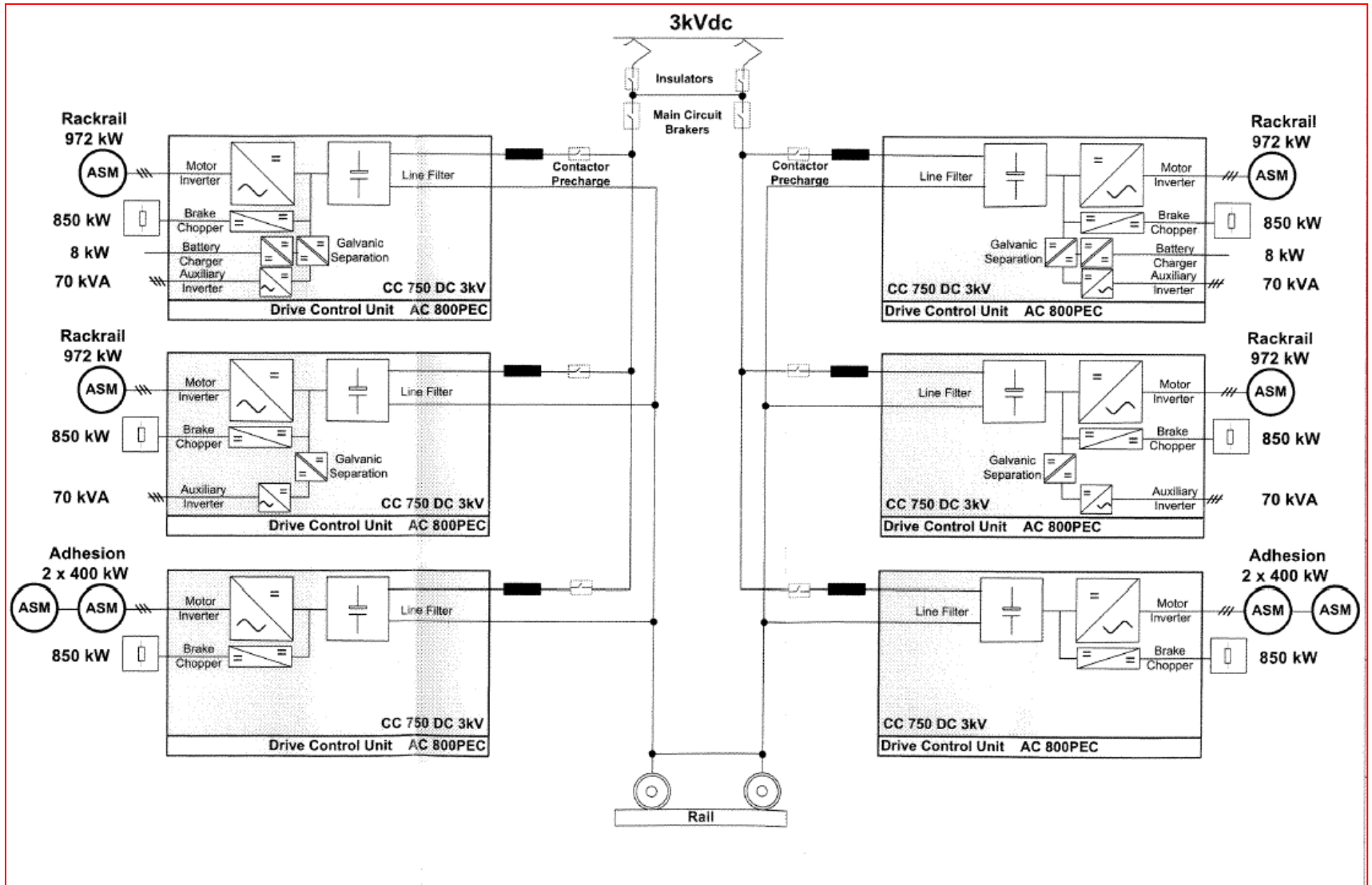
Simulação x Real



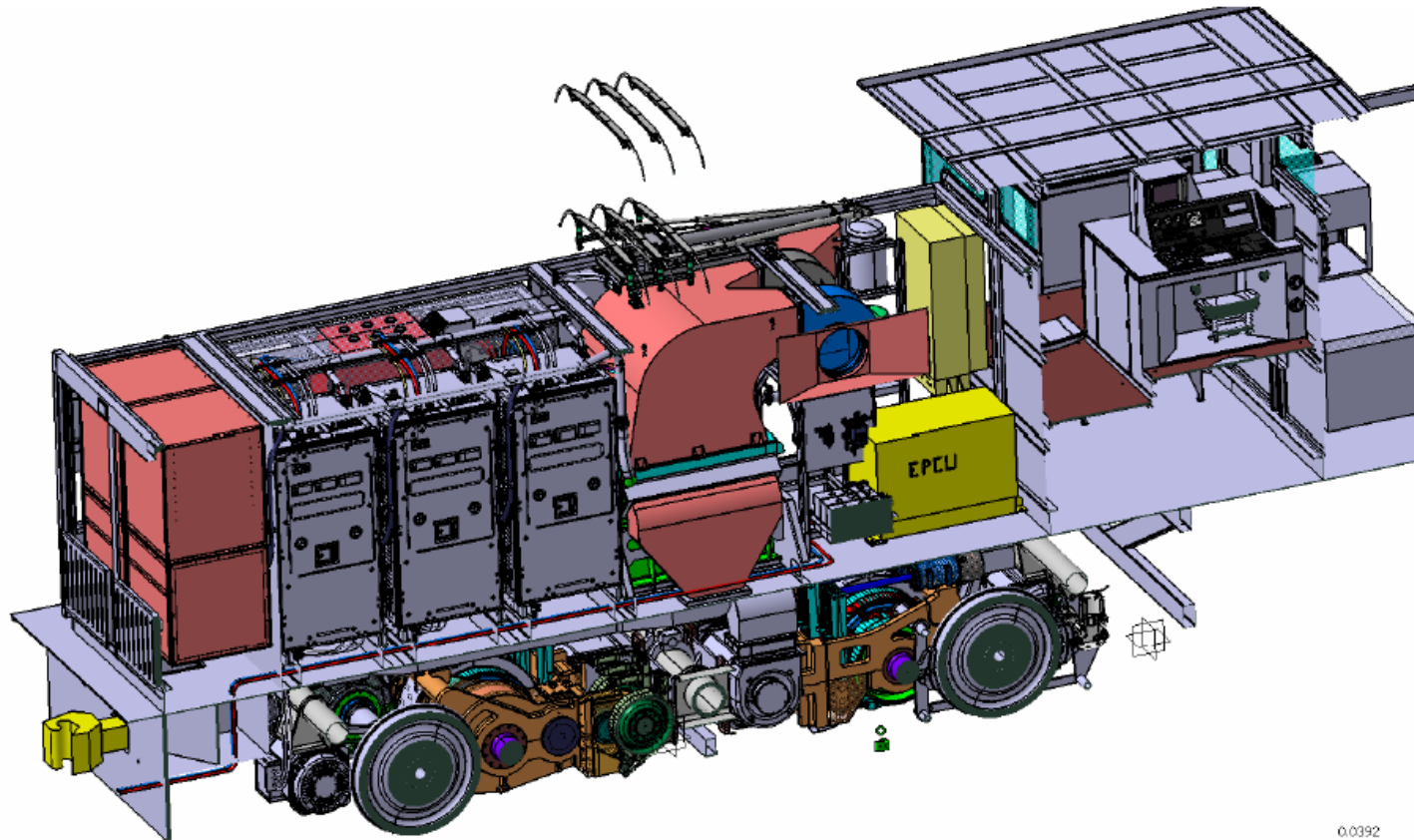
A locomotiva



A locomotiva

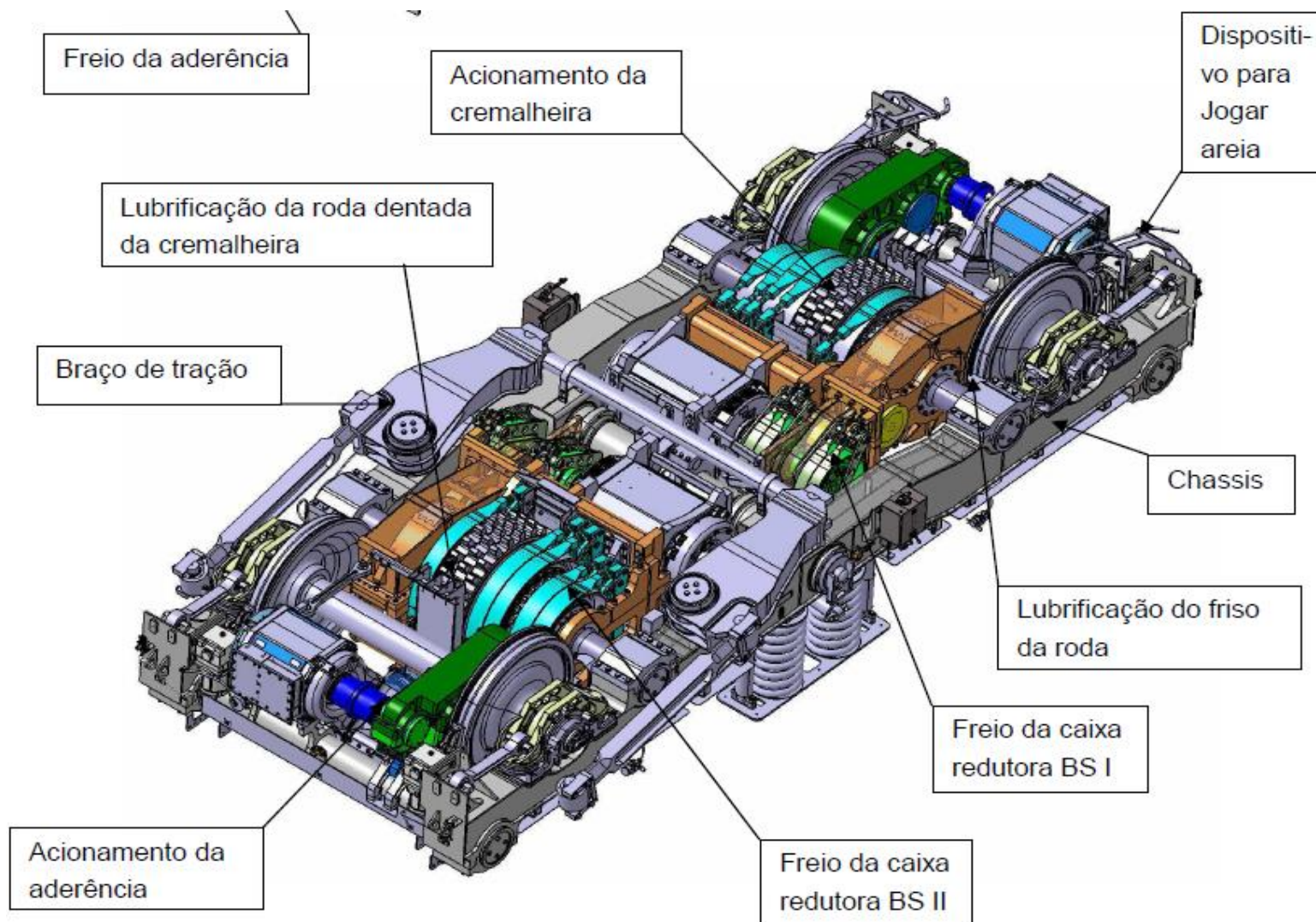


A locomotiva

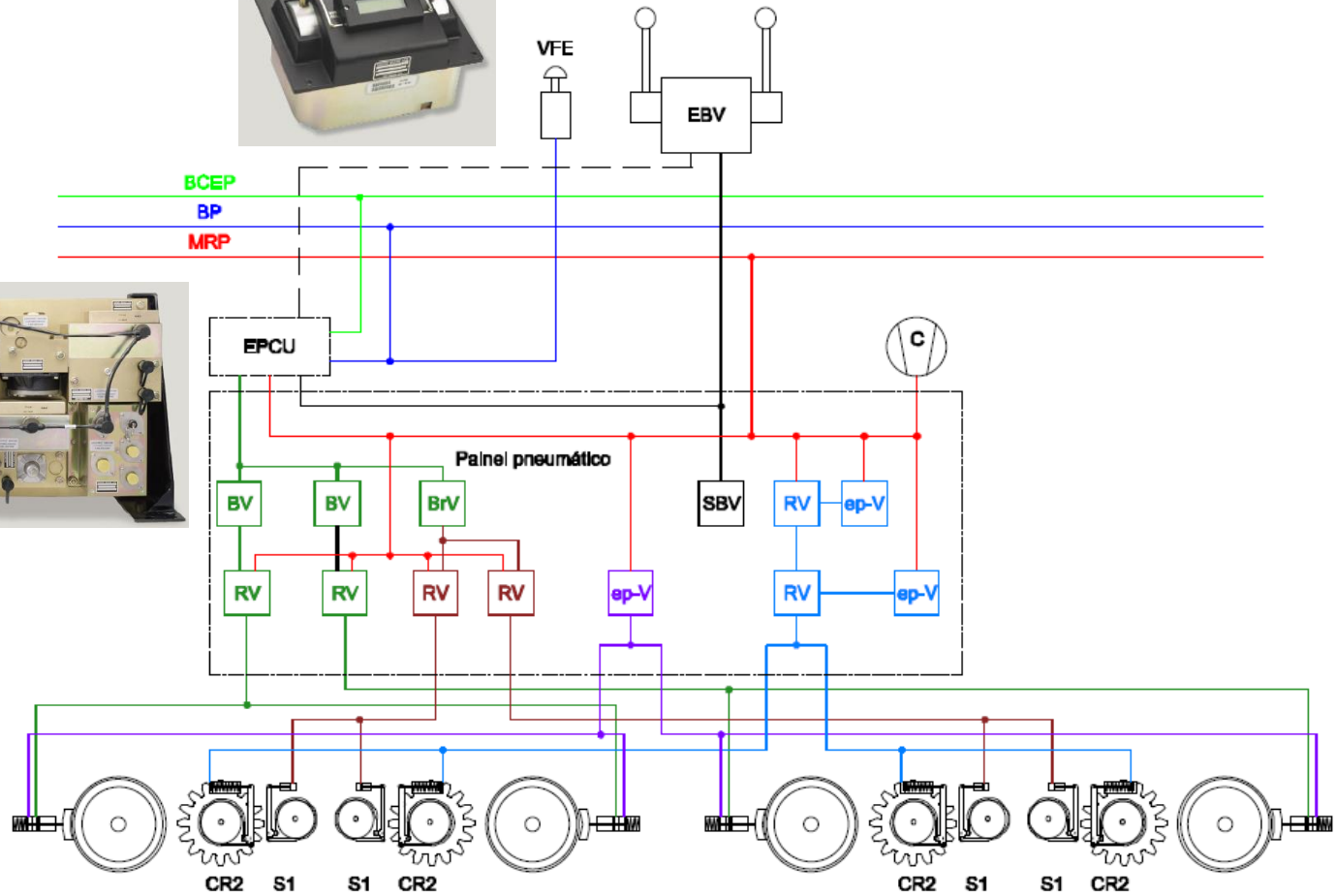


0.0392

A locomotiva



A locomotiva



A locomotiva



Vagão Gerador + Retif



- ATC da Ansaldo
- Registrador Hasler Teloc 1500
- RDS

OBRIGADO !