XVIII Encontro Regional Ibero-americano do CIGRE

Foz do Iguaçu - Paraná – Brasil, 19 a 23 de maio de 2019

# B5-8 - Análise dos Limites de Transmissão de Dados no Barramento de Processos


*Paulo Sergio Pereira Jr – Rodolfo C. Bernardino – Cristiano M. Martins – Paulo Sergio Pereira – Gustavo E. Lourenço*

CONPROVE

Brasil

# Resumo

- Este trabalho discutirá os **limites da transmissão de dados** no **Barramento de Processos**;
- **Ensaios** foram realizados com **malas de testes** simulando **MUs** para **demonstrar** o **comportamento da rede** e **a largura de banda consumida**;
- Questões abordadas: uso de **VLANs**, configuração do **frame SV** pela **9-2LE** ou **IEC 61869-9** e limite **número máximo** de **MUs** suportadas na rede;
- **Equacionamento** foi deduzido para **auxiliar** na análise de **otimização** do uso da **largura de banda** disponível da rede para o **Barramento de Processos**.

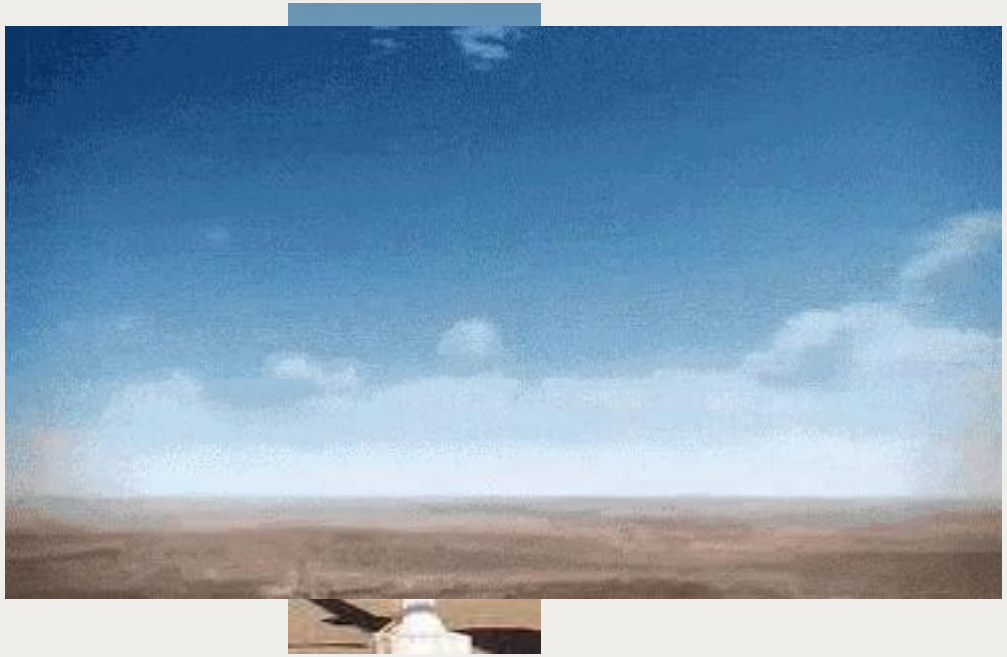
# Introdução

- O que são os **Sampled Values** segundo a IEC 61850-9-2;

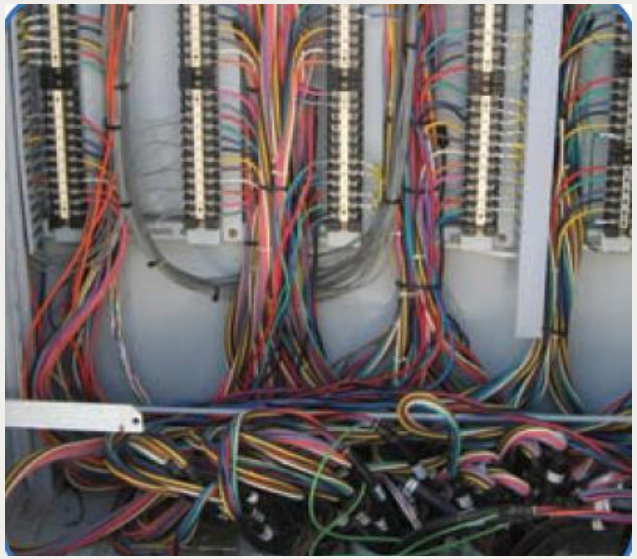
- Características principais dos **SV**: **padronização** (interoperabilidade), mensagens **multicast** (intervalo MAC definido em norma) e rodam na segunda camada da rede (**alta prioridade** – tempo crítico);

- **Vantagens** do Barramento de Processo ...

# Segurança



# Segurança



**VS**

Simplicidade
Economia

# Tempos de Transmissão e Larguras de Banda

- P/ SV: **Equívoco** considerar **apenas o tamanho dos pacotes** ao analisar a **largura de banda** -> abordagem simplista:
  - **SV** possuem **altas taxas de transmissão**, tempos de microssegundos entre os frames;

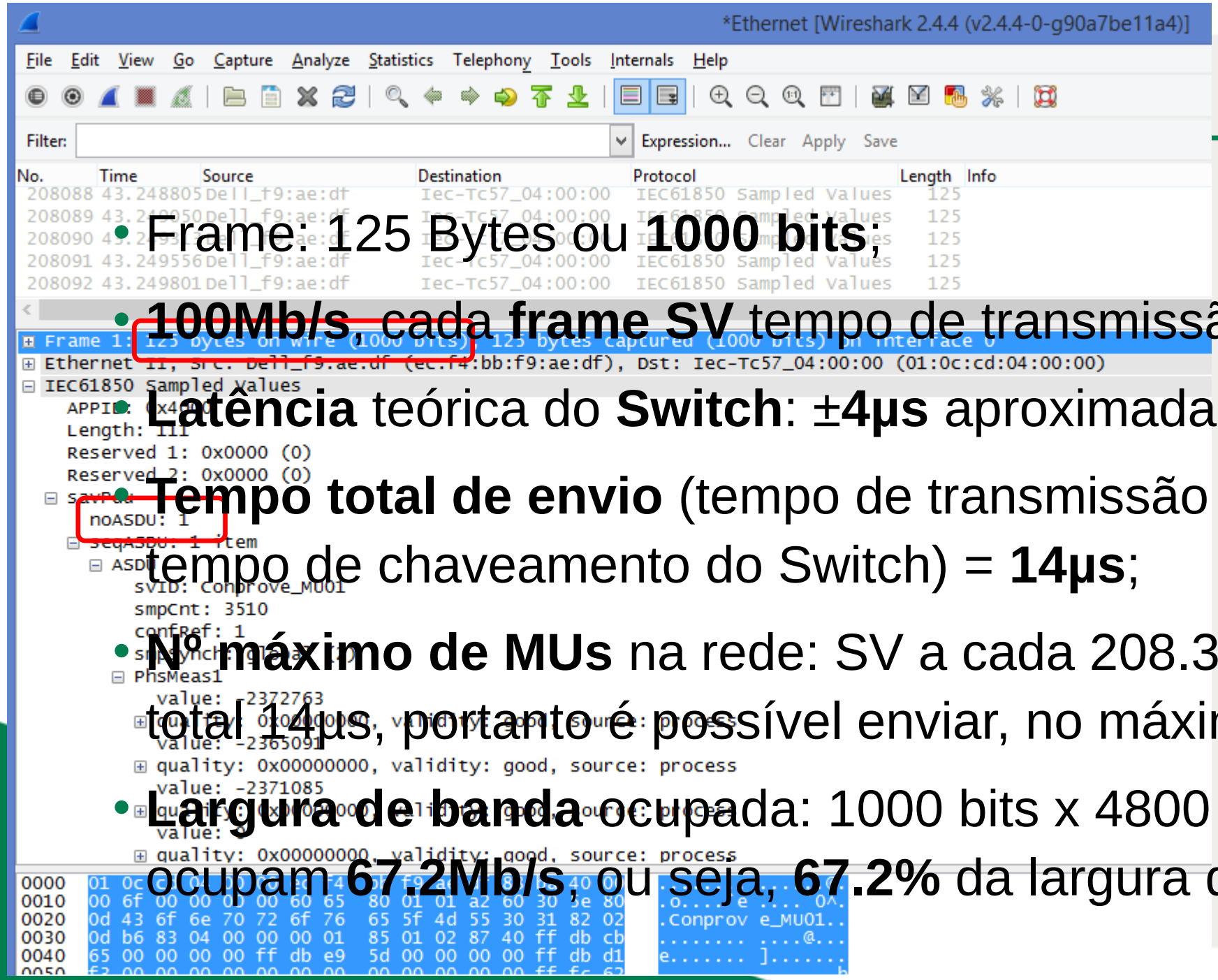
- Considerar **latência** de chaveamento do **Switch**:
  - **Frames grandes** (+- 1512 Bytes), a latência -> **desprezada**;
  - **SV** = ±10% dos 1512 Bytes, (**peq**.), e **taxa de transmissão alta**. Latência **não pode ser desprezada**.

# IEC 61850-9-2LE – Taxa de Transmissão

| Attribute Name | Value MSVCB01 | Value MSVCB02 | Comment |
|---|---|---|---|
| MsvCBNam | MSVCB01 | MSVCB02 | |
| MsvCBRef | xxxxMUnn/LLN0$MSVCB01 | xxxxMUnn/LLN0$MSVCB02 | |
| SvEna | TRUE / FALSE | TRUE / FALSE | Value is defined by configuration (see clause 7.3) |
| MsvID | xxxxMUnn01 | xxxxMUnn02 | **xxxxMUnn** is the LDName; **01/02** is the number of the MSVCB instance |
| DatSet | xxxxMUnn/LLN0$PhsMeas1 | xxxxMUnn/LLN0$PhsMeas1 | |
| ConfRev | 1 | 1 | |
| SmpRate | 80 | 256 | |

| Attribute Name | Value MSVCB01 | Value MSVCB02 | Comment |
|---|---|---|---|
| NoASDU | 1 | 8 | |
| MACDestinationAddress | | | Needs to be configured; the recommendations of [9-2], Annexe C shall be followed |
| OptFlds | | | |
| security | FALSE | FALSE | |
| data-set | FALSE | FALSE | |

4800Hz e 1ASDU: a cada **208.33µs** um novo frame SV deve ser transmitido!



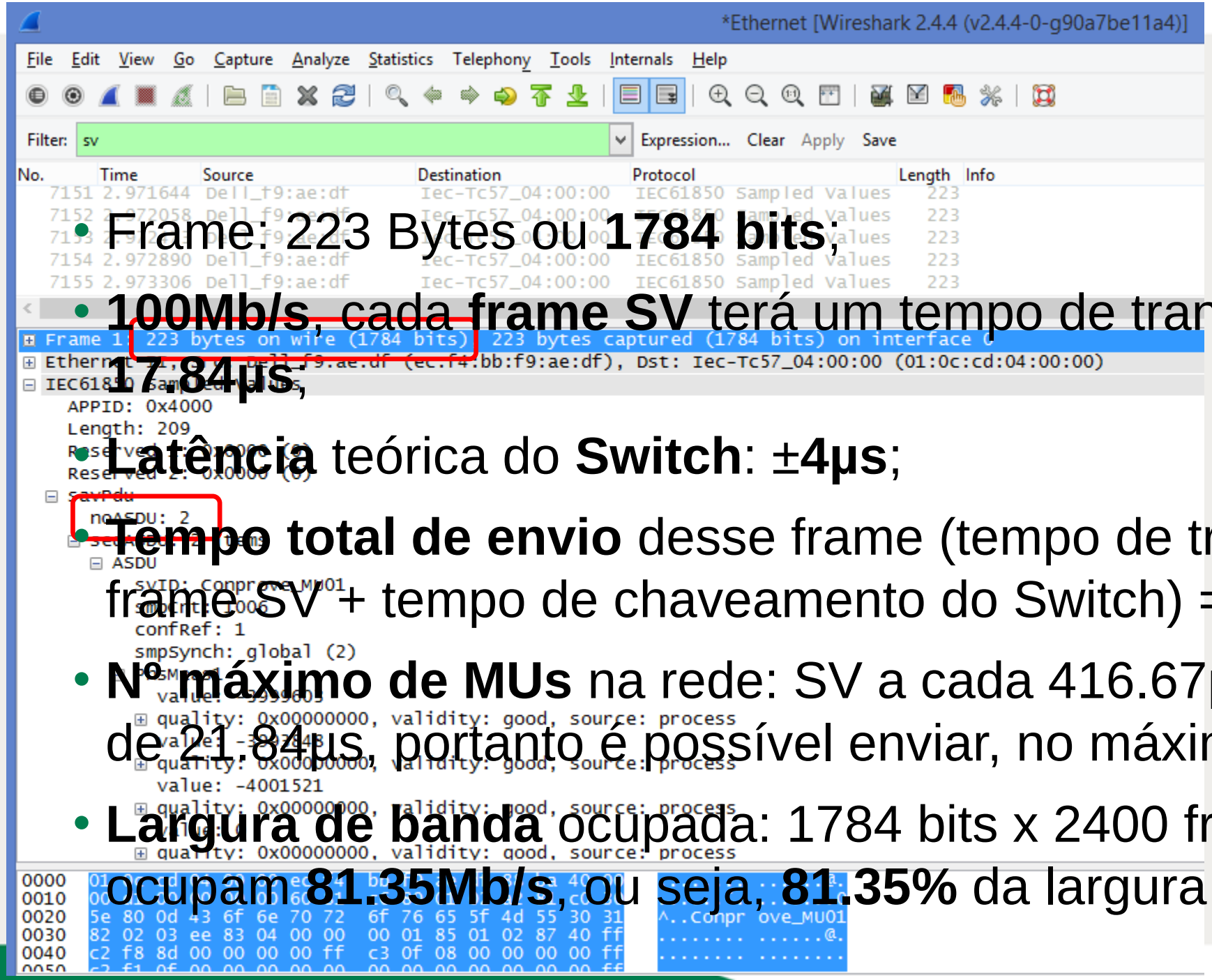

# -2LE

- Frame: 125 Bytes ou **1000 bits**;
- **100Mb/s**, cada **frame SV** tempo de transmissão de **10µs**;
- **Latência** teórica do **Switch**: ±**4µs** aproximadamente;
- **Tempo total de envio** (tempo de transmissão do frame SV + tempo de chaveamento do Switch) = **14µs**;
- **Nº máximo de MUs** na rede: SV a cada 208.33µs e o tempo total 14µs, portanto é possível enviar, no máximo, **14 MUs**;
- **Largura de banda** ocupada: 1000 bits x 4800 frames/s, 14 MUs ocupam **67.2Mb/s**, ou seja, **67.2%** da largura de banda.

# IEC 61869-9 – Taxas de Transmissão

| Digital output sample rates Hz | Number of ASDUs per frame | Digital output publishing rate frames/s | Remarks |
|---|---|---|---|
| 4 000 | 1 | 4 000 | For use on 50 Hz systems backward compatible with 9-2LE guideline. |
| 4 800 | 1 | 4 800 | For use on 60 Hz systems backward compatible with 9-2LE guideline, or 50 Hz systems backward compatible with 96 samples per nominal system frequency cycle. |
| 4 800 | 2 | 2 400 | Preferred rate for general measuring and protective applications, regardless of the power system frequency. |
| 5 760 | 1 | 5 760 | For applications on 60 Hz systems backward compatible with 96 samples per nominal system frequency cycle. |
| 12 800 | 8 | 1 600 | Deprecated, only for use on 50 Hz systems. |
| 14 400 | 6 | 2 400 | Preferred rate for quality metering applications, regardless of the power system frequency including instrument transformers for time critical low bandwidth d.c. control applications. |
| 15 360 | 8 | 1 920 | Deprecated, only for use on 60 Hz systems. |
| 96 000 | 1 | 96 000 | Preferred rate for instrument transformers for high bandwidth d.c. control applications. |

4800Hz e 2 ASDUs: a cada **416.67µs** um novo frame SV deve ser transmitido!

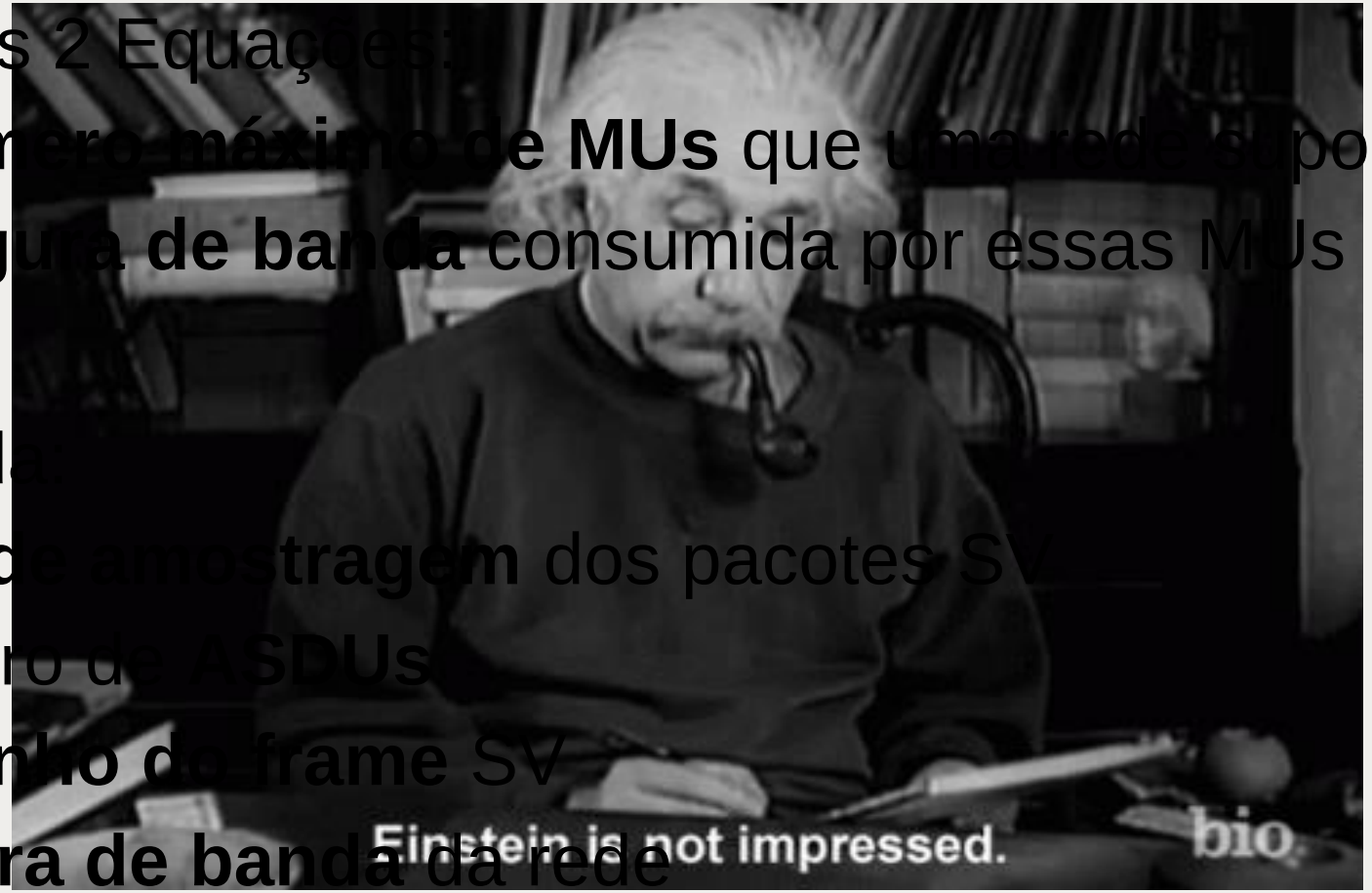



- Frame: 223 Bytes ou **1784 bits**;
- **100Mb/s**, cada **frame SV** terá um tempo de transmissão de **17.84µs**;
- **Latência** teórica do **Switch**: **±4µs**;
- **Tempo total de envio** desse frame (tempo de transmissão do frame SV + tempo de chaveamento do Switch) = **21.84µs**;
- **Nº máximo de MUs** na rede: SV a cada 416.67µs e o tempo total de 21.84µs, portanto é possível enviar, no máximo, **19 MUs**;
- **Largura de banda** ocupada: 1784 bits x 2400 frames/s, 19 MUs ocupam **81.35Mb/s**, ou seja, **81.35%** da largura de banda.

# Equacionamentos

- Deduções 2 Equações:
  - o **número máximo de MUs** que uma rede suporta
  - a **largura de banda** consumida por essas MUs

- Função de:
  - **taxa de amostragem** dos pacotes SV
  - número de **ASDUs**
  - **tamanho do frame** SV
  - **largura de banda** da rede
  - tempo de **latência do Switch**.



# Número Máximo de MUs e Largura de Banda Total

$$nMaxMU = \frac{\Delta tSV}{tEnv}$$

Onde,

$$\Delta tSV = \left(\frac{fAmost}{nASDU}\right)^{-1}$$

$$tEnv = \left(\frac{Lframe}{BWrede}\right) + tSW$$

Sendo,

$nMaxMU$ = número máximo de MUs na rede;
$\Delta tSV$ = período de transmissão entre os frames SV;
$tEnv$ = tempo total de envio de um frame SV;
$fAmost$ = taxa da amostragem dos frames SV;
$nASDU$ = número de ASDUs;
$Lframe$ = tamanho do frame SV em bits;
$BWrede$ = largura de banda da rede;
$tSW$ = tempo de latência do Switch.

$$BWmu = \left(Lframe * \frac{fAmost}{nASDU}\right) * nMaxMU$$

Sendo,

$BWmu$ = largura de banda total consumida pelo máximo de MUs na rede.

# Ensaios práticos e experimentos

- Testes: **demonstrar o comportamento da rede** e **largura de banda** consumida em diversas situações;

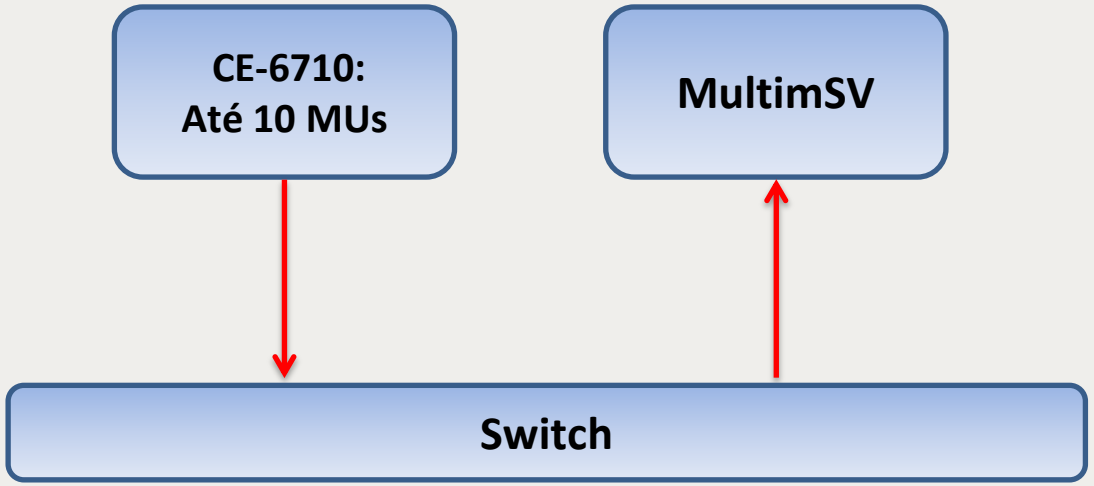
- Ensaios realizados tanto no contexto da:
  - **IEC 61850-9-2LE** frame com **1000 bits**
  - **IEC 61869-9** frame com **1784 bits**
  - Rede em **100Mb/s**

# Estrutura dos Testes

**Malas de testes** Conprove CE-6710 e CE-7024, **CE-GPS** (sincronismo temporal), o **Switch** Ruggedcom RS940G e um software para leitura SV, o Conprove **MultimSV;**

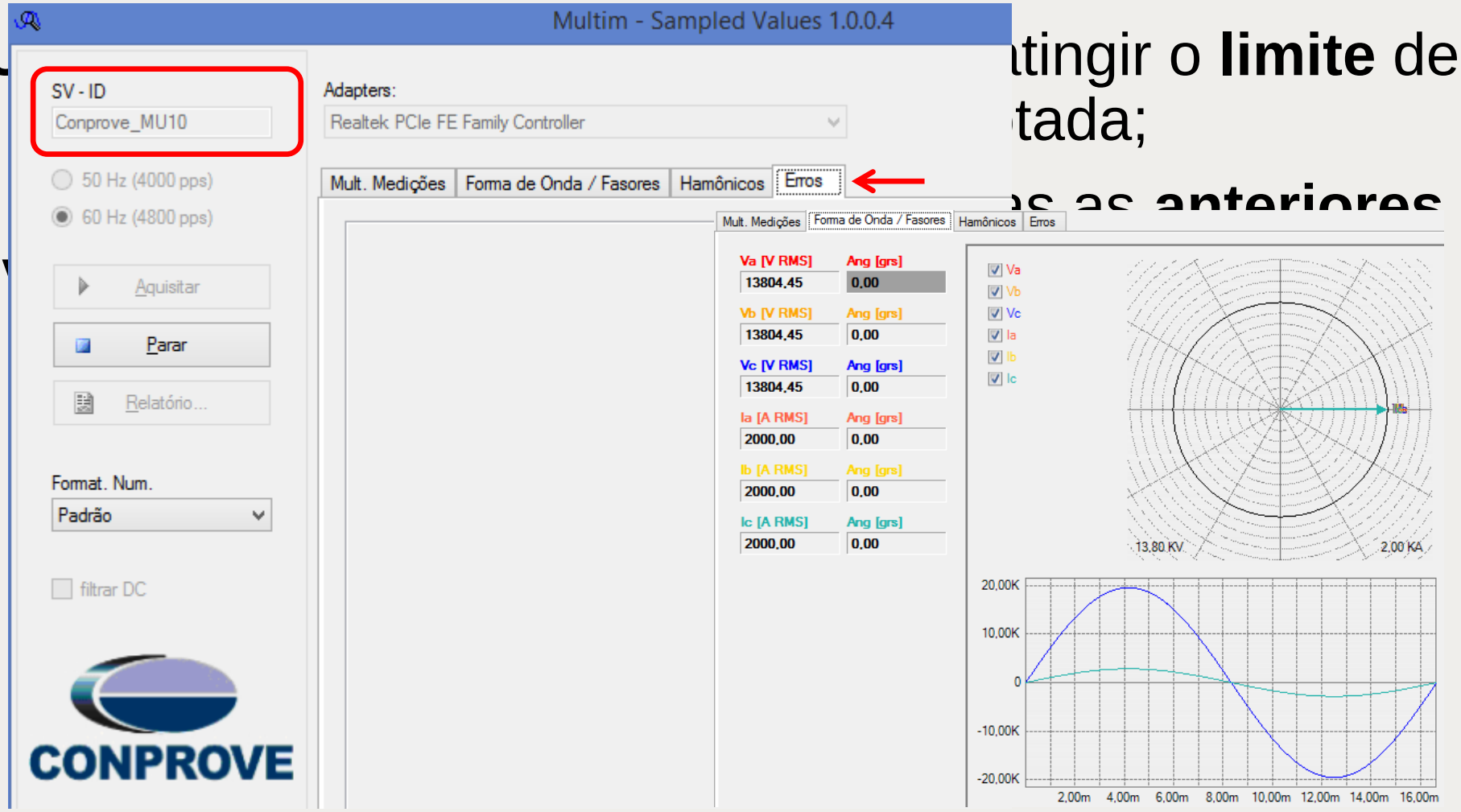
# Primeiro Ensaio

- Uma mala de testes CE-6710 enviando **até 10 MUs**, no formato da **9-2LE,** e **até 9 MUs**, no formato da **IEC 61869-9**, em uma porta do Switch;
- Em uma segunda porta do Switch, foi utilizado o software **MultimSV** para **monitorar** se foi possível ler todas as **MUs** enviadas.



# Resultados do Primeiro Ensaio

- As **MU** … atingir o **limite** de envio … tada;
- Cada … as **anteriores** eram … **svID**,

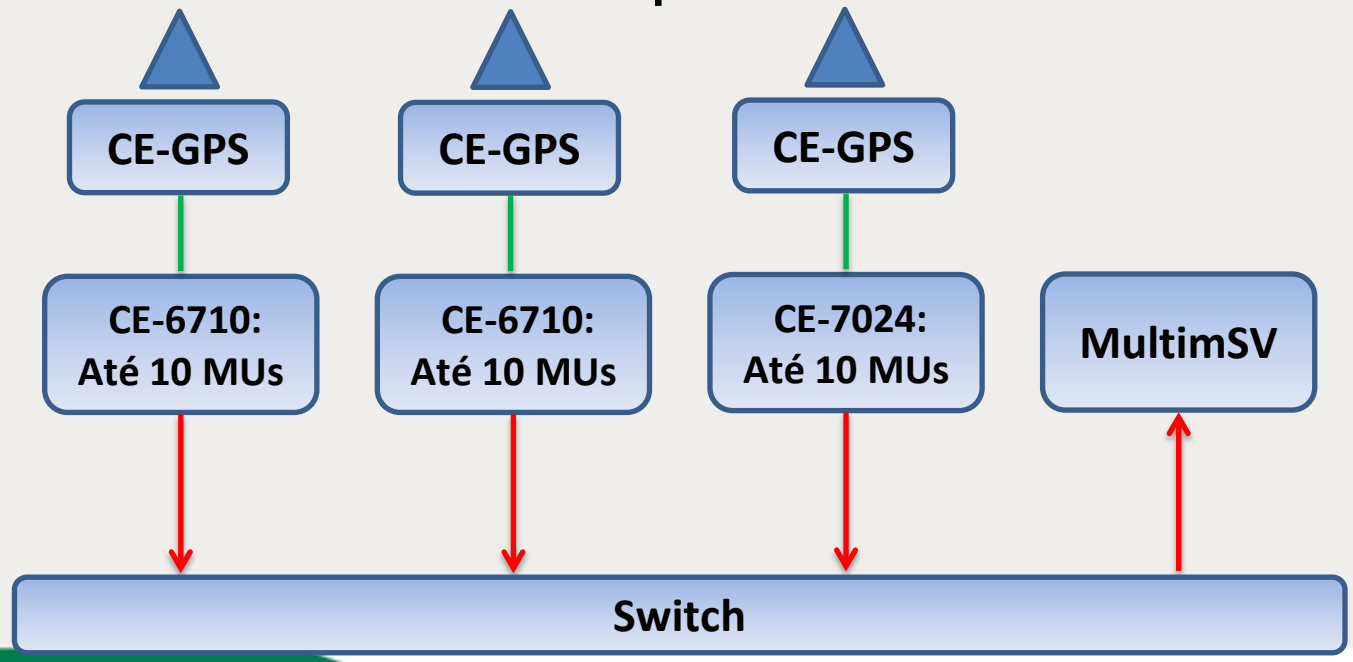


# Resultados do Primeiro Ensaio

- **Sem** perdas de pacotes, sendo que não foram registrados **erros de recebimento** dos frames SV de nenhuma MU, tanto pela **9-2LE** quanto pela **IEC 61869-9**.

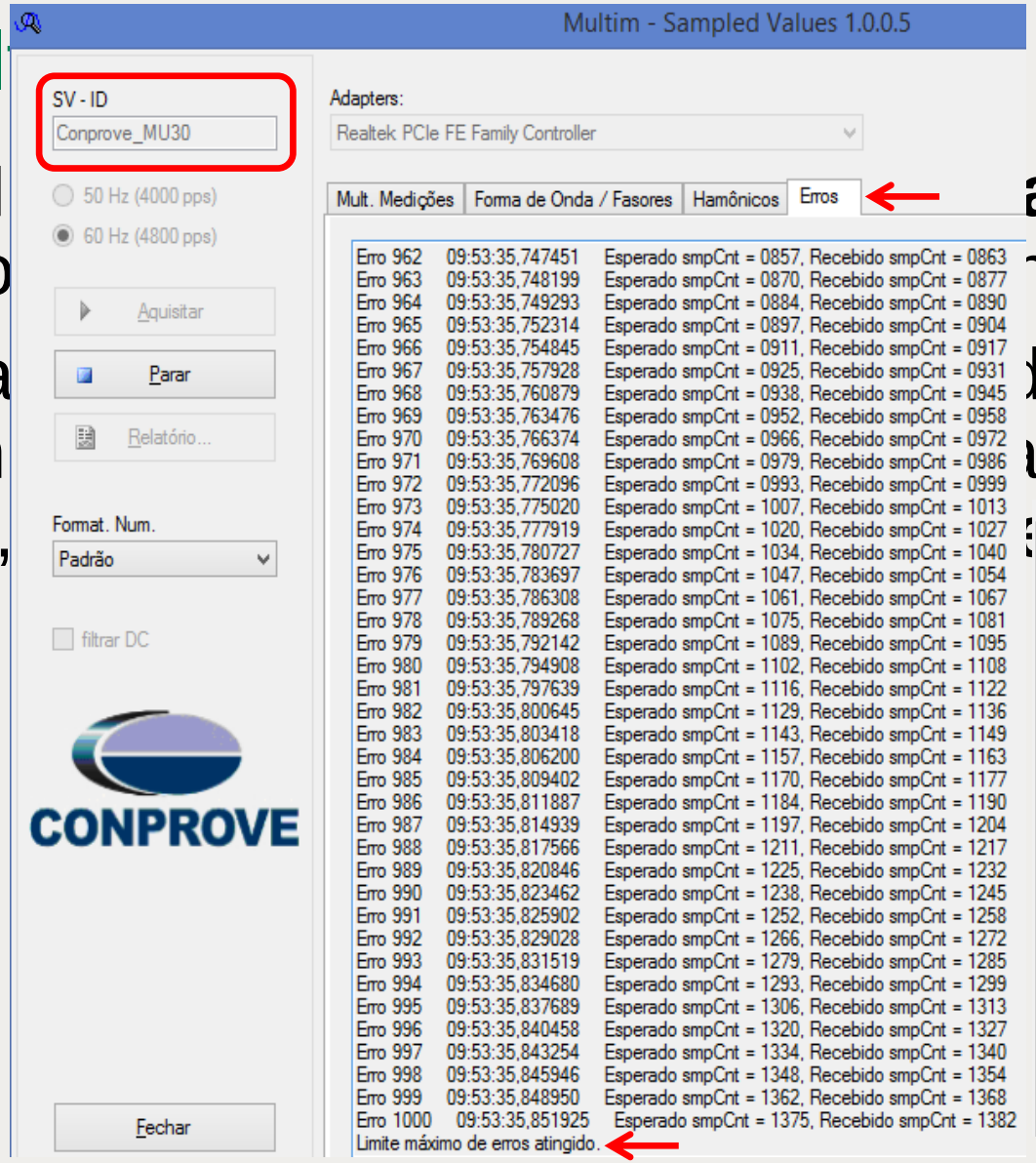
# Segundo Ensaio

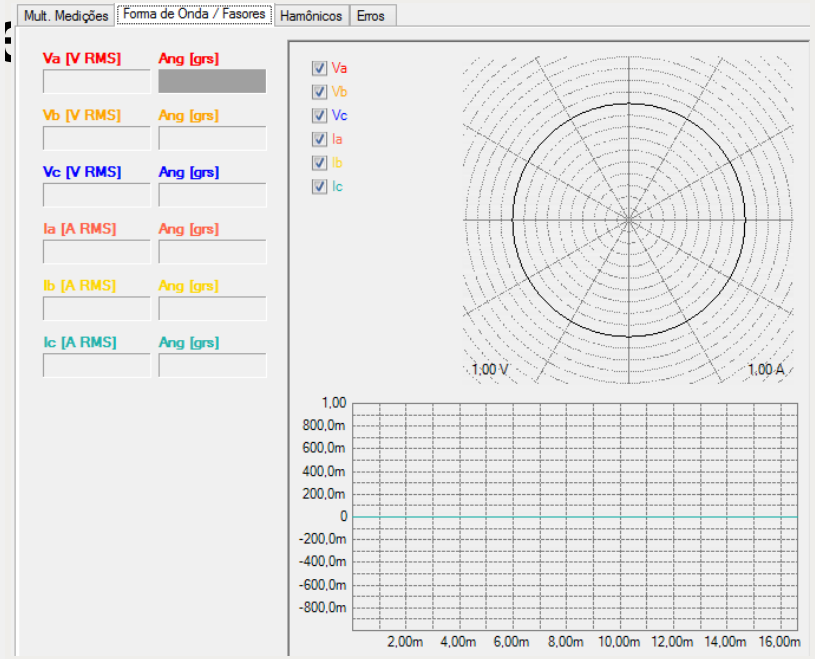
- Duas **malas de testes** CE-6710 e uma CE-7024 foram utilizadas para enviar **até 30 MUs**, no formato da **9-2LE,** e **até 27 MUs**, no formato da **IEC 61869-9**, em três portas do Switch;
- Em uma quarta porta do Switch, foi utilizado o software **MultimSV** para **monitorar** se foi possível ler todas as **MUs** enviadas.



# Resul

- As **M** **a**, até atingir o **limite** de envio ma adotada;
- Cada da, todas as **anteriores** eram através dos respectivos **svID,**



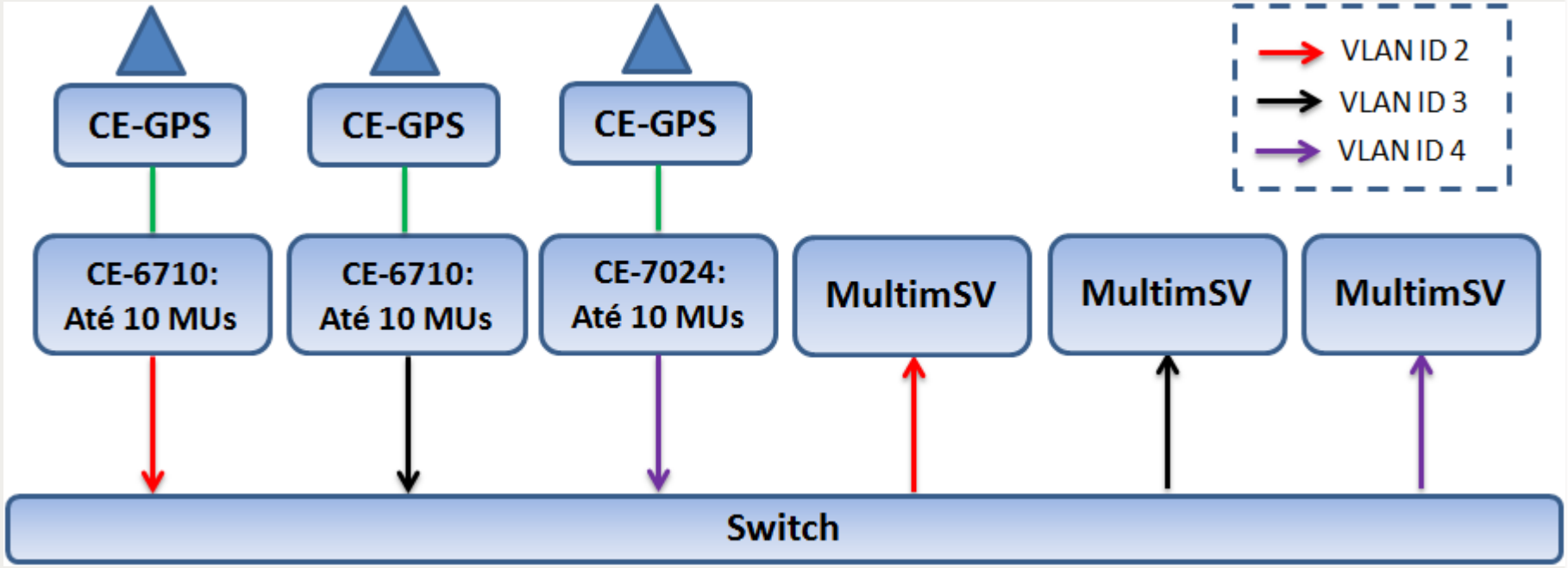
# Resultados do Segundo Ensaio

- Na **9-2LE** houve **perdas** de pacotes **SV** com **18 MUs** na rede, ocupando **86.4%** de **largura de banda, 86.4Mb/s**

- Na **IEC 61869-9** houve **perdas** de pacotes **SV** com **21 MUs** na rede, ocupando **89.9%** de **largura de banda**, **89.9Mb/s**

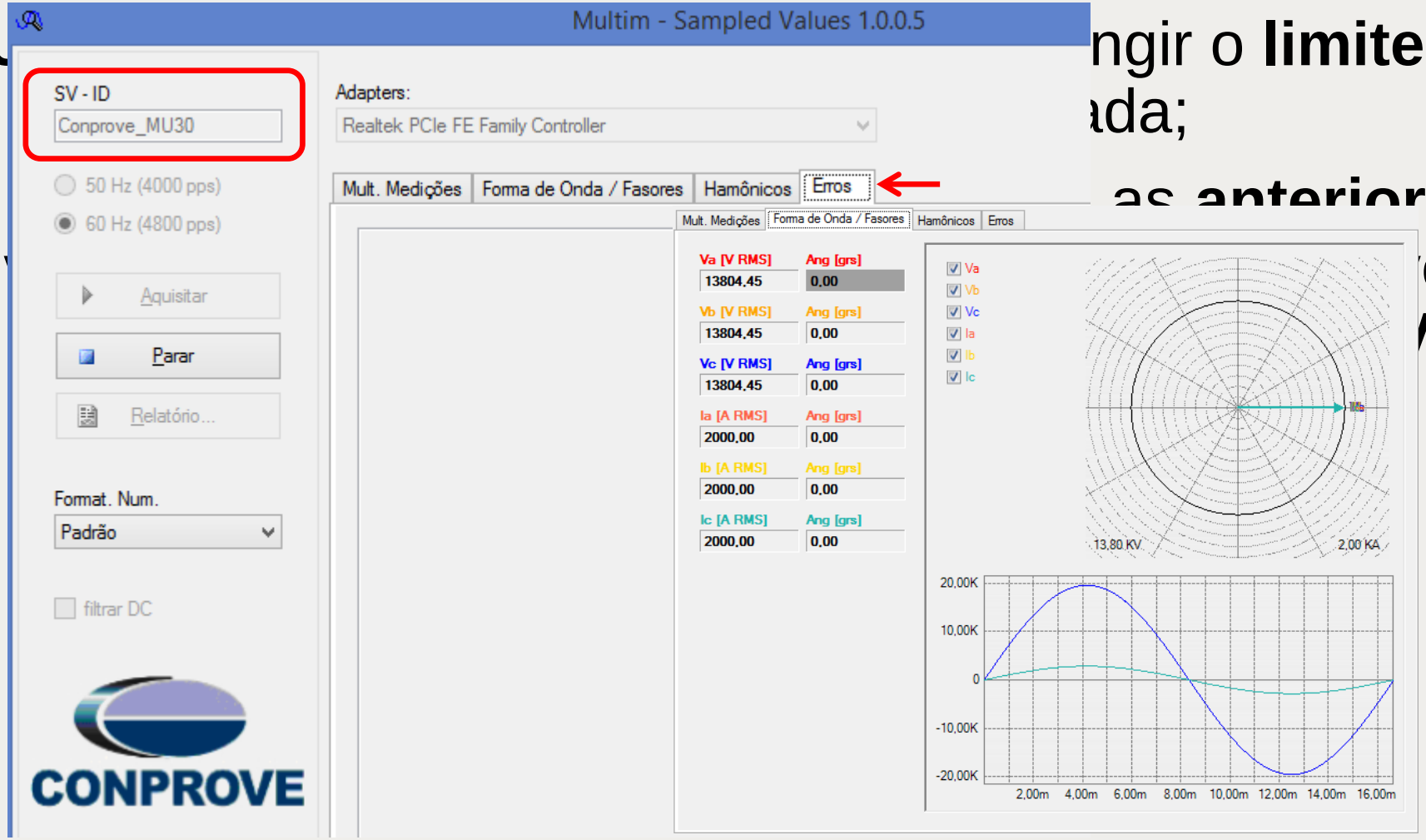
# Terceiro Ensaio

- Mesmo esquema de teste do segundo ensaio, porém, **separaram-se** as portas do Switch, que receberam as três **malas de teste**, em três **VLANs**;
- Análise das MUs no **MultimSV**, foram utilizadas outras três portas do Switch, cada uma pertencendo a uma VLAN configurada.



# Resultados do Terceiro Ensaio

- As **MU** ngir o **limite** de envio ada;
- Cada as **anteriores** eram os **svID**, V.



# Resultados do Terceiro Ensaio

- **Sem** perdas de pacotes, sendo que não foram registrados **erros de recebimento** dos frames SV de nenhuma MU, tanto pela **9-2LE** quanto pela **IEC 61869-9**.

# Análise dos Resultados

- De acordo com o segundo ensaio, é possível deduzir que o tempo de **latência** do Switch Ruggedcom utilizado foi **menor** que os **4µs** teóricos;
- O tempo de latência real do Switch foi de **2.25µs**, aproximadamente;
- De acordo com o terceiro ensaio, é possível afirmar que separar as MUs por **VLANs** permitiu **potencializar** a utilização da **largura de banda** da rede para o **Process Bus**.

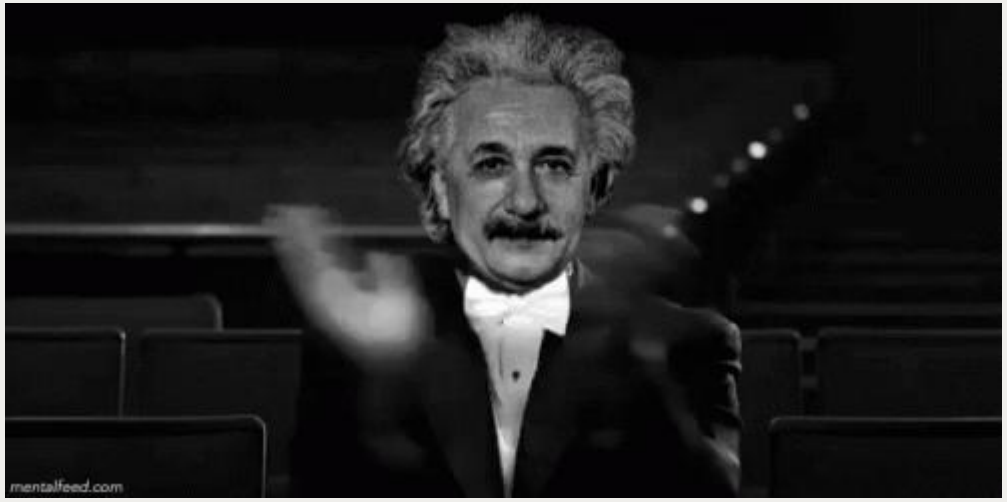
# Consideração sobre uma Rede 1Gb/s

- Atenção se alterar apenas o **tempo de transmissão e não de chaveamento**
- Considerando o tempo de **latência** do Switch de **2.25µs**;
- **9-2LE**: tempo de transmissão **1000 bits** seria de **1µs**
  - **tempo total** de envio **3.25µs**.
  - Um frame SV deve ser enviado a cada **208.33µs**,
  - **número máximo** de **64 MUs**, ocupando **30.07%** da **largura de banda: 307.2Mb/s**;
- **IEC 61869-9**: tempo de transmissão **1784 bits** seria de **1.78µs**,
  - **tempo total** de envio **4.03µs**.
  - Um frame SV deve ser enviado a cada **416.67µs**
  - **número máximo** de **103 MUs**, ocupando **44.1%** da **largura de banda: 441Mb/s**.

# Conclusão

- Foi possível explorar os **limites** da **transmissão de dados** no **Barramento de Processos**;
- **Equacionamento**: calcular o **número máximo** de **MUs** e a **largura de banda** consumida na rede,
- **Melhor análise do consumo da rede** pelo Process Bus e **otimizar** o uso da largura de banda disponível;
- Considerar **somente** a **largura de banda da rede** pode levar a **resultados equivocados**
- **Período de transmissão** entre os frames SV e o tempo de **latência do Switch**, também devem ser levadas em **consideração**.

# MUITO OBRIGADO!




**Paulo Junior**

(34) 3218-6800

suporte@conprove.com.br

www.conprove.com