

# Comportamento da Função de Proteção 21 frente a Mensagens Sampled Values Corrompidos

Adriano Peres de Moraes  
Programa de Pós Graduação em  
Engenharia Elétrica  
Universidade Federal de Santa Maria  
Santa Maria, RS  
adriano@ctism.ufsm.br

Ângelo Felipe Sartori  
Programa de Pós Graduação em  
Engenharia Elétrica  
Universidade Federal de Santa Maria  
Santa Maria, RS  
sartori.af@gmail.com

Juliana Freire Veloso  
Programa de Pós Graduação em  
Engenharia Elétrica  
Universidade Federal de Santa Maria  
Santa Maria, RS  
juliana.f.veloso@gmail.com

**Abstract** — A Norma IEC 61850 tem sido cada vez mais aplicada para Automação de Sistemas Elétricos. Este artigo tem como objetivo demonstrar o comportamento da proteção de distância para linhas de transmissão (função ANSI 21), que utilizam a Norma IEC 61850, diante de cenários de corrompimento de mensagens SV. Foram realizados testes em um sistema modelado no software HYPERSIM utilizando simulador digital em tempo real OPAL-RT. Foram analisadas a performance da proteção 21 quando submetida à curto-circuito monofásico em várias localizações, além de 3 cenários má formação de mensagem Sampled Values. Evidenciou-se que o corrompimento de pacotes Sampled Values, interfere significativamente no tempo de atuação da proteção do IED, sendo ele real ou virtual.

**Keywords**— Proteção de Sistema Elétrico de Potência, simulação em tempo real, Hardware-in-the-loop, IEC 61850-9-2, Sampled Values.

## I. INTRODUÇÃO

Há décadas atrás, os Sistemas de Automação de Subestações (SAS) empregavam protocolos de comunicação simples, diretos e altamente especializados [1]. Os métodos antigos usavam grandes salas de controle com técnicas convencionais de fiação de pátio que não permitiam o desenvolvimento da rede inteligente. Devido a sua crescente complexidade os equipamentos destes sistemas tornaram-se mais inteligentes e foram gradualmente substituídos por equipamentos mais modernos.

A evolução de equipamentos originou (Intelligent Electronic Device) IEDs com capacidade multifuncional; forçou a evolução dos SAS levando à necessidade de adoção de redes de comunicação mais confiáveis e robustas. Nesse processo, cada fabricante desenvolveu protocolos de comunicação proprietários, resultando na necessidade do uso de conversores de protocolos para integrar IEDs de diferentes fabricantes [2]. A diversidade de protocolos de comunicação deu origem a uma infraestrutura de comunicação complexa e cara, criando assim a necessidade do desenvolvimento de um protocolo padrão. A Norma IEC 61850 “Redes e sistemas de comunicação em subestações” foi desenvolvida para atender a essa necessidade [2] e é considerada padrão de última geração para sistemas de automação de SAS [3]. A Norma envolve a combinação de todas as funções de controle, proteção e monitoramento por um conjunto de protocolos [4]. A interoperabilidade entre os dispositivos, ponto de destaque da Norma, é alcançada através de formato de dados, linguagem de configuração e protocolos de comunicação comuns [5].

O Sampled Values (SVs) é um dos protocolos de comunicação [6]. A comunicação via protocolo SV é feita através do barramento de processo. Essa ligação ocorre por

meio do barramento de processo em que tensão e corrente digitalizados e dados de status são publicados em uma rede de comunicação, podendo ser assinados por qualquer dispositivo conectado na rede *Ethernet* [7]. O dispositivo responsável pela digitalização dos valores de corrente e tensão do TC e TP, respectivamente, a Merging Units (MUs) O uso do barramento de processo tem uma série de vantagens, tais como, redução do custo com cabeamento de cobre, e fornece flexibilidade na SAS, aumenta a segurança dos operadores, etc. A comunicação por SV é do tipo *multicast*, transmitida ciclicamente em períodos de 208 microssegundos a 60 Hz, implicando no máximo 80 amostras por ciclo para fins de proteção [8].

A Norma IEC 61850, aborda os requisitos de tempo de transmissão de mensagens para a rede de automação da subestação e devem garantir os tempos sob quaisquer condições de operação e contingências dentro da subestação [9]. A mensagem SV não possui mecanismo de retransmissão [10], ou seja, a perda de pacotes SV no IED de proteção pode resultar em algum tipo de bloqueio de medição para toda a janela de aquisição [11], impactando no desempenho das funções de proteção do IED [12]. A maioria dos IEDs de proteção tradicionais não possuem nenhuma medida corretiva para perda/atraso de SV e, portanto, amostras perdidas ou atrasadas são negligenciadas considerando seus valores iguais a zero para a estimativa fasorial [10].

Atualmente a maioria dos fabricantes de IEDs bloqueia as funções de proteção quando a mensagem SV está corrompida. O bloqueio podem interferir na confiabilidade do funcionamento do sistema. Nesse sentido, são importantes as pesquisas sobre o impacto dos problemas de transmissão nos pacotes SVs no desempenho das funções de proteção.

Existem várias pesquisas já realizadas voltadas ao tema corrompimento de mensagens SV. Dentre elas destacam-se o estudo de Kannabar e Sidhu que avaliaram o desempenho do barramento de processo em uma subestação típica de 345 kV/230 kV, estudando o atraso e a perda de mensagens de valor amostrado de tempo crítico. Os autores concluíram que estes parâmetros do barramento de processo influenciam o valor amostrado [10].

He *et al.*, construíram um modelo para analisar as características operacionais da proteção diferencial durante a condição normal, faltas externas e faltas internas do transformador, enquanto a perda/atraso de pacotes ocorre em momentos diferentes e usando diferentes medidas corretiva. Os resultados apontaram que a função de proteção dificilmente é afetada quando apenas um único pacote é perdido, mas o mau funcionamento da proteção pode estar presente devido à perda consecutiva de pacotes no modo normal [13].

Um estudo recente apresentado por [14] mostrou os efeitos de valores amostrados corrompidos no desempenho da proteção de sobrecorrente. As avaliações desta pesquisa foram realizadas em tempo real usando a abordagem de simulação *hardware-in-loop* com um IED comercial. Os resultados mostraram que quadros de valores amostrados corrompidos afetam o funcionamento das proteções.

Ikbal et al., (2013) apresentam a modelagem e simulação de esquema de proteção de relé de distância digital baseado em comunicação usando MATLAB. Os autores desenvolveram um código em MATLAB que criou diferentes cenários de perdas de SV. Em seguida analisaram o impacto dos valores amostrados dos dados de perda de pacotes no desempenho do tempo de operação da função de proteção de distância. O resultado mostrou que o para uma perda consecutiva de pacotes de valores amostrados imediatamente após a ocorrência de uma falta, o desempenho do tempo de trip do IED de proteção de distância é severamente afetado [15]. Os autores realizaram o estudo por meio de simulação computacional em um IED virtual.

O presente artigo apresenta uma análise dos efeitos de pacotes SV corrompidos no desempenho da proteção 21 de distância em linhas de transmissão. O estudo é realizado considerando vários cenários de falhas na transmissão dos pacotes SV. A análise é realizada utilizando metodologia *hardware-in-the-loop* com RTS OPAL-RT em um IED virtual e também em um IED comercial.

## II. METODOLOGIA

### A. Implementação do Sistema Teste

O modelo simplificado do SEP utilizado nos testes foi construído no software HYPERSIM, e tem a finalidade de simular o sistema elétrico e a proteção de uma linha de transmissão pela função ANSI 21, conforme apresentado na Figura 1.

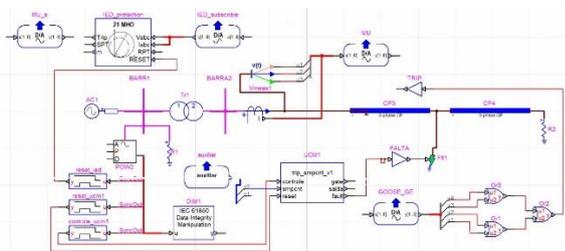


Fig. 1. Diagrama unifilar do circuito implementado.

Na Tabela 1 são mostrados os parâmetros do circuito implementado.

TABLE I. PARÂMETROS DO CIRCUITO IMPLEMENTADO

Parâmetro	Valor
Tensão nominal	13,8 kV
Frequência nominal	60 Hz
Transformador	13,8 kV/230 kV
RTP	1:120
RTC	1:200

A linha de transmissão modelada no estudo foi configurada seguindo os parâmetros descritos na Tabela 2.

TABLE II. PARÂMETROS DO CIRCUITO IMPLEMENTADO

Parâmetro	Valor
Comprimento da linha	100 km
Capacidade nominal do circuito	232,5 MVA
Resistência (sequência positiva) – R1	0,0687 $\Omega$ /km
Reatância (sequência positiva) – X1	0,4798 $\Omega$ /km
Capacitância (sequência positiva) – C1	9,2 nF/km
Resistência (sequência zero) – R0	0,2509 $\Omega$ /km
Reatância (sequência zero) – X0	1,1613 $\Omega$ /km
Capacitância (sequência zero) – C0	5,9 nF/km

### B. Configuração da Simulação em Tempo Real

O RTS OPAL-RT gerou sinais SV reais que foram emitidos pela MU virtual e posteriormente aplicados no sistema de proteção virtual (modelado) e real. A Figura 26 mostra o esquema implementado para realização da

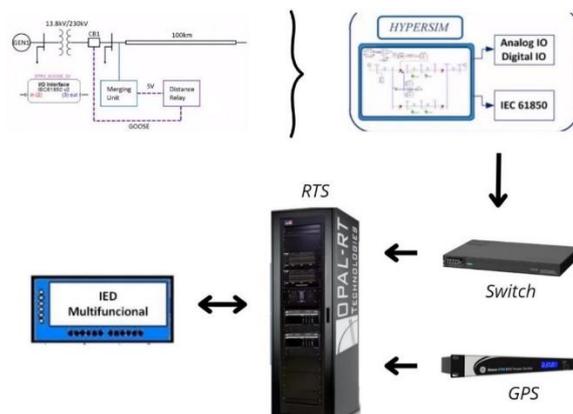


Fig. 2. Esquema de Simulação.

### C. Quantidade de simulações

A Tabela 3 identifica a quantidade de testes realizado em cada cenário bem como o total de testes realizado na pesquisa.

TABLE III. SIMULAÇÕES

Cenários	Bateria 1	Bateria 2	$\Sigma$
Condição normal	99	99	198
Perda de pacotes	200	200	400
Atraso de pacotes	203	203	406
Duplicação de pacotes	29	-	29

Todas as testes descritos na Tabela 3 foram realizadas no IED virtual e no IED real.

### D. Manipulação dos Dados SVs

A biblioteca IEC 61850 *Data Integrity Manipulation* (DIM) do HYPERSIM possibilitou a manipulação dos dados de valores SV. Através dessa biblioteca foram inseridos erros nas mensagens publicadas. Foram utilizados três cenários de testes para esta pesquisa, conforme descritos na Tabela 4.

TABLE IV. MANIPULAÇÕES DA INTEGRIDADE DOS DADOS SVs

Manipulação	Descrição
Perda	Simula a perda de pacotes na rede, interrompendo a publicação do SV durante uma determinada quantidade de pacotes.
Atraso	Simula um atraso de pacotes na rede, retardando o envio dos pacotes por um período especificado.
Duplicação	Simula uma topologia de rede errada no qual os pacotes são enviados mais de uma vez, duplicando pacotes para uma determinada quantidade de pacotes.

### E. Definição dos cenários

Para realizar os testes da pesquisa, foram definidas 2 baterias de medições de acordo com a parametrização dos IEDs. A primeira bateria foi realizada a partir da aplicação de uma falta monofásica a 50 quilômetros da linha de transmissão (dentro da Zona 1); e a segunda bateria, em 90 quilômetros (dentro da Zona 2). Dessa forma foi possível verificar o comportamento da proteção da linha de transmissão nas duas zonas.

O primeiro teste consistiu em validar o funcionamento da proteção nessas zonas. Para tanto, foi testada a capacidade do sistema em simular o processo de comunicação com IEC 61850 em condição normal de funcionamento. A determinação do tempo de atuação da proteção nas condições ideais de operação (sem corrompimento de SV), foi definida utilizando as médias do tempo de trip de 99 faltas monofásicas. Essa condição foi testada nas baterias de medições 1 e 2.

No Cenário 1 configurou-se a rotina de teste para aplicar uma falta monofásica com perda de pacote SV. Para a simulação deste cenário, inicialmente, foi perdido 1 pacote SV. A cada teste subsequente, acrescentou-se 5 pacotes perdidos. Este procedimento evoluiu até o alcance de 996 pacotes perdidos. Nessa condição foram realizadas 200 simulações. Este cenário foi testado na bateria 1 e na bateria 2.

O Cenário 2 visa analisar o impacto do atraso de pacote SV ocorridos durante em falta monofásica. O envio da mensagem SV acompanha a sequência correspondente ao instante em que foi realizada a medição analógica do sinal monitorado. O IED deve receber as mensagens nessa sequência definida a cada segundo para que seja capaz de interpretar os sinais de tensão e corrente corretos no domínio do tempo. Para simular o cenário 2, foi inserido um atraso de 200 $\mu$ s, que é o equivalente a um pacote SV (uma amostra). Em seguida acrescentou-se 200 $\mu$ s de atraso a cada teste subsequente realizado, finalizando o teste em 40,4 ms. No total foram realizadas 200 simulações nessa condição. Este cenário foi testado na bateria 1 e na bateria 2.

Por fim, o Cenário 3 descreveu a duplicação de um pacote SV em falta monofásica na Zona 1. Este cenário foi testado apenas na bateria 1. Para desenvolver o Cenário 3, no primeiro teste foi duplicado 1 pacote SV, e a cada teste subsequente aumentou-se gradativamente um pacote igual ao pacote inicial. Repetiu-se o processo até o envio de 30 pacotes repetidos. Nessa condição foram realizadas 29 simulações.

### F. Parametrização dos IEDs

Para realizar a pesquisa foram utilizados dois IEDs. Um IED real disponível comercialmente e outro virtual modelado no software HYPERSIM. Ambos foram parametrizados para que enviassem comandos via GOOSE, informando o status do sistema em condição normal de funcionamento ou sob falta.

Foram parametrizadas duas zonas de proteção. Uma para proteger 80% da linha de transmissão e outra para proteção de 120 %. Na Tabela 5 são apresentados valores de parametrização do IED real e virtual.

TABLE V. PARAMETRIZAÇÃO IED

Limite da Proteção		80%
Parâmetros Zona 1		Z0/Z1
Alcance	22,19 $\Omega$	1,42 $\Omega$
Ângulo de max. conjugado	77,81 $^\circ$	-4,04 $^\circ$
Parâmetros Zona 2		80%
Alcance	33,29 $\Omega$	1,42 $\Omega$
Ângulo de max. conjugado	77,81 $^\circ$	-4,04 $^\circ$

As Figuras 3 mostra a trajetória da impedância aparente do IED virtual no plano RX para uma falta monofásica a 50% da LT sem qualquer corrompimento de pacotes SV.

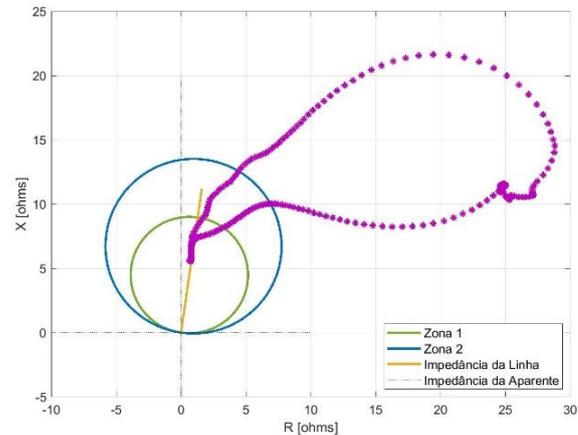


Fig. 3. Comportamento da impedância aparente durante uma falta em 50km da linha de transmissão.

## III. RESULTADOS

### A. Condição Normal de Operação

Foram realizadas 99 simulações na condição de falta em 50 km e 90 km da LT. O tempo de trip médio da proteção é apresentado na Tabela 6.

TABLE VI. TEMPOS REAIS DE DISPARO

Localização da Falta	IED Real	IED Virtual
50 km	21,48 ms	20,67 ms
90 km	225,86 ms	212,92 ms

### B. Cenário 1 – Perda de Pacote

Ambos os IEDs tiveram o mesmo comportamento identificado na Figura 4. Conforme a quantidade de pacotes SV perdidos foram aumentando, também aumentou-se o tempo de atuação da proteção. Entretanto, no IED real variou de 23,13 ms com 1 pacote perdido até 303,33 ms com 996 pacotes perdidos. Já no IED virtual, o tempo de disparo iniciou em 21,46 ms para 1 pacote perdido e finalizou em 224,38 ms para 996 pacotes perdidos. Ao analisar o comportamento ao que tange a linearidade da quantidade de pacotes perdidos

versus o tempo de *trip*, o IED real seguiu uma tendência constante com o aumento gradativo de linearidade. Apenas a primeira atuação, com 1 pacote perdido, o IED real manteve o tempo de atuação próximo do esperado, comportamento que não ocorreu a partir de 6 pacotes perdidos. O IED virtual apresentou um aumento gradativo, escalonado não constante, a partir de 30 pacotes perdidos, necessitando de um tempo maior para restabelecer o envio de um novo pacote SV. E com relação ao tempo de atuação do *trip*, o IED virtual apresentou o melhor desempenho comparado com o IED real.

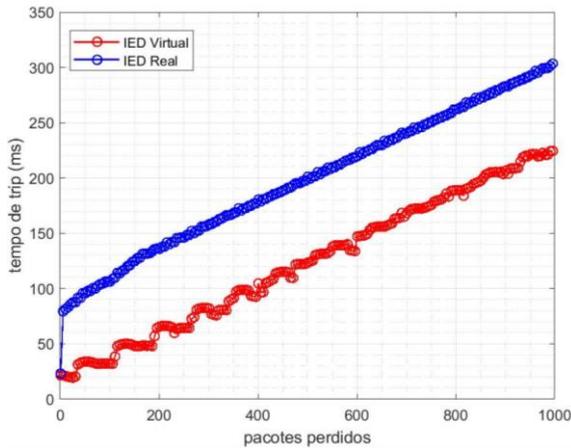


Fig. 4. Perda de pacotes SV em falta monofásica na Zona 1.

No que se refere ao comportamento da impedância da linha de transmissão em duas condições específicas na zona 1 na simulação de 1 pacote perdido durante a falta a impedância estabiliza em 0,42 s com 5,3  $\Omega$ ; e na simulação de 996 pacotes perdidos a impedância estabiliza com 5  $\Omega$  em 0,35 s da simulação.

Os erros percentuais encontrados nas simulações de perda de pacotes SV da bateria 1 nos IEDs virtual e real na condição de 1 pacote perdido o comportamento do sistema de proteção não sofre impacto considerável.

Conforme mostra a Figura 5, na segunda bateria de testes do Cenário 1, ambos os IEDs tiveram o mesmo comportamento da bateria 1, com algumas pequenas diferenças. Na linearidade da quantidade de pacotes perdidos versus tempo de *trip*, o IED real seguiu a mesma tendência constante com o aumento gradativo com menor linearidade; não apenas a primeira atuação fugiu dessa linearidade. A partir de 896 pacotes perdidos, o IED real reduziu o tempo de atuação fugindo da linearidade da bateria 1. A primeira atuação com 1 pacote perdido do IED real e virtual se manteve dentro do esperado. O IED virtual apresentou um aumento gradativo, escalonado e não constante. Até aproximadamente 600 pacotes perdidos o comportamento se repetiu. No tempo de atuação do *trip*, o IED real manteve um melhor desempenho, quando comparado com o IED virtual.

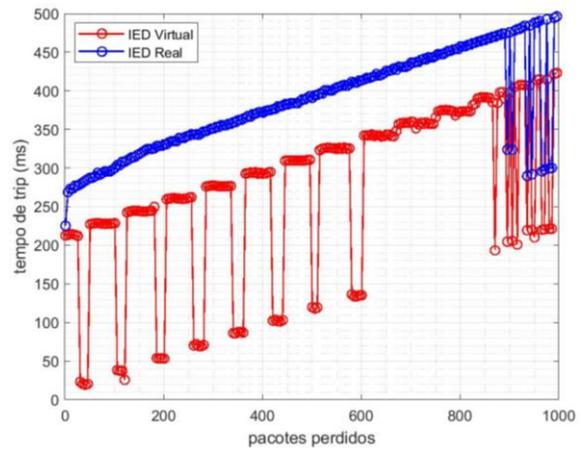


Fig. 5. Perda de pacotes SV em falta monofásica na Zona 2.

Referente ao comportamento da impedância na simulação de 1 pacote perdido na zona 2, nas condições de 1 pacote perdido e de 996 pacotes perdidos, a impedância estabiliza em 10  $\Omega$ . Na primeira condição estabiliza em 0,70 s e na segunda 0,74 s. O desempenho frente a perda de pacote na bateria 2 apresentou melhores resultados quando comparado a bateria 1. Já a precisão do IED virtual da bateria 2 não atendeu a proposta do sistema de proteção, pois em 39 simulações desta bateria o sistema atuou fora da faixa parametrizada.

A figura 6 ilustra o comportamento da impedância aparente no plano RX durante uma falta em 50km da linha de transmissão com a perda de 111 pacotes.

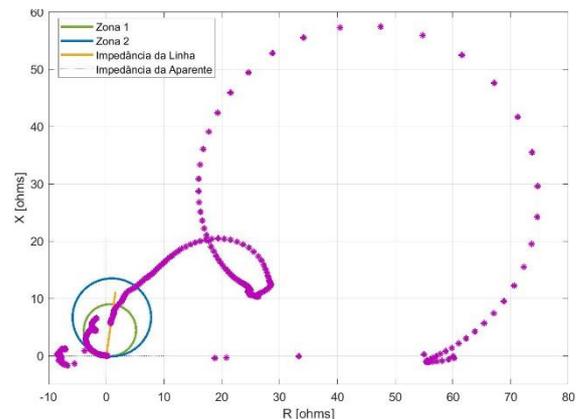


Fig. 6. Perda de pacotes SV no plano RX

### C. Cenário 2 – Atraso

A primeira bateria de testes está demonstrada na Figura 7, onde ambos os IEDs tiveram aproximadamente o mesmo comportamento até um atraso de 32,6 ms. Conforme foi acrescentado tempo de atraso dos pacotes, também aumentou o tempo de atuação do *trip*. Entretanto no IED real a partir do atraso de 32,6 ms, houve um aumento no tempo de *trip* de 181,25 ms. O IED virtual apresentou um comportamento escalonado discreto que variou em aproximadamente 400  $\mu$ s de atraso de pacotes SV. A partir desse tempo de atraso, o comportamento se manteve gradativo, constante e linear até 40,4 ms de atraso de pacotes.

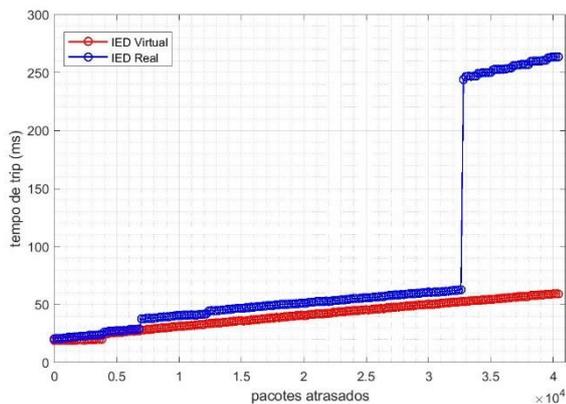


Fig. 7. Atraso de pacotes SVs em falta monofásica na Zona 1.

Nas 17 primeiras simulações (200 a 3.200 $\mu$ s de atraso), o tempo de atuação na condição de atraso de pacotes SV foi inferior ao tempo real de atuação sem atraso de pacotes. Da mesma forma ocorreu quando comparado ao tempo teórico sem atraso de pacotes SV. A partir de 4,2 ms de atraso, a comunicação foi impactada significativamente atrasando o tempo de atuação da proteção. Neste cenário o IED real apresentou os maiores erros percentuais. Os erros alcançaram valores na ordem de 1.175% e 1.450% com 4,4 ms de atraso de pacotes SV.

A Figura 8 demonstra que na segunda bateria de testes do cenário 2 os IEDs mantiveram o comportamento da bateria 1. O IED virtual apresentou uma maior precisão.

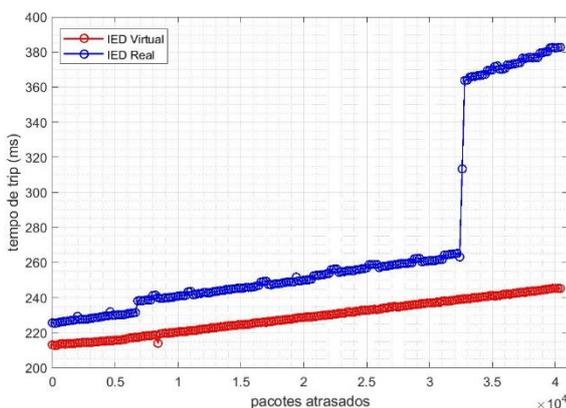


Fig. 8. Atraso de pacotes SV em falta monofásica na Zona 2.

O cenário de atraso de pacotes SV na bateria 2 apresentou os melhores resultados em ambos IEDs. No IED virtual o maior erro percentual com 4,4 ms de atraso foi de 17,32 % quando comparado com o tempo de atuação teórico sem atraso de pacotes. No IED real esse erro chegou a 83,01 ms.

A figura 9 mostra o comportamento da impedância aparente no plano RX durante uma falta em 50km da linha de transmissão com o atraso de 9801  $\mu$ s.

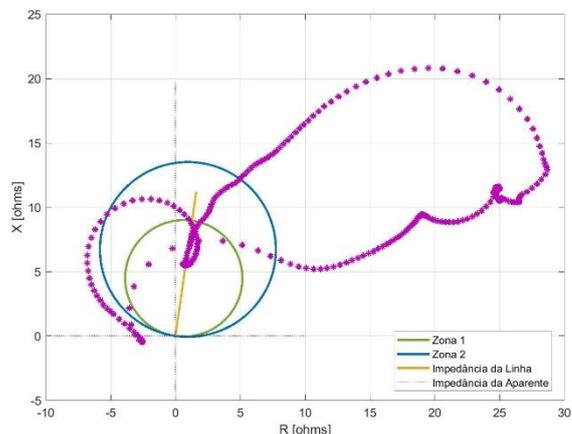


Fig. 9. Atraso de pacotes SV no plano RX

#### D. Cenário 3 – Duplicação de pacotes

A figura 10 mostra a duplicação de pacotes SV. O tempo de *trip* no IED real variou de 20,208 ms até 21,042 ms. Já o IED virtual revelou essa variação entre 18,958 ms e 19,583 ms.

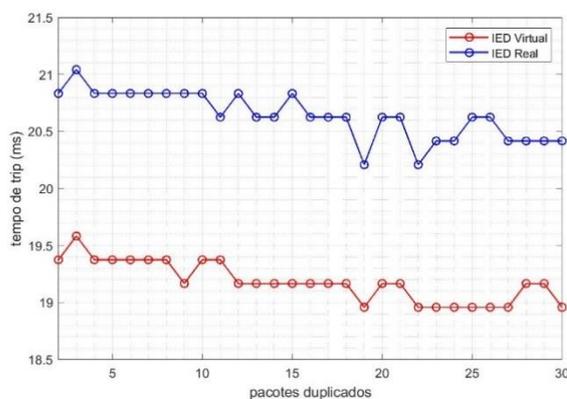


Fig. 10. Duplicação de pacotes SVs em falta monofásica na Zona 1.

O IED virtual, quando comparado ao valor teórico sem duplicação, teve tempos de atuação maiores conforme aumentou-se a quantidade de pacotes duplicados. Quando comparado com o tempo real sem duplicação, os tempos de *trip* obtidos na simulação de pacotes duplicados foram inferiores e foram gradativamente aumentando. O mesmo comportamento foi observado no IED real, porém numa proporção maior.

Na figura 11 observa-se o comportamento da impedância aparente no plano RX durante uma falta em 50km da linha de transmissão com a duplicação de 30 pacotes.

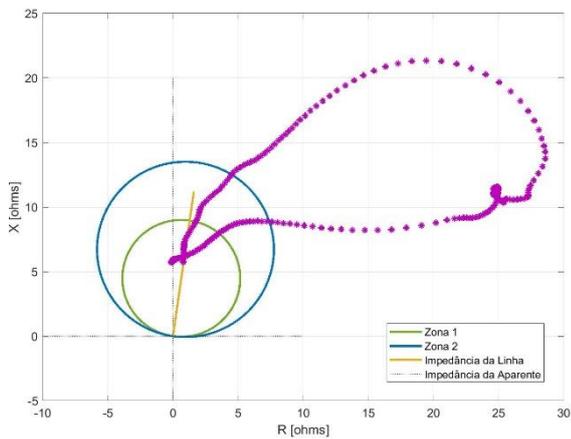


Fig. 11. Duplicação de pacotes SV no plano RX

Os cenários de manipulação de pacotes SV em sistemas de proteção impactam diretamente no processamento dos sinais dos IEDs, e conseqüentemente na precisão e confiabilidade do sistema de proteção.

Os IEDs não tiveram uma resposta idêntica. O IED virtual teve uma capacidade de processamento de sinais melhor em condições ideais de operação e quando submetido a corrompimentos forçados de pacotes SV. Conseqüentemente este IED obteve uma melhor performance no tempo de resposta da atuação do sistema de proteção. Essa diferença de tempo entre o IED virtual e o IED real deve-se a que os processamentos internos e algoritmo de proteção destes equipamentos são distintos. Essa diferença de processamento é ocasionada pelas diferentes características construtivas e diferentes *softwares* de cada um dos IEDs. O IED real é exposto a fatores externos e ambientais que o IED virtual não é. Variação na temperatura ambiente e umidade, fonte de alimentação são alguns fatores que podem interferir no hardware IED real e causar atrasos nas operações ou operações inadequadas.

Considerando as especificidades destes equipamentos, constatou-se que o comportamento apresentado por ambos os IEDs não foram exatamente iguais em todos os critérios de operação avaliados.

#### IV. CONCLUSÃO

A presente pesquisa apresentou os resultados de testes realizados em HIL com IED real e virtual através de simulações em tempo real, distribuídas em três cenários de manipulação de pacotes SVs. Analisou os efeitos de SVs corrompidos no desempenho da proteção 21 de distância em LTs.

Conclui-se que a função 21 é dificilmente afetada quando poucos pacotes são corrompidos. Em condições sem falta, a normalmente o IED real irá bloquear a função de proteção. Entretanto, em condição de falta com SV corrompido o sistema de proteção apresenta erros.

Ao comparar a performance entre IEDs testados, pode-se concluir que os IEDs reais e virtuais tiveram comportamento semelhante em todos os cenários. Entretanto, apesar de semelhantes, os tempos de operação destes não foram os mesmos, visto que o IED real tem todo o processamento do sinal.

A interferência nos pacotes SVs durante a comunicação digital em subestações representa um desafio significativo nos sistemas elétricos de potência. Dentre os cenários de manipulação de pacotes SV analisados, a condição de duplicação de pacotes é a que menos afeta a proteção 21. A perda de pacote e atraso afetam o cálculo da impedância aparente realizado pelo IED e conseqüente o tempo de trip da proteção. Isso se destaca como um dos obstáculos para a adoção generalizada da Norma IEC 61850. A resolução desses problemas é uma área que merece maior atenção em pesquisas futuras.

#### REFERENCES

- [1] Kostic, T., Preiss, O., and Frei, C. (2005). Understanding and using the IEC 61850: A case for Meta-modelling, *Comput. In Standards Inter.*, vol. 27, no. 6, pp. 679–695, Jun.
- [2] Correia, R., Candeias, L., Ferreira, C., Francisco, R., and Lopes, F. (2016). Protection, automation and control systems and the IEC 61850 paradigm: New testing and maintenance challenges. In *Proc Power Engineering Conf. - UPEC, Coimbra, Portugal, Vol. 1*, pp. 1 - 7, September.
- [3] Yang, L., Crossley, P. A., Wen, A., Chatfield, R., and Wright, R. (2011). Performance assessment of a IEC 61850-9-2 based protection scheme for a transmission substation. In *2nd IEEE PES International Conference and Exhibition on Innovative Smart Grid Technologies, Manchester, UK, 2011*, pp. 1-5, doi: 10.1109/ISGTEurope.2011.6162769.
- [4] Wannous, K., and Toman, P. (2018). Sharing sampled values between two protection relays according to standard IEC 61850-9-2LE. In *19th International Scientific Conference on Electric Power Engineering (EPE), Brno, Czech Republic*, pp. 1-6, doi: 10.1109/EPE.2018.8396000.
- [5] IEC Standard for Communication Networks and Systems in Substations. (2003)a. In *IEC std., 61850, First edition*.
- [6] Delavari, A., Brunelle, P., and Mugombozi, C. F. (2020). Real-time modeling and testing of distance protection relay based on IEC 61850 Protocol. In *Canadian Journal of Electrical and Computer Engineering*, vol. 43, N. 3.
- [7] IEC Standard for Communication networks and systems in substations – Part 5: Communication requirements for function and device models (2003)b. In *IEC Std, 61850-5, First edition, Jul*.
- [8] Kim, M.S., and Kang, S.H. (2022). Centralized multiple back-up protection scheme with Sharing Data between adjacent substations based on IEC 61850. In *Energies*, 15, 4195.
- [9] Kasztenny, B., Whatley, J., Udren, E.A., Burger, J., Finney, D., and M. Adamiak, M. (2005) Unanswered questions about IEC 61850: What needs to happen to realize the vision? In *32nd Annual Western Protective Relay Conf. Spokane, WA, Oct*.
- [10] Kanabar, M.G., and Sidhu, T.S. (2011). Performance of IEC 61850-9-2 Process Bus and corrective measure for digital relaying. In *IEEE Transactions on power Delivery*, Vol. 26, No. 2, April.
- [11] Hoga, C., (2010). High availability network solutions and their usability in substation applications. In *Proc. Protect., Autom., Control World Conf.*, Jun. p. 8.
- [12] Demeter, E., Sidhu, T.S., and Faried, S.O. (2006). An open system approach to power system protection and control integration. In *IEEE Trans. Power Del.*, vol. 21, no. 1, pp. 30–37, Jan.
- [13] R. He, H. Peng, Q. Jiang, L. Zhou, e J. Zhu, (2019). Performance Analysis and Threshold Quantization of Transformer Differential Protection Under Sampled Value Packets Loss/Delay. *IEEE Access*, vol. 7, pp. 55698–55706, 2019, doi: 10.1109/ACCESS.2019.2901830
- [14] Â. F. Sartori, A. P. de Morais, U. C. Netto, D. A. C. Lima, D. P. Bernardon, e W. S. Hokama, 8, jan. 2023. Performance Analysis of Overcurrent Protection under Corrupted Sampled Value Frames: A Hardware-in-the-Loop Approach. *Energies*, vol. 16, n.o 8, Art. n.o, doi: 10.3390/en16083386.
- [15] IKBAL, Ali et al. Sampled Values Packet Loss Impact on IEC 61850 Distance Relay performance. New Delhi, India. *EEE ISGT Asia 2013* 1569815463