

PROTEÇÃO E SELETIVIDADE LÓGICA EM SISTEMA ELÉTRICO DE POTÊNCIA – Estudo de Caso

Leandro José da Silva

Graduando em Engenharia Elétrica,
Faculdades Integradas de Três Lagoas – FITL/AEMS

João Victor Rodrigues Araújo

Graduando em Engenharia Elétrica,
Faculdades Integradas de Três Lagoas – FITL/AEMS

Marcos Adriano dos Santos Júnior

Graduando em Engenharia Elétrica,
Faculdades Integradas de Três Lagoas – FITL/AEMS

Daniela Cabral de Oliveira

Mestra em Engenharia Mecânica – UNESP;
Docente das Faculdades Integradas de Três Lagoas – FITL/AEMS

Jair Antônio Longo Júnior

Mestre em Engenharia Elétrica – UNESP;
Docente das Faculdades Integradas de Três Lagoas – FITL/AEMS

RESUMO

O objetivo deste trabalho é apresentar um estudo de seletividade lógica, como adendo ao projeto estudado sobre seletividade convencional da fábrica de celulose Eldorado Brasil Celulose S/A, unidade localizada no município de Três Lagoas - MS, analisando os dispositivos de proteção no nível de tensão de 34.5 kV e 13.8 kV. Para isso, serão apresentados alguns fundamentos básicos sobre a filosofia de proteção e os dispositivos que compõem, apresentaremos de forma resumida a planta estudada e ao final, um estudo de caso em eventos reais de maneira comparativa entre a atuação da seletividade convencional e outro com atuação da seletividade lógica. De maneira comparativa mostraremos os tempos de atuação de cada uma das proteções. Como resultado conclusivo, demonstraremos a atuação das duas proteções com diferencial para a seletividade lógica devido ao menor tempo de exposição dos componentes e equipamentos as altas correntes de curto-circuito e também, a atuação de forma a isolar a parte afetada pelo distúrbio das demais, evitando interrupções desnecessárias no processo produtivo.

PALAVRAS-CHAVE: proteção; seletividade; curto-circuito.

1 INTRODUÇÃO

A seletividade convencional, mais conhecida como as proteções baseadas em tempos de atuação, amplitude de corrente, diferencial e direcional de corrente, é muito aplicada no período antes da seletividade

lógica, onde os projetos de proteção contemplam somente a seletividade aplicada e disponível na época, sendo a convencional de modo individual ou a combinação destas.

Num ambiente industrial, a ineficiência do sistema de proteção resulta em transtornos operacionais e prejuízos financeiros que podem comprometer a operacionalidade de equipamentos, indisponibilidade de áreas produtivas, além do aspecto da segurança pessoal e patrimonial, tornando o ambiente com uma atmosfera de consequências negativas aos envolvidos.

Dentro da filosofia de proteção, é abordado o conceito de seletividade lógica para um sistema elétrico de potência, sendo esta, parte da evolução da proteção, evolução que trouxe a possibilidade de melhorar o aspecto de segurança para os equipamentos envolvidos, tornando o sistema seguro e com maior velocidade de atuação. A aplicação da seletividade lógica tem como principal objetivo o aumento da eficiência da proteção, minimizando assim o impacto dos possíveis curtos-circuitos nos sistemas elétricos. Neste contexto, diante da importância atual em tornar os sistemas elétricos bem protegidos e garantir maior disponibilidade dos ativos da empresa e também, frente a valorização da aplicação da seletividade lógica nos sistemas de proteção, o estudo busca obter respostas relacionadas à confiabilidade e desempenho relacionado ao tempo de atuação da seletividade lógica comparada a seletividade convencional.

No estudo de caso será analisado somente um evento com atuação da seletividade lógica e outro com a seletividade convencional, onde ocorreu um circuito-circuito num ponto isolado da planta, tendo como consequência a parada de áreas de produção e com agravante a parada de um dos turbogeradores.

A escolha destes eventos, em particular, foi devido à limitação da estrutura do artigo. Informações mais detalhadas e complementares a alguns itens abordados são apresentadas em trabalho de maior fôlego, no caso, nossa monografia.

Neste trabalho, a configuração da planta analisada no estudo de caso é em anel, com algumas particularidades que são comentadas no decorrer do desenvolvimento.

1.1 Elementos do Sistema de Proteção

A atuação correta de um sistema de proteção se dá a partir do correto ajuste dos elementos que compõem este sistema. Os elementos do sistema de proteção são diretamente responsáveis pelo correto funcionamento do sistema elétrico de potência (SEP), a atuação da proteção é tida como eficiente quando em sua atuação, isola a menor porção do sistema das demais áreas produtivas. Os principais elementos que compõem um sistema de proteção são: (1) disjuntor (atuação mecânica, isolando o circuito caso à corrente que passa por ele atingir o valor limite de trabalho do dispositivo) (KINDERMANN, 2005); (2) **relé** (dispositivo responsável pela evolução da proteção em SEP. Existem vários tipos, porém, aqui abordaremos apenas os relés inteligentes que são micro processados, podendo enviar sinais de bloqueio e comando de abertura e fechamento de disjuntores a montante e jusante do ponto de falta, entre outras funções (KINDERMANN, 2005); (3) transformador de corrente (TC) (utilizado para referenciar valores de corrente para um dispositivo de proteção, sendo utilizado tanto para proteção quanto para medição (MAMEDE, 2011) e (4) transformador de potencial (tp) (para medições de tensão e referência para dispositivos de proteção) (MAMEDE, 2011).

1.2 Dispositivo Eletrônico Inteligente (IED)

Os IEDs são relés micro processados capazes de atuar em diferentes funções de maneira inteligente. Em um sistema de proteção, esses dispositivos são capazes de ler e armazenar dados, enviar sinais para outros dispositivos e ainda comandar a abertura de disjuntores.

Os IEDs são unidades multifuncionais para a proteção, controle, automação, medição e monitoramento dos sistemas elétricos, permitindo a concepção de lógicas de intertravamento e bloqueio, ou seja, funcionalidades em dispositivos diferentes. Cada IED traz a possibilidade de expansão do sistema de proteção, essa proteção é ampliada ainda mais com na norma IEC 61850 (KINDERMANN, 2011).

1.3 Norma IEC 61850

Em 2004, teve origem o padrão internacional de redes de

comunicação em sistemas e subestações. Era o início da aplicação da norma IEC-61850. Para que dois IEDs diferentes troquem informação entre si, faz-se necessário o emprego do que chamamos “Protocolo de Comunicação”. É o conjunto de regras estabelecido e seguido pelos dispositivos inteligentes que determina o tipo de mensagens e a ordem que as mesmas devem seguir.

Esse conjunto de regras permite que equipamentos de diferentes fabricantes e com arquiteturas internas distintas passem a trocar informações importantes para o correto funcionamento e monitoramento do sistema como um todo.

Além disso, esse protocolo está permitindo uma interoperabilidade entre IEDs de diferentes fabricantes como jamais foi visto, permitindo que esses equipamentos troquem informações entre si, sem a necessidade de conversores de protocolos ou ligações físicas que aumentam em muito as despesas com cabeamentos e projetos (MENDES, 2010).

1.4 Principais Equipamentos Protegidos

As proteções são dimensionadas para proteger principalmente linhas de transmissão, barramentos, transformadores e geradores, tendo como princípio que, o correto funcionamento das proteções nestes pontos protegerá elementos ligados a estes, como por exemplo: Motores, inversores entre outros (KINDERMANN, 2011).

1.5 A Seletividade

Os estudos da seletividade em aplicações industriais objetivam minimizar os desligamentos dos sistemas elétricos de maneira desnecessária, além de proteger a instalação, evitando maiores prejuízos aos processos industriais, visto que uma parada operacional devido a uma falha no sistema de proteção causará perdas substanciais, condicionado ao tempo de restabelecimento do suprimento de energia elétrica, e às especificidades de cada processo produtivo envolvido. (MAMEDE, 2011).

1.5.1 Seletividade Lógica

Além das seletividades tidas como tradicionais, sendo a

cronológica, amperimétrica, por proteção direcional e diferencial ou pela combinação entre elas, será apresentado um tipo de seletividade que é mais recente nos estudos de proteção, denominada de seletividade lógica. Esta emprega mecanismos que possibilitam reduzir os tempos de atuação da proteção, apresentando-se como um grande diferencial em relação aos demais tipos de seletividade existentes.

Esta filosofia de seletividade foi desenvolvida por apresentar algumas soluções para as deficiências encontradas na seletividade convencional (aqui abordada a cronométrica), visto que através da seletividade lógica, evitam-se os longos tempos de atuação das proteções mais próximas à fonte de alimentação em relação ao ponto de falta, assim como se define prioritariamente o dispositivo de proteção que deverá atuar em função da localização do ponto de falta (MAMEDE, 2011).

É uma filosofia desenvolvida mais recentemente em função dos recursos tecnológicos disponibilizados pela eletrônica digital. Conforme citado anteriormente, neste estudo abordaremos apenas o conceito da seletividade lógica, fornecendo maiores detalhes da seletividade convencional em um trabalho futuro.

1.5.2 Princípio de Funcionamento

A seletividade lógica opera de modo seguro, tendo como princípio de funcionamento a troca de informações (dados lógicos), entre as proteções instaladas de maneira sucessivas num sistema elétrico com configuração conhecida como rede radial. Estas informações, serão a base para atuação dos dispositivos de proteção, tendo como consequência o envio de comandos de bloqueio das proteções à jusante para as proteções a montante, sempre em relação ao ponto onde ocorreu o curto-circuito no sistema.

Neste modo de atuação, o comando de bloqueio somente ocorre para os dispositivos de proteção que estejam a montante do ponto de falta, onde o dispositivo que envia esse sinal assume a responsabilidade de atuar para extinguir totalmente a perturbação, caso o mesmo falhe ou o disjuntor correspondente não atue, o sinal de bloqueio fica ativo por um tempo pré-definido e se houver falha na

atuação dos dispositivos responsáveis, os secundários atuarão para eliminar a corrente de curto de todo sistema, ainda de maneira seletiva para evitar desligamentos desnecessários. Os dispositivos de proteção localizados a jusante do ponto da falta não serão sensibilizados, tendo como princípio a atuação correta dos dispositivos a montante, desta maneira não serão bloqueados. Com este procedimento, consegue-se definir claramente o relé que deverá atuar em função da falta no sistema.

2 OBJETIVOS

O objetivo principal deste trabalho é apresentar, de maneira didática e comparativa, a atuação da seletividade cronológica e a seletividade lógica frente a um distúrbio causado no sistema elétrico analisado.

3 MATERIAL E MÉTODOS

A planta alvo do estudo de caso faz parte de uma indústria de celulose, situada no município de Três Lagoas. A empresa com capacidade de produção instalada de 1,7 milhões de tonelada de celulose ano e geração de energia elétrica em torno de 2,55 GW ano. Possui duas subestações de entradas denominadas SE01 e SE02, com transformadores denominados TR-1 com potência de 55MVA na SE01 e TR-2 com potência de 110 MVA na SE02. A corrente de curto-circuito de 30 KA foi determinada a partir do estudo de curto-circuito feito pela própria empresa, tópico que não abordaremos neste trabalho.

Para análise comparativa, foram utilizados os dados coletados a partir dos relatórios gerados na leitura dos dispositivos de proteção, feita no momento do evento. A coleta de dados foi feita diretamente nos relés de proteção que estiveram ativos durante o curto-circuito. A partir dos dados coletados nos dois eventos com atuação das duas seletividades, nosso trabalho foi analisar os tempos em que a corrente de curto-circuito esteve ativa no sistema elétrico, o tempo em que os dispositivos de proteção demoraram a serem sensibilizados, os tempos de atuação e/ou comando de atuação de outros dispositivos e o tempo em que a corrente de curto foi eliminada com a atuação destes elementos. Em síntese,

SE02-138 kV no barramento ao lado do TG1. Abaixo do barramento dos turbogeradores estavam os barramentos das cargas, divididos por área e níveis de tensão, com transformadores rebaixadores para atender a demanda de cada carga.

No primeiro evento analisado, onde um curto-circuito monofásico ocorreu em 24/02/2013 ocasionou a abertura dos cubículos A10ADJH03 e A10ADJH05 e ocasionou a parada de produção de duas máquinas de secagem da polpa de celulose branqueada.

No segundo evento analisado, ocorrido em 06 de março de 2018, onde um distúrbio no sistema elétrico causou a parada de parte da planta de uma indústria de celulose. Às 16:26:36, distúrbio no sistema elétrico de transmissão (concessionária) e *start* nas proteções de sobrecorrente no cubículo alimentador do TR2 na SE-A01. E às 16:26:37, distúrbio no sistema elétrico de transmissão (concessionária) e *start* nas proteções de sobrecorrente no cubículo alimentador do TR1 na SE-A01.

No estudo técnico do evento, realizou-se análise dos oscilogramas dos cubículos de entrada da planta, sendo H06 da barra A01A do TR1 e H05 da barra A01B do TR2 ambos em nível de alta tensão 34.5 kV.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Para a análise proposta neste trabalho, utilizaram como base os resultados obtidos a partir de relatórios de análise já emitidos por técnicos da empresa ABB junto à indústria de celulose. Em posse desses relatórios, de ambos os eventos ocorridos em situações reais, analisaram os tempos de atuação de cada passo da proteção quando a mesma foi solicitada. O Gráfico 1 mostra a tendência das atuações em função do tempo, deixando evidente a diferença dos tempos de atuação das duas proteções e qual das atuações garante maior eficiência na manutenção dos ativos envolvidos.

Abaixo, na Figura 2 segue relatório do distúrbio ocorrido, fornecido por análise feita pela empresa ABB. Na figura foram demonstradas as formas de onda da tensão e corrente de falta e pré falta, de modo a facilitar a análise. Esses dados foram coletados a partir da oscilografia feita com dados armazenados nos relés.

Na Figura 3 foram demonstrados os tempos de atuação das diversas etapas que compõem a seletividade, como tempo de envio de sinal de bloqueio,

envio de sinal de abertura para o disjuntor correspondente, tempo de resposta do disjuntor e extinção total do distúrbio.

Figura 2. Análise oscilográfica.



Fonte: Elaborado pelos autores.

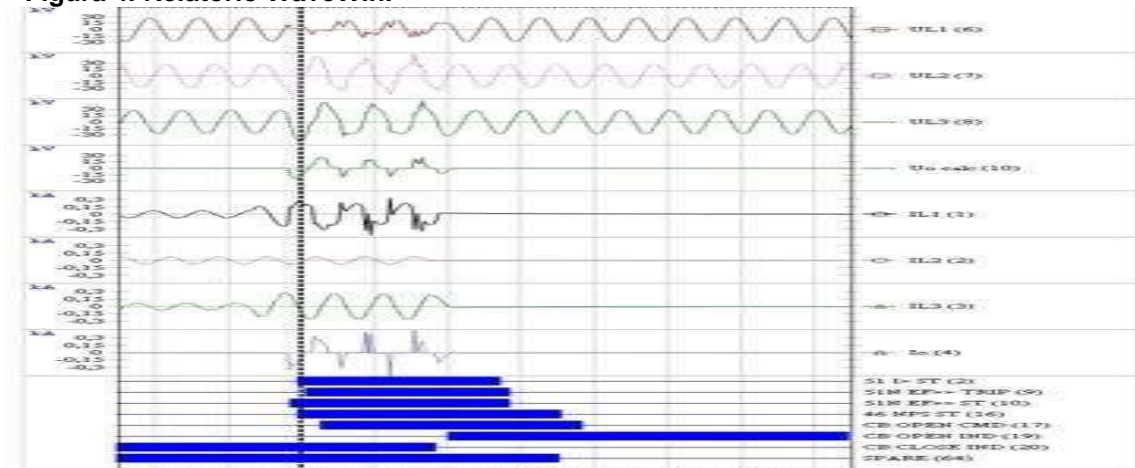
Figura 3. Dados coletados.



Fonte: Elaborado pelos autores.

Na figura 4, parecida com a anterior, foi demonstrado os tempos de atuação da proteção juntamente com as formas de onda da tensão e corrente, instantes antes, durante e após eliminação da falta.

Figura 4. Relatório WaveWin.



Fonte: Elaborado pelos autores.

De maneira detalhada, a Figura 5 demonstra o início e fim de cada proteção e o tempo em que cada uma permaneceu ativa.

Figura 5. Lista de eventos.

Number	Name	Status	Time
10	51N EF>> ST	On	24/02/2013 07:57:57.603
2	51 I> ST	On	24/02/2013 07:57:57.605
16	46 NPS ST	On	24/02/2013 07:57:57.605
9	51N EF>> TRIP	On	24/02/2013 07:57:57.608
17	CB OPEN CMD	On	24/02/2013 07:57:57.613
20	CB CLOSE IND	Off	24/02/2013 07:57:57.652
19	CB OPEN IND	On	24/02/2013 07:57:57.656
2	51 I> ST	Off	24/02/2013 07:57:57.674
9	51N EF>> TRIP	Off	24/02/2013 07:57:57.678
10	51N EF>> ST	Off	24/02/2013 07:57:57.678
64	SPARE	Off	24/02/2013 07:57:57.694
16	46 NPS ST	Off	24/02/2013 07:57:57.695
17	CB OPEN CMD	Off	24/02/2013 07:57:57.703

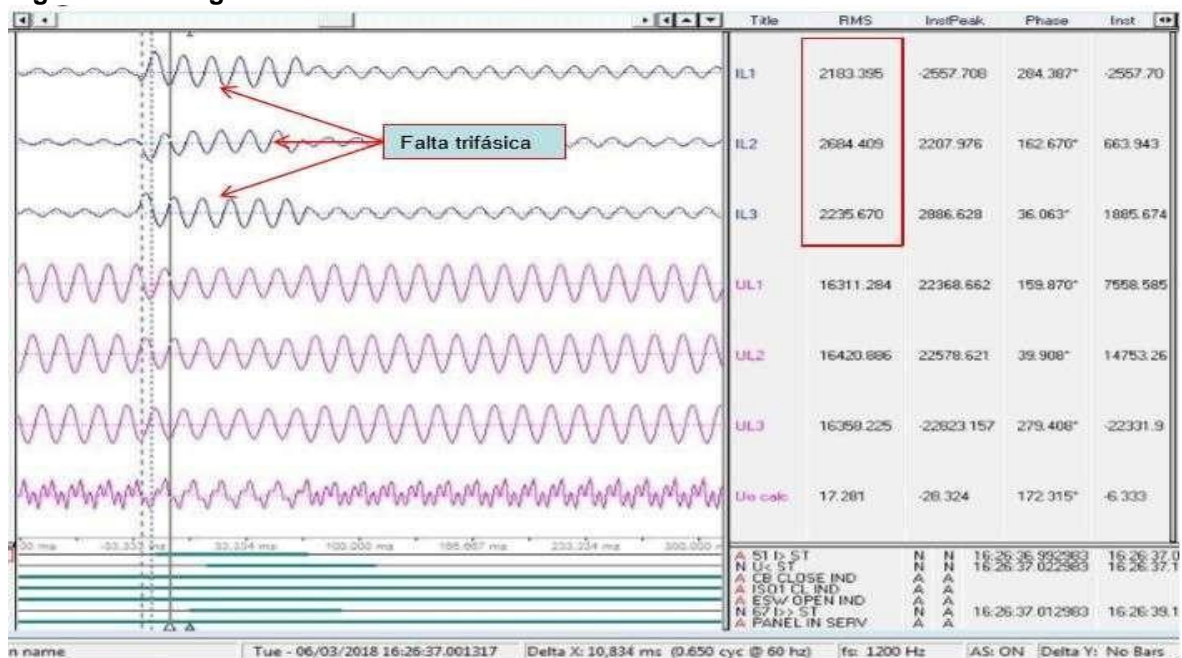
Fonte: Elaborado pelos autores.

De acordo com relatório apresentado, perceberam a atuação da seletividade convencional extinguindo a falta em aproximadamente 93ms a partir do start da proteção 51N em 07:57:57.603 e o envio do sinal de abertura do disjuntor em 7:57:57.696. Porém, para este caso não houve envio de sinal de bloqueio para os relés de proteção a montante, isso quer dizer que, ao sensibilizar a proteção, outros relés do sistema estavam com o pick-up ativo, na curva de tempo para comandar a abertura de disjuntores do sistema, onde ocorreu a abertura dos cubículos A10ADJH03 e A10ADJH05.

O curto foi gerado na barra A11 cujo cubículo alimentador é o A10ADJH03, porém o valor elevado da corrente sensibilizou outro relé que teve sua atuação abrindo o A10ADJH05 alimentador da barra A12. Esta desvantagem deixa o sistema elétrico e produtivo da empresa vulnerável a atuação e abertura de outro disjuntor, gerando interrupções desnecessárias na produção.

Na análise de oscilografia do cubículo de entrada H05_A01B do TR2, ficou evidenciado que às 16:26:36.983 iniciou-se falta trifásica no lado 138 kV, atuando o start da proteção 51I> (Sobrecorrente) e às 16:26:37.013 start da proteção 67>> (sobrecorrente direcional). A proteção 67>> estava ajustada com pick-up de 1000 A e com tempo baseado na curva IEC normal inversa. No instante 16:26:37.001 a corrente máxima chegou a 2684 A na IL2, conforme Figura 6.

Figura 6. Oscilografia.



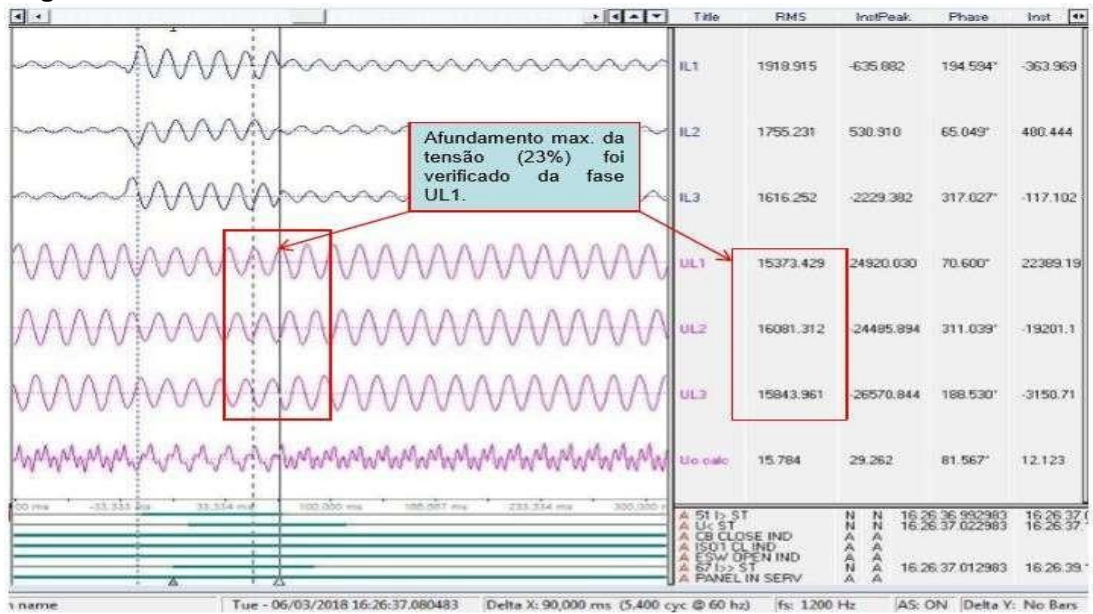
Fonte: Elaborado pelos autores.

O afundamento máximo da tensão no evento foi de 23% no instante 16:26:37.080 como mostrado na Figura 7.

Com a corrente de falta de 2684 A o tempo de atuação da proteção 67>> foi de 1.05s conforme curva IEC normal inversa, conforme Figura 8.

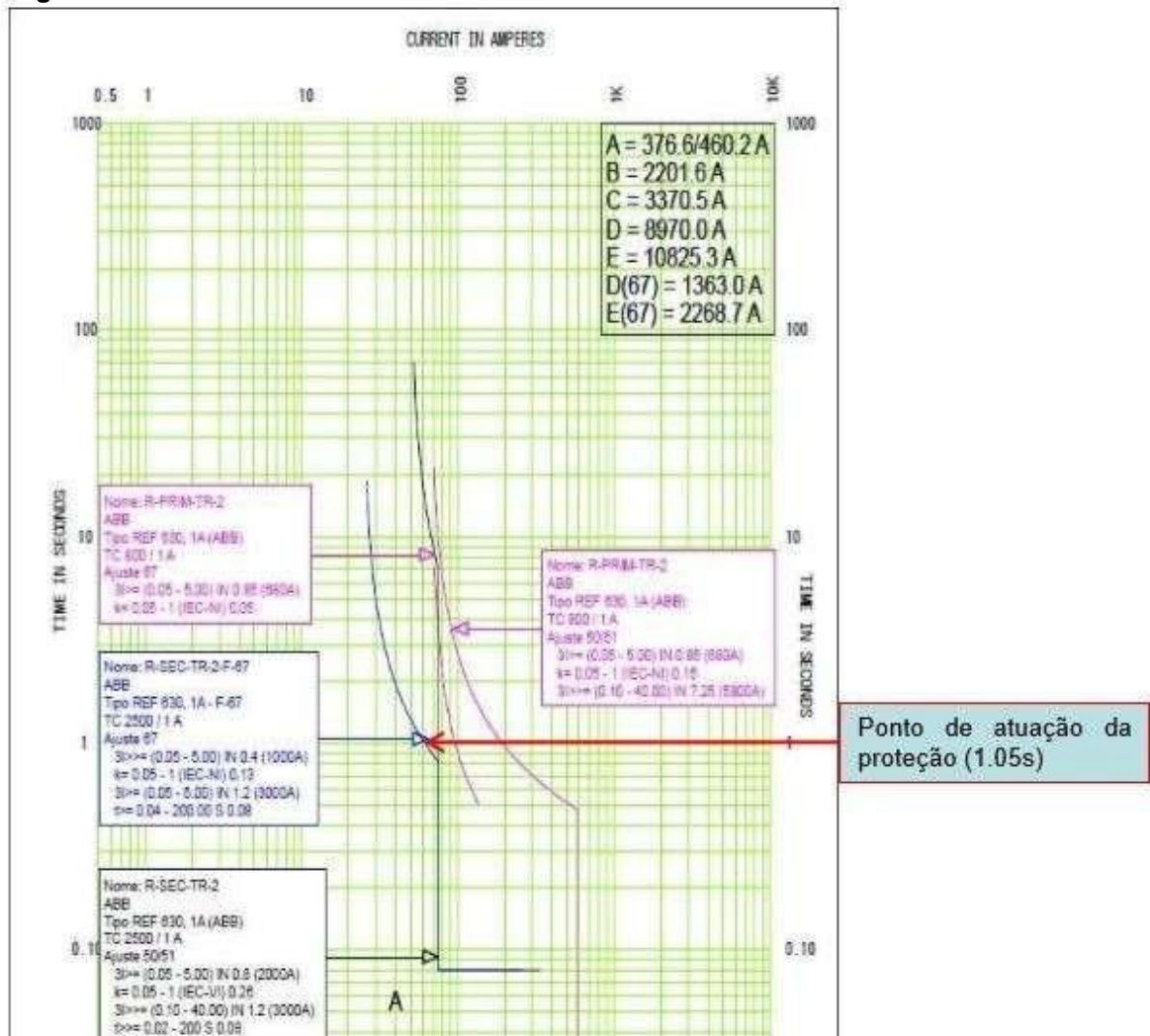
A partir das análises realizadas no sistema elétrico utilizado, representado por uma parcela do sistema elétrico industrial real, comprovou-se que a aplicação da seletividade lógica é viável e adequada.

Figura 7. Afundamento da tensão.



Fonte: Elaborado pelos autores.

Figura 8. Curva IEC normal inversa.



Fonte: Elaborado pelos autores.

O tempo de atuação do sistema de proteção foi considerado a partir do momento em que o relé estava com start de uma proteção ativo até o momento em que o próprio enviou o comando de abertura para o correspondente disjuntor.

No caso da seletividade convencional, o ajuste da função instantânea foi normalmente de 20 ms e extinção total da falta leva aproximadamente 55 à 60 ms. Isso devido aos tempos de envio de sinal para o disjuntor, o tempo de atuação do disjuntor e o retorno de comando de aberto para o relé. Considerando isso o ajuste da planta estudada para função instantânea foi de 5ms prevendo o retardo de tempo da atuação mecânica dos disjuntores.

Enquanto o relé em questão atuava, os demais relés sensibilizados pelo ajuste de pick-up estavam contando o tempo para enviar os comandos de abertura para os disjuntores. Isso deixa o sistema elétrico vulnerável a paradas desnecessárias, consideraram que o relé próximo a falta pode atuar, sendo o único responsável pela extinção total da corrente de curto sem a parada de outras áreas e com menor tempo de exposição.

Já no segundo caso, com atuação da seletividade lógica, perceberam um menor tempo de exposição do sistema a elevada corrente e com envio de bloqueio aos demais relés a montante do ponto de falta. Isso garantiu que somente o relé mais próximo ao ponto de falta atuasse e bloqueasse os dispositivos a montante, fazendo com que outros relés não atuassem indevidamente.

No exemplo observado, um curto-circuito trifásico na rede de 138 kV foi que originou a falta, e a atuação da proteção interna da ilha foi em 10 ms extinguindo a falta em aproximadamente 49 ms. Diante das ações avaliadas, em sua maioria, demonstraram que a aplicação da seletividade lógica trouxe benefícios para o sistema elétrico, minimizando o tempo de exposição da rede a altas correntes de curto-circuito.

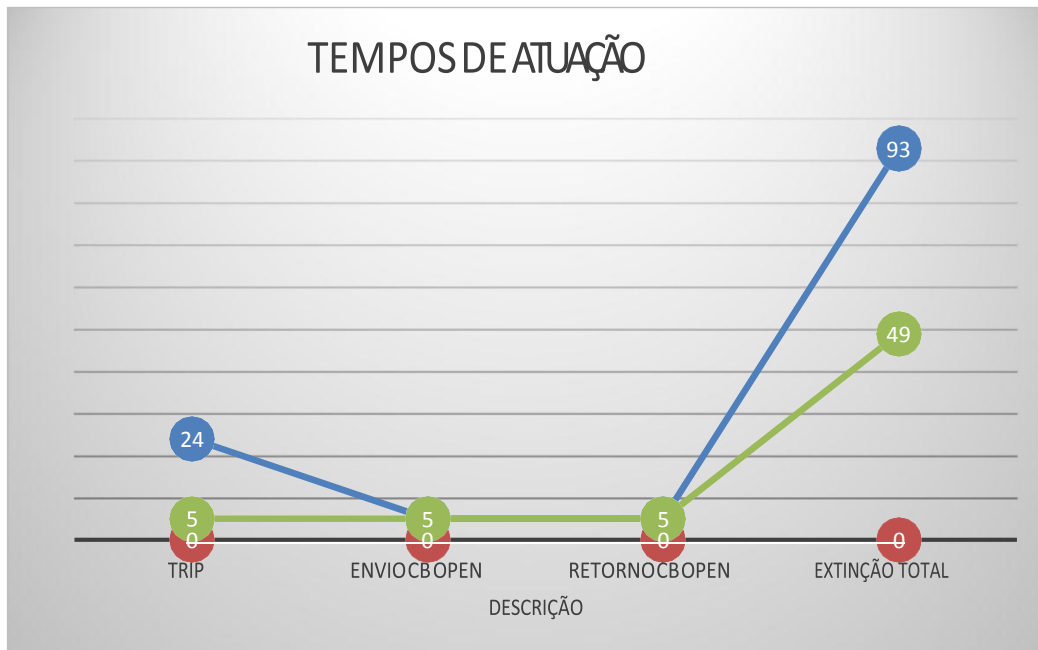
Quadro 1. Tempo de atuação.

TEMPOS DE ATUAÇÃO			
CONVENCIONAL		LÓGICA	
Trip	24ms	Trip	5ms
Envio CB Open	5ms	Envio CB Open	5ms
Retorno CB Open	5ms	Retorno CB Open	5ms
Extinção total	93ms	Extinção total	49ms

Fonte: Elaborado pelos autores.

No Quadro 1, os tempos estavam em milissegundos e a extinção total foi considerada a partir da elevação da corrente e *start* das proteções até o instante em que a corrente de falta foi completamente extinta. O Gráfico 1 foi elaborado para facilitar o entendimento dos resultados obtidos e da comparação realizada.

Gráfico 1. Tempo de atuação.



Fonte: Elaborado pelos autores.

O Gráfico 1 demonstra de maneira comparativa e mais visual a atuação das duas seletividades. É possível perceber uma diferença significativa entre as duas proteções, considerando o tempo de exposição às elevadas correntes de curto-circuito. Os pontos afetados pelo distúrbio têm seus equipamentos expostos num tempo maior na seletividade convencional, e ainda viram que por ter maior tempo de atuação, proteções em outros pontos do circuito, são sensibilizadas e suas proteções ficam ativas, abrindo assim parte do circuito elétrico de maneira desnecessária. Este fato, não ocorreu diante da seletividade lógica, já que seu tempo de atuação é menor.

5 CONCLUSÃO

Diante dos dados apresentados, fica claro o ganho qualitativo na instalação da seletividade lógica frente a convencional. Com menor tempo de atuação, garantindo eficiência, evitando desligamentos desnecessários e maior segurança ao

peçoal envolvido. Dentro da análise comparativa feita é importante ressaltar que, em um distúrbio na rede elétrica o sistema de proteção deve ser rápido, isolando a parte afetada pelo distúrbio das demais áreas da planta e garantindo a preservação e manutenção dos ativos envolvidos no processo produtivo, resultado este que, com este trabalho concluímos maior eficiência da seletividade logica para os casos analisados.

REFERÊNCIAS

KINDERMANN, G. Proteção de Sistemas Elétricos de Potência Vol.1. 2.ed. Florianópolis: EEL, 2005.

KINDERMANN, G. Proteção de Sistemas Elétricos de Potência Vol.2. 2.ed. Florianópolis: EEL, 2011.

MAMEDE, F. Proteção de Sistemas Elétricos de Potência. [S.l.]: LTC, 2011.

MATTOS, F. M. Estudo de Caso de Coordenação e Seletividade da Proteção contra Sobrecorrente em um Sistema Elétrico Industrial. 2014. Disponível em: <<http://www.ebah.com.br/content/ABAAAfWWYAB/estudo-coordenacao-seletividade-tcc>>. Acesso em 24 de mar.2018.

MENDES, E. A. Norma IEC 61850. Novo padrão de automação de subestações. 2010. Disponível em: <<http://www.dee.ufc.br/anexos/TCCs/2011.1/EZEQUIEL%20MENDES%20DE%20AL%20MEIDA.pdf>>. Acesso em 17 de fev.2018.

SÊNIOR ENGENHARIA SERVIÇOS LTDA. Introdução do conceito atual de Seletividade Lógica – Série inovações da sênior 2018. Disponível em: <<http://seniorengenharia.com.br/introducao-do-conceito-atual-de-seletividade-logica-serie-inovacoes-da-senior/>>. Acesso em 22 de abr.2018.