
SISTEMAS MULTI-AGENTES APLICADOS A PROTEÇÃO ADAPTATIVA DE LINHAS DE TRANSMISSÃO COM TRÊS TERMINAIS

Denis V. Coury*

coury@sel.eesc.usp.br

Renan Giovanini†

renan.giovanini@ons.org.br

James S. Thorp‡

jsthorp@vt.edu

*Departamento de Eng. Elétrica, Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo
Av. Trabalhador Sancarlene, 400
13566-590, São Carlos, São Paulo, Brasil.

†ONS - Operador Nacional do Sistema Elétrico
Rua da Quitanda 196/11º andar, Centro, 20091-005 Rio de Janeiro (RJ), Brasil.

‡Electrical & Computer Eng. Dept.
Virginia Polytechnic Institute, 302 Whittemore Hall
Blacksburg, VA 24061 USA.

RESUMO

Este artigo discute o uso de agentes para a adaptação de ajustes de relés de distância para linhas com três terminais. Agentes são processos baseados em *softwares* capazes de buscar informações em redes de comunicação, interagindo com equipamentos e realizando tarefas em seu favor (neste caso os próprios relés). Resultados ilustrando o desempenho do método adaptativo proposto, e os comparando com métodos convencionais, são apresentados. É mostrado que os relés digitais em conjunto com sistemas agentes, agindo dentro de um sistema de comunicação, podem alterar os ajustes adaptativos e assim assegurar o correto funcionamento do sistema de proteção sobre uma larga variedade de condições de operação. O esquema proposto para proteção adaptativa também pode ser utilizado para a transferência de abertura de disjuntor através da rede dedicada para proteção de primeira zona ao longo da extensão total da linha.

Artigo submetido em 09/08/2006

1a. Revisão em 26/10/2006

2a. Revisão em 27/02/2007

3a. Revisão em 27/08/2007

Aceito sob recomendação do Editor Associado

Prof. Carlos A. Castro

PALAVRAS-CHAVE: Proteção de Distância, Relés Adaptativos, Linhas Multi-Terminais, Agentes

ABSTRACT

This paper discusses the adaptation of the settings of distance relays for three-terminal lines employing agents. Agents are software processes capable of searching for information in networks, interacting with pieces of equipment and performing tasks on behalf of their owners (relays). Results illustrating the performance of the adaptive method proposed, compared to conventional fixed settings, are presented. It is shown that the digital relays and agents acting within a communication structure can alter adaptive settings to ensure correct performance over a wide variety of operation conditions. The proposed relaying scheme can also be utilized for transferring the trip of the first zone, clearing over the entire line.

KEYWORDS: Distance Protection, Adaptive Relays, Multi-terminal Lines, Agents.

1 INTRODUÇÃO

Relés de proteção devem detectar a ocorrência de faltas em um sistema de potência e isolar determinada parte do mesmo para prevenir que a falta afete todo o sistema.

Os relés de proteção constituíam-se inicialmente de estruturas eletromecânicas que, apesar da sua boa aplicabilidade, eram lentos e tinham a necessidade de uma mecânica fina de manufatura. Com a evolução da eletrônica nos anos 60, surgiram os dispositivos transistorizados, reduzindo custos e aprimorando a precisão da operação. O surgimento da tecnologia digital na década de 70 permitiu o desenvolvimento de relés mais rápidos e confiáveis, substituindo os circuitos analógicos existentes.

Atualmente, com a desregulamentação da indústria de potência a nível mundial, os sistemas de potência se tornaram mais complexos e sua configuração e fluxo de potência se tornaram bastante mutáveis dinamicamente. Dentro deste contexto, está mais difícil para os relés de proteção, mesmo com a tecnologia digital, impor uma parametrização que atenda todas as mudanças topológicas da rede elétrica. Em particular, a proteção de linhas multi-terminais pode ser afetada por estas circunstâncias.

Para enfrentar este cenário, conceitos de proteção adaptativa, a qual ajusta funções automaticamente de acordo com determinadas condições do sistema de potência, tem sido propostos (Horowitz e Phadke 1996), (*IEEE Working Group* 1979), (Rockefeller et al. 1988), (Horowitz et al. 1988), (Xia, Li et al. 1994) e (Xia, David et al. 1994). A proteção adaptativa é uma técnica que permite a modelagem da área de proteção mediante mudanças nas condições do sistema, visando manter o melhor desempenho da mesma (Xia, Li et al. 1994), (Xia, David et al. 1994). Um sistema adaptativo para linhas com três terminais, o qual responde as mudanças das condições da rede, foi proposto por (Stedall et al. 1996). Ainda, novos sistemas de proteção tendo em vista uma proteção mais cooperativa, usando agentes, foram propostos para enfrentamento da situação mencionada (Tomita et al. 1998), (Giovanini et al 2006), (Hopkinson et al, 2006). As duas últimas referências apresentam uma plataforma computacional de integração de *softwares* para estudo de agentes de proteção em um sistema elétrico

O artigo em questão relata projeto desenvolvido em conjunto entre a *Cornell University* (EUA) e a Universidade de São Paulo e propõe um novo conceito para cooperação do sistema de proteção utilizando-se de modelos agentes, com as seguintes características:

- O sistema de proteção consiste de equipamentos distribuídos combinados com uma vasta rede de comunica-

ção. Cada equipamento tem as funções de proteção, tais como detecção de falta, abertura, etc.

- Todos os equipamentos cooperam na adaptação das funções de proteção às complicadas mudanças dos sistemas de potência.
- O sistema de proteção tem a habilidade de efetuar substituições na coleta de dados de equipamentos com problemas, assegurando alta confiabilidade com menos *hardware* redundante.
- O sistema de proteção se auto-organiza de acordo com as mudanças topológicas do sistema de potência ou problemas com a linha de comunicação. O sistema de proteção separa-se em alguns subsistemas, onde o menor subsistema consiste de somente um equipamento.
- O sistema de proteção cooperativo introduz a teoria de agentes (Genesereth e Ketchpel 1994), (Heckman e Wobbrock 1998) para enfrentar o problema.

2 SISTEMAS AGENTES – DEFINIÇÃO

Um Agente consiste de um *software* que toma decisões baseadas em informações do ambiente em que ele se insere (Schneider, 1997). Um Agente pode ser encarado como uma entidade dinâmica que atualiza constantemente a sua base de dados através da comunicação com outros Agentes (agentes não-inteligentes) ou através da evolução do seu comportamento, baseado em experiências passadas (agentes inteligentes).

Sistemas Agentes podem ser divididos em duas categorias devido a sua mobilidade : agentes locais e agentes móveis. Os agentes móveis consistem de sistemas que podem literalmente se locomover de um ponto para outro, mantendo as suas características e funcionalidade, enquanto que os agentes locais são sistemas que permanecem fixos em um ponto durante toda a sua existência. À primeira vista, pode parecer que os agentes móveis são mais vantajosos que os agentes locais, mas devido a capacidade de comunicação, os agentes locais são capazes de solucionar uma enorme gama de problemas.

Por causa destas características de comunicação e locomoção, os agentes necessitam de uma atenção especial quanto à segurança de dados, se comparada com a necessária para *softwares* tradicionais. Características como atualização do banco de dados do agente e habilidade na verificação da identidade do gerador de uma mensagem, são tarefas que devem ser cuidadosamente estudadas durante o desenvolvimento de Agentes. Algumas políticas de desenvolvimento relativas à segurança de agentes podem ser encontradas em (Birman et al., 1999).

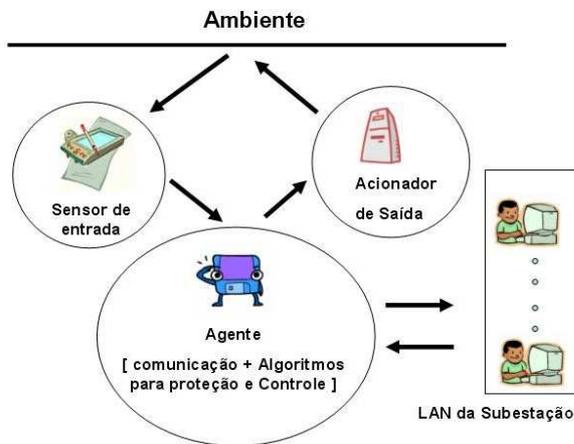


Figura 1: Estrutura geral de agentes para proteção e controle

A Figura 1 apresenta uma estrutura básica de agentes para proteção e controle. Os mesmos possuem em suas interfaces sensores que coletam informações relevantes aos seus algoritmos de proteção e controle tais como tensão e corrente locais, e possuem acionadores através dos quais acionam seus respectivos disjuntores. Internamente os agentes são constituídos por rotinas para comunicação inter-agentes e por algoritmos para proteção e controle.

3 A ESTRUTURA DO SISTEMA DE COMUNICAÇÃO E O SISTEMA DE POTÊNCIA ESTUDADO

3.1 A Estrutura do Sistema de Comunicação para os Agentes (Middleware).

Inicialmente deve ser ressaltado que a estrutura computacional sobre a qual os agentes irão operar deverá ser definida ao longo do projeto do mesmo. O sistema de comunicação existente atualmente nos sistemas de potência é composto por uma enorme diversidade de equipamentos, incluindo desde fibras ópticas com alta largura de banda, até equipamentos com limitada ou mesmo nenhuma capacidade de comunicação. Apesar deste cenário apresentar-se como uma situação desfavorável à primeira vista, esta é uma situação que deve alterar-se ao longo desta década por consequência do processo de desregulamentação no qual se encontra a indústria de energia mundial. Este processo impõe uma constante modernização às empresas do setor de energia devido à alta competição gerada por ele. A construção de uma rede de comunicação dedicada do tipo *Intranet* já é uma realidade nos E.U.A. através de projetos liderados pela *Cornell University* e, seguindo uma seqüência lógica de eventos deverá, em um futuro próximo, ser uma realidade tecnológica também no

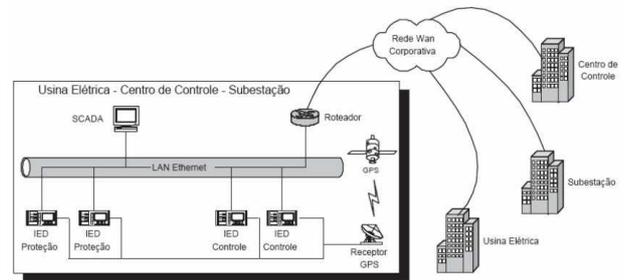


Figura 2: Sistema de proteção e controle baseado em agentes com infra-estrutura de uma rede Intranet.

Brasil.

O sistema de proteção proposto neste artigo requer uma modesta rede de comunicação se comparada com a que provavelmente estará disponível dentro dos próximos anos. No entanto, uma importante discussão que deve ser levantada refere-se à possibilidade de utilização de agentes e de sistemas de comunicação dentro da proteção de sistemas de potência. Como descrito anteriormente, os relés desempenham uma função fundamental dentro dos sistemas de potência. A comunicação entre agentes deve ser realizada com tempos da ordem de milissegundos, característica que deixa pouco tempo de tolerância à falhas durante a transmissão de dados. Assim sendo, dada a simplicidade dos requisitos de comunicação para o esquema proposto, a aplicação de agentes se mostra como uma ferramenta poderosa para enfrentar os desafios impostos pela proteção de sistemas de potência para a presente década.

Uma estrutura de agentes com capacidade de comunicação com os relés ou, assim chamados, IEDs (*Intelligent Electronic Device*) é apresentada na Figura 2. Agentes presentes nos IEDs recebem informações do ambiente a que se inserem através de sensores e atuam sobre ele conforme mostrado na Figura 1. Como mencionado, exemplos de sensores de entrada podem incluir medidas locais de corrente, tensão e estado de disjuntor. As saídas do atuador podem incluir sinais de abertura de disjuntor, ajuste de *tap* de transformadores e chaveamento de banco de capacitores. Os agentes podem ainda se comunicar com sistemas supervisórios do tipo SCADA (*Supervisory Control and Data Acquisition*). Como mostrado na Figura 2, agentes tem a capacidade de se comunicar através de uma LAN ou passar informações através de uma rede tipo WAN, comunicando-se assim com IEDs remotos.

3.2 O Sistema de Três Terminais Utilizado

Com o intuito de simular o sistema de potência real encontrado na prática, este trabalho faz uso de um simula-

dor digital de linhas de transmissão faltosas conhecido como PSCAD/EMTDC (*Manitoba HVDC Research Centre 1998*). Considerações práticas como TPs e TCs (Transformadores de Potencial e Corrente) e filtros *anti-aliasing* foram incluídos na simulação. O sistema de 400 kV simulado, incluindo a linha com três terminais, é mostrado na Figura 3. Os parâmetros utilizados para a simulação da linha de transmissão, equivalentes de geração e dados de barra são apresentados nas Tabela 1, 2 e 3 respectivamente.

Este trabalho concentra seu estudo em faltas do tipo fase-terra, uma vez que a maior parte das faltas em linhas de transmissão são deste tipo.

O sistema de proteção associado a esta configuração foi também simulado, tanto para a proteção sem canal piloto convencional como para o relé baseado em agentes proposto neste trabalho. Relés digitais quadrilaterais de distância com três zonas de proteção foram simulados nos terminais 1, 2 e 3. Rotinas computacionais baseadas em *DFT (Discrete Fourier Transform)* foram utilizadas para filtrar as ondas faltosas.

4 RELÉS AGENTES

A Figura 4 apresenta o mecanismo de agentes para o propósito de proteção implementada neste trabalho. Este esquema pode ser inicialmente dividido em esquema adaptativo de pré falta e esquema de transferência de abertura de pós-falta. O mecanismo utiliza agentes locais nos terminais 1, 2 e 3, comunicando-se uns com os outros.

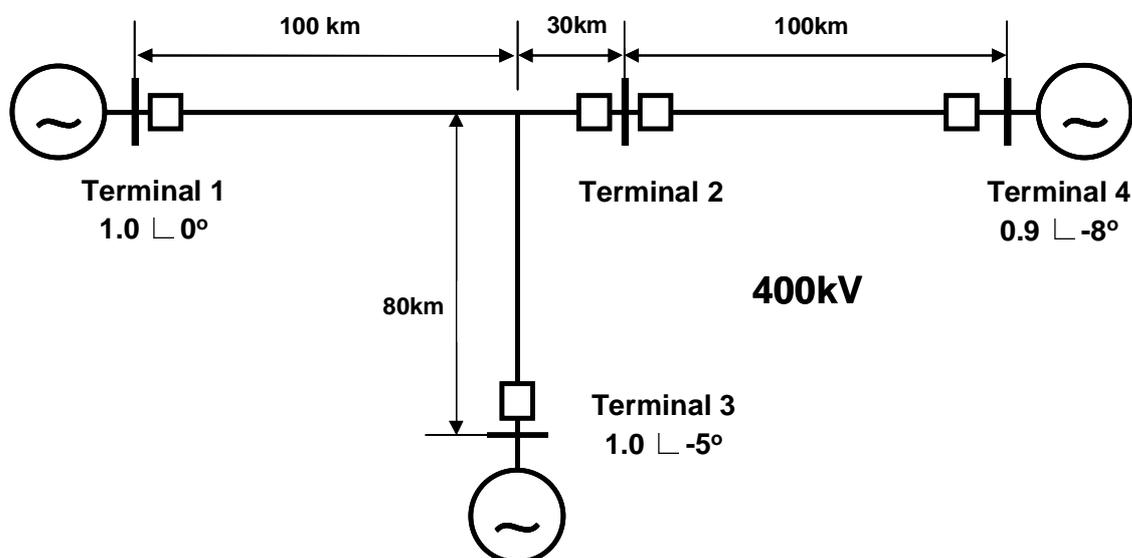


Figura 3: Linha com três terminais utilizada nos testes.

4.1 Esquema Adaptativo de Pré-Falta

O principal propósito do mecanismo de agentes proposto é executar a adaptação do ajuste de relés de distância para linhas com três terminais para assegurar o correto desempenho sob qualquer condição operacional. Inicialmente, agentes locais podem ser definidos como:

Agentes de Operação: Este é um agente local, o qual monitora a condição operacional em um dado terminal. Os seguintes parâmetros relativos a condição do sistema devem ser obtidos através de medições e/ou cálculos:

- Tensões pré-falta nos barramentos;
- Ângulo de transferência de potência;
- Impedância das fontes.

As tensões de pré falta nos barramentos podem ser obtidas através da oscilografia. O ângulo de transferência de potência pode ser obtido através do cálculo do fluxo de potência para o sistema considerado e finalmente as impedâncias das fontes podem ser obtidas através de ensaios/medições. Sabe-

Tabela 1: Parâmetros da linha de transmissão de 400 kV

Seqüência Positiva			Seqüência Zero		
R(ohms/km)	L(mH/km)	C(uF/km)	R(ohms/km)	L(mH/km)	C(uF/km)
3,853E-02	7,410E-01	1,570E-02	1,861E+00	2,230E+00	9,034E-03

Tabela 2: Parâmetros dos equivalentes das fontes 1, 2 e 4.

	Seqüência Zero		Seqüência Positiva	
	R(ohms)	L(mH)	R(ohms)	L(mH)
Fonte 1	0,3182	9,6211	1,4035	42,4413
Fonte 3	0,3349	10,1274	1,4774	44,6751
Fonte 4	0,3535	10,6901	1,5595	47,1570

Tabela 3: Dados das barras 1, 2 e 4.

	Potência (GVA)	Tensão (pu)	Ângulo de Fase (graus)
Fonte 1	10,0	1,0	0
Fonte 3	9,5	0,9	-8
Fonte 4	9,0	1,0	-5

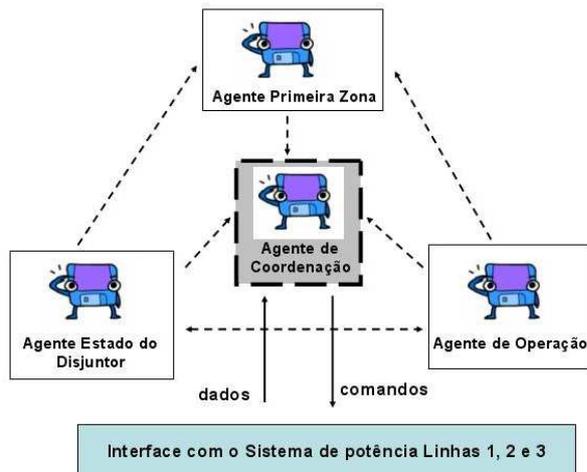


Figura 4: Mecanismo dos agentes para proteção em um terminal.

se que a condição de operação do sistema muda significativamente com a mudança dos parâmetros considerados, e por consequência disto a sua característica ideal de operação também muda. Uma solução apresentada para este fim é a formação de um banco de dados contendo algumas condições de operação do sistema mais usuais referidas a características de operação dos relés calculadas *off-line*. Assim, realizando uma verificação periódica da condição de operação do sistema através do agente de operação, pode-se utilizar a característica mais próxima disponível no banco de dados para representar a característica requerida. Esta lógica de verificação da condição operacional foi implementada computacionalmente, juntamente com o banco de dados referente às condições operacionais principais. Com este procedimento foi possível aumentar as zonas de proteção primária dos re-

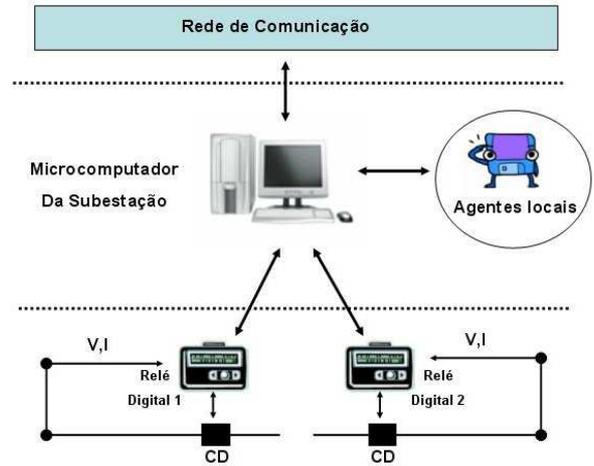


Figura 5: Sistema hierárquico.

lés e resultados promissores são apresentados nas próximas seções. Maiores detalhes para aplicação do relé adaptativo implementado neste trabalho podem ser encontrados na referência (Gheralde e Coury, 1996).

Agente Estado do Disjuntor: Este agente local monitora as mudanças na topologia do sistema baseado no estado dos disjuntores.

Os dois agentes locais, mostrados na Figura 4, devem comunicar-se com o Agente de Coordenação, definido por:

Agente de Coordenação: Este agente coleta informações, toma decisões e dissemina conhecimento aos outros dois Agentes de Coordenação. O Agente de Coordenação em cada terminal pode então escolher a correta característica do relé baseado na informação recebida.

Como citado anteriormente, propõe-se que um grupo de ajustes seja calculado *off-line* e que com a informação contida nos Agentes de Coordenação, os ajustes do relé possam ser atualizados baseado no estado do sistema.

4.2 Transferência de Abertura da Primeira Zona

Esta ação acontece depois da ocorrência da falta. Com o intuito de diminuir o tempo de extinção da falta, quando a falta é detectada na primeira zona de qualquer dos relés localizados nos três terminais, um sinal de abertura é enviado através da rede de comunicação aos outros dois terminais. O Agente Local de Primeira Zona coordena esta ação de abertura.

O esquema proposto contribui fortemente para a melhoria da seletividade do sistema de proteção. Deve também ser dada

ênfase ao fato do esquema proposto dispensar a necessidade da teleproteção para um sistema desta natureza, traduzindo-se naturalmente em benefício econômico para o usuário, uma vez que o mesmo estará fazendo uso da própria rede de comunicação instalada para a transferência de abertura de primeira zona, além de benefícios adicionais trazidos pelo seu uso.

4.3 A Estrutura Hierárquica

O sistema hierárquico para proteção de distância baseado em tecnologia de agentes é mostrado na Figura 5. Os relés digitais estão no nível mais baixo desta hierarquia. Todos os relés digitais estão conectados ao microcomputador da subestação. Este microcomputador atua como um concentrador de dados para oscilografia. Ele também serve como interface aos operadores da subestação (Phadke e Thorp 1988), bem como serve de conexão com a rede de comunicação, do tipo descrita anteriormente. O microcomputador da subestação executa a comunicação entre agentes locais em diferentes terminais, como descrito na seção anterior. Ele também recebe informações relevantes para a adaptação de relés locais a melhor característica disponível para a condição de operação. O novo ajuste é então transmitido ao relé.

5 RESULTADOS OBTIDOS UTILIZANDO SISTEMAS AGENTES

A proteção sem canal piloto para linhas com três terminais pode causar problemas sérios de sub e sobre-alcance nos relés, conforme destacado em Johns e Salmam (1995). Outra situação que deve ser levada em consideração é quando a terceira linha (*tap*) está fora de operação por algum motivo. Os ajustes dos relés de distância devem refletir estas situações.

Para evidenciar a contribuição apresentada neste trabalho, foram simuladas situações de proteção convencional sem o uso da teleproteção e canal piloto, bem como com a utilização da rede de comunicação disponível para uso da proteção adaptativa e transferência de abertura de primeira zona. Para o caso da proteção adaptativa, o mecanismo de agentes proposto na Figura 4 foi implementado, compreendendo o esquema adaptativo de pré-falta (Agentes de Operação e Estado de Disjuntor) e a transferência de abertura de primeira zona (Agentes de Primeira Zona), conforme descrito na seção 4.

A Figura 6 (a) mostra a proteção típica de distância sem canal piloto com diferentes zonas de proteção para uma linha com três terminais para a condição representada na Figura 3. Para esta situação foi realizado um estudo de coordenação de proteção para que as zonas primárias de proteção não se estendessem às linhas adjacentes, mesmo com as mudanças operacionais do sistema. Como mostrado na figura, para

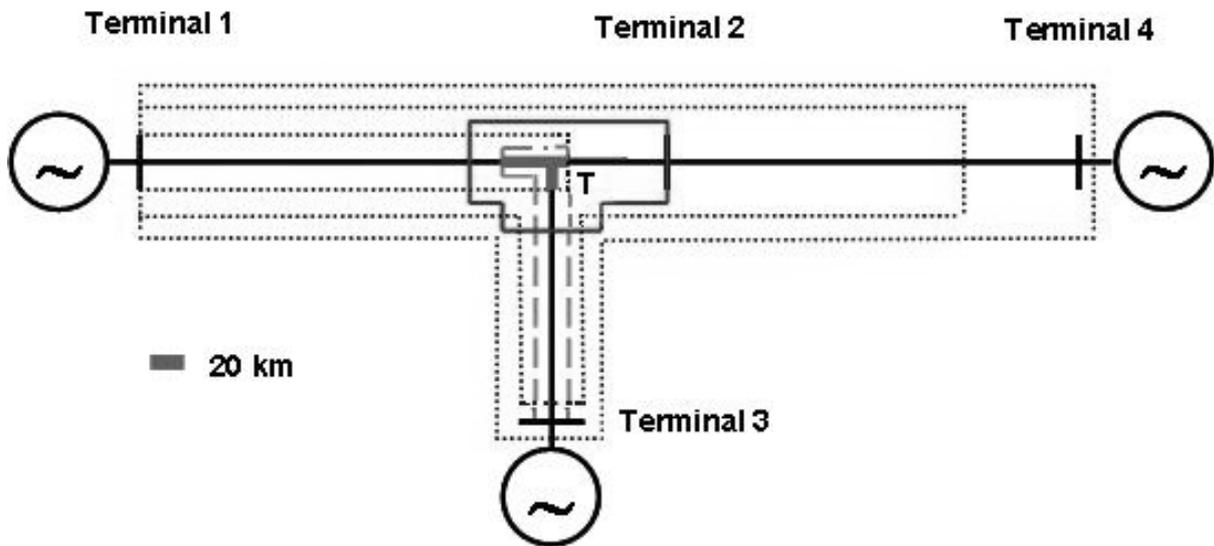
uma dada situação operacional, somente 20 dos 210 km obtêm abertura instantânea dos três terminais da linha para o caso de uma falta interna. Esta área foi determinada pela intersecção das três zonas primárias da linha de transmissão em questão.

A Figura 6 (b) ilustra a melhoria que pode ser alcançada com o esquema adaptativo proposto utilizando agentes atuando na rede de comunicação existente. Usando a mesma filosofia e considerando que para este caso os Agentes de Operação e Agentes de Estado do Disjuntor estão atuando, a área de abertura instantânea aumentou para 67 km (mais de três vezes a condição anterior) para a mesma situação. Da mesma forma esta área foi calculada fazendo-se uma intersecção das zonas primárias para a linha considerada. Neste caso o sistema adaptativo atuou alterando a característica de operação dos relés, considerando-se as situações operacionais do sistema. Como mencionado anteriormente, o esquema adaptativo proposto altera o ajuste dos relés para assegurar o melhor desempenho frente às condições operacionais do sistema tendo como consequência um aumento das zonas primárias de proteção. Deve ainda ser ressaltado que o Agente de Estado do Disjuntor está alerta a mudanças topológicas do sistema tais como, por exemplo, no caso da terceira linha estar fora de operação, como mencionado no início desta seção. Este procedimento garante uma resposta mais adequada da proteção frente a este tipo de alteração, se comparado à técnica convencional.

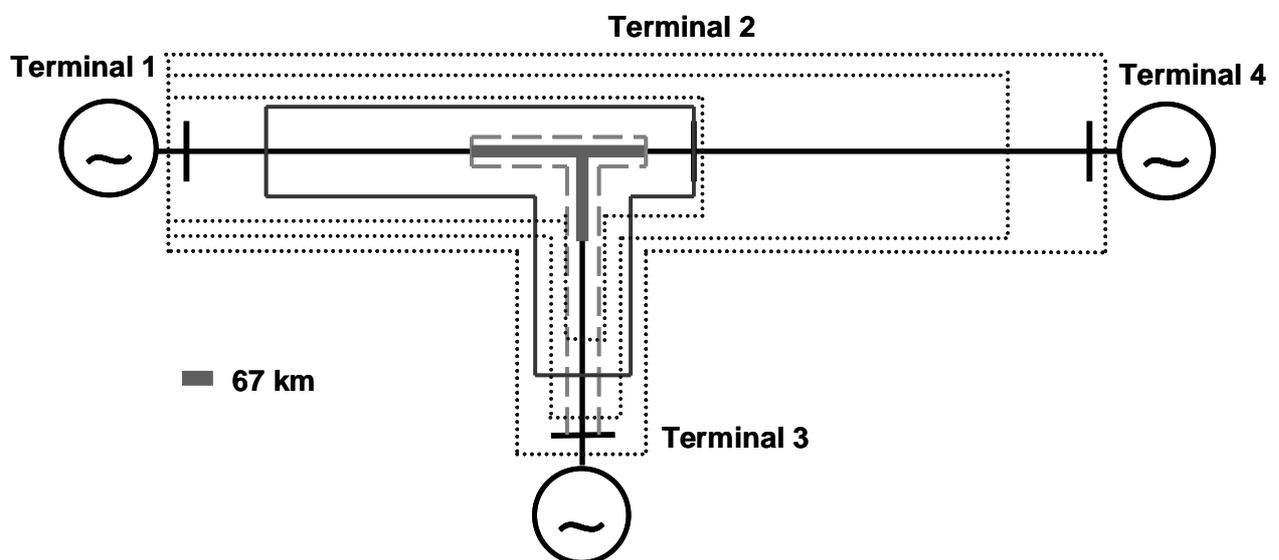
Para evidenciar ainda mais a eficiência do esquema proposto, algumas tabelas comparando o tempo de extinção da falta para o esquema convencional, bem como para o esquema proposto são apresentadas. Como citado anteriormente, esta ação ocorre após a ocorrência da falta no esquema adaptativo proposto com o intuito de diminuir o tempo de extinção da falta, fazendo uso da própria rede de comunicação disponível no esquema.

A Tabela 4 apresenta o tempo de extinção da falta para a linha com três terminais mostrada na Figura 1, considerando a proteção sem canal piloto. Falta fase-terra são aplicadas a diferentes localizações no ramo 1-T, considerando diferentes ângulos de incidência e resistência de falta de 10 ohms. Deve ser observado que para situações em que a falta se situa na primeira zona dos relés em questão (Z1), há uma rápida extinção da falta. No entanto, para faltas situadas fora da Zona 1 dos relés, isso não acontece. O tempo médio de extinção da falta para a três pernas também pode ser observado na Tabela 4.

A Tabela 5 mostra o tempo de extinção da falta para a mesma linha sob as mesmas condições usando a tecnologia de agentes proposta. Pode ser observado que independentemente da zona de proteção em que a falta recaia, devido ao mecanismo



(a) Proteção sem canal piloto.



(b) Tecnologia de Agentes proposta – Esquema adaptativo de pré-falta

Figura 6: Relé de distância para linhas com três terminais.

de transferência de abertura descrito anteriormente, os tempos de extinção de falta são bem mais baixos se comparado a técnica convencional. Isso pode ser observado pelos tempos médios de extinção para faltas situadas nas três pernas do sistema considerado.

A Figura 7 apresenta o tempo médio para eliminação da falta para a linha de transmissão com três terminais para as mesmas situações descritas anteriormente. Para uma melhor observação da técnica em casos práticos, diferentes condições de tráfego na rede foram consideradas, incluindo condições

de tráfego leve (tráfego 1), médio (tráfego 2) e mais severas (tráfego 3), para avaliação de sua influência no esquema proposto.

Deve ser observado que um tempo de abertura de disjuntor de aproximadamente três ciclos foi considerado. Ele isola a falta interrompendo a corrente em ou próximo de zero. Um tempo de coordenação para a zona 2 da ordem de 0.3 s foi também utilizado.

Como mencionado anteriormente, na tecnologia proposta, quando a falta é detectada na primeira zona de qualquer dos relés localizados nos três terminais, um sinal de abertura é enviado pela rede de comunicação aos outros dois terminais para isolar a falta. Um tempo de transferência de 10 ms foi considerado. Uma diminuição considerável no tempo de extinção da falta considerando o esquema proposto foi alcançada.

6 CONCLUSÕES

O trabalho descrito mostrou a aplicação de um novo conceito baseado em relés agentes para melhoria da proteção de sistemas elétricos. A aplicação de agentes, atuando com uma rede de comunicação para a adaptação de ajustes de relés para linhas com três terminais, foi apresentado. Os resultados mos-

Tabela 4: Tempo de extinção da falta para proteção sem canal piloto de linhas de transmissão considerando diferentes tipos de falta no ramo 1-T, diferentes ângulos de incidência de falta.(falta AT, $R_f = 10$ ohms).

Dist. de $l(km)$	AI* (°)	Terminal 1		Terminal 2		Terminal 3	
		Zona	Ext.** (seg.)	Zona	Ext.** (seg.)	Zona	Ext.** (seg.)
10	0°	Z1	0,053	Z2	0,359	Z2	0,354
20	0°	Z1	0,053	Z2	0,359	Z2	0,354
30	0°	Z1	0,053	Z2	0,359	Z2	0,354
40	0°	Z1	0,053	Z2	0,359	Z2	0,354
50	90°	Z1	0,047	Z2	0,353	Z2	0,353
60	90°	Z1	0,048	Z2	0,355	Z2	0,350
70	90°	Z1	0,048	Z2	0,355	Z2	0,348
80	90°	Z1	0,053	Z1	0,057	Z2	0,354
90	45°	Z1	0,051	Z1	0,056	Z1	0,055
100	45°	Z1	0,051	Z1	0,056	Z1	0,054
Média	-	-	0,051	-	0,2668	-	0,293

* Ângulo de incidência.

** Tempo de extinção da falta.

Tabela 5: Tempo de extinção da falta para proteção utilizando agentes, considerando diferentes tipos de falta no ramo 1-T, diferentes ângulos de incidência de falta.(falta AT, $R_f = 10$ ohms)

Dist. de $l(km)$	AI* (°)	Terminal 1		Terminal 2		Terminal 3	
		Zona	Ext.** (seg.)	Zona	Ext.** (seg.)	Zona	Ext.** (seg.)
10	0°	Z1	0,053	Z2	0,063	Z2	0,063
20	0°	Z1	0,053	Z2	0,063	Z2	0,063
30	0°	Z1	0,053	Z1	0,053	Z2	0,063
40	0°	Z1	0,053	Z1	0,053	Z2	0,063
50	90°	Z1	0,048	Z1	0,049	Z2	0,058
60	90°	Z1	0,048	Z1	0,048	Z2	0,058
70	90°	Z1	0,049	Z1	0,049	Z2	0,059
80	90°	Z1	0,059	Z1	0,050	Z1	0,059
90	45°	Z1	0,05	Z1	0,049	Z1	0,050
100	45°	Z1	0,051	Z1	0,050	Z1	0,050
Média	-	-	0,0517	-	0,0527	-	0,0586

* Ângulo de incidência.

** Tempo de extinção da falta.

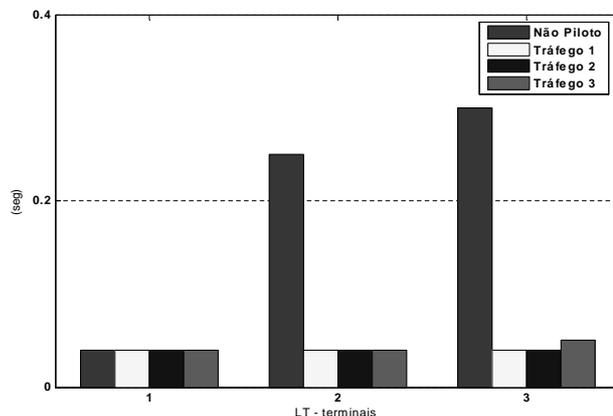


Figura 7: Tempo médio de eliminação de faltas considerando a proteção sem canal piloto e o esquema proposto

traram que a nova proposta altera os ajustes do relé para assegurar um correto desempenho sob uma grande variedade de condições operacionais, o que é uma melhoria se comparado aos relés com ajuste fixo. Além disso, uma diminuição considerável no tempo de extinção da falta foi observado com a utilização de um agente de primeira zona para transferência do sinal de abertura, evitando assim gastos adicionais com a utilização de sistemas de teleproteção.

Deve ser ressaltado que esta nova abordagem não é apenas uma nova solução para um problema conhecido, mas sim uma alternativa atrativa para os novos sistemas de proteção digitais baseados em redes de comunicação. Deve ser ressaltado que a disponibilidade de uma rede de comunicação com tais características abre uma nova perspectiva de novas aplicações relacionadas à proteção com vistas à melhoria de seu desempenho.

AGRADECIMENTOS

Os autores gostariam de agradecer a *Cornell University*, EUA e ao Departamento de Engenharia Elétrica da Escola de Engenharia de São Carlos – USP pela disponibilização dos equipamentos necessários para o desenvolvimento desta pesquisa, assim como a CAPES e a FAPESP pelo suporte financeiro. Agradecimentos ao Dr. Nilson S. Costa pelos desenhos.

REFERÊNCIAS

- Birman, K. P., Hayden, M. et al. (1999). "Bimodal Multicast." *ACM Transactions on Computer Systems* 17(2).
- Genesereth, M., Ketchpel, S. (1994). "Software Agents." *Communications of the ACM* 37(7): 48-52.
- Gheralde, A. L. J.; Coury, D. . (1996) *Proteção Digital com Característica Adaptativa Aplicada a Linhas de Transmissão*, XI Congresso Brasileiro de Automática, 02-06 Setembro, São Paulo-SP, Brasil.
- Giovanini, R., Hopkinson, K., Coury, D.V., Thorp, J.S. A "Primary and Backup Cooperative Protection System Based on Wide Area Agents", *IEEE Transactions on Power Delivery*, Vol.21 (3), July 2006
- Heckman, C., Wobbrock, J. O. (1998). "Liability for Autonomous Agent Design." *Autonomous Agents*: 392-99.
- Hopkinson, K., Wang, X., Giovanini, R., Thorp, J.S., Birman, K., Coury, D.V. "EPHOCS: A Platform for Agent-Based Electric Power and Communication Simulation Built from Commercial Off-The-Shelf Components" *IEEE Transactions on Power Systems*, Vol.21, no. 2, May 2006
- Horowitz, S. H., Phadke, A. G. (1996). *Power System Relaying*, John Wiley and Sons.
- Horowitz, S. H., Phadke, A. G. et al. (1988). "Adaptive Transmission System Relaying." *IEEE Transactions on Power Delivery* 3(4): 1436-45.
- IEEE Working Group (1979). *Protection Aspects of Multiterminal Lines*, IEEE Special Publication.
- Johns, A.T. e Salman, S.K (1995) *Digital Protection for Power Systems*, The Institution of Electrical Engineers.
- Manitoba HVDC Research Centre (1998). *EMTDC/PSCAD User's Guide*.
- Phadke, A. G., Thorp, J. S. (1988). *Computer Relaying for Power Systems*. England, Research Studies Press Ltd.
- Rockefeller, G. D., Wagner, C. L. et al. (1988). "Adaptive Transmission Relaying Concepts for Improved Performance." *IEEE Transactions on Power Delivery* 3(4): 1446-58.
- Schneider, F. (1997). *Towards Fault-tolerant and Secure Agency*. 111th International Workshop on Distributed Algorithms, Lectures Notes in Computer Science.
- Stedall, B., Moore, P. et al. (1996). "An Investigation Into the Use of Adaptive Setting Techniques for Improved Distance Back-up Protection." *IEEE Transactions on Power Delivery* 11(2): 757-62.
- Tomita, Y., Fukui, C. et al. (1998). "A Cooperative Protection System with an Agent Model." *IEEE Transactions on Power Delivery* 13(4): 1060-66.
- Xia, Y. Q., David, A. K. et al. (1994). "High-Resistance Faults on a Multi-Terminal Line: Analysis, Simulated Studies and an Adaptive Distance Relaying Scheme." *IEEE Transactions on Power Delivery* 9(1): 492-500.
- Xia, Y. Q., Li, K. K. et al. (1994). "Adaptive Relaying Setting for Standalone Digital Distance Protection." *IEEE Transactions on Power Delivery* 9(1): 480-91.