

SISTEMA MULTIAGENTES PARA APOIO À DECISÃO NA OPERAÇÃO DE SISTEMAS

JOSÉ P. BARRETO NETO¹, MARIA F. Q. V. TURNELL¹, BERNARD ESPINASSE²

1 - Laboratório de Interfaces Homem-Máquina – LIHM, Unidade Acadêmica de Engenharia Elétrica,
Universidade Federal de Campina Grande – UFCG
Av. Aprígio Veloso 882, Bloco CJ Bodocongó CEP 58109-970 Campina Grande – PB, Brasil
E-mails: pedrosa@dee.ufcg.edu.br, fatima@dee.ufcg.edu.br

2 - Laboratoire des Sciences de l'Information et des Systèmes – LSIS, UMR CNRS 6168, Université Paul
Cézanne
Avenue Escadrille Normandie-Niemen 13397 Marseille CEDEX 20, França
E-mails: bernard.espinasse@univ-cezanne.fr

Abstract— This paper presents the modelling of a multiagent system that will serve as the basis for the implementation of a computational tool for industrial operator's decision making support. The agents that compose the system implement a decentralized strategy to deal with contingency situations in industrial systems, based on the repair solution approach. This paper presents and discusses the agents' architecture applied to the context of electrical power systems supervision. Finally, it is discussed how to apply the proposed strategy in real situations and directions for future work are presented.

Keywords— Multiagent Systems, Industrial Systems, Decision Support Systems, System Restoration

Resumo— Este documento apresenta a modelagem de um sistema multiagentes que servirá como base para a implementação de uma ferramenta computacional para apoio à tomada de decisões por parte de operadores industriais. Os agentes deste sistema implementam uma estratégia descentralizada para lidar com situações de contingências em sistemas industriais, baseada em uma abordagem de solução de reparo (*repair solution*). Este artigo apresenta e discute a arquitetura dos agentes sob a luz da aplicação a um contexto de supervisão de sistemas elétricos de potência. Finalmente, é discutido como aplicar a estratégia proposta a situações reais e são fornecidas direções para trabalhos futuros.

Palavras-chave— Sistemas Multiagentes, Sistemas Industriais, Sistemas de Apoio à Decisão, Restauração de Sistemas

1 Introdução

Em sistemas industriais, a operação envolve um processo contínuo de supervisão e controle. Este controle é feito por operadores e, tipicamente é apoiado por software do tipo SCADA (*Supervisory Control And Data Acquisition*). Durante a realização desta tarefa o operador deve acessar diversas informações do sistema, o que pode representar uma sobrecarga cognitiva causando desconforto ou induzindo erros. Nos sistemas considerados críticos, a estrutura de decisão e controle é tipicamente centralizada, aumentando o tempo de aplicação de medidas de reparo. Um dos motivos é o tempo gasto na comunicação entre os responsáveis pelo sistema afetado e o centro de controle.

Em sistemas elétricos de potência, por exemplo, os esforços são concentrados na prevenção de uma interrupção de fornecimento do serviço, uma vez que a satisfação do usuário é diretamente impactada pela duração e frequência destas interrupções [Fukuyama, Endo & Nakanishi, 1996]. Assim, quando um evento deste tipo ocorre, os operadores têm que lidar com o problema de restauração do sistema com severas restrições a serem respeitadas durante a sua solução. A restrição de tempo é o problema principal na restauração do sistema, pois qualquer interrupção do

fornecimento traz associadas implicações tanto técnicas quanto econômicas. Do ponto de vista técnico, existe o risco de ameaça à integridade dos equipamentos caso este sejam submetidos a sobrecargas por longos períodos de tempo. Por outro lado, do ponto de vista econômico, as companhias de energia pagam multas proporcionais ao tempo de interrupção do serviço.

Este artigo propõe um sistema multiagente para apoiar o processo de tomada de decisão dos operadores de sistemas industriais. Este sistema multiagentes é baseado em uma estratégia de controle descentralizada e tem o objetivo de minimizar o tempo gasto durante o processo de restauração de um sistema industrial, após uma contingência.

A estratégia proposta demanda uma estrutura de decisão distribuída, em oposição à centralizada, o que traz benefícios como a existência de elementos alternativos para o controle e a possibilidade de resolução de problemas de forma localizada. Além disso, como o tempo é um parâmetro crítico durante o processo de restauração, é essencial que existam ferramentas e processos para auxiliar o operador a implementar soluções de forma mais rápida e mais eficiente.

O foco deste artigo é a especificação da arquitetura e o processo de criação de agentes capazes de aplicar a estratégia descentralizada

proposta em [Turnell, Espinasse, Aventini, 2005] e, refinada neste projeto. Este sistema de apoio à decisão constituirá a camada de decisão de uma ferramenta (em desenvolvimento) para auxiliar operadores industriais nas tarefas de recuperação do sistema após a ocorrência de contingências. Tal ferramenta será capaz de propor ao operador soluções alternativas baseadas na avaliação do sistema e na negociação entre agentes de software que representam as partes afetadas do sistema

Este artigo está estruturado da seguinte forma. Na seção 2 é apresentada uma visão geral da literatura relacionada a sistemas de apoio à decisão. Na seção 3 é apresentada a estratégia descentralizada a ser executada pelos agentes de software desenvolvidos. Em seguida, são apresentadas, na seção 4, a arquitetura dos agentes de software e uma aplicação do sistema de apoio à decisão no contexto de supervisão e controle de um sistema de subtransmissão de energia elétrica. E, por fim, a seção 5 apresenta as considerações finais e direções futuras deste trabalho.

2 Trabalhos Relacionados

Diversos estudos podem ser encontrados na literatura envolvendo o desenvolvimento de ferramentas que apoiem o processo de tomada de decisão dos operadores industriais. Estas ferramentas, conhecidas como sistemas de apoio à decisão (SAD), trazem benefícios no sentido de tornar a operação mais eficiente e de minimizar os impactos de falhas que ocorram no sistema. Ao reunir informações relativas à operação dos sistemas, estas ferramentas também possibilitam a manutenção do conhecimento especialista [Serapião et al, 2003].

Na construção dos SADs, tipicamente são utilizados conceitos e técnicas de inteligência artificial (IA). Dentre as técnicas mais utilizadas se encontram as redes neurais, lógica *fuzzy*, algoritmos genéticos e sistemas multiagentes. Exemplos de sistemas de apoio à decisão podem ser encontrados em diversas áreas tais como diagnóstico médico [Ramnarayan & Britto, 2002] e sistemas de produção de petróleo [Guerra et al, 2003], dentre outras.

Além areado contexto de aplicação, as ferramentas diferem também quanto ao seu enfoque. Algumas são voltadas para as etapas de planejamento da operação enquanto outras são voltadas para a operação propriamente dita.

No contexto de planejamento da operação, destacam-se alguns trabalhos. Em [Serapião et al, 2003] é proposta a utilização de lógica *fuzzy* para determinar a melhor alternativa de projeto de um sistema de produção de petróleo, dado um cenário específico. Porém, existe a limitação do fornecimento de uma única solução. Em [Rosa & Schneebeli, 2003] é proposta uma estratégia baseada em agentes de software para a alocação otimizada de recursos em terminais marítimos de contêineres.

Em [Campitelli et al, 2006] é proposto um sistema baseado em algoritmos genéticos para determinar alocação e coordenação da proteção de alimentadores aéreos e radiais de distribuição de energia. O foco do trabalho é nas faltas do tipo fase-terra, o que diminui um pouco sua generalidade.

No que se refere à operação, a utilização de SAD's também contempla diversas áreas, mas está relacionada à operação de sistemas críticos, como sistemas elétricos e de produção de petróleo. Em [Sheremetov, Contreras & Valencia, 2004] é proposto um sistema híbrido para lidar com o gerenciamento de contingências em complexos petrolíferos existentes em zonas marítimas. Este sistema utiliza agentes de *software* que realizam inferências baseadas em lógica *fuzzy*.

Em [Bomfim, Menezes & Caminhas, 2003] é proposta a utilização de diversos sistemas a fim de criar um comitê de especialistas para detecção de vazamentos em dutos de transferência de derivados de petróleo e, assim, minimizar os custos ambientais e econômicos.

Com relação a sistemas elétricos, há o trabalho de [Mota, Mota & França, 2004] que propõe a utilização de lógica *fuzzy* e busca heurística para auxiliar o operador na recomposição do sistema após a ocorrência de um blecaute. Para alcançar o resultado desejado, são utilizadas apenas restrições operacionais de regime permanente e, a solução é voltada para a operação em tempo real.

Em [Aoki et al, 2003] é proposto um sistema multiagentes para otimizar o deslocamento de viaturas no atendimento de ocorrências na rede de distribuição de energia elétrica e, assim, minimizar o tempo gasto na restauração da normalidade do sistema. Outra aplicação neste mesmo contexto é encontrada em [Duarte et al, 2004] que propõe a utilização de um sistema especialista para identificar e diagnosticar faltas, filtrando os alarmes e fornecendo ao operador apenas as informações relevantes.

A proposta aqui apresentada consiste em uma estratégia de restauração cooperativa com foco na minimização do não-suprimento de elementos do sistema. Ela é baseada em agentes de software que devem interagir de forma a sugerir soluções para a restauração do sistema após a ocorrência de contingências.

3 Apresentação da Estratégia

A solução proposta neste artigo consiste na utilização de um sistema de apoio à decisão que auxilie os operadores durante contingências, propondo soluções obtidas a partir de negociações entre agentes de software. Estes agentes são relacionados a elementos ou grupos de elementos do sistema real e devem raciocinar com base nas variáveis do sistema, através de regras de avaliação, na busca por soluções.

A estratégia adotada para resolução de problemas é baseada na filosofia *repair solution*, denominada *iterative repair* em [Zweben et al, 1993]. Esta estratégia visa minimizar a propagação do problema, buscando sua resolução no âmbito mais local possível. Em outras palavras, ela visa resolver o problema através da cooperação com os elementos presentes na vizinhança do elemento perturbado, evitando a propagação dos efeitos do problema para todos os elementos do sistema.

Esta estratégia é composta por 4 fases distintas e tem o foco no processo de resolução de problemas decorrentes de uma contingência ocorrida durante a operação normal do sistema. Estas fases se sucedem até a obtenção de uma solução ou até que todas as fases da estratégia sejam executadas.

A **fase 1** consiste em uma tentativa de resolução interna ao elemento do sistema que sofre a perturbação.

Na **fase 2**, uma tentativa de resolução restrita ao nível hierárquico onde a perturbação ocorreu é efetuada.

A **fase 3**, dividida em 2 passos, consiste na propagação do problema para o nível hierárquico imediatamente superior. No passo 1 é enviada uma solicitação de cooperação a um elemento que possua conexão direta com aquele que sofre a perturbação. No passo 2, o destinatário do passo 1 solicita a cooperação de outros elementos de seu nível hierárquico para resolver o problema. Esta fase pode ser repetida tantas vezes quantos forem os níveis hierárquicos ainda não atingidos durante o processo de busca da solução.

A **fase 4**, que ocorre quando o nível mais alto for atingido sem obtenção de solução, consiste em uma solicitação de redução de demanda, seguida de um corte de fornecimento baseado em uma escala de prioridades. O corte é feito para garantir que partes essenciais do sistema continuem sendo abastecidas e o sistema não entre em colapso.

Esta estratégia servirá como base para uma ferramenta de apoio à decisão a ser utilizada por operadores em ambientes industriais. A arquitetura proposta para esta ferramenta é ilustrada na Figura 1.

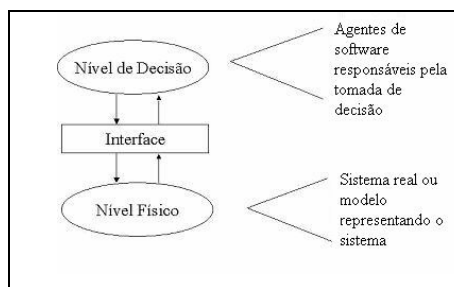


Figura 1 - Arquitetura de uma Solução Computacional

Ela é composta por duas camadas: física e de decisão, e por uma interface que as conecta.

A conexão entre as camadas é facilitada pela interface que pode gerenciar a troca de mensagens

entre elas e minimizar o esforço para endereçar os elementos existentes. Algumas opções que podem ser exploradas para implementação desta interface incluem por exemplo o uso de *sockets* ou API's.

4 Apresentação da Arquitetura de Agentes

A execução da estratégia descentralizada apresentada anteriormente é baseada na interação entre os agentes de software. Estas interações obedecem aos padrões estabelecidos pela FIPA (*Foundation for Intelligent Physical Agents*). Os agentes possuem apenas conhecimento parcial do seu ambiente e têm seus comportamentos determinados por meio de regras definidas no motor de inferência JESS (*Java Expert System Shell*) [Friedman-Hill, 2003]. Este motor é uma implementação em Java do arcabouço para sistemas especialistas CLIPS, desenvolvido pela NASA.

As regras são derivadas de normas que prescrevem como o sistema deve ser restabelecido no caso de uma contingência. Os agentes possuem planos comportamentais específicos, sejam planos locais ou protocolos de interação, que guiam seus comportamentos. Na seqüência, é descrito o significado de cada plano. O Plano Local: Descreve um comportamento isolado, que não necessita interações para ser completado. O Protocolo de Interação: Representa o comportamento de um agente quando interage com outro;

Estes planos são armazenados em um dos quatro módulos que compõem os agentes, como ilustrado na Figura 2.

Cada um dos quatro módulos apresentados na Figura 2 tem uma função específica, descrita a seguir.

- Módulo de Comunicação: Gerencia a troca

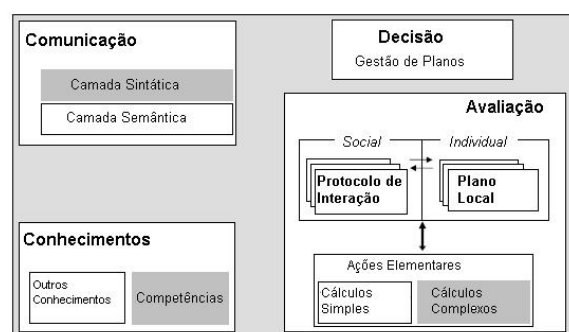


Figura 2 - Arquitetura dos Agentes de Software.

de mensagens entre agentes. Verifica se a mensagem está sintática (respeita regras gramaticais da linguagem ACL) e semanticamente (verifica se o contexto da mensagem é conhecido) correta;

- Módulo de Conhecimento: Armazena informações que o agente possui sobre si mesmo (conhecimento individual) e sobre os outros agentes (conhecimento social). Entre outras informações,

armazena as competências físicas e cognitivas do agente;

- **Módulo de Avaliação:** Enquanto as competências presentes no módulo de conhecimento descrevem o que um agente é capaz de fazer, este módulo de avaliação contém o detalhamento de como fazer. Este detalhamento está presente nos planos locais e protocolos de interação;

- **Módulo de Decisão:** Este módulo controla a execução das ações no módulo de avaliação. Isto é feito por meio de um gerenciador de planos comportamentais.

O processo de criação destes agentes é iniciado com uma descrição gráfica do seu comportamento. Esta descrição é baseada no formalismo RCA (*Représentation des Comportements d'Agents*) [Tranvouez & Espinasse, 1999] que é composto por estados e transições instanciados para o contexto multiagentes. O arquivo resultante desta representação gráfica tem o formato XML e é fornecido como entrada para um tradutor que o converte em um arquivo que contém a estrutura de regras em JESS.

O arquivo JESS contém as regras que podem ser editadas para que reflitam o comportamento desejado, assim como contém as funções de avaliação que possam ser necessárias para que o agente realize suas atividades. O arquivo de regras guia o comportamento dos agentes que são implementados na plataforma JADE (*Java Agent Development Framework*).

O conjunto destes agentes compõe uma camada de decisão que pode ser utilizada como a camada superior da arquitetura da ferramenta para apoio à decisão. Esta camada é implementada no arcabouço JADE, que simplifica o desenvolvimento de sistemas multiagentes, fornecendo um conjunto de serviços em conformidade com as especificações FIPA [Bellifemine, Poggi & Rimassa, 1999].

5 Exemplo de Aplicação ao Setor Elétrico

Um exemplo de aplicação deste sistema de apoio à decisão é no processo de restauração de sistemas de transmissão de energia elétrica. Estes sistemas, devido às suas características de divisão hierárquica e possibilidade de divisão em subsistemas, aparecem como um contexto de uso apropriado para a utilização da estratégia proposta.

Atualmente, os sistemas elétricos possuem uma estrutura de decisão centralizada, composta de instalações que estão subordinadas a um centro de controle regional, que concentra as tomadas de decisões. Por sua vez, os centros de controle regionais estão subordinados a um centro de controle nacional que é responsável por garantir que o sistema interligado opere apropriadamente.

Esta subordinação operacional exige a comunicação entre níveis hierárquicos, sempre que uma decisão for necessária. No caso tratado neste artigo o interesse é limitado à operação regional, que envolve instalações e centro de controle regional.

Para fins de operação, os sistemas elétricos são divididos em subsistemas de geração, transmissão e distribuição. Apesar destes subsistemas operarem de forma integrada, a estrutura do sistema permite que diferentes companhias operem cada subsistema. Esta distribuição gera a necessidade de troca de informação no caso de um evento afetar mais de um nível hierárquico do sistema. Quando a carga de comunicação é elevada, os custos decorrentes implicam perdas também elevadas para as companhias envolvidas.

Para exemplificar uma aplicação do sistema de apoio à decisão proposto ao contexto de sistemas elétricos de potência, considere-se o modelo simplificado da parte de subtransmissão de um sistema de potência, conforme ilustrado na Figura 3.

5.1 Modelo do Sistema Utilizado

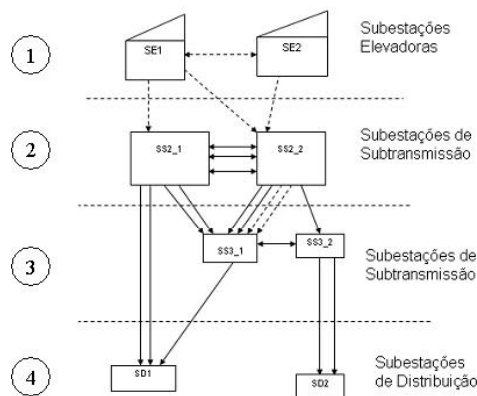


Figura 3 – Representação Simplificada de um Sistema de Subtransmissão de Energia Elétrica

O modelo utilizado para representar o sistema é uma visão simplificada do sistema real e leva em consideração apenas dados relativos: às cargas do sistema (P e Q), às tensões dos nós (V e θ) e aos parâmetros das linhas de transmissão (R, X e d).

Estes parâmetros são o mínimo necessário para analisar o sistema considerando que sua dinâmica pode ser representada apenas pelo cálculo do fluxo de carga, através do método de Newton-Raphson. O parâmetro de comprimento (d) das linhas de transmissão, apesar de não ser utilizado no método de Newton-Raphson, é usado como um parâmetro de avaliação de uma função custo, utilizada pelos agentes, para escolher a melhor solução, quando existirem várias.

Os agentes de software possuem as informações relativas aos limites de operação e ao sistema como um todo, de modo a garantir que a operação esteja de acordo com os padrões programados.

Tipos de agentes que modelam este sistema:

- SE – Representam subestações elevadoras;
- SS2 – Representam subestações de subtransmissão diretamente conectadas às subestações elevadoras;
- SS3 - Representam subestações de subtransmissão que não estão conectadas às subestações elevadoras;
- SD – Representam subestações de distribuição, que estabelecem a demanda do sistema;
- LT – Representam linhas de transmissão;
- AP – Modela a ocorrência de uma falta no sistema.

5.2 Cenário de Contingência

Neste caso, a divisão hierárquica do sistema estabelece claramente os limites de cada etapa da estratégia de resolução, baseada na filosofia *repair solution*. Então, para um cenário de perda de linha de transmissão, como a que conecta os níveis 2 e 3 mostrados na Figura 3, é possível estabelecer as etapas que compõem o processo de solução.

A contingência considerada é a perda de um dos *links* que conecta os elementos SS2_1 e SS3_1 da Figura 3. Assim, os agentes de software interagem a fim de encontrar uma possível solução para o problema. Estas interações, representando o processo de obtenção da solução na fase 2 da estratégia, estão representadas na Figura 4.

Neste caso, a **fase 1** da estratégia de solução

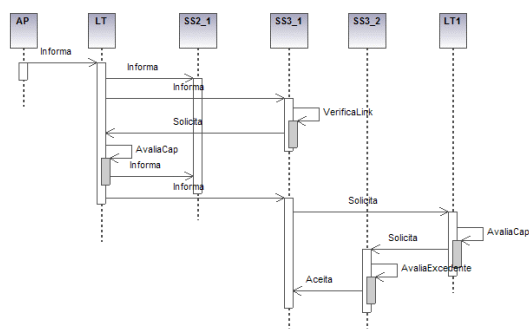


Figura 4 – Representação das Interações entre os Agentes durante o Processo de Obtenção de uma Solução

corresponde à resolução interna, quando o elemento SS3_1 busca um caminho paralelo alternativo e, caso exista, verifica se é possível transferir toda a carga através dele, respeitando os limites operacionais estabelecidos. Caso não seja possível, a segunda etapa é iniciada.

Na **fase 2** o elemento SS3_1 busca uma solução no seu nível hierárquico. Assim, uma solicitação de auxílio é enviada para o elemento SS3_2 que avalia a solicitação e, com base nas regras que definem seu comportamento, decide se é possível atender ou não. Em caso negativo, a terceira etapa é iniciada.

A **fase 3** pode ser dividida em 2 passos. No passo 1, o problema é propagado por SS3_1 para os

elementos do nível hierárquico imediatamente superior, que possuam conexão com ele. No caso o elemento SS2_2. Caso não haja solução no passo 1, SS2_2 envia uma solicitação de cooperação para SS2_1. Esta fase é repetida de modo a incluir os elementos SE1 e SE2 no processo de busca por solução. Caso não seja possível resolver o problema ao atingir este nível, é iniciado um processo de degradação do fornecimento.

Na **fase 4**, que é a chamada fase de degradação do fornecimento, inicialmente, SS3_1 envia uma requisição de redução de demanda a seu consumidor direto, SD1. Caso não seja possível a redução, então, é iniciado um processo de corte de fornecimento com base em uma escala de prioridades pré-definida.

Para perceber as mudanças que ocorrem no sistema durante o processo de busca da solução deve-se observar os parâmetros do sistema. Porém, também é possível perceber estas mudanças avaliando as etapas através das quais os agentes negociam, até encontrar uma possível solução a qual

é então fornecida ao operador. Desta forma, o sistema de apoio à decisão proposto possui o papel de “conselheiro” no processo de restauração.

Apesar do cenário apresentado considerar a perda de uma linha de transmissão, a solução pode, conceitualmente ser aplicada a outros cenários de sistemas de potência, tais como a perda de transformadores de potência, de disjuntores, entre outros. Da mesma forma a solução também pode ser contextualizada para outras aplicações industriais. Independentemente da aplicação, os agentes de software devem interagir, de acordo com as etapas da estratégia utilizada, e sugerir soluções aos operadores do sistema.

Ao tratar no nível de simulação, as interações descritas dependem do nível de complexidade do modelo utilizado, pois este define sobre quais dados os agentes devem raciocinar durante o processo. A definição destes dados é um estágio anterior à criação das regras que definem o comportamento dos agentes e, é uma consequência do contexto de aplicação escolhido e do nível de realismo desejado.

6 Considerações Finais e Trabalhos Futuros

Devido aos impactos técnicos e econômicos causados pelo tempo gasto no processo de restauração de um sistema, o uso de um sistema de apoio à decisão baseado em uma estratégia descentralizada para auxiliar os operadores no processo de tomada de decisão surge como uma medida na direção de melhorar a qualidade dos processos industriais.

O sistema multiagentes aqui apresentado foi concebido para tratar falhas de operação, sejam

humanas ou materiais, que resultem na necessidade de restaurar o sistema, após uma perda total ou parcial. Espera-se que este sistema seja capaz de fornecer uma solução, em um curto intervalo de tempo, comparado com aquele demandado por outras soluções sugeridas na literatura.

É importante, ressaltar que o uso de uma ferramenta que implemente este sistema de apoio à decisão não objetiva a substituição do operador por um sistema automático de tomada de decisão, mas busca oferecer ao operador uma ferramenta acessória para auxiliá-lo em suas tarefas.

Como proposta de trabalhos futuros estão: (1) Refinamento do modelo do sistema utilizado no estudo de caso, possibilitando uma melhor avaliação da camada de decisão da ferramenta através da observação das interações entre os agentes; (2) Inclusão de um agente de *log* para registrar todo o processo de elaboração da solução. Este agente pode ser útil em atividades de auditoria a serem realizadas *a posteriori*; (3) Validação da estratégia através da construção da ferramenta de apoio à decisão e da comparação dos resultados obtidos com outros oriundos de técnicas já consagradas na literatura. Um critério de comparação dos resultados seria o tempo de restauração do sistema; e (4) Utilização e validação da estratégia em contextos de aplicação diferentes do contexto de sistemas elétricos.

Agradecimentos

Os autores agradecem ao CNPq pela bolsa de mestrado concedida ao primeiro autor, e à comunidade acadêmica do LSIS, pelo apoio durante o desenvolvimento do projeto que originou este artigo.

Referências Bibliográficas

- Aoki, A. R.; Lambert-Torres, G.; Moraes, C. H. V.; Costa, B. R.; Barbosa, J. A. (2003) Sistema multi-agente para o atendimento de ocorrências na rede de distribuição de energia elétrica. *Simpósio Brasileiro de Automação Inteligente*, pp. 1049-1054.
- Bellifemine, F.; Poggi, A.; Rimassa, G. (1999) JADE – A FIPA-compliant agent framework. *PAAM'99*, pp. 97-108, London, UK.
- Bomfim, C. H. M.; Menezes, B. R.; Caminhas, W. M. (2003) Detecção de vazamentos em dutos de transferência de derivados de petróleo: abordagem utilizando comitê de especialistas. *Simpósio Brasileiro de Automação Inteligente*, pp. 1055-1059.
- Campitelli, E. M.; Da Silva, L. G. W.; Pereira, R. A. F.; Mantovani, J. R. S. (2006) Sistema inteligente para alocação e coordenação de proteção contra sobrecorrentes em redes radiais de distribuição de energia elétrica. *Congresso Brasileiro de Automática*, pp- 821-826.
- Duarte, A. N.; Sauv e, J. P.; Cirne, W.; Figueiredo, J. C. A.; Sampaio, M. C.; Neto, E. R.; Da Silva, M. A. H.; Araújo, A. S.; Melo, M. S. C. (2004) Tratamento de eventos em redes elétricas: uma ferramenta. *Congresso Brasileiro de Automática*.
- Friedman-Hill, E. (2003) *Jess in Action – Rule-Based Systems in Java*, Manning, Greenwich.
- Fukuyama, Y.; Endo, H.; Nakanishi, Y (1996). A hybrid system for service restoration using expert system and genetic algorithm. *Proceedings of IEEE ISAP*, pp. 394-398.
- Guerra, F. A.; Tovar, F. T. R.; Ramos, M. P.; Corrêa, L. A. D.; Coelho, L. S.; Andrade, C.; Baptista, W. (2003) Sistema especialista para monitoramento e controle de processos: a experiência do projeto Injex. *Simpósio Brasileiro de Automa o Inteligente*, pp. 450-455.
- Mota, A. A.; Mota, L. T. M.; França, A. L. M. (2004) Metodologia de recomposi o coordenada de sistemas elétricos com base em técnicas de lógica nebulosa e busca heurística. *Congresso Brasileiro de Automática*.
- Ramnarayan, P.; Britto, J. (2002) Paediatric clinical decision support systems. *Archives of Disease in Childhood*, 87, pp. 361-362.
- Rosa, R. A.; Schneebeli, H. J. A. (2003) Um sistema baseado em agentes para aloca o de recursos aplicado a um terminal marítimo de contêineres. *Simpósio Brasileiro de Automa o Inteligente*, pp. 1031-1036.
- Serapião, A. B. S.; Guilherme, I. R.; Morooka, C. K.; Mendes, J. R. P.; Franco, K. P. M. (2003) Um sistema inteligente para escolha dentre alternativas de sistemas marítimos de produ o. *Simpósio Brasileiro de Automa o Inteligente*, pp. 272-277.
- Sheremetov, L. B.; Contreras, M.; Valencia, C. (2004) Intelligent multi-agent support for contingency management system. *Expert Systems with Applications*, Vol. 26, pp. 57-71.
- Tranvouez, E.; Espinasse, B. (1999) Protocoles de coopération pour le réordonnement d'atelier. *Actes des Journées Francophones d'Intelligence Artificielle Distribu e et Systèmes Multi-Agents*, pp. 295-312.
- Turnell, M. F. Q. V.; Espinasse, B.; Aventini, G. (2005) Supply restoration in electric distribution networks: a multi-agent approach. *13M-Conceptual Modeling and Simulation Conference*, pp. 129-138.
- Zweben, M.; Davis, E.; Daun, B.; Deale, M. J. (1993) Scheduling and rescheduling with iterative repair. *IEEE Transactions on Systems, Man and Cybernetics*, Vol. 23, pp. 1588-1596.