

Gestão de Energias em Sistemas Multiagente

Rafael Lourenço

University of Minho, Department of Informatics, 4710-057 Braga, Portugal
e-mail: *a86266@alunos.uminho.pt*

Resumo Atualmente, o consumo de energia está a aumentar "exponencialmente", sendo esta, uma área cada vez mais vital nas nossas vidas, é necessário criar sistemas mais eficientes e inteligentes, que reúnem preferencialmente recursos provenientes de energia renováveis a um nível distribuído. Para isso, é exposto neste artigo a potencialidade dos sistemas multiagente, começando por apresentar um breve descrição, os seus requisitos e funcionalidades, exemplos de aplicação, plataformas de desenvolvimento e por fim uma análise de viabilidade e aplicabilidade neste campo das energias recorrendo a micro-redes.

Keywords: Sistema Multi-Agente · Características de Agentes · Gestão Energias · Micro-rede .

1 Introdução

Devido a energia elétrica ser um dos principais fatores para desenvolvimento humano, é necessário aumentar a eficiência neste setor, visto que, a reposição das energias **não** renováveis é muito demorada. O uso de energias poluentes ainda está muito presente nas nossas vidas, muito derivado ao investimento necessário e à instabilidade das "rivas". Nos últimos anos têm-se visto muitas empresas a tentar mudar este paradigma, mas a realidade é que, de acordo com a Eurostat, em 2018, **mais de 80%** da energia produzida na Europa provém de fontes não renováveis.[1]

Neste contexto, pretende-se abordar as **micro-redes** baseadas em fontes de energia renováveis, com a finalidade de, aumentar a produtividade destas. Uma micro-rede é a combinação de fontes verdes com dispositivos de armazenamento de energia, de forma a, contornar as desvantagens das energias renováveis, como por exemplo, a intermitência da geração de energia elétrica, visto que, não têm a mesma eficiência durante as 24h do dia. Esta abordagem contém diferentes estratégias de controlo para garantir a circulação, em segurança, da energia elétrica, todavia, para este tipo de rede deve ser crucial ter um sistema de emergência, de modo a, em caso de falha, poder atuar rapidamente.[8]

No entanto, o uso de sistemas multiagente para gestão da energia elétrica é crucial para otimizar o desempenho das fontes de Energias renováveis. O problema central destes sistemas é a imprevisibilidade da geração de energia, e para isso é que é usado agentes de supervisão e controlo destes sistemas como irá ser demonstrado ao longo do artigo.

A ideia central por detrás de qualquer sistema multi-agente (Multi-Agent System - MAS) é **dividir** um problema complexo, que normalmente é realizado por uma entidade (um sistema centralizado), **em partes** mais pequenas, ou seja, distribuir o problema por várias entidades (sistema distribuído).

2 Requisitos e Funcionalidades

Um sistema multi-agente (MAS) é projetado para realizar a uma série de objetivos de acordo com um conjunto de regras e regulamentos. Um MAS é um sistema que integra um conjunto de agentes que interagem, comunicam e se coordenam para alcançar os objetivos estabelecidos.[3] Apesar de existirem várias definições do que é um agente, Wooldridg e Jennings definem um agente como uma entidade autónoma que está situada num certo ambiente a fim de realizar um objetivo. Este pode ser uma peça de hardware ou um sistema computacional baseado em software. Além disso, acrescentou que, os agentes deveriam satisfazer as seguintes propriedades essenciais, também chamada de noção fraca de agente:

- ☐ **Autonomia** - traduz-se na capacidade de agir sem intervenção de um agente/utilizador do sistema.
- ☐ **Reatividade** - Um agente está preparado para reagir a mudanças do ambiente ao longo do tempo.
- ☐ **Iniciativa** - Capacidade de raciocinar e iniciar as suas ações a fim de cumprir os seus objetivos, por exemplo se um agente perder a comunicação com outro agente cujos serviços necessita, este irá procurar outro agente que forneça os mesmos serviços.
- ☐ **Sociabilidade** - Para os agentes interagirem entre eles, seja para competir ou colaborar, necessariamente, tem de existir um protocolo de comunicação entre eles.

Para além das propriedades essenciais mencionadas, existem outras que tornam uma agente mais completo, ou seja, um agente forte:

- ☐ **Mobilidade** - capacidade de um agente se mover, tanto num contexto físico como numa rede computacional.
- ☐ **Intencionalidade** - Intenções são objectivos de longo prazo do agente.[5]
- ☐ **Competência** - realiza todas as suas tarefas com sucesso.
- ☐ **Veracidade e Credibilidade** - o agente não comunica informação falsa.
- ☐ **Racionalidade** - o agente não realiza uma tarefa que vá contra os seus princípios, ou até, que seja impossível de realizar.
- ☐ **Benevolência** - capacidade de realizar objetivos que não tenham sido propostos diretamente, desde que, estes não entrem em conflito com outros agentes.
- ☐ **Emotividade** - capacidade de interpretar sentimentos, quando existe necessidade de simular a emoção humana.
- ☐ **Personalidade** - conjunto de características que tornam esse agente único.
- ☐ **Aprendizagem** - aquisição de novo conhecimento através da sua experiência e reconhecimento de padrões.

Para manter um sistema multi-agente **útil** é necessário implementar um conjunto de funcionalidades, sendo uma das principais a **cooperação** entre agentes, ou seja, relacionar todos os elementos do sistema para trabalharem num objetivo em conjunto. A **coordenação** da comunicação, conhecimentos, habilidades pode tornar o sistema mais eficiente. A **competição/negociação** entre agentes pode ser crucial para alguns sistemas, como por exemplo no caso de um sistema de leilões. Uma característica, não menos importante, que se deve ter em consideração é a **interoperação** entre múltiplos sistemas (*legacy*). Por fim, na área da gestão das energias todos os agentes implementam pelo menos uma das seguintes funcionalidades:

- ☐ **Percepção global** - ter a capacidade de analisar o ambiente onde o agente se encontra, ou seja, "olhar" para o estado do funcionamento do sistema, ou até conseguir prever o próximo estado.
- ☐ **Tomar Decisões** - Simulação do raciocínio humano, capacidade de escolha entre várias alternativas, de acordo com o comportamento do sistema.
- ☐ **Realizar Operações** - A realização de uma ação de agentes locais para alterar a configuração do estado atual do sistema. Normalmente estes agentes são os reativos, recebem uma ordem e regem muito rapidamente.

3 Vantagens e Desvantagens de um MAS

"A utilização de Sistemas Multiagente na resolução de problemas de Inteligência Artificial apresenta diversos benefícios, nomeadamente uma maior rentabilidade de recursos para problemas onde o conhecimento ou atividade é **distribuído**".[5] Passo agora a descrever, algumas **vantagens** destes sistemas:

- ☐ **Autonomia e Encapsulamento** - Um agente encapsula uma determinada tarefa ou conjunto de funcionalidades, de uma forma semelhante à programação orientada a objetos. Sendo assim, todos os benefícios associados às interfaces e encapsulamento da informação do paradigma orientado a objetos, também estão contidos nos agentes através de troca de mensagens numa linguagem de comunicação standart. Devido aos agentes não estarem conectados diretamente uns com os outros, podemos eliminar uma funcionalidade e adicionar outra enquanto outros agentes estão a executar, ou seja, não é preciso parar o sistema. [7]
- ☐ **Arquitetura dos MAS** - Estes sistemas podem ser implementados numa arquitetura aberta, ou seja, não impondo restrições à linguagem de programação ou origem dos agentes, permitindo comunicação entre quaisquer par de agentes. Isso apenas é possível, se existir um padrão nas mensagens, e para isso, existem fundações(ex:FIPA) que já definiram uma estrutura, que permitem comunicar com eficácia usando um cabeçalho e ainda fornecem algumas funcionalidade como criar, localizar e remover serviços através de um agente chamado *Directory Facilitator*. [7]
- ☐ **Simplicidade** - divide-se um problema complexo em sub problemas mais simples, facilitando assim a programação destes.
- ☐ **Robusto e Tolerante** - Dado que se distribui as tarefas pelos agentes, se um agente falhar não implica que o sistema falhe, como acontece num sistema centralizado.

- ☐ **Escalabilidade e Paralelismo** - Devido ao processamento concorrente dos agentes consegue-se uma execução mais rápida, e para além disso, facilmente se adiciona agentes a um MAS já modelado.[5]

Ambas as arquiteturas dos sistemas multiagente trazem algumas **desvantagens**:

Num Sistema Multiagente **Aberto**:

- ☐ É praticamente impossível prever o comportamento do sistema;
- ☐ Dado que os agentes têm poucas restrições, por vezes pode ser complicado pois os protocolos e ontologias(significado de certos objetos/conceitos) pode variar;
- ☐ Podem surgir problemas a nível da segurança difíceis de evitar.

Num Sistema Multiagente **fechado** :

- ☐ Elevados custos de manutenção do sistema;
- ☐ Estes sistemas tendem a ser menos tolerantes a falhas;
- ☐ Uma das vantagens destes sistemas é a interoperabilidade, e usando esta abordagem torna-se complexo adaptar um MAS a outro, visto que, existe uma estruturação pré-definida que teria de ser seguida.

4 Análise de aplicações

Foi feito um estudo recentemente [6] onde criaram um sistema MAS para controlar e monitorizar autonomamente fontes continuas e cargas interconectadas numa micro-rede para realizar a gestão da energia. Existem 4 tipos de agentes, wind agent, solar agent, load agent e server agent. Passo agora a descreve-los:

O "*wind agent*" é responsável pela energia eólica. Inicialmente, recebe um sinal para ligar e desligar a(s) eólica(s) dependendo da energia que o sistema necessita, após isso informa o server agent da tarefa realizada.

O "*solar agent*" é similar a este, porem, este é responsável pela energia solar.

O "*load agent*" é responsável por calcular a energia que é necessária fornecer ao sistema. Quando é acionado, é medida a corrente necessária, e de seguida, é enviada ao server agent para este atualizar o estado do sistema.

O "*server agent*" é o agente principal, pois é o que tem capacidade de controlo do sistema, isto é, este envia os sinais de ligar e desligar para o wind Agent e solar agent de acordo com o estado do sistema. O estado do sistema serve para saber se é necessária adicionar mais energia ao sistema.

Existe também uma ordem de prioridade que permite ao sistema adicionar fontes. Em caso de falha, a micro-rede será isolada acionando um gerador a diesel.[6]

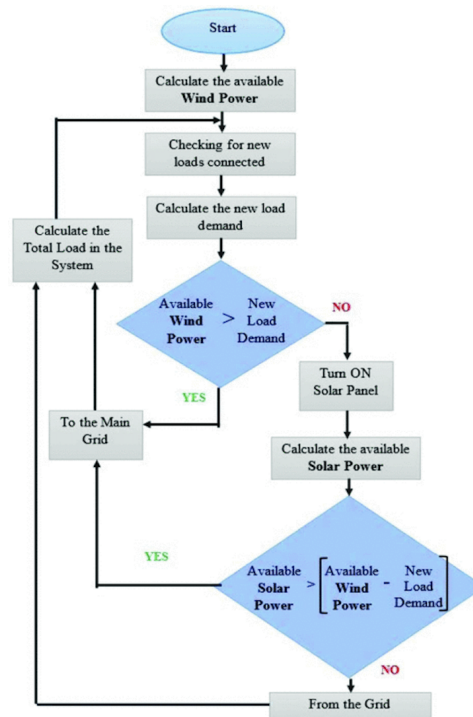


Figura 1: Algoritmo do sistema MAS

De seguida, é apresentado outro exemplo de uma aplicação numa micro-rede, com o objetivo de, otimizar a produção de energia elétrica usando energias renováveis, controlar e supervisionar a produção, sincronizar várias fontes de energia ,armazenar energia gerada em excesso etc.[8] Esta micro-rede ,com a estruturação apresentada na figura 2, está dividida em 3 grupos, o grupo responsável por gerar energia(PGG), o grupo responsável por armazenar a energia (PCG) e o grupo de controlar e supervisionar o sistema(CSG).

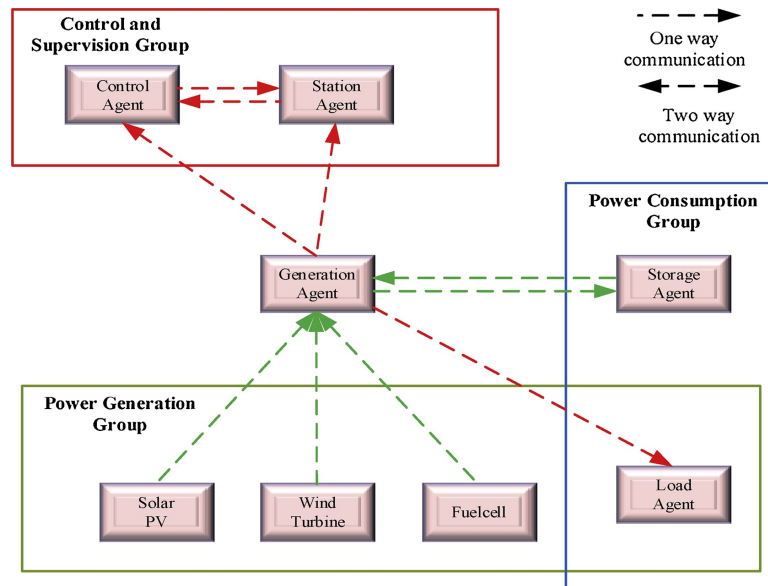


Figura 2: Estrutura de comunicação entre agentes na micro-rede

- **Power generation group (PGG)** - responsável pelos painéis fotovoltaicos, energia eólica e células de combustível(Ex: hidrogénio). Este está associado ao *Generation Agent*, que controlam monitorização da geração da energia elétrica, as configurações e executam tarefas de acordo com a capacidade das energias Renováveis.[8]
- **Power consumption group (PCG)** - responsável pela energia necessária para os consumidores e o armazenamento da mesma. Existe um agente responsável para cada um deles, que interagem diretamente com o grupo anteriormente referido . O agente *Storage Agent* responsável pelo armazenamento é bidirecional, uma vez que, pode enviar um sinal para armazenar energia elétrica durante a sua geração ou fornecer energia quando a capacidade mínima seja atingida. No entanto, o *Load Agente* é responsável pela previsão do consumo de energia da micro-rede e envia os esses dados para o *Generator Agent*.[8]
- **Control and supervision group (CSG)** - Aqui temos 2 tipos de agentes, o *Control Agent*, um agente reativo capaz de executar uma operação em poucos microssegundos assim que receber informações do *Generator Agent* e o *Station agent*, responsável pelo equilíbrio, monitoramento, supervisão da energia elétrica da micro-rede.[8]

4.1 Plataformas Existentes

Para **implementar** um sistema multiagente, deve-se utilizar uma plataforma de especializada para a programação de agentes, podendo assim focar a na implementação dos mesmos. Cada plataforma deve corresponder a um conjunto de critérios para retirar todas as vantagens dos agentes. Para além disso, deve proporcionar ambientes facilmente atualizáveis, que suportem bibliotecas e extensões para a segurança, tolerâncias a falhas e distribuição.[9] Apresento agora algumas das plataformas mais usadas:

Software	Type	Developer	Programming language	Operation system(s)	Open source
JADE™ [32]	Framework	Telecom Italia	Java™	All that supports JVM	✓
Agent Factory [33]	Framework	University College Dublin	Agent Factory Agent Programming Language (AFAPL)	All that supports JVM	✓
OpenFMB™ [34]	Framework	Duke Energy	Java™	Linux	✓
RIAPS [19]	Platform	Vanderbilt University	Python (and others in future)	Linux	✓
VOLTRON™ [35], [36]	Platform	Pacific Northwest National Laboratory (PNNL)	All	Linux	✓
Janus [37]	Platform	Laboratoire Systèmes et Transports (SET) and Grupo de Investigación en Tecnologías Informáticas Avanzadas (GITIA)	SARL, Java™	Linux, Unix, Windows, Mac OS, Android	✓
MASON [38]	Simulator	George Mason University	Java™	Windows	✓
GAMA [39]	Simulator	IRD/UPMC International Research Unit UMMISCO	GAML	Windows, Linux, Mac OS	✓

Figura 3: Comparação de plataformas,frameworks e simuladores para sistemas multiagente.Retirada do artigo [10]

Devido aos exemplos mostrados na secção 4 serem implementados no **JADE**, passo a explicar melhor esta plataforma. Aqui a implementação de um *MAS* é compatível com as especificações *FIPA* e ainda, tem um interface Gráfica (UI) que permite uma depuração do sistema. As **vantagens** mais relevantes desta plataforma são a "interoperabilidade, uso de um standard bem fundamentado, portabilidade do código e conceito neutro de agente"[4].

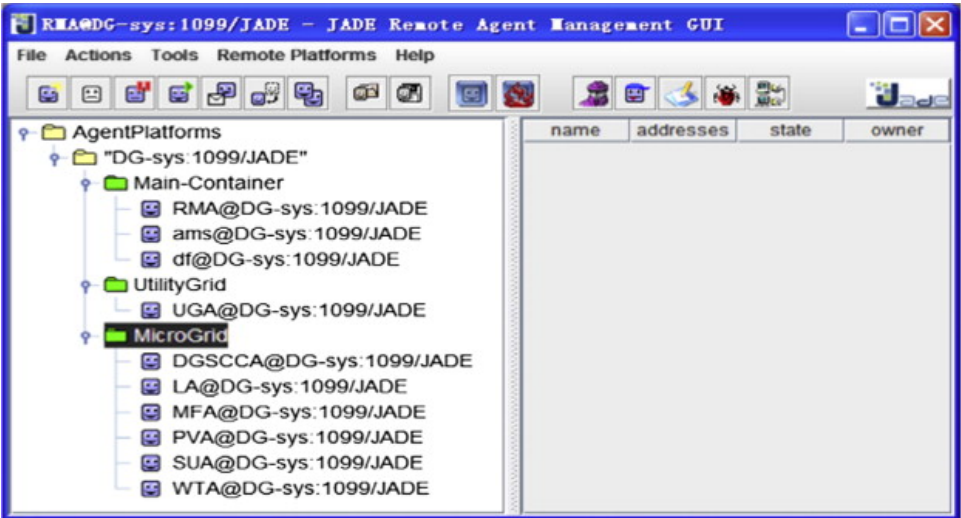


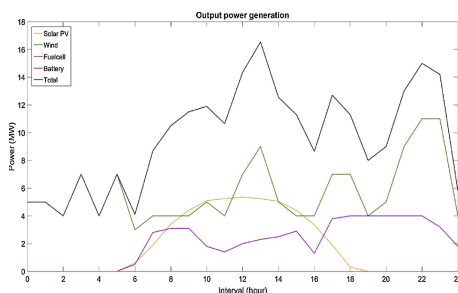
Figura 4: Interface do *Jade* para um MAS aplicado a uma micro-rede

5 Aplicabilidade no domínio

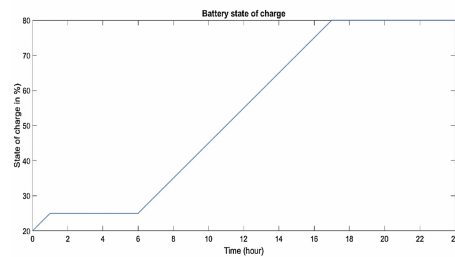
Para analisar a **viabilidade** destes sistemas usarei um estudo que foi realizado para a ilha de Tioman na Malásia, onde o sistema abastecimento de energia para a ilha é de 11 kV. Dado esta necessidade, foi proposto uma micro-rede com fontes a gerar, em media, o mesmo valor do sistema de abastecimento. Informações descritas no artigo [8]. "As estatísticas climatológicas autênticas podem ser obtidas a partir dos dois departamentos, o departamento meteorológico da Malásia (*MetMalaysia*) e a previsão da Administração Nacional de Aeronáutica e Espaço (*NASA*) da Base de dados de energia mundial, seguido por Khan et al. (2016)." A energia consumida pela ilha varia, principalmente, em função do número de turistas, feriados nacionais e atividades culturais. De acordo com a simulação apresentada no artigo referenciado acima, que foi um dos exemplos explicado na secção anterior, o sistema multiagente é usado para supervisão e gestão, em tempo real, de todo o sistema através da criação de agentes de controle. A simulação teve em conta 3 cenários:

- ☐ **1º cenário** - A energia necessária é menor ou equivalente a gerada pelas fontes de energia renováveis. As baterias não são usadas para fornecimento.
- ☐ **2º cenário** - A energia necessária é maior do que a fornecida pelas fontes de energia renováveis. Logo os dispositivos de armazenamento da energia precisam de ser ligados. As baterias são usadas para cobrir o que resta para fornecer ao sistema. No caso extremo de não ser suficiente, o agente respetivo teria de pedir energia à rede principal da ilha(sistema de abastecimento).
- ☐ **3º cenário** - pretende-se a solução ótima, considerando os todos os custos (investimento, manutenção, etc), tirando o máximo partido das baterias.

De seguida , mostro os resultados obtidos para cada um dos cenários:



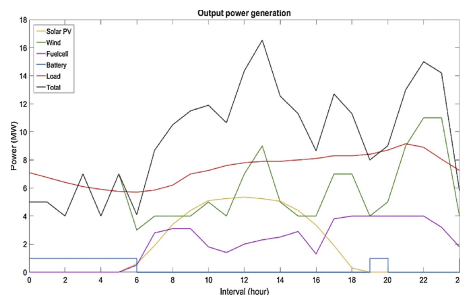
(a) Produção e consumo das fontes e bateria.



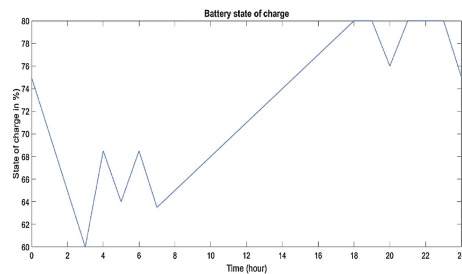
(b) Estado da bateria

Figura 5: Resultados da simulação do 1º cenário ao fim de 24h

No primeiro cenário, o consumo varia entre 1.1 MW e 1.8MW. É de fácil percepção que a energia produzida está quase sempre na fase de carregamento até atingir o máximo de 80 %.Apartir daqui, a energia é enviada diretamente para a rede principal.Entre 1h e as 6h, devido ao preço de venda e preço de compra serem muito baixos,uma vez que, o consumo da população também é mínimo, a rede desperdiça essa energia pois a produção é sempre maior que o consumo.



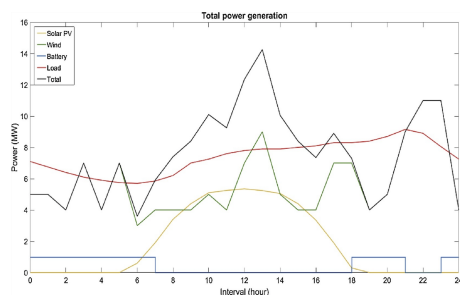
(a) Produção e consumo das fontes e bateria.



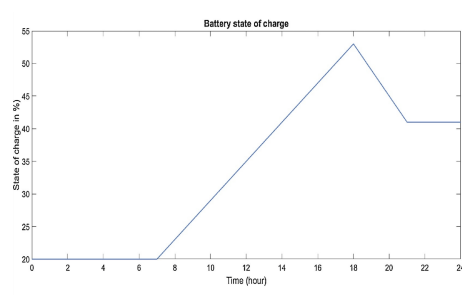
(b) Estado da bateria

Figura 6: Resultados da simulação do 2º cenário ao fim de 24h

No segundo cenário, existem fases onde o consumo é maior do que o fornecido pelas fontes verdes, ou seja, mesmo com as baterias, devido a descarga das mesma ser limitado, o sistema precisaria de comprar energia à rede. No entanto, como o preço de compra durante este período é mais baixo, é perceptível que a implementação deste sistema compensa.



(a) Produção e consumo das fontes e bateria.



(b) Estado da bateria

Figura 7: Resultados da simulação do 3º cenário ao fim de 24h

Por último, neste terceiro cenário, temos que até as 7 horas, toda a energia é enviada para a rede principal, das 7h às 18h a energia gerada pelas fontes é superior à consumida, logo é possível o carregamento da bateria até 55 %. Entre 18h e as 21h, a energia gerada volta a diminuir e é acionada as baterias, sendo necessário ainda, a compra de energia à rede da ilha. É de realçar que quando é produzida imensa energia (8h às 15h), o preço de venda é alto, combatendo assim o prejuízo nas horas necessárias. Para ver análise de preços, sugiro que vejam o artigo [8].

De acordo com esta análise detalha, é evidente que o sistema proposto oferece os seguintes **benefícios**:

- ☐ Monitorizar a capacidade de produção das fontes renováveis;
- ☐ Controlar e supervisionar essas fontes remotamente;
- ☐ Diferentes agentes trabalham de forma autónoma e fornecer resposta rápida para aumentar a confiabilidade de todo o sistema ;
- ☐ Capacidade de gestão dos custos da micro-rede.

6 Conclusão

A gestão de energia elétrica é essencial, e convém ser monitorizada com eficiência para detectar falhas ou até mesmo um ataque. As micro-redes apresentam um ótimo desempenho tanto ao nível económico, como ambiental. Estas dependem de um controlo e comunicação de qualidade para superar as suas limitações. No decorrer deste artigo, conclui-se que os sistemas multiagente estão aptos para essas tarefas, apresentando os requisitos que devem ser implementados tanto ao nível do agente como do sistema, justificando com as vantagens e desvantagens dos mesmos. É de destacar que estes sistemas são **distribuídos, coordenados e descentralizados**, permitindo assim, uma gestão em tempo real do MAS.

Após estes conceitos, são apresentados duas aplicações já implementadas em *Jade*, onde numa delas está representado o fluxo do funcionamento do sistema, num diagrama de sequência, explicando de seguida as funções de cada um dos agentes.

Por outro lado, no outro exemplo, é mostrada a estrutura que deve ser implementada, como se realiza a comunicação entre agentes, a sua organização etc.

Seguidamente, são mostradas algumas plataformas onde se pode implementar ou simular estes tipo de aplicações, como uma breve explicação de uma em específico, sendo esta, a que foi utilizada para implementar as soluções apresentadas anteriormente.

Dado que, a implementação destes sistemas de micro-rede têm um elevado custo de investimento, foi analisada a viabilidade de um projeto, garantindo que os MAS são realmente eficientes para as mesmas, e para isso, mostro o funcionamento em três cenários possíveis.

Um deles, aplica-se quando a energia fornecida pelas fontes verdes sustentavam a rede elétrica. Por outro lado, também foi observado o cenário contrário, ou seja, as fontes em conjunto com as baterias não conseguem abastecer a rede elétrica. Por último, foi examinada a solução ótima economicamente, pois esta é a mais adequada para os investidores.

Finalmente, para um trabalho futuro, seria interessante analisar um conjunto de micro-redes, com o objetivo de, sustentar uma cidade, e verificar se essa implementação ainda era viável. Nesse contexto, seria curioso investigar como se faria a interoperabilidade desses sistemas e as várias fases de desenvolvimento do software.

Referências

1. Gráfico referente ao uso de energias verdes na Europa - https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php?title=File:Renewable_energy_highlight_FP2020-PT.png (*Last accessed 16 Nov 2020*).
2. Alfonso González-Briones, Fernando De La Prieta, Mohd Saberi Mohamad, Sigeru Omatu and Juan M. Corchado (2018) '**Multi-Agent Systems Applications in Energy Optimization Problems: A State-of-the-Art Review**'.
3. M. Pipattanasomporn, Member, IEEE, H. Feroze, Student, IEEE, and S. Rahman, Fellow, IEEE (2009) '**Multi-Agent Systems in a Distributed Smart Grid: Design and Implementation**'
4. NOVAIS, Paulo, ANALIDE, Cesar. '**Agentes Inteligentes**'.
5. Luís Paulo Reis.(Tese Doutoramento)'**Coordenação em Sistemas Multi-Agente**'
6. M.K Perera, R.U.I Disanayaka, E.M.C.S Kumara, W.M.C.S.B Walisundara, H.V.V Priyadarshana, E.M.A.G.N.C Ekanayake, K.T.M.U Hemapala (2020) '**Multi Agent Based Energy Management System for Microgrids**'
7. Stephen D. J. McArthur, Euan M. Davidson, Victoria M. Catterson; Aris L. Dimeas, Nikos D. Hatziargyriou, Ferdinanda Ponci, Toshihisa Funabashi (2007) '**Multi-Agent Systems for Power Engineering Applications—Part I: Concepts, Approaches, and Technical Challenges**'
8. Muhammad Waseem Khan, Jie Wang, Linyun Xiong, Meiling Ma (2018) '**Modelling and optimal management of distributed microgrid using multi-agent systems**'
9. Marcel Koster; (2011) '**Reliable Multi-agent System for a large scale distributed energy trading network**'
10. Jing Xie , Chen-Ching Liu (2017) '**Multi-agent systems and their applications**'