



# **Simuladores Multiagente de Mercados de Eletricidade**

SIBAG

2014 / 2015

**1100586 Francisco Silva**



# Índice

1	Introdução.....	2
2	Agentes.....	3
3	Mercados de Eletricidade.....	4
3.1	Entidades.....	4
3.2	Modelos de Mercado.....	5
3.2.1	Modelo em Bolsa.....	5
3.2.2	Mercado de Ajustes ou Intradiário.....	7
3.2.3	Modelo de Contratos Bilaterais (Físicos).....	8
3.2.4	Modelo Híbrido ou Misto.....	8
4	Aplicação dos Sistemas Multiagente na Simulação de Mercados de Eletricidade.....	9
4.1	Multi-Agent System that Simulates Competitive Electricity Markets (MASCEM).....	9
4.1.1	Modelo.....	9
4.1.2	Agentes.....	10
4.2	Multi-Agent Negotiation and Risk Management in Electricity Markets (MAN-REM). 12	
4.2.1	Modelo.....	12
4.2.2	Agentes.....	13
4.2.3	Integração com o MASCEM.....	14
5	Conclusão.....	15
6	Referências.....	16

# 1 Introdução

A liberalização dos mercados de eletricidade (ME) revolucionou por completo o funcionamento dos mesmos. O principal fator de complexidade é o tipo de interações entre as novas entidades responsáveis pela produção, marketing, transportação e distribuição de energia, que surgiram com a liberalização. A simulação do funcionamento dos ME tornou-se uma área de grande investimento e fundamental para potencializar o estudo dos mesmos de forma a reduzir a sua imprevisibilidade.

Os simuladores de ME permitem analisar e prever diferentes cenários de forma a criar perfis dos participantes no mercado, reconhecendo as suas estratégias e procurando as melhores condições que facilitem o processo de tomada de decisão. Estas ferramentas permitem aos participantes no mercado estudar qual a melhor abordagem que devem ter nos ME de forma a potencializar o seu sucesso. As entidades reguladoras dos ME também tiram bastante partido dos simuladores ao poderem testar novas operações e regulamentos de mercado num ambiente controlado.

Uma das grandes apostas por parte dos desenvolvedores de simuladores de ME tem sido a aplicação do conceito de sistemas multiagente. Este documento destina-se a apresentar alguns exemplos dessas apostas e as suas vantagens.

## 2 Agentes

Nos anos 80 surgiu um novo ramo de inteligência artificial, a Inteligência Artificial Distribuída (IAD). Este ramo surgiu com o propósito de melhorar a resolução de problemas complexos de aprendizagem, planejamento e de tomada de decisão. Para esse feito a IAD conta com vários agentes distribuídos, capazes de processar informação autonomamente, que permite separar o problema em partes inferiores e aproveitar toda a capacidade computacional disponível.

O termo agente tem muitas definições associadas atendendo à sua utilização em diversas áreas com diferentes propósitos. Na área de IAD, uma das definições mais populares é a definição de Wooldridge e Jennings [1] que define um agente como sendo um *software* que usufrui das seguintes propriedades:

- *Autonomia*: os agentes operam sem intervenção externa e controlam o seu estado interno.
- *Habilidade Social*: os agentes comunicam com outros agentes ou humanos através de alguma linguagem de agentes.
- *Reatividade*: os agentes apercebem-se do que os rodeia, o ambiente em que estão inseridos e respondem a mudanças que nele ocorrem.
- *Pro-atividade*: os agentes não se limitam a reagir às mudanças no seu ambiente, eles também podem tomar iniciativas atendendo aos seus objetivos individuais.

A IAD divide-se em duas áreas: Sistemas Multiagente (SMA) e Resolução Distribuída de Problemas (RDP). Os SMA são mais focados nos agentes e na forma como coordenam o seu conhecimento e as suas atividades enquanto os RDP se focam em como o problema é resolvido. No caso dos SMA os agentes já existem à partida, independentemente do problema específico que possa surgir, enquanto que os RDP só concebem os seus agentes após análise do problema a resolver [2]. Ambas as áreas utilizam um conjunto de agentes que interagem entre si de forma a resolver um problema que um único agente não conseguiria. Neste documento apenas é abordada a área dos SMA.

### 3 Mercados de Eletricidade

Após a segunda guerra mundial, devido à destruição do pós-guerra e às suas consequências económicas, alguns países apostaram no setor elétrico através da criação de empresas verticalmente integradas. Estas eram responsáveis pela produção, transporte e, muitas vezes, pela distribuição de energia. A concentração destes segmentos levou a que o setor fosse caracterizado por um regime monopolista. No entanto, com a expansão do setor este regime tornava-se ineficiente e desvantajoso. Muitas empresas possuíam equipamento deteriorado e com perdas de eficiência, além do aumento da poluição, preço elevado do transporte e incapacidade de compra das classes sociais mais baixas. Os governos, que procuravam superar estas dificuldades com investimento de capitais, não obtinham o lucro desejado, passando o setor energético a ser alvo de preocupação.

Foi desta forma que surgiu o mercado liberalizado [3], pelo qual os países mais industrializados se regem, criando uma tendência mundial. O modelo monopolista deu lugar à estrutura desverticalizada, onde há separação vertical e horizontal.

Esta nova tendência [4] permite desenvolver um mercado a livre concorrência, uma vez que possibilita a liberalização dos segmentos potencialmente competitivos como a produção, comercialização, transporte e distribuição.

Estas mudanças [5] proporcionam condições para o estabelecimento de um mercado mais competitivo, onde as leis de oferta e procura estimulam a qualidade do serviço, redução de custos e aumento da eficiência.

#### 3.1 Entidades

Sendo um dos principais objetivos promover a competitividade de mercado, foram introduzidos vários novos participantes no processo da comercialização de energia. Embora existam países que se regem por modelos próprios, existem entidades comuns que caracterizam o regime livre. Em certos mercados, estas entidades cooperam entre si e podem desempenhar outros papéis não referidos.

- O Operador de Sistema (OS) é uma entidade independente, responsável pela gestão da rede de transporte, capaz de garantir a segurança, qualidade e eficiência económica do sistema elétrico. Para que isto seja possível, todas as transações negociadas em mercado têm de ser validadas por esta entidade, incluindo as estabelecidas diretamente entre compradores e vendedores, como os Contratos Bilaterais.
- O Operador de Mercado (OM) é a entidade responsável por gerir o mercado em Bolsa. A cada período, tem como função aceitar os pedidos das propostas de compra e venda e, através desta informação, estabelecer o preço de mercado. O OM permite a concorrência do mercado. Dependendo do mercado, pode cooperar com o OS no desempenho de algumas funções.
- Os Produtores são os responsáveis pela produção de energia elétrica e operam independentemente das outras entidades. Caracterizam-se como sendo as centrais elétricas.

- Os Consumidores são aqueles que compram a energia; a última entidade do processo de venda de energia. Podem ser de maior ou menor escala e, com isso, consumidores de alta ou baixa tensão, respectivamente, dependendo do propósito.

Além destes, existem outros participantes de mercado como empresas de Distribuição e Transporte, Retalhistas, Agregador, Corretor e Comercializador, que têm papéis relativos ao processo de distribuição e compra de energia.

## 3.2 Modelos de Mercado

Têm sido considerados vários modelos para a estrutura do mercado, sendo três modelos básicos a considerar: Modelo em Bolsa, Modelo de Contratos Bilaterais e Modelo Misto [3].

### 3.2.1 Modelo em Bolsa

O Modelo em Bolsa é o mais comum e pode surgir de várias formas. É caracterizado como tendo uma entidade, geralmente o OM, que recebe e gere as propostas de compra e venda para o dia seguinte e período. Cada dia, dependendo do mercado, pode ter 24 ou 48 períodos de negociação em que se pode submeter uma proposta, correspondentes a cada hora ou meia hora, respectivamente. As propostas contêm o volume de energia e o preço desejado para a transação.

O tipo de mercados que melhor representam este modelo são os Mercados do Dia Seguinte, ou *Day-Ahead*, onde é possível negociar a energia para o dia seguinte, como o próprio nome indica. Estes mercados podem conter condições complexas.

A existência do Mercado de Bolsa potencia a competitividade de mercado, sendo que quanto menor o valor licitado para a venda de energia, maior a probabilidade de conseguir efetuar a transação, uma vez que vai ter mais compradores a disputar a licitação. Este processo faz com que os preços de venda sejam mais baixos e que os compradores façam propostas com valor mais elevado para fazer face à competitividade.

Depois de definido um despacho provisório para o dia seguinte resultante das transações do mercado, é necessário verificar a viabilidade técnica desse despacho, garantir que as restrições da rede de transporte não são superadas, e que não existem congestionamentos.

Para isso, o OM envia ao OS toda a informação necessária, como por exemplo os volumes de energia e os barramentos de injeção e absorção de energia (resultante das transações). O OS analisa o despacho, e caso seja garantida a sua viabilidade, transmite informação aos produtores sobre os valores obtidos, contrata os níveis necessários de serviços auxiliares (correspondente, por exemplo, à produção de energia reativa, controlo de tensão, etc.), e comunica os valores obtidos do trânsito de potência nas redes, para cada intervalo de negociação, às empresas proprietárias das redes de transporte [6] [7].

A partir deste modelo surgiram duas variantes: Simétrico e Assimétrico. Estas variantes pretendem calcular o Preço de Mercado e Quantidade Negociada de energia, porém, utilizam métodos distintos.

### 3.2.1.1 Mercado de Bolsa Simétrico

Para o Mercado Simétrico, o Operador de Mercado ordena por ordem crescente do preço as ofertas de venda e por ordem decrescente as ofertas de compra, para cada período de uma ou meia hora. Desta forma, são obtidas duas curvas que representam as ofertas de compra e venda. O ponto de interseção entre elas traduz o Preço de Mercado e Quantidade Negociada de Energia. A Figura 1 ilustra este processo.

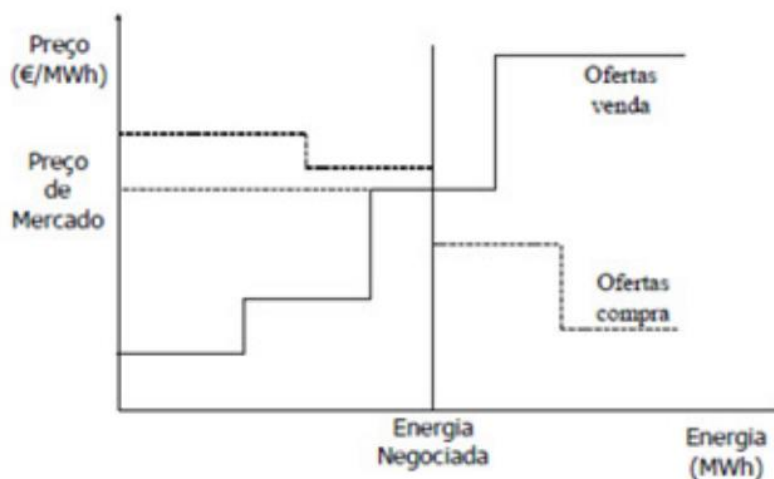


Figura 1 - Mercado Simétrico [8]

O mercado Pool Simétrico é o tipo de mercado mais comum utilizado em mercados *spot*, pois possibilita a proposta de ofertas de venda e de compra [9].

### 3.2.1.2 Mercado de Bolsa Assimétrico

No Mercado Assimétrico, apenas são submetidas as ofertas de venda. Assim, o OM apenas aceita o número de ofertas exato para fazer face à procura. Após isto, as ofertas são ordenadas por ordem crescente e o preço a pagar por todas elas será igual ao preço da oferta de venda (aceite) mais cara. A Figura 2 ilustra um exemplo da obtenção do Preço de Mercado e da Carga Prevista para esse preço.

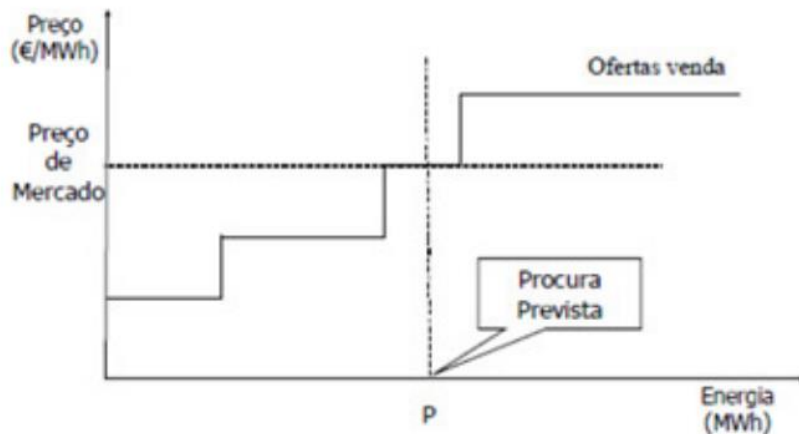


Figura 2 - Mercado Assimétrico [8]

### 3.2.1.3 Mercado de Bolsa com Condições Complexas

A adição de Condições Complexas ao Mercado de Bolsa [10] tem como objetivo permitir ao agente a definição de critérios que considera importantes para a sua participação no mercado. As condições são assentes no período, unidade de produção, preço e quantidade de energia. Caso não se verifique pelo menos uma das condições, o agente é retirado do mercado. Já não tem hipótese de mudar a proposta. Este tipo de condições apenas são aplicadas a propostas de venda.

### 3.2.2 Mercado de Ajustes ou Intradiário

O Mercado de Ajustes [10] é um tipo de mercado associado ao Mercado Diário, complementando-o. Permite que os agentes ajustem os valores associados às ofertas de energia, compensando as flutuações de mercado face aos valores previstos. O Mercado compreende seis sessões diárias de negociação, onde cada uma corresponde a determinados períodos do Mercado Diário. O agente apenas pode participar nas sessões correspondentes aos períodos em que participou no mercado.

Também o Mercado de Ajustes pode conter Condições Complexas. Tal como no Mercado Diário, quando não satisfeita pelo menos uma das condições a proposta é retirada do mercado ou submetida a ajustamentos/alterações.

A participação neste mercado é voluntária.



### 3.2.3 Modelo de Contratos Bilaterais (Físicos)

O Modelo de Contratos Bilaterais permite a realização de transações diretamente entre entidades vendedoras e compradoras. Este tipo de ofertas possui termos e condições negociados livremente e especificados por ambas as partes. No entanto, é de grande importância a consideração das limitações técnicas da rede elétrica e da sua segurança, uma vez que não podem ser postos em causa. Devido a isto, estes contratos têm de ser participados ao OS, entidade responsável por operar este tipo de ofertas.

Este modelo apresenta algumas desvantagens como elevado custo de negociação e risco de crédito. Por outro lado, o preço acordado entre as partes pode manter-se por um período longo sem sofrer qualquer alteração.

### 3.2.4 Modelo Híbrido ou Misto

Este Modelo é uma junção de características dos modelos já apresentados (Modelo em Bolsa e Modelo de Contratos Bilaterais) e daí poder chamar-se Modelo Misto. Tem como foco os interesses dos consumidores, uma vez que estes podem optar por comprar energia segundo o Modelo de Bolsa, onde estão sujeitos ao Preço de Mercado estabelecido, ou segundo o Modelo de Contratos Bilaterais, que lhes permite negociar energia diretamente com os fornecedores.

Como nos modelos anteriores, também aqui existem o OM e o OS. Enquanto OM gere a informação relativa às transações em Bolsa, o OS assegura a viabilidade dos acordos.

Este é o modelo mais utilizado pelos países aderentes à reestruturação do setor elétrico, como é o caso do Nord Pool [11] da Noruega, Suécia e outros países nórdicos e o MIBEL [12] de Portugal e Espanha.

## 4 Aplicação dos Sistemas Multiagente na Simulação de Mercados de Eletricidade

Ao simular ME, pretende-se simular a interação entre as diversas entidades participantes. Os participantes no mercado não têm todos a mesma personalidade nem tomam as mesmas decisões perante as mesmas situações. Quando uma abordagem fracassa, o participante aprende com esse erro e muda a sua abordagem. Um dos pontos mais complexos na simulação de um ME passa por isso mesmo, pela simulação do comportamento humano. Contrariamente a muitos outros sistemas alvos de simulação, em que é possível generalizar o comportamento de cada entidade, neste sistema o comportamento das entidades é muito importante dada toda a estratégia inerente à participação num mercado competitivo.

De forma a melhorar a representação das entidades e a interação entre as mesmas, tem sido cada vez mais comum a implementação de simuladores multiagente. Uma das principais vantagens da abordagem multiagente aos ME é a fácil inclusão de novos modelos, mecanismos de mercado, tipos de participantes e diferentes tipos de interação entre eles.

### 4.1 Multi-Agent System that Simulates Competitive Electricity Markets (MASCEM)

O MASCEM [8] é uma ferramenta que permite o estudo dos mercados elétricos complexos e dos seus participantes [13]. Foi desenvolvido pelo Grupo de Investigação em Engenharia do Conhecimento e Apoio à Decisão (GECAD) do Instituto Superior de Engenharia do Porto (ISEP) e baseia-se na programação em Java, recorrendo à plataforma OAA para comunicação entre agentes, independentemente da sua linguagem de implementação.

#### 4.1.1 Modelo

O MASCEM permite a simulação dos principais modelos de mercado, especificamente o Modelo em Bolsa, Contratos Bilaterais e Modelo Misto. Estes modelos são descritos na seção 2.1.2. O MASCEM inclui também modelos de mercado específicos de diferentes operadores. Exemplos importantes a nível europeu são a modelação do mercado MIBEL, EPEX [14], e Nord Pool. O simulador conta também com outro sistema multiagente interno que serve de apoio aos agentes participantes no mercado. Este sistema chama-se ALBidS (Adaptive Learning Strategic Bidding System) e permite aos agentes adaptarem as suas abordagens conforme a sua situação atual. O ALBidS dispõe de várias técnicas de forma a dar resposta às diferentes situações que podem ocorrer na participação dos agentes no mercado. De momento o ALBidS possui técnicas como redes neuronais, teoria de jogos, abordagens estatísticas, entre outras.

#### 4.1.2 Agentes

De forma a obter uma melhor compreensão da estrutura de agentes do MASCEM, esta secção irá apresentar primeiro o simulador original, sem inclusão do ALBidS, e posteriormente a versão integrada.

##### 4.1.2.1 MASCEM

Uma simulação contém os seguintes agentes: facilitador de mercado, produtores, consumidores, operador de mercado, operador de sistema, VPPs e facilitadores dos VPPs [13]. A Figura 3 ilustra os vários tipos de agentes e as suas principais interações.

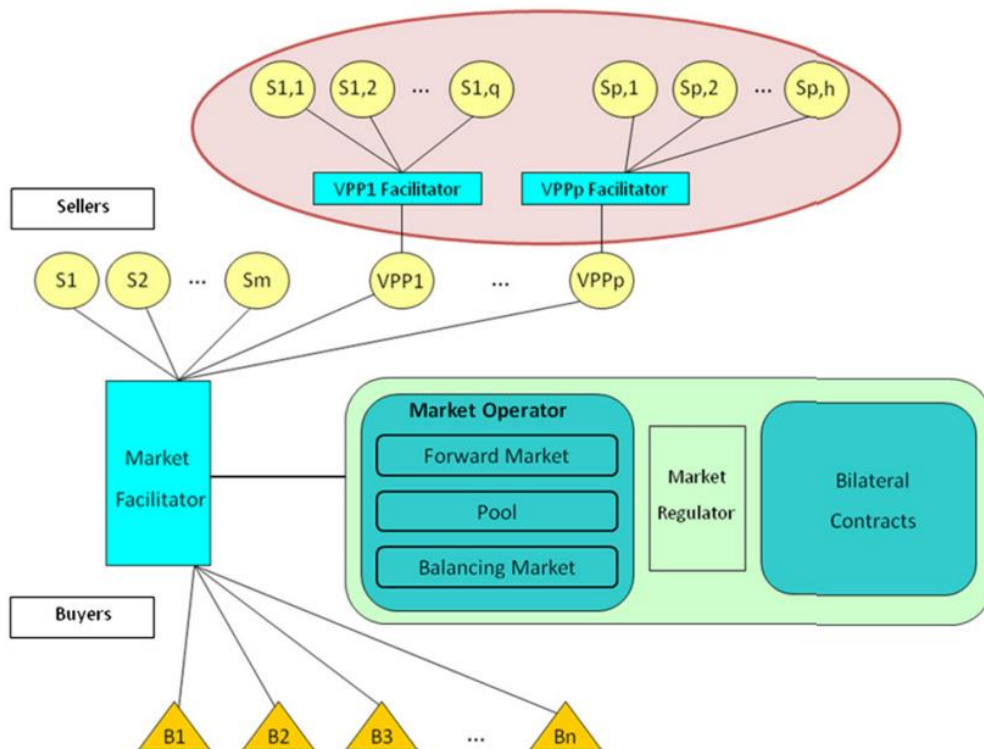


Figura 3 - Arquitetura dos agentes do MASCEM.

Na simulação, o agente Facilitador de Mercado (FM) representa uma entidade que conhece e coordena os outros agentes, segundo as diretrizes de mercado. Quando entra um novo participante no mercado, este tem de se inscrever perante o FM, indicando o seu papel e serviços.

O agente Operador de Mercado (OM) apenas está presente na simulação de mercados baseados no modelo em bolsa e mistos. Com a informação dos agentes produtores e consumidores determina o preço de mercado e conseqüentemente as ofertas aceites.

O agente Operador de Sistema (OS) toma o papel de estabelecer ligação com um outro simulador, a fim de efetuar a análise de potências do Sistema Elétrico [10].

Os agentes Vendedor e Comprador representam as entidades produtoras/distribuidoras ou consumidoras, respetivamente. Na simulação, podem adotar comportamentos específicos ao optar por determinada estratégia, apresentadas na Tabela 1 e Tabela 2.

Tabela 1 - Estratégias de agentes baseadas no tempo.

Característica	Descrição
<b>Determined</b>	O preço manter-se-á constante durante toda a negociação
<b>Anxious</b>	O preço é ajustado na fase inicial da negociação
<b>Moderated</b>	O preço é ajustado na fase intermédia da negociação
<b>Gluttonous</b>	O preço é ajustado de forma acentuada na fase final da negociação

Tabela 2 - Estratégias de agentes baseadas no comportamento.

Característica	Descrição
<b>No Strategic Behavior</b>	Como o próprio nome indica, o agente não vai optar por um comportamento específico
<b>Composed Goal Directed</b>	O objetivo é composto por várias partes consecutivas, onde a seguinte é feita apenas se a primeira se verificar
<b>Adapted Derivative Following</b>	Efetua alterações segundo as suas experiências. Caso tenha obtido sucesso com o preço das propostas, mantém-no, se não, altera o preço em sentido contrário (se nas propostas anteriores o preço foi crescente, ele irá decrescer, ou vice-versa)
<b>Market Price Following</b>	As suas propostas são baseadas nas flutuações de Mercado

Os agentes VPPs são entidades especiais para representar coligação de vendedores. Esta junção advém da necessidade de permitir, por exemplo, pequenos produtores atingirem propostas onde a quantidade de energia é superior, quando comparada ao que seria se concorresse individualmente. Contudo, um VPP participa no mercado como se se tratasse de uma entidade individual. Estes agentes em particular foram desenvolvidos em LPA WINPROLOG através de um facilitador próprio que decide se aceita ou não um novo agente produtor que pretenda agregar-se ao VPP, qual a importância deste na agregação e consequentemente qual a percentagem de remuneração que o novo agente deverá receber por quantidade de energia vendida [15].

O Facilitador de VPPs, tal como o FM, tem uma posição de coordenação. Neste caso, é um facilitador responsável por gerir os VPPs e os agentes que os constituem. O facilitador também acompanha os produtores que participam no mercado e os que não participam de forma a identificar possíveis candidatos a integrar um VPP. Sempre que há alterações na constituição dos VPPs é enviada uma notificação ao FM.

Os agentes do MASCEM, à exceção dos VPPs, foram desenvolvidos na linguagem JAVA. De forma a permitir a distribuição da simulação por várias máquinas, cada agente utiliza uma *thread* própria [10].

#### 4.1.2.2 ALBidS

O ALBidS por si só é um SMA conforme mencionado anteriormente. Este sistema permite ser utilizado por qualquer agente que necessite das suas estratégias. O ALBidS é constituído por um agente principal e um agente por cada estratégia implementada. Desta forma é possível utilizar várias estratégias em simultâneo, o que aumenta o desempenho da ferramenta. A estrutura do ALBidS e a sua integração com o MASCEM é apresentada na Figura 4. Conforme se pode observar, o agente principal do ALBidS é o intermediário da comunicação entre os agentes do MASCEM e os agentes do ALBidS com as estratégias que eles necessitam.

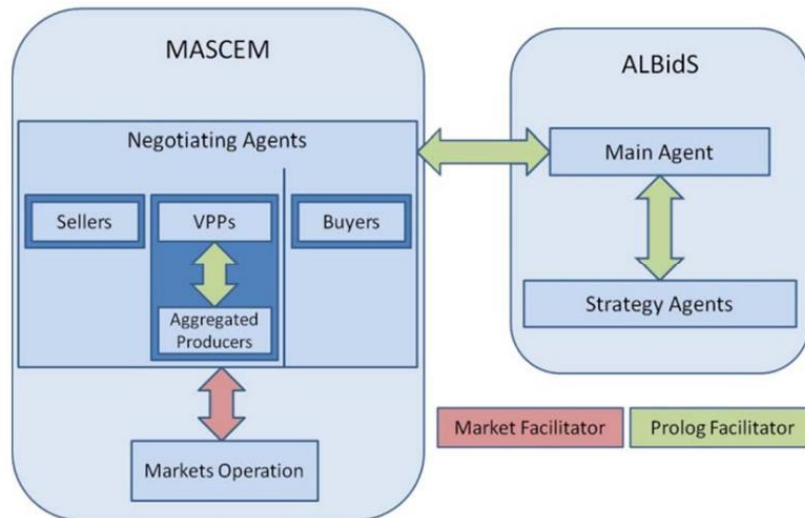


Figura 4 - Integração do ALBidS com o MASCEM

## 4.2 Multi-Agent Negotiation and Risk Management in Electricity Markets (MAN-REM)

O MAN-REM [16] é um SMA de ME com foco na contratação bilateral e respetiva gestão de riscos. Este simulador está a ser desenvolvido pelo Laboratório Nacional de Energia e Geologia (LNEG).

### 4.2.1 Modelo

O MAN-REM permite a simulação dos vários tipos de contratação bilateral [17]:

- Contratos a prazo: contratos de troca de energia entre um comprador e um vendedor em que se comprometem a trocar uma determinada quantia, numa data futura, pelo preço negociado no momento. Este tipo de negociação tem uma grande incerteza envolvida atendendo a que no momento acordado para troca, o preço acordado poderá ser inferior ou superior ao valor atual da energia. Por exemplo, um vendedor poderá ter um lucro superior ao previsto ou efetuar uma venda com um preço abaixo do pretendido. No entanto, como este tipo de contratos são privados, só dizem respeito às duas entidades envolvidas, os mesmos podem cancelar o contrato por mútuo acordo.

- Contratos futuros: contratos com o mesmo funcionamento dos contratos a prazo com a exceção de serem geridos por uma terceira entidade responsável por garantir o cumprimento do acordo. Desta forma, contrariamente aos contratos a prazo, é muito improvável conseguir o cancelamento de um acordo. Este tipo de contratos também são caracterizados por permitirem que no prazo de troca acordado, a troca seja realizada de forma inversa. Isto é, a troca é realizada na direção oposta.
- Contratos de opção: a definição do contrato é igual aos contratos a prazo e futuros com a diferença que as duas entidades apenas garantem uma opção de compra/venda. A troca é realizada se no prazo estipulado os dois lados pretenderem exercer a sua opção de troca. Assim como os contratos futuros, as duas entidades podem trocar de papéis, invertendo o sentido da troca.
- Contratos por diferença: contratos que permitem às duas entidades envolvidas protegerem-se da alteração de preço da energia entre a data de estabelecimento do acordo e a data acordada de troca. Ou seja, se na data de troca o preço for superior ao acordado, o vendedor paga ao comprador a diferença enquanto que se o preço for inferior acontece o inverso, o comprador compensa o vendedor com a diferença.

De forma a complementar a simulação dos contratos bilaterais e a apoiar os agentes no seu processo de negociação, o MAN-REM fornece aos agentes métodos de reduzir o risco inerente ao estabelecimento destes contratos a longo prazo.

#### 4.2.2 Agentes

O MAN-REM utiliza a linguagem de programação JAVA e a plataforma JADE para conceber os seus agentes. O simulador conta com agentes produtores, agentes consumidores, agentes negociadores e agentes de mercado [18].

Os agentes produtores representam entidades que vendem energia enquanto que os agentes consumidores representam residências, indústrias e outros tipos de consumidores de energia. Estes dois tipos de agentes podem utilizar três tipos diferentes de gestão de riscos:

- Averso ao risco: O agente ter uma participação no mercado o mais segura possível.
- Neutro: O agente não arrisca demasiado nem é completamente seguro.
- À procura do risco: O agente toma decisões arriscadas propositadamente na esperança de assim conseguir negociações muito vantajosas.

Os agentes negociadores são responsáveis por garantir a liberalização e competição entre os compradores e vendedores assim como simplificar a interação entre ambos.

Os agentes de mercado validam os contratos negociados ao verificar se é possível realiza-los fisicamente. Este agente também é responsável por manter a segurança do sistema, administrar as tarifas de transmissão e coordenar o agendamento da manutenção.

### 4.2.3 Integração com o MASCEM

Atualmente está a ser realizada uma parceria entre o GECAD e o LNEG de forma a integrar os simuladores MASCEM e MAN-REM com o intuito de se complementarem e assim conseguirem ter um simulador o mais completo possível [16]. O MAN-REM complementa o MASCEM com uma simulação aprofundada de contratos bilaterais e um aumento na gestão de riscos.

## 5 Conclusão

A aplicação do conceito de agente neste âmbito é muito vantajoso dada a necessidade de representar corretamente os diferentes tipos de participantes no mercado. Cada participante têm a sua estratégia e forma de agir perante o que for acontecendo ao longo da negociação. Um simulador que não aplique o conceito de multiagente acaba por generalizar muito o tipo de participantes de mercado e os mesmos não são capazes de aprender com as suas experiências. Outra vantagem significativa dos SMA na simulação de ME é a facilidade de simular a interação entre as diversas entidades.

Por fim, é possível concluir que os SMA são uma mais-valia para a simulação dos ME dada a realidade que lhes proporciona.



## 6 Referências

- [1] M. Wooldridge e N. R. Jennings, "Intelligent Agents: Theory and Practice," *Knowledge Engineering Review*, vol. 10, nº 2, pp. 115-152, 1995.
- [2] H. Morais, "Distributed Problem Solving," 2008.
- [3] M. Shahidehpour et al., "Market Operations in Electric Power Systems: Forecasting Scheduling, and Risk Management," em *Wiley-IEEE Press*, 2002.
- [4] L. Meeus, K. Purchalaa e R. Belmans, "Development of the Internal Electricity Market in Europe," *The Electricity Journal*, vol. 18, nº 6, pp. 25-35, 2005.
- [5] C. Concordia, "Electric Power Systems: Past, Present, and Future," *IEEE Power Engineering Review*, vol. 19, nº 2, pp. 7-8, 1999.
- [6] S. Ramos, "Utilização de Técnicas de Data Mining para Apoio aos Agentes dos Mercados Retalhistas de Energia Eléctrica," Universidade Técnica de Lisboa, Instituto Superior Técnico, 2006.
- [7] P. B., "Contratos Bilaterais em Mercados Multi-Agente de Energia Eléctrica: Protocolo de Ofertas Alternadas," 2011.
- [8] I. Praça, C. Ramos, Z. Vale e M. Cordeiro, "MASCEM: A Multi-Agent System that Simulates Competitive Electricity Markets," *IEEE Intelligent Systems*, vol. 18, nº 6, pp. 54-60, 2003.
- [9] F. Azevedo, "Gestão do Risco em Mercados Competitivos de Electricidade: Previsão de Preços e Optimização do Portfolio de Contratos," Departamento de Engenharias, Área de Engenharia Electrotécnica e de Computadores, Universidade de Trás-os-Montes e Alto Douro, Vila Real, 2007.
- [10] G. Santos, "Simulação Multi-agente de Mercados de Electricidade: Mercado Complexo e Mercado de Ajustes," 2010.
- [11] "Nord Pool," [Online]. Available: <http://www.nordpoolspot.com>. [Acedido em Abril 2015].
- [12] "MIBEL," [Online]. Available: <http://http://www.mibel.com/>. [Acedido em Abril 2015].
- [13] T. Pinto, "A new approach for multi-agent coalition formation and management in the scope of electricity markets," *Energy Journal*, 2011.
- [14] "EPEX," [Online]. Available: <https://www.epexspot.com>. [Acedido em Abril 2015].
- [15] P. Oliveira, T. Pinto, H. Morais e Z. Vale, "MASCEM - An Electricity Market Simulator providing Coalition Support for Virtual Power Players," em *International Conference on Intelligent System Application to Power Systems*, 2009.
- [16] T. Pinto, G. Santos, Z. Vale, I. Praça, F. Lopes e H. Algarvio, "Realistic Multi-Agent Simulation of Competitive Electricity Markets," em *IATEM*, 2014.

- [17] H. Algarvio e F. Lopes, "Risk Management and Bilateral Contracts in Multi-agent Electricity Markets," em *Highlights of Practical Applications of Heterogeneous Multi-Agent Systems. The PAAMS Collection*, Salamanca, 2014, pp. 297-308.
- [18] F. Lopes, H. Algarvio, J. A. M. Sousa, H. Coelho, T. Pinto, G. Santos, Z. Vale e I. Praça, "Multi-agent Simulation of Bilateral Contracting in Competitive Electricity Markets," em *IEEE Computer Society Press*, 2014.