

Modelação de um Mercado da Pequena Geração Dispersa através de Agentes e Serviços *Web*

Nuno Correia¹, Andreia Malucelli^{2,3}, Nuno Fidalgo^{4,5}, Luís Custódio⁶,
Benedita Malheiro^{1,2}

¹ ISEP - Instituto Superior de Engenharia do Porto

² LIACC - Laboratório de Inteligência Artificial e Ciências de Computadores

³ PUCPR - Pontifícia Universidade Católica do Paraná

⁴ INESC - Instituto de Engenharia de Sistemas e Computadores do Porto

⁵ FEUP - Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto

⁶ ISR - Instituto de Sistemas e Robótica, IST - Instituto Superior Técnico

Resumo O objectivo deste trabalho é a criação de um modelo do mercado energético da pequena geração dispersa através de serviços *Web*, agentes móveis e leilões. Neste cenário, o mercado, supervisionado pelo leiloeiro, é constituído basicamente por dois tipos de actores: os vendedores – com uma determinada carteira de pequenos produtores de energia, equipados com diversos tipos de geradores, e os compradores – entidades que distribuem e comercializam energia, bem como grandes consumidores.

Apresenta-se a arquitectura adoptada, composta por agentes estáticos e agentes móveis, assim como a metodologia de desenvolvimento integrado elegida. Esta metodologia especifica uma abordagem, suportada pela tecnologia XML, que permite, a partir da informação relativa aos intervenientes, criar uma ontologia comum de representação do conhecimento do domínio, gerar automaticamente os agentes que modelam os intervenientes e, por último, transformá-los em serviços *Web*.

Os agentes compradores e vendedores participam no mercado através de agentes móveis, a quem delegam a sua representação durante o leilão. O trabalho, que está em curso, encontra-se na fase da desenvolvimento dos agentes/serviços *Web*.

1 Introdução

A liberalização do sector eléctrico visa criar um ambiente competitivo, no qual o negócio da geração de energia se encontra totalmente aberto à concorrência. Na Europa, cerca de 70% da totalidade dos consumidores pode actualmente escolher livremente o seu fornecedor de energia e prevê-se que, a médio prazo, a adopção da Electricity Directive 2003/55/EC resulte na liberalização total do Mercado Europeu de Electricidade. A iminente abertura do Mercado Ibérico de Electricidade (MIBEL), prevista para Junho de 2006, pode ser encarada como um primeiro passo neste sentido.

A par da liberalização progressiva dos mercados, espera-se a curto prazo uma proliferação de pequenos geradores distribuídos pela rede eléctrica, baseados

sobretudo em energias renováveis. Esta previsão da proliferação da pequena geração dispersa (PGD) do tipo renovável decorre da meta estabelecida pela Comissão Europeia de, em 2010, 12% da energia produzida no seu espaço passar a ser proveniente de fontes de energia renovável, em particular de geradores eólicos, pilhas de combustível e minihídricas. Outros incentivos para esta ocorrência estão relacionados, por um lado, com a adesão ao protocolo de Quioto, no sentido de reduzir a emissão de CO₂ e, por outro lado, com a necessidade de optimização do investimento nas estruturas de transporte e distribuição de energia. Prevê-se ainda que uma parte considerável da PGD renovável será baseada em sistemas eólicos, os quais apresentam actualmente a melhor relação de custo por MWh produzido [9], [13].

Este trabalho enquadra-se no âmbito do projecto GENEDIS¹ - “Análise do Impacto da Pequena Geração Dispersa sob diferentes Directivas de Regulação”. O objectivo é proceder à análise dos efeitos que a PGD terá nos mercados de energia abertos onde os produtores independentes decidirão, de acordo com as directivas de regulação aplicáveis e em função do preço de mercado da energia, quando e quanto produzir. Assim, pode-se afirmar que o GENEDIS apresenta duas vertentes: por um lado, pretende estudar o impacto que diferentes directivas de regulação produzirão nos mercados da PGD e, por outro lado, pode ser interpretado como uma ferramenta de apoio à decisão na implementação da legislação de regulação.

A modelação do mercado da PGD é um problema (i) distribuído – composto por múltiplos actores autónomos com papéis e objectivos distintos; (ii) dinâmico – o preço da energia, que é definido pela lei da oferta e da procura, é influenciado pelas estratégias individuais dos participantes no mercado; (iii) aberto – o número e tipo de participantes varia de sessão para sessão; e complexo - a quantidade de intervenientes, a variedade dos seus perfis e a multiplicidade de cenários de regulação são factores de dificuldade acrescida. Desta forma, o recurso a sistemas multiagente afigura-se como uma alternativa adequada face aos processos de modelação mais convencionais [8]. A escolha de leilões para modelo de negociação automática resultou de dois conjuntos de razões: por um lado, é o modelo utilizado em vários mercados de energia do mundo real e, por outro lado, trata-se de “um dos modelos de negociação mais utilizado no domínio do comércio electrónico [10]”. Os leilões são ainda particularmente adequados para “ambientes dinâmicos, dado que permitem, de uma forma muito eficiente, atribuir bens ou serviços às entidades que mais os valorizam [12]”. Num leilão, um ou mais agentes leiloeiros (no nosso caso, um leiloeiro) conduzem o processo em que um ou vários agentes realizam ofertas de acordo com o protocolo de interacção imposto, resultando na realização de negócios segundo as leis do mercado.

Este artigo descreve as características do modelo de mercado electrónico proposto. Trata-se de um sistema multiagente baseado em leilões composto pelo agente leiloeiro, no papel de regulador do mercado, e pelos agentes móveis que representam os agentes autónomos (do tipo estático e com interface do tipo

¹ O projecto GENEDIS é financiado pela Fundação para a Ciência e Tecnologia.

serviço *Web*) que modelam os produtores e compradores. Os agentes, as suas características, relações e os serviços que disponibilizam são especificados na ontologia comum do domínio.

A secção 2 descreve, em traços gerais, os moldes da liberalização do Mercado Português de Electricidade e da criação do Mercado Ibérico. São também descritas as áreas de responsabilidade, bem como os organismos criados por cada um dos países com vista à gestão dessas mesmas áreas. As tecnologias utilizadas são descritas na secção 3 e as principais iniciativas XML de suporte ao comércio electrónico são referidas na secção 4. Na secção 5 são apresentadas a abordagem, a arquitectura, a ontologia e a metodologia de negociação propostas. Por último, apresentam-se as conclusões e as direcções futuras deste projecto.

2 Liberalização do Mercado Eléctrico

As regras e o funcionamento dos mercados de energia podem apresentar características bastante distintas consoante o país ou grupo de países. Em [3] é apresentada uma síntese das características dos mercados liberalizados europeus. Em todos estes mercados o leilão constitui uma das actividades fundamentais do funcionamento em regime aberto, quer dentro do país, quer em termos de trocas energéticas entre países. A Union of Electricity Industry - Eurelectric² considera mesmo que os leilões constituem os únicos métodos baseados em mercados (*market-based*) para alocação da capacidade de interligação [2].

O processo de liberalização do mercado eléctrico representará uma mudança profunda para a realidade portuguesa. Com a criação do MIBEL as empresas portuguesas e espanholas passarão a operar num sistema de bolsa, com concorrência alargada – com um número estimado de 50 milhões de consumidores, será o quarto maior mercado de energia da União Europeia – e, no caso de Portugal, para um mercado totalmente liberalizado (em Espanha a liberalização teve lugar em 1997) que integra os sistemas eléctricos ibéricos, sem distinção operacional de fronteiras.

O MIBEL caracteriza-se por uma bolsa de energia única, que contempla a possibilidade de operações de mercado a prazo, operações diárias e intradiárias. A gestão das transacções diárias e intradiárias ficará a cargo do Operador do Mercado Ibérico de Espanha (OMIE), enquanto que o Operador do Mercado Ibérico de Portugal (OMIP) efectuará a gestão das operações a prazo. A organização do mercado propriamente dito ficará a cargo do Operador do Mercado Eléctrico (OMEL). Os produtores de energia eléctrica afixarão a sua oferta de produção no mercado, sendo esta cruzada com a procura, materializada nas propostas de compra efectuadas pelos compradores. O preço encontrado para a energia é ainda supervisionado por um organismo de cada um dos países, que exercerá a tarefa de regulador do mercado liberalizado e velará pelo seu correcto funcionamento.

O acesso à bolsa de energia será aberto às empresas de distribuição e comercialização de energia, bem como a consumidores qualificados.

² <http://www.eurelectric.org>

3 Tecnologias Utilizadas

Os agentes foram implementados usando o Java Agent DEvelopment Framework³ (JADE). O JADE é uma plataforma de desenvolvimento de agentes que cumpre os padrões da Foundation for Intelligent Physical Agents⁴ (FIPA) e que possibilita a implementação de sistemas multiagente, disponibilizando também um conjunto de ferramentas de gestão, monitorização e desenvolvimento.

A ontologia de representação do conhecimento do domínio foi especificada recorrendo ao editor de ontologias Protégé⁵, tendo os agentes sido criados, automaticamente, usando um módulo adicional – BeanGenerator⁶ – que gera, a partir de uma ontologia comum, classes Java que podem ser usadas na definição de agentes JADE.

Os agentes resultantes assumem a forma de serviços *Web* recorrendo ao Web Services Integration Gateway⁷ (WSIG). O WSIG é um módulo adicional do JADE que integra as tecnologias de agentes e serviços *Web* de forma bidireccional, i.e., tanto permite aos agentes invocar serviços *Web* em máquinas remotas, como disponibilizar as suas funcionalidades sob a forma de serviços *Web*. Esta integração é conseguida através de um agente – o Web Service Gateway Agent – que inspecciona os serviços publicados no Directory Facilitator⁸ (DF) da sua plataforma de execução. Sempre que um serviço for publicado com o tipo “webservice”, este agente cria, a partir da descrição no formato Agent Communication Language (ACL), um ficheiro de descrição do serviço no formato Web Services Description Language (WDSL) e afixa-o num serviço de registo conforme com o padrão Universal Description, Discovery and Integration (UDDI) [14]. A partir desse momento, o serviço passa a poder ser invocado por clientes externos à arquitectura. O processo de invocação do serviço é também garantido pelo Gateway Agent. Ao receber uma mensagem Simple Object Application Protocol (SOAP) de invocação de um serviço *Web* que assegura, o Gateway Agent encarrega-se de a traduzir para uma mensagem FIPARequest, contendo os parâmetros que extraiu da mensagem original, e de a enviar ao agente que disponibiliza o serviço. Ao receber a resposta – sob a forma de uma mensagem FIPAInform – converte-a novamente para o formato SOAP e envia-a para o agente cliente.

O caso inverso – registo de um serviço *Web* sob a forma de um serviço de agente – tem uma mecânica reversa mas análoga.

4 Iniciativas XML para Comércio Electrónico

Nos últimos anos surgiram múltiplas iniciativas de apoio ao desenvolvimento do comércio electrónico suportadas pela tecnologia XML, designadamente a

³ <http://jade.tilab.com>

⁴ <http://www.fipa.org>

⁵ <http://protege.stanford.edu>

⁶ <http://acklin.nl/page.php?id=34>

⁷ <http://jade.tilab.com/news-art.php?id=29>

⁸ O Directory Facilitator é o serviço de registo e descoberta da plataforma JADE.

Electronic Business XML (ebXML), RosettaNet, BizTalk Framework e as classificações de produtos e serviços da United Nations Standard Products and Services Codes⁹ (UNSPSC), North American Industry Classification System¹⁰ (NAICS), Standard Classification of Transported Goods¹¹ (SCTG) e E-cl@ss¹². A maioria destas propostas destinam-se ao *business-to-business* (B2B), i.e., ao comércio electrónico entre empresas. De entre as mais simples destacam-se as taxonomias de classificação de produtos e serviços da UNSPSC, NAICS, SCTG e E-cl@ss, e entre as mais completas encontram-se os enquadramentos propostos pelas iniciativas ebXML, RosettaNet e BizTalk Framework.

A Electronic Business XML¹³ (ebXML) providencia um enquadramento destinado ao B2B baseado na partilha de serviços empresariais através da *Web*. A ebXML suporta sequências coreografadas de trocas entre serviços de negócio que estão definidos em diversas especificações, nomeadamente de serviços de mensagens, serviços de registo e repositório, perfis de protocolos de colaboração e acordos, metodologias para processos de negócio, etc.

A RosettaNet¹⁴ define padrões para a implementação de processos de comércio electrónico abertos e de âmbito industrial tais como catálogos, facturas e encomendas. Este objectivo é alcançado através da definição do padrão XML RosettaNet Document Type Definition (DTD) e de *schemata* do tipo XML Data Reduced (XDR). A RosettaNet encontra-se organizada em camadas que incluem serviços de mensagem, serviços de registo e repositório, processos e dicionários de negócio e uma especificação universal da arquitectura.

A proposta BizTalk Framework¹⁵ especifica uma arquitectura de referência e um roteiro para o desenvolvimento de soluções de integração de aplicações. A arquitectura baseia-se na troca de componentes entre aplicações e organizações através de mensagens XML. As mensagens XML são definidas através de um XML Schema e pelo conjunto de elementos XML que podem ser utilizados nas mensagens. O BizTalk define ainda regras para formatação, transmissão, recepção e processamento de mensagens padrão XML.

5 Plataforma de Modelação do Mercado

A plataforma de modelação do mercado electrónico da PGD encontra-se na fase de desenvolvimento. Dado que se trata de um problema distribuído, dinâmico e complexo, optou-se por uma arquitectura do tipo sistema multiagente constituída por agentes autónomos que competem no mercado para alcançar os seus objectivos. Em relação ao protocolo de negociação, escolheu-se um protocolo do tipo leilão, uma vez que se trata de um problema onde é necessário adoptar

⁹ <http://www.unspsc.org>

¹⁰ <http://www.census.gov/epcd/www/naics.html>

¹¹ <http://www.statcan.ca/english/Subjects/Standard/sctg/sctg-intro.htm>

¹² <http://www.eclass-online.com>

¹³ <http://www.ebxml.org>

¹⁴ <http://www.rosettanet.org>

¹⁵ <http://www.microsoft.com/biztalk/techinfo/framwork20.asp>

uma estratégia que permita determinar de forma eficiente o custo dos produtos/serviços segundo a lei da oferta e procura e as regras do mercado. Actualmente, o trabalho encontra-se na etapa final do desenvolvimento dos agentes estáticos, faltando ainda implementar a criação do mercado.

5.1 Abordagem

Foi adoptada uma metodologia de desenvolvimento integrado com base nas ferramentas de desenvolvimento seleccionadas e nos objectivos deste trabalho. A concepção do protótipo foi iniciada após o estudo das propriedades dos diferentes tipos de unidades de produção utilizados na PGD e do funcionamento dos mercados energéticos.

Começou-se pela construção de uma ontologia do conhecimento do domínio, onde se especificaram os diversos intervenientes (compradores, vendedores e leiloeiro), as suas características, acções e as suas relações. A partir desta ontologia comum foram gerados, de forma automática, os códigos dos agentes JADE correspondentes. Os agentes estáticos que modelam os compradores e vendedores podem residir em plataformas distintas da plataforma do mercado. Os agentes compradores e vendedores foram ainda enriquecidos com uma interface do tipo serviço *Web*, para se poderem registar num serviço de registo público do tipo UDDI. Esta opção permite ao agente leiloeiro encontrar todos os agentes compradores e vendedores que pretendem participar no leilão, independentemente da plataforma onde vai decorrer o leilão.

As regras que definem o tipo do leilão assim como a especificação dos perfis comportamentais que os agentes (produtores e clientes) podem exibir no mercado encontram-se especificadas em ficheiros externos. Compete ao utilizador, aquando do lançamento dos agentes, seleccionar o tipo pretendido. Esta decisão permite: (i) adoptar uma filosofia de desenvolvimento modular; (ii) realizar experiências com diferentes cenários de regulação; (iii) analisar o comportamento dos agentes com perfis competitivos distintos; (iv) manter privada a informação que configura a estratégia individual dos agentes. Esta última opção foi tomada para assegurar a correcta modelação do cenário competitivo dos mercados da electricidade. Assim, no âmbito da ontologia comum do conhecimento do domínio apenas se define a estrutura genérica (conceitos, atributos e relações) deste tipo de conhecimento, i.e., não se definem quaisquer valores.

5.2 Arquitectura

A arquitectura proposta para a modelação do mercado energético da PGD é um sistema multiagente composto por agentes autónomos do tipo competitivo. A figura 1 ilustra a arquitectura proposta. Existem duas categorias de agentes: (i) os agentes que modelam os consumidores e os fornecedores de energia; e (ii) os agentes que participam directamente no mercado. Enquanto os primeiros são os agentes estáticos equipados com uma interface do tipo serviço *Web*, os segundos são o agente leiloeiro e os agentes móveis que representam agentes estáticos convocados para o leilão.

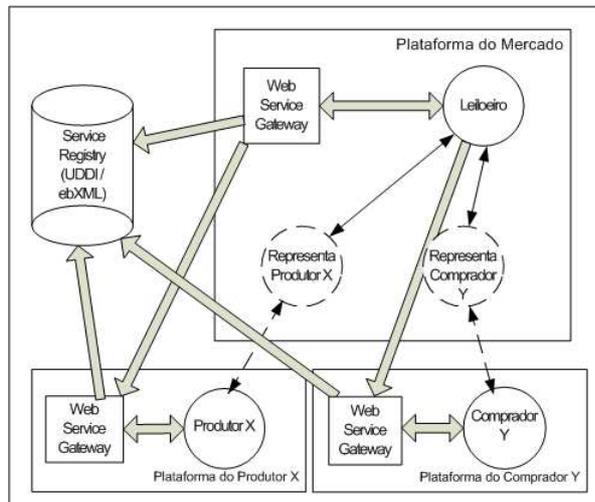


Figura 1. Arquitectura do Sistema.

Agente Leiloeiro O leiloeiro está incumbido de desencadear os leilões. Nos momentos pré-determinados pelas regras do mercado, o leiloeiro verifica se existem simultaneamente clientes registados com necessidades energéticas e produtores em condições de satisfazer a procura. Em caso afirmativo, convoca-os para o leilão, resultando na criação de um conjunto de agentes móveis delegados. Cabe ainda ao leiloeiro o papel da condução do leilão segundo as regras previstas para o mercado. Findo o leilão, os agentes móveis reportam aos respectivos agentes estáticos os resultados alcançados através das interfaces serviço *Web* previstas.

Agente Produtor O agente produtor implementa um serviço destinado a informar o leiloeiro acerca da sua disponibilidade para efectuar o fornecimento de uma dada quantidade de energia num determinado intervalo de tempo. A resposta deste serviço determina a elegibilidade do produtor para o leilão. Em caso de disponibilidade por parte do produtor, este é convocado para o leilão através da invocação do serviço *Web* respectivo, resultando na criação e envio de um agente móvel para o leilão. O comportamento que o agente móvel irá exibir é especificado pelo agente produtor.

Agente Cliente O agente cliente informa, através do serviço *Web* pré-definido, acerca da quantidade de energia e da duração do fornecimento que necessita. O agente leiloeiro invoca este serviço para determinar as necessidades energéticas do agente cliente. Havendo condições para realizar o leilão, o agente leiloeiro convoca o agente para o leilão, resultando na criação e envio de um agente móvel para o leilão. O comportamento que o agente móvel irá exibir é definido pelo agente cliente.

5.3 Ontologia

A interacção entre agentes num sistema multiagente requer uma plataforma de comunicação, uma linguagem de comunicação e uma ontologia comum. Por ontologia entende-se a “representação do conhecimento de algum domínio, que é deixada disponível para todos os componentes de um sistema de informação [7]”. O comércio electrónico, enquanto área de enorme potencial de crescimento onde a interacção entre sistemas autónomos heterogéneos é sistemática, constitui um domínio de aplicação de ontologias por excelência. Acresce ainda o facto de “os mercados electrónicos estarem continuamente a fornecer novos tipos de serviços de interacção entre fornecedores e compradores [4]”. Assim, é essencial adoptar metodologias que permitam melhorar a interoperabilidade entre agentes, i.e., recorrer a ontologias que providenciem uma interpretação comum do vocabulário usado durante a comunicação.

É neste contexto de comércio electrónico, mais especificamente no contexto do mercado electrónico da electricidade que se insere o trabalho proposto. O mercado electrónico resultante, apesar de apenas envolver empresas, é misto porque, entre as empresas compradoras, coexistem empresas revendedoras de energia – comércio do tipo *business-to-business* (B2B) – e empresas que desempenham o papel de clientes finais – comércio do tipo *business-to-customer* (B2C). Tanto quanto sabemos não existem disponíveis ontologias para este tipo de domínio. Por esta razão fomos confrontados com a necessidade de desenvolver de raiz uma ontologia para o domínio do comércio electrónico da PGD – uma ontologia suportada pela tecnologia XML.

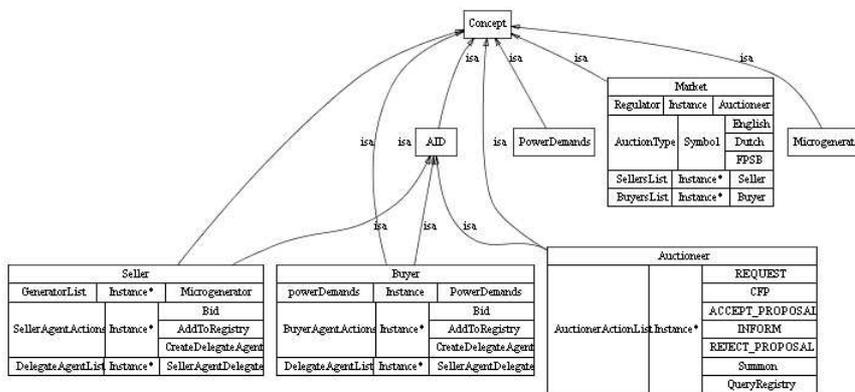


Figura 2. Ontologia do Sistema.

Criou-se uma ontologia comum de representação do conhecimento do domínio do mercado da PGD (ver a figura 2) a partir do conhecimento prévio das características dos elementos envolvidos nas transacções electrónicas do mercado

de electricidade. De uma forma resumida apresentam-se alguns dos elementos especificados na ontologia:

- Definição das entidades Produtor, Comprador, Leiloeiro, Delegado e Mercado;
- Definição das acções dos agentes: consulta e afixação no serviço de registo, convocação para o leilão, criação de delegado, licitação, compra e venda. As acções de interacção no mercado correspondem às primitivas FIPA-ACL do tipo de leilão seleccionado;
- Características dos agentes Produtor: tipo de gerador (microturbina, *fuelcell*, minihídrica ou fotovoltaico), estimativa da produção (horas cheias, de vazio e de ponta) e características genéricas da função de remuneração;
- Características dos agentes Cliente: estimativa do consumo (necessidades energéticas das próximas 24 horas) e características genéricas da função de licitação;
- Características do agente Leiloeiro: tipo de leilão, processo de licitação, regras do leilão, criação de um histórico a ser entregue a cada um dos representantes dos agentes/serviços *Web*, etc.

Esta ontologia foi desenvolvida com o editor de ontologias Protégé [5]. A escolha do Protégé deveu-se principalmente à sua extensibilidade - trata-se de um sistema com uma arquitectura que permite o desenvolvimento e integração de módulos adicionais. Três destes módulos são utilizados neste trabalho: (i) o módulo Ontology Web Language¹⁶ (OWL), que permite exportar e importar ontologias descritas em OWL; (ii) o módulo BeanGenerator que mapeia objectos do modelo Protégé para as correspondentes classes Java, as quais podem ser posteriormente utilizadas pelos agentes JADE; e (iii) o módulo OntoViz que permite a visualização gráfica das ontologias criadas. A ontologia resultante é uma ontologia em OWL, i.e., uma ontologia suportada pela tecnologia XML.

5.4 Negociação

A negociação automática que vai ocorrer entre fornecedores e consumidores tem por objectivo a celebração de contratos que, dadas as condições do mercado, satisfaçam ambas as partes. Neste cenário de comércio electrónico, os modelos de negociação automática utilizados encontram-se divididos em duas categorias: leilões e negociações bilaterais [6]. A negociação pode ser do tipo um-para-um, um-para-muitos ou muitos-para-muitos e, conseqüentemente, diferentes protocolos de negociação podem ser concebidos [11].

O tipo de protocolo de negociação escolhido é, pelas razões já referidas, o leilão. Os leilões podem ser agrupados em duas grandes classes, os leilões unilaterais e os bilaterais. Nos leilões unilaterais apenas um dos tipos de agentes envolvidos pode ofertar, i.e., os vendedores colocam ofertas de venda ou os compradores efectuem ofertas de compra. Nos leilões bilaterais, os vendedores podem

¹⁶ <http://www.w3.org/TR/owl-features>

efectuar ofertas de venda e os compradores podem realizar ofertas de compra em simultâneo.

Apesar de no mercado da PGD concorrerem simultaneamente múltiplos compradores e vendedores, são usualmente aplicadas um conjunto de regras pelo operador do mercado (*vide* as regras do Mercado Espanhol¹⁷) que simplificam o problema: (i) o leilão é efectuado na véspera e diz respeito aos 24 períodos de uma hora do dia seguinte; e (ii) o preço apurado para cada período mantém-se fixo durante todo o período. Estas simplificações permitem conduzir o mercado através de leilões unilaterais do tipo um-para-muitos. Existem quatro tipos de leilões unilaterais: o Leilão Inglês (as ofertas são públicas, efectuam-se por ordem ascendente e ganha a última oferta – a mais elevada), o Leilão de Ofertas Seladas (ganha a oferta mais elevada), o Leilão de Vickrey (as ofertas são seladas e ganha a segunda oferta mais elevada) e o Leilão Holandês (o leilão é conduzido por ordem descendente do valor do artigo, as ofertas são públicas e ganha a primeira oferta que for efectuada).

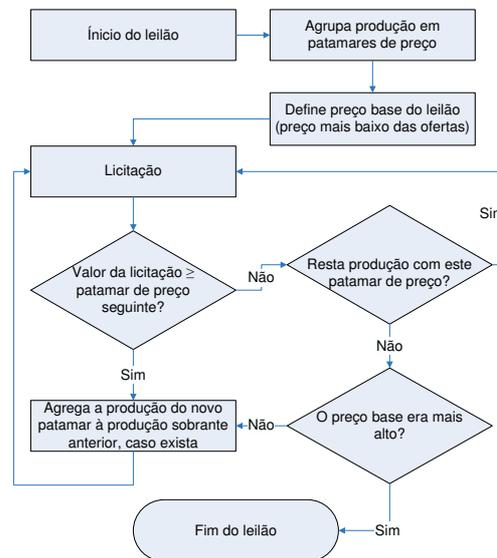


Figura 3. Processo de Licitação.

Na nossa plataforma, o leiloeiro convocará todos os interessados (compradores e produtores) registados no servidor de registos para que se façam representar no leilão. Os agentes com intenção de participar vão delegar em agentes móveis a sua representação na sala de leilão virtual. Antes de se iniciar o leilão, os produtores indicam ao leiloeiro a produção que pretendem vender e o preço por unidade de produção (MWh). O leiloeiro procederá à licitação dos 24 intervalos

¹⁷ <http://www.omel.es>

de fornecimento de forma consecutiva. Com uma perspectiva global da oferta, o leiloeiro define patamares de agrupamento de produção em função dos preços propostos pelos produtores, cabendo aos compradores efectuar a licitação.

No caso do Leilão Inglês, a licitação tem início com a oferta de energia ao preço mais baixo. O leilão decorre segundo as regras de leilão de preço único, em que o preço é determinado através do cruzamento da oferta com a procura. Assim, o preço a que será negociada a energia será o do produtor mais caro que seja necessário incluir para satisfazer a procura prevista para o período em causa. Sempre que o valor da licitação ultrapasse um patamar de preço, a totalidade das produções com esse preço será adicionada à oferta. O procedimento repete-se até que se escoe a produção de todos os patamares de preço ou a procura esteja totalmente satisfeita. O fluxograma da figura 3 ilustra o funcionamento descrito. Serão realizadas experiências com os diferentes tipos de leilões unilaterais.

6 Conclusões

O modelo proposto para o mercado energético da PGD apresenta um conjunto de propriedades que importa realçar:

1. Permite replicar o comportamento dos mercados físicos – caso do mercado Espanhol, Inglês e do País de Gales [1].
2. Possibilita análises do tipo *what/if* em relação à aplicação de diferentes regras de mercado assim como à adopção de diversos perfis de negociação. Esta característica vai ao encontro dos objectivos do projecto GENEDIS, onde se pretende analisar o impacto produzido por diferentes directivas de regulação nos mercados da PGD.
3. Os agentes (produtores e clientes) que modelam os intervenientes no mercado apresentam interfaces padrão do tipo serviço *Web*, possibilitando uma distribuição transparente por múltiplas plataformas e um elevado nível de conectividade.
4. A decisão de se delegar a participação no mercado em agentes móveis permite aos agentes produtores e clientes participar simultaneamente em múltiplos mercados.
5. A adopção da metodologia de desenvolvimento descrita possibilita uma integração eficiente desde a criação da ontologia comum de representação do conhecimento do domínio até à criação do sistema multiagente. Consequentes actualizações da ontologia são também facilmente repercutidas no sistema.

Num futuro próximo pretende-se terminar a implementação deste modelo através da criação do mercado electrónico. Nas etapas subsequentes prevê-se a realização de experiências envolvendo agentes com diferentes estratégias e leiloeiros que implementam regras de mercado distintas. Também se antevê a modelação de agentes vendedores detentores de uma carteira constituída por múltiplos pequenos produtores de energia – cenário de agrupamento de produção.

Trata-se, do ponto de vista funcional, de um sistema de apoio à decisão.

Referências

1. Ebadi, A., Hersch, M., Rolaz, L.: *Agent-Based Modelling of Electricity Market*, École Polytechnique Fédérale de Lausanne, June (2002)
2. Eurelectric Position Paper, *Improving Interconnection Capacity Allocation*, August (2005). Available at http://www.europa.int/energy/electricity/florence/doc/florence_12/eurelectric_capacity_allocation.pdf
3. Eurelectric Working Group Trading, *Regulatory Aspects of Electricity Trading in Europe*, February (2003). Available at <http://public.eurelectric.org>
4. Fensel, D.: *Ontologies and Electronic Commerce*, IEEE Intelligent Systems, pg 8. January/February (2001)
5. Gennari, J. , Musen, M.A., Fergerson, R.W. Grosso, W.E., Crubézy, M. Eriksson, H. Noy, N.F., Tu, S.W.: *The Evolution of Protégé: An Environment for Knowledge-Based Systems Development*, Technical Report, SMI Report Number: SMI-2002-0943 (2002)
6. He, M., Jennings, N. R., Leung, Ho-Fung: *On Agent-Mediated Electronic Commerce*, IEEE Transactions on Knowledge and Data Engineering, Vol. 15, N.º 4, July/August (2003)
7. Huhns, M.N., Singh, M.P.: *Readings in Agents*, Morgan Kaufmann Publishers, INC. San Francisco, California (1997)
8. Jennings, N. R., Wooldridge, M.: *Applications of Intelligent Agents in Agent Technology: Foundations, Applications and Markets*, Eds. N. R. Jennings and M. J. Wooldridge, SpringerVerlag, (1998).
9. Parbor, P.: *Texas Renewable Energy*, Presentation, Energy Planning Council Meeting, Austin, Texas, USA, (2004). Available at <http://www.rrc.state.tx.us/tepc/092404meeting.html>
10. Parkes, D.C., Ungar, L. H., Foster, D. P.: *Accounting for Cognitive Costs in On-Line Auction Design*, Agent Mediated Electronic Commerce, Eds. Noriega, P., Sierra, C., Lecture Notes In Computer Science; Vol. 1571, Springer-Verlag, (1999).
11. Trastour, D., Bartolini, C., Preist, C.: *Semantic Web Support for the Business-to-Business E-Commerce Lifecycle*, Proceedings of International WWW Conference, Honolulu, Hawaii, USA (2002)
12. Wurman, P.R., *Dynamic Pricing in the Virtual Marketplace*, IEEE Internet Computing, Vol. 5, March/April, (2001)
13. *Wind Power Economics: Wind Energy Costs - Investment Factors*, European Wind Energy Association, (2003). Available at http://www.ewea.org/fileadmin/ewea_documents/documents/publications/factsheets/factsheet_economy2.pdf
14. Van Aart, C., Pels, R., Caire, G.: *Creation and Use of Agent Message Content Ontologies*, (2002). Available at <http://members.home.nl/r.f.pels/articles/index.html>

7 Agradecimentos

Os autores agradecem a Susana Silva, Bolseira do Projecto GENEDIS, pela informação cedida relativa aos diferentes tipos de unidades de geração.