



Agentes Inteligentes aplicados aos Mercados de Energia

Isabel Praça
GECAD – DEI/ISEP

Universidade do Minho, 9 de Março de 2007



Resumo

- Reestruturação do Sector Eléctrico
- Mercados de Energia
 - Modelos
 - Tipos
 - Entidades
- Tecnologia dos Agentes
 - Aplicabilidade
 - Apresentação do Simulador MASCEM
 - Produtores Virtuais



Mercados de Electricidade

A recente **reestruturação** do sector eléctrico tem vindo a convergir no sentido da desintegração vertical e do estabelecimento de um **mercado competitivo**, baseado nas leis da oferta e da procura

Tal processo corresponde a uma das maiores alterações que sofreu a actividade neste sector, caracterizada pelo facto de existirem **muitos e novos participantes**, exigindo **novos tipos de relacionamento**, e por existirem **novos problemas de índole técnica e comercial**, que um funcionamento do tipo monopolista não implicava



Organização Tradicional

- Organização tradicional dos Sistemas Eléctricos de Energia
 - Grandes centrais de produção afastadas dos grandes centros de consumo
- Alguns problemas nesta organização tradicional:
 - Económicos e ambientais em diversas tecnologias fulcrais
 - Grandes barragens
 - Grandes centrais térmicas convencionais e nucleares
 - Linhas de transporte



Reestruturação

- Reestruturação do Mercado de Energia Eléctrica
 - Imposta pelo poder político
 - Deregulation=reregulation
 - A indústria foi forçada a entrar num mercado competitivo
- Objectivos do estabelecimento do mercado
 - Assegurar uma operação segura
 - Aumentar a eficiência
 - Facilitar a operação económica
 - Redução dos custos



Reestruturação

- No Reino Unido, o processo de reestruturação iniciou-se em 1989, na Inglaterra
 - Publicação do Electricity Act (EA)
 - Até então, o sector eléctrico era público e era constituído por doze empresas de distribuição denominadas por Area Boards (AB) cuja actividade era coordenada pelo Central Electricity Generating Board (CEGB)
 - O EA introduziu
 - o princípio da concorrência nos subsistemas da produção e da distribuição
 - entidade independente para gerir a transmissão denominada por National Grid Company (NGC)



Reestruturação

➤ Noruega e Suécia

- A reestruturação na Noruega foi iniciada através do “Energy Act” de Junho de 1990
- Em Janeiro de 1992 a Suécia inicia um processo de reestruturação
 - Uniu-se à estrutura de mercado norueguesa em Janeiro de 1996
- O operador de mercado (constituído pela Suécia e pela Noruega) é o denominado “Nord Pool”
 - A partir de 2000 o Nord Pool passou a integrar todos os países nórdicos, à excepção da Islândia



Reestruturação

➤ Espanha

- Lei 54/1997 do Sector Eléctrico - inicia-se o processo de reestruturação do sistema eléctrico espanhol
- mercado de energia eléctrica organizado num mercado diário, que entrou em funcionamento em 1 de Janeiro de 1998 e inclui Contratos Bilaterais físicos, e num mercado intra-diário, que entrou em funcionamento em 1 de Abril de 1998
- gestão económica do mercado está a cargo da Companhia Operadora do Mercado Espanhol (OMEL)



Reestruturação

➤ Portugal

- Nacionalização, em 1976, de todas as empresas eléctricas privadas, sendo conferida à entidade então criada (EDP) o exclusivo de actuação no sector, excepto no que dizia respeito à distribuição eléctrica em Baixa Tensão que, em algumas zonas do país, era da responsabilidade dos respectivos Municípios ou de Federações constituídas por estes
 - A EDP caracterizava-se por possuir uma estrutura verticalizada, integrando as áreas que compunham o sector: a produção, o transporte e a distribuição de energia eléctrica
- 1994, data da conclusão da reestruturação levada a efeito, a qual conduziu à desintegração vertical da EDP e à criação de várias novas empresas

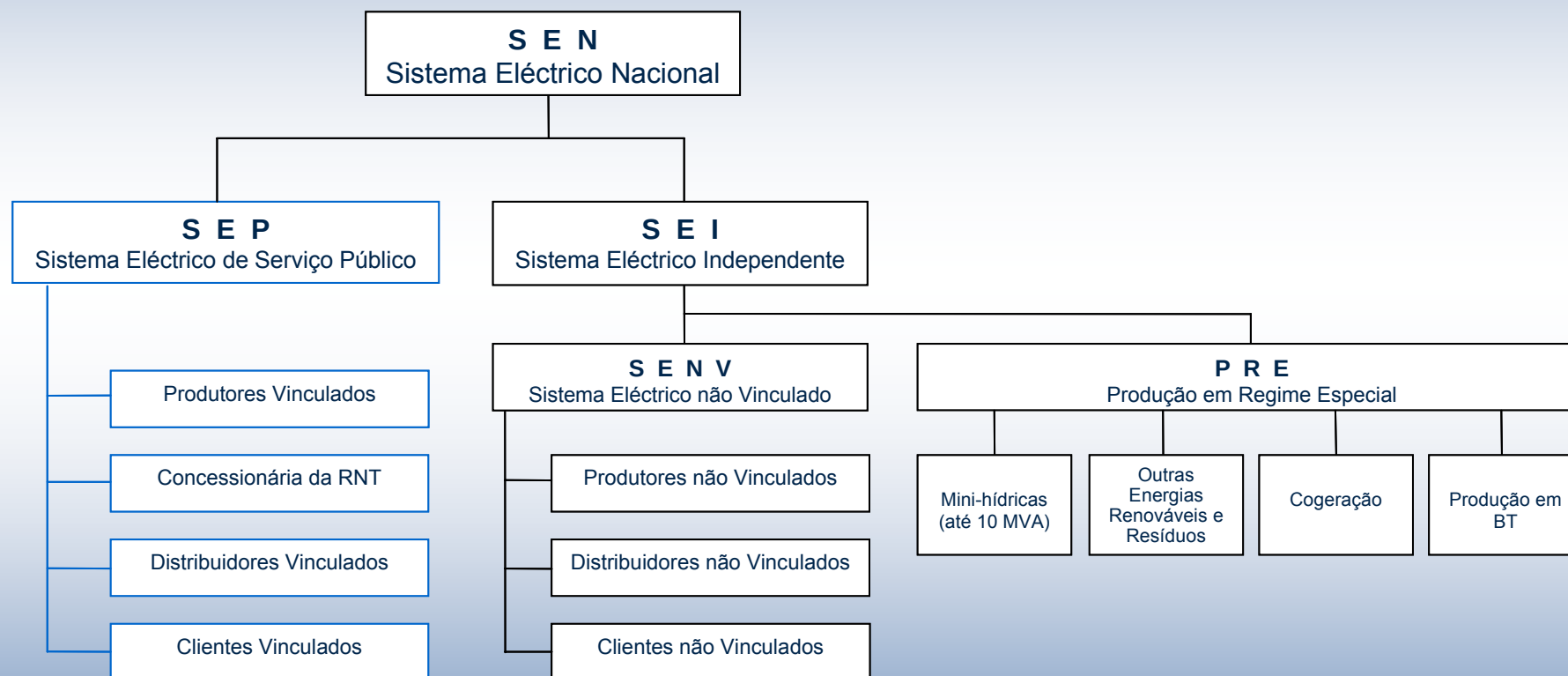


Reestruturação

- Lei 110/88 de 29 de Setembro
 - aprova a liberalização do acesso às actividades de produção, transporte e distribuição de energia eléctrica para consumo público, pondo assim termo à exclusividade conferida à EDP
- 27 de Julho de 1995
 - Decretos-Lei 182/95 a 188/95
 - O Sistema Eléctrico Nacional – SEN – divide-se basicamente em dois sub-sistemas
 - Sistema Eléctrico de Serviço Público – SEP
 - Sistema Eléctrico Independente – SEI
 - Entidade Reguladora do Sector Eléctrico (ERSE)

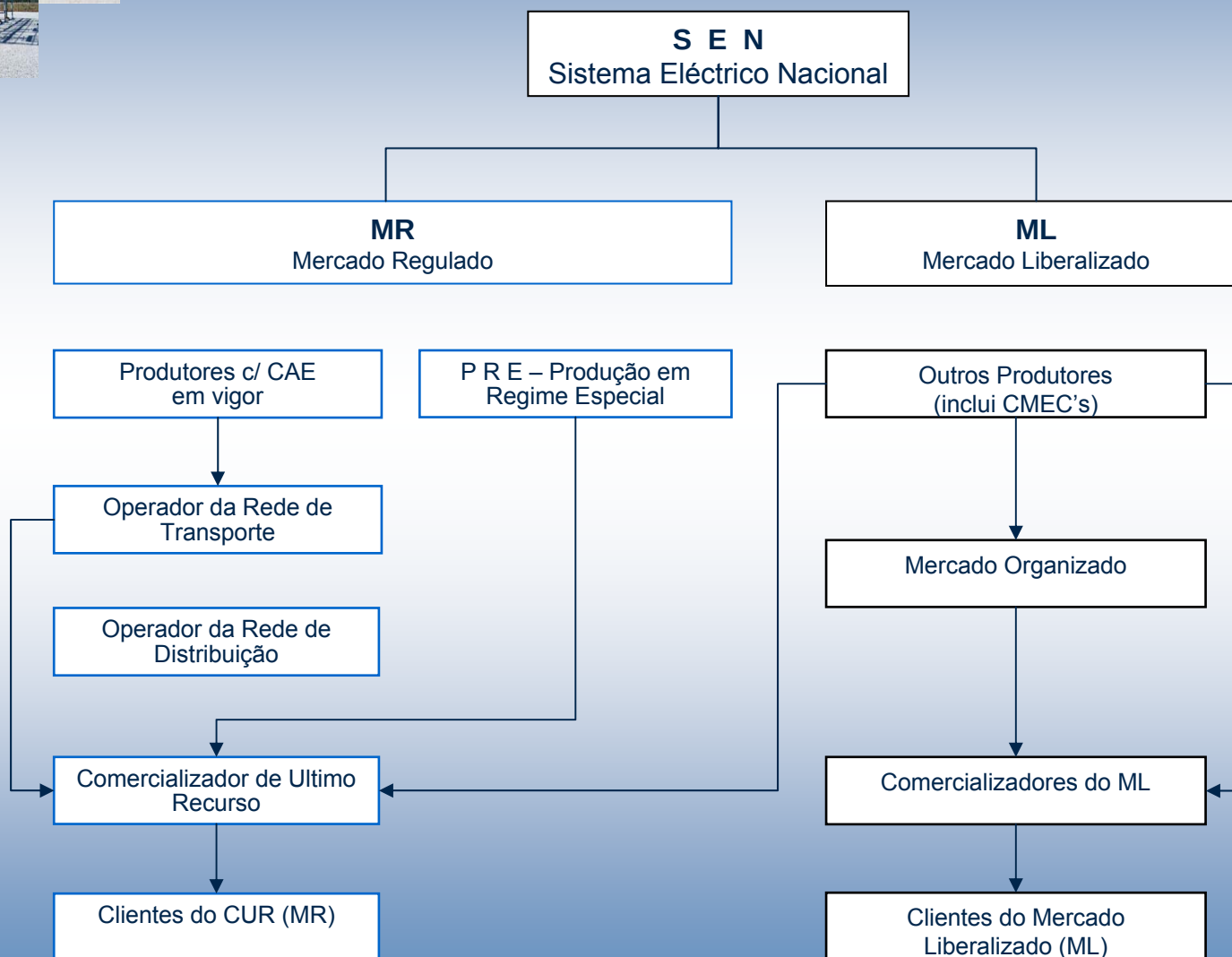


Reestruturação





Reestruturação





Resumo

- Reestruturação do Sector Eléctrico
- Mercados de Energia
 - Modelos
 - Tipos
 - Entidades
- Tecnologia dos Agentes
 - Aplicabilidade
 - Apresentação do Simulador MASCEM
 - Produtores Virtuais



Modelos de Mercado

➤ Bolsa (Pool) - mercado spot

- Entidade centralizada que gere o mercado, interagindo com os vendedores e compradores
- Os vendedores e compradores submetem ofertas para as quantidades de energia que pretendem negociar
 - Os vendedores competem para conseguirem vender a energia de que dispõem e não por clientes específicos
 - Se as ofertas forem demasiado altas, os vendedores podem não vender toda a energia que têm disponível
 - Os produtores com custos baixos são premiados
 - Os compradores competem para comprar energia
 - Se as suas ofertas forem demasiado baixas, podem não conseguir comprar a energia de que necessitam



Modelos de Mercado

■ Em bolsa

- As ofertas são pares preço-quantidade
- É estabelecido o preço de mercado (“market clearing price”), ao qual a energia é transaccionada (vendida e comprada)
- Agregação das ofertas de venda numa curva e das ofertas de compra noutra
- A intersecção da curva de oferta e da curva de procura é o preço de mercado



Modelos de Mercado

➤ Contratos bilaterais

- São negociados directamente entre um vendedor e um comprador
- Necessidade de verificar a existência de capacidade de transmissão suficiente para efectivar o contrato, mantendo a segurança do sistema
- São muito flexíveis porque as duas partes podem negociar de acordo com os seus desejos e necessidades
- Têm desvantagens:
 - Custos de negociação e escrita de contratos
 - Riscos de não cumprimento



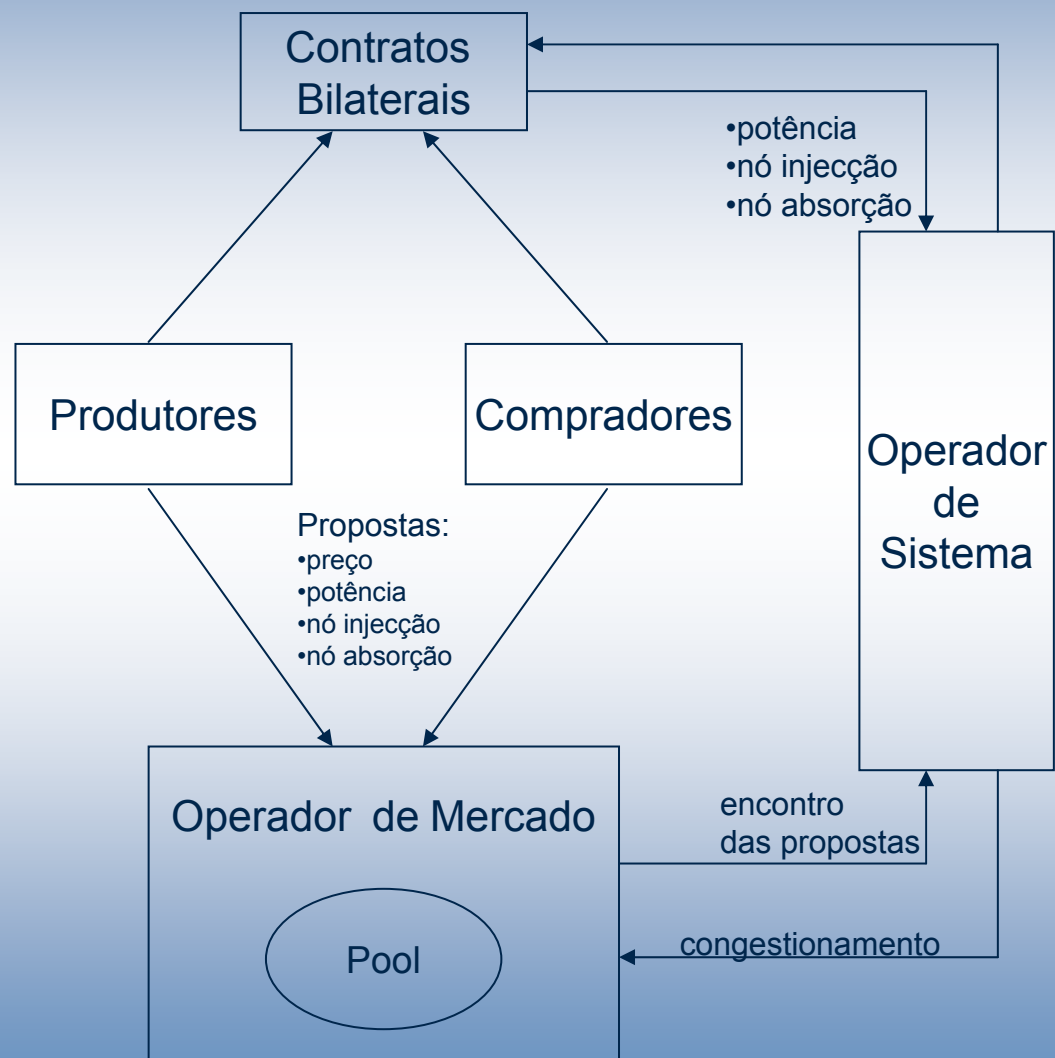
Modelos de Mercado

➤ Modelo Híbrido

- Combina os 2 modelos anteriores
- Não é obrigatória a participação na bolsa
- Algumas vantagens:
 - Permite uma escolha livre por parte dos clientes
 - Favorece o aparecimento de uma multiplicidade de serviços e de tarifários



Modelos de Mercado





Tipos de mercados

➤ Tipos de mercados:

- De acordo com os bens transaccionados:
 - Energia
 - Serviços de sistema (“ancillary services”)
 - Transmissão
- De acordo com o tempo:
 - Mercado diário ou intra-diário
 - No mercado diário (day-ahead) programam-se todas as transacções para cada hora do dia seguinte
 - No mercado intra-diário são feitos os ajustes necessários



Entidades

➤ Operador de Sistema

- Estabelecimento de regras para o mercado da energia e dos serviços de sistema
- Gerir a rede de transmissão de forma justa e não discriminatória
- Disponibilizar ferramentas para gestão do risco (hedge)
- Monitorizar o mercado para verificar a não existência de “poder de mercado”
- Garantir a segurança do sistema
- Coordenar o escalonamento da manutenção
- Participar no planeamento a longo prazo



Entidades

➤ Operador de Mercado

- Responsável pelo funcionamento da Bolsa
- Recebe propostas
- Estabelece o preço de mercado
- Interage com o Operador de Sistema



Entidades

➤ Participantes no Mercado

- Companhias de produção de energia eléctrica (GENCO)
- Companhias de transmissão de energia eléctrica (TRANSCO)
- Companhias de distribuição de energia eléctrica (DISTCO)
- Retalhistas (RETAILCO)
- Comercializadores (Marketers)
- Agregadores
- Brokers (BROCO)
- Consumidores



Resumo

- Reestruturação do Sector Eléctrico
- Mercados de Energia
 - Modelos
 - Tipos
 - Entidades
- Tecnologia dos Agentes
 - Aplicabilidade
 - Apresentação do Simulador MASCEM
 - Produtores Virtuais



Questão

Qual o papel dos **Agentes** de software e **Sistemas Multi-Agente** no suporte à **análise e tomada de decisão** nos novos **Mercados de Electricidade** considerando, entre outros factores, os **objectivos de negócio** dos diferentes intervenientes, os **diferentes mecanismos de negociação**, a **inexistência** de um **conhecimento global centralizado** e a recente **competitividade** no sector?



Agentes em Mercados de Electricidade

São **entidades antropomórficas**, com **comportamento social**, **capacidade de comunicação**, que **actuam** com base num **conjunto de objectivos** e possuem **capacidade de raciocínio**, nomeadamente raciocínio baseado em experiências anteriores que **suportam as suas acções**

Permitem representar as **diversas entidades** presentes nos Mercados Eléctricos, com **diferentes objectivos e comportamentos**, **interagindo** de variadas formas, tendo em conta os **diferentes modelos de negociação** considerados neste sector

A **Simulação Multi-Agente** permite não só **analisar o comportamento do mercado** como um todo, mas também o **comportamento individual das várias entidades** e a forma como este pode influenciar ou ser influenciado pelo mercado



MASCEM

Multi-Agent Simulator for Competitive Electricity Markets

Simulador do **Mercado spot** de Energia Eléctrica, que permite analisar e experimentar **diversos Modelos de Mercado**

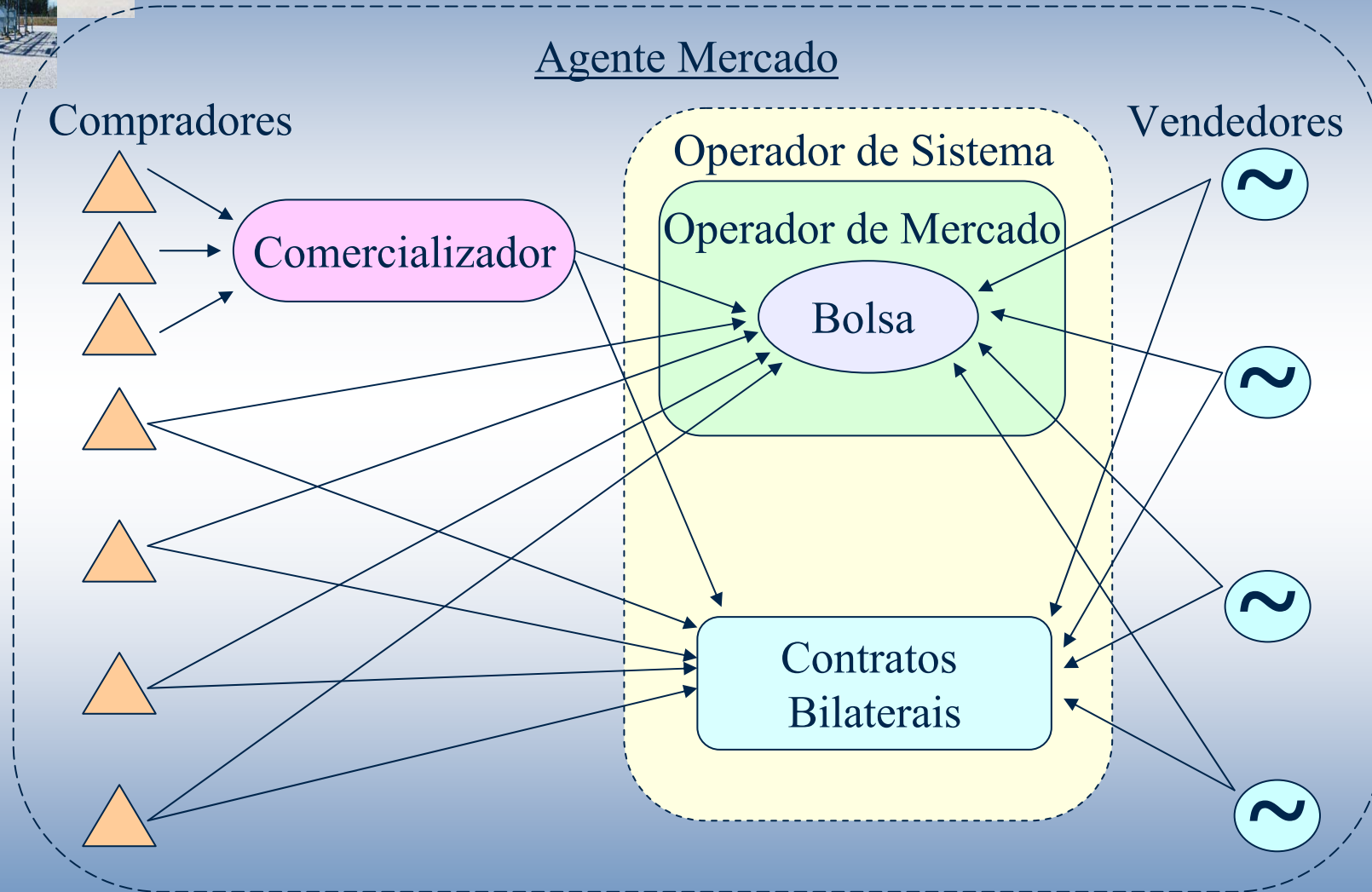
Arquitectura para um Mercado de Electricidade de nova geração, usando uma abordagem Multi-Agente:

- identificação das **entidades** que vão interagir
- definição do **comportamento** das entidades
- identificação dos **relacionamentos**

Comportamento dos Agentes baseado em **Estratégias Dinâmicas** e **Análise de Cenários** com base em critérios de **Teoria de Jogos**

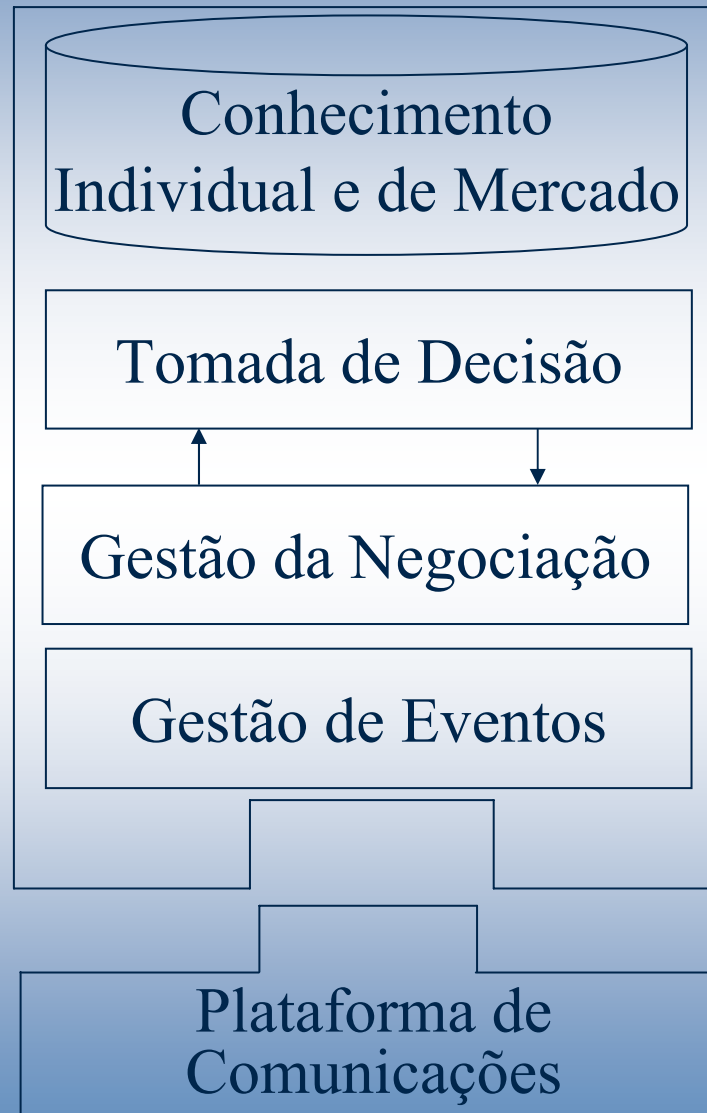


MASCEM



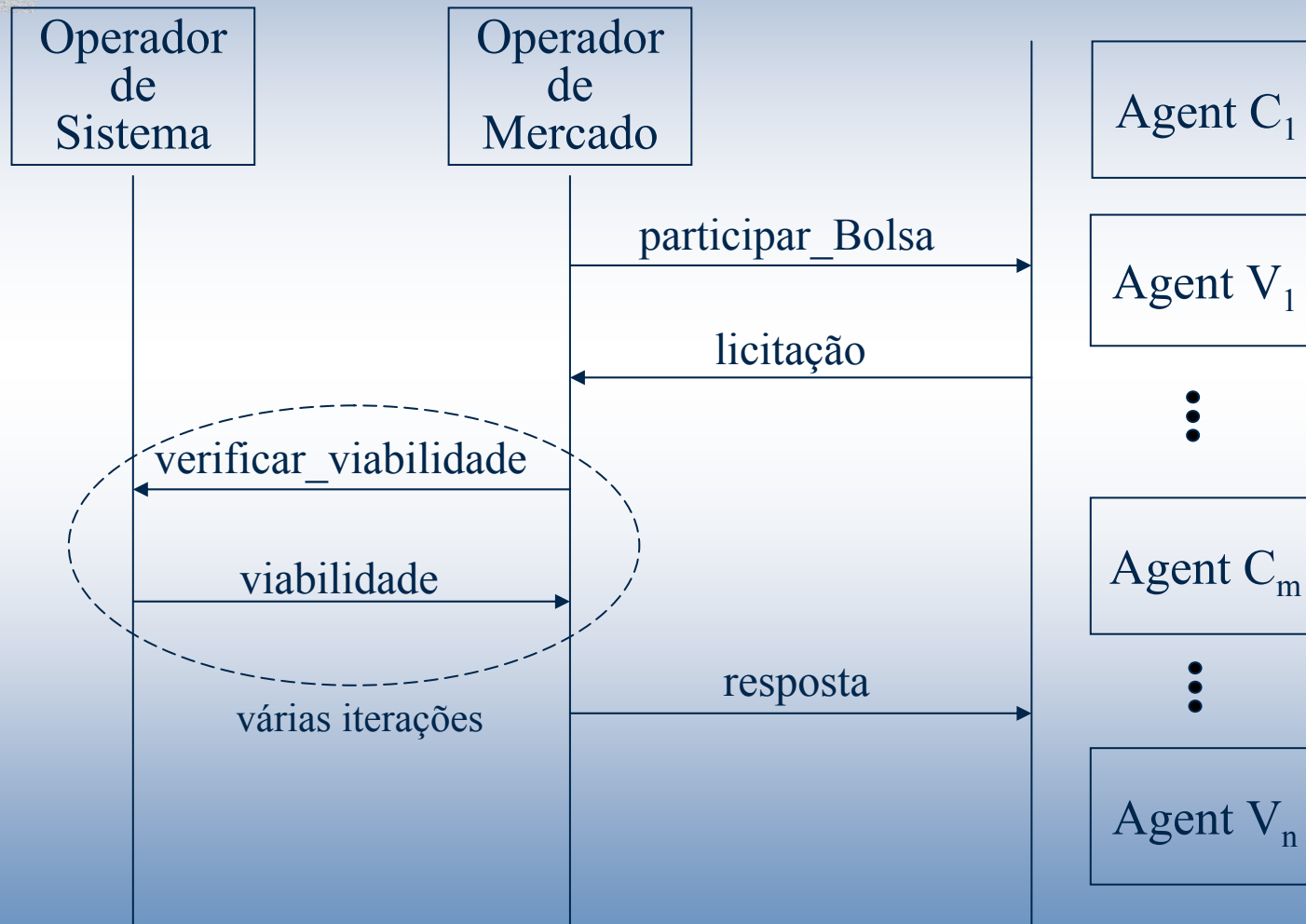


MASCEM



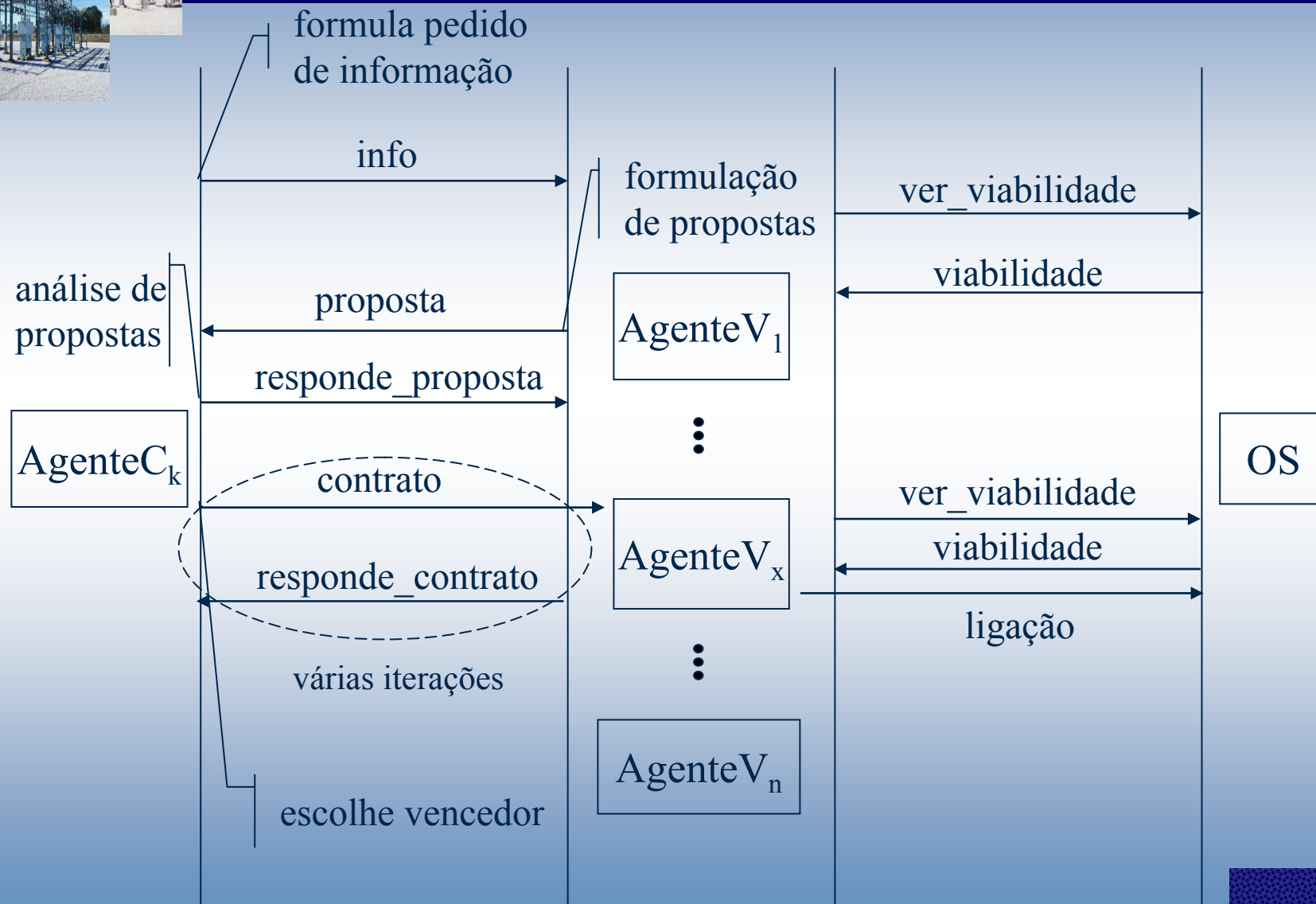


MASCEM - Negociação em Bolsa



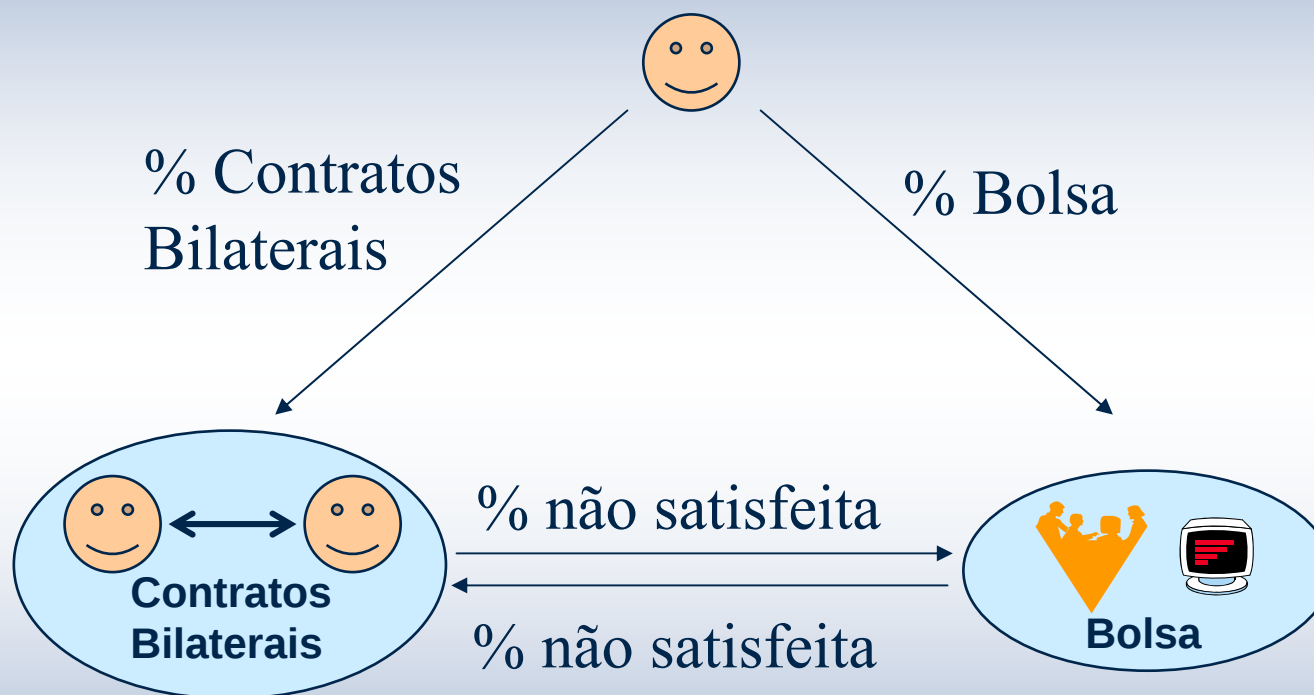


MASCEM - Negociação Contratos Bilaterais





MASCEM - Negociação Mercado Híbrido





MASCEM - Comportamento dos Agentes

Conhecimento

Relativo ao próprio Agente $[P_{V_{lim}}, P_{V_{pret}}^i]$

Compromissos prévios assumidos $Compr_i = \{ Ger_i, Quant_i, Sat_i \}$

Histórico de Negociações $H_a = \{ Prop_{bolsa_{ap}}, Prop_{ap}, Prop_{rec_{ajp}} \}$

Comportamento do Mercado

Estratégias Dinâmicas

Dependentes do Tempo

Dependentes do Comportamento

Análise de Cenários



MASCEM - Comportamento dos Agentes

Estratégias Dependentes do Tempo

$$Pv_{pret}^i(t) = Pv_{lim} + (1 - f(t))(Pv_{pret}^i(0) - Pv_{lim})$$

$$Pc_{pret}^i(t) = Pc_{pret}^i(0) + f(t)(Pc_{lim} - Pc_{pret}^i(0))$$

Estratégias Dependentes do Comportamento

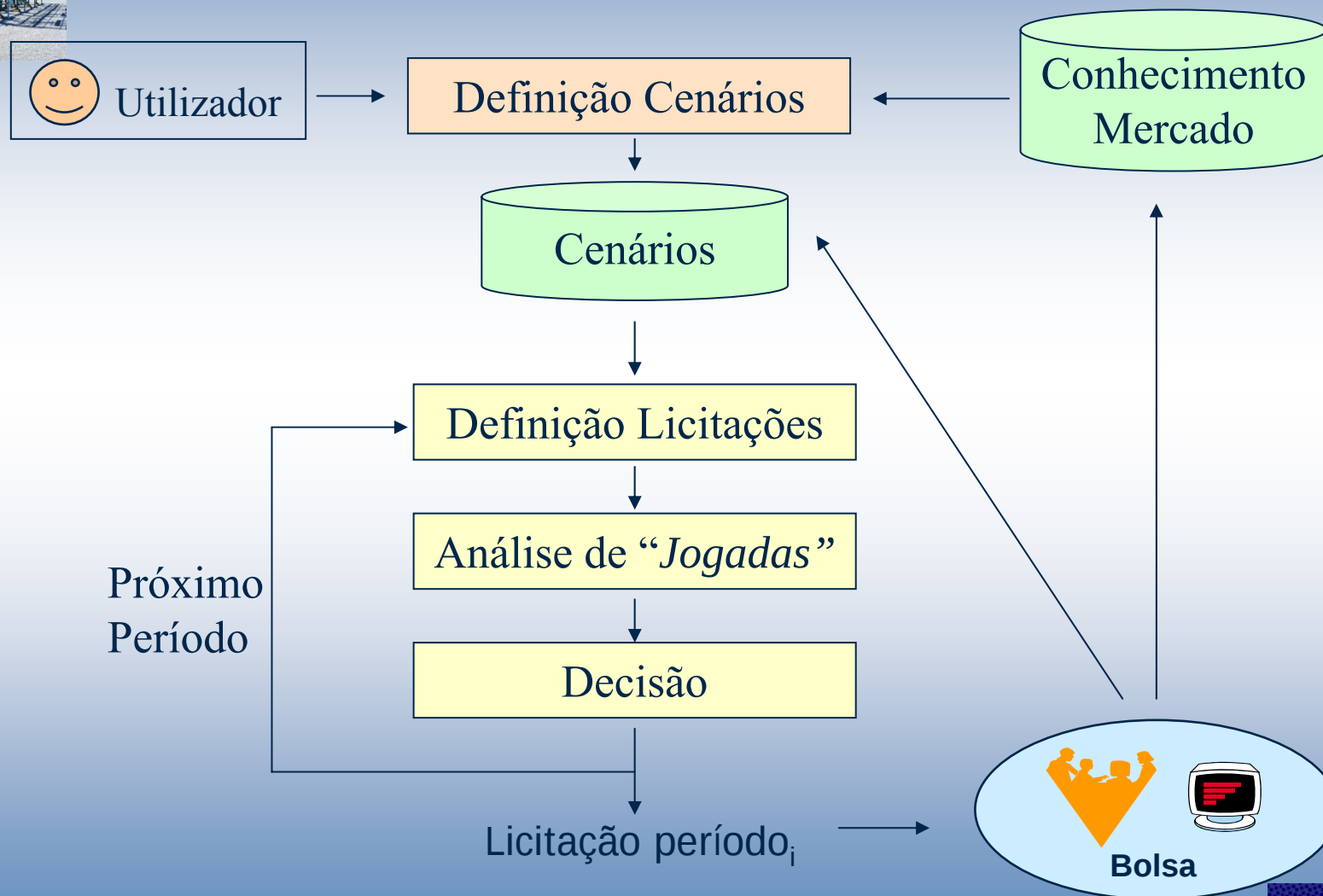
Composed Goal Directed

Adapted Derivative Following

$$quant_{i+1} = preço_i * \left(\beta + \frac{En_periodo_i - En_vendida_i(ou\ comprada_i)}{En_periodo_i * \alpha} \right)$$



MASCEM - Algoritmo Análise de Cenários





MASCEM - Algoritmo Análise de Cenários

Definição de Cenários

Perfil dos Agentes

Especificação do Utilizador

$$\text{preço}_{a,k} = \lambda_k \times \text{preço_pretendido}_a + \varphi_k \times \text{preço_limite}_a$$

Definição de Licitações

Características intrínsecas do Agente

Análise dos perfis dos restantes Agentes

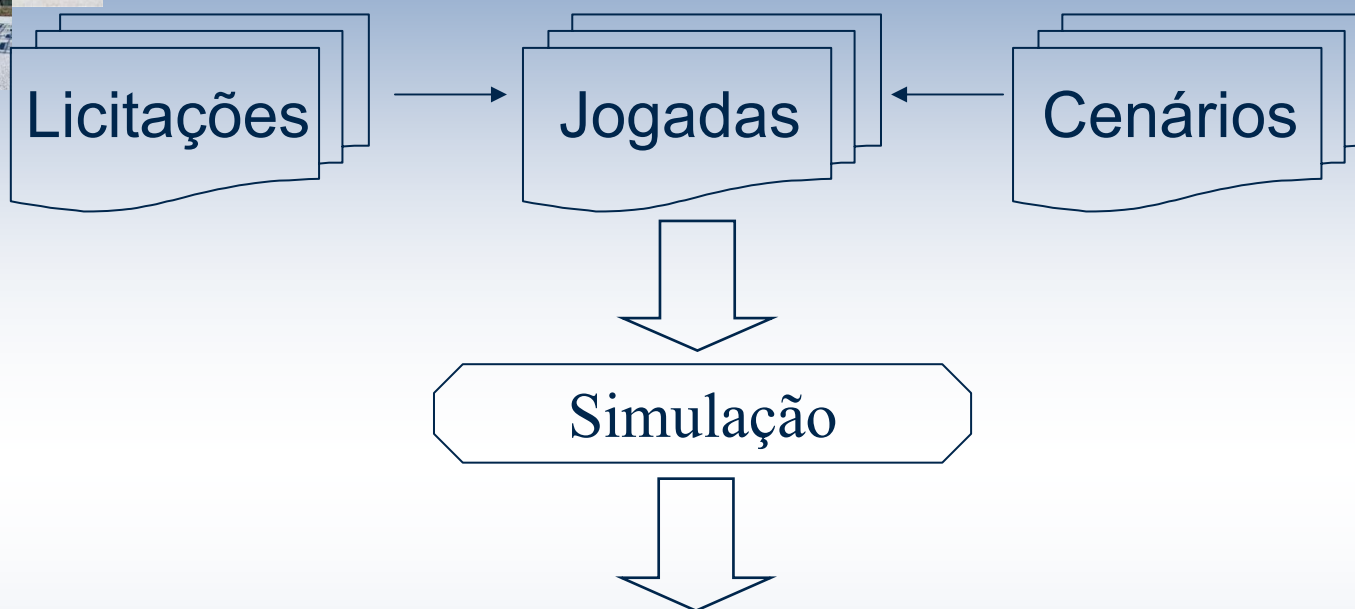
Definição de Jogadas

Cenários

Licitações



MASCEM - Tomada de Decisão



<i>Resultados “Jogadas”</i>	Cenário ₁	Cenário ₂	...	Cenário _x
Licitação ₁				
...				
Licitação _m				



MASCEM - Algoritmo Análise de Cenários

Análise de Jogadas com base em critérios de **Teoria de Jogos**

MiniMax

MaxiMin

Actualização de Cenários e Licitações é feita com base em regras de conhecimento

$$\text{num_jogadas}_k = nc \times (nc \times (N - 1) + 2) \times 3^{(k-1) \times (N-1)}$$



MASCEM - Desenvolvimento

➤ Open Agent Architecture

- “*Facilitator*”: Agente especializado responsável por coordenar as comunicações entre os agentes
- Os agentes têm que primeiro estabelecer uma ligação ao “*Facilitator*”, e “registar-se”, indicando a que tipo de eventos estão aptos a responder
- Todas as comunicações são feitas em Interagent Communication Language (ICL)
- www.ai.sri.com/~oaa/



MASCEM - Interface

MASCEM

Options

New Load... Save...

Market

Type: Symmetrical Pool

Periods: 13

Facilitator

Host Name: VEIOVIS2.gecad.issep.ipp.pt Output

Port Number: 6000 Test

Agents

Sellers: Load... Save... Details... Output

Buyers: Load... Save... Details... Output

Market Operator

Host Name: VEIOVIS2.gecad.issep.ipp.pt Output

Clock

Host Name: VEIOVIS2.gecad.issep.ipp.pt Output

Simulation

Run Stop



MASCEM - Interface

```
MASCEM - Facilitator Output
2007/3/3 15:46:45
Accepting handshake from 10 (Buyer 4)
addr(tcp(192.168.0.2,6000),10) (Buyer 4) can solve:
  [info_time(_6488),fim(_6584),start_cb(_6488),muda_periodo

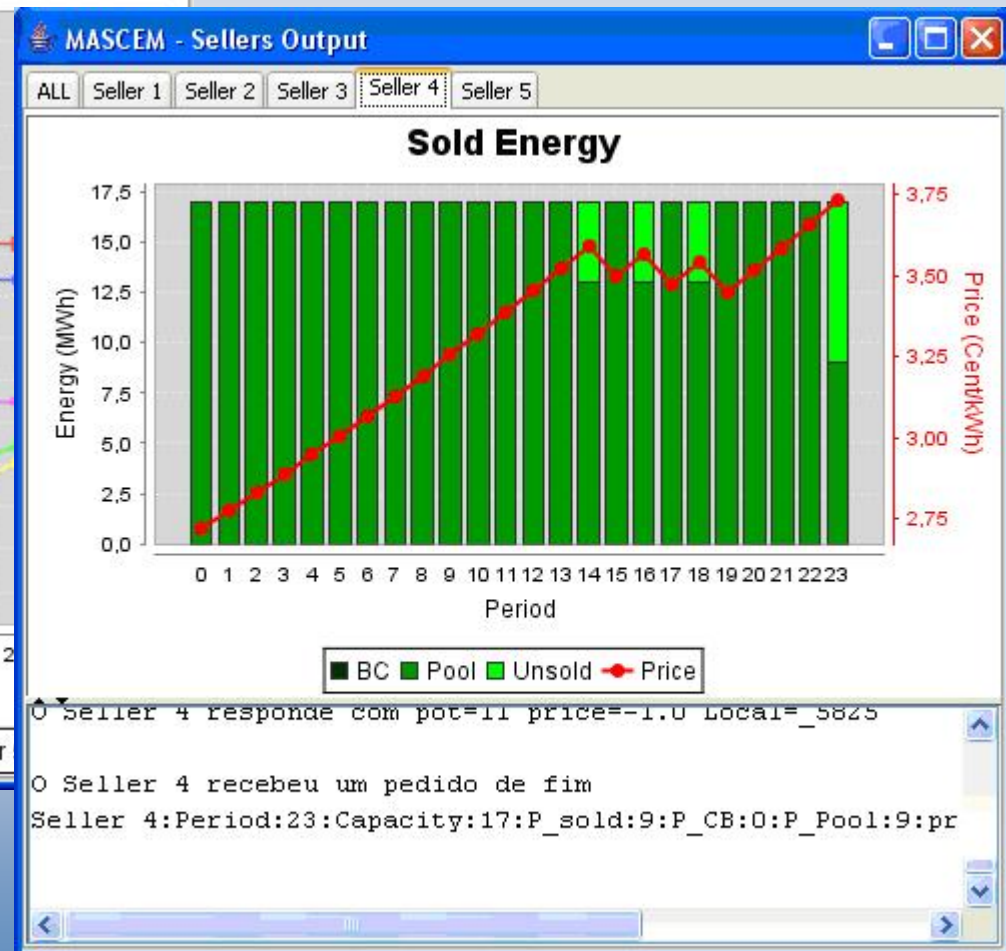
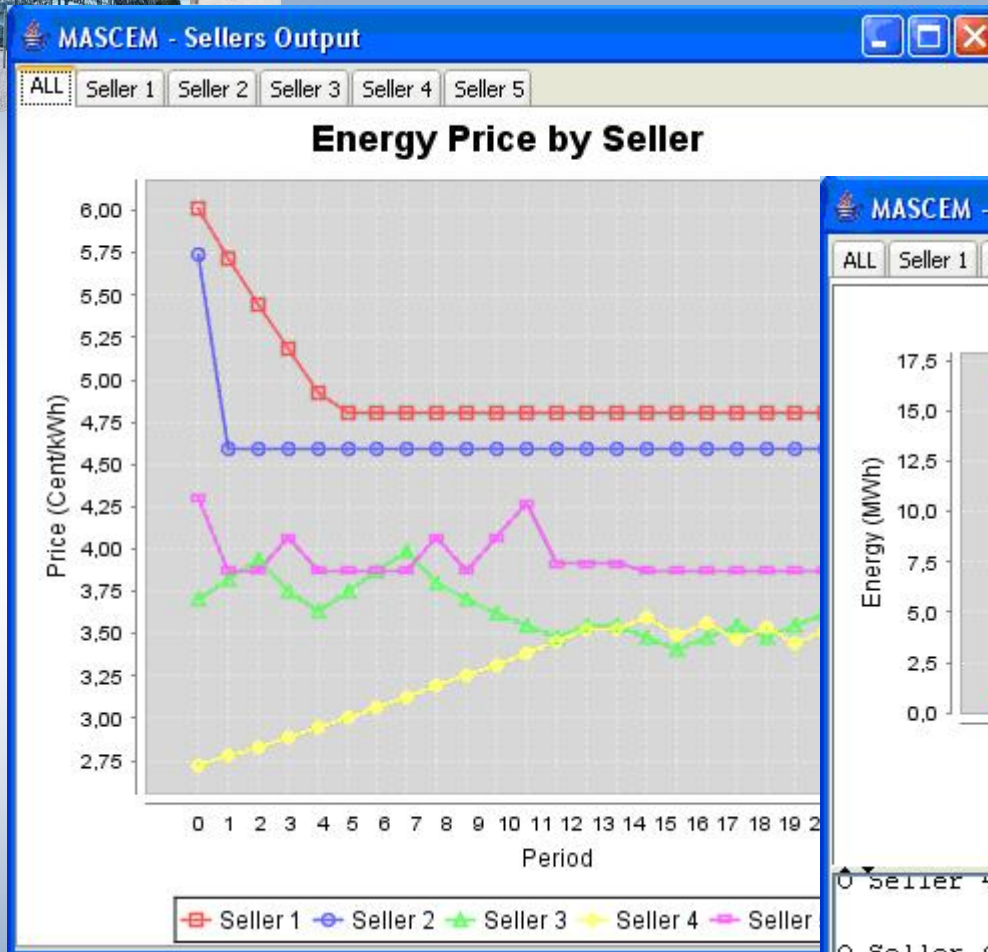
2007/3/3 15:46:45
Accepting handshake from 11 (Operador)

2007/3/3 15:46:45
Accepting handshake from 11 (Operador)
addr(tcp(192.168.0.2,6000),11) (Operador) can solve:
  [info_time(_6500),start_bolsa(_6500),fim(_6686),muda_peri

2007/3/3 15:46:45
Accepting handshake from 12 (Clock)

2007/3/3 15:46:45
Accepting handshake from 12 (Clock)
addr(tcp(192.168.0.2,6000),12) (Clock) can solve:
  [info_clock(_6512)]
```

MASCEM - Interface





MASCEM – Novos Desafios

- Produção Distribuída
 - Pequenos produtores (energia eólica, solar, micro-turbinas, etc.)
 - Vantagens ecológicas
- Produtor Virtual (VPP)
 - Agregação de instalações de produção distribuída
 - Os VPPs são entidades heterogêneas geograficamente distribuídas e utilizando diversas tecnologias de produção
 - Estratégia agregadora pode permitir que as instalações de Produção Distribuída obtenham vantagens técnicas e económicas, advindo da utilização combinada de diversas tecnologias de produção, ultrapassando desvantagens de algumas dessas tecnologias
 - As relações entre os produtores agregados e entre o VPP e os restantes agentes são factores chave para o sucesso dos VPPs



MASCEM – Novos Desafios

➤ VPP

■ Coligação de Produtores

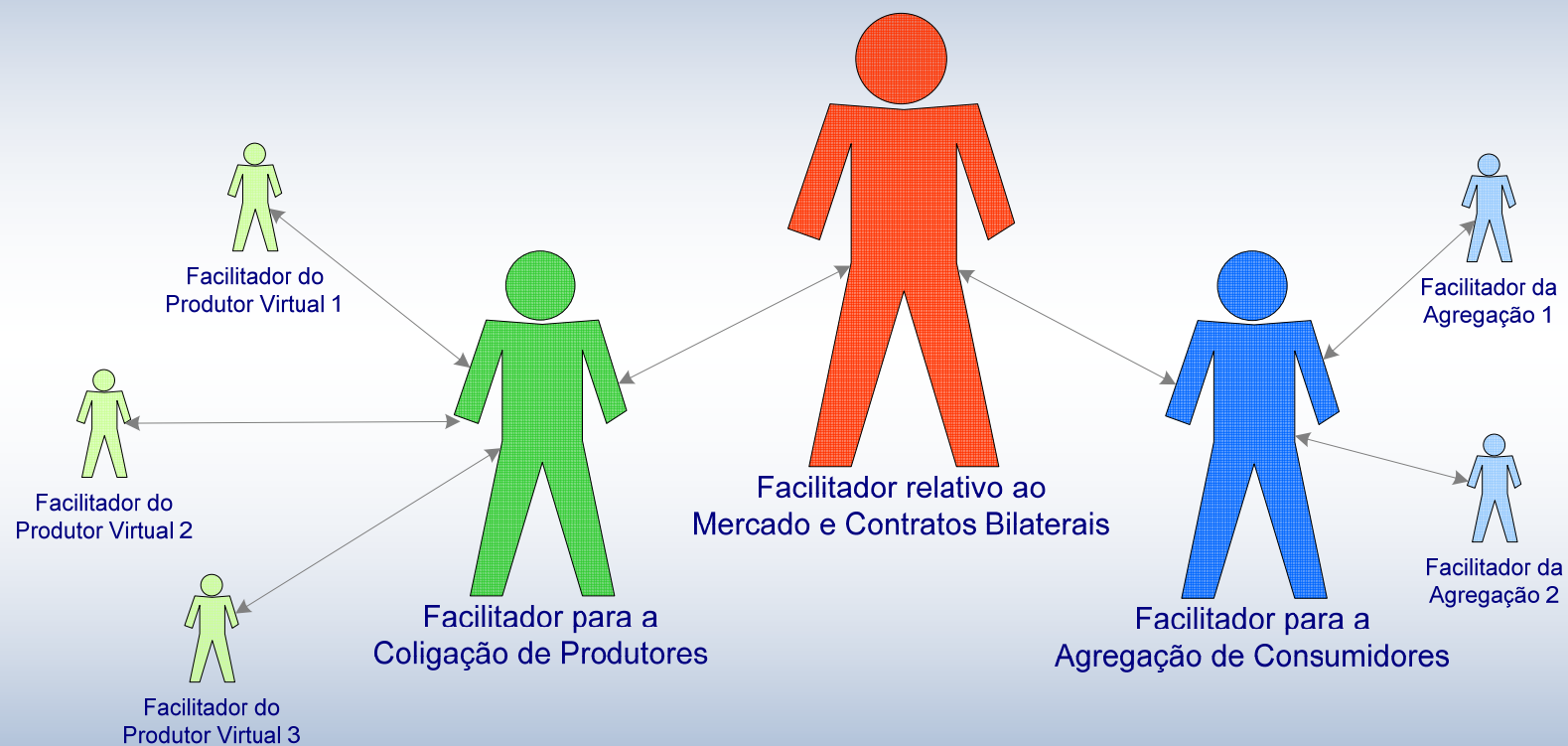
- Formação
- Operação
- Distribuição dos Lucros

■ Critérios

- Ser ou não despachável
- Rentabilidade
- Disponibilidade e fiabilidade
- Emissão de Gases de Efeito de Estufa
- Relação com factores externos
- Tempo de vida útil
- Maturidade da tecnologia



VPP – Arquitectura





Notas Finais

➤ Questão

- Quais as características dos Agentes e dos Sistemas Multi-Agente, que tornam esta tecnologia muito atractiva do ponto de vista do estudo dos Mercados de Energia?

➤ Desafio

- Identificar e discutir protocolos e estratégias de negociação entre agentes para a formação de Produtores Virtuais



Algumas Publicações

“MASCEM: A Multiagent System That Simulates Competitive Electricity Markets”. Isabel Praça, Carlos Ramos, Zita Vale e Manuel Cordeiro. **IEEE Intelligent Systems** – Special issue on Agents and Markets, Vol. 18, N° 6, pág. 54 – 60, Novembro/Dezembro 2003

“Intelligent Agents for the Simulation of Competitive Electricity Markets”. Isabel Praça, Carlos Ramos, Zita Vale e Manuel Cordeiro. **International Journal of Modelling and Simulation**, vol.24, nº2, pág. 73-79 , 2004

“Intelligent Agents for Negotiation and Game-based Decision Support in Electricity Markets”, Isabel Praça, Carlos Ramos, Zita Vale e Manuel Cordeiro. A publicar num número especial do **Engineering Intelligent Systems Journal**, como artigo seleccionado, de entre os 102 trabalhos apresentados na conferência “Intelligent Systems Applications to Power Systems (ISAP 2003)”, a publicar em Junho 2005

“A New Agent-based Framework for the Simulation of Electricity Markets”, Isabel Praça, Carlos Ramos, Zita Vale e Manuel Cordeiro. Apresentado e publicado em “The 2003 IEEE/WIC **International Conference on Intelligent Agent Technology (IAT 2003)**”, Canada, pp.469-473, Outubro 2003



Agentes Inteligentes aplicados aos Mercados de Energia

Isabel Praça
GECAD – DEI/ISEP

Universidade do Minho, 9 de Março de 2007