

## **TRADING AGENT COMPETITION FOR SUPPLY CHAIN MANAGEMENT: UMA ABORDAGEM MAKE-TO-ORDER**

Luís C. S. Barradas<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Instituto Politécnico de Santarém, Escola Superior de Gestão e Tecnologia de Santarém, Portugal, claudio.barradas@esg.ipsantarem.pt

### **Resumo**

A negociação com clientes e fornecedores e o escalonamento da produção são componentes chave na gestão da cadeia de produção. Para responderem, e se adaptarem às exigências do mercado em constante mutação, as empresas recorrem às tecnologias da informação e comunicação para automatizar e otimizar os seus processos de negócio. Este trabalho descreve um agente autónomo, denominado TacM2O, para o jogo de *Gestão de uma Cadeia de Produção* da “*Trading Agent Competition*”. O agente desenvolvido rege-se por uma estratégia de produção *make-to-order*. São utilizadas funções de análise de mercado como ferramenta de suporte à decisão e adaptação às mutações de mercado. Os resultados obtidos, embora modestos, são encorajadores para futuros desenvolvimentos de melhoria da estratégia utilizada.

*Palavras-chave:* Trading Agent Competition, Supply Chain Management, Agente de Software, Negócio Eletrónico, Sistemas Multi-Agente.

### **TRADING AGENT COMPETITION FOR SUPPLY CHAIN MANAGEMENT: A MAKE-TO-ORDER APPROACH**

#### **Abstract**

The negotiation with clients, suppliers and production scheduling are key components for the production chain management. Today, enterprises use information and communication technologies to automate their business processes aiming to efficiently address market demands. This paper presents an autonomous software agent named TacM2O for the well-known *Production Chain Management* game of the *Trading Agent Competition*. The developed software agent follows a make-to-order production strategy. Some market analysis functions are used as tools for decision support and

adaptation to market mutations. The results, although humble, are promising for further improvement developments of the adopted strategy.

*Keywords:* Trading Agent Competition, Supply Chain Management, Software Agent, e-business, Multi-Agent Systems.

## **1 INTRODUÇÃO**

O advento da Internet e os avanços nas tecnologias de informação e comunicação tornaram possível que largos milhares de organizações, de todas as dimensões, se interligassem, desencadeando uma nova ordem empresarial. Como consequência, os processos de negócio passaram a realizar-se *online*. No atual mundo industrializado, as cadeias de fornecimento são ubíquas na produção de muitos produtos complexos (Pardoe & Stone, 2009). Embora as cadeias de fornecimento tivessem sido criadas através de interações e negociações que envolviam pessoas, os atuais avanços em tecnologias de agentes autónomos despertou o interesse pela utilização desta tecnologia para a automação do processo. A criação de agentes completamente autónomos para a gestão da cadeia de fornecimento é uma tarefa complexa, devido à grande quantidade de tarefas que estes devem executar, que envolvem desde as tarefas de *procurement* e de gestão da produção, até à negociação com clientes. Estas tarefas só podem ser executadas eficazmente se o agente autónomo for capaz de se adaptar às condições de mercado e de planear as suas ações de forma inteligente (Collins, Ketter & Sadeh, 2010).

Este trabalho descreve um agente autónomo para o jogo de Gestão de uma Cadeia de Produção da *Trading Agent Competition* (TAC-SCM; <http://tac.sics.se/page.php?id=13>) (Collins et al., 2006; Collins et al., 2010). O agente apresenta-se como uma primeira proposta para a participação na competição anual da TAC-SCM. A secção 2 descreve resumidamente o cenário da competição TAC-SCM. A secção 3 descreve o agente desenvolvido. Seguidamente, na secção 4 descrevem-se os testes e analisam-se os resultados. Por fim são apresentadas as conclusões.

## **2 TRADING AGENT COMPETITION FOR SUPPLY CHAIN MANAGEMENT: DESCRIÇÃO E ENQUADRAMENTO**

A competição TAC-SCM foi criada em 2002 por Norman Sadeh com o objetivo de centrar a atenção dos investigadores das áreas da Inteligência Artificial e afins, no problema de gestão da cadeia de fornecimento. Este problema é cada vez mais complexo na atual economia global. Mais especificamente, a TAC-SCM foi idealizada para promover o desenvolvimento de novas técnicas de gestão de risco e de adaptação às condições de mercado em constante mutação (Sadeh, Arunachalam, Eriksson, Finne & Janson, 2003).

A TAC-SCM assenta na premissa de que os canais de fornecimento não podem ser vistos como entidades monolíticas centralizadas, mas que consistem em múltiplas entidades que possuem objetivos e se regem segundo políticas próprias (Collins et al., 2010). Tendo em conta que as cadeias de fornecimento do mundo-real exibem peculiaridades próprias, a TAC-SCM foi projetada de modo a englobar as principais fontes de complexidade comuns a várias cadeias de fornecimento. As entidades da cadeia são modeladas sob a forma de agentes autónomos que competem entre si num mercado sujeito a múltiplas fontes de incerteza.

Desde o ano 2002 que se realiza um evento internacional associado à competição, aberto à participação de estudantes, grupos de investigação e outros. Os agentes desenvolvidos pelos participantes entram em competição em cenários de simulação de mercado.

### **2.1 Cenário da TAC-SCM**

Num jogo TAC-SCM múltiplos agentes competem entre si, tendo por cenário a gestão de uma cadeia de produção (TAC-SCM) que compreende o planeamento e coordenação das atividades das organizações que participam na cadeia de produção de PC, desde a aquisição da matéria-prima até à entrega dos produtos finais aos clientes. Na competição, seis agentes competem pelas encomendas dos clientes e pela procura de uma variedade de componentes, durante um ano TAC. Cada ano TAC compreende 220 dias, tendo cada dia TAC uma duração de 15 segundos. Um dos

principais desafios da competição é a capacidade do agente se adaptar e responder às rápidas variações no mercado: preços, tendências de venda e estratégias dos oponentes (Collins et al., 2006).

O jogo pode ser dividido em três partes principais: 1) aquisição de componentes; 2) venda de computadores; e 3) produção e entrega.

### **2.1.1 Aquisição de componentes**

Os computadores são construídos com base em quatro componentes: processadores, *motherboards*, memórias e discos rígidos, que existem em múltiplas variedades. Com base nestes componentes podem ser efetuadas 16 configurações diferentes. Os agentes podem comprar os componentes a um conjunto variado de fornecedores.

Para efetivarem uma compra de componentes, os agentes enviam pedidos de cotação (RFQ) aos fornecedores, indicando o tipo, a quantidade desejada e a data pretendida para a entrega dos componentes. Os agentes podem enviar até 10 RFQ por componente e por fornecedor em cada dia. Por sua vez, os fornecedores respondem a esses RFQ, indicando um preço para o componente requisitado e a quantidade que podem fornecer. Os agentes podem aceitar ou rejeitar as ofertas. Os fornecedores operam numa base *make-to-order* e possuem uma capacidade de produção limitada. Esta capacidade varia durante o jogo de acordo com um seguimento aleatório. O preço de venda dos componentes depende da fração da sua capacidade.

### **2.1.2 Venda de computadores**

Para adquirirem computadores, os clientes enviam RFQ aos agentes, indicando o tipo de computadores, a quantidade desejada, a data de entrega, um preço de reserva (que indica qual o preço máximo que está disposto a pagar) e uma penalidade, ou seja, um valor cobrado ao agente por incumprimento das datas de entrega. Os agentes respondem a esses RFQ indicando um preço. O agente que oferecer o preço mais baixo ganha a encomenda. O número de RFQ enviados por clientes diariamente depende da procura, a qual varia ao longo do jogo.

### **2.1.3 Produção e Entrega**

Cada agente gere uma fábrica de montagem de computadores. A operação da fábrica é restringida pelos componentes disponíveis em inventário e pelos ciclos de montagem. Diariamente, o agente deve estabelecer escalonamentos de produção e de entrega que são enviados para o servidor indicando as ações para o próximo dia. O escalonamento de produção especifica quantos computadores deverão ser montados pela fábrica. Por sua vez, o escalonamento de entrega indica quais as encomendas dos clientes que devem ser satisfeitas, com base nos computadores existentes no inventário.

### **2.1.4 Estratégias de operação**

Duas tarefas cruciais na gestão da cadeia de fornecimento são o planeamento de aquisição de matérias-primas e a competição pela realização de vendas. O planeamento das necessidades de materiais pode ser categorizado como *make-to-plan* (MTP), *make-to-stock* (MTS) ou *make-to-order* (MTO) (Courtois, Martin-Bonnefois & Pillet, 2007; Li & Womer, 2012).

Numa estratégia MTP, o agente define o nível de utilização da unidade de produção e compra matéria-prima de acordo com as necessidades para manter esse nível. São respondidos pedidos de compra de acordo com as existências no inventário. Numa estratégia MTS, o agente mantém um nível de inventário seguro. É feito o escalonamento de produção e são atendidos pedidos de compra com base nas existências no inventário. Numa estratégia MTO, o agente adquire matérias-primas e transforma-as em produtos finais, consoante as ordens de compra recebidas.

Todas estas estratégias podem ser implementadas individualmente ou combinadas no cenário TAC-SCM. Em competições anteriores a maioria dos agentes adotou estratégias MTO e MTS (Lou & Si, 2006; Pardoe & Stone, 2009).

### 3 O AGENTE AUTÓNOMO TACM20

#### 3.1 Arquitetura do agente

Devido ao detalhe e complexidade do cenário da TAC-SCM, a criação e desenvolvimento de um agente eficiente requer uma arquitetura de suporte baseada em módulos fortemente acoplados para interagir e processar dados de clientes, de fornecedores e de mercado. A arquitetura do agente assenta sobre quatro componentes principais, tal como é ilustrado pela Figura 1.

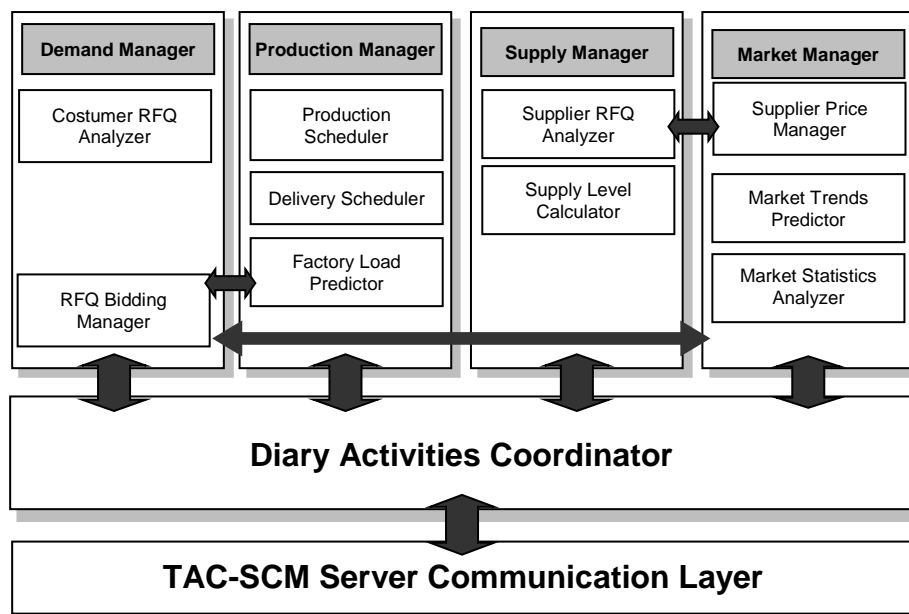


Figura 1 – Arquitetura do Agente TacM20

A arquitetura é constituída por cinco módulos principais:

- Módulo ***Demand Manager*** – disponibiliza funcionalidades para a gestão dos RFQ diários enviados por clientes, entre as quais a identificação e ordenação das propostas mais favoráveis;
- Módulo ***Production Manager*** – disponibiliza funcionalidades para a gestão da produção (escalonamento da produção diária) e de gestão de entrega de produtos acabados;

- Módulo **Supply Manager** – disponibiliza funcionalidades para gestão dos RFQ enviados for fornecedores, entre as quais a identificação e ordenação das propostas mais favoráveis;
- Módulo **Market Manager** – disponibiliza funcionalidades para gestão e tratamento de informação de mercado, tais como tendências de preços de componentes e produtos, assim como também tendências de procura;
- Módulo **Diary Activities Coordinator** – módulo principal, responsável pela receção das mensagens do servidor TAC, e pela lógica de coordenação das atividades diárias do agente, recorrendo às funcionalidades disponibilizadas pelos outros componentes.

### **3.2 Estratégia de operação**

A estratégia de produção segue uma abordagem MTO, sendo apenas produzidos produtos com base nas encomendas dos clientes. Embora grande parte das implementações de competições anteriores siga um modelo MTS (Arunachalam & Sadeh, 2005; Lou & Si, 2006), a abordagem MTO evita alguns dos problemas das MTS nos piores cenários, como a possibilidade de se venderem produtos abaixo do preço de produção, e grandes custos de posse de *stock*, caso as vendas não se verifiquem.

O início da atividade inicia-se apenas no dia 3 TAC, ou seja, apenas se começam a responder a RFQ de clientes após o *stock* inicial de componentes ter sido encomendado aos fornecedores. Uma aceitação precoce de encomendas poderá induzir a penalizações de incumprimento devido à falta de componentes disponíveis. O término de aceitação de encomendas verifica-se 5 dias TAC antes do final do ano TAC.

### **3.3 Gestão de propostas e encomendas dos clientes**

A seleção de propostas dos clientes é um dos grandes desafios do problema. Diariamente o agente recebe mais de 150 RFQ de clientes. Deste conjunto diário de propostas de clientes (RFQ) são apenas seleccionadas as que potencialmente possuem mais qualidade, i.e., que potencialmente darão mais lucro (preço de reserva alto), que

forneçam algum espaço de manobra para a gestão da produção, e que possuam penalizações baixas. A impossibilidade de responder a todas as propostas deve-se à incapacidade de produção, caso grande parte das propostas fossem aceites pelos clientes, o que levaria a penalizações por incumprimento na entrega dos produtos.

A seleção das propostas consiste numa adaptação da abordagem de Lou e Si (2006) e Keller, Duguay e Precup (2004). Esta é feita com base nos seguintes critérios: (1) prazo de entrega, (2) preço de reserva, (3) quantidade, (4) penalização e (5) lucro esperado.

**Prazo de entrega:** A data de entrega para todos os RFQ varia entre 3 e 12 dias. O agente atribui prioridade alta a RFQ que apresentem o prazo de entrega mais alargado. A prioridade é definida como:  $P_D(x) = 100*(x-3)$ , onde  $x$  é a data de entrega e  $12 \geq x \geq 3$ . Esta definição difere da apresentada por Lou e Si (2006), que segue um modelo de produção MTS, e que é definida como  $P_D(x) = 1000-100*(x-3)$ . Esta definição qualifica RFQ com prazos de entrega curtos. Embora sugira um grau de possível aceitação elevado por parte do cliente (tipicamente os agentes evitam datas de entrega curtas), esta estratégia não é uma boa solução em abordagens MTO, pois a possibilidade de gerar penalizações por incumprimento é elevada.

**Preço de Reserva:** Se o preço de reserva definido pelo cliente for alto, a proposta correspondente deve também ser alta. O preço de reserva varia entre 75% e 125% do preço normal dos componentes dos PC (Collins et al., 2006; Lou & Si, 2006). A prioridade para o preço é definida como:  $P_R(x) = 25*(x-75)+25$ , onde  $x$  é o preço de reserva (definido como percentagem do preço nominal) e  $125 \geq x \geq 75$ .

**Quantidade:** A quantidade de produtos requerida em cada RFQ varia entre 1 e 20. Se o número de produtos requisitados for baixo, a possibilidade de responder a mais RFQ é maior, logo a probabilidade de obter um número maior de aceitação por parte de clientes é também maior. Por outro lado, a penalização em encomendas com poucos produtos é menos grave. A prioridade de quantidade é definida como:  $P_U(x) = 2000-100*(x-1)$ , onde  $x$  é o número de unidades requeridas e  $20 \geq x \geq 1$ .



**Penalização:** A penalização num RFQ pode situar-se entre 5% e 15% do preço de reserva do RFQ, por dia. É atribuída maior prioridade a RFQ com menor penalização. Esta é definida como:  $P_N(x) = 50(x-5)+50$ , onde  $x$  é a penalização e  $15 \geq x \geq 5$ .

**Lucro esperado:** O lucro esperado num RFQ é baseado na diferença entre o preço de reserva e o custo atualizado dos componentes que constituem o produto requerido. Logo,  $P_P(x) = x-y$ , onde:  $x$  é o preço de reserva e  $y$  o custo atual dos componentes.

Após a receção de todos os RFQ diários, estes são ordenados com base na sua prioridade que é definida como:

$$P = (P_D + P_R + P_U + P_N + P_P) \times pf \quad \text{onde: } pf = \begin{cases} -1 & ,se \ P_P < 0 \\ 1 & ,se \ P_P \geq 0 \end{cases} \quad (1)$$

O fator de lucro  $pf$  garante que será excluído qualquer RFQ cujo preço de reserva seja inferior ao custo de produção.

Da lista dos melhores RFQ é feita uma contraproposta cujo preço oferecido é calculado segundo o método apresentado na secção 3.7. São feitas contrapropostas a RFQ enquanto o número de ciclos de produção acumulado não exceder 80% da capacidade diária da unidade de produção, de modo a garantir uma folga (evitando assim sobreutilização), e evitar penalizações por incumprimento nas entregas (admitindo ainda nesta fase uma situação ótima de que todas as contrapropostas são aceites).

### 3.4 Aquisição de componentes a fornecedores

Dado que a abordagem de produção é MTO, o processo de aquisição de matéria-prima é sempre despoletado quando surgem novas encomendas dos clientes. Porém, a latência de um processo de aquisição de componentes (mínimo 2 dias TAC) pode induzir à inatividade por falta de componentes e assim levar a incumprimentos de prazos com as consequentes penalizações. Para evitar esta situação, no primeiro dia TAC são enviados RFQ aos fornecedores para o fornecimento inicial de componentes, com entrega definida para o dia 3 TAC. A Tabela 1 apresenta um resumo das quantidades iniciais adquiridas para cada componente. Devido à elevada procura de processadores na fase inicial (preços altos), estes são comprados em poucas

quantidades. Por um lado, aumenta probabilidade do fornecedores cumprirem os prazos de entrega e, por outro lado, economiza-se dinheiro. Os *stocks* destes componentes são posteriormente repostos quando a procura diminui (preços baixos).

**Tabela 1 – Abastecimento inicial de componentes**

Componente	Quantidade
Pintel CPU, 2.0 GHz	200
Pintel CPU, 5.0 GHz	200
IMD CPU, 2.0 GHz	200
IMD CPU, 5.0 GHz	200
Pintel Motherboard	250
IMD motherboard	250
Memory, 1GB	250
Memory, 2GB	250
Hard disk, 300 GB	250
Hard disk, 500 GB	250

De modo a manter o *stock* de componentes a um nível ótimo, é calculada diariamente a média do número de componentes em *stock* dos últimos três dias. Se a média for baixa (<100) a quantidade de componentes a comprar nesse dia é multiplicada por dois. Caso a média dos últimos 3 dias seja alta (> 350), compram-se apenas metade dos componentes desse tipo, nesse dia.

De modo a garantir que no final do ano exista o mínimo de componentes em *stock*, as compras a fornecedores deixam de ser feitas no dia em que cessa a aceitação de encomendas dos clientes, ou seja, no dia em que o número de dias previsto de utilização da fábrica, somado ao dia atual, ultrapasse o dia 217.

### **3.4.1 Seleção de propostas de fornecedores**

Sempre que chegam encomendas dos clientes, é feito o envio de um RFQ para todos os fornecedores de um componente. Dado que as respostas dos fornecedores chegam de forma assíncrona, estas são armazenadas e, antes do final de cada dia, são selecionadas as melhores propostas de fornecimento e enviadas as ordens de compra para os fornecedores cujas propostas são mais favoráveis.

As propostas de fornecedores são ordenadas segundo dois fatores: preço e quantidade. Cada um destes fatores possui um peso associado  $W_p=0.6$  e  $W_q= 0.40$ ,

respetivamente. Desta forma, a prioridade de uma proposta de um fornecedor é definida por:

$$P = \text{Preço} \times W_p + (\text{Quantidade\_requerida} - \text{Quantidade\_oferecida}) \times W_q \quad (2)$$

Quanto mais baixo o valor de  $P$ , maior é a prioridade da proposta do fornecedor.

### **3.5 Gestão da unidade de produção**

A estratégia utilizada para a gestão da unidade de produção consiste em tentar manter uma ocupação diária de 80% da capacidade máxima. Isto permite adicionar uma folga de 20%, que pode ser utilizada quando surgem encomendas com prazos de entrega reduzidos. Desta forma evitam-se penalizações.

#### **3.5.1 Escalonamento da unidade de produção**

Todas as encomendas dos clientes são armazenadas numa lista de encomendas. Diariamente, essa lista é organizada de modo a estabelecer o escalonamento para a produção do dia. As encomendas são ordenadas com base em dois fatores: prazo de entrega ( $P_d$ ) e penalização ( $P_p$ ). Uma encomenda  $x$  é prioritária relativamente a uma encomenda  $y$ , nas situações em que  $P_{dx} < P_{dy}$  e no caso em que  $P_{dx} = P_{dy}$ ,  $P_{px} > P_{py}$ .

Esta regra assegura que as encomendas com prazo mais curto e com penalizações mais graves sejam prioritariamente fabricadas (caso existam componentes disponíveis), de modo a evitar penalizações. Caso não seja possível evitar uma penalização, a regra assegura que será aplicada a penalização menos grave.

#### **3.5.2 Escalonamento de entrega de produtos acabados**

O pedido de entrega de produtos acabados é efetuado tão cedo quanto possível, logo que existam produtos para satisfação da encomenda. Esta estratégia evita custos de manutenção de *stocks* e melhora a reputação do agente perante os clientes (Collins et al., 2006).

### 3.6 Análise de Tendências de Mercado

As tendências de mercado são calculadas com recurso ao método de médias móveis simples – um método quantitativo simples que permite calcular previsões de mercado bem como detetar e seguir tendências de mercado (Courtois et al., 2007). Para a data corrente  $n$ , através da intersecção da média móvel  $MA_n(k)$  com a cotação atual  $Q[n]$  é obtida a tendência de mercado  $T[n]$ , tal que:

$$T[n] = \begin{cases} -1 & , se \ Q[n] < MA_n(k) \\ 1 & , se \ Q[n] > MA_n(k) \\ 0 & , se \ Q[n] = MA_n(k) \end{cases} \quad (3)$$

#### 3.6.1 Análise de tendências de preços de computadores

A tendência de preços para cada tipo de computador vendido é calculada tendo por base o valor da cotação média, obtido pelo relatório diário de preços (Collins et al., 2006). Para evitar um alisamento dos valores da média móvel, são utilizadas médias móveis de curto prazo (Courtois et al., 2007). Assim, são utilizados os valores de cotação média de preços dos últimos 5 dias ( $k=5$ ). A média móvel é calculada pela equação (4).

$$MA_n(k) = \frac{\sum_{i=1}^k Q[n-i]}{k}, k = 5 \quad (4)$$

#### 3.6.2 Análise de tendências da procura de produtos e componentes

As tendências de mercado da procura dos vários tipos de produtos acabados, da procura de componentes e de preços de componentes são calculadas com base nos valores fornecidos pelos relatórios de mercado mensais. São utilizadas médias móveis de muito curto prazo, tal como apresentado pela equação (5).

$$MA_n(k) = \frac{\sum_{i=1}^k Q[n-i]}{k}, k = 2 \quad (5)$$

### 3.7 Estratégia de Preços

De forma a manter a competitividade e de o agente se adaptar às alterações de mercado, os preços de venda de produtos finais são adaptativos. O cálculo do preço de venda depende dos fatores apresentados pela Tabela 2.

**Tabela 2 – Fatores para cálculo do preço dos produtos**

Fator	Descrição	Valor
$P_C$	Custo de produção	Soma do custo dos componentes
$M_M$	Margem mínima de lucro	0.15
$M_B$	Margem base de lucro	0.6
$R_P$	Preço de reserva	-
$P_T$	Tendência do preço	$P_T \in [-1,1]$
$D_T$	Tendência da procura	$D_T \in [-1,1]$
$P_E$	Eficácia dos preços	<i>Encomendas / Propostas</i>
$D_D$	N de dias para entrega	<i>Dia entrega – Dia atual</i>

Alguns destes fatores possuem pesos associados, tal como apresenta a Tabela 3.

**Tabela 3 – Pesos associados aos fatores de cálculo**

Peso	Descrição	Valor
$P_{TW}$	Peso para a tendência dos preços	0.05
$D_{DW}$	Peso para a tendência da procura	0.05
$D_{DW}$	Peso para a data de entrega	$1 / D_D$
$P_{EW}$	Peso da eficácia dos preços	$P_E / 10$

Considerando  $M_{lucro}$  como a margem de lucro, esta é calculada por:

$$M_{lucro} = M_B + P_T \times P_{TW} + D_T \times D_{TW} + D_{DW} + P_{EW} \quad (6)$$

Com base na margem de lucro é calculado o preço candidato ( $P_{candidato}$ ), que é definido por:

$$P_{candidato} = M_{lucro} \times (P_R - P_C) + P_C \quad (7)$$

O preço mínimo ( $P_{min}$ ) é definido por:

$$P_{min} = (P_C \times M_M) + P_C \quad (8)$$

Com base nos cálculos das equações (6), (7) e (8), o preço final ( $P_{final}$ ) é definido como:

$$P_{final} = \begin{cases} P_{candidato} & , \text{ se } P_{candidato} < R_P \\ R_P & , \text{ se } P_{candidato} \geq R_P \\ -1 & , \text{ se } P_{candidato} < P_{min} \end{cases} \quad (9)$$

Caso  $P_{final} = -1$ , o pedido do cliente é descartado visto que a proposta é considerada como não vantajosa, pois o lucro esperado é inferior ao lucro mínimo definido na estratégia de preços do agente.

#### 4 TESTES E RESULTADOS

Nos testes efetuados foram utilizados como agentes concorrentes, participantes e finalistas de edições anteriores da TAC-SCM, nomeadamente o TacTex, Mertacor, PhantAgent e Maxon. Todos estes agentes estão disponíveis para testes no repositório de agentes da competição<sup>1</sup>. A razão pela utilização destes agentes deve-se ao facto de aproximar os resultados obtidos com possíveis resultados obtidos numa competição anual da TAC-SCM. A Tabela 4 apresenta o sumário dos resultados obtidos em 10 jogos TAC-SCM. Para além dos agentes supracitados, foi também introduzido um agente *Dummy*, para comparar a eficácia das heurísticas utilizadas face a um agente básico.

**Tabela 4 – Resultados obtidos em 10 simulações<sup>2</sup>**

Agente	N. Jogos	Saldo Máximo	Saldo Mínimo	Média
TacTex	10	\$33.900.000	\$4.899.000	\$25.074.900
Mertacor	10	\$28.520.000	-\$9.012.000	\$16.917.300
PhantAgent	10	\$29.550.000	\$6.115.000	\$20.436.500
Maxon	10	\$32.240.000	\$8.568.000	\$21.157.800
TacM2O	10	\$8.718.000	\$2.263.000	\$5.583.000
Dummy	10	\$3.790.000	-\$8.164.000	-\$1.089.887

Nos 10 jogos efetuados, o agente TacM2O obteve uma média de lucro de \$5.583.000, tendo obtido um lucro máximo de \$8.718.000 e um lucro mínimo de \$2.263.000.

Embora não seja tão competitivo como os agentes participantes em edições anteriores da TAC-SCM, o TacM2O não apresentou resultados negativos. Tal já não se verificou com o Mertacor que atingiu um resultado negativo de -\$9.012.000, superando o

<sup>1</sup> Repositório de agentes TAC-SCM, disponível em: <http://www.sics.se/tac/showagents.php>

<sup>2</sup> Simulações nº. 10419 a nº.10429, <http://tac5.sics.se:8080>

resultado mínimo do agente *Dummy* (-\$8.164.000), o qual obteve o pior desempenho médio global.

Este desempenho mediano reflete-se na quota de mercado de cada um dos agentes tal como é observável pelo gráfico do cenário ilustrado pela Figura 2. O Agente TacTex detém a maior quota de mercado (23,1%). O Agente TacM20 detém a modesta quota de mercado de 10,1%. A fatia mais pequena é, tal como esperado, é detida pelo agente *Dummy* (4,1%).

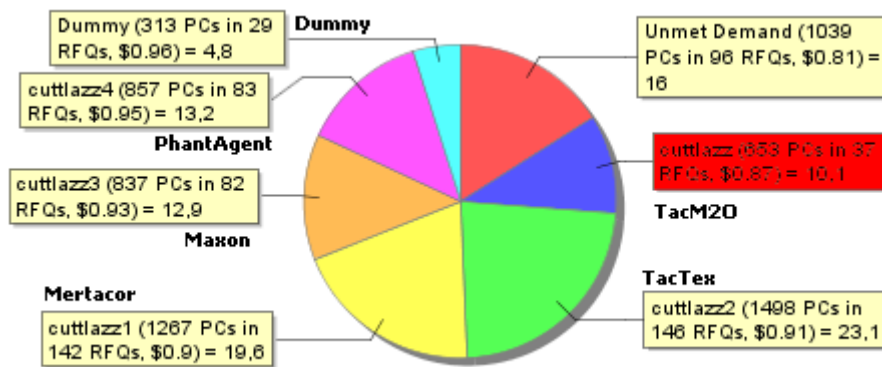


Figura 2 – Quota de Mercado no dia 21 TAC-SCM<sup>3</sup>

A menor competitividade do TacM20 relativamente aos outros agentes deve-se principalmente a dois fatores, sendo um deles intrínseco à estratégia adotada na seleção das propostas de clientes. Em todos os testes efetuados com agentes inteligentes, o desempenho do TacM20 é caracterizado por períodos (por vezes longos) onde a eficácia das suas ofertas é nula. Este comportamento é observável na Figura 3. Após a recuperação do típico saldo inicial negativo, que tem no TacM20 o ponto de inflexão tipicamente no dia 17 TAC-SCM, segue-se o dito período de eficácia nula.

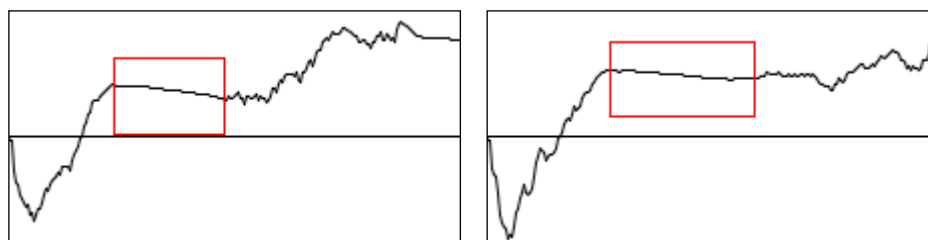
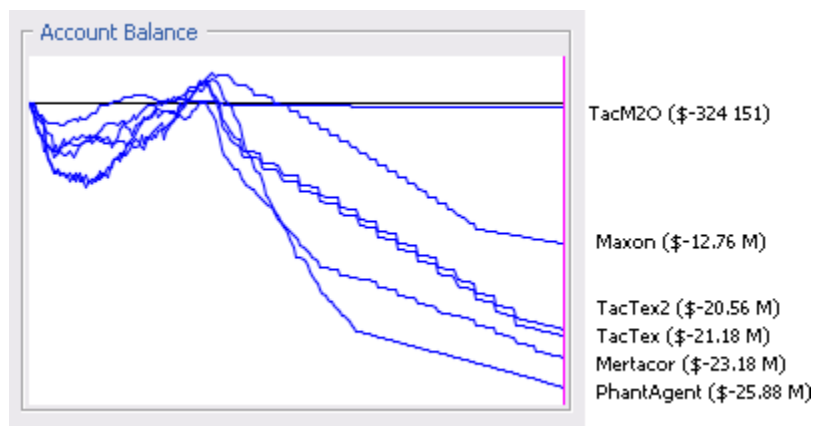


Figura 3 – Períodos onde a eficácia dos preços é nula<sup>4</sup>

<sup>3</sup> Simulação nº. 10419, <http://tac5.sics.se:8080/>

O algoritmo de ordenação das propostas de clientes considera os prazos de entrega mais longos como prioritários. Os prazos longos são tipicamente preferidos pelos agentes. A estratégia de operação MTO adotada no desenvolvimento do agente leva a que não existam produtos em *stock*, e que os preços propostos pelo agente a clientes estejam sempre de acordo com os preços de custo das matérias-primas. Estes períodos de eficácia nula ocorrem precisamente na altura em que o custo das matérias-primas está elevado. Nestas situações, os preços propostos vão também ser elevados e pouco competitivos. Consequentemente os RFQ de clientes com prazos de entrega alargados não serão conseguidos.

Apesar de pouco eficiente nestes casos, a estratégia do agente é eficiente em simulações onde o mercado está em baixa. Neste caso, os resultados obtidos são melhores do que os dos restantes concorrentes (ver Figura 4), dado que não existe a possibilidade de vender produtos abaixo do custo de produção, nem custos associados à manutenção de *stocks*.



**Figura 4 – Exemplo de resultados obtidos nos piores cenários**

Se a eficácia nula das propostas se apresenta como um problema, a eficácia elevada também o pode ser, principalmente nos casos onde os concorrentes não satisfazem uma determinada procura de mercado. Neste cenário, as propostas a clientes são elevadamente eficazes. Como o *stock* de componentes é mantido em níveis mínimos, a incapacidade dos fornecedores entregarem componentes nos prazos solicitados leva a

<sup>4</sup> Resultados das simulações nº. 10419 e nº.10425, <http://tac5.sics.se:8080>



que parte das encomendas ativas não sejam satisfeitas nos prazos estipulados, levando a penalizações.

## 5 CONCLUSÃO

Este artigo apresenta um agente autónomo para a *Trading Agent Competition Supply Chain Management* que segue uma abordagem de operação MTO. A arquitetura do agente é modular, sendo cada módulo responsável por tarefas específicas relativamente à gestão do fornecimento, produção, vendas e análise de mercado. Os algoritmos de seleção de RFQ de clientes e fornecedores baseiam-se na atribuição de pesos aos seus atributos para o cálculo do nível de interesse e consequente ordenação. O algoritmo para o cálculo de preços é adaptativo e baseia-se em fatores como o custo de produção, tendências de mercado (preços e procura), prazos de entrega e eficácia dos preços do dia anterior.

Os resultados apresentados nos testes efetuados podem considerar-se satisfatórios, não só pelo facto das aparentes limitações da estratégia, mas também pelo facto de terem sido utilizados agentes concorrentes em edições anteriores da competição com resultados muito positivos. Utilizando ainda a mesma estratégia, o desempenho do agente poderá ainda ser melhorado através de um melhor ajustamento dos pesos dos fatores envolvidos no cálculo do preço de venda dos produtos acabados e através de uma melhor gestão de *stocks* de componentes.

Futuramente pretende-se evoluir e melhorar o desempenho do agente. Esta evolução passará pela implementação de uma estratégia MTS e pelo desenvolvimento de funções de análise de mercado mais eficazes.

## 6 REFERÊNCIAS

- Arunachalam, R. & Sadeh, N. M. (2005). The supply chain trading agent competition. *Electronic Commerce Research and Applications*, 4(1), 66-84.
- Collins, J., Arunachalam, R., Sadeh, N., Eriksson, J., Finne, N. & Janson, S. (2006). The supply chain management game for 2006 trading agent competition (TAC SCM):

- Technical Report CMU-ISRI-05-132, School of Computer Science, Carnegie Mellon University (November 2006).
- Collins, J., Ketter, W. & Sadeh, N. (2010). Pushing the limits of rational agents: the trading agent competition for supply chain management. *AI magazine*, 31(2), 63.
- Courtois, A., Martin-Bonnefois, C. & Pillet, M. (2007). *Gestão da produção, 5ª Edição*. Lidel.
- Keller, P. W., Duguay, F.-O. & Precup, D. (2004). Redagent: winner of TAC SCM 2003. *ACM SIGecom Exchanges*, 4(3), 1-8.
- Li, H. & Womer, K. (2012). Optimizing the supply chain configuration for make-to-order manufacturing. *European Journal of Operational Research*, 221(1), 118-128. doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.ejor.2012.03.025>
- Lou, S.-F. & Si, Y.-W. (2006). *Fuzzy adaptive agent for supply chain management*. Paper presented at the Proceedings of the IEEE/WIC/ACM international conference on Intelligent Agent Technology.
- Pardoe, D. & Stone, P. (2009). An autonomous agent for supply chain management. *Handbooks in Information Systems Series: Business Computing*, 3, 141-172.
- Sadeh, N., Arunachalam, R., Eriksson, J., Finne, N. & Janson, S. (2003). TAC-03 - A Supply-Chain Trading Competition. *AI magazine*, 24(1), 92.