

Um Modelo de Agente Econômico Cognitivo com Base no Conceito de Agentes BDI

Fernanda Mendez Jeannes¹, Antônio Carlos da Rocha Costa¹

¹Programa de Pós-Graduação em Informática, CEPOLI
Universidade Católica de Pelotas (UCPel)
Rua Félix da Cunha 412
Telefone: +55 (53) 21288000
Cep: 96010-000 - Pelotas - RS - BRASIL
fejeannes@gmail.com, rocha@ucpel.tche.br

Abstract

Social simulations in agent systems have been a constant theme in Artificial Intelligence. This article applies concepts related to microeconomics and microeconomic systems to help the modeling of cognitive economic agents, with consumer and producer behaviors, based on the BDI model of agents.

Keywords: BDI, Microeconomics, Economic agent, Consumer behavior, Theory of the Firm

1. INTRODUÇÃO

Sistemas de agentes capazes de perceber e reagir ao ambiente em que estão inseridos assim como possuir conhecimentos e aprender com suas interações têm sido amplamente estudados em Inteligência Artificial (IA) com o objetivo de simular a atividade intelectual humana.

O presente trabalho está inserido na área de simulações sociais, envolvendo sociedades de agentes econômicos cognitivos.

Uma sociedade é composta por sistemas sociais que podem ter caráter sociológico, político, econômico, cultural, entre outros.

Estudos atuais realizados em simulações sociais [3] têm como base a Teoria Sociológica de Piaget [6], que usa valores de troca para regular as interações sociais. As trocas sociais se referem à troca de serviços entre os indivíduos da sociedade.

As trocas sociais possuem avaliação qualitativa quanto ao serviço prestado, ou seja, este serviço pode ser

considerado ótimo, bom, ruim ou regular, por exemplo, apresentando assim um caráter subjetivo para a regulação do processo de decisão individual.

Entretanto, quando se pode mensurar os objetos de troca, esta avaliação pode se tornar quantitativa apresentando assim um caráter econômico.

Em simulações com caráter social, um agente realiza um serviço para um segundo agente, neste caso, o serviço é o objeto de troca. O agente que recebe o serviço passa então a ter um débito para com o agente que realiza o serviço, podendo ser cobrado em um outro momento. Nota-se que, neste caso, o objeto de troca (o serviço) só pode ser utilizado entre dois agentes, ou seja, o agente que realiza o serviço só pode cobrar o seu crédito especificamente do agente que recebe este serviço.

No caso das simulações com caráter econômico, têm-se dois principais objetos de troca, o produto e a moeda. Quando um agente, enquanto comportamento de produtor, vende um produto para um segundo agente, enquanto comportamento de consumidor, ele adquire moeda pela troca. Esta moeda pode então, servir de objeto de troca com um terceiro agente, por exemplo, quando o agente que antes adquiriu moeda enquanto produtor, realize uma compra enquanto consumidor, utilizando a moeda para negociar com o terceiro agente, enquanto produtor. A utilização de moeda como objeto de troca permite que, em simulações de caráter econômico, ocorra uma maior possibilidade de troca utilizando-se o mesmo objeto, aumentado assim, a rede de troca entre os agentes.

Neste trabalho serão apresentados os principais con-

ceitos envolvidos na definição de um modelo de um agente econômico cognitivo com comportamento de consumidor e de produtor, tendo por base os conceitos de agentes BDI [11], assim como os resultados obtidos através da análise do comportamento destes agentes em um mercado econômico.

A escolha de um modelo de agente que apresente ambos os comportamentos se justifica pelo fato de que, em um mercado, um indivíduo em determinados momentos necessita consumir serviços ou recursos e em outros momentos ele necessita produzir serviços ou recursos. Os comportamentos são definidos de acordo com conceitos como Microeconomia [9] [10], Teoria do consumidor [5] [8] e Teoria da Firma [2] [7].

2. UM MODELO DE AGENTE ECONÔMICO COGNITIVO E SUAS INTERAÇÕES ECONÔMICAS

Nesta seção serão apresentados os principais aspectos envolvidos na modelagem de um agente econômico cognitivo, com comportamento de produtor e de consumidor, com base no conceito de agentes BDI, assim como, a estrutura do modelo e das interações econômicas entre os agentes.

2.1. MODELO GERAL DE UM AGENTE ECONÔMICO COGNITIVO

O agente econômico cognitivo deve realizar interações econômicas em um mercado de agentes econômicos e ter capacidade de produção e de consumo de produtos. Portanto, apresenta comportamento tanto de consumidor quanto de produtor e atua com ambos os comportamentos de acordo com as suas necessidades.

O agente econômico cognitivo deve ser capaz de analisar as suas necessidades para tomar as suas decisões. Para a avaliação e tomada de decisão o agente econômico cognitivo é baseado no conceito de agentes BDI, onde as crenças, desejos e intenções, são analisados para o comportamento de consumidor (de acordo com a Teoria do Consumidor) e de produtor (conforme a Teoria da Firma), a fim de modelar o comportamento do agente econômico.

A proposta de um agente que apresente ambos os comportamentos se justifica pelo fato de que, em um mercado, um indivíduo, em determinados momentos, necessita consumir serviços ou recursos e, em outros momentos, ele necessita produzir serviços ou recursos.

Por exemplo, um produtor para produzir determinado bem necessita consumir determinada matéria prima, assim como o consumidor para poder consumir determinado bem necessita realizar serviços para receber pagamentos e formar um orçamento.

O modelo do agente econômico cognitivo proposto,

que engloba os comportamentos de consumidor e de produtor, pode ser observado na Fig. 1. Estudos realizados sobre o comportamento do consumidor em um mercado são utilizados para determinar como um consumidor interage e toma decisões de acordo com as suas necessidades de consumo. O comportamento de produtor do agente econômico cognitivo é determinado pela Teoria da Firma.

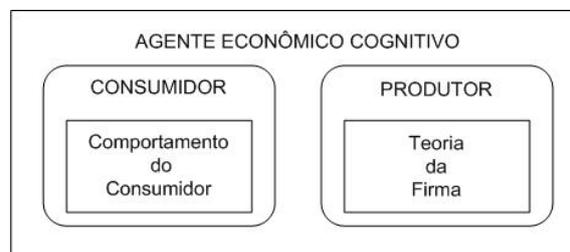


Figura 1. Modelo de um agente econômico cognitivo

O ambiente analisado é o de um mercado onde podem ser observadas as trocas e interações entre os agentes econômicos. Estas ocorrem de acordo com a análise que o agente faz de alguns aspectos como a necessidade, a utilidade e o valor de um produto.

O objetivo de um agente econômico cognitivo é considerado um objetivo de manutenção [4]. Um objetivo de manutenção define um estado que o agente quer manter como verdadeiro. No caso dos agentes econômicos cognitivos o objetivo geral é o de se manter sempre no mercado econômico realizando trocas com outros agentes econômicos.

Neste trabalho, na modelagem das trocas econômicas realizadas entre os agentes é considerado somente o valor em moeda, na forma de trocas imediatas, pois define bem a modelagem de trocas de caráter econômico.

Para o consumidor, os valores associados às trocas são relacionados ao seu investimento monetário para comprar o produto e a satisfação que terá na utilização deste.

Os valores associados às trocas por parte do produtor dizem respeito ao investimento feito por ele para produzir o produto, ou seja, o custo de produção, e a satisfação em vender este produto.

A Tabela 1 mostra um comparativo de acordo com os estados mentais (crenças, desejos e intenções) do modelo geral de um agente econômico cognitivo, de acordo com o comportamento de consumidor e de produtor. Este comparativo apresenta os principais pontos, referentes aos estados mentais, de um possível mercado de agentes econômicos.

Um comparativo semelhante explicitando as principais características referentes aos estados mentais do modelo de mercado específico simulado neste trabalho será apresentado na Seção 2.5.

Tabela 1. Comparativo das características do agente conforme o comportamento

Comportamento	Consumidor	Produtor
Crenças	necessidade, conhecimento e benefícios que o consumidor tem sobre o produto e conhecimento de mercado	valor e lucro sobre o produto e conhecimento de mercado
Desejos (Eventos)	adquirir produto para satisfazer uma necessidade por um bom preço	obter lucro com a venda, manter clientes, realizar parcerias, vender produto em estoque
Intenções (Planos)	objetivos em relação à aquisição, ao descarte e ao uso de produtos e serviços	ações de produção e/ou venda, oferta e marketing

2.2. ASPECTOS DA MODELAGEM DE UM AGENTE ECONÔMICO COGNITIVO

A modelagem de um agente econômico cognitivo pode ser subdividida em modelos específicos (subcategorias) de acordo com os principais aspectos envolvidos na sua concepção.

A subdivisão do modelo de agente econômico cognitivo em modelos específicos pode ser observada na Fig. 2.

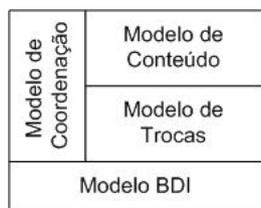


Figura 2. Aspectos da modelagem de um agente econômico cognitivo

O Modelo de Conteúdo define o aspecto geral, o tema envolvido na interação entre os agentes. Neste caso, o Modelo de Conteúdo é especificado pela Microeconomia. Aqui, são consideradas as definições sobre o mercado no qual os agentes realizam as suas interações, como a demanda e a oferta de cada agente e a necessidade, a utilidade e o valor associados ao produto.

O Modelo de Trocas é definido pelo tipo de trocas que serão realizadas entre os agentes. No caso dos agentes econômicos cognitivos as trocas são do tipo econômicas onde o agente possui valores associados a estas trocas. Quando o agente econômico corresponde ao comportamento de produtor, os valores associados às trocas dizem respeito ao investimento realizado para produzir o produto (custo de produção) e à satisfação em vender este produto. Quando o agente econômico corresponde ao comportamento de consumidor, os valores associados às trocas são relacionados ao investimento em moeda do consumidor para adquirir o produto e à satisfação que terá na utilização do mesmo.

O Modelo de Coordenação define os aspectos e as

considerações envolvidas na coordenação das interações entre os agentes quando estes estão realizando negociações em um mercado econômico. A coordenação é um quesito importante a ser tratado para que não ocorram conflitos, por exemplo, na troca de mensagens entre os agentes, para que estes não possuam informações desencontradas ou errôneas em sua tomada de decisão.

O Modelo de Agentes BDI define os estados mentais dos agentes (crenças, desejos e intenções), fundamental para a deliberação e a tomada de decisão.

A divisão dos principais aspectos envolvidos na modelagem de um agente econômico cognitivo se faz fundamental para que se possa adaptar este tipo de modelagem para outros tipos de simulações sociais com agentes cognitivos, como política, filosofia, cultura, etc. Por exemplo, a modelagem pode ser adaptada para simulações políticas, onde o Modelo de Conteúdo pode ser definido pelas Ciências Políticas e o Modelo de Trocas definido pela troca de ideologias que podem ser assimiladas ou não por outros tipos ou grupos políticos.

2.3. ESTRUTURA DAS TROCAS

As simulações de um mercado foram realizadas com quatro agentes econômicos cognitivos, possuindo comportamentos tanto de produtores quanto de consumidores, onde existe a possibilidade de cada agente realizar negociações com todos os outros agentes presentes no mercado.

Em um mercado, o consumidor procura e adquire produtos do produtor e realiza pagamentos pelas mercadorias adquiridas, enquanto o produtor vende produtos ao consumidor, recebendo o pagamento pela venda.

Na simulação de um mercado com agentes econômicos cognitivos que apresentam comportamento tanto de consumidor quanto de produtor, esta troca de produtos por moeda pode ser analisada de acordo com as relações econômicas entre estes comportamentos. Um esquema exemplificando este modelo de trocas com dois agentes econômicos cognitivos pode ser analisado a seguir na Fig. 3.

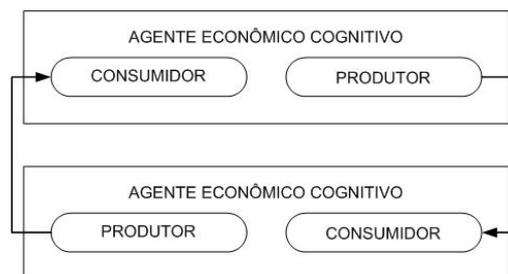


Figura 3. Esquema de relações entre dois agentes em um mercado

Um esquema geral com as possíveis relações entre os quatro agentes presentes na simulação de um mercado podem ser observadas na Fig. 4.

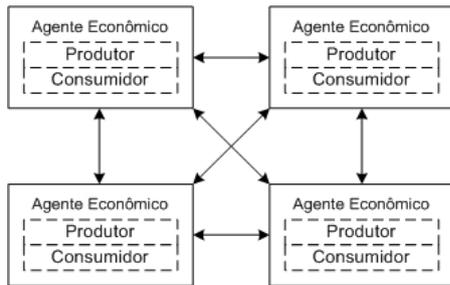


Figura 4. Esquema geral de relações entre quatro agentes em um mercado

Com a finalidade de regular e ordenar as negociações e as trocas entre os agentes econômicos cognitivos, as interações são realizadas de forma que um agente sempre desempenhe um papel central na negociação. Dependendo do comportamento utilizado pelo agente que desempenha o papel central na negociação, pode-se ter um período de produção ou um período de consumo.

Um período de produção designa um determinado número de ciclos em que o agente central da negociação age de acordo com o seu comportamento de produtor, neste caso, os demais agentes no mercado reagem de acordo com os respectivos comportamentos de consumidores, sendo agentes periféricos na negociação. Um exemplo de período de produção pode ser observado na Fig. 5.

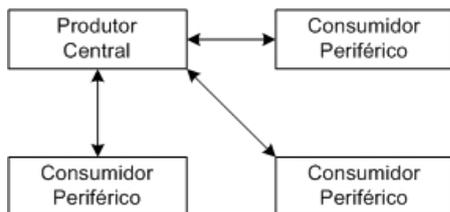


Figura 5. Período de produção

De forma análoga, um período de consumo ocorre quando, por um determinado número de ciclos, o agente central da negociação age de acordo com o seu comportamento de consumidor enquanto os demais agentes no mercado reagem de acordo com os respectivos comportamentos de produtores, desempenhando papéis de agentes periféricos na negociação. Um exemplo de período de consumo pode ser observado na Fig. 6.

Cabe ressaltar que a escolha por um modelo de simulação de um mercado econômico envolvendo quatro agentes econômicos cognitivos, deve-se ao fato de que este trabalho objetiva a análise do comportamento micro-econômico dos agentes, ou seja, o comportamento dos indivíduos que interagem no mercado econômico, e não o comportamento macro-econômico dos agentes, ou seja, o comportamento emergente das interações de populações destes indivíduos. Além disso, um número maior de

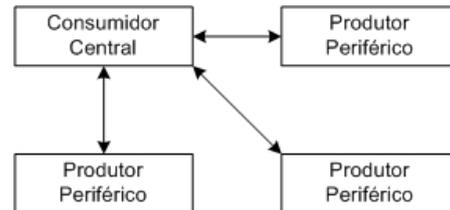


Figura 6. Período de consumo

agentes apresentaria resultados semelhantes, entretanto, a apresentação do modelo ficaria muito mais complexa.

2.4. PAPÉIS ECONÔMICOS E OS ARRANJOS DE NEGOCIAÇÃO

A forma geral de negociação é centralizada em um agente econômico, sendo os demais agentes presentes no mercado considerados periféricos à negociação, como explicitado anteriormente. Desta forma, em um período de produção o agente central é o produtor, enquanto os consumidores são periféricos, ao passo que, em um período de consumo o agente central é o consumidor enquanto os produtores são periféricos.

Para melhor definir os comportamentos dos agentes econômicos em cada situação, estes são nomeados de acordo com as suas atribuições nos seguintes papéis: Produtor Central, Produtor Periférico, Consumidor Central e Consumidor Periférico.

Uma vez que as simulações são realizadas com quatro agentes econômicos cognitivos, para um período de produção são possíveis quatro diferentes arranjos de negociação, como pode ser observado na Fig. 7, onde os agentes são denotados por A, B, C e D.

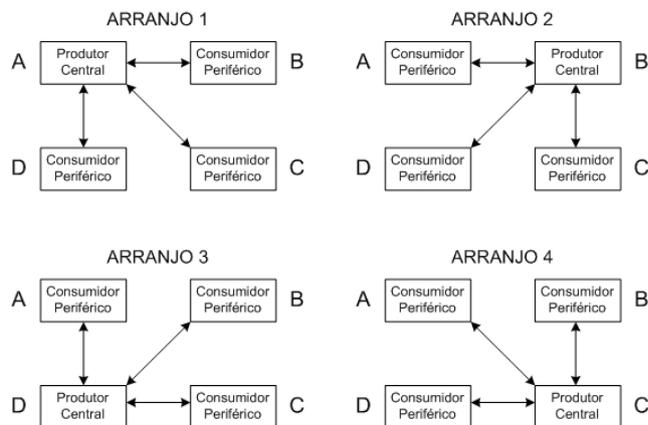


Figura 7. Possíveis arranjos de produção

Como cada agente apresenta ambos comportamentos, para um período de consumo também existem quatro arranjos de negociação que podem ser simulados com estes quatro agentes, como exibido na Fig. 8.

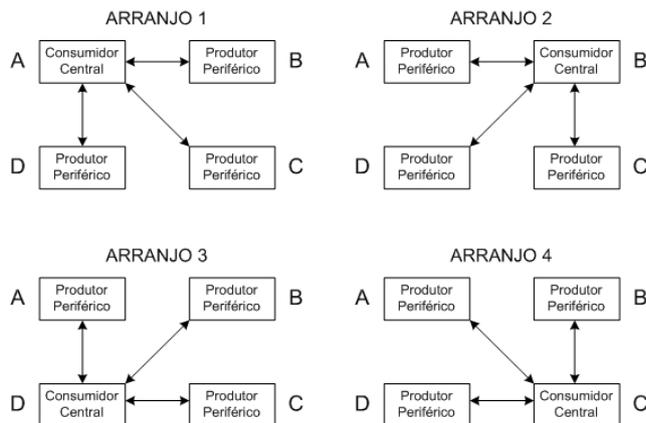


Figura 8. Possíveis arranjos de consumo

A fim de organizar a troca de informações, ou seja, para garantir a coordenação na troca de informações entre os agentes, as simulações foram realizadas com a presença de um quinto agente, chamado de agente controlador. O agente controlador representa o sistema de negociações dos agentes no mercado, definindo, por exemplo, o tipo de negociação de cada período, o papel de cada agente a cada período, a coordenação das atividades entre os agentes, entre outros.

2.5. ESTADOS MENTAIS DOS PAPÉIS ECONÔMICOS

O modelo da simulação de um mercado com agentes econômicos cognitivos tendo por base o conceito de agentes BDI pode ser analisado sobre dois pontos diferentes: o agente e o sistema.

Do ponto do agente, pode-se definir e analisar os estados mentais para os quatro papéis de agentes econômicos, o produtor central, o produtor periférico, o consumidor central e o consumidor periférico.

O sistema de negociações dos agentes é representado na simulação pelo agente controlador, visto que ele define os papéis de cada agente econômico influenciando suas decisões econômicas. Pelo fato de o agente controlador também ser baseado no conceito de agentes BDI, pode-se da mesma forma definir e analisar os seus estados mentais.

Como a simulação tem em sua base aspectos de modelos específicos de modelagem, estes estados mentais podem ser classificados de acordo com três características: as considerações econômicas, as trocas e a coordenação.

Nas considerações econômicas estão inseridas todas as informações referentes ao conteúdo econômico, como funções de oferta e demanda, necessidade e moeda.

Nas trocas estão inseridos todos os itens que são efetivamente trocados entre os agentes, como produto e moeda.

Na coordenação estão inseridas todas as informações

importantes para manter o funcionamento do sistema, como protocolos e formas de interação.

A Fig. 9 mostra a modelagem da simulação sobre estas três características.

Os principais aspectos envolvidos na simulação referentes à estas três características para os agentes e o sistema podem ser comparados na Tabela 2.

Tabela 2. Comparativo dos aspectos da modelagem da simulação

Aspecto	Agente	Sistema
Considerações econômicas	Funções de oferta e demanda, quantidade de moeda, necessidade; Controle de estoque, pedidos, produção, preços; Demandar de acordo com suas necessidades; Ofertar de acordo com a sua produção; Deliberar sobre o mercado (efetivar ou não uma negociação)	Controle sobre o tipo de negociação; Controle sobre o arranjo de negociação
Trocas	Troca de moeda e produto; Troca de informação (sobre preços e pedidos)	Troca de informação sobre os papéis
Coordenação	Utilização dos planos de resposta (coordenação indireta); Envio de pedidos e propostas; Respostas de fim de ciclo/período	Controle sobre avisos de fim de ciclo/período (coordenação direta); Desencadear o início das negociações; Controle sobre o agente que deve negociar no ciclo

A partir da análise dos principais aspectos envolvidos na simulação, a definição dos estados mentais para os papéis dos agentes econômicos pode ser realizada para os agentes e o sistema, como pode ser observado na Tabela 3.

A análise dos estados mentais do agente controlador, que representa o sistema de negociações do mercado, pode ser observada na Tabela 4.

Tabela 4. Estados mentais do agente controlador

Comportamento	Agente Controlador
Crenças	Controle sobre o número de agentes no mercado e sobre os ciclos;
Desejos (Eventos)	Envio de papéis aos agentes econômicos; Sorteio do tipo e do arranjo de negociação;
Intenções (Planos)	Controlar o envio aos agentes econômicos do número de agentes no mercado; Iniciar e finalizar ciclos e períodos; Aviso de atualização de crenças ao fim de um período;

3. SIMULAÇÕES REALIZADAS

Nesta seção será apresentada a estrutura da simulação econômica utilizada para o sistema de negociações e trocas econômicas entre os quatro agentes econômicos cog-

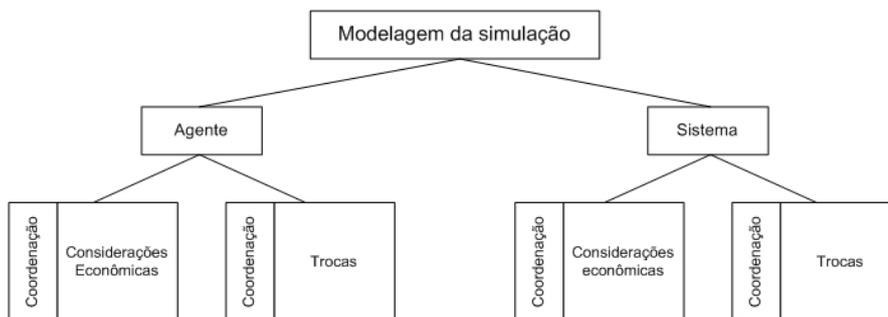


Figura 9. Modelagem da simulação

Tabela 3. Estados mentais dos papéis econômicos

Comportamento	Produtor Central	Produtor periférico	Consumidor Central	Consumidor Periférico
Crenças	Função de oferta; Moeda; Produção; Demanda de mercado; Respostas;	Função de oferta; Moeda; Produção;	Função de demanda; Moeda; Necessidades; Estoque; Preços;	Função de demanda; Moeda; Necessidades; Estoque;
Desejos (Eventos)	Vender produtos de acordo com o seu preço de oferta;	Vender produtos de acordo com o seu preço de oferta;	Adquirir produtos de acordo com a sua necessidade, demanda e orçamento;	Adquirir produtos de acordo com a sua necessidade, demanda e orçamento;
Intenções (Planos)	Verificar e calcular o preço da demanda do mercado; Controlar respostas das análises de proposta; Definir e avisar aos consumidores se a negociação será efetivada ou não;	Calcular o preço total da demanda do consumidor central;	Deliberar sobre a sua necessidade; Solicitar o preço referente ao seu pedido; Calcular seu preço de demanda; Analisar a proposta;	Deliberar sobre a sua necessidade; Solicitar o preço do seu pedido; Calcular seu preço de demanda; Analisar a proposta;

nitivos de acordo com os papéis econômicos de cada comportamento. Da mesma forma, serão descritos os parâmetros utilizados nas simulações para cada agente econômico, bem como os resultados relativos às simulações.

Para um melhor entendimento do processo de negociação dos agentes na simulação econômica, o esquema geral da simulação será apresentado dividido em três etapas, a etapa de coordenação, o período de produção e o período de consumo.

A etapa de coordenação representa o início da simulação, onde ocorre a definição do tipo de negociação e dos papéis que cada um dos quatro agentes presentes no mercado vai utilizar, ou seja, a definição do arranjo de negociação.

O período de produção representa a negociação centralizada em um agente que delibera e toma as suas decisões com base em seu comportamento de produtor. Assim como, o período de consumo representa a negociação que tem como elemento central um agente econômico que delibera e toma as suas decisões com base em seu comportamento de consumidor, como visto anteriormente na Seção 2.3.

3.1. ETAPA DE COORDENAÇÃO

Ao princípio da simulação ocorre uma etapa de coordenação das atividades, iniciada pelo agente controlador.

O primeiro passo realizado pelo agente controlador é enviar aos agentes econômicos presentes no mercado a informação do número de agentes disponíveis para negociações. Isto faz com que os agentes tenham consciência deste mercado, ou seja, saibam com quantos outros agentes é possível a tentativa de trocas econômicas.

Ao início da simulação, o agente controlador possui um plano para controle do mercado, onde ele deve enviar uma mensagem para o agente periférico 1 ativar o seu plano de controle de mercado, onde este atualiza a sua crença sobre o número de agentes presentes no mercado. Nota-se que o agente controlador ao enviar a mensagem ao agente periférico 1 também envia um plano de resposta.

Os planos de resposta desempenham um papel fundamental na coordenação da troca de mensagens entre os agentes. Funciona de forma que o agente que envia a mensagem espere pela informação de que o agente que recebeu a mensagem entendeu esta mensagem e já a executou, estando assim, o agente que enviou a mensagem liberado para seguir com o seu próximo plano, definido pelo plano de resposta.

O agente controlador utiliza então os seus planos de controle de mercado até que todos os agentes tenham recebido a informação de quantos agentes econômicos estão disponíveis para negociações.

Após, o agente controlador deve sortear aleatoriamente o tipo de negociação a ser realizada no período, se será um período de produção ou um período de consumo. O sorteio é realizado de forma que cada tipo de negociação tenha cinquenta por cento de chances de ser escolhido.

Depois, o arranjo de negociação deve ser sorteado para definir qual papel cada agente vai desempenhar no período. Como explicado anteriormente, existem quatro possíveis arranjos para cada tipo de negociação. Assim como no sorteio do tipo de negociação, o sorteio do arranjo também é realizado para que todos tenham a mesma chance de ocorrer, neste caso, são vinte e cinco por cento para cada arranjo.

Então, definido o arranjo, o agente controlador dá início ao período de negociação escolhido enviando um informe a cada agente econômico com informações a serem acrescentadas em suas crenças para posteriores consultas em suas bases de crenças. Estas informações dizem respeito: à identificação do papel de cada agente econômico no período, a quantidade inicial de moeda que cada um possui para realizar as suas negociações e também informações sobre as necessidades, para os agentes econômicos que desempenharem papéis de consumidores.

A identificação do papel de cada agente econômico no período é fundamental para que ele possa buscar em sua base de crenças a função econômica que será utilizada, de demanda ou de oferta, dependendo do seu papel.

A quantidade inicial de moeda que cada agente econômico possui para realizar as suas negociações é a única informação que persiste ao longo dos períodos, ou seja, cada agente começa com uma quantidade de moeda e o único modo de alterar este valor é através das negociações. Se o agente realizar trocas com o seu comportamento de produtor, ele vai receber moeda pela venda, se o agente econômico realizar trocas de acordo com o seu comportamento de consumidor, ele vai pagar pela mercadoria adquirida. Este fator pode influenciar as negociações, por exemplo, se o agente econômico não realizar vendas de seus produtos. Este fato pode influenciar o seu poder de consumo, pois pode faltar orçamento para ele adquirir produtos.

A informação sobre as necessidades para os agentes que desempenharem papéis de consumidores é importante, pois está diretamente ligada à quantidade de produto que o agente deseja adquirir. Estes agentes recebem informação sobre a necessidade de consumo por ciclo e também sobre a necessidade de consumo máximo em um período.

A necessidade é tratada da seguinte maneira: a cada ciclo o agente tem a necessidade de consumir um determinado número de unidades de produto. O que significa que, se por algum motivo o agente não conseguir consumir esta quantidade de unidades em um ciclo, essa ne-

cessidade é acumulada para o ciclo posterior e assim sucessivamente. Porém o agente possui uma necessidade máxima em um período. Em um período de produção, se algum dos três agentes que estiverem desempenhando os papéis de consumidores periféricos atingirem o limite de consumo, no próximo ciclo será realizado um pedido de zero unidades, sinalizando que não há mais necessidade de consumo. Já em um período de consumo, sendo o agente central o único consumidor, caso ele alcance o seu limite máximo de consumo ele envia uma mensagem ao coordenador para que seja finalizado o ciclo de negociações corrente e seja iniciado um novo período.

A decisão pela realização de um sorteio aleatório do tipo e do arranjo de negociação se justifica pela possibilidade de observação de um mercado onde os quatro agentes econômicos têm igual probabilidade de desempenhar cada um dos quatro papéis, sendo livres para decidir quando e de quem desejam adquirir produtos ou quando e para quem querem vender produtos.

3.2. PERÍODO DE PRODUÇÃO

O período de produção ocorre quando o agente que desempenha o papel central na negociação corresponde ao comportamento de produtor, enquanto os agentes que desempenham papéis periféricos à negociação correspondem aos respectivos comportamentos de consumidores, como explicado na Seção 2.3.

Um período de produção é formado por ciclos de produção. A cada ciclo de produção negociações com o arranjo de produção definido no período de coordenação são realizadas.

Em um ciclo de produção, cada agente consumidor periférico envia ao agente produtor central a quantidade de produto que deseja adquirir de acordo com a sua necessidade. O agente produtor central, então, calcula o preço para o total de pedidos recebido, ou seja, calcula o seu preço de oferta sobre a quantidade de produto demandada pelo mercado. Então, ele envia aos consumidores periféricos a informação sobre o seu preço de oferta. Com esta informação, cada agente consumidor deve deliberar sobre se quer ou não efetivar a negociação adquirindo a quantidade de produto solicitada, para isto, cada um deve considerar se o preço está de acordo com as suas possibilidades (conforme a sua função de demanda) e também se possui orçamento suficiente para efetivar a compra. De acordo com esta deliberação, cada agente consumidor periférico envia ao agente produtor central a informação sobre se está disposto ou não a efetivar a negociação. O agente produtor central, por sua vez, só dará início a efetivação das trocas se todos os agentes consumidores aceitarem a proposta de preço de oferta. Se pelo menos um consumidor periférico recusar a compra a negociação não é efetivada.

A partir deste ponto, um novo ciclo é iniciado (caso

ainda existam ciclos de produção a serem simulados), ou então, um novo período é iniciado (caso todos os ciclos já tenham sido simulados), onde deve ocorrer um novo sorteio para definir se este novo período será de produção ou de consumo.

Ao princípio do período de produção, é iniciado o primeiro ciclo de produção.

O agente controlador faz com que o primeiro agente consumidor periférico inicie o seu processo de negociação com o produtor central. Ao início de suas atividades, o primeiro agente consumidor periférico deve definir a quantidade de produto que deseja adquirir, com base nas suas necessidades, e enviar uma solicitação de preço ao produtor central. Este inicia o processo de soma de pedidos para saber qual será a demanda do mercado. Então, através de um plano de resposta, o agente controlador faz com que o segundo agente consumidor periférico inicie o seu processo de negociação com o produtor central, da mesma forma que ocorreu com o primeiro agente consumidor. Novamente, o mesmo processo ocorre, desta vez para que o terceiro agente consumidor periférico inicie o seu processo de negociação.

Quando o terceiro agente consumidor envia o seu pedido, o agente produtor central sabe que já está apto a calcular o preço para a demanda do mercado, pois este possui a informação de quantos agentes consumidores estão no mercado. Logo, o produtor central calcula o seu preço de oferta e dá início a fase de análise de proposta enviando ordenadamente a informação sobre o seu preço para que os consumidores periféricos deliberem sobre a aceitação ou a recusa da oferta. Cada consumidor periférico, a partir do cálculo do seu preço de demanda e da verificação do seu orçamento, envia uma mensagem para o agente produtor informando se aceita ou não a negociação. O produtor soma a quantidade de respostas recebidas (para controlar se todos já responderam à análise de proposta) e soma também o número de respostas de aceitação e o número de respostas de recusa.

Caso todos os agentes aceitem a negociação, o agente produtor central envia uma mensagem para que cada um ative o seu plano para atualizar as suas crenças sobre quantidade de produto em estoque e moeda. Então o próprio agente produtor atualiza as suas crenças sobre quantidade de produto produzida e moeda e faz uso do seu plano de fim de ciclo para remover suas crenças sobre a quantidade de pedidos recebida e sobre as respostas obtidas.

Caso pelo menos um agente consumidor periférico recuse a negociação, o agente produtor central envia uma mensagem aos consumidores informando que a negociação não será efetivada. Neste caso, não são necessárias atualizações de crenças sobre moeda, estoque e produção, o agente produtor somente utiliza o seu plano de fim de ciclo para remover suas crenças sobre o a quantidade de pedidos recebida e sobre as respostas obtidas.

Então, o produtor central envia uma mensagem ao agente controlador para que este inicie a finalização do ciclo informando a todos os agente presentes no mercado que aquele ciclo de negociação acabou.

Após esta fase de informação, o controle sobre o início da produção volta ao agente controlador para que este defina, de acordo com os critérios adotados, se um novo ciclo deverá ser iniciado ou se o período de produção acabou. No caso do fim de um período o agente controlador envia esta informação aos agentes econômicos para que estes atualizem as suas crenças. Aqui, todas as crenças sobre as negociações devem ser removidas. A única crença que não é removida é sobre a moeda, que é a única informação que persiste e se propaga sobre os períodos de negociação. Assim que todos os agentes econômicos tenham atualizado as suas crenças o agente controlador está apto a realizar um novo sorteio sobre o tipo de negociação do próximo período.

3.3. PERÍODO DE CONSUMO

O período de consumo ocorre quando o agente que desempenha o papel central na negociação corresponde ao comportamento de consumidor, enquanto os agentes que desempenham papéis periféricos à negociação correspondem aos respectivos comportamentos de produtores, anteriormente explicado na Seção 2.3.

Assim como ocorre no período de produção, o período de consumo também é formado por ciclos de consumo. A cada ciclo de consumo, negociações com o arranjo de consumo definido no período de coordenação são realizadas.

Ao princípio de um ciclo de consumo o agente controlador envia uma mensagem ao agente consumidor central para que este inicie o consumo.

O agente consumidor central, então, deve verificar se já atingiu a sua necessidade máxima de consumo no período. Caso ele tenha atingido este limite, ele envia uma mensagem ao agente controlador para que este finalize o ciclo corrente e dê início a um novo período (através da escolha do tipo de período), pois ele não tem mais interesse em realizar negociações. Caso a necessidade máxima de consumo não tenha sido atingida, então o agente consumidor central delibera sobre a sua necessidade no ciclo e envia uma mensagem ao primeiro agente produtor periférico solicitando o preço relativo à quantidade pedida. O primeiro agente periférico, por sua vez, calcula o seu preço de oferta relativo ao pedido e envia uma mensagem ao agente consumidor central com a sua proposta de preço. Então, o consumidor central realiza esta mesma seqüência de interações com o segundo e o terceiro agente produtor periférico.

Ao obter todas as propostas de preços, o agente consumidor central então analisa estas propostas para decidir se vai realizar a negociação e com quem, se esta for efe-

tivada. Para esta tomada de decisão, o primeiro critério utilizado é sobre qual agente ofertou o menor preço sobre o produto, então se este preço se encaixa no preço que o consumidor central está disposto a pagar (de acordo com a sua função de demanda) e se ele possui orçamento suficiente, a negociação será efetivada com o produtor periférico escolhido, se não a negociação é recusada.

No caso de efetivação da negociação, o consumidor envia ao produtor escolhido uma mensagem para que este atualize as suas crenças sobre a sua produção e a sua moeda, e através de um plano de resposta ele próprio atualiza o seu estoque e a sua quantidade de moeda. Após, envia uma mensagem ao agente controlador para que este inicie a finalização do ciclo informando a todos os agente presentes no mercado que aquele ciclo de negociação acabou.

Se a negociação é recusada, o consumidor central envia uma mensagem ao agente controlador para que este inicie a finalização do ciclo.

Analogamente ao ciclo de produção, após a finalização do ciclo, o controle sobre o início do consumo volta ao agente controlador para que este novamente defina, de acordo com os critérios adotados, se um novo ciclo deverá ser iniciado ou se o período de consumo acabou. No caso do fim de um período, o agente controlador envia esta informação aos agentes econômicos para que estes atualizem as suas crenças. Assim como na etapa de produção, todas as crenças sobre as negociações devem ser removidas, exceto sobre a quantidade de moeda. Quando todos os agentes econômicos tenham atualizado as suas crenças, o agente controlador realiza um novo sorteio sobre o tipo de negociação do próximo período.

4. PARÂMETROS DA SIMULAÇÃO

Com a finalidade de verificar o comportamento dos quatro agentes econômicos cognitivos ao interagirem e tomarem as suas decisões de acordo com os respectivos estados mentais, simulações do mercado foram realizadas utilizando a plataforma Jason [1].

Na simulação do mercado se fazem presentes cinco agentes, o *agente controlador*, o *agente central*, que possui os comportamentos de produtor central e de consumidor central e os três agentes periféricos, *agente 1*, *agente 2* e *agente 3*, que possuem os comportamentos de produtor periférico e consumidor periférico.

As simulações são realizadas na forma de períodos, que podem ser períodos de produção ou consumo, como visto na Seção 2.3. A cada período um determinado número de ciclos são simulados para um determinado arranjo de negociação.

Pode-se pensar em um período de simulação como a passagem de um dia em um mercado. Os agentes ini-

ciam o dia com os estoques de consumo e de produção zerados, pois ainda não consumiram nem produziram nenhum bem, então, a cada novo ciclo (que representa uma nova negociação no mesmo dia), para calcular os preços que pagariam por uma quantidade de produto ou do custo para produzir uma quantidade do produto, o agente considera a quantidade de produto já consumida ou produzida nos ciclos anteriores.

Para que os agentes econômicos possam realizar as negociações no mercado e tomar as suas decisões, algumas especificações como função de oferta, função de demanda, quantidade inicial de moeda e necessidades devem ser definidas. As especificações econômicas que cada agente deve possuir, foram escolhidas de forma que exista uma maior possibilidade de variações de negociações, como aceites, recusas por incompatibilidade de ofertas e demandas, recusas por não haver mais necessidade de consumo e recusas por falta de orçamento.

Os quatro agentes econômicos cognitivos presentes na simulação do mercado são nomeados por agente *A*, agente *B*, agente *C* e agente *D*. Na Tabela 5 serão apresentadas as especificações econômicas para cada agente.

Logo, as principais crenças que definem o comportamento econômico de cada agente são individuais: função de demanda, função de oferta, quantidade de moeda, necessidade por ciclo e necessidade máxima de consumo. De acordo com o papel do agente econômico no período, informado através do agente controlador, ele deve consultar a base de crenças para saber sobre qual crença ele deve corresponder.

As bases de crenças do agente central, podem ser observadas a seguir:

```
/* Initial beliefs and rules */

//Funcoes de oferta para consumidores centrais
funcaooferta(pca,Q,P) :- P = 5 + Q *(95 / 100).
funcaooferta(pcb,Q,P) :- P = 10 + Q *(90 / 100).
funcaooferta(pcc,Q,P) :- P = 15 + Q *(85 / 100).
funcaooferta(pcd,Q,P) :- P = 20 + Q *(80 / 100).

//Funcoes de demanda para consumidores centrais
funcaodemanda(cca,Q,P) :- P = 130 - Q.
funcaodemanda(ccb,Q,P) :- P = 120 - Q.
funcaodemanda(ccc,Q,P) :- P = 110 - Q.
funcaodemanda(ccd,Q,P) :- P = 100 - Q.

//Necessidade por ciclo
necciclo(a,NecCiclo) :- NecCiclo = 4.
necciclo(b,NecCiclo) :- NecCiclo = 3.
necciclo(c,NecCiclo) :- NecCiclo = 2.
necciclo(d,NecCiclo) :- NecCiclo = 1.

//Necessidade máxima por periodo
qneccmax(a,NecMaxima) :- NecMaxima = 40.
qneccmax(b,NecMaxima) :- NecMaxima = 30.
qneccmax(c,NecMaxima) :- NecMaxima = 20.
qneccmax(d,NecMaxima) :- NecMaxima = 10.
```

Onde os papéis são definidos por:

- pca - papel de produtor central A
- pcb - papel de produtor central B

Tabela 5. Especificações econômicas

Agente	A	B	C	D
Função de Oferta	$p = 5 + q \frac{95}{100}$	$p = 10 + q \frac{90}{100}$	$p = 15 + q \frac{85}{100}$	$p = 20 + q \frac{80}{100}$
Função de Demanda	$p = 130 - q$	$p = 120 - q$	$p = 110 - q$	$p = 100 - q$
Moeda	1000	2000	3000	4000
Necessidade por Ciclo	4	3	2	1
Necessidade Máxima	40	30	20	10

- pcc - papel de produtor central C
- pcd - papel de produtor central D
- cca - papel de consumidor central A
- ccb - papel de consumidor central B
- ccc - papel de consumidor central C
- ccd - papel de consumidor central D

As bases de crenças dos agentes periféricos 1, 2 e 3 podem ser observadas a seguir:

```

/* Initial beliefs and rules */

//Funcoes de oferta para consumidores periféricos
funcaooferta(ppa,Q,P) :- P = 5 + Q *(95 / 100).
funcaooferta(ppb,Q,P) :- P = 10 + Q *(90 / 100).
funcaooferta(ppc,Q,P) :- P = 15 + Q *(85 / 100).
funcaooferta(ppd,Q,P) :- P = 20 + Q *(80 / 100).

//Funcoes de demanda para consumidores periféricos
funcaodemanda(cpa,Q,P) :- P = 130 - Q.
funcaodemanda(cpb,Q,P) :- P = 120 - Q.
funcaodemanda(cpc,Q,P) :- P = 110 - Q.
funcaodemanda(cpd,Q,P) :- P = 100 - Q.

//Necessidade por ciclo
necciclo(a,NecCiclo) :- NecCiclo = 4.
necciclo(b,NecCiclo) :- NecCiclo = 3.
necciclo(c,NecCiclo) :- NecCiclo = 2.
necciclo(d,NecCiclo) :- NecCiclo = 1.

//Necessidade máxima por período
qneccmax(a,NecMaxima) :- NecMaxima = 40.
qneccmax(b,NecMaxima) :- NecMaxima = 30.
qneccmax(c,NecMaxima) :- NecMaxima = 20.
qneccmax(d,NecMaxima) :- NecMaxima = 10.

```

Onde os papéis são definidos por:

- ppa - papel de produtor periférico A
- ppb - papel de produtor periférico B
- ppc - papel de produtor periférico C
- ppd - papel de produtor periférico D
- cpa - papel de consumidor periférico A
- cpb - papel de consumidor periférico B
- cpc - papel de consumidor periférico C
- cpd - papel de consumidor periférico D

5. RESULTADOS DA SIMULAÇÃO

As simulações realizadas com quatro agentes econômicos cognitivos modelados de acordo com os conceitos e parâmetros até aqui exibidos, reverteram-se em resultados satisfatórios, pois o modelo de agente econômico cognitivo se mostra válido de acordo com as interações e os comportamentos dos agentes.

A seguir serão apresentados dois períodos de uma simulação realizada com dez períodos de quatro ciclos cada, sendo um período de produção e um período de consumo, a fim de explicar a leitura dos resultados obtidos com a simulação.

Nas tabelas que representam os resultados da simulação, pode ser observado: qual arranjo de negociação e o papel de cada agente no período, a quantidade de produto em estoque (para os consumidores), a quantidade de moeda de cada agente, a quantidade de produto produzida (para os produtores), o pedido realizado (para os consumidores) e os preços de oferta e demanda relativos ao pedido. Também é possível observar o resultado da negociação, se foi aceita ou recusada, assim como as quantidades de estoque, moeda e produção ao final da negociação.

Para o primeiro período simulado com o arranjo de negociação 3, onde o agente C é o produtor central e os demais são consumidores periféricos, pode-se observar que nos quatro ciclos, o agente D recusa a negociação, pois o preço de oferta não está de acordo com o seu preço de demanda. Deste modo, em nenhum ciclo ocorre a compra do produto, visto que, como explicado anteriormente, se pelo menos uma gente recusa a negociação a compra não é efetivada. Os valores relativos a esta simulação podem ser observados na Tabela. 6.

O segundo período simulado é um período de consumo, cuja negociação é realizada de acordo com o arranjo 1, onde o agente A age de acordo com o papel de consumidor central e os demais agentes, de acordo com os respectivos papéis de produtores periféricos. Os resultados da simulação deste período pode ser analisados na Tabela. 7.

No primeiro e no segundo ciclo o agente A realiza a negociação com o agente B, pois este possui o menor preço de oferta. No terceiro ciclo, como o agente B já produziu oito unidades, o preço dele se torna mais elevado quando comparado com o agente C, de quem o agente A acaba realizando a compra. No último ciclo, o preço de

Tabela 6. Resultado da simulação do período 1: produção

Período 1: Produção											
Ciclo	Arranjo	Estoque	Moeda	Produção	Pedido	Preço Oferta	Preço Demanda	Negociação	Estoque Final	Moeda Final	Produção Final
Ciclo: 1	Arranjo: 3		3000	0		143.79					
Produtor Central	C		3000	0						3000	0
Consumidor Periférico 1	D	0	4000		1		100	Recusa	0	4000	
Consumidor Periférico 2	A	0	1000		4		514	Aceita	0	1000	
Consumidor Periférico 3	B	0	2000		3		357	Aceita	0	2000	
Período 1: Produção											
Ciclo	Arranjo	Estoque	Moeda	Produção	Pedido	Preço Oferta	Preço Demanda	Negociação	Estoque Final	Moeda Final	Produção Final
Ciclo: 2	Arranjo: 3		3000	0		342				3000	0
Produtor Central	C		3000	0						3000	0
Consumidor Periférico 1	D	0	4000		2		199	Recusa	0	4000	
Consumidor Periférico 2	A	0	1000		8		1012	Aceita	0	1000	
Consumidor Periférico 3	B	0	2000		6		705	Aceita	0	2000	
Período 1: Produção											
Ciclo	Arranjo	Estoque	Moeda	Produção	Pedido	Preço Oferta	Preço Demanda	Negociação	Estoque Final	Moeda Final	Produção Final
Ciclo: 3	Arranjo: 3		3000	0		594.6				3000	0
Produtor Central	C		3000	0						3000	0
Consumidor Periférico 1	D	0	4000		3		297	Recusa	0	4000	
Consumidor Periférico 2	A	0	1000		12		1494	Aceita	0	1000	
Consumidor Periférico 3	B	0	2000		9		1044	Aceita	0	2000	
Período 1: Produção											
Ciclo	Arranjo	Estoque	Moeda	Produção	Pedido	Preço Oferta	Preço Demanda	Negociação	Estoque Final	Moeda Final	Produção Final
Ciclo: 4	Arranjo: 3		3000	0		901.6				3000	0
Produtor Central	C		3000	0						3000	0
Consumidor Periférico 1	D	0	4000		4		394	Recusa	0	4000	
Consumidor Periférico 2	A	0	1000		16		1960	Aceita	0	1000	
Consumidor Periférico 3	B	0	2000		12		1374	Aceita	0	2000	

Tabela 7. Resultado da simulação do período 2: consumo

Período 2: Consumo											
Ciclo	Arranjo	Estoque	Moeda	Produção	Pedido	Preço Oferta	Preço Demanda	Negociação	Estoque Final	Moeda Final	Produção Final
Ciclo: 1	Arranjo: 1		1000	0	4		514		4	954.6	
Consumidor Central	A	0	1000		4		514		4	954.6	
Produtor Periférico 1	B		2000	0		45.4		Aceita		2045.4	4
Produtor Periférico 2	C		3000	0		65.1				3000	0
Produtor Periférico 3	D		4000	0		84.8				4000	0
Período 2: Consumo											
Ciclo	Arranjo	Estoque	Moeda	Produção	Pedido	Preço Oferta	Preço Demanda	Negociação	Estoque Final	Moeda Final	Produção Final
Ciclo: 2	Arranjo: 1	4	954.6	4	4		498		8	894.8	
Consumidor Central	A	4	954.6		4		498		8	894.8	
Produtor Periférico 1	B		2045.4	4		59.8		Aceita		2105.2	8
Produtor Periférico 2	C		3000	0		65.1				3000	0
Produtor Periférico 3	D		4000	0		84.8				4000	0
Período 2: Consumo											
Ciclo	Arranjo	Estoque	Moeda	Produção	Pedido	Preço Oferta	Preço Demanda	Negociação	Estoque Final	Moeda Final	Produção Final
Ciclo: 3	Arranjo: 1	8	894.8	8	4		482		12	829.7	
Consumidor Central	A	8	894.8		4		482		12	829.7	
Produtor Periférico 1	B		2105.2	8		74.19				2105.2	8
Produtor Periférico 2	C		3000	0		65.1		Aceita		3065.1	4
Produtor Periférico 3	D		4000	0		84.8				4000	0
Período 2: Consumo											
Ciclo	Arranjo	Estoque	Moeda	Produção	Pedido	Preço Oferta	Preço Demanda	Negociação	Estoque Final	Moeda Final	Produção Final
Ciclo: 4	Arranjo: 1	12	829.7	8	4		466		16	755.5	
Consumidor Central	A	12	829.7		4		466		16	755.5	
Produtor Periférico 1	B		2105.2	8		74.19		Aceita		2179.4	12
Produtor Periférico 2	C		3065.1	4		78.7				3065.1	4
Produtor Periférico 3	D		4000	0		84.8				4000	0

oferta do agente *B* volta a ser favorável, pois desta vez quem aumentou o preço de oferta por causa da produção foi o agente *C*.

6. CONCLUSÃO

Os principais conceitos pertinentes à avaliação de uma modelagem de agentes microeconômicos com base em agentes BDI foram abordados neste trabalho para fundar a estrutura de um mercado com agentes econômicos cognitivos.

Os estudos realizados durante este trabalho mostram ser possível a modelagem de trocas entre agentes microeconômicos com comportamento de consumidor e produtor tendo por base o modelo de agentes BDI, pelo fato de estes agentes simularem estados mentais e reagirem à percepções do seu ambiente de acordo com os seus objetivos. Considerando-se a simulação de um mercado, os agentes microeconômicos, produtores ou consumidores, devem reagir à estímulos e percepções de preços e quantidades de um determinado produto para atingir seus objetivos de vender ou comprar produtos.

As simulações de um mercado com quatro agentes econômicos cognitivos se mostraram muito satisfatórias pelo fato de os agentes corresponderem aos comportamentos de produtor e de consumidor e negociar, agir e tomar suas decisões de acordo com as respectivas funções de oferta e demanda. Os resultados das simulações corroboram o modelo de agente econômico cognitivo com comportamento de produtor e de consumidor com base no conceito de agentes BDI.

Outro ponto positivo dos resultados obtidos refere-se à possibilidade de uma simulação mais flexível, onde os agentes possuem uma liberdade probabilística de negociação como produtores ou consumidores.

A modelagem dos agentes também se mostrou promissora quanto à outros tipos de simulações de sistemas sociais, como política, filosófica e cultural, por exemplo. Uma possibilidade de simulação política pode ser a simulação de um debate eleitoral, onde alguns agentes candidatos de diferentes ideais possam expor as suas idéias enquanto os agentes eleitores podem aderir ou não à estas idéias e, ao final do debate, votar no candidato escolhido.

Também se mostrou praticável a implementação de um mercado em que não só o consumidor faz pedidos ao produtor, como o produtor pode oferecer produtos ao consumidor.

Em resumo, as simulações de mercados econômicos com agentes econômicos cognitivos que apresentem comportamento tanto de produtor quanto de consumidor, mostrou que é possível explorar sistemas sociais, neste caso particularmente o sistema microeconômico, e obter resultados satisfatórios com a interação dos agentes em

um ambiente social, aqui representado por um mercado econômico.

Referências

- [1] Rafael H. Bordini, Jomi Fred Hübner, and Michael Wooldridge. *Programming Multi-agent Systems in AgentSpeak Using Jason*. Wiley Series in Agent Technology. Wiley, Liverpool, UK, 2007.
- [2] Kalman J. Cohen and Richard M. Cyert. *Theory of the Firm: Resource Allocation in Market Economy*. Prentice-Hall, New Jersey, 1975.
- [3] G. P. Dimuro, A. C. R. Costa, and L. A. M. Palazzo. Systems of exchange values as tools for multi-agent organizations. *Journal of the Brazilian Computer Society*, 11(1):31–50, 2005. Special issue on Agent's Organizations.
- [4] Simon Duff and James Harland. Formalising proactive maintenance goals. *Declarative Agent Languages and Technologies DALT*, 2008.
- [5] John C. Mowen and Michael S. Minor. *Comportamento do Consumidor*. Pearson Prentice Hall, 2003.
- [6] Jean Piaget. *Sociological Studies*. Routledge, London, 1995.
- [7] Diva B. Pinho, Marco A. S. de Vasconcelos, and et al. *Manual de Introdução à Economia*. Saraiva, São Paulo, 2006.
- [8] Beatriz S. Samara and Marco A. Morsch. *Comportamento do Consumidor: conceitos e casos*. Prentice Hall, 2005.
- [9] Hal R. Varian. *Microeconomia*. Campus, Rio de Janeiro, 1990.
- [10] Walter J. Wessels. *Microeconomia: Teoria e Aplicações*. Saraiva, São Paulo, 2002.
- [11] M. Wooldridge. *Reasoning about Rational Agents*. Intelligent Robots and Autonomous Agents. The MIT Press, Cambridge, Massachusetts, 2000.