

Leilões Combinatoriais e Estratégias Heurísticas aplicados ao Problema de Transporte de Derivados de Petróleo

Kely Plucinski Vieira (UTFPR – PR/Brasil) - kely.plucinski@gmail.com
• Av. Sete de Setembro, 3165, Curitiba, PR
Cesar Augusto Tacla (UTFPR – PR/Brasil) - tacla@utfpr.edu.br

RESUMO Mecanismos de mercado, como leilões, combinados com abordagens baseadas em sistemas multiagentes (MAS) têm sido aplicados com sucesso na busca de soluções factíveis em problemas de planejamento em cadeias de abastecimento. Uma cadeia de suprimento (SC) é caracterizada como uma rede de produtores e consumidores, que permite a coleta de matérias-primas, a sua transformação em produtos e a distribuição desses produtos, através do sistema. A abordagem apresentada neste artigo combina o paradigma MAS, o mecanismo de leilão combinatório, e diferentes estratégias que orientam os agentes a participar ou não dos leilões. Tal abordagem é aplicada ao problema do transporte de petróleo, que se caracteriza como um problema de planejamento em cadeias de suprimentos. O objetivo principal é ampliar a aplicação de leilões combinatórios em problemas de planejamento pela redução do espaço de soluções. Este artigo compara diferentes estratégias para participação em leilões, além de servir como uma ferramenta de apoio à tomada de decisões em problemas de planejamento a especialistas da indústria de petróleo.

Palavras-chave Leilões Combinatoriais. Estratégias Heurísticas. Gerenciamento de Cadeias de Suprimento. Transporte de Derivados de Petróleo.

ABSTRACT *Market mechanisms, like auctions, combined with approaches based on multi-agent systems (MAS) have been successfully applied on finding feasible (non-optimal) solutions for planning problems in supply chains. A Supply Chain (SC) is characterized as a network of producers and consumers that enables gathering of raw materials, their transformation into products and distribution of these products through the system. The approach presented in this paper combines the MAS paradigm, the combinatorial auction mechanism, and different strategies guiding agents to participate or not of auctions. This approach is applied to the Problem of Oil Transportation, which is characterized as a planning problem in supply chains. The main objective is to enlarge the application of combinatorial auctions in problems of planning trying to reduce the number of possible solutions. This paper compares different strategies for participating in auctions, besides serving as a support tool in decision-making in planning problems by oil industry specialists.*

Keywords *Combinatorial Auctions. Heuristics Strategies. Supply Chain Management. Transportation of Oil Derivatives.*

1. INTRODUÇÃO

O transporte de derivados de petróleo é realizado através de redes multimodais formadas por navios, dutos, ferrovias, hidrovias e rodovias, que deslocam produtos entre locais de armazenamento e pontos de consumo e formam a cadeia de suprimentos da indústria petrolífera.

De acordo com Venkatesan *et al.* (2012), a otimização de cadeias de suprimento é importante, pois envolve decisões de longo prazo com objetivos conflitantes, além de ser um problema NP-Difícil. Neste contexto, o problema de transferência de derivados de petróleo entre os modais pode ser categorizado como um problema de planejamento (*planning*), onde os objetivos são mais abrangentes e com questões estratégicas ou como um problema de escalonamento (*scheduling*), onde questões de controle operacional são utilizadas e os objetivos são menos abrangentes (FELIZARI, 2009).

Diferentes abordagens vêm sendo estudadas com o objetivo de aperfeiçoar o planejamento de tarefas em CS, tais como otimização por programação matemática e MAS. Em Göthe-Lundgren *et al.* (2002), Magatão *et al.* (2008) e em Felizari (2009) são propostos modelos matemáticos baseados em técnicas CLP (*Constraint Logic Programming*) e MILP (*Mixed Integer Linear Programming*) para escalonamento de operações de movimentação de derivados de petróleo. Entretanto, abordagens baseadas em MAS vêm sendo cada vez mais exploradas, visto que existe uma correspondência natural entre a realidade e o modelo.

Cadeias de suprimento podem ser vistas e arquitetadas como organizações computacionais, onde os agentes desempenham papéis específicos, interagindo entre si e dentro de uma mesma sociedade (ZAMBONELLI *et al.*, 2003; TANEF, 2010). Em geral, abordagens baseadas em MAS gastam menos tempo que os solvers de modelos matemáticos para encontrar soluções factíveis e têm sido utilizadas por diversos autores (SADEH *et al.*, 2003; LOU *et al.*, 2004; FOX *et al.*, 2004; HUHNS *et al.*, 2006; KWON *et al.*, 2007; DAVIDSSON *et al.*, 2008; ZARANDI *et al.*, 2003).

Leilões são subclasses dos mecanismos de mercado e têm recebido atenção particular dentro da área de MAS devido à sua simplicidade. Segundo Ferriche (2009), eles são aplicações práticas da teoria de jogos, pois podem ser considerados como jogos cooperativos entre os agentes. Em particular, leilões combinatoriais são caracterizados por permitirem que os agentes participantes realizem ofertas para pacotes ou grupos de itens, possibilitando assim que expressem totalmente suas preferências (CRAMTOM *et al.*, 2006).

Segundo Adomavicius e Gupta (2005), leilões combinatoriais podem realizar alocações mais eficientes do que os leilões tradicionais, pois a avaliação dos itens por parte dos compradores pode ser realizada pela combinação de itens que estejam necessitando e não por itens isolados. Além disso, comparações realizadas entre leilões combinatoriais e leilões simultâneos demonstraram que leilões combinatoriais são mais eficientes em relação às receitas obtidas pelos leiloeiros (WILENIUS, 2009).

O presente artigo apresenta um MAS baseado em leilões combinatoriais e a proposta e análise de estratégias de participação em leilões combinatoriais, o problema de transporte de derivados de petróleo é então utilizado como um estudo de caso. O principal objetivo desta proposta é aumentar o escopo de aplicação de mecanismos baseados em leilões combinatoriais em problemas complexos, visando a diminuir o tamanho do conjunto de dados a ser processado, além de servir como uma ferramenta de apoio.

O restante deste artigo está organizado nas seguintes seções: na seção 2 é apresentada a revisão da literatura, onde é detalhado o problema de transporte de derivados de petróleo, a ideia dos mecanismos de mercado como leilões combinatoriais e as estratégias heurísticas de participação em leilões, além do MAS baseado em leilões combinatoriais sendo proposto. A seção 3 apresenta os cenários de teste. A seção 4 apresenta os resultados obtidos para os experimentos realizados com o MAS e, a seção 5 apresenta as conclusões obtidas com a aplicação do MAS baseado em leilões combinatoriais e das estratégias de participação no Problema de Transporte de Derivados de Petróleo.

2. REVISÃO DE LITERATURA

Esta seção tem como principal objetivo apresentar um levantamento bibliográfico das principais abordagens utilizadas para a proposta do modelo que visa resolver o problema de transporte de derivados de petróleo, principalmente trabalhos de autores que utilizaram MAS e leilões em problemas de planejamento em cadeias de suprimento e suas metodologias.

2.1. O Problema de Transporte de Derivados de Petróleo

A atividade de planejamento do transporte de derivados de petróleo é considerado um problema complexo devido à quantidade de restrições de estocagem e de movimentação e da quantidade de elementos do sistema, que é formado por píeres, tanques de armazenamento e dutos que interligam o complexo portuário às refinarias, terminais de armazenamento e pontos de consumo.

Na indústria petrolífera, a atividade de planejamento refere-se à alocação de recursos compartilhados para executar o processamento de produtos em um determinado período de tempo. Desta forma, para que não ocorram perdas operacionais faz-se necessário realizar o planejamento das operações de transporte entre todos os elementos da CS, visando aperfeiçoar seus usos (PEKNY; REKLAITIS, 1998; FELIZARI, 2009).

Neste cenário, bases consumidoras e produtoras são interligadas através de rotas, que são utilizadas para realizar o transporte dos derivados, além disso, cada base apresenta faixas de estoque operacional e físico, ou seja, quanto é desejável que uma base tenha de estoque e quanto fisicamente ela pode armazenar. Uma rota possui uma capacidade e pode possuir diversos tipos de segmentos (dutos, navios e etc.), sendo assim a realização de um planejamento visa minimizar a sobra ou falta de derivados nas bases produtoras e consumidoras.

Desta forma, o problema de transporte de derivados de petróleo (PTDP) se caracteriza por encontrar soluções de planejamento eficientes para o transporte de derivados de petróleo entre as bases da malha de distribuição, soluções estas que visem à redução dos custos de transporte, maximização do atendimento às demandas de escoamento e recebimento dos derivados sem que haja custo adicional de falta do derivado, além do controle dos níveis de estoque operacional mínimo e máximo em cada base.

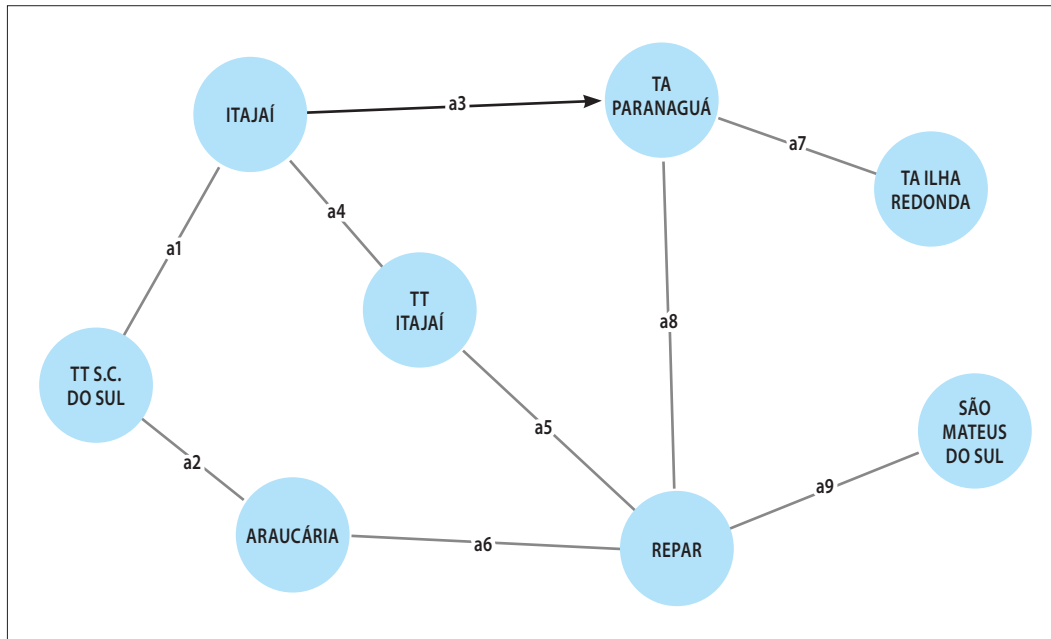
2.1.1. Formalização do Problema

Em geral, problemas envolvendo cadeias de suprimento podem ser modelados como grafos direcionados, desta forma, segundo Felizari (2009) e Pereira (2011), a malha de distribuição de derivados de petróleo pode ser modelada como um grafo orientado.

No grafo orientado $G=(V,E)$ o conjunto de vértices $V=\{v_1, v_2, \dots, v_n\}$ representa o conjunto de todas as bases (refinarias, pontos de consumo e terminais de armazenamento) consideradas no problema e o conjunto de arestas $E=\{e_1, e_2, \dots, e_n\}$ representa o conjunto de todos os modais de transporte considerados no problema. A orientação do grafo G representa o sentido de transferência de derivados que o modal de transporte pode operar, caso um modal possa operar nos dois sentidos (normal e reverso), ele será representado por uma única aresta com setas indicativas nos dois extremos.

A Figura 1 apresenta um exemplo da malha de distribuição de derivados de petróleo para algumas bases brasileiras, representadas através de um grafo orientado, conforme formalizado acima.

Figura 1 – Grafo orientado de parte da malha de distribuição de derivados.



Fonte: Autoria própria.

2.2. Leilões Combinatoriais e as Estratégias Heurísticas paraparticipação em leilões

Leilões são subclasses dos mecanismos de mercado, e têm recebido atenção particular dentro da área de MAS devido à sua simplicidade. Leilões Combinatoriais são subclasses de leilões, onde os participantes podem realizar ofertas de combinações de itens, também chamados “pacotes”. Desta forma, diversos itens são colocados simultaneamente à venda, e é permitido aos participantes compradores realizar ofertas de uma combinação ou pacote de itens, ao contrário dos demais mecanismos de leilões, onde cada oferta é realizada para um único item (DE VRIES; VOHRAY, 2003; VIDAL, 2007).

Formalmente, um leilão combinatório é definido por um conjunto $G=\{y_1, y_2, \dots, y_m\}$ de produtos e por um conjunto $B=\{b_1, \dots, b_n\}$ de ofertas. Sendo que, uma oferta b_i é um par $(p(b_i), g(b_i))$ onde $p(b_i) \in R^+$ é o preço proposto na oferta b_i e $g(b_i) \subseteq B$ é o subconjunto de produtos requisitados na oferta b_i (LEYTON-BROWN, 2003).

Em um leilões combinatoriais o leiloeiro deve varrer todo o conjunto de ofertas recebidas e encontrar o ganhador do leilão, que é o participante que propôs a melhor oferta. Isto ocasiona o problema conhecido como problema de Determinação do Vencedor (WDP), que consiste em encontrar uma alocação eficiente, cujas ofertas maximizem a receita do leiloeiro (VOHRAB; VRIES, 2003). Este problema é NP-Completo e sem algoritmos de aproximação, pois quanto maior a quantidade de produtos e de participantes, maior é o número de ofertas (SANDHOLM *et al.*, 2005).

Inserido neste contexto, é realizada a proposta e análise de estratégias heurísticas para participação em leilões combinatoriais, pois é sabido que o problema de determinação do vencedor é NP-Completo, portanto, do ponto de vista computacional, quanto menor a quantidade de participantes em cada leilão, menor a quantidade de ofertas propostas, e menor é o espaço de busca das ofertas.

Foram definidas três estratégias heurísticas de participação, as quais visam a diminuir o conjunto de ofertas recebidas pelos produtores. Estas estratégias são:

- Participam do leilão somente as bases compradoras que possuírem rota de fluxo com o leiloeiro e que precisarem de pelo menos um dos produtos sendo propostos;
- Dada uma heurística gulosa, cada base compradora deve escolher apenas o leilão onde o montante de produtos ofertados esteja mais próximo da necessidade da base, levando em consideração a restrição i ;
- Dada uma heurística que avalia a necessidade global dos participantes, cada base compradora deve escolher um ou mais leilões combinatoriais dos quais deve participar, levando em consideração a competitividade que possui com os demais agentes compradores e mantendo as restrições iniciais estabelecidas no item i .

2.3. Sistema Multiagente Baseado em Leilões Combinatoriais

De modo a validar a modelagem do problema PTDP com mecanismos de leilões combinatoriais e as estratégias heurísticas de participação em leilões, foi desenvolvido um MAS, onde os principais elementos do problema PTDP foram modelados como agentes que negociam entre si para realizar o planejamento do transporte dos derivados, basicamente agentes que representam as bases produtoras e consumidoras.

No sistema, cada base produtora executa um leilão combinatorial para o conjunto de produtos que possui com estoque positivo e envia uma proposta de venda para cada base consumidora, que decide participar ou não do leilão, de acordo com a estratégia de participação sendo utilizada. Desta forma, no MAS diversos leilões podem ser executados simultaneamente.

Cada base, tanto produtora quanto consumidora, possui um objetivo de satisfação, ou seja, um balanço meta. No PTDP é considerado que uma determinada base atingiu o seu balanço meta se ela recebeu ou escoou todo o volume de cada produto que estava faltando ou sobrando.

Após aplicar uma heurística de participação, caso uma base consumidora decida participar de um leilão, ela deve montar uma oferta de compra, sendo esta composta por um subconjunto de produtos e um preço. Foi desenvolvida uma heurística para determinar o preço da oferta, que considera o quão longe a base consumidora b está do estoque máximo para cada produto p pertencente ao conjunto de produtos P . Desta forma, quanto maior a distância entre o estoque necessário por produto $En(p,b)$ e o estoque máximo por produto $Em(p,b)$, maior é o preço que a base consumidora enviar na oferta.

De modo a resolver o problema WDP, foi implementado o algoritmo CABOB (*Combinatorial Auction Branch on Bids*) proposto por Sandholm *et al.* (2005), que busca encontrar uma solução ótima na determinação do vencedor. O algoritmo utiliza técnicas de decomposição, limites e poda no grafo de ofertas. A fim de realizar o planejamento de envio de todo o volume disponível para o conjunto de produtos, cada base produtora encontra um ou mais vencedores para o leilão que está executando, sendo estes os consumidores cujas ofertas possuem os maiores preços.

O MAS foi codificado em linguagem Java sobre a plataforma de desenvolvimento de agentes JADE (*Java Agent Development Framework*) e é composto dos seguintes tipos de agentes:

- *Manager*, realiza a leitura dos dados do cenário de entrada e identifica as bases que irão comprar os conjuntos de leiloeiros e compradores;
- *Auctioneer*, executa o leilão para os produtos que possui com estoque positivo e escolhe os agentes vencedores do leilão;
- *Bidder*, participa dos leilões e propõe ou não uma oferta de compra para cada leilão que de acordo com a estratégia de participação decidiu participar;
- *ManagerModal*, cria os agentes que representam os modais de transporte e gerencia a alocação e desalocação destes modais;
- *Modal*, representa o modal de transporte que liga as bases produtoras e consumidoras.

A Figura 2 apresenta o algoritmo que contempla o pseudocódigo do MAS baseado no mecanismo de leilões combinatoriais desenvolvido.

Figura 2 – Algoritmo para o Sistema Multiagente baseado em Leilões Combinatoriais com Aplicação de Estratégias de Participação em Leilões aplicado ao PTDPS.

Agente MANAGER

Comportamento de inicialização: iniciado com o lançamento do MAS
DADOS ← *DadosFromXML()* // Leitura dos dados do cenário de teste
AUCTIONEER ← *BuscaProdutores(Dados)* // Conjunto de Leiloeiros
BIDDER ← *BuscaConsumidores(Dados)* // Conjunto de Participantes
MODAIS ← *BuscaSegmentos(Dados)* // Conjunto de Modais de transporte
 Cria agente MANAGER MODAL
 Para cada $p_i \in AUCTIONEER$
 Cria agente p_i
 Para cada $c_i \in BIDDER$
 Cria agente c_i
 Para cada $p_i \in AUCTIONEER$
 Envia mensagem PROPAGATE para início de leilão
 Inicia comportamento de finalização de leilões
Fim de comportamento

Comportamento de finalização de leilões: iniciado por outro comportamento
leilõesFinalizados = 0
 wait *INFORM-REF* // Aguarda mensagem de finalização de leilão
 enquanto (*leilõesFinalizados* < |*AUCTIONNER*)
 leilõesFinalizados = *leilõesFinalizados* + 1
 wait *INFORM-REF*
 Destrói todos os agentes
Fim de comportamento

Agente MANAGER MODAL

Comportamento de inicialização: iniciado com o lançamento do MAS
 Para cada $m_i \in MODAIS$
 Cria agente m_i
 Inicia comportamento para aguardar requisições de alocação de modais
Fim de comportamento

Comportamento aguardando requisições: iniciado por outro comportamento
 WaitREQUEST // Aguarda solicitação de rota com LOCK_MODAL
 rotaDisponível ← *VerificaDisponibilidadeRota(p, v_i)*
 Se (*rotaDisponível*) então
 Envia QUERY_REF para $m_i \in MODAIS$ e $m_i \in rotaDisponível$
 Envia CONFIRM para p_i
 Se não
Fim de comportamento

Agente MODAL m_i

Comportamento de inicialização: iniciado com o lançamento do MAS
 Se (QUERY_REF) então
 saldoDisponível ← *saldoDisponível* - *valorReservado* //
 Atualiza o saldo disponível

Agente AUCTIONEER p_i

Comportamento de início de leilão: ao receber mensagem PROPAGATE que indica início de leilão
ProdutosOfertar ← *ProdutosEstoquePositivo()*
 Para cada $c_i \in BIDDER$
 Envia mensagem de CALL-FOR-PROPOSAL para todo $c_i \in BIDDER$
 Inicia comportamento de recebimento de ofertas
Fim de comportamento

Comportamento de recebimento de ofertas: iniciado por outro comportamento

OfertasRecebidas $\leftarrow \{ \}$

Iniciar contagem de *time limit* para recebimento de ofertas **tl**

Waittérmino da contagem de **tl** ou (PROPOSE ou REFUSE) // Mensagens que indicam proposta ou recusa de oferta

OfertasRecebidas \leftarrow OfertasRecebidas U mensagem de oferta

Retorna ao wait

Inicia comportamento de tratamento de ofertas

Fim de comportamento

Comportamento de tratamento de ofertas: iniciado por outro comportamento

Se *OfertasRecebidas* $\neq \emptyset$ **então**

VENCEDOR $v_i \leftarrow executaCABOB(OfertasRecebidas)$

PossuiRota $\leftarrow VerificaRota(p, v_i)$ // Envia mensagem REQUEST para MANAGER MODAL

Se (*PossuiRota* = CONFIRM) **então**

Envia mensagem ACCEPT-PROPOSE para agente vencedor v_i

Envia mensagem REJECT-PROPOSE para todo agente $c_i \neq v_i$

Inicia comportamento de confirmação de ofertas

Se **não**

Retira oferta do agente v_i de *OfertasRecebidas* e retorna ao primeiro passo deste comportamento

Fim comportamento

Comportamento de confirmação de ofertas: iniciado por outro comportamento

Resposta $\leftarrow AguardaResposta(v_i)$

Se (INFORM) **então** // Recebeu mensagem de confirmação de compra do vencedor

Envia mensagem INFORM-REF para agente *Manager*

Se **não**

Retira oferta do vencedor v_i de *OfertasRecebidas*

Inicia comportamento de tratamento de ofertas

Fim comportamento

Agente BIDDER c_i

Comportamento de chamada a ofertas: iniciado ao receber mensagem CALL-FOR-PROPOSAL

$p_i \leftarrow sender(chamada\ de\ ofertas)$

PrecisaProdutos $\leftarrow VerificaNecessidadeAtual()$

ParticipaLeilao $\leftarrow VerificaEstrategiaAtualParticipacao()$ // Aplica estratégia de participação em leilões e decide se deve participar do leilão

PossuiRota $\leftarrow VerificaRota(c_i, p_i)$

Se (*PrecisaProdutos* & *PossuiRota* & *ParticipaLeilao*) **então**

c_i monta mensagem PROPOSE e envia para leiloeiro p_i

Se **não**

c_i monta mensagem REFUSE e envia para leiloeiro p_i

Fim de comportamento

Comportamento de vencedor: iniciado ao receber mensagem ACCEPT-PROPOSE de oferta aceita

PrecisaProdutos $\leftarrow VerificaNecessidadeAtual()$

Se (*PrecisaProdutos*) **então**

Envia mensagem INFORM para leiloeiro p_i // Concordância de compra

Se **não**

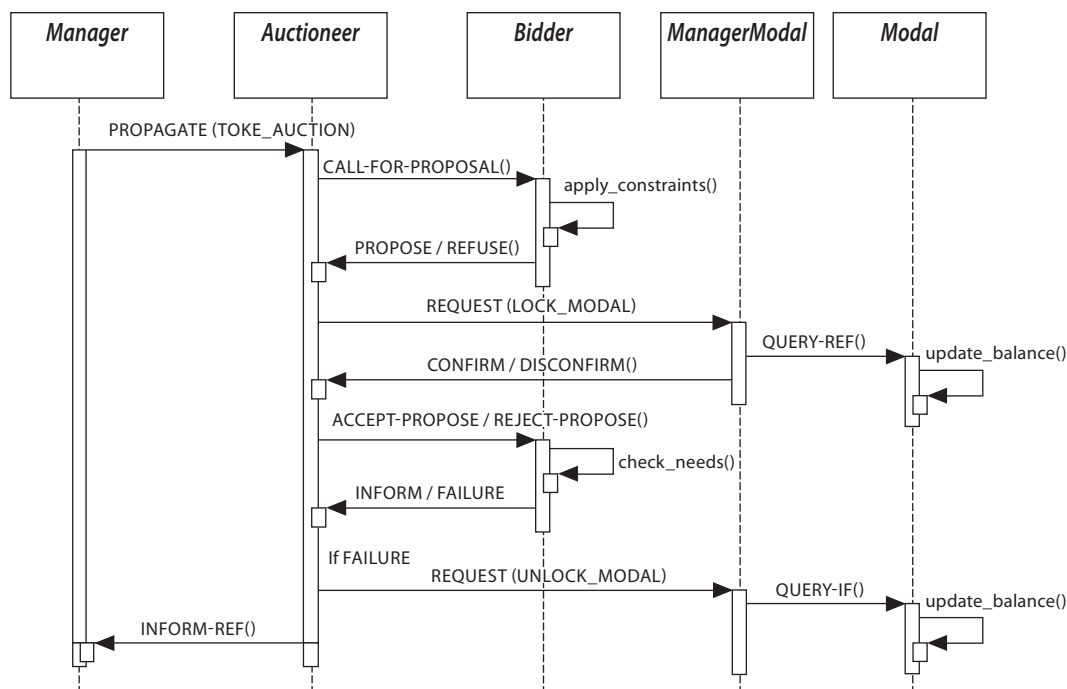
Envia mensagem FAILURE para leiloeiro p_i // Não concordância de compra

Fim de comportamento

Fonte: Elaboração dos autores.

De modo a realizar a troca de mensagens entre os agentes do sistema foi utilizado o protocolo Contract-Net, por ser um protocolo de alto nível e que facilita a comunicação entre os nós de um sistema. A Figura 3 apresenta o diagrama de seqüência da troca de mensagens que é realizada entre os agentes do MAS desenvolvido.

Figura 3 – Diagrama de seqüência da troca de mensagens entre os agentes.



Fonte: Autoria própria.

Como pode ser observado na Figura 3, os agentes do tipo *Auctioneer* controlam toda a execução do leilão. Desta forma, conseguem em somente uma rodada encontrar um ou mais vencedores para o leilão, objetivando alcançar o planejamento do transporte de todo o volume disponível para o conjunto de produtos entre as bases consumidoras que representam os vencedores.

3. CENÁRIOS E MÉTRICAS DE TESTES

Para testar o sistema multiagente desenvolvido, foram utilizados dezoito (18) cenários de teste. Para cada cenário de teste foi aplicada cada uma das estratégias heurísticas de participação nos leilões combinatoriais e foi realizada a análise dos resultados de cada heurística em cada cenário.

A Tabela 1 apresenta os dados dos cenários utilizados para realização dos experimentos.

Tabela 1 – Cenários de testes para realização dos experimentos.

Cenário	Produtores	Consumidores	Quantidade de Produtos	Rotas de Fluxo	Quantidade de Modais
1	1	2	3	2	2
2	2	2	3	4	4
3	3	5	3	15	15
4	3	7	3	21	21
5	5	10	3	50	50
6	6	10	3	60	60
7	6	15	3	90	90
8	7	15	3	105	105
9	10	30	3	300	300
10	10	30	2	300	300
11	15	40	2	600	600
12	15	40	2	600	600
13	10	30	4	300	300
14	10	30	6	300	300
15	15	40	5	600	600
16	15	40	8	600	600
17	20	40	8	800	800
18	20	40	8	800	800

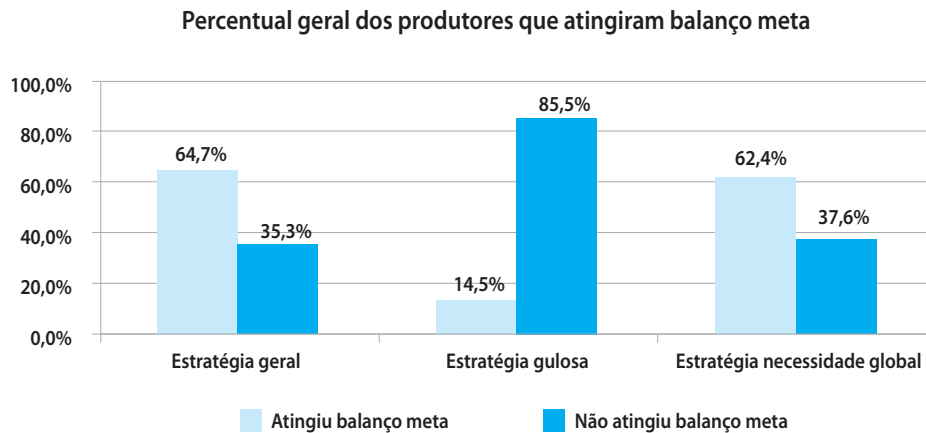
Fonte: Autoria própria.

Foram utilizadas como métricas de teste a (i) diferença do balanço meta das bases produtoras e consumidoras, sendo o objetivo avaliar se elas conseguiram escoar ou receber todo o volume que possuíam ou necessitavam; e a (ii) avaliação da redução da quantidade de ofertas pelo tempo de execução de cada estratégias de participação em leilões.

4. EXPERIMENTOS E RESULTADOS

Analisando a aplicação das estratégias no alcance do balanço meta pelos produtores, ou seja, os agentes produtores que escoaram todo o volume que possuíam, percebe-se que a estratégia gulosa foi a que apresentou o pior resultado e que as estratégias geral e baseada na necessidade global apresentaram resultados bem próximos uma da outra com relação à quantidade total de bases produtoras que atingiram o balanço meta, sendo esta diferença menor do que 2%, como pode ser visto na na Figura 4.

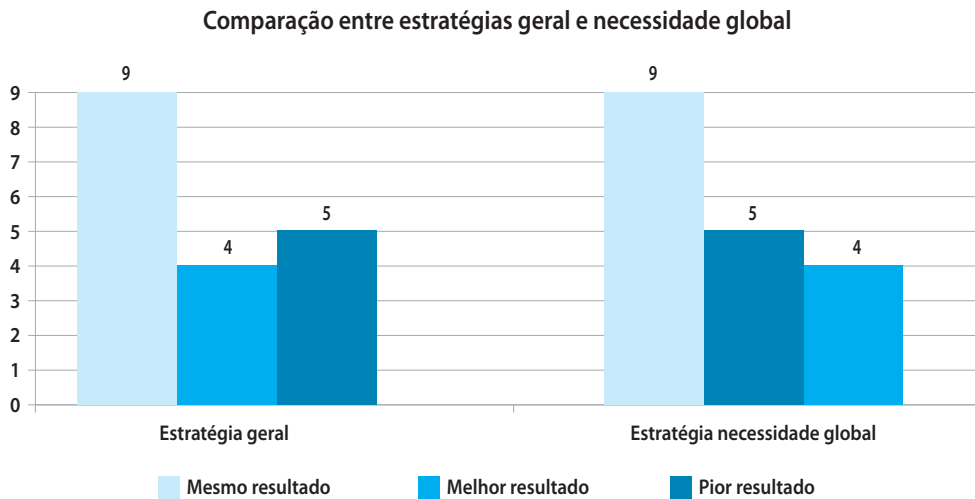
Figura 4 – Total de agentes produtores que conseguiram atingir o balanço meta.



Fonte: Autoria pr\u00f3pria.

Ao comparar a quantidade de cen\u00e1rios onde a estrat\u00e9gia geral foi pior do que a estrat\u00e9gia baseada na necessidade global para o alcance do balan\u00e7o meta dos produtores, conforme apresentado na Figura 5, percebe-se que em 9 dos 18 cen\u00e1rios o resultado foi semelhante, em 5 deles a estrat\u00e9gia baseada na necessidade global foi melhor do que a estrat\u00e9gia geral e em apenas 4 cen\u00e1rios a estrat\u00e9gia geral apresentou melhores resultados.

Figura 5 – Compara\u00e7\u00e3o entre Estrat\u00e9gias Geral e Necessidade Global para produtores.

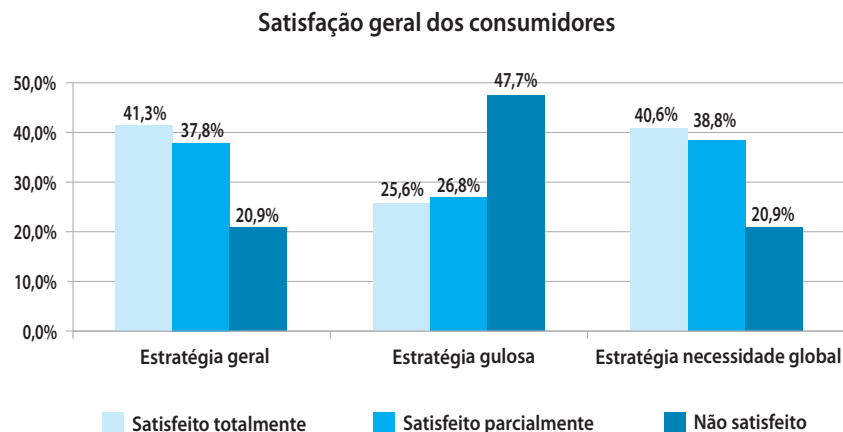


Fonte: Autoria pr\u00f3pria.

Ao comparar o resultado da quantidade de agentes consumidores que atingiram o balan\u00e7o meta, percebe-se que em nenhum dos cen\u00e1rios de teste todos os agentes consumidores atingiram o balan\u00e7o meta e que a estrat\u00e9gia gulosa foi a que apresentou a maior quantidade de consumidores n\u00e3o satisfeitos.

Por\u00e9m, o resultado da aplica\u00e7\u00e3o das estrat\u00e9gias geral e baseada na necessidade global foi bastante semelhante, sendo a \u00fanica diferen\u00e7a que, para o caso geral, houve maior quantidade de consumidores que atingiram o balan\u00e7o meta, apesar de esta diferen\u00e7a ser de menos de 1%, conforme pode ser observado na Figura 6.

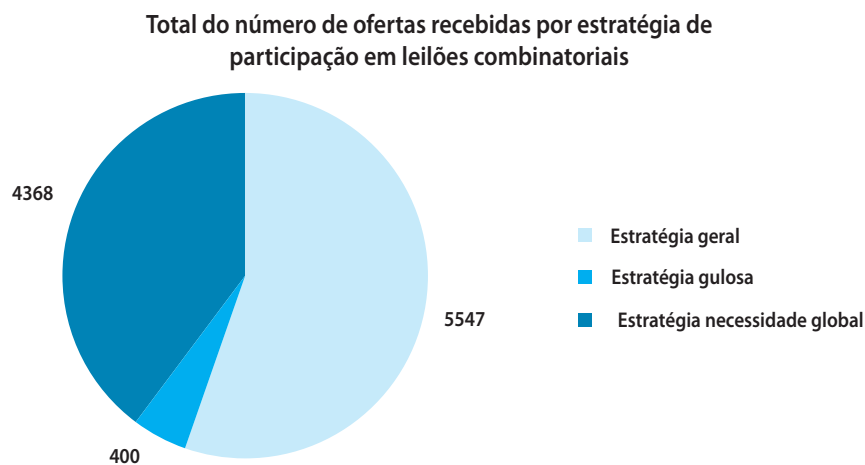
Figura 6 – Total de agentes consumidores que totalmente, parcialmente ou não satisfeitos.



Fonte: Autoria pr\u00f3pria.

Um ponto percebido foi que houve redu\u00e7\u00e3o significativa na quantidade de ofertas feitas pelos agentes consumidores nos cen\u00e1rios utilizados para os experimentos como \u00e9 apresentado na Figura 7.

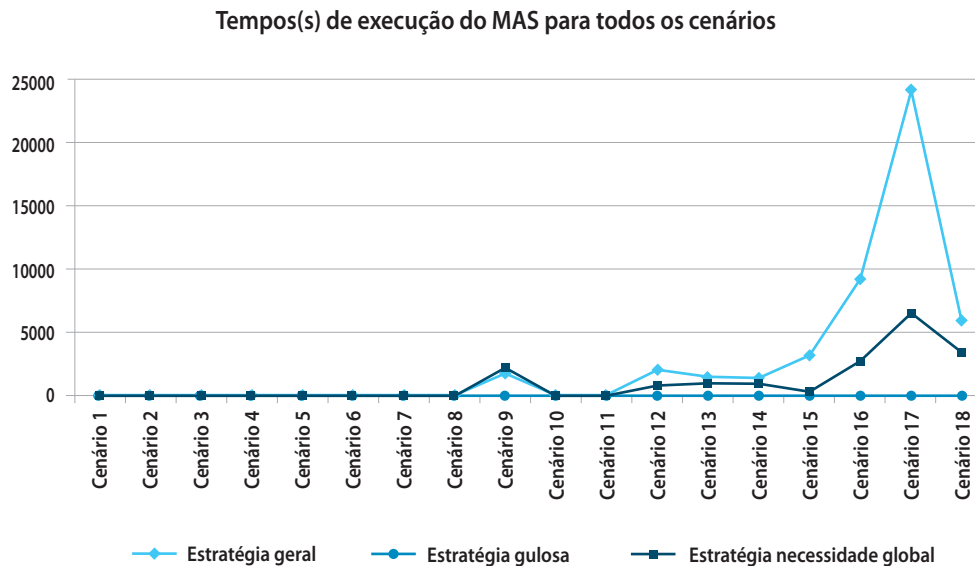
Figura 7 – Total de agentes consumidores que totalmente, parcialmente ou n\u00e3o satisfeitos.



Fonte: Autoria pr\u00f3pria.

Esta redu\u00e7\u00e3o na quantidade de ofertas com a aplica\u00e7\u00e3o da estrat\u00e9gia baseada na necessidade global influenciou positivamente na redu\u00e7\u00e3o do tempo de execu\u00e7\u00e3o do sistema, como pode ser visto na Figura 8.

Figura 8 – Tempo de Execução do MAS para todos os cenários de teste.



Fonte: Autoria própria.

Por fim, conclui-se que a estratégia baseada na necessidade global apresentou benefícios em relação à estratégia geral, visto que conseguiu reduzir significativamente a quantidade de ofertas realizadas em um leilão e em consequência o tempo de execução do sistema. Além disso, manteve um resultado próximo ao resultado da aplicação da estratégia geral em relação à quantidade de produtores e consumidores que conseguiram atingir o balanço meta.

4.1. Discussões dos Resultados

Abordagens baseadas na teoria de leilões têm sido largamente estudadas e desenvolvidas juntamente com abordagens baseadas em MAS, com o objetivo de encontrar soluções para problemas complexos de planejamento em cadeias de suprimento.

Foi verificado que o aumento de produtos e da quantidade de agentes consumidores impacta diretamente no tempo de execução do sistema, pois o custo para encontrar os vencedores para o leilão é exponencial, em função do número de ofertas recebidas e, neste caso, a utilização da estratégia baseada na necessidade global reduziu em aproximadamente 11% o tamanho do conjunto de ofertas, o que além de manter um resultado próximo ao ótimo, ou seja, bases produtoras escoarem todo o volume de produtos e bases consumidoras serem totalmente satisfeitas, reduziu o tempo de execução do sistema em mais de 50% do tempo gasto no caso geral.

Outro ponto a ressaltar diz respeito à aplicação do mecanismo de leilões combinatoriais como mecanismo de negociação entre os agentes, onde em uma única rodada, todos os agentes produtores e consumidores, conseguem expressar todas as suas necessidades em escoar e receber produtos, eliminando, neste caso, a necessidade de execução de várias rodadas para atender todas as necessidades dos produtores e consumidores, como seria necessário com a aplicação de qualquer um dos mecanismos clássicos de leilões.

5. CONCLUSÕES

Este artigo mostrou que o objetivo de aplicar estratégias de participação que visam diminuir o tamanho da entrada para algoritmos ótimos de determinação do vencedor – sem mudar propriamente o algoritmo de determinação - foi alcançado e trouxe, conforme já dito, benefícios em relação ao tempo médio de execução do sistema para encontrar o melhor planejamento possível dos derivados.

Outro ponto importante é que o desenvolvimento de uma ferramenta para realizar o planejamento do transporte de derivados, que toma como base a aplicação de mecanismos de leilões combinatoriais e heurística baseada na necessidade global dos agentes para redução do conjunto de ofertas e consequente redução do tempo de execução do MAS, constitui-se em algo importante que pode ser utilizada para auxílio à tomada de decisão.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ADOMAVICIUS, G.; GUPTA, A. Toward Comprehensive Real-Time Bidder Support in Iterative Combinatorial Auctions. **Information Systems Research**, Vol.16, No. 2, pp. 169–185, 2005.

CRAMTOM, P.; SHOHAM Y.; STEINBERG, R. **Introduction to Combinatorial Auctions**. Combinatorial Auctions, MIT Press, Cambridge, MA, pp. 01-13, 2006.

DAVIDSSON, D.; HOLMGREN, J.; PERSSON, J. A.; RAMSTEDT, L. **Multi Agent Based Simulation of Transport Chain**. AAMAS - International Conference on Autonomous Agents and Multiagent Systems, pp. 1153-1160, 2008.

DE VRIES, S.; VOHRAY, R. Combinatorial Auctions: A Survey. **INFORMS Journal on Computing**, Vol. 15, No. 3, pp. 284-309, 2003.

FELIZARI, L. C. **Programação das Operações de Transporte de Derivados de Petróleo em Redes de Dutos**. Tese de Doutorado, UTFPR – Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, 2009.

FERRICHE, R. C. **Teoria de Leilões com Aplicação ao Mercado de Petróleo Brasileiro**. Dissertação de Mestrado, Fundação Getúlio Vargas, Rio de Janeiro, 2009.

FOX, M. S.; BARBUCEANU, M.; TEIGEN, R. Agent-Oriented Supply-Chain Management. *In: International Journal of Flexible Manufacturing Systems*, Vol. 12, No. 2-3, pp. 165-188, 2004.

GÖTHE-LUNDGREN, M.; LUNDGREN, J. T.; PERSSON, J.A. Na Optimization Model for Refinery Production Scheduling. **International Journal of Production Economics**, Vol. 78, No.3, pp. 255-570, 2002.

HUHNS, M. N.; STEPHENS, L. M. Multi-agent Systems and Societies of Agents. In: WEISS, G. E. **Multiagent Systems - A Modern Approach to Distributed Artificial Intelligence**. MIT Press, Cambridge, pp. 79-120, 2006.

KWON, O.; PAULIM, G.; LEE, K. MACE-SCM: A Multi-agent and Case-based Reasoning Collaboration Mechanism for Supply Chain Management Under Supply and Demand Uncertainties. **Expert Systems with Applications: An International Journal**, Vol. 33, No. 3, pp. 690-705, 2007.

LEYTON-BROWN, K. **Resource Allocation in Competitive Multiagent Systems**. Tese de Doutorado. Stanford University, 2003.

LOU, P.; ZHOU, Z. D.; CHEN, Y. P.; AI, W. Study on Multi-agent-based Agile Supply Chain Management. **The International Journal of Advanced Manufacturing Technology**, Springer London. Vol. 23, No. 3-4, pp. 197-203, 2004.

MAGATÃO, L.; ARRUDA, L.V.R; NEVES-JR, F. Um Modelo Híbrido (CLP-MILP) para Scheduling de Operações em Poldutos. **Pesquisa Operacional**, Vol. 28, No. 3, pp. 511-543, 2008.

PEKNY, J. F.; REKLAITIS, G. V. Towards the Convergence of Theory and Practice: A Technology Guide for Scheduling/Planning Methodology. **American Institute of Chemical Engineering Symposium Series**, Vol. 94, No. 320, pp. 91-111, 1998.

PEREIRA, F. R. **DCOP MOASSÍ: Otimização de Restrição Distribuída em Problemas Contínuos de Fluxo em Rede pela Unificação da Discretização e Resolução**. Dissertação de Mestrado, UTFPR – Universidade Tecnológica Federal do Paraná, 2011.

SADEH, N.; HILDUM, D.; KJENSTAD, D. Agent-Based e-Supply Chain Decision Support. **Journal of Organizational Computing and Eletronic Commerce**, Vol. 13, No. 3, pp. 225-241, 2003.

SANDHOLM, T.; SURJ, S.; GILPIN, A.; LEVINE, D. CABOB: A Fast Optimal Algorithm for Winner Determination in Combinatorial Auctions. **Management Science**, Vol. 51, No. 3, pp. 374-390, 2005.

TANEF, A. L. Supply Chain Management System for Oil Platform Resources – A Collaborative Solution. **Journal of Applied Collaborative Systems**, Vol. 2, No. 4, pp. 16-34, 2010.

VENKATESAN, S. P.; KUMANAN, S. A Multi-Objective Discrete Particle Swarm Optimisation Algorithm for supply chain network design. **International Journal of Logistics Systems and Management**, Vol.11, No.3, pp.375 – 406, 2012.

VIDAL, J. M. **Fundamentals of Multiagent Systems with NetLogo Examples**. 2007. Unpublished. Disponível em <http://www.scribd.com/doc/2094479/Fundamentals-of-Multiagent-Systems>. Acesso em: 28/02/2013.

VOHRAY , R.; DE VRIES , S. Combinatorial Auctions: A Survey. **INFORMS Journal on Computing**, Vol. 15, No. 3, pp. 284-309, 2003.

WELLMAN, M. P. A Market-Oriented Programming Environment and Its Application to Distributed Multicommodity Flow Problems. **Journal of Artificial Intelligence Research**, Vol. 1, No. 1, pp. 1-23, 1993.

WILENIUS, J. **Combinatorial and Simultaneous Auction: A Pragmatic Approach to Tighter Bounds on Expected Revenue**. Technical Report 2009-013, Department of Information Technology, Uppsala University, 2009.

ZAMBONELLI, F.; JENNINGS, N. R.; WOOLDRIDGE, M. Developing Multiagent Systems: The Gaia Methodology. **ACM Transactions on Software Engineering and Methodology**, Vol.12, No. 3, pp. 317-370, 2003.

ZARANDI, M. H. F.; POURAKBAR, M.; TURKSEN, I. B. A Fuzzy agent-based model for reduction of bullwhip effect in supply chain systems. **Expert Systems with Applications: An International Journal**, Vol. 34, No. 3, pp. 1680-1691, 2008.