

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL  
INSTITUTO DE INFORMÁTICA  
CURSO DE CIÊNCIA DA COMPUTAÇÃO

GABRIEL ALABARSE HERNANDEZ

**Utilizando Técnicas de Formação de  
Coalizões no Problema de Distribuição de  
Energia por Demanda**

Trabalho de Graduação.

Prof. Dr. Rafael Heitor Bordini  
Orientador

Porto Alegre, dezembro de 2011.

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL

Reitor: Prof. Carlos Alexandre Netto

Vice-Reitor: Prof. Rui Vicente Oppermann

Pró-Reitora de Graduação: Profa. Valquiria Link Bassani

Diretor do Instituto de Informática: Prof. Luís da Cunha Lamb

Coordenador do CIC: Prof. Raul Fernando Weber

Bibliotecária-Chefe do Instituto de Informática: Beatriz Regina Bastos Haro

## Agradecimentos

Agradeço ao Prof. Dr. Rafael H. Bordini, pela oportunidade que me deu de desenvolver este trabalho, assim como sua disponibilidade e apoio.

Agradeço a minha família por todo apoio até este momento, e nos momentos que ainda estão por vir, amo vocês.

Agradeço também aos colegas de curso, que tornaram esta árdua jornada o mais alegre e interessante possível.

Agradeço especialmente a minha companheira Jéssica, por todo apoio e compreensão nestes últimos dias de trabalho. Sabia que te amo, e aguardo ansioso pelos próximos momentos que poderemos dividir.

# SUMÁRIO

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS.....	6
LISTA DE FIGURAS.....	7
LISTA DE TABELAS.....	8
RESUMO .....	9
ABSTRACT .....	10
<b>1 INTRODUÇÃO .....</b>	<b>11</b>
1.1 Estrutura do documento.....	11
<b>2 TRABALHOS RELACIONADOS .....</b>	<b>13</b>
2.1 Sistemas Multi-Agentes.....	13
2.1.1 O interpretador Jason.....	<b>Erro! Indicador não definido.</b>
2.2 Formação de Coalizões .....	13
2.2.1 On Agent Types in Coalition Formation Problemns.....	<b>Erro! Indicador não definido.</b>
2.2.2 Arbitrators in Overlapping Coalition Formation Games..	<b>Erro! Indicador não definido.</b>
2.3 SmartGrids .....	13
2.3.1 Putting the “Smarts” into the Smart Grid: A Grand Challenge for Artificial Intelligence	<b>Erro! Indicador não definido.</b>
2.3.2 Agent-Based Control for Decentralised Demand Side Management in the Smart Grid	<b>Erro! Indicador não definido.</b>
2.4 Problema de Distribuição de Energia.....	14
2.4.1 The AMES Wholesale Power Market.....	<b>Erro! Indicador não definido.</b>
2.4.2 Power TAC Project.....	<b>Erro! Indicador não definido.</b>
2.4.3 IDEAS.....	<b>Erro! Indicador não definido.</b>
<b>3 PRINCIPAIS CONCEITOS.....</b>	<b>16</b>
3.1 Problema da Formação de Coalizões.....	16
3.1.1 Estrutura de uma Coalizão .....	16
3.2 Coalition Resource Game .....	16

<b>3.3</b>	<b>Formação de coalizões sobre tipos de agentes.....</b>	<b>17</b>
3.3.1	Tipos de agente .....	17
<b>3.4</b>	<b>Formação de coalizões com sobreposição.....</b>	<b>17</b>
<b>3.5</b>	<b>Arbitrando sobre formação de coalizões .....</b>	<b>17</b>
<b>4</b>	<b>O PROBLEMA DE GESTÃO DE ELETRICIDADE POR DEMANDA... </b>	<b>19</b>
<b>4.1</b>	<b>Modelando o PGED.....</b>	<b>19</b>
<b>4.2</b>	<b>Tipos de agentes.....</b>	<b>19</b>
<b>4.3</b>	<b>Regras do modelo .....</b>	<b>20</b>
4.3.1	Regra do Monopólio .....	20
4.3.2	Regra dos Menores Produtores .....	20
4.3.3	Regra do Atendimento .....	20
<b>5</b>	<b>COMPONENTES DA SIMULAÇÃO.....</b>	<b>21</b>
<b>5.1</b>	<b>O Agente Arbitro.....</b>	<b>21</b>
5.1.1	Biblioteca Java para calculo das coalizões.....	21
<b>5.2</b>	<b>O Agente Cidade.....</b>	<b>22</b>
<b>5.3</b>	<b>O Agente Produtor .....</b>	<b>22</b>
<b>6</b>	<b>SIMULAÇÕES E RESULTADOS.....</b>	<b>24</b>
<b>6.1</b>	<b>1º Caso: Escassez de Recursos.....</b>	<b>24</b>
6.1.1	Agentes Envolvidos .....	24
6.1.2	Resultados.....	24
6.1.2.1	Arbitrando coalizões de maior lucro .....	25
6.1.2.2	Arbitrando coalizões de menor lucro .....	25
<b>6.2</b>	<b>2º Caso: Limítrofe .....</b>	<b>26</b>
6.2.1	Agentes Envolvidos .....	26
6.2.2	Resultados.....	26
6.2.2.1	Arbitrando coalizões de maior lucro .....	26
6.2.2.2	Arbitrando coalizões de menor lucro .....	27
<b>6.3</b>	<b>3º Caso: Sobra de Recursos .....</b>	<b>28</b>
6.3.1	Agentes Envolvidos .....	28
6.3.2	Resultados.....	28
6.3.2.1	Arbitrando coalizões de maior lucro .....	28
6.3.2.2	Arbitrando coalizões de menor lucro .....	30
<b>6.4</b>	<b>Comparação com as coalizões ideais.....</b>	<b>31</b>
<b>7</b>	<b>CONCLUSÃO .....</b>	<b>32</b>
<b>7.1</b>	<b>Limitações .....</b>	<b>32</b>
<b>7.2</b>	<b>Trabalhos futuros .....</b>	<b>32</b>

REFERÊNCIAS.....	33
------------------	----

## **LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS**

MAS	Multi Agent System(Sistema Multi Agentes)
PFC	Problema de Formação de Coalizões
PGED	Problema de Gestão de Eletricidade por Demanda
CRG	Coalition Resource Game
OCF	Overlapping Coalition Formation

## **LISTA DE FIGURAS**

<b>FIGURA 3.1 ESTRUTURA DE UMA COALIZÃO.....</b>	<b>16</b>
<b>FIGURA 3.2 COALIZÃO COM SOBREPOSIÇÃO .....</b>	<b>17</b>
<b>FIGURA 3.3 NÚCLEO DE COALIZÕES.....</b>	<b>18</b>
<b>FIGURA 5.1 PSEUDO-ALGORITMO PARA CÁLCULO DE COALIZÃO ..</b>	<b>22</b>



## **LISTA DE TABELAS**

<b>TABELA 6.1: RECURSOS RECEBIDOS POR TAREFA.....</b>	<b>25</b>
<b>TABELA 6.2: RECURSOS RECEBIDOS POR PRODUTOR.....</b>	<b>25</b>
<b>TABELA 6.3: RECURSOS RECEBIDOS POR TAREFA.....</b>	<b>25</b>
<b>TABELA 6.4: RECURSOS RECEBIDOS POR PRODUTOR.....</b>	<b>26</b>
<b>TABELA 6.5: RECURSOS RECEBIDOS POR TAREFA.....</b>	<b>26</b>
<b>TABELA 6.6: RECURSOS RECEBIDOS POR PRODUTOR.....</b>	<b>27</b>
<b>TABELA 6.7: RECURSOS RECEBIDOS POR TAREFA.....</b>	<b>27</b>
<b>TABELA 6.8: RECURSOS RECEBIDOS POR PRODUTOR.....</b>	<b>28</b>
<b>TABELA 6.9: RECURSOS RECEBIDOS POR TAREFA.....</b>	<b>29</b>
<b>TABELA 6.10: RECURSOS RECEBIDOS POR PRODUTOR.....</b>	<b>29</b>
<b>TABELA 6.11: RECURSOS RECEBIDOS POR TAREFA.....</b>	<b>30</b>
<b>TABELA 6.12: RECURSOS RECEBIDOS POR PRODUTOR.....</b>	<b>30</b>

## RESUMO

Modelos sobre SmartCities e SmartGrids estão cada vez mais populares na comunidade científica. A crescente necessidade de renovar o modelo antiquado de distribuição de recursos nas cidades está fazendo com que este seja um tópico cada vez mais debatido entre os membros da comunidade. Entre os diversos trabalhos foi escolhido um para servir de cenário para o estudo.

Este trabalho se inspira em uma proposta de modelo de um SmartGrid sobre o problema de gestão de energia elétrica por demanda, onde os consumidores estimam a sua demanda, e, dada esta informação, o grid de produtores se organiza para realizar a distribuição dos recursos.

Utilizando técnicas modernas de alocação de tarefas por formação de coalizões, este trabalho busca uma solução eficiente e simples para a organização do sistema de distribuição. As técnicas utilizadas incluem a utilização de sobreposição e de arbitrariedade sobre um ambiente multi-agentes com tipos de agentes conhecidos.

Foi possível observar um ótimo desempenho das técnicas implementadas nas simulações geradas para o estudo, mostrando uma grande vantagem em arbitrar as coalizões, mas, como demonstrado, o modelo ainda deixa muita liberdade nas decisões dos agentes produtores.

**Palavras-Chave:** MAS, SmartGrid, Distribuição de recursos, Alocação de tarefas, Problema de Gestão de Eletricidade por Demanda.

# Using techniques of coalition formation problem in Power Distribution Demand Problem

## ABSTRACT

Models on SmartCities and SmartGrids are increasingly popular in the scientific community. The growing need to renew the old model of resources distribution in cities is causing this to be an more and more debated topic between the member of the community. Among the many works one was chosen to serve as a backdrop for the study.

This work draws on a proposed model of a SmartGrid on the Demand Side Management Problem, where consumers estimate their demand, and, given this information, the grid is organize the producers to carry out the distribution of resources.

Using modern techniques of task allocation for coalition building, this paper seeks a simple and efficient solution for the organization of the distribution system. The techniques used include the use of overlapping and arbitrary on a multiagent system environment with known agents types.

It was possible to observe a great performance of the techniques implemented in the simulations generated for the study, showing a great advantage to arbitrate coalitions, but as shown, the model still leaves a lot of freedom in the decisions of producing agents.

**Keywords:** MAS, SmartGrids, Task Allocation, Coalition Formation, Demand Side Management Problem.

# 1 INTRODUÇÃO

Juntamente com o crescimento das populações, veio o crescimento da utilização da energia elétrica, nos mais diversos equipamentos e dispositivos, e, com isso, o velho modelo de distribuição de energia elétrica começou a falhar. Incapaz de prever a real necessidade dos consumidores, o modelo antigo causa uma enorme perda de recursos, além de constantemente fazer previsões fracas que não comportam o consumo real das cidades, causando pequenas falhas na distribuição e eventualmente grandes apagões.

Percebendo a iminente ruína do sistema atual a comunidade científica já encaminha estudos para desenvolver e implantar novos modelos. Um dos modelos mais aceitos é o SmartGrid, nele cada ponto do sistema de distribuição está conectado entre si, numa via de duplo sentido, energia e informação percorrem o grid, possibilitando a comunicação entre as pontas. Este trabalho tentará mapear o PGED em uma instância de CRG(SHROT, AUMANN, KRAUS; 2009).

Inspirado no modelo de (RAMCHURN, VYTELINGUM, ROGERS, JENNINGS; 2011), este trabalho aborda um cenário similar, onde as cidades consumidoras terão seus consumos estimados e alternados em dois momentos, o período de baixo consumo e o de pico. A entidade centralizadora, o arbitro, recebe as estimativas de consumo e de produção de energia, calcula as possíveis distribuições de tarefas, e deixa a cargo dos produtores fazerem distribuição conforme seus interesses. É claro que este processo não é tão simples, o arbitro não deve permitir que os produtores abusem do sistema e respeitem algumas regras de distribuição.

O objetivo do trabalho é utilizar as técnicas de formação de coalizões por tipos descritas em (SHROT, AUMANN, KRAUS; 2010) e as técnicas de arbitragem sobre coalizões com sobreposição descrita em (ZICK, ELKIND; 2011) na construção e implantação das coalizões no cenário da distribuição de energia por demanda, mostrando que é possível dar liberdade aos produtores para decidir quais consumidores atender, sem prejudicar o suprimento individual de cada consumidor. De forma que os produtores devem se adaptar a cada período de consumo, mantendo uma regularidade do serviço de abastecimento de energia e visando o maior lucro possível.

## 1.1 Estrutura do documento

O capítulo 2 trás dois trabalhos relacionados, que tratam de simulações em sistemas multi-agentes bastante similares com este trabalho. O Capítulo 3 introduz os principais conceitos técnicos necessários para compreender o estudo. No capítulo 4 é apresentado o ambiente da simulação, que incorpora o PGED. No capítulo 5 é feita uma apresentação de todos os componentes utilizados na simulação, detalhes das tecnologias utilizadas, agentes envolvidos e detalhes dos algoritmos implementados. No capítulo 6

são apresentados os resultados obtidos da execução do trabalho sobre algumas situações exemplo. E no capítulo 7 são apresentadas as conclusões e considerações finais.

## 2 TRABALHOS RELACIONADOS

### 2.1 Sistemas Multi-Agentes

A principal tecnologia utilizada neste trabalho para o que diz respeito a sistemas multi-agentes é a linguagem Jason (BORDINI, HÜBNER, WOOLDRIDGE; 2007). Jason é um interpretador, baseado em Java, para uma extensão da linguagem AgentSpeak. Os agentes implementados neste trabalho utilizaram este interpretador, pois as funções ferramentas disponíveis para tratamento de planos e para comunicação dos agentes atendem bem as necessidades que teremos.

Jason permite que criemos bibliotecas em Java para executar ações internas dos agentes, e é exatamente o que será feito neste trabalho. Uma biblioteca será construída contemplando todos os conceitos envolvidos e implementando as técnicas de formação de coalizões descritas neste texto.

### 2.2 Formação de Coalizões

O texto *On Agent Types in Coalition Formation Problems* (SHROT; AUMANN; KRAUS; 2010) aborda a possibilidade de reduzir a complexidade do problema de formação de coalizões, que é NP-Difícil, para um problema polinomial, apenas fixando um número de tipos de agentes e aplicando o algoritmo de formação das coalizões sobre estes tipos.

Este modelo é realmente muito interessante, pois nos permite utilizar a formação de coalizões em problemas mais complexos, sem cair em métodos que tendem a altíssimas complexidades.

Já o trabalho *Arbitrators in Overlapping Coalition Formation Games* (ZICK; ELKIND; 2011) demonstra a possibilidade de arbitrar as coalizões obtidas juntamente com o modelo de sobrecarga nas coalizões. Estes são os conceitos que levaram a possibilidade de modelar nosso trabalho para uma situação mais realista da distribuição de energia. No cenário real temos esta necessidade de impor regras, via um árbitro, para manter a fidelidade do sistema com o que desejamos para o modelo. E também temos a necessidade de garantir aos produtores de energia que possam atender tantas tarefas quantas sua capacidade permitir, para isto se utilizou o conceito de sobrecarga nas coalizões, fazendo com que o agente ganhasse esta possibilidade que não era coberta pelo modelo original de formação das coalizões.

### 2.3 SmartGrids

O conceito de smartGrid é uma peça chave para este trabalho. O problema da gestão de energia elétrica por demanda somente passou a existir com a concepção dos

smartGrids. Com a rede inteligente, repleta de sensores, é possível obter estimativas reais sobre a produção e consumo de energia de uma cidade ou região. Estas informações nos levam a novos problemas, como por exemplo, o PGED.

O trabalho *Putting the “Smarts” into the Smart Grid: A Grand Challenge for Artificial Intelligence* (RAMCHURN; VYTELINGUM; ROGERS; JENNINGS; 2011) descreve claramente os elementos ditos inteligentes de um smartGrid. Ele também cita alguns problemas já encontrados no modelo, também cita quais já tem solução conhecida, e quais problemas ainda não tem.

O problema da distribuição de energia é dos problemas que ainda não tem solução ótima, porem existem diversas aproximações para resolvê-lo. Nosso trabalho tentará propor uma solução que se aproxime o máximo possível da solução ótima, os resultados podem ser melhor observados na seção 6.4, onde é feito um comparativo dos resultados obtidos com o que seria a solução ótima.

*Agent-Based Control for Decentralised Demand Side Management in the Smart Grid*, também de (RAMCHURN; VYTELINGUM; ROGERS; JENNINGS; 2011), aborda um modelo de simulação envolvendo agentes sobre o problema da distribuição de energia por demanda. No trabalho os agentes se agrupam conforme seus interesses, formando um tipo de cooperativa. Cada agente informa suas expectativas de produção, e em caso de falha de algum dos agentes da cooperativa, esta falha é abrandada pelos demais componentes do agrupamento. O modelo prevê multas para produtores que não cumprem com a estimativa informada, por isto os agente se agrupam, para evitar receberem a penalidade.

Dentro dos grupos existe um índice de desempenho dos produtores, ou seja, agentes que apresentam menos falhas tendem a obter maiores ganhos.

Este trabalho foi muito inspirador para a concepção do projeto do nosso trabalho, por ser um modelo de sistema multi-agentes sobre o problema da distribuição de energia. As técnicas descritas nele poderiam ser usadas como complemento para as técnicas implementadas em nosso trabalho.

## **2.4 Problema de Distribuição de Energia**

É interessante mostrar que existem diversos outros trabalhos na área de sistemas de distribuição de energia, que utilizam elementos de multi-agentes, mas com outros enfoques. A maioria dos modelos propostos ainda trás consigo a ideia de um mercado de energia baseado em leilões. Neste trabalho tentaremos desenvolver uma técnica que substituirá este mercado. Fazendo com que a distribuição de energia possa ser feita de forma mais dinâmica e adaptável.

Dentre os trabalhos pesquisados, valem a pena ser destacarmos os três trabalhos abaixo, pois eles contem ideias interessantes que puderam ser aproveitadas neste trabalho.

O primeiro é o cenário do AMES (AMES; 2011), é interessante, pois ele descreve um sistema completo de mercado de energia. É efetuado um leilão complexo visando o estado seguinte do sistema, e também são efetuados pequenos leilões em tempo-real para ajustar eventuais sobrecargas do sistema.

A ideia de realizar adaptações em tempo real é um objetivo muito interessante, este trabalho busca implementar uma técnica que possa ser usada de forma a não

sobrecarregar o sistema, podendo ser executada rapidamente, a qualquer momento, para adaptar o sistema as mudanças que possam ocorrer no cenário da distribuição.

O segundo trabalho é a competição PowerTAC (POWER TAC; 2011) também é muito interessante, porém ela trata da questão de modelos de mercados de energia, o objetivo da competição é, a partir dos resultados obtidos com os agentes competidores, criar regras para o mercado de forma que este naturalmente se adaptaria para uma situação de equilíbrio, onde não haveria monopólios e cidades não ficariam sem abastecimento de energia no caso de falhas de um ou mais produtores de energia.

Veremos posteriormente que para melhor adaptação das técnicas implementadas neste trabalho será necessário realizar estudos na mesma linha, buscando montar regras para o modelo que garantam a consistência da distribuição e do abastecimento de energia.

Por último temos o projeto IDEAS (IDEAS; 2011) é um projeto da Universidade de Southampton, e tem três grandes focos: O sistema da residência, que engloba o gerenciamento do consumo e, eventualmente, de pequenas unidades produtoras; O sistema de vizinhança, que faz o gerenciamento de diversos sistemas residenciais, e repassa os recursos que foram recebidos; E o sistema de produção e distribuição. É um projeto complexo que engloba todas as questões a respeito de produção, distribuição e consumo de energia, bem como suas respectivas estimativas. Nosso trabalho poderia ser enquadrado no último foco do IDEAS, pois trata exatamente do sistema mais externo do smartGrid, ou seja do tratamento entre os produtores de energia e os miniGrids intermediários que compõem o modelo.



### 3 PRINCIPAIS CONCEITOS

Os principais conceitos abordados por este trabalho são o Problema da Formação de Coalizões, que consiste na formação organizada de grupos de trabalho, onde mais de um ator, ou mais de um agente, é necessário para cumprir determinada tarefa. E o CRG, estrutura básica sobre a qual os agentes são construídos.

#### 3.1 Problema da Formação de Coalizões

É fácil imaginar uma situação onde um indivíduo sozinho não consiga exercer determinada tarefa, e precise da ajuda de outros para concluí-la. No escopo dos MAS também encontramos este problema, e esta aliança formada por dois ou mais agentes é chamada de coalizão.

##### 3.1.1 Estrutura de uma Coalizão

Uma coalizão é um relação entre as  $N$  tarefas existentes e os  $M$  agentes do sistema.

Trf / Ag	Ag <sub>1</sub>	Ag <sub>2</sub>	...	Ag <sub>m</sub>
Trf <sub>1</sub>	1	1	0	0
Trf <sub>2</sub>	0	0	1	0
...	0	0	0	1
Trf <sub>n</sub>	0	0	0	0

Figura 3.1 Estrutura de uma coalizão

Esta estrutura pode ser observada na figura 3.1, uma propriedade importante das coalizões é que o somatório de uma coluna nunca é maior do que um. Neste caso, isto indica que o agente atua com todos os seus recursos em uma das tarefas disponíveis. Veremos mais a frente que esta propriedade é importante para o uso de sobreposição nas coalizões.

#### 3.2 Coalition Resource Game

Um CRG consiste em um cenário com um numero de tarefas a serem satisfeitas, para satisfazer estas tarefas é necessária uma certa quantidade de recursos. Cada agente dispõem de uma quantidade de recursos. Diz-se que o agente satisfaz a tarefa se a sua quantidade de recurso for maior ou igual que a quantidade necessária a para tarefa.

Segundo (SHROT, AUMANN, KRAUS; 2009) uma instancia de CRG é NP-difícil sempre que o numero de tarefas e/ou o numero de agentes e seus recursos forem

indefinidos. Os autores propõem soluções polinomiais para os casos onde esses valores são fixos.

### 3.3 Formação de coalizões sobre tipos de agentes

Segundo (SHROT, AUMANN, KRAUS; 2010) genericamente o PFC tem complexidade computacional não polinomial, e cresce em função da entrada, ou seja o numero de agentes. Mas se levamos em conta que determinados agentes são funcionalmente equivalentes, mesmo que o numero de agentes aumente muito, os tipos de agentes envolvidos continua pequeno. Se pudermos manter um numero fixo de tipos de agentes o PFC, para o CRG, e também na forma genérica, ficamos com uma complexidade computacional polinomial.

#### 3.3.1 Tipos de agente

É importante ressaltar as duas maneiras que os autores vêm para fazer a separação de tipos de agentes: Por nomenclatura ou por funcionalidade. Na primeira os agentes de mesmo nome são considerados equivalentes, ou seja, de mesmo tipo. No segundo método os agentes são separados pela funcionalidade, ou capacidade. Por exemplo, se dois agentes produtores, um representando uma usina hidrelétrica e outro uma usina nuclear, mas ambos produzirem a mesma quantidade de energia, então, podemos considerá-los de mesmo tipo. Em nossa simulação usaremos os dois conceitos.

### 3.4 Formação de coalizões com sobreposição

O OCF é uma expansão do PFC, ao contrario do anterior, segundo (CHALKIADAKIS; ELKIND; MARKAKIS; JENNINGS; 2008), este modelo busca se aproximar mais do mundo prático, onde, em geral, um agente é capaz de realizar diversas tarefas concorrentemente. Este modelo é bastante pertinente em nosso cenário, pois é razoável se pensar que um grande produtor de energia vá querer atender diversos consumidores.

Trf / Ag	Ag <sub>1</sub>	Ag <sub>2</sub>	...	Ag <sub>m</sub>
Trf <sub>1</sub>	0.5	0.3	0	0.8
Trf <sub>2</sub>	0	0	1	0
...	0.1	0	0	0.2
Trf <sub>n</sub>	0	0.7	0	0

Figura 3.2 Coalizão com sobreposição

Como dito anteriormente, aqui também temos propriedade no somatório das colunas, mas aqui, além de informar que o agente tem participação nas tarefas, também temos a informação da porcentagem de seus recursos que foi investida em cada tarefa.

### 3.5 Arbitrando sobre formação de coalizões

A noção de um árbitro que regulará a formação de coalizões está descrita em (ZICK, ELKIND; 2011). O árbitro é um agente centralizador e tem a função de regular as coalizões que cada agente recebe e de dar o valor referente a cada uma destas coalizões.

Ao receber as estimativas dos agentes produtores e consumidores o árbitro calcula as coalizões possíveis, que respeitam as regras do sistema, e então, informa os produtores sobre as coalizões disponíveis, para que estes tomem as suas decisões sobre este conjunto limitado de possibilidades. Este conjunto de coalizões permitidas é o chamado núcleo, ilustrado na figura 3.3.

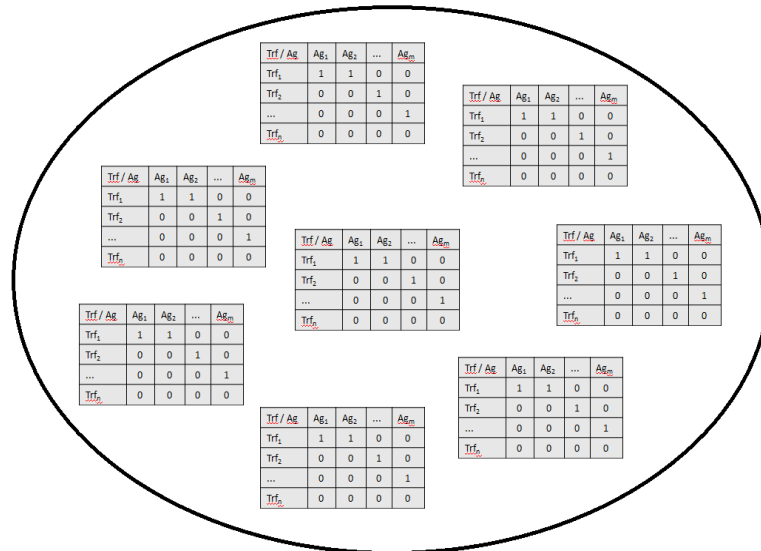


Figura 3.3 Núcleo de Coalizões

Em nosso cenário vamos fazer com que os núcleos dos agentes produtores contenham apenas as coalizões que nos forem mais convenientes para as simulações. Esta seleção é feita comparando o valor de cada coalizão. É importante ao árbitro saber como dar valor a cada coalizão, para tal é necessário informar uma função que calcule este valor.

Neste trabalho o valor das coalizões está diretamente ligado ao lucro, ou pagamento, que os agentes envolvidos naquela coalizão vão ter. As coalizões de mesmo valor são adicionadas ao núcleo, caso uma nova coalizão tenha um valor melhor do que as atuais no núcleo, então este é descartado, e se inicia um novo núcleo contendo apenas a coalizão mais valorosa. Neste trabalho foram executadas simulações tanto para valores maiores como menores no núcleo.

Caso não estivéssemos arbitrando sobre os núcleos, estes conteriam todas as possíveis coalizões onde o agente atuasse.

## **4 O PROBLEMA DE GESTÃO DE ELETRICIDADE POR DEMANDA**

Originalmente os consumidores de energia não tinham a capacidade de prever o seu consumo, o modelo atual de distribuição tem estimativa de consumo é feita sobre o histórico e estatísticas de uso. O que ocasiona muitos erros na distribuição, pois o consumo de energia no mundo moderno cresce a cada novo aparelho eletrônico que é inventado. Um exemplo importante a ser citado é o surgimento dos carros elétricos.

### **4.1 Modelando o PGED**

Neste trabalho será considerado um cenário inspirado em (RAMCHURN, VYTELINGUM, ROGERS, JENNINGS; 2011). O PGED consiste em um conjunto de produtores de energia, de vários tipos, e um conjunto de consumidores de energia, com necessidades variadas. Ambos possuem a capacidade de estimar tanto a produção quanto o consumo em um futuro breve. Estas informações permitem fazer enorme acerto sobre a quantidade de energia que precisa ser distribuída a cada consumidor. De forma que os erros de distribuição causados por erros na estimativa de distribuição desapareçam.

Outra novidade é a capacidade dos consumidores também serem produtores, uma casa pode ter placas solares instaladas em seu teto, e caso a sua produção ultrapasse o consumo da casa a energia gerada é jogada no grid, e o consumidor passa a ser tratado como um produtor.

Dado este cenário, este trabalho mapeará o PGED para um sistema multi-agentes, onde o foco será a distribuição de energia, o cálculo das possibilidades de distribuição dos recursos disponíveis e o comportamento dos agente produtores. Os agentes consumidores terão um comportamento simulado, sua estimativa de consumo será gerada pseudo-randomicamente para atender os exemplos da simulação.

### **4.2 Tipos de agentes**

Vamos fixar os tipos de agentes baseados em seu nome, pois queremos que a informação do tipo de energia se mantenha, para que possamos indicar a preferência para os produtores de energia considerada limpa. Acreditando que produtores do mesmo tipo venham a ter uma produção estima muito similar. Seria necessário Criar subtipos baseados na capacidade funcional dos agentes, caso esta premissa não for verdadeira. Em nossa simulação ela sempre será.

Foram então fixados quatro tipos de agentes, para facilitar a compreensão os tipos foram nomeados com nomes de tipos de produção de energia, conforme descrito em (SHROT, AUMANN, KRAUS; 2010).

Os nomes utilizados foram: Eólica, Hidroelétrica(Hidro), Nuclear, Solar.

### **4.3 Regras do modelo**

Considerando os problemas do modelo atual de distribuição de energia foram estabelecidas algumas regras para a formação das coalizões.

#### **4.3.1 Regra do Monopólio**

Não serão geradas coalizões onde um tipo de agente produtor seja responsável por mais do que 50% dos recursos necessários para satisfazer uma determinada cidade.

#### **4.3.2 Regra dos Menores Produtores**

Esta regra não influencia diretamente no resultado final, esta presente aqui apenas como uma sugestão para que os pequenos produtores, geralmente de energia considerada limpa, recebam mais benefícios no futuro.

#### **4.3.3 Regra do Atendimento**

Nenhuma cidade pode ficar sem receber ao menos 30% dos recursos necessários, em uma dada coalizão, a menos que não hajam recursos suficientes para garantir esta regra.

## 5 COMPONENTES DA SIMULAÇÃO

A implementação deste trabalho será feita utilizando a linguagem de programação orientada a agentes Jason (BORDINI, HÜBNER, WOOLDRIDGE; 2007), integrada com bibliotecas Java, utilizadas para realizar o cálculo das coalizões.

Serão codificadas três classes de agentes: o árbitro, a cidade, e o produtor. Este último foi replicado com vários nomes para respeitar os tipos de agentes presentes na coalizão.

### 5.1 O Agente Árbitro

O árbitro é o agente centralizador da simulação, por ele passam todas as informações do cenário. Ele recebe as estimativas de consumo e produção dos demais agentes, classifica os produtores conforme o seu tipo e invoca a biblioteca de formação de coalizões.

As coalizões formadas são adicionadas a base de crenças do agente, então o árbitro informa os demais agentes que as informações já estão disponíveis, e o processo de negociação dos agentes produtores começa.

Ao final de um determinado tempo, o árbitro busca em sua base de crenças pelas informações sobre o abastecimento das cidades, que foi enviado pelos produtores durante sua negociação. Então os ganhos são calculados e todas as informações são gravadas em um arquivo texto para análise posterior.

Para comodidade dos testes o árbitro repete a simulação por diversos turnos, definidos inicialmente em sua base de crenças.

#### 5.1.1 Biblioteca Java para cálculo das coalizões

O agente tem sua complexidade concentrada na biblioteca Java que foi escrita para realizar o cálculo das coalizões. A biblioteca faz o cálculo baseada no número de tarefas, no número de tipos de agentes, e nos recursos envolvidos. Como o número de tipos foi fixado, o número de coalizões geradas varia apenas pelo número de tarefas e quantidade de recursos. Veremos nos testes que o número de tarefas também foi fixado, mas não é uma exigência.

As coalizões são geradas, de forma similar a uma instância do problema da mochila gulosa, conforme esboço da figura 5.1, o algoritmo é invocado com os índices de entrada funcionando como uma lista circular. Por exemplo, se tivermos 4 tarefas e 3 tipos de agentes, se invocarmos o método com o índice de início tarefa 2, ele começará a execução pela tarefa 2, indo até o fim da lista e executando a tarefa 1 por último. Isto nos garante uma boa cobertura sobre o universo de coalizões possíveis.

As tarefas vão sendo preenchidas com os recursos disponíveis, até que não se tenham mais recursos disponíveis, ou até que a tarefa seja totalmente atendida. O uso de sobreposição nas coalizões, somente é ativado para complementar a coalizão. Ou no caso do tipo atual ter mais recursos do que é permitido pelas regras do modelo. Para respeitar a terceira regra do modelo, primeiro é feito o cálculo com apenas 30% da demanda das tarefas, e após com os 70% restantes.

```

Para todas as j Tarefas {
  Necessario = EstimativaDaTarefa.j
  Para todos os i produtores {
    Se CapacidadeDoProdutor.i < Necessario {
      Produtor.i abastece Tarefa.j com 100% da capacidade disponível ;
      //que pode já não ser a capacidade total inicial
      Atualiza Necessario; Atualiza CapacidadeDoProdutor.i;
    } Ou então Se CapacidadeDoProdutor.i > Necessario {
      Produtor.i abastece Tarefa.j até no máximo 50% da EstimativaDaTarefa.j
      Atualiza Necessario; Atualiza CapacidadeDoProdutor.i;
    }
  }
}
Retorna coalizão;

```

Figura 5.1 Pseudo-algoritmo para cálculo de coalizão

Apenas as coalizões de menor recompensa, ou maior, dependendo do objetivo da simulação, são consideradas para o núcleo dos produtores, e somente estas são adicionadas a base de crenças do arbitro.

A função de retorno de valor é trivial em nosso cenário, o lucro do agente é calculado baseado na quantidade de recursos utilizadas multiplicado pelo seu preço informado pelo agente.

## 5.2 O Agente Cidade

Os agentes que simulam as cidades apenas geram estimativas pseudo-randômicas de seu consumo. Estes valores são manipulados para que correspondam a determinadas situações desejadas para os testes que serão realizados.

## 5.3 O Agente Produtor

O agente produtor recebe o sinal de início da simulação do arbitro, então são geradas, seguindo uma proporção baseada nos dados da (ANEEL; 2011), as estimativas de produção e preço do agente. Essas informações são enviadas ao arbitro e também aos outros agentes, para que os agentes do mesmo tipo tenham conhecimento dos recursos totais do seu tipo.

Os agentes ficam em estado de hibernação até que o arbitro avise sobre a disponibilidade das coalizões. Utilizando a força ilocucionária “askAll” os agentes recebem do arbitro todas as coalizões em que estão envolvidos.

O agente então, se o seu tipo ainda possuir recursos, seleciona a coalizão de maior recompensa e informa os demais produtores a sua escolha. Após o agente compara a sua escolha com a escolha dos demais que ele recebeu, caso sua escolha seja de recompensa

média menor do que as recebidas, ele abandona a sua escolha e parte para a próxima tarefa. Se a sua escolha era a maior recompensa média, então o agente percorre sequencialmente a lista de recursos dos agentes do mesmo tipo, alocando os recursos necessários para a coalizão e informando o arbitro. Esta operação é realizada por todos os agentes do mesmo tipo, pois é mais eficiente que todos realizem a tarefa de alocação do que centralizar a tarefa, operação que envolveria muitas trocas de mensagens.

Independente do resultado da escolha da coalizão, o agente limpa a sua BB antes de seguir para a próxima tarefa. Após percorrer todas as tarefas o agente retorna para o estado de hibernação.



## **6 SIMULAÇÕES E RESULTADOS**

Como testes para o sistema foram definidos três casos base: escassez de recursos, limítrofe, sobra de recursos. Para agentes cidades a estimativa de consumo é igual a 100, variando até  $\pm 10\%$ . Já para os produtores, são as respectivas estimativas: Eólica (20), Hidroelétrica (80), Nuclear (40), Solar (10). Sempre podendo variar até  $\pm 10\%$ .

Alem disto, para cada caso base, será feito o teste com a formação de coalizões para o caso de maior e menor coalizão possível. E será feito um comparativo com a melhor coalizão possível, calculada com todos os parâmetros fixos e sem variações.

Para cada caso serão feitas 100 rodadas de repetição dos testes, ao final serão apresentados como resultado a média obtida da utilização dos recursos e abastecimento das cidades.

Foi possível notar que tempo de todas as simulações se manteve o mesmo, pois o agente Arbitro espera um tempo determinado pelos demais, e após este tempo encerra a rodada de simulação, este tempo foi de um minuto e vinte e seis segundos para cada rodada de simulação. O tempo de espera varia apenas de acordo com o numero de tarefas. Não houveram casos onde os demais agentes não conseguiram responder a tempo ao Arbitro.

O tempo gasto calculando as coalizões foi desprezível, ou seja, menor do que um segundo, para todos os casos.

### **6.1 1º Caso: Escassez de Recursos**

#### **6.1.1 Agentes Envolvidos**

Serão instanciados quatro agentes cidades, e dois agentes de cada tipo de produtor. Tendo em média 400 unidades de recurso como base para o consumo e 300 unidades de recurso para a produção.

#### **6.1.2 Resultados**

É fácil notar que neste caso todos os recursos disponíveis sempre serão usados, pois há escassez de produtores no cenário.

## 6.1.2.1 Arbitrando coalizões de maior lucro

Tabela 6.1: Recursos Recebidos por Tarefa

Tarefa	Media de Recursos Recebidos	Media de Recursos Estimados
cidade1	78,09	100,54
cidade2	82,80	100,03
cidade3	72,06	100,03
cidade4	60,91	100,34
Total	293,87	400,95

Tabela 6.2: Recursos Recebidos por Produtor

Produtor	Media de Recursos Utilizados	Media de Recursos Estimados	Lucro Médio dos Produtores	Preço Médio da Unidade de Energia
eolica1	20,00	20,00	400,00	20,00
eolica2	19,55	19,77	388,71	19,88
hidro1	80,28	80,28	967,74	12,06
hidro2	80,36	80,39	972,56	12,10
nuclear1	40,00	40,00	240,00	6,00
nuclear2	40,10	40,31	230,69	5,75
solar1	10,00	10,00	130,00	13,00
solar2	9,57	10,04	123,79	12,93
Total	299,86	300,79	3453,48	11,52

## 6.1.2.2 Arbitrando coalizões de menor lucro

Tabela 6.3: Recursos Recebidos por Tarefa

Tarefa	Media de Recursos Recebidos	Media de Recursos Estimados
cidade1	76,39	101,15
cidade2	76,45	99,93
cidade3	74,37	99,94
cidade4	65,81	99,32
Total	293,02	400,34

Tabela 6.4: Recursos Recebidos por Produtor

Produtor	Media de Recursos Utilizados	Media de Recursos Estimados	Lucro Médio dos Produtores	Preço Médio da Unidade de Energia
eolica1	20,00	20,00	398,33	19,91
eolica2	19,51	20,05	391,15	20,04
hidro1	79,77	79,77	972,40	12,19
hidro2	72,79	80,17	883,84	12,14
nuclear1	40,00	40,00	240,00	6,00
nuclear2	39,70	39,94	231,03	5,81
solar1	10,00	10,00	130,00	13,00
solar2	9,52	10,00	123,07	12,92
Total	291,29	299,93	3369,82	11,56

## 6.2 2º Caso: Limítrofe

### 6.2.1 Agentes Envolvidos

Serão instanciados quatro agentes cidades, dois agentes do tipo Hidroelétrica, três agentes do tipo Nuclear, quatro agentes do tipo Eólica, e cinco agentes do tipo Solar . Tendo em média 400 unidades de recurso como base para o consumo e 400 unidades de recurso para a produção.

### 6.2.2 Resultados

Novamente todos os recursos deveriam ser utilizados, pois a demanda é praticamente equivalente a oferta de recursos. Veremos que não é exatamente o que ocorreu.

#### 6.2.2.1 Arbitrando coalizões de maior lucro

Tabela 6.5: Recursos Recebidos por Tarefa

Tarefa	Media de Recursos Recebidos	Media de Recursos Estimados
cidade1	91,08	100,86
cidade2	89,23	100,49
cidade3	89,78	100,74
cidade4	87,47	100,22
Total	357,56	402,31

Tabela 6.6: Recursos Recebidos por Produtor

Produtor	Media de Recursos Utilizados	Media de Recursos Estimados	Lucro Médio dos Produtores	Preço Médio da Unidade de Energia
eolica1	20,00	20,00	400,00	20,00
eolica2	19,92	19,92	398,33	20,00
eolica3	20,00	20,00	400,00	20,00
eolica4	19,77	20,12	394,23	19,94
hidro1	80,10	80,10	966,12	12,06
hidro2	79,93	79,98	964,71	12,07
nuclear1	39,83	39,83	233,83	5,87
nuclear2	36,92	40,71	214,69	5,81
nuclear3	8,11	39,53	478,49	58,98
solar1	10,00	10,00	130,00	13,00
solar2	10,00	10,00	130,00	13,00
solar3	10,00	10,00	130,00	13,00
solar4	9,57	10,04	124,43	13,00
Total	364,16	400,22	4964,83	13,63

## 6.2.2.2 Arbitrando coalizões de menor lucro

Tabela 6.7: Recursos Recebidos por Tarefa

Tarefa	Media de Recursos Recebidos	Media de Recursos Estimados
cidade1	91,08	100,86
cidade2	89,23	100,49
cidade3	89,78	100,74
cidade4	87,47	100,22
Total	357,56	402,31

Tabela 6.8: Recursos Recebidos por Produtor

Produtor	Media de Recursos Utilizados	Media de Recursos Estimados	Lucro Médio dos Produtores	Preço Médio da Unidade de Energia
eolica1	20,00	20,00	400,00	20,00
eolica2	19,92	19,92	398,33	20,00
eolica3	20,00	20,00	400,00	20,00
eolica4	19,77	20,12	394,23	19,94
hidro1	80,10	80,10	966,12	12,06
hidro2	79,93	79,98	964,71	12,07
nuclear1	39,83	39,83	233,83	5,87
nuclear2	36,92	40,71	214,69	5,81
nuclear3	8,11	39,53	478,49	58,98
solar1	10,00	10,00	130,00	13,00
solar2	10,00	10,00	130,00	13,00
solar3	10,00	10,00	130,00	13,00
solar4	9,57	10,04	124,43	13,00
Total	364,16	400,22	4964,83	13,63

### 6.3 3º Caso: Sobra de Recursos

#### 6.3.1 Agentes Envolvidos

Serão instanciados quatro agentes cidades, quatro agentes do tipo Hidroelétrica, quatro agentes do tipo Nuclear, quatro agentes do tipo Eólica, e quatro agentes do tipo Solar. Tendo em média 400 unidades de recurso como base para o consumo e 600 unidades de recurso para a produção.

#### 6.3.2 Resultados

Este é o caso de teste mais interessante, pois a sobra de recursos no cenário causa uma boa concorrência entre os agentes, fazendo com que certos agentes fiquem de fora devido aos critérios envolvidos.

##### 6.3.2.1 Arbitrando coalizões de maior lucro

Tabela 6.9: Recursos Recebidos por Tarefa

Tarefa	Media de Recursos Recebidos	Media de Recursos Estimados
cidade1	102,08	100,43
cidade2	101,94	100,55
cidade3	100,76	99,78
cidade4	96,17	100,59
Total	400,95	401,34

Tabela 6.10: Recursos Recebidos por Produtor

Produtor	Media de Recursos Utilizados	Media de Recursos Estimados	Lucro Médio dos Produtores	Preço Médio da Unidade de Energia
eolica1	20,00	20,00	400,00	20,00
eolica2	20,00	20,00	400,00	20,00
eolica3	20,00	20,00	400,00	20,00
eolica4	19,10	20,08	398,12	20,85
hidro1	80,58	80,58	957,16	11,88
hidro2	79,97	79,97	950,29	11,88
hidro3	33,46	79,62	403,05	12,05
hidro4	0,00	80,00	0,00	0,00
nuclear1	40,00	40,00	240,00	6,00
nuclear2	36,89	40,75	214,59	5,82
nuclear3	9,67	40,17	56,53	5,84
nuclear4	1,75	39,83	11,33	6,48
solar1	10,00	10,00	130,00	13,00
solar2	10,00	10,00	130,00	13,00
solar3	10,00	10,00	130,00	13,00
solar4	9,55	10,03	124,72	13,06
Total	400,96	601,04	4945,79	12,33

## 6.3.2.2 Arbitrando coalizões de menor lucro

Tabela 6.11: Recursos Recebidos por Tarefa

Tarefa	Media de Recursos Recebidos	Media de Recursos Estimados
cidade1	108,42	99,77
cidade2	106,10	100,71
cidade3	102,97	98,93
cidade4	86,01	99,55
Total	403,50	398,96

Tabela 6.12: Recursos Recebidos por Produtor

Produtor	Media de Recursos Utilizados	Media de Recursos Estimados	Lucro Médio dos Produtores	Preço Médio da Unidade de Energia
eolica1	7,69	20,03	152,10	19,78
eolica2	6,18	20,27	110,73	17,91
eolica3	3,14	20,00	69,29	22,05
eolica4	0,50	19,83	9,00	18,00
hidro1	80,08	80,08	955,86	11,94
hidro2	79,82	79,82	954,59	11,96
hidro3	33,40	79,51	400,80	12,00
hidro4	0,00	80,00	0,00	0,00
nuclear1	40,00	40,00	240,00	6,00
nuclear2	40,00	40,00	240,00	6,00
nuclear3	40,12	40,12	242,12	6,04
nuclear4	40,00	40,04	240,00	6,00
solar1	10,00	10,00	130,00	13,00
solar2	10,00	10,00	130,00	13,00
solar3	9,82	10,00	129,71	13,20
solar4	7,66	10,03	98,31	12,84
Total	408,41	599,72	4102,51	10,04

## 6.4 Comparação com as coalizões ideais

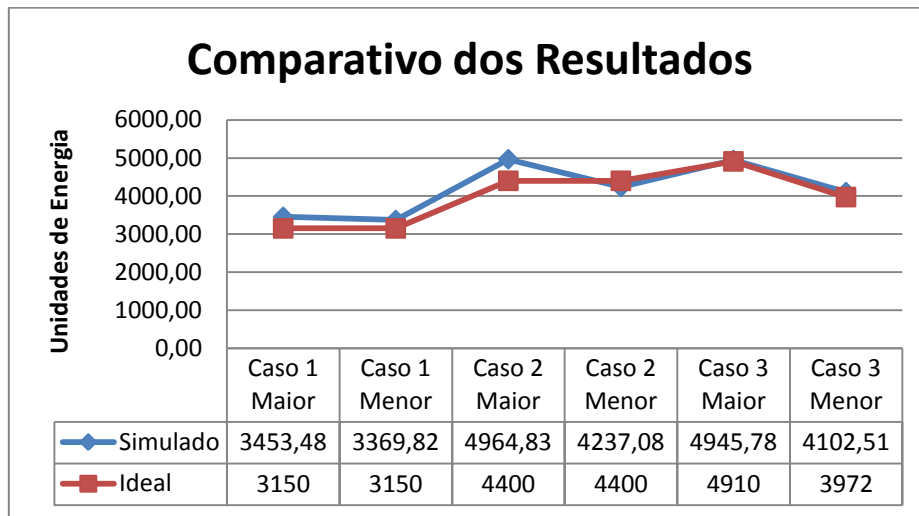


Gráfico 6.1 Comparativo entre os valores simulados e os ideais

Como pode ser visto no gráfico 6.1 o resultado das simulações se aproximou bastante dos valores de referência obtidos. O único caso que fugiu a variação estima de  $\pm 10\%$  foi o caso 2, arbitrando para coalizões de maior lucro, o motivo será melhor discutido no próximo capítulo.



## 7 CONCLUSÃO

A combinação de métodos para formação de coalizões se mostrou bastante eficaz, no momento em que se restringe o número de tipos de agentes envolvidos já se tem um ganho eficiência bastante satisfatório. Combinado com as técnicas de arbitragem e sobreposição o resultado final se mostrou uma técnica não tão complexa com excelentes resultados, rápida e eficaz.

### 7.1 Limitações

O comportamento dos agentes se manteve dentro de uma margem esperada boa, no entanto seu principal objetivo, que é de obter o maior lucro possível, não foi devidamente restringido, causando alguns pontos de desequilíbrio no resultado final da escolha das coalizões. O desvio encontrado no caso 2 para coalizões de maior lucro é um exemplo de como os agentes podem acabar tendo um comportamento desleal por não estarem devidamente regrados.

A questão da criação de regras para restrição do modelo de leilão do PGED é um dos principais temas abordados por autores e grupos de pesquisa da área. E, até o presente, ainda não foi encontrado o modelo de regras ótimo para o cenário.

Outro ponto importante a ser citado é a questão da sincronia das mensagens trocadas pelos agentes. Na implementação atual, cada agente espera um determinado tempo pelos demais, e então segue o processamento, acreditando que todos conseguiram terminar a execução e responder as mensagens até aquele ponto. Isto nem sempre acontece, no caso de termos muitos agentes, e por restrições de hardware, não pudemos rodar todos em paralelo, então os agentes que ganharem o processador por último durante o escalonamento tem grandes chances de serem desconsiderados pelos que já estão executando.

### 7.2 Trabalhos futuros

Assim como nos trabalhos relacionados a este trabalho, os resultados obtidos nas simulações nos apontam para o foco das regras envolvidas na negociação das coalizões e nas restrições que devemos impor aos agentes. Como sugestão poderíamos ter multas para agentes que apresentassem o comportamento desleal. Precisariamos realizar testes para indicar qual o valor ideal de multa, por exemplo.

Outro ponto que pode ser mais elaborado é a função de valoração das coalizões, se levarmos em conta outros critérios, podemos enriquecer ainda mais o modelo.

É interessante ressaltar que a técnica pode ser utilizada em qualquer cenário de um MAS, desde que se forneça uma função para cálculo do valor das coalizões, de forma que os agente sejam capazes de tomar decisões sobre os valores.

## REFERÊNCIAS

ANEEL. **Agência Nacional de Energia Elétrica**. Disponível em:

<http://www.aneel.gov.br/15.htm>

Acesso em: Novembro/2011.

AMES. **Agent-based Modeling of Electricity Systems - Wholesale Power Market**.

Disponível em: <http://www2.econ.iastate.edu/tesfatsi/AMESMarketHome.htm>

Acesso em: Novembro/2011.

AZIZ, H.; KEIJZER, B. **Complexity of coalition structure generation**. 10th Int. Conf. on Autonomous Agents and Multiagent Systems, (AAMAS 2011).

BORDINI, R.H.; HÜBNER, J.F.; WOOLDRIDGE, M. **Programming Multi-Agent Systems in AgentSpeak using Jason**. Hardcover. 292 pages. December 2007.

CHALKIADAKIS, G.; ELKIND, E.; MARKAKIS, E.; JENNINGS, N. **Overlapping coalition formation**. Proc. 4th Int. Workshop On Internet And Network Economics, Shanghai, China. pp. 307-321. (2008)

CHALKIADAKIS, G.; ELKIND, E.; MARKAKIS, E.; POLUKAROV, M.; JENNINGS, N. **Cooperative Games with Overlapping Coalitions**. Journal of Artificial Intelligence Research (JAIR), 39: 179-216. (2008)

IDEAS. **Intelligent Decentralised Energy-Awared Systems**. Disponível em:

<http://www.ideasproject.info/>

Acesso em Novembro/2011.

POWER TAC. **Power Trading Agent Competition**. Disponível em:

<http://www.powertac.org/node/4>

Acesso em Novembro/2011.

RAMCHURN, S.D.; VYTELINGUM, P.; ROGERS, A.; JENNINGS, N. **Putting the “Smarts” into the Smart Grid: A Grand Challenge for Artificial Intelligence**.

*Communications of the ACM*. (ACM 2011). Disponível em

<http://eprints.ecs.soton.ac.uk/22606/>

Acesso em Novembro/2011

RAMCHURN, S.D.; VYTELINGUM, P.; ROGERS, A.; JENNINGS, N. **Agent-Based Control for Decentralised Demand Side Management in the Smart Grid**. 10th International Conference on Autonomous Agents and Multiagent, (AAMAS 2011).

ROGERS, A. AND JENNINGS, N. R. **Intelligent Agents for the Smart Grid.** *PerAda Magazine.* (2010)

SHROT, T.; AUMANN, Y.; KRAUS, S. **Easy and Hard Coalition Resource Game Formation Problems - A Parameterized Complexity Analysis.** 8th International Conference on Autonomous Agents and Multiagent Systems, (AAMAS 2009).

SHROT, T.; AUMANN, Y.; KRAUS, S. **On Agent Types in Coalition Formation Problemns.** 9th Int. International Conference on Autonomous Agents and Multiagent Systems, (AAMAS 2010).

VYTELINGUM, P., RAMCHURN, S. D., VOICE, T. D., ROGERS, A. AND JENNINGS, N. R. **Trading agents for the smart electricity grid.** The Ninth International Conference on Autonomous Agents and Multiagent Systems (AAMAS 2010), May 10-14, 2010, Toronto, Canada. 897-904. (2010)

WOOLDRIDGE, M. **An Introduction to MultiAgent Systems.** University of Liverpool. 2nd Edition, July 2009.

ZICK, Y.; ELKIND, E. **Arbitrators in Overlapping Coalition Formation Games.** 10th Int. International Conference on Autonomous Agents and Multiagent Systems, (AAMAS 2011).