

O uso de Agentes Inteligentes em Redes de Rádios Cognitivos

Rafael Gassen, Rafael Kunst, Rejane Frozza, Andréa Konzen

Departamento de Informática
Universidade de Santa Cruz do Sul (UNISC)
Av. Independência, 2293 – Bairro Universitário
96815-900 - Santa Cruz do Sul – RS – Brasil
rafael.gassen@gmail.com, {rkunst, frozza, andrea}@unisc.br

Resumo

As redes de rádios cognitivos permitem que um serviço não licenciado utilize um espaço livre de uma faixa de frequência licenciada. Este artigo apresenta a modelagem e o desenvolvimento de uma camada cognitiva, com agentes inteligentes, responsável pelo processo decisório de utilização de espaços livres das faixas de frequência em rádios cognitivos. Também é apresentada a análise do desempenho dos agentes nas simulações realizadas em quatro diferentes faixas de frequência.

Palavras-chave: redes de rádios cognitivos, espectro de frequência, agentes inteligentes

Abstract

Cognitive radio networks avoid unlicensed frequency band uses a space of a licensed frequency band. This paper presents a model and development of a cognitive layer, with intelligent agents, responsible for making use of open spaces of the frequency bands in cognitive radio. Furthermore it presents the analyses of the performance of the use of Intelligent Agents to aid in cognitive radios in four different frequency bands.

Keywords: Cognitive radio networks, spectrum sensing, intelligent agents

1. INTRODUÇÃO

Com o desenvolvimento de novas tecnologias e com o crescimento das redes de computadores, surgem mais opções de serviços utilizados através das redes sem fio. Porém, para os avanços continuarem, é necessário que sejam realizadas mudanças no serviço de espectro de frequências e em suas faixas.

No espectro de frequências existem dois tipos de faixas, as faixas licenciadas e as não licenciadas. As faixas de frequências licenciadas podem ser de uso exclusivo ou não exclusivo. No caso das faixas de frequências licenciadas é adquirido o direito de uso exclusivo, através dos órgãos reguladores das telecomunicações. Nesse caso, normalmente grandes empresas utilizam essa licença para garantia do seu serviço na rede. Já as faixas de frequência não licenciadas, são abertas para qualquer tipo de serviço em dispositivos que utilizem certa frequência de rádio. A dificuldade em encontrar frequências de redes não licenciadas com boa disponibilidade, prejudica a implantação de novos serviços na rede ou o reforço dos já existentes, como os serviços de banda larga.

O estudo da utilização de rádios cognitivos (RC), segundo Akyildiz [1], refere-se a um serviço não licenciado utilizar um espaço livre de uma faixa de frequência licenciada. Esse serviço irá se propagar na faixa de frequência licenciada até que o usuário primário (aquele que disponibiliza a faixa de frequência licenciada) da frequência volte a ter a necessidade de transmitir dados. Quando isso ocorrer, o RC, através de um algoritmo, procura uma faixa de frequência livre para voltar a transmitir.

Para a distribuição do espectro entre as faixas de frequência é necessária a aplicação da técnica chamada de *spectrum sensing*, que é responsável pelas decisões que os RCs realizam. De acordo com Stevenson [8], é através do *spectrum sensing* que os usuários de RC poderão saber qual faixa de frequência será utilizada, ou seja, qual faixa de frequência está ociosa e pode receber uma transmissão.

Este trabalho apresenta uma solução para o problema do *spectrum sensing* em redes de RC utilizando os Sistemas Multiagentes para o gerenciamento do espectro de frequências em redes sem fio. Foram realizadas simulações do comportamento das redes sem fio no acesso ao espectro. O objetivo do uso dos agentes inteligentes foi auxiliar na escolha (tomada de decisão) de uma faixa de frequência livre, já que não havia uma implementação eficiente e disponível para o problema do *spectrum sensing* na área de redes de computadores.

O artigo está organizado nas seguintes seções: a seção 2 apresenta as definições de redes de rádios cognitivos e espectro de frequências; na seção 3, destacam-se alguns trabalhos envolvendo redes de computadores e uso de agentes inteligentes; a seção 4 descreve o modelo de camada cognitiva com o uso de agentes para prover espectro de frequência em redes de rádios cognitivos; a seção 5 apresenta o resultado de algumas simulações; e, na seção 6, são apresentadas as considerações.

2. REDES DE RÁDIOS COGNITIVOS

As redes de rádios cognitivos permitem distribuir de uma forma mais homogênea as faixas de frequência. Atuam, primeiramente, como analisadores destas faixas, monitorando-as, a fim de verificar quais estão ociosas, ou seja, sem transmissão, e qual a sua largura.

As frequências conhecidas e utilizadas por aparelhos eletrônicos são transportadas através de ondas eletromagnéticas. Essas ondas foram divididas conforme suas características, criando o espectro de frequências. Conforme Stevenson [8] e Cabric [2], espectro de frequências é o meio que realiza o envio ou recebimento dos dados e da voz. Utilizando-se desse espectro de frequências estão, por exemplo, Internet sem fio, telefones celulares, comunicação aérea civil e militar e telemetria.

Conforme Ghasemi [5], para um RC analisar a melhor frequência e proporcionar a transmissão, é preciso tomar uma decisão. Em vista disso, os RCs se utilizam da técnica chamada de *spectrum sensing* (sensor de espectro), que tem o objetivo de descobrir quais faixas de frequências estão livres para o uso. Para que um RC realize a troca de uma frequência para outra, é necessário utilizar alguma instrução

fornecida por um usuário ou ainda alguma instrução previamente construída. A tomada de decisão é fundamental, pois o fato de considerar as informações do momento e as experiências passadas proporcionará formas adequadas de se chegar ao objetivo estabelecido. A fim de melhorar a atuação do *spectrum sensing*, é possível aplicar técnicas para os RCs tomarem decisões mais precisas.

3. TRABALHOS RELACIONADOS

Esta seção apresenta alguns trabalhos das áreas de gerência de redes com uso de agentes e estudos de RC no espectro de frequências.

A gerência de redes de computadores com agentes inteligentes é tratada em Souza [7] e em Franceschi [3]. No trabalho de Souza [7] o objetivo foi monitorar o tráfego de rede com o uso de agentes em intervalos de tempos pré-determinados. Já em Franceschi [3], os agentes possuem dois tipos de comportamento: reativo, quando as ações de gerência são realizadas após o aparecimento do problema; pró-ativo, quando existe um gerenciamento com ações preventivas.

Zhang [9], em seu trabalho apresenta o uso de RC para aliviar a escassez de espectro de frequências em redes sem fio, utilizando o sensor de espectro (*spectrum sensing*). Desde as primeiras pesquisas com RC, tem-se visualizado a possibilidade de um usuário dinamicamente poder se utilizar de um acesso secundário em uma faixa de frequência licenciada, sem que seja prejudicada a utilização por um de seus usuários principais.

Na proposta de Le [6] os RCs são capazes de aprender em seus ambientes e se adaptarem de forma inteligente as mais diferentes formas para prestar serviço ao usuário. Foi desenvolvida uma camada inteligente subdividida em três camadas: percepção, raciocínio e aprendizado. O objetivo é gerenciar os recursos do rádio para cumprir as suas funcionalidades cognitivas com melhor desempenho.

No trabalho de Ghasemi [5], demonstra-se claramente que a utilização de espectro é suficiente para todos os tipos de usuário, sejam eles primários ou secundários, porém existe uma má distribuição do espectro entre as faixas de frequências. Dessa forma, já vem sendo estudada a utilização de espaços livres no espectro para utilização de serviços como, por exemplo, para faixas de frequência de TVs.

A partir dos estudos nas áreas de Gerenciamento de Redes e de agentes e da análise dos trabalhos relacionados, foi proposto desenvolver agentes inteligentes em uma camada cognitiva, com o uso do *spectrum sensing*.

4. MODELO PROPOSTO DA CAMADA COGNITIVA

Esta seção apresenta a modelagem e o desenvolvimento do sistema multiagente proposto, atuando em redes de rádio cognitivo, com agentes homogêneos, pois todos executam o mesmo processo de raciocínio sobre as informações que estiverem recebendo da rede.

Um agente estará presente em cada um dos usuários secundários (que se utilizam do espectro livre) existentes, para que este, com o auxílio dos agentes possa utilizar de faixas de frequências de um usuário primário (que disponibiliza a faixa de frequência licenciada).

Os agentes poderão buscar pelo espectro livre em quatro faixas de frequência (FTP, HTTP, VoIP com supressão de silêncio e sem supressão de silêncio). Cada faixa de frequência vai simular o envio de um tipo de dado da aplicação. Deste modo, têm-se espaços

livres em momentos diferentes, buscando simular o comportamento de uma aplicação real.

Cada agente possui uma estrutura de dados em memória (um vetor de cinco posições), indicando se há canal livre ou não (0 - canal livre; 1- canal ocupado). A cada necessidade de transmissão, o agente varre as faixas de frequências, verifica os canais livres e atualiza a sua memória.

Conforme a Figura 1, cada faixa de frequência é representada por um vetor que indicará se o canal está ocupado ou livre para trafegar. Quando existir os números 0 e 1, significa que existem dados trafegando. Já o número 2 representa que a faixa de frequência está livre para receber o usuário secundário. Para a implementação deste trabalho, visando os melhores resultados, definiu-se que os dados trafegando seriam 0 (zero) e 1 (um), além de ser uma definição existente em protocolos de redes. Estes, quando estão com dados trafegando, repassam sinais em *bits*. Para representar a faixa vazia, foi escolhido o número 2.

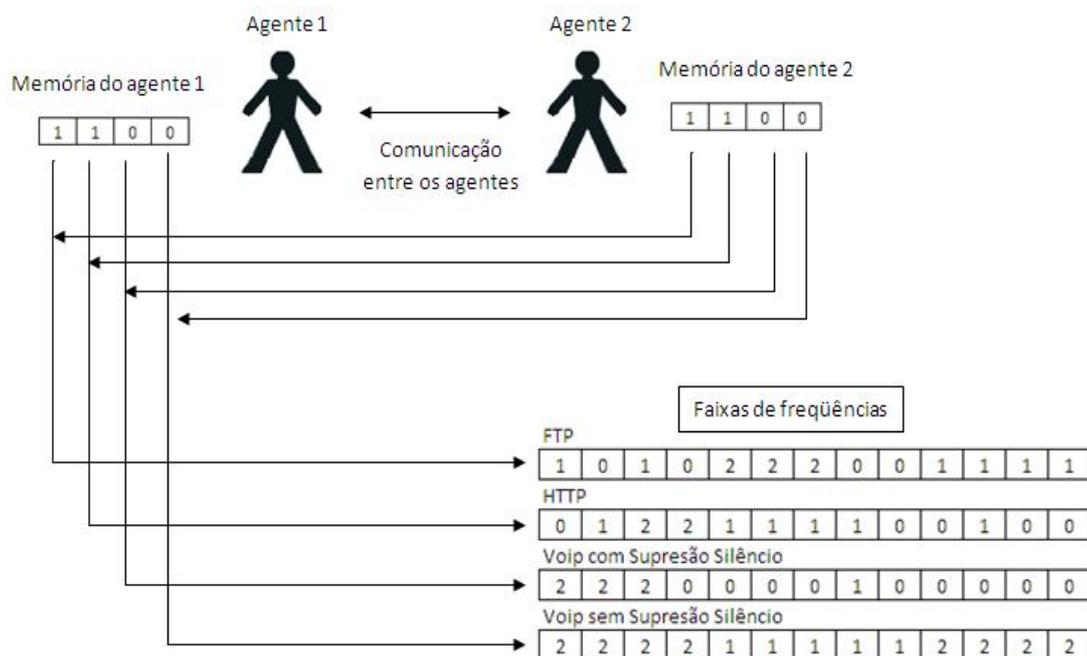


Figura 1: Ambiente Multiagente atuando sobre as faixas de frequência

O usuário primário sempre avisa quando vai entrar na ocupação do canal de uma das faixas. Isto também ativa a atualização da memória dos agentes. O usuário primário sempre terá prioridade em usar as faixas de frequência.

Foram modelados três cenários distintos. Cada cenário com uma quantidade de agentes diferentes. Quando um usuário secundário precisa transmitir, é direcionado por um agente a uma faixa de frequência

livre. Os cenários propostos são de 2, 5 e 10 agentes secundários.

Além destes três cenários, cada um deles possui duas abordagens diferentes, com e sem comunicação entre os agentes.

- Sem comunicação: cada agente tomará a decisão de qual canal livre ocupar apenas pelas informações registradas em sua memória. Neste caso, sempre que houver a necessidade de transmissão, o

agente varre as quatro faixas de frequência e escolhe a primeira que está disponível. Pode acontecer de quando o agente tentar ocupar um canal, que estava com *status* livre em sua memória, este já ter sido ocupado por outro agente, então o agente terá sempre que checar o canal escolhido antes da ocupação efetiva.

- Com comunicação: foi desenvolvido um protocolo de comunicação simples entre os agentes (envio de mensagem *broadcast* de canal ocupado - confirmação de recebimento). Desta forma, quando um agente ocupar um canal, informa aos demais, que atualizarão a sua memória. O agente confia plenamente nas informações da sua memória quando decidir pela ocupação de um canal registrado como livre, por isso, ele não faz uma verificação em todas as faixas de frequência novamente. Além disso, quando um agente pára de usar uma faixa de frequência, ele também avisa aos demais, pois eles confiam plenamente na memória. Da mesma forma, quando o usuário primário começa a transmitir, todos os usuários secundários são informados pelo agente.

Para realizar a simulação do espectro de frequência, baseado em RC, foram utilizados dois *softwares*: o *Labview (Laboratory Virtual Instrument Engineering Workbench)*, versão 8.2, que foi usado para implementação dos algoritmos, e o *MATLAB*

(*MATrix LABoratory*), que foi usado para geração dos modelos de tráfego de rede.

5. ANÁLISE DOS RESULTADOS DE SIMULAÇÕES

Esta seção apresenta as simulações realizadas com 10 e 5 agentes com e sem comunicação com seus resultados e avaliação do uso de agentes inteligentes no processo de análise do *spectrum sensing*. Salienta-se que, o detalhamento das outras simulações pode ser encontrado em Gassen [4].

A primeira verificação feita foi em relação à liberação da faixa de frequência por parte do usuário secundário, assim que o usuário primário precisasse utilizá-la novamente. Para isso, foram realizadas algumas amostragens dos canais antes e depois da entrada dos agentes. Na Figura 2, é possível verificar a leitura realizada antes (vetor de baixo) e depois (vetor de cima) do processamento dos agentes. Percebe-se que após o início do tráfego no modelo FTP (representado por 0 e 1), o agente não fica mais atuando no espectro deste modelo de tráfego. O número 20 (vetor de cima) refere-se a um agente que está utilizando um canal de FTP livre (valor 2 do vetor de baixo). Quando o agente primário voltar a utilizar o canal (valor 0 do vetor de baixo), o agente deixa de atuar (valor 0 do vetor de cima).



Figura 2: Demonstração do espectro de frequência antes e depois do agente ter assumido um espaço livre

Numa simulação com análise de 10 agentes atuando com comunicação, observou-se que, na grande maioria dos modelos de tráfego, a utilização dos agentes nas faixas licenciadas foi pequena, conforme pode ser visualizado na Figura 3. O eixo horizontal do gráfico apresenta os valores 0 e 1 indicando tráfego de dados, o valor 2 indicando canal livre e os valores de 11 a 20 indicando os 10 agentes. Já os agentes representados pelos valores 13 e 15, atuaram no modelo FTP por bastante tempo. O modelo de tráfego FTP apresenta uma característica de envio

de pacotes em grandes quantidades e, após, fica um período sem transmitir. Essa característica, complementada com o auxílio do agente com comunicação, permitiu que um agente pudesse atuar por um período de tempo neste modelo de tráfego.

Os tráfegos de HTTP, VoIP com supressão de silêncio (representado na Figura 3 por VoIPCS) e VoIP sem supressão de silêncio (representado na Figura 3 por VoIPSS), tiveram a maior parte do tempo com os canais livres.

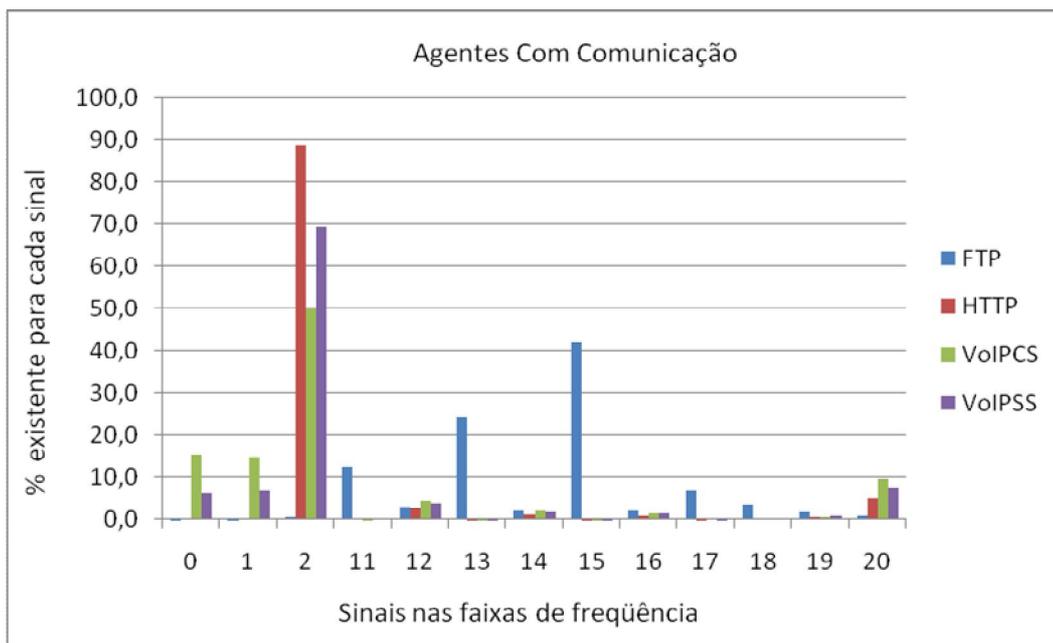


Figura 3: Visão da ocupação do tráfego para 10 agentes com comunicação

Na mesma simulação com 10 agentes e sem comunicação, percebeu-se uma grande diminuição do tempo ocioso das faixas de frequências (representado pelo número 2). Enquanto que, na simulação com comunicação, o tempo ocioso chegou perto dos 90% para o modelo de tráfego HTTP. Neste caso, esteve no

máximo próximo a 10%, conforme pode ser visualizado na Figura 4. A diminuição do tempo ocioso ocorreu pelo fato dos agentes conseguirem rapidamente acessar uma faixa de frequência, apenas verificando o *status* momentâneo dos quatro modelos de tráfego.

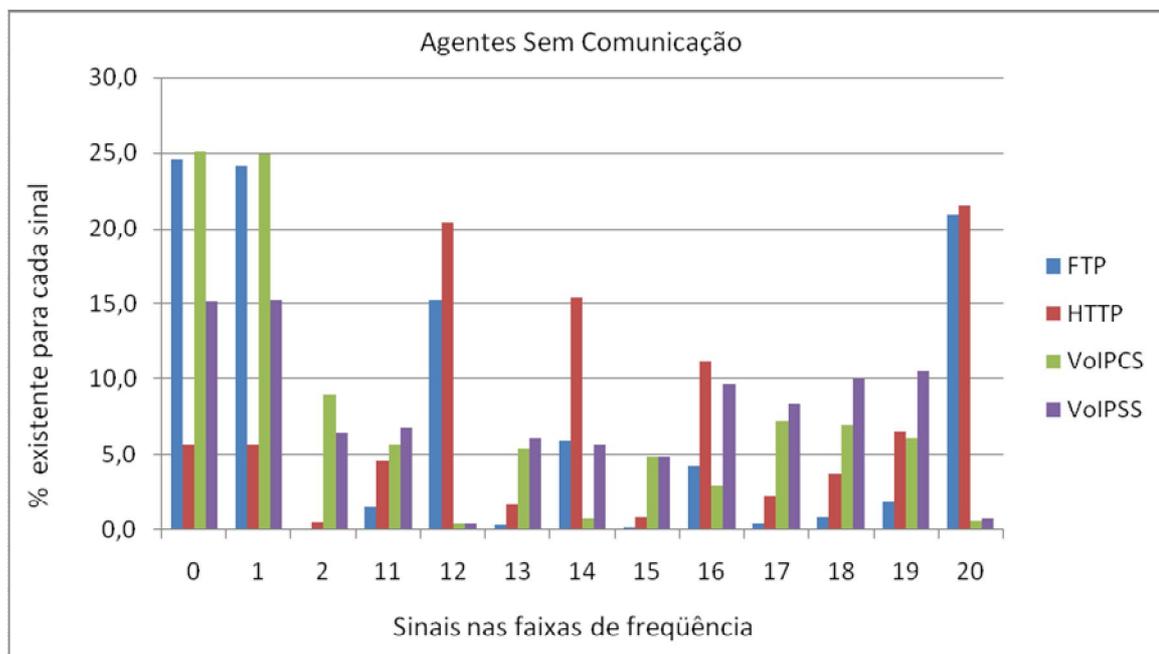


Figura 4: Visão da ocupação do tráfego para 10 agentes sem comunicação

Ainda analisando a simulação entre os 10 agentes com e sem comunicação, foi realizada uma comparação entre os serviços executados por cada agente nas duas simulações. Conforme a Figura 5, os

únicos agentes que tiveram um bom desempenho na simulação com comunicação foram os agentes 13 e 15. Já no processo sem comunicação, os agentes atuaram de forma mais homogênea.

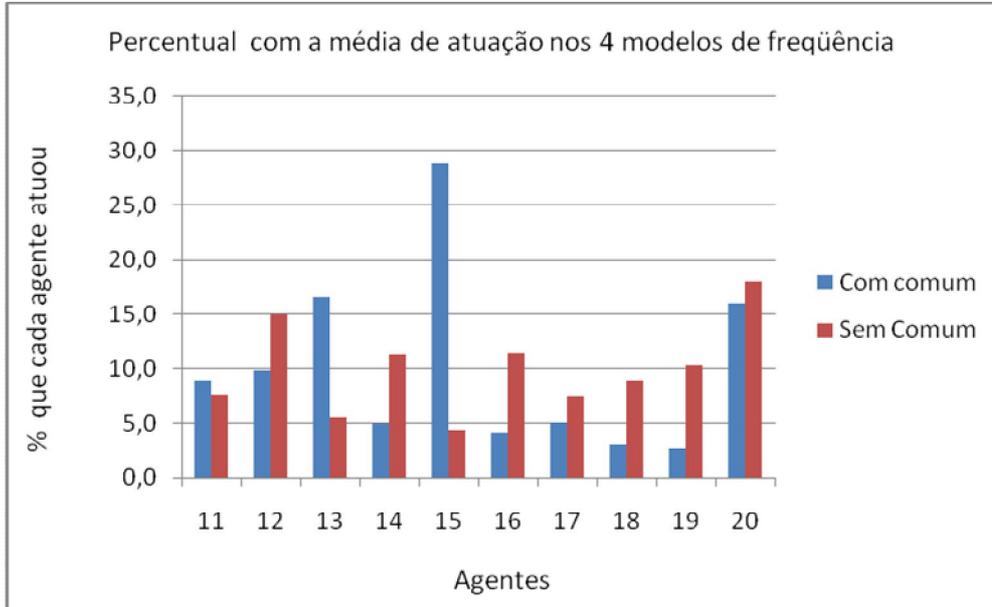


Figura 5: Visão da ocupação média dos 10 agentes nas simulações com e sem comunicação.

Na simulação realizada com 5 agentes, observou-se que o modelo de tráfego FTP foi significativamente utilizado pelos agentes 13 e 15. Outros modelos como o HTTP e o VoIP com supressão de silêncio também foram utilizados pelo agente 12, quando estavam

ociosos, conforme pode ser visto na Figura 6. O eixo horizontal do gráfico apresenta os valores 0 e 1 indicando tráfego de dados, o valor 2 indicando canal livre e os valores de 11 a 15 indicando os 5 agentes.

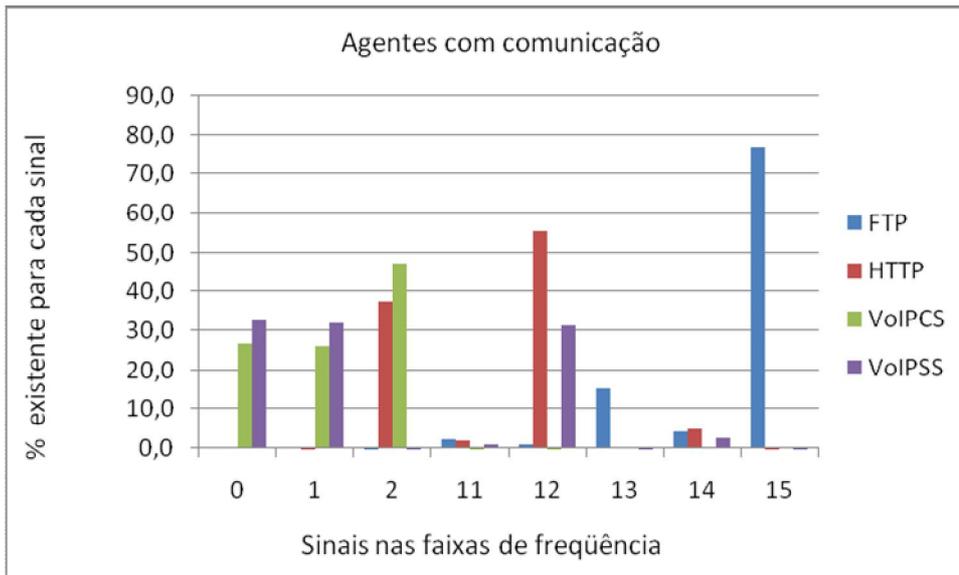


Figura 6: Visão da ocupação do tráfego para 5 agentes com comunicação

Com essa simulação, pode-se notar uma melhora considerável nos trabalhos dos agentes com relação à simulação realizada com 10 agentes com comunicação.

Para a simulação sem comunicação, é possível verificar, na Figura 7, que houve um aumento no período em que os tráfegos estavam ocupados, transmitindo dados para o usuário primário (representado por 0 e 1). Assim, pode-se observar melhora da distribuição das tarefas entre os 5 agentes.

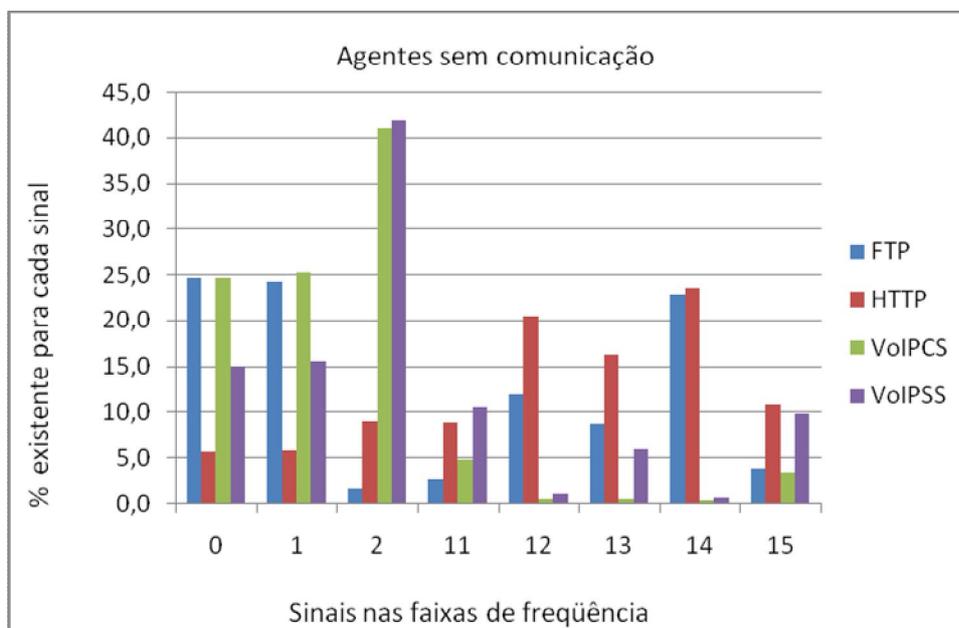


Figura 7: Visão da ocupação do tráfego para 5 agentes sem comunicação

Realizando-se uma comparação entre os serviços com comunicação e sem comunicação dos agentes, visualiza-se na Figura 8, que dois únicos agentes tiveram maior atividade quando a comunicação entre

eles existiu. Os demais agentes tiveram um desempenho inferior, se comparados com o serviço sem comunicação.

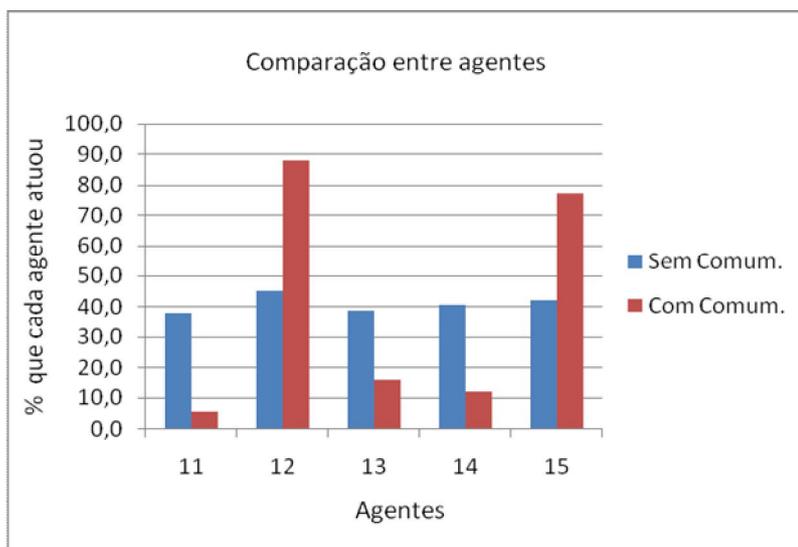


Figura 8: Visão da ocupação média dos 5 agentes nas simulações com e sem comunicação

É possível analisar, a partir das comparações, que quando não há comunicação entre os agentes, os mesmos podem mais rapidamente estar acessando uma faixa que está livre, e transmitir o pacote de dados que o usuário secundário necessita. Acredita-se que isso ocorreu em função da comunicação existente entre os agentes demandar um tempo computacional, ocasionando, algumas vezes, a perda de uma oportunidade de transmissão em uma faixa de frequência, já que não houve a implementação de um protocolo de comunicação mais elaborado entre os agentes, utilizando-se, por exemplo, KQML ou FIPA.

6. CONSIDERAÇÕES

Pensando-se na crescente necessidade de poder desenvolver novas tecnologias através do espectro de frequência, buscou-se estudar uma forma de estar viabilizando a entrada de novos serviços em faixas de frequências muito utilizadas, ou seja, as frequências não licenciadas. Em função disso, percebe-se que os Rádios Cognitivos (RC) estão sendo cada vez mais utilizados para resolver problemas no espectro de rede.

Através de simulações com o algoritmo desenvolvido no Labview, pode-se notar uma diferença entre as simulações realizadas com e sem a comunicação entre os agentes. Nos casos onde a comunicação não existia, houve mais participação dos agentes nas faixas de frequência, sejam eles 2, 5 ou 10. Acredita-se que essa participação baixa, quando as simulações foram realizadas com agentes com comunicação, tenha ocorrido em função do tempo despendido para a comunicação e pelo fato de ter sido desenvolvido um protocolo básico de comunicação. Para uma análise mais aprofundada sobre o cenário dos agentes com comunicação, outros testes devem ser realizados, a fim de explorar as possíveis hipóteses do problema.

Como foram realizadas simulações com somente quatro modelos de tráfego, foi possível perceber que os agentes sem comunicação tiveram um desempenho melhor, uma vez que foi mais rápido para os agentes verificar a ocupação do canal diretamente na faixa de frequência, ao invés de esperar a informação dos outros agentes sobre canais livres. Provavelmente, elevando-se o número de faixas de frequência, o desempenho da utilização de agentes com comunicação se torne mais vantajoso, visto que, percorrer mais faixas se tornaria um processo lento para os agentes sem comunicação.

Além disso, com os acessos realizados pelos usuários secundários, auxiliados pelos agentes, buscou-se fazer com que as faixas licenciadas (usuários primários) não sofressem prejuízos com a utilização de usuários secundários em sua frequência.

Este trabalho representou uma pesquisa inicial do uso de agentes no domínio de Rádios Cognitivos. Pretende-se avançar nos estudos e testes já realizados para obter resultados mais satisfatórios.

REFERÊNCIAS

- [1] I. F. Akyildiz et al. A Survey on Spectrum Management in Cognitive Radio Networks. *IEEE Communications Magazine*, EUA, p. 40-48, abr. 2008.
- [2] D. Cabric; S. Mubaraq; R. W. Brodersen. Implementation Issues in Spectrum Sensing for Cognitive Radios. Berkeley Wireless Research Center, University of California. Berkeley, 2004.
- [3] A. S. M. Franceschi; J. M. Barreto; M. Roisenberg. Desenvolvimentos de agentes autônomos em gerência de redes de computadores. Universidade Federal de Santa Catarina. 2000.
- [4] R. Gassen. Aplicação de agentes inteligentes para prover spectrum sensing em redes de rádios cognitivos. Universidade de Santa Cruz do Sul: Santa Cruz do Sul. 2009. (Trabalho de Conclusão).
- [5] A. Ghasemi. Spectrum Sensing in Cognitive Radio Networks: Requirements, Challenges and Design Trade-offs. *IEEE Communications Magazine*, EUA, p. 32-39, abr. 2008.
- [6] B. Le et al. A Public Safety Cognitive Radio Node. *SDR Forum Technical Conference*, Denver, USA. 2007.
- [7] A. M. Souza. Gerência de Redes de Computadores Utilizando Agentes Móveis Inteligentes. *Workshop de Trabalhos de Iniciação Científica e de Graduação (WTICG)*. 2003.
- [8] C. R. Stevenson et al. IEEE 802.22: The First Cognitive Radio Wireless Regional Area Network Standard. *IEEE Communications Magazine*, EUA, p. 130-138, jan. 2009.
- [9] Q. Zhang et al. Cognitive Radio for Emergency Network. *Mobile Multimedia: Communication*. Nova Publishers, U.S.A. Engineering Perspective. 2006.